T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

# DOKTORA TEZİ

# COVID-19 ile MÜCADELEDE ÜLKELERİN ETKİNLİĞİNİN VERİ ZARFLAMA ANALİZİ ve MAKİNE ÖĞRENMESİ ile DEĞERLENDİRİLMESİ

**Faruk YILMAZ**

**DANIŞMAN**
**Prof. Dr. İlhan Kerem ŞENEL**

**Sağlık Yönetimi Anabilim Dalı**

**Sağlık Yönetimi, Doktora Programı**

**Temmuz, 2023**

# TEZ KABUL VE ONAYI

**Faruk YILMAZ** tarafından, **Prof. Dr. İlhan Kerem ŞENEL** danışmanlığında hazırlanan **"COVID-19 ile MÜCADELEDE ÜLKELERİN ETKİNLİĞİNİN VERİ ZARFLAMA ANALİZİ ve MAKİNE ÖĞRENMESİ ile DEĞERLENDİRİLMESİ"** başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından **07/07/2023** tarihinde yapılan sınav sonucunda **oy birliği** ile başarılı bulunarak **Doktora Tezi** olarak kabul edilmiştir.

**Tez Jürisi**

| | | **İmza** | **Sonuç** |
|---|---|---|---|
| **DANIŞMAN** | Prof. Dr. İlhan Kerem ŞENEL<br>İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa<br>Sağlık Yönetimi Anabilim Dalı | | ☐ Kabul<br>☐ Ret |
| **ÜYE** | Prof. Dr. Alper CİHAN<br>İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa<br>Sağlık Yönetimi Anabilim Dalı | | ☐ Kabul<br>☐ Ret |
| **ÜYE** | Dr. Öğr. Üyesi Canser BOZ<br>İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa<br>Sağlık Yönetimi Anabilim Dalı | | ☐ Kabul<br>☐ Ret |
| **ÜYE** | Prof. Dr. Mehveş TARIM<br>Marmara Üniversitesi<br>Sağlık Yönetimi Anabilim Dalı | | ☐ Kabul<br>☐ Ret |
| **ÜYE** | Doç. Dr. Yusuf AYTÜRK<br>İstanbul Üniversitesi<br>Muhasebe ve Finans Anabilim Dalı | | ☐ Kabul<br>☐ Ret |

# BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve bilimsel etik kuralları içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını ve her türlü hukuki sorumluluğu aldığımı kabul ederim.

FARUK YILMAZ

# İTHAF

*Canım aileme ithaf ediyorum...*

# BÜTÇE DESTEKLERİ

## COVID-19 ile MÜCADELEDE ÜLKELERİN ETKİNLİĞİNİN VERİ ZARFLAMA ANALİZİ ve MAKİNE ÖĞRENMESİ ile DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu tez çalışması için herhangi bir kurumdan bütçe desteği alınmamıştır.

# TEŞEKKÜR

Eğitim hayatım boyunca bilgi birikimi, nezaketi ve anlayışıyla her hususta kıymetli görüş ve önerilerini benimle paylaşan değerli hocam ve tez danışmanım Prof. Dr. İlhan Kerem ŞENEL'e ve onun şahsında bugüne kadar üzerimde emeği olan tüm hocalarıma,

Değerli katkıları ve önerilerinden dolayı tez jürisi üyeleri Prof. Dr. Alper CİHAN, Prof. Dr. Mehveş TARIM, Doç. Dr. Yusuf AYTÜRK ve Dr. Öğr. Üyesi Canser BOZ'a ve tez çalışmasında değerli görüşlerini paylaşan Doç. Dr. Selma SÖYÜK'e,

Doktora sürecim boyunca desteklerini daima yanımda hissettiğim değerli arkadaşlarım Özgür İNCE, Anı Hande METE ve Buse Fidan TÜRKÖN'e, tezin düzenlenmesine destek veren Ercan TEPE'ye ve SABİF çatısı altında birlikte çalışmaktan mutluluk duyduğum kıymetli çalışma arkadaşlarıma,

Hayatımın her safhasında koşulsuz ve karşılıksız olarak sevgi, güven ve özverileriyle yanımda olan annem Gülten YILMAZ'a, babam Köksal YILMAZ'a ve kardeşlerim Zeynep YILMAZ, Kübra YILMAZ ve Tarık YILMAZ'a en samimi duygularımla teşekkürlerimi sunarım.

Faruk YILMAZ

Temmuz 2023

# İÇİNDEKİLER

**Sayfa No**

**TEZ KABUL VE ONAYI ..... İİ**
**BEYAN ..... İİİ**
**İTHAF ..... İV**
**BÜTÇE DESTEKLERİ ..... V**
**TEŞEKKÜR ..... Vİ**
**İÇİNDEKİLER ..... Vİİ**
**ŞEKİL LİSTESİ ..... X**
**TABLO LİSTESİ ..... Xİ V**
**SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ ..... XVİİİ**
**ÖZET ..... XXİİ**
**ABSTRACT ..... XXİİİ**
**1. GİRİŞ ..... 1**
**2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE ..... 4**
2.1. PANDEMİ ve GENEL ÇERÇEVESİ ..... 4
2.1.1. Pandemi ile İlgili Temel Ölçütler ..... 5
2.1.1.1. Mortalite Ölçütleri ..... 5
2.1.1.2. Morbidite Ölçütleri ..... 7
2.1.1.3. Diğer Ölçütler ..... 7
2.1.2. Pandemilerin Tarihçesi ..... 9
2.2. COVID-19 PANDEMİSİ ..... 17
2.2.1. COVID-19 Pandemisinin Genel Çerçevesi ..... 17
2.2.2. COVID-19 Zaman Çizelgesi ..... 18
2.2.3. Virüs ve Virüsün Bulaşıcılığı ..... 20
2.2.4. COVID-19 Hastalarının Demografik Özellikleri ..... 22
2.2.5. COVID-19 Tanı Yöntemleri ..... 24
2.2.6. COVID-19 Tedavi Yöntemleri ..... 27
2.2.7. COVID-19 Pandemisini Önleme ve Müdahale Yaklaşımları ..... 30
2.2.7.1. İlaç Müdahaleleri ..... 32
2.2.7.2. İlaç Dışı Müdahaleler ..... 40
2.2.7.3. Müdahale Yöntemlerini İzlemede Kullanılan Endeks ve Göstergeler ..... 54
2.3. SAĞLIK SİSTEMLERİNİN ETKİNLİĞİ ve COVID-19 PANDEMİSİ MÜCADELE SÜRECİ ..... 58
2.3.1. Sağlık Sistemlerinin Genel Çerçevesi ve Etkinliği ..... 58
2.3.1.1. Sağlık Sistemleri Etkinliklerinin Ölçümü, Analizi ve Değerlendirilmesi 61
2.3.1.2. Bulaşıcılıkla Mücadele Etkinliği ..... 68
2.3.1.3. Tedavi Etkinliği ..... 71

2.3.2. COVID-19 Pandemisi ile Mücadele Süreci ..... 73
2.3.2.1. Uluslararası Kurumların COVID-19 Pandemisi Rehberliği ..... 74
2.3.2.2. COVID-19 Pandemisinin Epidemiyolojik Değerlendirmesi ..... 84
2.3.2.3. Çin Halk Cumhuriyeti ..... 95
2.3.2.4. Amerika Birleşik Devletleri ..... 100
2.3.2.5. Hindistan ..... 105
2.3.2.6. Birleşik Krallık ..... 110
2.3.2.7. Brezilya ..... 115
2.3.2.8. Türkiye ..... 120
2.3.2.9. Pandemi Hazırlık Süreçleri, Politika Farklılıkları ve Geleceğe Bakış .. 125
2.4. VERİ ZARFLAMA ANALİZİ ..... 134
2.4.1. Veri Zarflama Analizi'nin Kavramsal Çerçevesi ..... 135
2.4.2. Veri Zarflama Analizi Temel Modelleri ..... 137
2.4.2.1. CCR (Charnes-Cooper- Rhodes) Modeli ..... 137
2.4.2.2. BCC (Banker-Charnes-Cooper) Modeli ..... 140
2.4.3. Veri Zarflama Analizinin Uygulama Aşamaları ..... 143
2.4.4. Veri Zarflama Analizinin Güçlü ve Zayıf Yönleri ..... 147
2.5. MAKİNE ÖĞRENMESİ ..... 149
2.5.1. Makine Öğrenmesi Kavramsal Çerçevesi ve Uygulamaları ..... 150
2.5.2. Makine Öğrenmesi Bileşenleri ..... 153
2.5.3. Makine Öğrenmesi Teknikleri ..... 156
2.5.3.1. Denetimli (Gözetimli) Öğrenme Teknikleri ..... 157
2.5.3.2. Denetimsiz (Gözetimsiz) Öğrenme Teknikleri ..... 158
2.5.3.3. Yarı Denetimli (Gözetimli) Öğrenme Teknikleri ..... 159
2.5.3.4. Pekiştirmeli (Takviyeli) Öğrenme Teknikleri ..... 160
2.5.4. Makine Öğrenmesi Algoritmaları ..... 161
2.6. COVID-19 MÜCADELESİNİ ANALİZDE VZA ve/veya MAKİNE ÖĞRENMESİ TEKNİKLERİNİ KULLANAN ÇALIŞMALARIN LİTERATÜR ÖZETİ ..... 165
**3. YÖNTEM ..... 171**
3.1. Araştırmanın Amacı ve Önemi ..... 171
3.2. Araştırmanın Evreni ve Veri Toplama ..... 172
3.3. Araştırmanın Sınırlılıkları ve Etik Boyutu ..... 172
3.4. Araştırmada Kullanılan Analiz Yöntemleri ..... 173
3.4.1. K-Ortalamalar Kümeleme Algoritması ..... 173
3.4.2. İstenmeyen Çıktılara Doğrusal Monoton Dönüşüm Uygulayan VZA Modeli 178
3.4.3. Karar Ağaçları ..... 181

3.4.3.1. CART Algoritması....189
3.4.3.2. Rastgele Orman Algoritması....194
3.5. Araştırmanın Uygulama Adımları....200
**4. BULGULAR....216**
4.1. K-Ortalamalar Algoritması ile Yapılan Kümeleme Analizi Bulguları....217
4.2. Veri Zarflama Analizi Bulguları....226
4.2.1. Bulaşıcılıkla Mücadele Etkinliği VZA Bulguları....226
4.2.2. Tedavi Etkinliği VZA Bulguları....231
4.3. CART ve Rastgele Orman Algoritması Bulguları....238
4.3.1. Birinci Kümedeki Ülkelerin Bulaşıcılıkla Mücadele Etkinliği CART Modeli Bulguları....238
4.3.2. Birinci Kümedeki Ülkelerin Bulaşıcılıkla Mücadele Etkinliği Rastgele Orman Modeli Bulguları....246
4.3.3. İkinci Kümedeki Ülkelerin Bulaşıcılıkla Mücadele Etkinliği CART Modeli Bulguları....255
4.3.4. İkinci Kümedeki Ülkelerin Bulaşıcılıkla Mücadele Etkinliği Rastgele Orman Modeli Bulguları....259
4.3.5. Birinci Kümedeki Ülkelerin Tedavi Etkinliği CART Modeli Bulguları....266
4.3.6. Birinci Kümedeki Ülkelerin Tedavi Etkinliği Rastgele Orman Modeli Bulguları....272
**5. TARTIŞMA....281**
**6. SONUÇ VE ÖNERİLER....295**
**KAYNAKLAR....300**
**EKLER....325**
**İNTİHAL RAPORU İLK SAYFASI....334**
**ETİK KURUL İZİN YAZISI....335**
**KURUM İZNİ YAZILARI....336**
**ÖZGEÇMİŞ....337**

# ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1: COVID-19 pandemisi zaman çizelgesi. ..... 19
Şekil 2.2: COVID-19 tanı yöntemleri. ..... 25
Şekil 2.3: Pandemiye müdahale yöntemleri. ..... 31
Şekil 2.4: COVID-19 aşı türleri. ..... 35
Şekil 2.5: İlaç dışı müdahalelerin sınıflandırması. ..... 41
Şekil 2.6: Sağlık sisteminin bileşenleri. ..... 59
Şekil 2.7: DSÖ sağlık sistemleri çerçevesi. ..... 60
Şekil 2.8: Sağlık sistemleri analizinin mantığı. ..... 65
Şekil 2.9: Sağlık hizmetleri değer zinciri. ..... 68
Şekil 2.10: Pandemi sürecinde politika önceliklerinin değişimi. ..... 70
Şekil 2.11: Pandemik influenza aşamaları. ..... 75
Şekil 2.12: Küresel COVID-19 aşılama stratejisi. ..... 80
Şekil 2.13: Uluslararası çalışma standartlarına dayalı dört sütunlu politika çerçevesi. ..... 83
Şekil 2.14: DSÖ bölgelerine (a) ve DB gelir grubuna (b) göre kümülatif COVID-19 vakaları. ..... 86
Şekil 2.15: DSÖ bölgelerine (a) ve DB gelir grubuna (b) göre kümülatif COVID-19 ölümleri. ..... 87
Şekil 2.16: COVID-19 pandemisinin aylık verilerle küresel seyri, Ocak 2020-Aralık 2022. ..... 88
Şekil 2.17: Küresel olarak baskın olan SARS-CoV-2 varyantlarının göreceli sıklığı. ..... 89
Şekil 2.18: Ülkelere göre kümülatif milyon kişi başına vaka sayıları. ..... 90
Şekil 2.19: Ülkelere göre kümülatif milyon kişi başına ölüm sayıları. ..... 91
Şekil 2.20: Ülkelere göre kümülatif vaka ölüm hızları, 31 Aralık 2022. ..... 92
Şekil 2.21: DSÖ bölgelerine (a) ve DB gelir grubuna (b) göre tam aşılanan kişi sayıları. ..... 93
Şekil 2.22: Ülkelere göre tam aşılananların nüfus içerisindeki payı, 29 Ocak 2023. ..... 94
Şekil 2.23: Çin Halk Cumhuriyeti'nde COVID-19 pandemisinin aylık seyri, Ocak 2020-Aralık 2022. ..... 97
Şekil 2.24: Çin Halk Cumhuriyeti'nde sıkılık endeksinin aylık değişimi, Ocak 2020-Aralık 2022. ..... 98
Şekil 2.25: Çin Halk Cumhuriyeti'nde COVID-19 zaman çizelgesi. ..... 99
Şekil 2.26: ABD'de COVID-19 pandemisinin aylık seyri, Şubat 2020-Aralık 2022. ..... 102

Şekil 2.27: ABD'de sıkılık endeksinin ve tam aşılanan nüfusun aylık değişimi, Şubat 2020-Aralık 2022. ..... 103
Şekil 2.28: Amerika Birleşik Devletleri'nde COVID-19 zaman çizelgesi. ..... 104
Şekil 2.29: Hindistan'da COVID-19 pandemisinin aylık seyri, Şubat 2020-Aralık 2022. ..... 107
Şekil 2.30: Hindistan'da sıkılık endeksinin ve tam aşılanan nüfusun aylık değişimi, Şubat 2020-Aralık 2022. ..... 108
Şekil 2.31: Hindistan'da COVID-19 zaman çizelgesi. ..... 109
Şekil 2.32: Birleşik Krallık'ta COVID-19 pandemisinin aylık seyri, Şubat 2020-Aralık 2022. ..... 112
Şekil 2.33: Birleşik Krallık'ta sıkılık endeksinin ve tam aşılanan nüfusun aylık değişimi, Şubat 2020-Aralık 2022 ..... 113
Şekil 2.34: Birleşik Krallık'ta COVID-19 zaman çizelgesi. ..... 114
Şekil 2.35: Brezilya'da COVID-19 pandemisinin aylık seyri, Mart 2020-Aralık 2022 ..... 117
Şekil 2.36: Brezilya'da sıkılık endeksinin ve tam aşılanan nüfusun aylık değişimi, Mart 2020-Aralık 2022. ..... 118
Şekil 2.37: Brezilya'da COVID-19 zaman çizelgesi. ..... 119
Şekil 2.38: Türkiye Cumhuriyeti'nde COVID-19 pandemisinin aylık seyri, Mart 2020-Aralık 2022. ..... 122
Şekil 2.39: Türkiye Cumhuriyeti'nde sıkılık endeksinin ve tam aşılanan nüfusun aylık değişimi, Mart 2020-Kasım 2022 ..... 123
Şekil 2.40: Türkiye Cumhuriyeti'nde COVID-19 zaman çizelgesi. ..... 124
Şekil 2.41: COVID-19 pandemisinden alınacak temel dersler ..... 133
Şekil 2.42: VZA temel modellerinin grafiksel gösterimi. ..... 142
Şekil 2.43: VZA uygulama adımları ..... 143
Şekil 2.44: Makine öğrenmesi temel unsurları. ..... 151
Şekil 2.45: Bilgi keşfi yöntemleri. ..... 152
Şekil 2.46: Makine öğrenmesi uygulamaları. ..... 153
Şekil 2.47: Makine öğrenmesi modeli bileşenleri. ..... 154
Şekil 2.48: Makine öğrenmesi teknikleri. ..... 157
Şekil 3.1: K-ortalamalar algoritması akış diyagramı. ..... 175
Şekil 3.2: Karar ağacı yapısı. ..... 182
Şekil 3.3: Bagging algoritması örneği. ..... 192
Şekil 3.4: Boosting algoritması örneği. ..... 194

Şekil 3.5: Bagging ve alt uzay örnekleme ile rastgele orman süreci. ..... 195
Şekil 3.6: Rastgele orman algoritması akış diyagramı. ..... 199
Şekil 3.7: Araştırma tasarımı. ..... 201
Şekil 4.1: Dirsek yöntemine göre optimum k sayısı. ..... 218
Şekil 4.2: Silüet yöntemine göre optimum k sayısı. ..... 218
Şekil 4.3: Boşluk istatistiği yöntemine göre optimum k sayısı. ..... 219
Şekil 4.4: NbClust paketinde yer alan indekslere göre küme sayısı önerisi. ..... 220
Şekil 4.5: K-ortalamalar algoritmasına göre kümeleme sonuçları. ..... 223
Şekil 4.6: Birinci kümenin bulaşıcılıkla mücadele etkinliği analiz bulguları ..... 228
Şekil 4.7: İkinci kümenin bulaşıcılıkla mücadele etkinliği analiz bulguları. ..... 230
Şekil 4.8: Birinci kümenin tedavi etkinliği analiz bulguları. ..... 233
Şekil 4.9: İkinci kümenin tedavi etkinliği analiz bulguları. ..... 235
Şekil 4.10: Sınıflandırma probleminin CART algoritması ile çözümü için kullanılan KNIME programı iş akışı. ..... 239
Şekil 4.11: Birinci kümedeki ülkelerin bulaşıcılıkla mücadele etkinlik sınıfı karar ağacı modeli. ..... 241
Şekil 4.12: Birinci kümenin bulaşıcılıkla mücadele etkinliği CART modeli tahmininin ROC eğrisi. ..... 245
Şekil 4.13: Sınıflandırma probleminin rastgele orman algoritması ile çözümü için kullanılan KNIME programı iş akışı. ..... 246
Şekil 4.14: Rastgele orman algoritmasına göre birinci kümenin bulaşıcılıkla mücadele etkinliğini açıklayan değişkenlerin önem düzeyi. ..... 251
Şekil 4.15: Birinci kümedeki ülkelerin bulaşıcılıkla mücadele etkinlik sınıfının açıklayıcı değişkenlere göre saçılım grafiği. ..... 252
Şekil 4.16: Birinci kümenin bulaşıcılıkla mücadele etkinliği rastgele orman modeli tahmininin ROC eğrisi. ..... 254
Şekil 4.17: İkinci kümedeki ülkelerin bulaşıcılıkla mücadele etkinlik sınıfı karar ağacı modeli. ..... 256
Şekil 4.18: İkinci kümenin bulaşıcılıkla mücadele etkinliği CART modeli tahmininin ROC eğrisi. ..... 259
Şekil 4.19: Rastgele orman algoritmasına göre ikinci kümenin bulaşıcılıkla mücadele etkinliğini açıklayan değişkenlerin önem düzeyi. ..... 263

Şekil 4.20: İkinci kümedeki ülkelerin bulaşıcılıkla mücadele etkinlik sınıfının açıklayıcı değişkenlere göre saçılım grafiği. ..... 264
Şekil 4.21: İkinci kümenin bulaşıcılıkla mücadele etkinliği rastgele orman modeli tahmininin ROC eğrisi. ..... 266
Şekil 4.22: Birinci kümedeki ülkelerin tedavi etkinliği sınıfı karar ağacı modeli. ..... 268
Şekil 4.23: Birinci kümenin tedavi etkinliği CART modeli tahmininin ROC eğrisi. ..... 272
Şekil 4.24: Rastgele orman algoritmasına göre birinci kümenin tedavi etkinliğini açıklayan değişkenlerin önem düzeyi. ..... 276
Şekil 4.25: Birinci kümedeki ülkelerin tedavi etkinliği sınıfının açıklayıcı değişkenlere göre saçılım grafiği. ..... 277
Şekil 4.26: Birinci kümenin tedavi etkinliği rastgele orman modeli tahmininin ROC eğrisi. 280

# TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1: Tarihte görülen başlıca salgınlar. ..... 10
Tablo 2.2: Çeşitli yüzeylerde koronavirüsün kalıcılığı. ..... 22
Tablo 2.3: Acil durum kullanım listesine alınan COVID-19 aşıları. ..... 37
Tablo 2.4: OxCGRT'nin izlediği göstergeler. ..... 55
Tablo 2.5: Sağlık sistemi müdahale izleme bileşenleri. ..... 57
Tablo 2.6: Etkinlik alt boyutları. ..... 62
Tablo 2.7: Sağlık sistemleri yapı taşlarının temel göstergeleri. ..... 64
Tablo 2.8: Sağlık sistemi etkinsizliğinin önde gelen nedenleri. ..... 66
Tablo 2.9: Pandemi aşamalarına göre eylem önerileri. ..... 76
Tablo 2.10: COVID-19 pandemisinde ilaç dışı müdahaleler ve uygulama endikasyonları. ..... 78
Tablo 2.11: Kıtalara göre COVID-19 epidemiyolojisi. ..... 84
Tablo 2.12: Seçili ülkelerin COVID-19 pandemisine ilişkin verilerinin karşılaştırması. ..... 129
Tablo 2.13: Girdi ve çıktı yönelimli CCR modellerinin matematiksel gösterimi. ..... 138
Tablo 2.14: Girdi ve çıktı yönelimli BCC modellerinin matematiksel gösterimi. ..... 140
Tablo 2.15: Veri türleri. ..... 154
Tablo 2.16: Standart öğrenme görevleri. ..... 156
Tablo 2.17: Makine öğrenmesi algoritmaları. ..... 162
Tablo 2.18: COVID-19 mücadelesinin analizinde VZA ve/veya makine öğrenmesi yöntemlerini kullanan çalışmaların literatür özeti. ..... 166
Tablo 3.1: Küme sayısını belirlemede kullanılan yaklaşımların karşılaştırması. ..... 177
Tablo 3.2: Karar ağaçlarında temel kavramlar. ..... 183
Tablo 3.3: Karmaşıklık matrisinin yapısı. ..... 187
Tablo 3.4: Performans değerlendirme ölçütleri. ..... 188
Tablo 3.5: Karar ağacı algoritmalarının temel karakteristikleri. ..... 191
Tablo 3.6: Kümeleme analizinde kullanılan öznitelikler. ..... 203
Tablo 3.7: Bulaşıcılıkla mücadele etkinliği modelinde kullanılan girdi ve çıktı değişkenleri. ..... 206
Tablo 3.8: Tedavi etkinliği modelinde kullanılan girdi ve çıktı değişkenleri. ..... 208
Tablo 3.9: Bulaşıcılıkla mücadele ve tedavi etkinliğini açıklamada kullanılan değişkenler. ..... 212
Tablo 4.1: NbClust paketinde yer alan indekslere göre optimum k sayısı. ..... 220
Tablo 4.2: Birinci kümede yer alan ülkeler. ..... 221

Tablo 4.3: İkinci kümede yer alan ülkeler. ..... 222
Tablo 4–4: Kümeleme analizi ile ilgili tanımlayıcı ve çıkarımsal istatistik bulguları..... 224
Tablo 4.5: Kümelerde yer alan ülkelerin DB ve DSÖ gruplarına göre dağılımı. ..... 225
Tablo 4.6: Birinci kümede yer alan ülkelerin bulaşıcılıkla mücadele etkinliği skorları..... 227
Tablo 4.7: İkinci kümede yer alan ülkelerin bulaşıcılıkla mücadele etkinliği skorları. ..... 229
Tablo 4.8: Birinci kümede yer alan ülkelerin tedavi etkinliği skorları. ..... 232
Tablo 4.9: İkinci kümede yer alan ülkelerin tedavi etkinliği skorları. ..... 234
Tablo 4.10: Birinci kümedeki ülkelerin etkinlik sınıfı dağılımı. ..... 237
Tablo 4–11: Birinci kümenin bulaşıcılıkla mücadele modeli için CART algoritması eğitim seti ..... 240
Tablo 4.12: Birinci kümenin bulaşıcılıkla mücadele etkinliği sınıfı için CART tahmin sonuçları. ..... 243
Tablo 4.13: Birinci kümenin bulaşıcılıkla mücadele etkinliği sınıfı CART modeli tahmininin karmaşıklık matrisi. ..... 244
Tablo 4.14: Birinci kümenin bulaşıcılıkla mücadele etkinliği sınıfı CART modeli tahmininin başarı ölçütleri. ..... 244
Tablo 4.15: Birinci kümenin bulaşıcılıkla mücadele etkinliği sınıfı için eğitim setinde yapılan rastgele orman algoritması tahminleri. ..... 248
Tablo 4.16: Birinci küme bulaşıcılıkla mücadele etkinliği sınıfı için rastgele orman modeli eğitim seti tahmininin karmaşıklık matrisi. ..... 249
Tablo 4.17: Birinci küme bulaşıcılıkla mücadele etkinliği sınıfı için rastgele orman modeli eğitim seti tahmininin başarı ölçütleri. ..... 249
Tablo 4.18: Birinci kümenin bulaşıcılıkla mücadele etkinliği rastgele orman modelinde açıklayıcı değişkenlerin farklı düzeylerde kullanım sıklığı. ..... 250
Tablo 4.19: Birinci kümenin bulaşıcılıkla mücadele etkinliği sınıfı için rastgele orman modelinin test seti tahmin sonuçları. ..... 253
Tablo 4.20: Birinci küme bulaşıcılıkla mücadele etkinliği sınıfı için rastgele orman modeli test seti tahmininin karmaşıklık matrisi. ..... 253
Tablo 4.21: Birinci kümenin bulaşıcılıkla mücadele etkinliği sınıfı için rastgele orman modeli test seti başarı ölçütleri. ..... 254
Tablo 4.22: İkinci kümenin bulaşıcılıkla mücadele modeli için CART algoritması eğitim seti. ..... 255

Tablo 4.23: İkinci kümenin bulaşıcılıkla mücadele etkinliği sınıfı için CART tahmin sonuçları. .....257
Tablo 4.24: İkinci kümenin bulaşıcılıkla mücadele etkinliği sınıfı CART modeli tahmininin karmaşıklık matrisi. .....258
Tablo 4.25: İkinci kümenin bulaşıcılıkla mücadele etkinliği sınıfı CART modeli tahmininin başarı ölçütleri. .....258
Tablo 4.26: İkinci kümenin bulaşıcılıkla mücadele etkinliği sınıfı için eğitim setinde yapılan rastgele orman algoritması tahminleri. .....260
Tablo 4.27: İkinci küme bulaşıcılıkla mücadele etkinliği sınıfı için rastgele orman modeli eğitim seti tahmininin karmaşıklık matrisi. .....261
Tablo 4.28: İkinci küme bulaşıcılıkla mücadele etkinliği sınıfı için rastgele orman modeli eğitim seti başarı ölçütleri. .....261
Tablo 4.29: İkinci kümenin bulaşıcılıkla mücadele etkinliği rastgele orman modelinde açıklayıcı değişkenlerin farklı düzeylerde kullanım sıklığı. .....262
Tablo 4.30: İkinci kümenin bulaşıcılıkla mücadele etkinliği sınıfı için rastgele orman modelinin test seti tahmin sonuçları. .....264
Tablo 4.31: İkinci küme bulaşıcılıkla mücadele etkinliği sınıfı için rastgele orman modeli test seti tahmininin karmaşıklık matrisi. .....265
Tablo 4.32: İkinci küme bulaşıcılıkla mücadele etkinliği sınıfı için rastgele orman modeli test seti başarı ölçütleri. .....265
Tablo 4.33: Birinci kümenin tedavi etkinliği modeli için CART algoritması eğitim seti. .....267
Tablo 4.34: Birinci kümenin tedavi etkinliği sınıfı için CART tahmin sonuçları. .....270
Tablo 4.35: Birinci kümedeki ülkelerin tedavi etkinliği sınıfı için CART modeli tahmininin karmaşıklık matrisi. .....271
Tablo 4.36: Birinci kümedeki ülkelerin tedavi etkinliği sınıfı için CART modeli tahmininin başarı ölçütleri. .....271
Tablo 4.37: Birinci kümenin tedavi etkinliği sınıfı için eğitim setinde yapılan rastgele orman algoritması tahminleri. .....273
Tablo 4.38: Birinci küme tedavi etkinliği sınıfı için rastgele orman modeli eğitim seti tahmininin karmaşıklık matrisi. .....274
Tablo 4.39: Birinci küme tedavi etkinliği sınıfı için rastgele orman modeli eğitim seti tahmininin başarı ölçütleri. .....274

Tablo 4.40: Birinci kümenin tedavi etkinliği rastgele orman modelinde açıklayıcı değişkenlerin farklı düzeylerde kullanım sıklığı. ..... 275
Tablo 4.41: Birinci kümenin tedavi etkinliği sınıfı için rastgele orman modelinin test seti tahmin sonuçları ..... 278
Tablo 4.42: Birinci küme tedavi etkinliği sınıfı için rastgele orman modeli test seti tahmininin karmaşıklık matrisi. ..... 278
Tablo 4.43: Birinci küme tedavi etkinliği sınıfı için rastgele orman modeli test seti başarı ölçütleri. ..... 279

# SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

| Kısaltmalar | Açıklama |
|---|---|
| **AB** | : Avrupa Birliği |
| **ADB** | : Asya Kalkınma Bankası |
| **AIDS** | : Kazanılmış İmmün Yetmezlik Sendromu |
| **ARDS** | : Akut Solunum Sıkıntısı Sendromu |
| **AT** | : Kişi Başına Toplam Alkol Tüketimi |
| **AUC** | : Eğri Altında Kalan Alan |
| **BCC** | : Banker-Charnes-Cooper Modeli |
| **BEK** | : Bulaşıcılıkla Mücadele Etkinliği Kodu |
| **BES** | : Bulaşıcılıkla Mücadele Etkinliği Skoru |
| **BM** | : Birleşmiş Milletler |
| **CART** | : Sınıflandırma ve Regresyon Ağaçları |
| **CCR** | : Charnes-Cooper-Rhodes Modeli |
| **CDC** | : ABD Hastalık Kontrol ve Önleme Merkezleri |
| **CDSCO** | : Merkezi İlaç Standart Kontrol Organizasyonu |
| **COVAX** | : COVID-19 Aşıları Küresel Erişim Programı |
| **COVID-19** | : Koronavirüs Hastalığı 2019 |
| **CRS** | : Ölçeğe Göre Sabit Getiri |
| **CSHY** | : Cepten Yapılan Sağlık Harcamalarının Sağlık Harcamalarındaki Payı |
| **DB** | : Dünya Bankası |
| **DBYS** | : Doğumda Beklenen Yaşam Süresi |
| **DHSC** | : Sağlık ve Sosyal Bakım Bakanlığı |
| **DP** | : Diyabet Prevalansı |
| **DRS** | : Ölçeğe Göre Azalan Getiri |
| **DSÖ** | : Dünya Sağlık Örgütü |
| **ECDC** | : Avrupa Hastalık Kontrol ve Önleme Merkezi |
| **EMA** | : Avrupa İlaç Kurumu |
| **ES** | : Etkinlik Skoru |
| **EUL** | : Acil Durum Kullanım Listesi |
| **FDA** | : ABD Gıda ve İlaç Dairesi |
| **FN** | : Yanlış Negatif |
| **FP** | : Yanlış Pozitif |

**GHS** : Küresel Sağlık Güvenliği
**GISAID** : Tüm İnfluenza Verilerinin Paylaşılmasında Küresel Girişim
**GK** : Gini Katsayısı
**GSMH** : Gayri Safi Milli Hasıla
**GSYİH** : Gayri Safi Yurt İçi Hasıla
**HDI** : İnsani Gelişme Endeksi
**HES** : Hemşire ve Ebe Sayısı (1000 Kişi Başına)
**HHS** : ABD Sağlık ve İnsan Hizmetleri Bakanlığı
**HIV** : İnsan İmmün Yetmezlik Virüsü
**HK** : Hava Kirliliği
**HS** : Hekim Sayısı (1000 Kişi Başına)
**HSRM** : Sağlık Sistemi Müdahale İzleme
**HYS** : Hastane Yatağı Sayısı (1000 Kişi Başına)
**IHRCCS** : Uluslararası Sağlık Düzenlemeleri Temel Yeterlik Skoru
**ILO** : Uluslararası Çalışma Örgütü
**InBag** : Torba İçi Veriler
**IRS** : Ölçeğe Göre Artan Getiri
**İSH** : Temel İçme Suyu Hizmetleri Kullanımı
**İY** : İşsizlik Yüzdesi
**KBMG** : Kişi Başına Milli Gelir
**KEH** : Kamu eğitim harcamalarının GSYİH içerisindeki payı
**KHY** : Genel Kamu Harcamalarının GSYİH İçerisindeki Payı
**KKD** : Kişisel Koruyucu Donanım
**KKS** : Kara Sınırı Olan Komşu Ülke Sayısı
**KNY** : Kentsel Nüfus Yüzdesi
**KÖH** : Kardiyovasküler Hastalıklara Bağlı Ölüm Hızı
**KS** : Kara Sınırı
**KSKHY** : Kamu Sağlık Harcamalarının Kamu Harcamaları İçerisindeki Payı
**KSSHY** : Kamu Sağlık Harcamalarının Sağlık Harcamaları İçerisindeki Payı
**KVB** : Karar Verme Birimi
**MERS-CoV** : Orta Doğu Solunum Sendromu Koronavirüsü
**MKBV** : Milyon Kişi Başına Vaka Sayısı
**MPSS** : En Verimli Ölçek Büyüklüğü
**N65** : 65 Yaş ve Üzeri Nüfusun Toplam Nüfus İçerisindeki Payı

**NAAT** : Nükleik Asit Amplifikasyon Testleri
**NCDC** : Ulusal Hastalık Kontrol Merkezi
**NHC** : Ulusal Sağlık Komisyonu
**NHS** : Ulusal Sağlık Sistemi
**NMPA** : Çin Ulusal Tıbbi Ürünler İdaresi
**NR** : Çoğalma Özelliği Olmayan
**NS** : Nüfus Sayısı
**NY** : Nüfus Yoğunluğu
**ODÇ** : Okul Dışı Çocuklar
**OECD** : Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü
**OO** : Okuryazarlık Oranı
**OOB** : Torba Dışı Veriler
**OP** : Obezite Prevalansı
**OxCGRT** : Oxford COVID-19 Kamu Müdahale İzleyicisi
**P** : Olasılık
**PHEP** : Halk Sağlığı Acil Durum Hazırlığı
**PHSM** : Halk Sağlığı ve Sosyal Önlemler
**ROC** : İşlem Karakteristik Eğrisi
**RT-PCR** : Ters Transkripsiyon Polimeraz Zincir Reaksiyonu
**SARS** : Şiddetli Akut Solunum Sendromu
**SARS-CoV-2** : Şiddetli Akut Solunum Sendromu Koronavirüsü 2
**SE20** : Sıkılık Endeksi 2020 Yılı Değeri
**SES** : Sağlık Departmanı
**SH** : Kişi Başına Sağlık Harcaması
**SHY** : Sağlık Harcamalarının GSYİH İçerisindeki Payı
**SMS** : Belediye Sağlık Departmanı
**SPI** : İstatistiksel Performans Göstergeleri
**SSE** : Hata Kareler Toplamı
**SUS** : Birleşik Sağlık Sistemi
**TAK21** : Tam Aşılanan Kişi Yüzdesi 2021 Yılı Değeri
**TEK** : Tedavi Etkinliği Kodu
**TES** : Tedavi Etkinliği Skoru
**TK** : Tütün Kullanımı Prevalansı
**TN** : Gerçek Negatif

**TP** : Gerçek Pozitif

**TSBK** : Bin Kişi Başına Test Sayısı

**TSH** : Temel Sanitasyon Hizmetleri Kullanımı

**UNICEF** : Birleşmiş Milletler Çocuklara Yardım Fonu

**VKİ** : Vücut Kitle İndeksi

**VÖH** : Vaka Ölüm Hızı

**VRS** : Ölçeğe Göre Değişken Getiri

**VZA** : Veri Zarflama Analizi

| **Simgeler** | **Açıklama** |
|---|---|
| $\mathbf{n}$ | : karar verme birimi sayısı |
| $\mathbf{m}$ | : kullanılan girdileri |
| $\mathbf{s}$ | : üretilen çıktıları, |
| $\mathbf{x_{ij}}$ | : j. karar biriminin i. girdi miktarı |
| $\mathbf{y_{rj}}$ | : j. karar biriminin r. çıktı miktarı |
| $\boldsymbol{\mu_r}$ | : r. çıktı miktarına verilen ağırlığı, |
| $\boldsymbol{v_i}$ | : i. girdi miktarına verilen ağırlığı |
| $\boldsymbol{\varepsilon}$ | : 0'dan büyük arşimedgil olmayan bir sayı |
| $\boldsymbol{\theta^*}$ | : etkinlik skoru |
| $\boldsymbol{\theta}$ | : girdilerin ne kadar azaltılabileceğini gösteren büzülme katsayısı |
| $\boldsymbol{\phi}$ | : çıktıya ait genişleme katsayısı |
| $\boldsymbol{\lambda_j}$ | : j. karar biriminin yoğunluk değeri |
| $\mathbf{s_i^-}$ | : girdilerdeki aylak (slack) değerleri |
| $\mathbf{s_r^+}$ | : çıktılardaki aylak değerleri |
| $\mathbf{\hat{x}_{io}}$ | : o. karar biriminin etkin olması için i. girdide yapılması gereken değişiklik |
| $\boldsymbol{\hat{y}_{ro}}$ | : o. karar biriminin etkin olması için r. çıktıda yapılması gereken değişiklik |
| $\mathbf{y_{rj}^b}$ | : j. karar biriminin r. istenmeyen çıktı miktarı |
| $\boldsymbol{v_r}$ | : dönüşüm vektörü |
| $\boldsymbol{O_q^-}$ | : istenmeyen çıktı değişkeni |
| $\boldsymbol{O_p^+}$ | : istenen çıktı değişkeni |
| $\mathbf{d}_i$ | : $i$. gözlemin özellikler kümesi |
| $\boldsymbol{k}$ | : optimum küme sayısı |
| $\boldsymbol{p_k}$ | : $D$ mevcut veri setindeki $k$. sınıfın oranı |

# ÖZET


## [DOKTORA TEZİ]

### COVID-19 ile MÜCADELEDE ÜLKELERİN ETKİNLİĞİNİN VERİ ZARFLAMA ANALİZİ ve MAKİNE ÖĞRENMESİ ile DEĞERLENDİRİLMESİ

**[Faruk YILMAZ]**

**İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa**
**Lisansüstü Eğitim Enstitüsü**
**Sağlık Yönetimi Anabilim Dalı**
**Sağlık Yönetimi, Doktora Programı**

**[Danışman : Prof. Dr. İlhan Kerem ŞENEL ]**

COVID-19 pandemisi ile mücadelede ülkeler sağlık sistemlerinin hem bulaşıcılıkla mücadele hem de tedavi etkinliğini sağlayarak pandeminin morbidite ve mortalite etkisini önlemeye ve sınırlamaya çalışmıştır. Ülkelerin mevcut kaynakları ve farklı müdahale bileşenleri ile gösterdiği faaliyetlerdeki etkinlik düzeyleri çeşitli faktörlerin etkisiyle farklılık göstermiştir. Bu araştırmada kaynak bileşenleri açısından farklı hazırlık ve gelişmişlik düzeyindeki ülkelerin belirlenmesi, bu ülkelerin bulaşıcılıkla mücadele ve tedavi etkinlik düzeylerinin ölçülmesi ve etkinlik durumunu açıklayan faktörlerin ortaya çıkarılması amaçlanmaktadır. Bu kapsamda ilk aşamada k-ortalamalar algoritması ile ülkelerin kümelendiği, ikinci aşamada Veri Zarflama Analizi ile ülkelerin bulaşıcılıkla mücadele ve tedavi etkinlik düzeylerinin belirlendiği ve son aşamada ise CART ve rastgele orman algoritmaları ile etkinlik sınıfını açıklayan değişkenlerin belirlendiği üç aşamalı bir yaklaşım kullanılmıştır. Araştırmada ilk aşamada insani gelişme endeksi, istatiksel performans endeksi ve küresel sağlık güvenliği endeksi göstergeleri ile yapılan analiz sonucunda ülkeler iki kümeye bölünmüştür. İkinci aşamada yapılan bulaşıcılıkla mücadele etkinliği analizinde ilaç dışı müdahalelerin göstergesi olan sıkılık endeksi ve ilaç müdahalelerinin göstergesi olan tam aşılanan kişi yüzdesinin girdi değişkeni, milyon kişi başına vaka sayısı ise çıktı değişkeni olarak kullanılmıştır. Tedavi etkinliği analizinde ise kişi başına sağlık harcaması, hastane yatağı sayısı ve sağlık çalışanı sayısı girdi değişkeni, vaka ölüm hızı ise çıktı değişkeni olarak yer almıştır. Üçüncü aşamada her iki kümenin etkinlik sınıflarını açıklamak üzere yapılan analizler sonucunda bulaşıcılıkla mücadele etkinliğini birinci kümede kişi başına sağlık harcaması, kentsel nüfus yüzdesi ve kişi başına gelir değişkenleri; ikinci kümede ise bin kişi başına test sayısı, kişi başına sağlık harcaması ve kişi başına gelir değişkenleri önem düzeyi yüksek değişkenler olarak sıralanmıştır. Birinci kümenin tedavi etkinliğini açıklamak üzere yapılan analizde ise kara sınırı, tam aşılanan kişi yüzdesi ve kişi başına gelir değişkenleri önem düzeyi yüksek değişkenler olarak sıralanmıştır. Bu sonuçlar ülkelerin gelecek pandemilere karşı mücadelede etkin ülkeleri referans alabilmesi ve mücadele süreçlerini kendine özgü dinamiklerle değerlendirebilmesi için önemli bir temel sağlayacaktır.
Temmuz 2023 , [361] sayfa.


**Anahtar Kelimeler:** COVID-19, etkinlik, kümeleme, makine öğrenmesi, veri zarflama analizi.

# ABSTRACT


## Ph.D. THESIS

### ASSESSING COUNTRIES' EFFICIENCY in FIGHT AGAINST COVID-19 by DATA ENVELOPMENT ANALYSIS and MACHINE LEARNING

**Faruk YILMAZ**

**İstanbul University-Cerrahpaşa**
**Institute of Graduate Studies**
**Department of Health Management**
**Health Management Program**

**Supervisor : Prof. Dr. İlhan Kerem ŞENEL**

In the fight against COVID-19 pandemic, countries have tried to prevent and limit the morbidity and mortality effects of the pandemic by providing both the efficiency against contagiousness and the efficiency of treatment in their health systems. The efficiency levels of the countries in their activities with the available resources and different intervention components differed under the influence of various factors. In this study, it is aimed to determine the countries with different levels of preparedness and resource components, to measure the efficiency of these countries in the contagion control and treatment, and to reveal the factors that explain the efficiency class of these countries. In this context, a three-stage approach is used in which countries are clustered with the k-means algorithm in the first stage, the contagion control and treatment efficiency levels of the countries are determined by Data Envelopment Analysis in the second stage, and the variables explaining the efficiency class are determined with the CART and random forest algorithms in the last stage. As a result of the research, in the first analysis made with human development index, statistical performance index and global health security index indicators, countries are divided into two clusters. In the contagion control efficiency analysis, the stringency index, which is an indicator of non-pharmaceutical interventions, and the percentage of fully vaccinated people, which is the indicator of pharmaceutical interventions, are included as input variables, and the number of cases per million population is included as output variable. In the analysis of treatment efficiency, health expenditure per capita, the number of hospital beds and the number of health workers are included as input variables, and the case fatality rate is included as output variable. In the third stage, as a result of the analysis made to explain the contagion control efficiency classes of both clusters, in the first cluster, the health expenditure per capita, urban population percentage and GDP per capita variables, and in the second cluster, the number of tests per thousand people, health expenditure per capita and GDP per capita variables are listed as variables with high level of importance. In the analysis made to explain the treatment efficiency of the first cluster, the land border, the percentage of people fully vaccinated, and GDP per capita variables are listed as variables with high level of importance. These results will provide an important basis for countries to take efficient countries as a reference in the fight against the future pandemics and to evaluate their struggle processes with their own dynamics.



July 2023, 361 pages.
**Keywords:** COVID-19, efficiency, clustering, machine learning, data envelopment analysis

# 1. GİRİŞ

COVID-19 hastalığının küresel çapta hızla yayılması, hem bireyler hem de bir bütün olarak halk sağlığı üzerinde pek çok yönden yıkıcı bir etkiye yol açmıştır. Küresel krize neden olan COVID-19 gibi bulaşıcı hastalıkların birey ve toplum sağlığı üzerindeki olumsuz etkilerini önlemenin ya da hafifletmenin vazgeçilmez unsuru güçlü bir sağlık sisteminin varlığıdır. Özellikle bulaşıcı hastalıkların yol açtığı şoklara karşı proaktif önlemlerin alınması ve halk sağlığının korunması için sağlık sistemlerinin pek çok bileşeni ile hazır duruma getirilmesi önemli ve gereklidir. Bu açıdan sağlık sistemlerinin vazgeçilmez bir hizmet bileşeni olan koruyucu sağlık hizmetleri kapsamında gerçekleştirilen bulaşıcılığı önlemeye yönelik çabalar etkili bir müdahalenin kritik bir parçasıdır. Koruyucu sağlık hizmetleri ile müdahale bulaşıcı hastalıkların önlenmesinde bir ölçüde başarı sağlasa da, genelde pandemiye yol açan bulaşıcı hastalıklarda belirli bir sayıda vaka kaçınılmaz olarak görülmektedir. Bu durumda sağlık sistemlerinin mevcut müdahale imkanları dahilinde hastalığın şiddetine göre sunacağı tedavi hizmetleri önemli bir role sahiptir. Bu hizmetlerin birey ve toplum sağlığı üzerindeki mutlak önemine rağmen, hizmetlerin etkin bir şekilde sunumunu belirli düzeyde sınırlayan çeşitli etmenler söz konusu olabilmektedir.

Genel olarak sağlık hizmetlerinin kendisinin doğrudan bir değişim değeri üretmediği, ancak dolaylı olarak ürettiği değerin ölçülebileceği bilinmektedir. Bu değer sağlık hizmeti üretimine katılan emek gücü, teknoloji ve araç gereçlerin değerlerinden oluşmaktadır. Sağlık hizmeti üretiminde toplumda üretilen değişim değerinin bir kısmı kullanıldığı için ara bir sektör olarak değerlendirilmektedir. Sağlık hizmetlerinin üretilmesi ulusal gelire doğrudan katkı sağlamasa da, ulusal geliri oluşturan malları üreten emek gücünü yeniden üretime kazandırmasıyla dolaylı olarak değer üretmektedir. Buna göre koruyucu ya da tedavi edici sağlık hizmetlerinin sunulması ile üretime devam eden işçilerin ürettiği değer sağlık hizmetlerinin değerini göstermektedir. Bu kapsamda sağlık sistemlerine aktarılan kaynaklar yeterli ulusal gelire sahip olmayan gelişmemiş ülkelerde ve ekonomik kriz durumlarında önemli ölçüde sınırlandırılmaktadır. Ancak pandemi gibi küresel halk sağlığı sorunlarının yaşandığı durumlarda sağlık hizmetlerine olan talep artacağından mevcut kaynaklar artan düzeyde sağlık sektörüne yönlendirilmektedir. Bunun en temel gerekçeleri sağlık hizmetlerinin ikame

edilemez oluşu ve diğer sektörlerdeki aktif değer üretimi için sağlık hizmetlerinin kaçınılmaz rolüdür. Bu nedenle sağlığı normal şartlarda piyasa koşullarına bırakan ülkelerde dahi pandemi gibi acil halk sağlığı durumlarında sağlık sistemlerinin güçlendirilmesi için yoğun kaynak aktarımı tercih edilmekte ve sağlığa artan düzeyde kamusal harcamalar yapılmaktadır. Pandemi durumlarında kaynakların imkanlar ölçüsünde sağlık sektörüne aktarılmasına yönelik ortak küresel çabalar mevcut olmakla birlikte, bu durum politik kararlarda yeknesak bir tutumun söz konusu olduğu anlamına gelmemektedir.

Koruyucu ve tedavi edici sağlık hizmetlerinin bir sağlık sisteminin temel amaçlarından biri olan sağlık düzeyini iyileştirmedeki kritik rolüne rağmen, birçok ülke bu amaca ulaşmada farklı kurum, organizasyon, mülkiyet, finansman ve müdahale bileşenlerini farklı düzeylerde kullanmayı içeren bir sistem oluşturmayı tercih etmiştir. Pandemi gibi halk sağlığı krizlerine sağlık sistemlerinin farklı düzeylerde hazırlığı, ülkelerin gelişmişlik düzeyi, demografik yapısı, kültür, sağlık düzeyi gibi pek çok faktörün etkisi ile birlikte hükûmetler farklı müdahale unsurlarının farklı düzeylerde kullanımını kapsayan politik tercihler yapmıştır. Bu kapsamda halk sağlığını korumaya yönelik maske ve diğer kişisel koruyucu donanımların (KKD) kullanımı, el hijyeni, çevresel temizlik, sosyal mesafe önlemleri, etkinlik ve seyahat kısıtlamaları gibi bireysel, çevresel ve toplum düzeyindeki ilaç dışı müdahalelerin kullanımı ile aşılama, hastalığın tanı ve tedavisine yönelik ilaç müdahalelerinin kullanımı ülkeler arası farklılıklar göstermiştir. Müdahaledeki bu farklılıklar ülkelerin değişen düzeylerde başarı ya da başarısızlıkla karşılaşmasına yol açmıştır.

COVID-19 hastalığı ile mücadelede mevcut deneyimler, sağlık sistemlerinin halk sağlığı krizlerine hazırlık ve yanıtlarındaki farklılıkların bulaşıcılıkla mücadele ve tedavi etkinliği olmak üzere iki ayrı boyutta değerlendirilmesinin ve buna göre ülkelerin başarı durumlarının analiz edilmesinin önemini ortaya koymuştur. Yapılacak bu analizlerle farklı ülkelerin pandemiye karşı mücadeledeki etkinlik düzeylerinin belirlenmesi ve etkinlik durumunu açıklayan faktörlerin ortaya çıkarılması politika yapıcılar ve karar vericiler için rehber olması yönüyle kilit bir öneme sahiptir. Bu kapsamda ülkelerin hazırlık ve müdahale düzeylerini farklı yönleriyle ele alan çeşitli endeks çalışmaları, sağlık sistemlerinin pandemiye hazırlık ve müdahale düzeyleri hakkında bilgi sağlamaktadır. Bu endekslerden faydalanarak ülkelerin etkinliğini değerlendirmeye yönelik literatürde yapılan çalışmalar olsa da, devam eden COVID-19 pandemisi ile ilgili ülkelerin mücadele süreçlerinde etkinliği sürdürebilmesi ve ileride yaşanabilecek pandemilere hazırlıklı olabilmesi için yeni veriler ile daha kapsamlı

değerlendirmelerin yapılmasına ihtiyaç vardır. Bu doğrultuda araştırmada öncelikli olarak gelişmişlik düzeyi, sağlık kaynakları ve veri güvenilirliği açısından benzer karakteristiğe sahip ülkelerin belirlenmesi, bu ülkelerin mevcut kaynakları ve uyguladıkları stratejiler temelinde COVID-19 ile mücadelede etkinlik düzeylerinin bulaşıcılıkla mücadele ve tedavi etkinliği olarak belirlenmesi ve etkin olmasını açıklayan faktörlerin ortaya çıkarılması amaçlanmaktadır.

Tezin 'Kavramsal Çerçeve' başlığı altındaki ilk alt bölümde pandemi ile ilgili temel ölçütlere ve pandemilerin tarihçesine, ikinci alt bölümde ise COVID-19 pandemisinin başlangıcından itibaren yaşanan küresel gelişmelere, virüsün bulaşıcılığı, risk grubundaki hastalar, hastalığın tanı ve tedavisinde kullanılan yöntemler, hastalıkla mücadele kapsamında uygulanan ilaç ve ilaç dışı müdahale önlemleri ve müdahale düzeylerini ölçmede kullanılan çeşitli endeks ve göstergeler ile ilgili bilgilere yer verilecektir.

Kavramsal çerçeve başlığı altında yer alan üçüncü bölümde ise sağlık sistemlerinin temel bileşenlerine, sağlık sistemlerinde etkinlik ölçümü, analizi ve değerlendirilmesine yönelik yaklaşımlara, pandemi ile mücadelede uluslararası kurumların rehberlik faaliyetlerine, pandeminin epidemiyolojik olarak değerlendirilmesine, seçili ülkelerde COVID-19 pandemi sürecinin gelişimine ve müdahale yaklaşımlarının uygulanma düzeylerine, COVID-19 ile küresel mücadelede hazırlık süreçlerine, uygulanan politikalarda ülkeler arası farklılıklara ve geleceğe yönelik yapılacak çıkarımlara yer verilecektir.

Kavramsal çerçeve başlığı altında yer alan dördüncü bölümde ülkelerin etkinlik düzeylerinin ölçülebilmesi ve değerlendirilebilmesi için kullanılacak olan Veri Zarflama Analizi ile ilgili teorik bilgilere; beşinci bölümünde araştırmada yapılacak analizlerde kullanılacak diğer yöntemlerin ana başlığı olan makine öğrenmesinin kavramsal çerçevesi, bileşenleri ve tekniklerine, son bölümünde ise çeşitli karar birimlerinin COVID-19 ile mücadelesini analiz eden çalışmaların yer aldığı literatür özetine yer verilecektir.

Tezde yöntem başlığı altında araştırmanın amacı ve önemi, araştırmanın evreni ve veri toplama süreci, araştırmanın sınırlılıkları ve etik boyutu, araştırma kapsamında kullanılacak olan yöntemler olan k-ortalamalar, istenmeyen çıktılara dönüşüm uygulayan Veri Zarflama Analizi, CART ve rastgele orman algoritmalarına ilişkin bilgiler ile araştırma tasarımı, uygulama adımları, kullanılan değişkenler ve modellere yer verilecektir. Araştırma modeli üç aşamalı olarak tasarlandığı için analizler sonucunda elde edilen bulgular üç alt başlık alltında sunulacaktır. Tartışma bölümünde çalışmada elde edilen bulguların literatürdeki çalışmalarla benzerlik ve farklılıkları değerlendirilecek ve özgün yönleri vurgulanacaktır.

# 2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

## 2.1. PANDEMİ ve GENEL ÇERÇEVESİ

'Pandemi' terimi ilk olarak 1666'da bir ülkede sürekli yayılan bir hastalığı tanımlamak için kullanılmıştır. Zamanla terminoloji geliştikçe bir hastalığın ne sıklıkta ve coğrafi olarak ne kadar yaygın olduğunu ifade edebilmek için sporadi, endemi, epidemi ve pandemi gibi farklı kavramlar tanımlanmıştır. Bu kavramlar yalnızca enfeksiyonlar için değil, aynı zamanda kanser ve hipertansiyon gibi bulaşıcı olmayan hastalıkları tanımlamak için de kullanılmaktadır. Belirli bir popülasyonda bazı hastalıklar oldukça yaygın olarak görülürken, bazı hastalıklar (kuduz, veba, çocuk felci vb.) çok nadir görülür ve tek bir vaka bile bir salgının başlangıcı olabileceği için epidemiyolojik araştırma gerektirir. Bu şekilde seyrek ve düzensiz olarak ortaya çıkan bir hastalık sporadi olarak tanımlanır. Endemi ise bir hastalığın veya enfeksiyöz ajanın aynı bölgedeki bir kasaba, ülke ve hatta bir kıta olabilecek bir popülasyonu etkilemesi durumudur. Bir topluluktaki hastalık miktarı nadiren beklenen seviyenin üzerine çıkar. Epidemi, bir hastalık vakasının sayısında, o bölgedeki popülasyonda normalde beklenenin üzerinde ve genellikle ani bir artışın olduğu ve endeminin daha geniş bir coğrafi alana yayıldığı bir hastalık salgınıdır. Pandemi ise, birden fazla kıtaya yayılan ve genellikle çok sayıda insanı etkileyen bir salgın olarak tanımlanmaktadır (Sampath ve diğ., 2021; Dicker ve diğ., 2012: 72). Pandeminin bu net olmayan sınırlardaki klasik tanımları popülasyon bağışıklığı, viroloji veya hastalık şiddeti hakkında hiçbir şey içermediği için tartışmalara yol açabilmektedir. Klasik tanımlara göre, uluslararası sınırları aşan ve çok sayıda insanı etkileyen mevsimsel epidemilerin her yıl pandemiye yol açtığı söylenebilir. Ancak mevsimsel epidemiler pandemi olarak sayılamaz. Dünya çapında neredeyse eşzamanlı bulaşma gerçekleştiğinde ancak gerçek bir influenza pandemisi söz konusu olabilir (Kelly, 2011). Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ) ise pandemiyi "insan popülasyonunda önceden bağışıklığın çok az olduğu veya hiç olmadığı yeni bir influenza virüsünün neden olduğu küresel bir salgın" olarak tanımlamıştır (WHO, 2019: 3). Bu tanımda influenza pandemileri, bağışıklığın düzeyi üzerinden tanımlanmış ve bu yönüyle yalnızca etkilediği coğrafi alanı esas alan klasik pandemi tanımlarından farklılaşmıştır.

Pandemi kavramının kabul görmüş tek bir tanımı olmasa da, tarih boyunca görülen ve pandemi olarak tanımlanan hastalıklar ele alınarak bu pandemilerin benzer ve farklı yönleri incelebilir ve bu sayede ortak bir çerçeve çizilmesi mümkün olabilir. Pandemi olarak tanımlanan hastalıklar bazı temel açılardan birbiri ile benzer ya da farklıdır. Buna göre pandemileri tanımlamada geniş coğrafi kapsam, hastalık hareketi, yüksek yayılma hızı,

minimum nüfus bağışıklığı, yeni ortaya çıkmış olma, bulaşıcılık, bulaş kaynağı ve hastalık şiddeti gibi yönler ele alınmaktadır. Tarih boyunca görülen pandemiler çok farklı etiyolojilere sahip olan ve çeşitli epidemiyolojik özellikler sergileyen hastalıkları içermektedir. Tüm pandemilerin değişmeyen tek ortak yönünün geniş coğrafi kapsam olduğunu söylemek mümkündür. Bununla birlikte pandemiler hastalık hareketi, popülasyon bağışıklık düzeyi ve yüksek yayılma hızı yönleriyle genelde benzerlik göstermektedir (Morens ve diğ., 2009).

### 2.1.1. Pandemi ile İlgili Temel Ölçütler

Günümüzde teknolojik gelişmelerin sağlık alanında sağladığı en önemli katkılardan biri sağlık verilerinin toplanması, kayıt altına alınması ve değerlendirilmesi süreçlerinin çok daha etkin yürütülebilmesidir. Özellikle pandemi dönemlerinde hastalığın çok daha geniş coğrafyaları etkileyen boyuta ulaşması, sağlık durumlarının daha yakından değerlendirilmesine imkan sağlayacak ölçütlerin kullanılmasını zorunlu kılmıştır. Bu kapsamda bir ülkenin ya da bölgenin sağlık durumunu tanımlarken en genelde mortalite ve morbidite olmak üzere iki tür bilgi kullanılmaktadır. Bunlardan mortalite, belirli bir popülasyonda belirli bir zaman aralığında ölüm meydana gelme sıklığı ile ilgili ölçütleri; morbidite ise fizyolojik veya psikolojik iyi olma durumundan öznel veya nesnel herhangi bir ayrılmayı ifade eden hastalık durumları ile ilgili ölçütleri kapsamaktadır (Choi ve diğ., 2019). DSÖ tarafından yayınlanan "100 Temel Sağlık Göstergesi Global Referans Listesi" sağlık durumu göstergelerini; yaş ve cinsiyete göre mortalite, nedene göre mortalite, fertilite (doğurganlık) ve morbidite alt başlıklarında yer alan seçili göstergeler ile açıklamıştır (WHO, 2018).

Teknolojik gelişmeler veri kayıt, izleme ve değerlendirme süreçlerini kolaylaştırmakla birlikte, özellikle morbidite verilerinin toplanmasında başlıca gözetim sistemleri ve örnekleme araştırmalarından faydalanmak gereklidir. Bu nedenle morbidite verilerinde kullanılan yöntemlerin maliyetli süreçleri gerektirmesi, daha çok pandemi gibi halk sağlığı problemlerinde bu verilerin toplanmasına yol açmıştır. Buna göre mortalite ve morbidite gibi sağlık durumu göstergeleri yanında, bulaşıcı hastalıklarda; salgının yayılma hızı, kullanılan tanı ve tedavi yöntemleriyle ilgili diğer ölçütler izlenmektedir. Bu bölümde pandemi durumlarında sıklıkla izlenen temel ölçütlerin açıklamalarına yer verilmiştir (Choi ve diğ., 2019; WHO, 2018).

#### *2.1.1.1. Mortalite Ölçütleri*

*Kaba ölüm hızı*: En sık kullanılan ve kolay elde edilen mortalite ölçütü olan kaba ölüm hızı, bir toplumda belirli bir zaman aralığında tüm ölüm nedenlerinden kaynaklanan ölüm sıklığını ifade etmektedir (CDC, 2015; Dicker ve diğ., 2012: 3-20).

*Mortalite hızı*: Belirli bir zaman aralığında bir toplumda belirli bir hastalıktan ölenlerin sıklığını ifade eden ölçüttür (Dicker ve diğ., 2012: 3-20). Mortalite hızı yaşa, cinsiyete, ırka veya nedene özgü olarak hesaplanabilir (WHO, 2018).

*Yaşa özgü mortalite hızı:* Belirli bir zaman aralığında bir toplumda belirli bir yaş grubunda ölenlerin o yaş grubu içerisindeki sıklığını ifade eden mortalite hızıdır (Dicker ve diğ., 2012: 3-21). 15-60 yaş arası yetişkin ölüm hızı buna örnek olarak verilebilir (WHO, 2018).

*Cinsiyete özgü mortalite hızı*: Erkekler veya kadınlar arasındaki ölüm sıklığını ifade eden mortalite hızıdır. Hem pay hem de payda belirlenen cinsiyet ile sınırlandırılır (CDC, 2015).

*Irka özgü ölüm hızı:* Belirli bir ırk grubunun ölüm sıklığını ifade eden mortalite hızıdır. Hem pay hem de payda belirlenen ırk ile sınırlandırılır (CDC, 2015).

*Nedene özgü mortalite hızı:* Belirli bir zaman aralığında bir toplumda belirli bir nedenden ölüm sıklığını ifade eden mortalite hızıdır (Dicker ve diğ., 2012: 3-21). Kazanılmış İmmün Yetmezlik Sendromu (AIDS) mortalite hızı buna örnek olarak verilebilir (WHO, 2018).

*Birleşik mortalite hızı*: İki veya daha fazla alt mortalite hızının bileşimi ile hesaplanan spesifik bir ölçüttür. 45-54 yaş arası kadınların kalp hastalıklarından ölüm hızı buna örnektir (Dicker ve diğ., 2012: 3-23).

*Vaka ölüm (fatalite) hızı*: Mortalite ölçütü olan vaka ölüm hızı (VÖH), belirli bir zaman aralığında belirli bir hastalıktan ölenlerin o hastalığa yakalananlar içerisindeki sıklığını ifade eden ölçüttür. Genellikle yüzde katsayısı ile ifade edilir. Nedene özgü mortalite hızından farkı, paydada popülasyon yerine hastalığa yakalananların yer almasıdır (Dicker ve diğ., 2012).

*Orantılı mortalite hızı*: Belirli bir zaman aralığında belirli bir hastalığa atfedilen ölüm sayısının, tüm nedenlere bağlı ölümlere bölünerek 100'de katsayısı ile ifade edilmektedir (CDC, 2015). Türkiye'de 2019 yılı verilerine göre dolaşım sistemi hastalıkları %37 ile birinci sırada yer almaktadır (T.C. Sağlık Bakanlığı, 2022a). Yaşa özel orantılı ölüm hızı da hesaplanabilmektedir (WHO, 2018).

*Kaybedilen potansiyel yaşam yılları*: Önceden belirlenen bir bitiş noktası esas alınarak (65 yaş veya ortalama yaşam süresi vb.) erken ölümlerin bir popülasyon üzerindeki etkisini ortaya çıkarmak için hesaplanan ölçüttür. Bu hesaplama erken yaşlardaki ölümü ileri yaştaki ölümlerden daha önemli görerek daha fazla ağırlık vermekte ve ileri yaştaki ölümleri değersizleştirmektedir (Dicker ve diğ., 2012: 3-33).

#### *2.1.1.2. Morbidite Ölçütleri*

*İnsidans*: Morbidite ölçütü olan insidans, tanımlanmış bir zaman aralığında risk altındaki bir popülasyonda ortaya çıkan yeni vakaların sayısıdır (Dicker ve diğ., 2012: 3-10).

*Atak (insidans) hızı*: Tanımlanmış bir zaman aralığında bulaşıcı hastalığa yakalanan yeni vakaların zaman aralığı başlangıcında risk altındaki popülasyona bölünmesi ile hesaplanmaktadır (CDC, 2015). Cinsiyete ya da yerleşim yerine özgü hesaplanabilir (WHO, 2018).

*Sekonder (ikincil) atak hızı*: Birincil vakaların temaslı olduğu grupta yeni vakaların görülme sıklığını hesaplamaktadır. Örneğin 20 hane ve toplam 200 kişinin yaşadığı bir köyde 20 COVID-19 hastası bulunmaktadır. Birincil vakalarla temas sonucunda aynı köyde 45 yeni vaka gelişmesi durumunda sekonder atak hızı (45/(200-20)*100) %25 olarak hesaplanır (Dicker ve diğ., 2012: 3-12).

*Kişi-zaman hızı*: Uzun vadeli kohort çalışmalarında gözlemlenen kişilerin takipten çıkması durumunu dikkate almak için, kişilerin takip edildiği zamanı payda kısmında hesaba katarak yeni vaka sayısının zaman bazında değerlendirildiği insidans türüdür (Dicker ve diğ., 2012: 13).

*Prevalans*: Morbidite verisi olan prevalans, belirli bir zamanda bir popülasyondaki belirli bir hastalığa ait hem yeni hem de mevcut tüm vakaların sayısıdır. Prevalans, belirtilen zamandaki tüm vakaları içerirken; insidans yalnızca yeni vakalarla sınırlıdır. Bir toplumda belirli bir andaki tüm vakaların popülasyona bölünmesi ile *nokta prevalans*, bir zaman aralığındaki (ay, yıl vb.) tüm vakaların popülasyona bölünmesi ile *süre prevalans* hesaplanmaktadır (Dicker ve diğ., 2012: 3-16).

#### *2.1.1.3. Diğer Ölçütler*

*R0 değeri*: Virüs gibi enfeksiyöz ajanların bulaşıcılığını/bulaşabilirliğini tanımlamak üzere çeşitli varsayımlar kullanılarak geliştirilen ve karmaşık matematiksel modellerle tahmin edilen bir ölçüttür. Belirli bir zamanda, her bir vakanın yol açtığı yeni vakaların ortalama sayısıdır. COVID-19 için 2-3 arasında bulunması, bir kişinin hastalığı ortalama 2-3 kişiye bulaştırdığını göstermektedir (Kaiser Family Foundation, 2022). Virüsün bulaşıcılığı yanında toplumun davranışları da bu değeri etkilemektedir. Daha yüksek R0 değerinin hastalığın toplamda daha çok kişiyi etkileyeceği anlamına gelmediğine dikkat etmek gerekir. Buna göre mevsimsel grip yaklaşık 1,3 R0 değeri ile milyonları etkilerken, SARS 2 ila 5 arasında bir R0 değeri ile yalnızca 8.098 kişiyi enfekte etmiştir (Upham, 2020).

*Rt değeri*: Salgın boyunca gerçekleştirilen çeşitli müdahalele uygulamaları ile değişen R0 değerinin belirlenen zaman içindeki değerini ifade eder. Bulaşma katsayısı 't' zamanında 1'in üzerinde olması durumunda salgının devam ettiği, altında olması durumunda salgının kontrol altına alındığı şeklinde yorumlanır (T.C. Sağlık Bakanlığı, 2021a).

*Risk oranı:* Göreceli risk ya da rölatif risk olarak da adlandırılan risk oranı, demografik faktörler ya da şüpheli risk faktörüne maruziyet bakımından iki farklı grup arasında bir sağlık olayının (hastalık, yaralanma, risk faktörü veya ölüm) riskini karşılaştırmaktadır. Bu oran maruz kalan grubun riskinin (insidans oranı, atak hızı) diğer grubun riskine (insidans oranı, atak hızı) bölünmesi ile hesaplanır. Oranın 1 olması eşit riskin olduğunu, 1'den büyük olması ise maruziyetin artan riske sebep olduğunu gösterir (Dicker ve diğ., 2012: 3-40).

*Olasılık (odds) oranı*: Çapraz çarpım oranı olarak bilinen ve vaka-kontrol çalışmalarında kullanılan bu oran, iki kategorili maruziyet ve sağlık sonucu arasındaki ilişkiyi risk oranından farklı olarak ölçmektedir. Maruziyeti olan ve hasta olan kişi sayısının (a) maruziyeti olup hasta olmayan kişi sayısına (b) bölümünün, maruziyeti olmadan hasta olan kişi sayısının (c) maruziyeti olmayan ve hasta olmayan kişi sayısına (d) bölümü ile çarpılarak [(a/b)*(c/d)] elde edilir (Dicker ve diğ., 2012: 3-45).

*Atfedilen risk oranı*: Atfedilen risk yüzdesi olarak da bilinen bu oran, nedensel bir faktörün halk sağlığı etkisinin bir ölçüsüdür. Maruz kalan gruptaki hastalık riskinin maruz kalmayan gruptaki riskten daha yüksek olması durumunda farkın maruz kalmaya atfedilebileceği varsayılmakta ve maruz kalmanın ortadan kaldırılabilmesi durumunda hastalıkta beklenen azalmayı temsil eder. Yorumlanması hassas olan ve potansiyel olarak yanıltıcı bir risk ölçüsüdür. Bu nedenle bir durumdan tek bir risk faktörü sorumlu olduğunda atfedilebilir oran uygun kullanılmış olur. Maruz kalan grup için hesaplanan riskin maruz kalmayan grup için hesaplanan riskten çıkarılarak maruz kalan grup için riske oranlanması ile yüzde olarak hesaplanmaktadır (Dicker ve diğ., 2012: 3-48; Saracci ve Vineis, 2007).

*Aşı etkinlik oranı*: Bir aşının hastalığı önlemede ne düzeyde etkili olduğunu açıklamada kullanılan bir ölçüttür. Aşı etkinliği veya aşı etkililiği olarak da ifade edilen bu ölçüt ile aşılanmamış kişilere göre aşılanmış kişiler arasında hastalık riskindeki azalma yüzdesi belirlenmektedir. *Aşı etkinliği*, aşının klinik deneylerdeki performansını, *aşı etkililiği* ise gerçek dünya gözlemsel çalışmalardaki performansını ifade etmektedir (CDC, 2022a). Aşılanmamışlar arasındaki riskten aşılanmışlar arasındaki risk çıkarılarak risk farkı (aşırı risk) elde edilir. Bu

değerin aşılanmamışlar arasındaki riske bölünmesi ile aşı etkinlik oranı elde edilir (Dicker ve diğ., 2012: 3-49).

*Geçerlilik ve güvenilirlik*: Tarama testlerinde bir kişide hastalık olmadığında bir testin pozitif çıkması (Tip 1 hata) veya kişi hastalığa sahip olduğunda testin negatif çıkması (Tip 2 hata) mümkündür. Bu nedenle her tarama testinin güçlü geçerlilik ve güvenilirliğe sahip olması gereklidir. Geçerlilik "bir testin ölçmesi gereken şeyi gerçekte ne kadar iyi ölçtüğünü"; güvenilirlik ise "testin zaman içinde kullanımda ne kadar iyi performans gösterdiğini" diğer bir ifade ile farklı yer veya popülasyonlarda testin tekrarlanabilirliğini tanımlamaktadır. Duyarlılık ve özgünlük bir testin geçerliliği için kullanılan iki önemli ölçüttür (Merrill, 2017: 233).

*Duyarlılık*: Hassasiyet ya da sensitivite olarak bilinen bir geçerlilik ölçütüdür. Testin hastalığı olanları ne kadar doğru bir şekilde tanımladığını göstermektedir. Test ile gerçek pozitif (TP) çıkanların sayısının, gerçek pozitif ve yanlış negatif (FN) çıkanların toplamına bölünmesi [TP/(TP+FN)] ile hesaplanmaktadır (Merrill, 2017: 234).

*Özgünlük*: Spesifite olarak da bilinen bir diğer geçerlilik ölçütü, testin hastalığı olmayanları ne kadar doğru bir şekilde tanımladığını göstermektedir. Test ile gerçek negatif (TN) çıkanların sayısının, yanlış pozitif (FP) ve gerçek negatif çıkanların toplamına bölünmesi [TN/(FP+TN)] ile hesaplanmaktadır. Bir başka geçerlilik ölçütü olan *doğruluk oranı* ise, test ile gerçek pozitif ve gerçek negatif çıkanlarının toplamının teste tabi tüm vakalara bölünmesi [(TP+TN)/(TP+TN+FP+FN)] ile elde edilmektedir (Merrill, 2017: 234).

*Tahmini negatif ve tahmini pozitif değer*: Tarama testinin öngörü değeri, test edilen popülasyondaki hastalık prevalansından (önceki olasılık) etkilenmektedir. Bu çerçevede önceki olasılığın bilinmesine göre farklı olmak kaydıyla *tahmini pozitif değer* ve *tahmini negatif değer* hesaplanmaktadır (Merrill, 2017: 234). Bunlardan tahmini pozitif değer, pozitif test sonucu olan bir bireyin gerçekten hastalığa sahip olma olasılığını [TP/(TP+FP)]; tahmini negatif değer ise negatif test sonucu olan bir bireyin gerçekten hastalığa sahip olmama olasılığını [TN/(FN+TN)] göstermektedir (Stewart, 2022:132).

### 2.1.2. Pandemilerin Tarihçesi

Günümüzde COVID-19 ile birlikte salgın hastalık kavramı hayatımızın bir parçası haline gelmiş olsa da, COVID-19 tarihte görülmüş ilk salgın hastalık değildir ve muhtemelen de son olmayacaktır. İnsanlık tarihi boyunca milyonlarca ölüme sebep olan ve tarihte derin izler

bırakan birçok salgın hastalık söz konusu olmuştur. Bu hastalıklara ilişkin deneyimlerin dikkate alınması, mevcut hastalıkla mücadelede çıkarımlar yapılmasına ve buna yönelik önlemler alınmasına katkı sağlayacaktır (Mackowiak, 2021). Bu bölümde tarih boyunca görülen ve insanlığı etkileyen başlıca salgın hastalıklar kronolojik sırayla verilmiştir. Bu salgınların görüldüğü zaman dilimi, ortaya çıktığı bölge, patojenler, vektörler ve yol açtığı ölümlere ilişkin bilgiler Tablo 2.1'de özetlenmiştir (Huremović, 2019; LePan 2020; Mackowiak, 2021; Piret ve Boivin 2021; Pitlik, 2020; Sampath ve diğ., 2021).

**Tablo 2.1:** Tarihte görülen başlıca salgınlar.

| Pandemi | Zaman dilimi | Ortaya Çıktığı Bölge | Patojen/Vektör | Tahmini Ölü Sayısı |
|---|---|---|---|---|
| **Atina vebası** | M.Ö. 430-426 | Etiyopya | Bilinmiyor | Bilinmiyor |
| **Antoninus vebası** | 165-180 | Irak | Variola virüsü / İnsan | 5 milyon |
| **Justinianus vebası** | 541-543 | Mısır | Yersinia pestis bakterisi/ Pire | 25-50 milyon |
| **Kara ölüm/Kara veba** | 1347-1351 | Orta Asya | Yersinia pestis bakterisi/ Pire | 200 milyon |
| **Yeni dünya çiçek hastalığı** | 1520-1980 | Bilinmiyor | Variola virüsü/İnsan | 56 milyon |
| **Yedi kolera salgını** | 1817-günümüz | Hindistan | Vibrio cholera bakterisi/ Pis su | 40 milyon |
| **Üçüncü veba salgını** | 1885-günümüz | Çin | Yersinia pestis bakterisi/ Pire | 12 milyon |
| **Rus gribi** | 1889-1894 | Rusya | H3N8 virüsü/Kuş | 1 milyon |
| **İspanyol gribi** | 1918-1919 | Amerika | H1N1 virüsü/ Kuş | 50 milyon |
| **Asya gribi** | 1957-1958 | Çin | H2N2 virüsü/Kuş | 1.1 milyon |
| **Hong Kong gribi** | 1968 | Çin | H3N2 virüsü/Kuş | 1-4 milyon |
| **HIV/AIDS** | 1981-günümüz | Orta Afrika | HIV/Şempanze | 36 milyon |
| **SARS** | 2002-2003 | Çin | SARS-CoV-1/ Yarasa, misk kedisi | 774 |
| **Domuz gribi** | 2009-2010 | Meksika | H1N1 virüsü/Domuz | 151.700-575.400 |
| **Ebola** | 2014-2016 | Orta Afrika | Ebola virüsü/Yarasa | 11.000 |
| **MERS** | 2012-günümüz | Suudi Arabistan | MERS-CoV/Deve | 893 |
| **COVID-19** | 2019-günümüz | Çin | SARS-CoV-2/Yarasa, pangolin | >7 milyon |

Tablo 2.1'de verilen özet bilgilere göre mortalite açısından kara ölüm/veba, yeni dünya çiçek hastalığı ve İspanyol gribi tarih boyunca görülen en yıkıcı pandemiler olmuştur. COVID-

19 pandemisinin ise 21. yüzyılın en ölümcül pandemisi olduğu görülmektedir. Bu pandemiler gerçekleştiği zaman, ortaya çıktığı ve etkisi altına aldığı bölge, patojen ve vektörleri, hastalık bulguları ve müdahale biçimleri gibi pek çok açıdan çeşitli benzerlikleri veya farklılıkları barındırmaktadır. Bunları kronolojik sırayla maddeler halinde özetlemek mümkündür.

- M.Ö. 430-426 yıllarında Etiyopya'da ortaya çıkan *Atina vebası* Mısır ve Yunanistan'a yayılmıştır. Enfekte bireylerin genellikle yedinci veya sekizinci günde öldüğü, hayatta kalanların ise kısmi felç, hafıza kaybı veya körlük yaşayabildiği görülmüştür (Huremović, 2019). Kesin sayı bilinmemekle birlikte, özellikle savaşın etkisiyle vebanın Atinalıların ve civar bölgedeki insanların yaklaşık %25'ini öldürdüğü tahmin edilmektedir (Sampath ve diğ., 2021).
- M.S. 165-180 yılları arasında Roma İmparatorluğu döneminde görülen *Antoninus vebası*, Antoninus Verus komutasındaki askerlerin Irak bölgesine yaptıkları doğu seferleri ile Roma İmparatorluğuna ve Batı Almanyaya kadar yayılmıştır. Hastalık semptomlarını döküntüler, hemorajik püstüller, kanlı ishal, ateş ve hemoptizi (kan kusma) olarak tanımlanmıştır. Şu anda çiçek hastalığına yol açan virüsün neden olduğu düşünülen bu salgın beş milyon insanın diğer bir ifadeyle Roma İmparatorluğu nüfusunun yaklaşık %33'ünün ölümüne sebep olmuştur (Sampath ve diğ., 2021).
- Sonuçları ve etkisi bakımından dünyada bilinen üç büyük veba salgınından biri olan *Justinian vebası,* 541 yılında Mısır'da Pelusium antik kentinden yayılmıştır. Kemirgenlerin taşıdığı haşerelerden bulaşan bu hastalık batıda "kara ölüm, petse, pestis", biz de ise "kıran, tâun, veba" olarak bilinmektedir. 1894 yılında Fransız bilim insanı Alexandre Yersin hastalığa "Yersinia Pestis" olarak adlandırılan basilin yol açtığını bulmuştur. Tarihin en korkulan salgın hastalığı olarak bilinen veba Kuzey Afrika, Avrupa, Orta ve Güney Asya başta olmak üzere çok geniş bir coğrafyaya yayılarak etkili olmuştur. Etkilenen yerlerde nüfusun yaklaşık %50 ya da %60'ının yaşamını kaybettiği iddia edilmektedir (Akdere, 2018).
- İkinci veba salgını olarak bilinen *kara ölüm*, Avrupa'da 1345'ten 1770'lere ve Osmanlı Akdeniz limanlarında 1840'lara kadar uzanan bir dizi salgını tanımlamaktadır. İkinci Veba Salgını'nın ilk ve yaygın salgını olan Kara Ölüm (1347-1352), Hristiyan ve Batı İslam dünyasını derinden etkileyerek nüfusun yaklaşık %40'ını öldürmüştür. Ticaret ve seyahat yolları ile geniş bir coğrafyada etkili olmuştur (Benedictow, 2021: 3; Bryne, 2012: 42-48). Günümüzde vebaya kemirgenler üzerinde yaşayan pirelerin taşıdığı bakterilerin neden olduğu bilinmektedir (Bryne, 2012: 43). Vebada hastalık zirveye

ulaştığında hastalar ortalama 7 ila 10 gün arasında ölmektedir. 14. yüzyıl boyunca Avrupanın en az üçte birinin ya da 25 milyonun üzerinde insanın ölümüne yol açan bu salgından, insanlık tarihi boyunca 200 milyonun üzerinde insanın öldüğü tahmin edilmektedir (Glatter ve Finkelman, 2020).

- Yüzyıllar boyunca dünyanın farklı bölgelerinde görülen *çiçek hastalığı*, Yeni Dünya olarak adlandırılan Amerika kıtasına Kolombun keşfi sonrasında yayılmıştır. Nisan 1520'de bir İspanyol gemisinde getirilen enfekte bir Afrikalı köle ile şimdiki Meksika'nın Veracruz kentinden hastalık yayılmıştır. Hastalığa savunmasız yerli nüfusun % 90'ı ölmesi büyük medeniyetlerin yok edilerek Avrupa kolonizasyonunun yolunu açmıştır. Hastalıktan yaklaşık 25-56 milyon kişinin öldüğü tahmin edilmektedir (Prabhu ve Gergen, 2021). Çiçek hastalığını eradike etme çalışmaları 1967 yılında başlamıştır. DSÖ bu kapsamda dünya nüfusunu aşılama ve risk altındaki nüfusu gözetim altında tutma yaklaşımlarını uygulamıştır. Özellikle sınırlama yaklaşımı ile hastalığa yakalananların karantinaya alınması ve temaslı olanların aşılanması hastalığın yayılmasını engellemede etkili olmuştur. DSÖ yoğun çabalar sonucunda 1980 yılında çiçek virüsünün küresel olarak eradike edildiğini duyurmuştur (Peters, 2005).
- *Kolera*, Vibrio cholerae'nin neden olduğu gastrointestinal sistemin akut ve sıklıkla ölümcül bir hastalığıdır. Asya'da 1817 yılına kadar endemik olarak görülen kolera ilk olarak Hindistan'dan dünyanın diğer bölgelerine yayılmıştır (Piret ve Boivin, 2021). 1817'de görülen ilk kolera pandemisinden bu yana yedi farklı kolera pandemisi meydana gelmiştir. Bunlardan üçüncü salgının gerçekleştiği sırada (1852-1859) modern epidemiyolojinin kurucularından biri kabul edilen John Snow Londra'da epidemiyolojik gözlemleri ile koleranın pompadan çıkan kirlenmiş suyun salgının kaynağı olduğunu ortaya koymuştur. Kolera salgınları dünyanın birçok bölgesinde milyonlarca insanın ölümüne neden olmuştur. İlk üç salgında 15 milyonun üzerinde, sonraki üç salgında ise 23 milyon olmak üzere salgınlardan yaklaşık 40 milyon kişinin öldüğü tahmin edilmektedir (Victor ve Ahmed, 2019; Tulchinsky, 2018).
- Tarihte görülen üç büyük veba salgının sonuncusu olduğundan *üçüncü veba salgını* 1885 yılında Çin'in Yunnan kentinde şiddetli olarak yeniden ortaya çıkmıştır. Bunu takiben pek çok kıtaya yayılan salgının 1950'den sonra etkisisi hafiflemiş olsa da, dünyanın birçok ülkesinde endemik olarak görülmeye devam etmektedir (Byrne, 2012: 61; Glatter ve Finkelman, 2020; Bramanti ve diğ., 2019). Vietnam savaşı sırasında Amerika Birleşik Devletleri'nde formalinle öldürülen tam hücreli bir Y. pestis aşısı

geliştirilmiştir. Geliştirilen bu aşı yalnızca hıyarcıklı vebaya karşı etkili olup, hastalığın pnömonik formuna karşı etkili değildir. Günümüzde üretim hattında olan 17 potansiyel veba aşısı bulunmaktadır ve bunların bir kısmı çok umut verici sonuçlar göstermektedir (Ansari ve diğ., 2020; Piret ve Boivin, 2021).

- 1889 yılında Rusya'da başlayan ve bu nedenle *Rus gribi* olarak adlandırılan pandemi, önce Avrupa'ya, oradan Amerika, Avustralya ve Afrika'ya yayılmıştır. Avrupa ile Rusya arasındaki demiryolları salgının yayılmasındaki en önemli etkenlerden biri olmuştur (Gregg ve diğ., 1978). Hastalık aniden şiddetli bir baş ağrısı, genel yorgunluk ve ateşle ortaya çıkmaktadır (Erkoreka ve diğ. 2022). Bu salgın sırasında yüz maskesi gibi koruyucu önlemler kullanılmamış, karantina uygulaması yapılmamış ve aşı ya da herhangi bir özel tedavi yolu geliştirilmemiştir. Yüz maskesinin enfeksiyona karşı önlem olarak ilk tıbbi kullanımı 1897'de Paris'te çalışan bir cerrah olan P. Berger tarafından tanıtılması ile olmuştur. Bu nedenle salgın sırasındaki koruyucu önlemler esas olarak okulların kapatılması ve hijyen tavsiyeleri (el yıkama) ile sınırlı olmuştur (Brüssow, 2021). 1889-1894 yılları arasında en az dört dalga halinde etkisini gösteren salgının ikinci ve üçüncü dalgası daha ölümcül olup, mortalite açısından en çok 50 yaş ve üzerindeki insanları etkilemiştir. Avrupa'da vaka ölüm hızları %0,10-0,28 aralığında olduğu için diğer salgınlara nazaran daha hafif olarak nitelendirilmiştir (Berche, 2022).
- COVID-19 pandemisi ile ilişkili olan ve günümüzde halk sağlığı çabalarının belirlenmesinden tek başına sorumlu olan bir pandemi olarak nitelendirilen *İspanyol gribinin* 1918 yılında Kansas'da ortaya çıktığı tahmin edilmektedir. Kuş kökenli bir H1N1 influenzanın neden olduğu salgında ağır ve ölümcül vakalarda solunum sıkıntısı, siyanoz, burun kanaması ve ödemle karakterize pulmoner ve bronkopnömoni görülmüştür (Jester ve diğ., 2019; Sampath ve diğ., 2021). Salgını önlemede, karantina ve kişisel hijyen gibi müdahaleler temel halk sağlığı çabaları olarak uygulanmıştır. Aşısı olmadığı için yayılan salgın, ABD'nin ortalama yaşam süresini 12 yıl düşürecek kadar gencin ölümüne sebep olmuştur. İspanyol gribinin dünya çapında ise 20 ila 50 milyon arasında insanın ölümüne yol açtığı tahmin edilmektedir. COVID-19'a benzer şekilde mortalite sayısı yaşlılık, kalp hastalığı gibi komorbiditelerin varlığına bağlı olarak değişmekle birlikte, vaka ölüm hızı %2-3 düzeylerindedir (Mackowiak, 2021).
- *Asya gribi*, Şubat 1957'de Çin'in Yunnan Eyaletinde bir kuş gribi türünden kaynaklanan yeni bir influenza A (H2N2) virüsünün ortaya çıkması ve dünya genelinde yirmi ülkeye yayılması ile yaklaşık 1,1 milyon insanın ölümüne yol açmışıtr (CDC, 2020a; Glezen,

1996). Küresel gözetim sistemleri ve laboratuvar olanaklarının bulunduğu bir dönemde ortaya çıkan ilk pandemi olan Asya gribinde hastalık yükü ve yayılmasını izlemek için kapsamlı sürveyanslar ilk kez kullanılmıştır. Aşıların geliştirilmesi ve dağıtımı yavaş olduğundan aşı tahsisinde bugün de yaygın olarak kullanılan yüksek riskli bireylerin ve temel personelin önceliklendirilmesi stratejisi uygulanmıştır. İnfluenzanın genellikle hafif veya belirsiz enfeksiyonlarla ilişkili olması nedeniyle ilaç dışı müdahaleler çok az kullanılmış olup, özellikle karantina tedbirlerinin uygulanması uygunsuz bulunmuştur (Saunders-Hastings ve Krewski, 2016; Honigsbaum, 2020).

- Asya gribinin antijenik bir kayma geçirmesi ve H3N2 influenza virüsü ortaya çıkması ile yeni bir pandemi olan *Hong Kong gribi* ortaya çıkmıştır. Yoğun hava yolculuğu nedeniyle salgın hızla dünyanın birçok ülkesine yayılmıştır (Saunders-Hastings ve Krewski, 2016; Viboud ve diğ. 2005). Salgının vaka ölüm hızı, genel olarak daha düşük olmakla birlikte, genç nüfusta görece daha yüksektir. Dünya genelinde salgın yaklaşık bir ila dört milyon insanın ölümüne neden olmuştur (Sampath ve diğ., 2021). 1957'dekinden çok daha kısa süre olmasına rağmen, virüsün hızlı bir şekilde tanımlanması, grip aşısının görece hızlı geliştirilmesini sağlamıştır. Asya gribi ile benzer şekilde hastalığın hafif seyretmesi ve ölüm hızlarının düşük olması nedeniyle ilaç dışı müdahaleler gereksiz görülmüş, bunun yerine aşılama, antibiyotik kullanımı ve hastaneye yatış uygulamalarına başvurulmuştur (Taubenberger, 2010).
- İnsan immün yetmezlik virüsü ve kazanılmış immün yetmezlik sendromu (HIV/AIDS) insanlık tarihi boyunca görülen ve süregelen en yıkıcı hastalıklardan biridir. AIDS kökeni Afrika'da olan ve Kongo şempanzelerinden 1920'lerde insanlara yayıldığına inanılan bir virüsün (insan immün yetmezlik virüsü) neden olduğu bir hastalıktır (Mackowiak, 2021). Oldukça yavaş yayılan bir pandemi olan HIV/AIDS, hem ulusal hem de uluslararası idareler tarafından halk sağlığı açısından ilgi görmüştür. 2020'de dünya genelinde yaklaşık 37,7 milyon insan HIV ile yaşamakta olup, bunların 1,7 milyonunu 0-14 yaş arası çocuklar oluşturmaktadır. Salgının başlangıcından bu yana yaklaşık 36 milyon insan ise bu hastalıktan ölmüştür (UNAIDS, 2022).
- 21. yüzyılın ilk yeni hastalığı olan şiddetli akut solunum sendromu-severe acute respiratory syndrome (*SARS*), ilk olarak Kasım 2002'de Çin'in Guangdong Eyaletinde ortaya çıkmıştır. Şubat ayının sonlarında Hong Kong'a ulaşan hastalık, uluslararası hava yolculuğu ile dünyanın diğer bölgelerine çok hızlı bir şekilde yayılmış ve 29 ülkede rapor edilmiştir (Chan-Yeung ve Xu, 2003; Piret ve Boivin, 2021). Hastalığın ara

konakları yarasalar, palmiye misk kedileri ve rakun köpekleridir. SARS-CoV enfeksiyonu tipik olarak rijitlik, yorgunluk ve yüksek ateş ile grip benzeri bir sendroma neden olmuştur. SARS-CoV ile enfekte hastalarda en sık ölüm nedeni solunum yetmezliği olmuştur. SARS-CoV'nin başlıca bulaşma yolları ise damlacıklar, aerosoller ve fomitlerdir (Sampath ve diğ., 2021; Seto ve diğ., 2003). Salgın yalnızca 8098 kişinin enfekte olmasına ve 774 kişinin ölümüne yol açmış olup, vaka ölüm hızı %9,6'dır. Kasım 2002'de ilk ortaya çıkışından yedi ay sonra, virüsü tespit etme, vakaları izole etme ve temaslı takibine yönelik küresel çabalar yoğunlaştırılmıştır. Bu kapsamda DSÖ ve bazı hükûmetler, ağır darbe alan bölgeler için seyahat ile ilgili tavsiyeler yayınlamış ve bu doğrultuda hastaneler, okullar ve sınırlar kapatılmıştır. Hastalığa yakalananların tedavi edilmesi çabaları yanında, koruyucu tedbirler kapsamında binlerce kişi karantinaya alınmış ve tecrit edilmiştir. Tüm bu çabalar sonucunda SARS salgını Temmuz 2003'te sona ermiştir (Chan-Yeung ve Xu, 2003; Sampath ve diğ., 2021).

- 1918'deki "İspanyol gribi" ile benzer özelliklere sahip *H1N1 pandemisi*, 2009 yılı Nisan ayında Meksika'da ortaya çıkmıştır. İspanyol gribine kıyasla daha az yıkıcı etkiye sahip olan bu pandemi, sağlıklı genç yetişkinleri orantısız şekilde etkilediği için tehdit edici olarak algılanıyordu (Huremović, 2019; 25). Kuş, domuz ve insan gribi virüslerinden gelen gen parçalarını içeren virüsün yol açtığı bu hastalık, halk arasında "domuz gribi" olarak bilinmektedir. Küresel ticaret ve seyahat nedeniyle geçmiş pandemilere göre daha hızlı yayılan bu virüs, 6 haftada 122 ülkeye ulaşmıştır. 11 Haziran 2009'da DSÖ küresel bir salgın olarak ilan etmiştir (Akin ve Gözel, 2020; Lim ve Mahmood, 2011). Pandemi ilaçlar, ayakta tedavi hizmetleri ve hastaneye yatışlarla ilgili doğrudan maliyetlerin yanı sıra, okulların kapanması, işe devamsızlıktan kaynaklanan üretkenlik kaybı, tüketici alışkanlıklarındaki değişimler ve azalan turizm faaliyetleri gibi enfeksiyon önleme çabaları gibi ölçülemeyen diğer maliyetlere yol açmıştır (Saunders-Hastings ve Krewski, 2016; Huremović, 2019; 26). ABD Hastalık Kontrol ve Önleme Merkezleri (CDC), virüsün yayıldığı ilk yıl boyunca dünya çapında 151.700-575.400 kişinin (H1N1)pdm09 virüs enfeksiyonundan öldüğünü ve bu ölümlerin %80'inin ise 65 yaş altındaki kişilerden oluştuğunu tahmin etmektedir. 11 Ağustos 2010'da DSÖ salgının sona erdiğini duyurmuştur (CDC, 2019).
- Ebola virüsü hastalığı, en ölümcül viral hastalıklardan biridir. Ebola virüsünün 1976'da ortaya çıkmasından bu yana 20'den fazla salgın ya da vaka raporu görülmüş olsa da, bunların açık ara en büyüğü 2013-2016 yılları arasında Batı Afrika'da meydana

gelmiştir (Baseler ve diğ., 2017; Malvy ve diğ., 2019). Ebola virüsü hastalığı, insanlara, maymunlara ve muhtemelen diğer hayvanlara bulaştığı için zoonotik olarak kabul edilir. Virüsün doğal konakçılarının Pteropodidae familyasına ait meyve yarasaları olduğu düşünülmektedir. İkincil insandan insana bulaşma, enfekte insanlardan kan, salgılar veya diğer vücut sıvıları ile doğrudan temas yoluyla gerçekleşebilmektedir (Malvy ve diğ., 2019). Hastalığın kuluçka süresi 2-21 gün olup, semptomlar genellikle maruziyetten 8-10 gün sonra ortaya çıkabilmektedir (Bell, 2016). Ebola hastalığı 28.000'den fazla vaka ve 11.000'den fazla ölüme yol açmıştır. Mevcut durumda Ebolayı önlemek için etkili bir aşı ve üç tip antikor içeren bir ilaç bulunmaktadır (Pitlik, 2020).

- İlk kez 2012 yılında Suudi Arabistan'da keşfedilen Orta Doğu solunum sendromu koronavirüsü (MERS-CoV), enfekte tek hörgüçlü develerden insanlara doğrudan veya dolaylı temas yoluyla bulaşabilen zoonotik bir virüstür. İnsandan insana bulaşma, aynı evde yaşayan aile üyeleri arasında nadiren, sağlık hizmetlerinde ise daha sık görülmüştür. Toplamda 27 ülkede görülen MERS-CoV, Nisan 2012'den Kasım 2022'ye kadar 2601 vaka ve 935 ölüme yol açtığı bildirilmiştir. MERS-CoV'lu vakaların ölüm hızı yaklaşık %36'dır. Ancak hafif MERS vakaları mevcut sürveyans sistemleri tarafından gözden kaçırılabileceği için, gerçek ölüm hızının daha düşük olduğu tahmin edilmektedir (Zaki ve diğ., 2012; WHO Regional Office for the Eastern Mediterranean, 2022). MERS'in önlenmesi, pastörize edilmemiş veya pişmemiş hayvansal ürünlerden kaçınmaya, sağlık bakım ortamlarında ve tek hörgüçlü develerin çevresinde güvenli hijyen alışkanlıklarının uygulanmasına, toplum eğitimine ve sağlık çalışanları için farkındalık eğitimine ve ayrıca etkili kontrol önlemlerinin uygulanmasına dayanır (Mubarak ve diğ., 2019; WHO Regional Office for the Eastern Mediterranean, 2022).
- Çin Halk Cumhuriyeti'nin Wuhan kentinde 31 Aralık 2019'da bildirilen zatürre vakaları ile ortaya çıkan ve daha sonra yeni tip bir koronavirüsten kaynaklandığı tespit edilen 'Koronavirüs Hastalığı 2019' (Coronavirus Disease 2019, COVID-19) hastalığı kısa bir sürede dünya çapında yayılmıştır. 11 Mart 2020 tarihi itibarıyla DSÖ tarafından pandemi olarak ilan edilmiştir (Ahn ve diğ., 2020). Mortalite ve morbidite yönüyle mevcut durumda 21. yüzyılın en yıkıcı pandemisi olan COVID-19 hastalığı, 2023 yılı itibarıyla dünya çapında tüm kıtalarda geniş bir coğrafyada etkisini sürdürmektedir. Bu çalışmanın ana odağının COVID-19 hastalığı olması nedeniyle izleyen bölümde hastalığın tarihsel gelişimi, virüsün bulaşıcılığı, pandemiyi önleme ve sağlığı geliştirmeye yönelik çeşitli tanı ve tedavi uygulamaları, uygulanan ilaç ve ilaç dışı

müdahaleler, hastalığa ilişkin küresel, bölgesel ve ülkesel bazda epidemiyolojik verileri içeren detaylı alt başlıkların ayrı bir ana başlık altında ele alınması uygun görülmüştür.

## 2.2. COVID-19 PANDEMİSİ

### 2.2.1. COVID-19 Pandemisinin Genel Çerçevesi

Çin Halk Cumhuriyeti'nin Wuhan kentinde Aralık 2019'da bir grup zatürre ve ölüm vakası bildirilmiştir. Daha sonra bu vakaların yeni tip bir koronavirüsten kaynaklandığı tespit edilmiştir. Bu yeni koronavirüs, SARS ve MERS salgınlarındaki gibi 'Coronaviridae' ailesinden olup, zarflı, pozitif polariteli ve tek sarmal bir RNA virüsüdür. Bu nedenle salgın geçici olarak 2019 yeni koronavirüs anlamında '2019-nCoV' olarak adlandırılmıştır. Viral genomun analizi sonucunda, yeni koronavirüsün evrimsel olarak SARS-CoV'a yakın olması nedeniyle Uluslararası Virüs Taksonomisi Komitesi ve diğer virologlar tarafından yeni koronavirüs 'SARS-CoV-2' olarak adlandırılmıştır (Chung ve diğ., 2020; Ahn ve diğ., 2020). Bunu takiben Dünya Sağlık Örgütü, Dünya Hayvan Sağlığı Örgütü ve Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü ile istişare ve işbirliği ile hastalık 'Koronavirüs Hastalığı 2019' kısaltması ile 'COVID-19' olarak adlandırmıştır (WHO, 2020a).

Hayvan rezervuarı muhtemelen yarasa olan virüsün, hayvan konakçılarının pangolinler olabileceği öne sürülmüştür. Başlangıçta bildirilen vakaların Wuhan'da yılan ve yarasa gibi vahşi hayvanların satıldığı Huanan Deniz Ürünleri Pazarı'ndan zoonotik kaynaklı olduğu düşünülmektedir (Lau ve diğ., 2020; Lam ve diğ. 2020). Başlangıçta virüsün insandan insana bulaşmadığı ya da sınırlı bulaşmanın söz konusu olduğuna dair raporlar oluşturulsa da, virüsün kısa sürede hızla yayılması ile insandan insana bulaştığı ortaya çıkmıştır (Chen, 2020). SARS-CoV-2 virüsünün neden olduğu pandemide hastalar ateş, kuru öksürük, yorgunluk ya da miyalji, balgam, nefes darlığı, baş ağrısı, koku alamama, tat alma bozukluğu ve boğaz ağrısı gibi semptomlar göstermektedir. Hastalığı daha şiddetli geçiren vakalarda ise akut solunum sıkıntısı sendromu (ARDS), solunum yetmezliği, kalp yetmezliği ve septik şok gibi çeşitli komplikasyonlar bildirilmiştir (Tu ve diğ., 2020; Huang ve diğ., 2020; Sampath ve diğ., 2021). Hastalığın medyan kuluçka (inkübasyon) süresinin 5,1 gün olduğu ve hastalık semptomu geliştirenlerin %97,5'inin enfeksiyondan sonraki 11,5 gün içinde bu semptomları geliştirdiği tahmin edilmektedir (Lauer ve diğ., 2020).

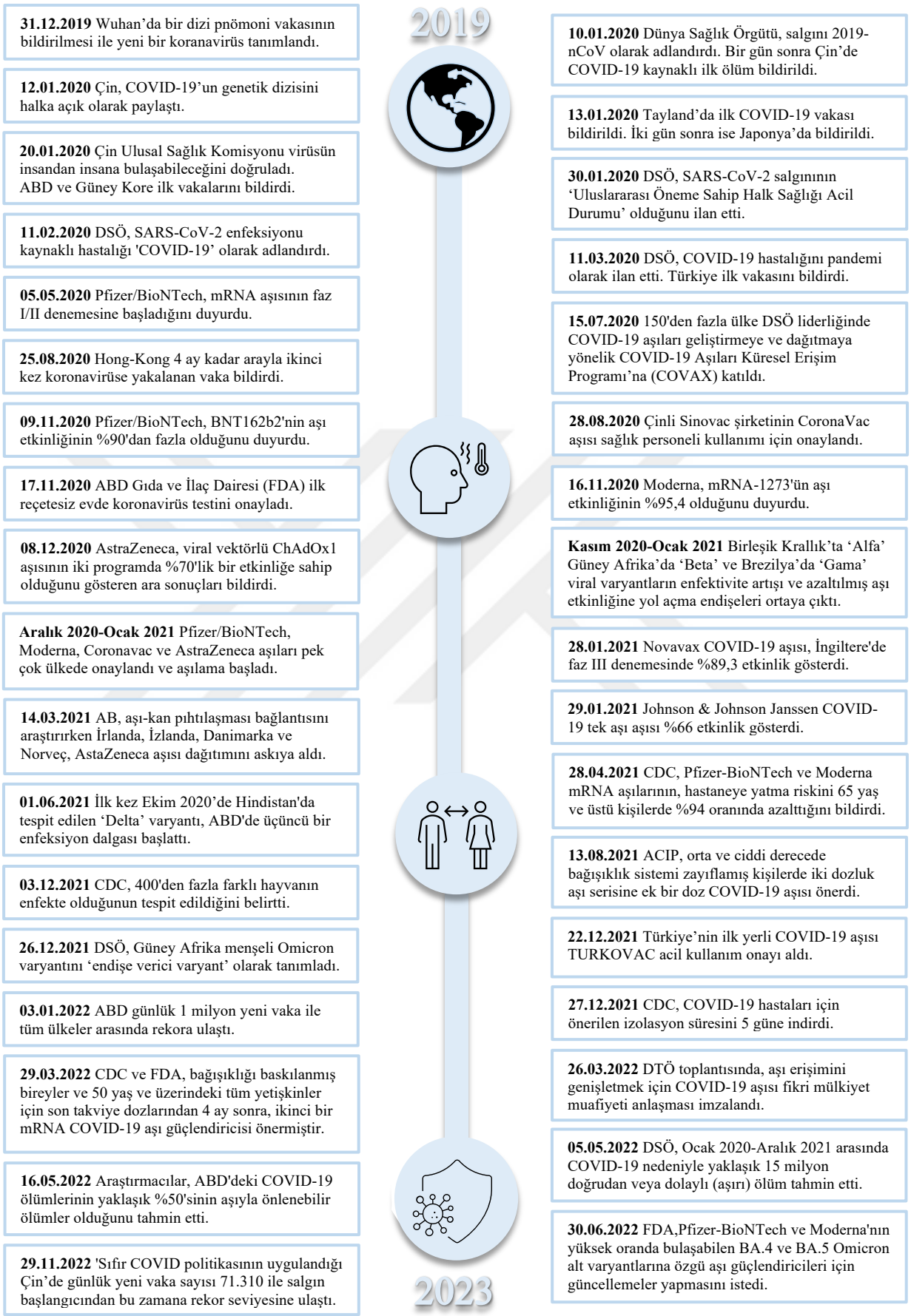
Etkilediği popülasyon bakımından SARS ve MERS gibi diğer koronavirüs pandemilerinden daha yıkıcı bir etkiye sahip olan COVID-19 pandemisi, ilk vakanın bildirildiği 31 Aralık 2019 tarihinden 16 Aralık 2022'ye kadar yaklaşık üç yılda dünya

genelinde 657 milyon enfekte vaka ve 6,67 milyon ölüme yol açmıştır. Vaka ölüm hızı küresel olarak yaklaşık %1 olan COVID-19 pandemisi, geniş coğrafyada etkisini sürdürmektedir. 16 Aralık 2022 itibariyle yaklaşık 19 milyon aktif vaka bulunmaktadır. Salgının dünya üzerinde görülmediği neredeyse bir toprak parçası kalmamıştır. Salgın Asya kıtasında başlamış olmasına rağmen, 16 Aralık 2022 itibariyle sırasıyla; Avrupa (241 milyon vaka ve 1,97 milyon ölüm), Asya (203 milyon vaka ve 1,5 milyon ölüm), Kuzey Amerika (120 milyon vaka ve 1,57 milyon ölüm), Güney Amerika (66 milyon vaka ve 1,34 milyon ölüm), Okyanusya (13,4 milyon vaka ve 23 bin ölüm) ve Afrika (12,7 milyon vaka ve 258 bin ölüm) kıtalarında önemli etkileri olmuştur. Bu veriler çerçevesinde nüfusa göre vaka sayısında ilk sırada Avrupa kıtası yer alırken, COVID'e bağlı mortalite hızı açısından Güney Amerika kıtası (‰3,1) ve vaka ölüm hızı açısından Güney Amerika (%2,03) ve Afrika (%2,03) kıtaları ilk sıralarda yer almıştır. Dünya Bankası gelir grubu sınıflamasına göre, vaka sayıları yüksek gelir grubu (414 milyon), yüksek orta gelir grubu (143 milyon), alt orta gelir grubu (97,7 milyon) ve alt gelir grubu (2,3 milyon) ülkeler olmak üzere sıralanmıştır (Worldometers, 2022).

COVID-19 pandemisinin farklı niteliklere sahip çeşitli coğrafyalardaki yaygın etkisi, ülkeleri farklı düzeylerde okul ve işyeri kapatma, etkinlik iptali, toplu taşımanın ve seyahatlerin kısıtlanması, evde kalma zorunluluğu, izolasyon, karantina ve filyasyon takibi gibi önlemleri almaya, tanı ve tedavi çalışmalarına hız vermeye ve sağlık sistemlerinin birincil öneme haiz konusu olarak kaynakların COVID-19 tanı ve tedavisine aktarmaya yönlendirmiştir. İzleyen bölümde COVID-19 pandemisinin tarihsel gelişimi, virüsün bulaşıcılığı, pandemiyi önleme ve sağlığı geliştirmeye yönelik çeşitli tanı ve tedavi uygulamaları konularına yer verilecektir.

### 2.2.2. COVID-19 Zaman Çizelgesi

Çin Halk Cumhuriyeti'nden ilk resmi COVID-19 vakasının bildirildiği 31 Aralık 2019 tarihinden günümüze kadar salgının kıtalararası yayılması, salgının temel karakteristiklerinin tanımlanması, salgını önleme ve kontrol altına almaya yönelik ulusal ve uluslararası düzeyde işbirliği çalışmalarının yapılması, COVID-19 tanı ve tedavisine yönelik araştırma ve geliştirme çalışmalarının yürütülmesi gibi pek çok önemli gelişme söz konusu olmuştur. 2023 yılı itibariyle devam eden bu gelişmeler salgın süreci başlangıcından bu yana dünya çapında COVID-19 ile ilgili geniş bir bilgi ve iletişim ağı oluşturulmasına zemin hazırlamıştır. Bu çerçevede tarihsel akış içerisinde pandemi sürecindeki önemli gelişmeleri özetlemek amacıyla Şekil 2.1'de COVID-19 pandemisinin zaman çizelgesine yer verilmiştir (Carvalho ve diğ., 2021; WHO, 2022a; CDC, 2022b; Wikipedia, 2022a).




**Şekil 2.1:** COVID-19 pandemisi zaman çizelgesi.

### 2.2.3. Virüs ve Virüsün Bulaşıcılığı

Koronavirüsler 80-220 nm çapında zarflı, tek sarmallı ve pozitif polariteli ssRNA genomuna sahip virüslerdir. Elektron mikroskobu altında virüsün yüzeyinde görülen taç benzeri çıkıntılar nedeniyle, Latince taç anlamına gelen 'Corona' kelimesinden türetilerek 'CoronaVirus-CoV' adı verilmiştir (Kumar ve diğ., 2020; Singhal, 2020; Meşe ve Ağaçfidan, 2020). Wuhan'da tespit edilen yeni koronavirüsün pozitif sarmallı RNA betakoronavirüsü olan SARS-CoV ile yaklaşık %75-80 aynı genom dizisine sahip olması nedeniyle virüs 'SARS-CoV-2' olarak adlandırılmıştır (Chen ve diğ., 2020). Zoonotik kaynaklı (hayvandan insana bulaşabilen) SARS-CoV-2 virüsünün hayvan rezervuarının yarasa, hayvan konakçılarının ise pangolinler olabileceği öne sürülmüştür (Lau ve diğ., 2020; Lam ve diğ. 2020).

SARS-CoV-2, diğer RNA virüslerinde olduğu gibi insan konakçılarına uyum sağlarken, zamanla mutasyonlar geliştirmesiyle genetik evrime eğilimlidir. Bu durum önceki soylarından farklı özelliklere sahip mutant varyantların ortaya çıkması ile sonuçlanır. COVID-19 pandemisi sırasında tespit edilen SARS-CoV-2 virüsünün çeşitli varyantları tanımlanmıştır. DSÖ'nün, pandemi başlangıcından bu yana 'endişe verici varyantlar' olarak tanımladığı beş adet SARS-CoV-2 varyantı mevcuttur (Cascella ve diğ., 2022; WHO, 2022b):

- Alfa (B.1.1.7): Eylül 2020'de Birleşik Krallık'ta tespit edilen ve Aralık 2020'de endişe verici varyant olarak tanımlanan ilk SARS-CoV-2 varyantıdır. GISAID (Tüm İnfluenza Verilerinin Paylaşılmasında Küresel Girişim) platformuna bildirilen tüm viral dizilerin göreceli sıklığına göre Şubat-Mayıs 2021 döneminde baskın varyant olmuştur.
- Beta (B.1.351) : Mayıs 2020'de Güney Afrika'da tespit edilen ve Aralık 2020'de endişe verici varyant olarak tanımlanan SARS-CoV-2 varyantıdır.
- Gama (P.1/B.1.1.28.1): Kasım 2020'de Brezilya'da görülen ve Ocak 2021'de endişe verici varyant olarak tanımlanan SARS-CoV-2 varyantıdır.
- Delta (B.1.617.2): Ekim 2020'de Hindistan'da tespit edilen ve 11 Mayıs 2021'de endişe verici varyant olarak tanımlanan SARS-CoV-2 varyantıdır. Delta varyantı, Kasım 2021'de GISAID'de sunulan tüm viral dizilerin %99'una ulaşmıştır.
- Omicron (B.1.1.529): Kasım 2021'de Güney Afrika'da tespit edilen ve endişe verici varyant olarak tanımlanan SARS-CoV-2 varyantıdır. Omicron varyantı, Şubat 2022'den sonra GISAID'de paylaşılan viral dizilerin %99'undan fazlasını oluşturan ve Ocak 2023 itibarıyla küresel olarak dolaşan baskın varyanttır.

COVID-19 pandemisinin ilk zamanlarında virüsün insandan insana bulaşmadığı yönünde iddialar olsa da, mevcut kanıtlar virüsün birbiriyle yakın temas halinde olan ya da konuşma mesafesinde olan insanlar arasında yayıldığını göstermektedir. Virüs; öksürme, hapşırma, konuşma, şarkı söyleme veya nefes alma ile enfekte bireyin ağzından veya burnundan küçük sıvı parçacıkları halinde yayılabilir. Virüs yetersiz havalandırılan veya kalabalık kapalı mekanlarda aerosollerin havada asılı kalması ile yayılabilmektedir. Ayrıca virüs bulaşmış yüzeylere veya nesnelere temas edenlerin gözlerine, burnuna veya ağzına dokunmaları bu kişilerin enfekte olmalarına yol açabilmektedir. SARS-CoV-2 daha ziyade insandan insan yayılmakla birlikte mevcut durumda bulaşma yollarının ortaya konulması, etkili halk sağlığı ve enfeksiyon önleme ve kontrol çalışmalarının geliştirilmesi için oldukça kritiktir. Bulaşma doğrudan (temas ve damlacık) veya dolaylı (fomit, hava yolu ve diğer) olarak aşağıda özetlendiği gibi gerçekleşebilmektedir (Cascella ve diğ., 2022; CDC, 2022b; WHO, 2021a).

- *Temas ve damlacık yolu ile bulaşma*: SARS-CoV-2, enfekte bir kişinin öksürmesi, hapşırması, konuşması veya şarkı söylemesi ile dışarı çıkan tükürük ve solunum salgıları ya da solunum damlacıkları gibi enfekte salgıları yoluyla virüsü barındıran presemptomatik, asemptomatik veya semptomatik kişilerle doğrudan, dolaylı veya yakın temas olması ile bulaşabilmektedir. Solunum damlacıklarının bulaşması, bir kişi ile yakın temas halindeyken (CDC'ye göre 1,83 m) gerçekleşebilir.

- *Hava yolu ile bulaşma*: Havada asılı kaldığında uzun mesafeler ve süre boyunca bulaşıcı olan aerosollerin (bulaşıcı bir ajanın) yayılmasının neden olduğu bulaşma türüdür. Yapılan çalışmalarda, insanların öksürme ve konuşma ile aerosol üretebildiği ve tıbbi prosedürler sırasında SARS-CoV-2'nin hava yoluyla bulaşabileceği ortaya çıkarılmıştır.

- *Fomit (cansız aracılarla) bulaşma*: Enfekte bireylerin dışarı attığı solunum salgıları veya damlacıklar, çeşitli cansız yüzey ve nesneleri kontamine ederek fomit oluşturabilir. Bu nedenle enfekte kişinin virüs bulaştırdığı nesnelere veya yakın çevredeki temas yüzeylerine dokunarak ardından ağza, buruna veya gözlere dokunulması ile dolaylı bir bulaşmaya yol açabilir.

- *Diğer bulaşma yolları*: Henüz dışkı ya da idrar yoluyla bulaştığına dair bir rapor olmamakla birlikte, bazı hastaların idrar ve dışkısı dahil olmak üzere diğer biyolojik numunelerinde SARS-CoV-2 tespit edilmiştir. Buna ek olarak CDC, 400'den fazla farklı hayvanın enfekte olduğunu ve yakın temas ile virüsün insandan hayvana

bulaşabileceğinin tespit edildiğini belirtmiştir. Ancak, kedi ve köpek gibi enfekte hayvanların bulaşma için önemli bir risk oluşturup oluşturmadığı belirsizdir.

Yapılan araştırmalar koronavirüsün farklı çevresel koşullara bağlı olarak çeşitli yüzey alanlarında farklı sürelerde canlı kalabildiğini ortaya koymuştur. Bu çalışmalardan elde edilen bazı önemli sonuçlar Tablo 2.2'de verilmiştir (van Doremalen ve diğ., 2020; Lai ve diğ., 2005; Carraturo vd, 2020; Casanova ve diğ., 2010).

**Tablo 2.2:** Çeşitli yüzeylerde koronavirüsün kalıcılığı.

| Yüzey | Virüs | Suş | Sıcaklık | Canlı kalma süresi |
|---|---|---|---|---|
| **Aeroseller** | SARS-CoV-2 | MN985325.1 | 21-23 C | 3 saat |
| **Bakır** | SARS-CoV-2 | MN985325.1 | 21-23 C | 4 saat |
| **Karton** | SARS-CoV-2 | MN985325.1 | 21-23 C | 24 saat |
| **Metal** | SARS-CoV | P9 | Oda sıcaklığı | 5 gün |
| **Kağıt** | SARS-CoV | P9 | Oda sıcaklığı | 4-5 gün |
| **Plastik** | SARS-CoV-2 | MN985325.1 | 22-25 C | 3 gün |
| **Paslanmaz Çelik** | SARS-CoV-2 | MN985325.1 | 21-23 C | 48 saat |
| **Tahta** | SARS-CoV | P9 | Oda sıcaklığı | 4 gün |

Tablo 2.2 incelendiğinde SARS-CoV-2 virüsünün plastikte 3 gün, paslanmaz çelikte 2 gün, kartonda 1 gün kalıcılığı olduğu ve SARS-CoV virüsünün en uzun canlı kalma süresinin metal, kağıt ve tahta yüzeylerde olduğu gözlenmektedir. En düşük kalıcılık ise bakır yüzeyler ve havada asılı kalan parçacıklar olan aerosellerdedir. Hastalığın nasıl bulaştığı yanında, ne zamana kadar bulaşıcı olduğu da önemli bir sorudur. DSÖ yayınladığı raporda SARS-CoV-2 RNA'nın, hastalarda semptom başlangıcından yaklaşık 1-3 gün önce tespit edildiğini ve üst solunum yollarındaki viral yükün, enfeksiyonun ilk haftasında zirve yaparak zamanla kademeli olarak düştüğünü bildirmiştir. Yapılan analizler sonucunda asemptomatik bireylerde 1-2 hafta, hafif ve orta şiddette hastalığı olanlarda 3 hafta, şiddetli vakalarda daha fazla viral RNA pozitifliği görülmüştür. Viral RNA'nın saptanması, bir kişinin mutlaka bulaşıcı olduğu ve virüsü başka bir kişiye bulaştırabileceği anlamına gelmemektedir. Bununla birlikte yapılan çalışmalar tahmini bulaşma riskinin, semptomların başladığı zamanda veya civarında ve hastalığın ilk 5 gününde en yüksek olduğunu ortaya koymuştur. Bu bilgilere dayanarak CDC, COVID-19 hastalarında izolasyon süresini 5 gün ile sınırlamıştır (CDC, 2022b; WHO, 2020b).

### 2.2.4. COVID-19 Hastalarının Demografik Özellikleri

COVID-19'a bağlı enfeksiyonlar her yaştan insanı etkilemekle birlikte, bazı grupların daha fazla risk altında olduğuna dair çalışmalar yapılmıştır. Buna göre 60 yaş ve üzeri bireyler,

bağışıklık sistemi zayıflamış bireyler ve altta yatan tıbbi komorbiditesi olan hastaların (obezite (VKİ≥40), kardiyovasküler hastalık, kronik böbrek hastalığı, kronik akciğer hastalığı, diyabet, kanser, solid organ veya hematopoietik kök hücre transplant hastaları) şiddetli COVID-19 enfeksiyonu geliştirme riskinin çok daha fazla olduğu belirtilmektedir (Cascella ve diğ., 2022).

Yaş gruplarına göre vaka ölüm hızını incelemeye yönelik yapılan bir çalışmada, İtalya (1625 ölüm) ve Çin Halk Cumhuriyeti (1023 ölüm) verileri karşılaştırılmıştır. Buna göre her iki gruptada yaşa özgü mortalite hızının sırasıyla 80 yaş ve üzeri (%20,2-%14,8), 70-79 yaş grubu (%12,8-%8) ve 60-69 yaş grubunda (%3,5-%3,6) en yüksek olduğu gözlenmiştir (Onder ve diğ., 2020). Bununla birlikte, Zhou ve diğ. (2020) pandemi başlarında 191 kişi üzerinden yaptıkları retrospektif kohort çalışmasında erkek hastaların kadınlara kıyasla ciddi hastalık geliştirme ve mortalite riskinin daha fazla olduğu gösterilmiştir. 42.604 hastanın incelendiği bir başka retrospektif kohort çalışmasında benzer şekilde cinsiyete özgü mortalite hızı incelendiğinde, erkeklerin (%12,5) mortalite hızının kadınlara (%9,6) kıyasla daha yüksek olduğu görülmüştür (Finelli ve diğ., 2021). Ayrıca önceden tıbbi sorunu olanlarda hastalık seyrinin farklılaşma durumunu incelemek üzere Stokes ve diğ. (2020) yaptıkları çalışmada, hastaneye yatış gerektiren COVID-19 vakaları yüzdesinin önceden tıbbi sorunu olanlarda olmayanlara göre altı kat (%45,4-%7,6) daha yüksek olduğu sonucuna ulaşmıştır.

Etnik gruplar arasında COVID-19'a bağlı enfeksiyon ve mortalite hızını araştıran çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda farklı ırksal/etnik gruplar arasında hastaneye yatış ve mortalite hızı bakımından farklılıklar görülmüştür. Romano ve diğ., (2021) hastaneye yatırılan yaklaşık 300.000 COVID-19 hastasını içeren veri tabanından yaptıkları analizde, etnik azınlık gruplarının 'Beyaz' hastalardan daha yüksek oranda COVID-19 hastane yatışının gözlemlendiği bildirildi. Karaca-Mandic ve diğ. (2021) benzer şekilde 12 ABD eyaletinde nüfusun ırksal/etnik alt grupları arasında COVID-19 prevalansını incelemiş ve önemli farklılıklar tespit etmiştir. Çalışmada analiz edilen eyaletlerin çoğunda Hispanik bireyler için yüksek hastaneye yatış oranları ve seçili eyaletlerde Amerikan Kızılderilileri ve Alaska Yerlileri için yüksek hastaneye yatış oranları gözlemlenmiştir.

CDC (2022c), COVID-19 kaynaklı hastaneye yatış, yoğun bakım ünitesi, entübasyon veya mekanik ventilasyona kabul veya ölüm gibi ciddi hastalık riskine yol açan altta yatan tıbbi durumları incelemiştir. Yayınlanmış raporlar, bilimsel makaleler ve CDC tarafından yürütülen araştırmalara dayalı olarak yapılan incelemede risk oluşturan altta yatan tıbbi durumlar üç ayrı grupta sınıflandırılmıştır.

- En az bir meta-analiz veya sistematik derleme çalışması ile belirlenmiş kesin olarak *daha yüksek risk grubu*: Astım, bronşektazi, kanser, serebrovasküler hastalık, kronik böbrek hastalığı, kronik karaciğer hastalığı, KOAH, kistik fibröz, şeker hastalığı (Tip 1 ve Tip 2), engellilik (down sendromu vb.), HIV, kalp rahatsızlıkları, interstisyel akciğer hastalığı, ruh hastalıkları (duygudurum bozuklukları, şizofreni vb.), demans, obezite, hareketsizlik, hamilelik, birincil immün yetmezlik, sigara içme, tüberküloz, organ veya kan kök hücre nakli, kortikosteroid veya immünosüpresif kullanımı bu grupta yer alır.
- Bir meta-analiz veya sistematik derleme çalışma sonucu olmayan ancak kohort, vaka kontrol veya kesitsel çalışmalarla desteklenen *önerisel yüksek risk grubu*: Belirli altta yatan koşulları olan çocuklar, fazla kilolular, orak hücreli anemi ve madde kullanımı bozuklukları durumları bu grupta yer alır.
- Meta-analiz ve sistematik derleme çalışmalarındaki kanıtlara göre, altta yatan durum ile COVID-19 ilişkisinin net olmaması (*tutarsız* olması) veya sonuçların karşılaştırma grubunu içermeyecek kadar yetersiz (*sınırlı*) olması durumlarında *karışık kanıt grubu*: Alfa-1 antitripsin eksikliği, Bronkopulmoner displazi, Hepatit C ve talasemi sınırlı, Hepatit B ve hipertansiyon ise tutarsız durumlar olarak tanımlanmıştır (CDC, 2022c).

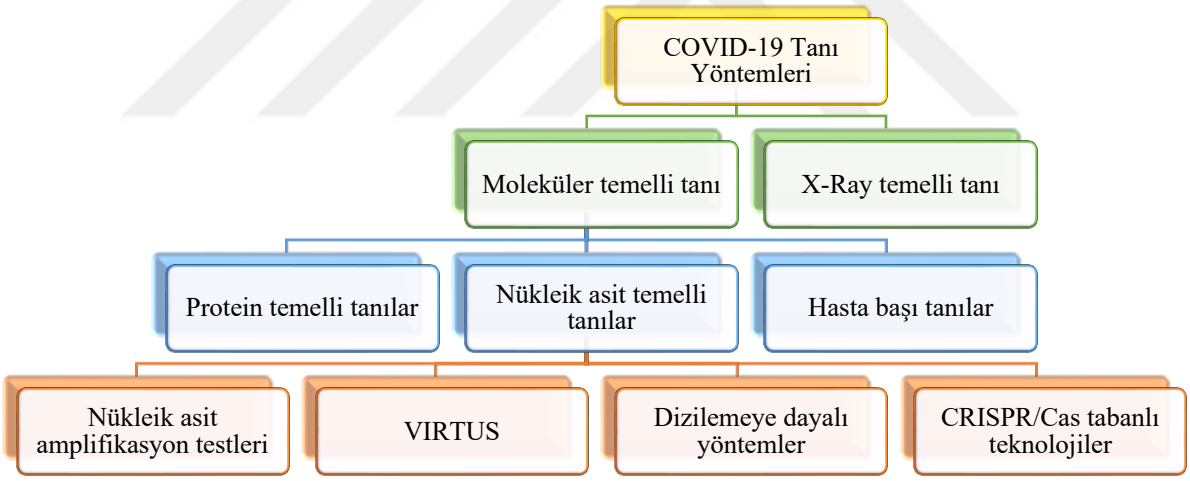
### 2.2.5. COVID-19 Tanı Yöntemleri

SARS-CoV-2 virüsünün neden olduğu COVID-19 hastalığının klinik özellikleri asemptomatik durumdan akut solunum sıkıntısı sendromuna (ARDS) ve çoklu organ yetmezliğine kadar farklı seviyelerde seyretmektedir (Singhal, 2020). National Institutes of Health (2022), yönergesinde SARS-CoV-2 enfeksiyonu olan yetişkinler hastalık şiddetine göre beş farklı kategoride sınıflanmıştır. Bunlar;

- *Asemptomatik veya presemptomatik enfeksiyon*: Virolojik test sonucu SARS-CoV-2 pozitif olan ancak COVID-19 ile tutarlı semptomları olmayan kişilerdir.
- *Hafif hastalık*: COVID-19 semptomlarından (ateş, öksürük, boğaz ağrısı, halsizlik, baş ağrısı, kas ağrısı, mide bulantısı, kusma, ishal, tat ve koku kaybı vb.) herhangi birini gösteren ancak nefes darlığı veya anormal göğüs görüntülemesi olmayan kişilerdir.
- *Orta derecede hastalık*: Klinik değerlendirme veya görüntüleme sırasında alt solunum yolları hastalığı kanıtı gösteren ve deniz seviyesinde oda havasında nabız oksimetresi ile ölçülen oksijen satürasyonu≥%94 olan kişilerdir.

- *Şiddetli hastalık*: Deniz seviyesinde oda havasında oksijen satürasyonu<%94 olan, oksijenin arteriyel kısmi basıncının solunan oksijen fraksiyonuna oranı <300 mm Hg, solunum hızı >30 nefes/dakika ya da akciğer infiltreleri >%50 olan kişilerdir.
- *Kritik hastalık*: Akut solunum sıkıntısı sendromu, septik şok ve/veya çoklu organ yetmezliği olan kişilerdir.

COVID-19 hastalarında ateş, öksürük, yorgunluk ya da miyalji, balgam, baş ağrısı, ishal, tat ve koku kaybı gibi genel semptomlar görülmekle birlikte, hastalığın erken evresinde bu belirtiler spesifik olarak görülmemekte ve özellikle hastalığın şiddetine göre önemli ölçüde farklılaşmaktadır. Bu nedenle klinik belirtileri COVID-19'u düşündüren hastalarla birlikte, SARS-CoV-2 enfekte bireylerle yakın temasta olan ancak semptom göstermeyen şüpheli kişilere tanı konulabilmesi için laboratuvar veya radyolojik testler uygulanmalıdır. Pandemi başlangıcından bu yana hastalığın tanısına yönelik farklı yöntemler kullanılmıştır. Bu yöntemler moleküler temelli ve X-Ray temelli yöntemler olmak üzere iki ana başlık altında Şekil 2.2'deki gibi özetlenebilir (Aghamirza ve diğ., 2022).




**Şekil 2.2:** COVID-19 tanı yöntemleri.

Şekil 2.2'de COVID-19 tanısında kullanılan yöntemler genel hatlarıyla gösterilmiştir. Bunlardan ilki ***moleküler temelli tanılardır***. Mevcut durumda uygulanan moleküler temelli testler olup, SARS-CoV-2'nin tespitinde en güçlü teknolojiler olarak değerlendirilmektedir (Jiang ve diğ., 2021). Moleküler tabanlı yaklaşımlar şüpheli vakaları doğrulamada kullanılan ilk yöntem hattıdır (Ahn, 2020). Bunlar içerisinde *nükleik asit temelli tanılar* COVID-19'u teşhis etmede birincil yöntem olarak görülmektedir. Bunun altında yer alan ters transkripsiyon polimeraz zincir reaksiyonu (RT-PCR) tabanlı teşhis testleri (viral nükleik asitleri tespit eden)

ise SARS-CoV-2 enfeksiyonunu tespit etmede altın standart olarak kabul edilmektedir. RT-PCR, DSÖ tarafından özelleştirilen standart şema, numune toplama, numune taşıma, numune testi ve test sonucu analizi aşamalarını içermektedir. Numune toplama aşamasında, temel olarak üst solunum yolu örneklerinin toplandığı insan nazofaringeal ve orofaringeal sürüntü örnekleri, balgam örnekleri ve tükürük örnekleri toplanmaktadır (National Institutes of Health, 2022; Song ve diğ., 2021). RT-PCR testlerinin yanı sıra VIRTUS, dizilemeye dayalı yöntemler ve CRISPR/Cas tabanlı yöntemler nükleik asit temelli tanı için kullanılmıştır.

COVID-19 tanılamada kullanılan bir diğer yöntem ise antijen bazlı ve antikor bazlı (serolojik) saptama yapan immünolojik testler olan *protein temelli tanı* yöntemleridir. Antijen testi, nazofaringeal, nazal veya orofaringeal numuneler ile enfeksiyon varlığını ölçen bir testtir. Tükürük ve dışkı numuneleri ile tanılamaya yönelik çalışmalar da sürmektedir. Antijen bazlı testler nükleik asit amplifikasyon testlerinden (NAAT) daha düşük duyarlılığa, ancak daha yüksek bir özgüllüğe sahiptir. Viral yükün en yüksek olduğu düşünülen enfeksiyonun erken döneminde oldukça etkilidir (CDC, 2021). Düşük maliyetli olması ve hızlı sonuç alınması gibi avantajları erken tedbir alınmasına olanak sağladığı için sıklıkla tercih edilmektedir. Antikor (serolojik) testleri ise SARS-CoV-2 için virüsün varlığını saptayan NAAT'lerin ve antijen testlerinin aksine yeni veya daha önceki enfeksiyon sonucu oluşan antikorların varlığını değerlendirmek üzere yapılmaktadır. SARS-CoV-2'ye özgü antikorlar genellikle semptomların başlamasından bir hafta sonra görülmektedir (Aghamirza ve diğ., 2022; Cascella ve diğ., 2022; National Institutes of Health, 2022). Bu testlere ek olarak COVID-19'un laboratuvar ortamı dışındaki yerlerde teşhisini kolaylaştıracak bir bakım noktası testi olan *hasta başı tanılar da* kullanılmıştır.

Laboratuvar testlerine dayalı yöntemlere alternatif olarak göğüs röntgeni, akciğer ultrasonu ve toraks (göğüs) bilgisayarlı tomografisi gibi radyolojik görüntülemeleri içeren ***X-Ray temelli tanı*** yöntemleri COVID-19 enfeksiyonunun tanı, tedavi ve takip değerlendirmelerinde kullanılmıştır. Bunlardan göğüs röntgeni hastalığın ilk evrelerinde akciğer değişikliklerini belirlemede düşük duyarlılığa sahiptir. Bu nedenle ilk görüntüleme için daha yüksek duyarlılığa sahip toraks bilgisayarlı tomografisi tavsiye edilmektedir. Hastalığın ilerlemesini değerlendirmede ise gerçek zamanlı ve sıfır radyasyon riskine sahip olması nedeniyle akciğer ultrasonu yararlı görülmektedir (Aghamirza ve diğ., 2022; Cascella ve diğ., 2022).

### 2.2.6. COVID-19 Tedavi Yöntemleri

COVID-19 enfeksiyonu için olası bir tedavi arayışı 2023 yılı itibarıyla küresel çapta devam etmektedir. Bu çerçevede DSÖ araştırma ve geliştirme sürecini hızlandırmak, pandemiyi kontrol altına almak ve etkilenenlerin bakımına yardımcı olmak üzere yeni normlar ve standartlar geliştirmek için dünya çapında bilim insanlarını ve küresel sağlık profesyonellerini 'Tedaviler İçin Dayanışma Denemeleri' ve 'The Solidarity Plus' platformları ile bir araya getirmektedir. Bu kapsamda 52 ülkeden 600 hastane ve 2.000 araştırmacının işbirliği ile olası tedavi seçenekleri kontrollü randomize klinik çalışmalarla araştırılmaktadır (WHO, 2021b). Bu deneylerde sıtma, Ebola ve HIV gibi belirli hastalıkların tedavisi için onaylanmış antiviral ilaçlar, remdesivir, hidroksiklorokin ve klorokin gibi ilaçlar araştırılmaktadır. Ek olarak, ritonavir ve lopinavir'in bir kombinasyonu ve aynı ilaçların HIV tedavisinde kullanılan Interferon beta ile kombinasyonu da tedavi için değerlendirilmiştir. Araştırmalar sonucunda COVID-19 ile hastanede yatan hastalar üzerinde remdesivir, hidroksiklorokin, lopinavir ve interferonun çok az etkili bulunması veya hiç etkisinin olmaması nedeniyle daha etkili ve erişilebilir terapötikler bulmak için yeni denemelere ihtiyaç duyulmuştur. Bu çerçevede DSÖ bağımsız uzman paneli tarafından mortalite riskini azaltma potansiyelleri nedeniyle şiddetli sıtma için kullanılan artesunat, belirli kanserler için kullanılan imatinib ve Crohn Hastalığı ve romatoid artrit gibi bağışıklık sistemi hastalıkları için kullanılan infliximab olmak üzere üç yeni ilacın test edilmesine karar verilmiştir. Bu ilaçların etkili olduğu kanıtlanırsa Ipca, Johnson&Johnson ve Novartis, makul fiyatlarla ilaçlara erişimi destekleyeceklerini taahhüt etmişlerdir. DSÖ platformu olan Solidarity denemesinde test edilen ilaçların yanı sıra, COVID-19 tedavisinde favipiravir veya avigan, acetmra veya tocilizumab, losartan, kevzara gibi bazı ilaçların yeniden kullanılmasına yönelik değerlendirmeler de yapılmaktadır (WHO, 2021b; Bhagat ve diğ., 2020).

COVID-19 tedavisinin genel prensipleri, hidrasyon ve beslenmeyi sürdürmek ve ateş ve öksürüğü kontrol etmektir. Bu nedenle tedavi için kullanılan mevcut yaklaşımlar, esas olarak destekleyici ve semptomatiktir (Singhal, 2020). COVID-19 tedavisinde etkili ve benzersiz bir ilaç bulmaya yönelik küresel çabalar sürmektedir. Mevcut durumda kullanılan antiviral ilaçlar, anti-SARS-CoV2 nötralize edici antikorlar, immünomodülatör ajanlar ve destekleyici ajanlar gibi COVID-19 tedavisinde denenen ve kullanılan farklı tedavi yaklaşımları aşağıdaki gibi özetlenebilir (Cascella ve diğ., 2022; Bhagat ve diğ., 2020; Aghamirza ve diğ., 2022).

- *Antiviral ilaçlar*: Remdesivir, molnupiravir, klorokin ve hidroksiklorokin, ivermektin, favipiravir, lopinavir/ritonavir ve paxlovid gibi ilaçlar COVID-19 tedavisinde denenen antiviral ilaçlar ya da ilaç kombinasyonlarıdır. Hastalığın şiddetine veya hasta grubuna göre farklı kullanım önerileri verilmiştir (National Institutes of Health, 2022: 64). Bunların kullanımının hastaneye yatış veya mortalite riskini azalttığını gösteren çalışmalarla birlikte, anlamlı bir farklılık olmadığı sonucuna ulaşan çalışmalar da bulunmaktadır (Gottlieb ve diğ., 2022; Jake Bernal ve diğ., 2022; Abd-Elsalam ve diğ., 2021).
- *Anti-SARS-CoV-2 nötralize edici antikorlar*: COVID-19 tedavisinde iyileşen plazma tedavisi, sotrovimab, casirivimab ve imdevimab, bamlanivimab ve etesevimab gibi nötralize edici antikorlar da kullanılmıştır. Bu antikorların tedavi sürecinde etkili bulan çalışmaların yanı sıra etkisiz olduğuna yönelik bulguları olan çalışmalarda bulunmaktadır (Duan ve diğ., 2020; Sekine ve diğ., 2022).
- *İmmünomodülatör ajanlar*: Kortikosteroidler, interferon-β-1a, interlökin-1 antagonistleri, anti-interlökin-6 reseptörü monoklonal antikorlar ve janus kinaz inhibitörleri *gibi* romatoid artrit, inflamatuar bağırsak hastalıkları ve ankilozan spondilit gibi birçok otoimmün ve inflamatuar hastalığın tedavisinde kullanılan ajanlar COVID-19 tedavisi için kullanılmıştır (National Institutes of Health, 2022: 249). Başlangıçta kortikosteroidleri yönetmek için etkili bir ajan olarak deksametazon önerilmiştir. SARS-CoV-2 tedavisinde kortikosteroidleri yönetmek için etkili bir ajan olan deksametazon kullanımının mekanik ventilasyon veya oksijen desteği alan hastalarda mortaliteyi azalttığı sonucuna ulaşılmıştır (RECOVERY Collaborative Group, 2021).
- *Destekleyici ajanlar*: Yapılan çalışmalarda A, C, D ve E vitaminlerinin antiviral bağışıklık sistemi işlevini geri kazanmadaki aktivitesi nedeniyle vitamin ve mineral takviyeleri SARS-CoV-2 enfeksiyonuna karşı terapötik bir stratejinin parçası olarak değerlendirilmiş ve viral solunum yolu enfeksiyonlarının tedavisi için kullanılmıştır (Fiorino ve diğ., 2020; Ali, 2020).
- *Oksijenasyon ve ventilasyon yönetimi*: COVID-19 hastalarında sıklıkla hipokseminin eşlik ettiği solunum güçlüğü görülmesi nedeniyle şiddetli hastalığı olanlarda yakından izleme ve ek oksijen tedavisi gereklidir (National Institutes of Health, 2022: 234). Bunun için hastalar nabız oksimetresi ile izlenmekte ve oksijen satürasyonunu %92 ila

96 arasında korumak için nazal kanül veya venturi maskesi yoluyla ek oksijen desteği uygulanmaktadır (Wiersinga ve diğ., 2020).

COVID-19 hastalığının tedavisinde antiviral ilaçlardan antikorlara, immünomodülatör ajanlardan oksijenasyon ve ventilasyona kadar pek çok yaklaşım denenmiştir. Yapılan çalışma sonuçlarına göre tedavi etkinliği sağladığı desteklenen yaklaşımlar COVID-19 tedavisinde kullanılmaktadır. Ancak bu tedavi yaklaşımları tüm COVID-19 hastaları için tek tip uygulamaya uygun değildir. Bu çerçevede hastalık şiddetlerine göre yetişkinler için farklı tedavilerin kullanılması önerilmiştir. Hastalık şiddetine göre COVID-19 vakalarının nasıl yönetileceğine yönelik tedavi rehberlerinin ortaya koyduğu öneriler aşağıda özetlenmiştir (Cascella ve diğ., 2022; National Institutes of Health, 2022: 234).

- *Asemptomatik veya presemptomatik enfeksiyon*: COVID-19 klinik semptomları bulunmayan ancak test sonucu pozitif olan kişilerin kendilerini izole etmeleri ve klinik semptomları takip etmeleri önerilmektedir.
- *Hafif hastalık*: Bu grupta yer alan hastaların çoğu ayaktan veya evde teletıp veya telefon ziyaretleri yoluyla tedavi edilebilmektedir. Yaşlı hastalar ve komorbidite durumu olanların daha yüksek risk grubunda olması nedeniyle klinik iyileşme sağlanana kadar yakından izlenmelidir. WHO (2022c) ise hastaneye yatırılma riski yüksek olan şiddetli olmayan hastalarda nirmatrelvir-ritonavir için güçlü, molnupiravir ve remdesivir için koşullu öneride bulunmakta; sistemik kortikosteroidleri, iyileşen plazmasını, fluvoksamini ve kolşisini hafif hastalıklarda kullanımını önermemektedir.
- *Orta derecede hastalık*: COVID-19'da akciğer hastalığının ilerleme riski nedeniyle bu hastaların yakından izlenmesi gereklidir. Hastanede yatan ve ek konvansiyonel oksijene ihtiyacı olanlarda remdesivir ve deksametazon kullanımı önerilmektedir. Hastanede yatan tüm hastalara, su kaybı olması durumunda izotonik sıvı resüsitasyonu ile destekleyici bakım verilmeli ve oksijen satürasyonunu %96'dan yüksek olmayacak şekilde ek oksijen tedavisi verilmelidir.
- *Şiddetli/kritik hastalık*: Hızlı klinik kötüleşme yaşayabilen bu hastalarda acil olarak nazal kanül veya yüksek akışlı oksijen cihazı kullanılarak oksijen tedavisi uygulanmalıdır. SARS-CoV-2 enfeksiyonunun akut solunum sıkıntısı sendromu, septik veya kardiyak şok, trombotik hastalık ve komorbiditelerin şiddetlenmesi gibi durumlara yol açtığı durumlarda hastaların yoğun bakım ünitesine yatışla sonuçlanan tıbbi durumu ve diğer komorbiditeleri ve nozokomiyal komplikasyonları tedavi edilmelidir. WHO

(2022c) ise şiddetli ve kritik hastalar için sistemik kortikosteroidleri, IL-6 reseptör blokerleri olan tosilizumab veya sarilumab ve JAK inhibitörü olan barisitinibi güçlü şekilde önermektedir. Bunlarla birlikte ARDS olan hastalarda yüzüstü (proning) pozisyon verilmesi tavsiye edilmiştir.

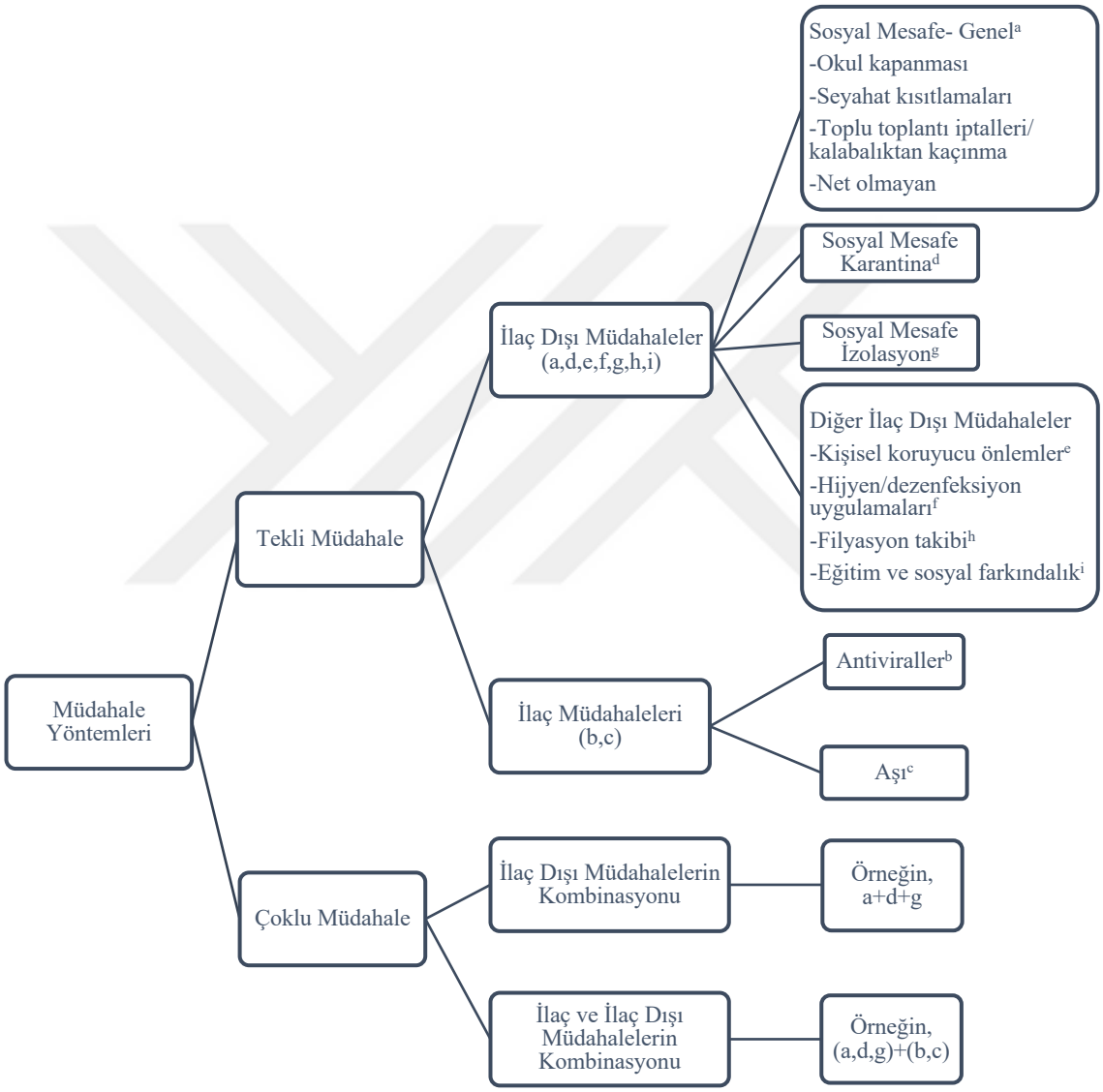
COVID-19 tedavisinde hastalık şiddetine göre yapılan önerilere ilaveten WHO (2022c), hastalık şiddetine bakılmaksızın hidroksiklorokin, paxlovid (lopinavir-ritonavir) ve ivermectin (klinik araştırmalar dışında) COVID-19 tedavisinde kullanımını önermemektedir. Ancak bazı araştırmacılar belirtilen ilaçların kullanılmasının önerilmediği 16 Eylül 2022 tarihli güncellemenin, monoklonal antikorların COVID-19 tedavisinde sağladığı etkinliğin göz ardı edildiğini ileri sürerek bu güncellemenin yeniden değerlendirilmesi gerektiğini bildirmişlerdir (Wu ve diğ., 2022).

### 2.2.7. COVID-19 Pandemisini Önleme ve Müdahale Yaklaşımları

Başta solunum damlacıkları yolu olmak üzere temas, hava yolu ve fomit gibi farklı bulaş yollarıyla yayılan COVID-19, potansiyel olarak önlenebilir bir hastalıktır (Wiersinga ve diğ., 2020). SARS-CoV-2 damlacıklarının ve parçacıkların (6 fit/1,83 metre yakında) solunması, virüs bulaşmış bir yüzeye dokunulması ya da küçük parçacıkların hava yoluyla bulaşması gibi maruziyet durumları halk sağlığı eylemleri ile önlenebilmektedir. Bu çerçevede karantina ve izolasyon uygulamaları, doğrudan temastan kaçınma, öksürme ve hapşırma durumlarında en az 2 metre mesafeyi koruma, kişisel koruyucu ekipman kullanma, ellerle göz, burun ve ağıza dokunmaktan kaçınma, sabun ve su ya da el dezenfektanı ile sık sık el yıkama gibi önlemlerin enfeksiyon riskini etkili bir şekilde azalttığı bilinmektedir (National Institutes of Health, 2022: 25-26; Lotfi ve diğ., 2020a). Halk sağlığına yönelik bu önlemlerin etkinliği 1918 grip salgınından bu yana kanıtlarla ortaya konulmuştur. Hastalığın kontrolüne yönelik yapılan matematiksel modelleme çalışmaları ve ampirik kanıtlar halk sağlığı müdahalelerinin pandeminin bulaşıcılığını önleme ve kontrol etmedeki etkisini desteklemektedir (Pan ve diğ., 2020; Vrugt ve diğ., 2020). Bu müdahaleler yapılmadığında veya gevşek bırakıldığında hastalığın yeniden canlanması ve daha geniş kitleleri etkilemesi riski ortaya çıkmaktadır (Wiersinga ve diğ., 2020).

Pandeminin yıkıcı etkisi ile mücadelede hükûmetlerin başvurabileceği farklı yaklaşımlar bulunmaktadır. Hem hastalığın yayılma hızını sınırlayabilmek hem de mortalite yükünü hafifletebilmek için bu yaklaşımların zamanında ve etkin olarak kullanılması oldukça önem arz etmektedir. Bu yaklaşımlar temelde ilaç dışı müdahaleler ve ilaç müdahaleleri olmak

üzere iki ana başlık altında ele alınabilir (PAHO, 2020). Bu müdahaleler uygulamada birbirine alternatif iki ayrı yöntem olarak görülmemelidir. Bu yöntemler mevcut koşullara göre ayrı ayrı kullanılabilmektedir. Ancak pandemi etkisini sınırlayabilmek, kontrol altına alabilmek ve bunu sürdürülebilir kılabilmek için bu yaklaşımların bütüncül olarak kullanılması önemlidir. Şekil 2.3'te kullanım durumlarına göre viral pandemilerin etkisini sınırlayabilmek veya kontrol altına alabilmek için kullanılan müdahale yöntemlerine yer verilmiştir (Rizvi ve diğ., 2021a).




**Şekil 2.3:** Pandemiye müdahale yöntemleri.

Şekil 2.3'te görüldüğü üzere pandemiye müdahale yöntemi olarak, ilaç müdahaleleri veya ilaç dışı müdahalelerden yalnızca birinin kullanıldığı tekli müdahale yaklaşımı söz konusu olabilir. Bununla birlikte iki müdahale yönteminin kombinasyonu ya da ilaç dışı müdahalelerin (sosyal mesafe-genel, karantina, kişisel koruyucu önlem vb.) farklı kombinasyonlardan oluşan

çoklu müdahale yaklaşımı şeklinde görülebilir. Yeni bir hastalığın yol açtığı bir pandemi durumunda genellikle ilaç müdahaleleri sınırlıdır. Bu yeni hastalığa karşı etkili bir ilaç ya da aşı geliştirmek önemli bir zaman aldığından özellikle pandemi başlangıcında ilaç dışı müdahaleleri zamanında uygulayabilmek oldukça kritiktir. Bununla birlikte pandeminin yayılmasını sınırlamada tek başına bir yaklaşımı benimsemek yeterli değildir. Bu nedenle hem bireysel düzeyde hem de topluluk düzeyinde çeşitli ilaç dışı müdahaleleri kullanmanın yanı sıra ulaşılabilir kaynaklar ile aşı ve antiviral ilaçlar gibi ilaç müdahalelerini geliştirmek ve bunları ilaç dışı müdahalelerle entegre etmek pandemiyi önlemede daha etkili sonuçlar alınmasını sağlayacaktır (PAHO, 2020).

#### *2.2.7.1. İlaç Müdahaleleri*

Yeni bir pandeminin ortaya çıktığı ilk zamanlarda ilaç müdahaleleri oldukça sınırlıdır. Viral enfeksiyonların yol açtığı pandemilerde ilaçla sağlanan tedaviler daha ziyade destek sağlamaya yönelik ve semptomatiktir. Bu tedavilerin genel prensipleri, hidrasyon ve beslenmeyi sürdürmek ve semptomları kontrol etmektir (Singhal, 2020). İlaç müdahaleleri kapsamında yer alan antiviraller kesin bir tedavi sağlamamakla birlikte, genel olarak virüsün üremesini kısıtlayabilmektedir. Mevcut durumda ilaç müdahaleleri kapsamında COVID-19'a karşı etkili bir tedavi yöntemi geliştirmeye yönelik klinik çalışmalar dünya çapında sürmektedir. Buna göre ilaç müdahaleleri kapsamında mevcut durumda kullanılan antiviral ilaçların (remdesivir, molnupiravir, hidroklorokin, favipiravir vb.) yanı sıra, anti-SARS-CoV2 nötralize edici antikorlar (iyileşen plazma, sotrovimab, casirivimab-imdevimab vb.) immünomodülatör (interferonlar, interlökin antogonistleri vb.) ve destekleyici ajanlar (vitaminler, melatonin vb.) gibi pek çok farklı yaklaşım tedavide kullanılmaktadır (Aghamirza ve diğ., 2022).

İlaç müdahalelerinin en önemli bileşeni pandemiye karşı koruyuculuğu sağlaması yönüyle aşılamadır. Bununla birlikte antiviraller ve diğer tedavi yaklaşımlarının kullanılması, klinik durum ve mortalitenin anlamlı bir şekilde iyileştirilebilmesi ve bu sayede hastalığın mevcut etkisinin azaltılabilmesi için kaçınılmazdır. Özellikle bir sağlık sisteminin pandemi ile mücadelede tedavi etkinliğinin sağlanması bakımından antiviraller, antikorlar, immünomodülatör, ajanlar, destekleyici ajanlar, oksijenasyon ve ventilasyon gibi tedavi yaklaşımlarının uygulanması önem arz etmektedir. Bununla birlikte ilaç müdahaleleri kapsamında yer alan aşılama ise bulaşıcılığı önlemedeki etkinliğin sağlanması açısından kritik düzeyde önemlidir. Yeni bir hastalığa karşı bağışıklık oluşturarak koruyuculuğu sağlayacak ve

hastalığın bulaşıcılığını önlemeyi garanti edecek olan en mutlak yöntem aşılamadır. Bu nedenle bu bölümde COVID-19 ile mücadele kapsamında yürütülen ilaç müdahalelerinin en önemli bileşeni olan aşı çalışmalarına yer verilmiştir.

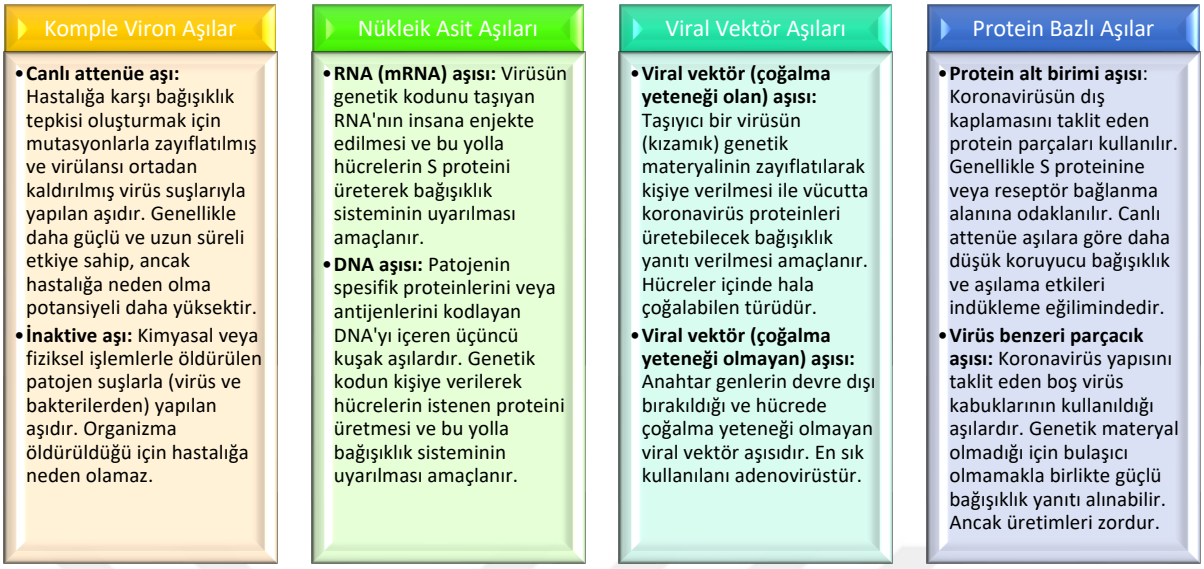
***COVID-19 Aşı Çalışmaları***

Bulaşıcı hastalıkların neden olduğu ölümleri önlemede en etkili halk sağlığı araçlarından biri aşılamadır. Aşılama, sağlık açısından sağladığı faydalarla birlikte, bakım maliyetlerini ve kaybedilen işgücü verimliliğini azaltma gibi sağladığı diğer katkılar nedeniyle aynı zamanda en ekonomik yöntemlerden biridir (Rémy ve diğ., 2015). Bu doğrultuda COVID-19'un önlenmesi ve kontrolünü sağlayacak uzun vadeli bir strateji için en etkili yöntemin aşılama olduğunu söylemek mümkündür (Hu ve diğ., 2021). Bununla birlikte bir aşının etkinliğini gösterebilmek için yapılan klinik deneyleri içeren uzun vadeli çalışmalarda herhangi bir ilaç geliştirmeye göre daha fazla insanın kayıt altına alınmasını gerekmektedir. Tasarımından piyasaya sürülmesine kadar bir aşı geliştirmenin 5-18 yıl sürdüğü ve yaklaşık 200-500 milyon $'a mal olduğu tahmin edilmektedir. Aşı üretiminde geçmişten bu yana devam eden köklü üretim teknolojileri kullanılmakla birlikte, bu geleneksel teknolojilerde aylarca süren büyük miktarlarda virüs veya bakteri gereklidir. Bu nedenle aşı geliştirirken pandemi durumlarında daha hızlı yanıt verilmesini sağlamaya, üretim kapasitesini artırmaya ve daha güçlü bağışıklık tepkisi sağlamaya yönelik rekombinant DNA teknolojisi gibi yeni tekniklere dayalı aşı teknolojileri geliştirilmektedir (Calina ve diğ., 2020; Kis ve diğ., 2019).

Uygulanan herhangi bir aşı stratejisinin temelde iki ana hedefi vardır. Bunlardan ilki aşının güvenirliliğini sağlamak, ikincisi ise güçlü adaptif bağışıklık tepkisinin (ideal olarak bir doz aşı ile) üretilmesi ile aşının etkinliğinin sağlanmasıdır (Kyriakidis ve diğ., 2021). Bir aşının güvenirliliği öncelikle fareler veya tavşanların kullanıldığı laboratuvar çalışmaları ile değerlendirilir. Aşının toksik ve farmakolojik etkisinin değerlendirildiği preklinik aşama (Faz 0), aşı geliştirme çalışmalarında zorunlu olarak sürdürülmesi gereken ilk aşamadır. Aşı uygulanan hayvanlarda umut verici sonuçlar alınması durumunda klinik faz çalışmalarına geçilir. İlk insan testi olarak bilinen birinci fazda (Faz I) aşının güvenirliliğini değerlendirmek amacıyla 10 ila 100 kişi arasında sağlıklı yetişkin gönüllüye aşı verilir. Daha sonra Faz II denemelerinde aşının etkinlik ve güvenilirliğini belirlemek için hedef popülasyonu (örn. çocuklar) oluşturan 100-1000 kişi arasında bir grubun farklı dozlara bağışıklık tepkisi ölçülür. Faz III denemelerinde onbinlerce katılımcı üzerinden hali hazırda kullanılan plasebo veya aşının uygulandığı kontrol grubu ile geliştirilen aşının uygulandığı deney grubu karşılaştırılarak

aşının etkinliği kanıtlanır ve yan etkiler gözlemlenir. Faz II ve Faz III çalışmaları genelde çift kör, randomize kontrollü çalışmalardır. Faz III çalışmalarında yeterli kanıt elde edildikten sonra ilacın ruhsat onayı (pazarlama yetkisi) için başvuruda bulunulur. Aşıların ruhsatlandırılması genellikle ulusal (T.C. Sağlık Bakanlığı İlaç ve Tıbbi Cihaz Kurumu, FDA vb.), bölgesel (Avrupa İlaç Kurumu-Avrupa Komisyonu) veya küresel düzenleyici makamlar (DSÖ) tarafından yapılır. Ruhsat alındıktan sonra piyasaya sürülen aşılar uygun yollarla (enjeksiyon, yutma veya soluma) aşılama programı kapsamında uygulanır. Faz IV çalışmaları olarak bilinen son aşamada ise uygulanan aşının uzun süreli güvenilirlik ve etkinlik araştırmaları ve fayda/risk değerlendirilmeleri yapılır. Aşıların tasarımdan kullanımına kadar geçen süre tüm aşamalar dahil yaklaşık 10 yıldır. Ancak SARS-CoV-2'nin küresel düzeydeki etkisi nedeniyle aşı geliştirme süreçlerinde birkaç aşamanın tek bir çalışmada birleştirildiği tasarımlar uygulanarak bu süreç ciddi ölçüde hızlandırılmıştır (Calina ve diğ., 2020; Hahné ve diğ., 2021:13-16).

SARS-CoV-2'ye karşı farklı aşı platformları oluşturulmuş ve dünya çapında bilim insanları aşı geliştirmeye yönelik ortak çalışmalar yürütmüştür (Hu ve diğ., 2021). DSÖ ve ortakları, COVID-19 ile mücadeleye yönelik küresel çabayı desteklemek ve geliştirmek için "COVID-19 Araçlarına Erişimi Hızlandırma" ortaklığını başlatmıştır. Bu ortaklığın altında pandemiyi sona erdirecek tanı, tedavi ve aşıları uygulamak için alt oluşumlar planlanmıştır. Bu çerçevede COVID-19 aşılarının geliştirilmesini ve üretimini hızlandırmak ve her ükenin adil ve eşitlikçi erişimini sağlayacak "COVID-19 Aşıları Küresel Erişim (COVAX)" işbirliği programı başlatılmıştır. 150'den fazla ülke aşı geliştirmeyi ve dağıtmaya yönelik COVAX programına katılmıştır (WHO, 2023a). Katılımcı ülkelerden çok sayıda araştırmacı COVID-19 aşısı geliştirmek için farklı teknolojiler kullanarak COVID-19'a karşı farklı aşı tipleri geliştirmeye çalışmaktadır. Şekil 2.4'te COVID-19 aşısı geliştirmede kullanılan aşı tiplerine yer verilmiştir (Kis ve diğ., 2019; Okyay, 2020; Kyriakidis ve diğ., 2021; Khan ve diğ., 2021).




**Şekil 2.4:** COVID-19 aşı türleri.

Şekil 2.4'te verilen aşı stratejilerinin çeşitli durumlar için farklı avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Buna göre *canlı attenüe aşılar*, genellikle tek bir dozla güçlü ve uzun süreli bağışıklık tepkileri (bazen ömür boyu) alınması yönüyle faydalıyken, bağışıklığı baskılanmış kişilere uygulamada güvenlik sorunu ve soğutmaya ihtiyaç duyulması yönüyle dezavantajlı olarak görülebilmektedir. Özellikle çiçek hastalığının eradike edilmesindeki başarısı ile bilinen canlı attenüe aşılar, akut hastalıklar için özellikle iyi işlev gösterirken, güvenilirlik ve etkinlik sorunları nedeniyle HIV gibi kronik enfeksiyonlar için nispeten daha zor olmuştur. *İnaktive aşılarda* patojenin öldürülmesi nedeniyle güvenli olmakta, ancak antijen immünojenitesinin etkilenmesi nedeniyle birkaç destek doza ihtiyaç duyulmaktadır. *Viral vektör aşıları* ise tek bir dozla güçlü hücresel tepkilerin indüklemesini sağlamakta, ancak önceden viral vektöre bağışıklığın olması durumunda bağışıklık tepkileri azalmaktadır. *Protein alt birimi aşıları*, enfeksiyöz ajanın gerekmemesi, güvenli üretimin sağlanması ve bağışıklığı baskılanmış kişilere güvenle uygulanabilmesi yönüyle avantajlı iken, düşük immünojite nedeniyle birkaç güçlendirici doz ve adjuvana ihtiyaç duyulmaktadır. *Virüs benzeri parçacık aşıları* ise zayıflatılmış aşıların etkinliğini ve protein alt birimi aşılarının güvenirliliğini birleştirmesi ve ölçeklenebilir olması yönüyle avantajlıdır, ancak üretimi zorludur. Aşılamada geliştirilmiş en güncel teknolojilerden olan *nükleik asit aşıları* ölçeklenebilirlik, hızlı tasarım ve geliştirme, enfeksiyöz ajan kullanımı gerektirmemesi ve güvenli olması gibi avantajlar sağlamaktadır. *DNA aşılarının* özel bir dağıtım platformu gerektirmesi ve protein immünojenlerle sınırlı olması, *RNA aşılarının* ise depolama gerektirmesi ve instabilite

sergilemesi (saklama koşulları altında gücünü sürdürememesi) dezavantajlı yönleri olarak görülmektedir. DNA aşılarında canlı attenüe aşılarındaki aşı suşlarının yetersiz zayıflatılması riski bulunmamaktadır (Kyriakidis ve diğ., 2021; Lundstrom, 2020; Hobernik ve Bros, 2018).

Aşı geliştirenlerin, astım ve diyabet gibi komorbiditeleri bulunan hastalara, bağışıklık düzeyi düşük olanlara ve her yaş grubundan insana aşılamanın sağlayacağı faydayı sunabilmesi gereklidir. Yüksek risk altındaki bu hastaların aşılama ile bağışıklığını sağlamak için aşıların sağladığı güvenirlilik düzeyinin belirlenmesi gereklidir. Örneğin yaşlı insanların bağışıklık sistemleri nispeten daha farklı olduğundan aşılamaya iyi yanıt vermemesi durumu söz konusu olabilmektedir. Bununla birlikte geçmiş veya mevcut tedaviler, özellikle bağışıklığı baskılanmış kişilerde aşıların ölçeklenebilir etkisizliğine yol açabilir. Bu kapsamda ilaçların etkinliğini veya gücünü artırmak için kullanılan adjuvanların aşılara dahil edilmesinin özellikle bağışıklık sistemi zayıf olanlarda daha güçlü ve uzun süreli bir bağışıklık tepkisini sağlaması, uygulamanın umut verici olduğunu göstermektedir (Calina ve diğ., 2020; Khan ve diğ., 2021).

DSÖ 10 Ocak 2023 itibariyle COVID-19'a karşı dünya çapında 375 aday aşının geliştirme aşamasında olduğunu bildirmiştir. Bunların 176'sını klinik geliştirme aşamasındaki aşılar, 199'unu ise preklinik geliştirme aşamasındaki aşılar oluşturmaktadır. Türkiye'den Ankara Üniversitesi, Hacettepe Üniversitesi, Marmara Üniversitesi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Ege Üniversitesi ve Atatürk Üniversitesi gibi pek çok kurum preklinik safhada aşı geliştirme çalışmalarına devam etmektedir. Klinik geliştirme aşamasındaki 176 aşının %32'si protein alt birimi aşısı, %23'ü RNA aşısı, %13'ü viral vektör (çoğalma yeteneği olmayan) aşısı, %13'ü inaktive edilmiş virüs aşısı, %9'u DNA aşısı, %4'ü virüs benzeri parçacık aşısı ve %6'sı diğer (viral vektör (çoğalma yeteneği olan), canlı attenüe aşı vb.) aşılardan oluşmaktadır (WHO, 2023b).

COVID-19 ile mücadelede aşı geliştirmeye yönelik dünya genelindeki çabalar sonucunda, COVID-19 enfeksiyonlarını önlemede kayda değer düzeyde etkinlik gösteren aşılar geliştirilmiştir. Bu aşılardan bazıları yerel, bölgesel veya küresel düzeydeki makamlar tarafından onaylanmıştır (Khan ve diğ., 2021). 2 Aralık 2022 itibariyle en azından bir ülkede onaylanmış aşı sayısı 50'ye ulaşmıştır. Bu kapsamda toplamda 201 ülke tarafından çeşitli aşılar onaylanmıştır. En çok aşı onaylayan ülke 15 aşı onayı ile Macaristan olurken, onu sırasıyla Endonezya (14 aşı), Hindistan (12 aşı) ve İran (12 aşı) izlemiştir. Almanya, Fransa, İtalya, İspanya ve Hollanda gibi Avrupa ülkelerinde 11 aşı onaylanırken, pandeminin başladığı Çin'de 8, Amerika'da 6 ve Türkiye'de 4 aşı onaylanmıştır (COVID-19 Vaccine Tracker, 2023).

Bu aşılardan bazıları Dünya Sağlık Örgütü tarafından yapılan güvenilirlik ve etkinlik değerlendirmeleri sonrasında tüm ülkelerde kullanılması için tavsiye edilmiş ve Acil Durum Kullanım Listesine (EUL) alınmıştır. DSÖ tarafından 'İyi Üretim Uygulaması' ve 'İyi Klinik Uygulaması' standartlarına uygunluk da dahil olmak üzere, kalite, güvenirlilik ve etkililik konusunda Birleşmiş Milletler Çocuklara Yardım Fonu (UNICEF) ve diğer Birleşmiş Milletler (BM) kuruluşlarına sunulan tavsiyeler aşılar için sağlıklı bir pazarın oluşturulması ve sürdürülmesinde belirleyici olmaktadır. Dünya Sağlık Örgütü tarafından 15.01.2023 itibariyle EUL kapsamına alınan 13 aşıya ilişkin bilgiler Tablo 2.3'te verilmiştir (WHO, 2023c; COVID-19 Vaccine Tracker, 2023).

**Tablo 2.3:** Acil durum kullanım listesine alınan COVID-19 aşıları.

| Geliştirici | Aşının Ticari Adı | Aşı Tipi | Geliştirildiği Ülke | Onay Statüsü | EUL Onayı/ Onaylayan Ülke Sayısı |
|---|---|---|---|---|---|
| **Pfizer–BioNTech** | Comirnaty | mRNA | Almanya | EUL, EMA, FDA | 31 Aralık 2020/ 149 ülke |
| **Pfizer–BioNTech** | Comirnaty Original Omicron BA.1 | mRNA | Almanya | EUL, EMA | 19 Ekim 2022/ 35 ülke |
| **Pfizer–BioNTech** | Comirnaty Original Omicron BA.4-5 | mRNA | Almanya | EUL, EMA | 11 Kasım 2022/ 33 ülke |
| **AstraZeneca** | Vaxzevria | NR-Viral Vektör | Birleşik Krallık | EUL, EMA, HealthCanada ve diğer | 15 Nisan 2021/ 149 ülke |
| **Serum Institute of India** | Covishield (Vaxzevria versiyonu) | NR-Viral Vektör | Hindistan | EUL, CDSCO | 15 Şubat 2021/ 49 ülke |
| **Janssen** | Jcovden (Ad26.COV2.S) | NR-Viral Vektör | Amerika | EUL, EMA | 12 Mart 2021/ 113 ülke |
| **Moderna Biotech** | Spikevax | mRNA | Amerika | EUL, EMA, FDA ve diğer | 30 Nisan 2021/ 88 ülke |
| **Sinopharm** | Covilo | İnaktive | Çin Halk Cumhuriyeti | EUL, NMPA | 7 Mayıs 2021/ 93 ülke |
| **Sinovac Life Sciences** | CoronaVac | İnaktive | Çin Halk Cumhuriyeti | EUL, NMPA | 1 Haziran 2022/ 56 ülke |
| **Bharat Biotech International** | Covaxin | İnaktive | Hindistan | EUL, CDSCO | 3 Kasım 2021/ 14 ülke |
| **Serum Institute of India** | Covovax (Nuvaxovid formülü) | Protein alt birimi | Hindistan | EUL, CDSCO | 17 Aralık 2021/ 6 ülke |
| **Novavax Inc.** | Nuvaxovid | Protein alt birimi | Amerika | EUL, EMA | 20 Aralık 2021/ 40 ülke |
| **CanSino Biologics** | Convidecia | NR-Viral Vektör | Çin Halk Cumhuriyeti | EUL, NMPA | 19 Mayıs 2022/ 10 ülke |

EUL: Acil Durum Kullanım Listesi, EMA: Avrupa İlaç Kurumu, FDA: ABD Gıda ve İlaç Dairesi, CDSCO: Merkez İlaç Standart Kontrol Organizasyonu, NMPA: Çin Ulusal Tıbbi Ürünler İdaresi, NR: çoğalma özelliği olmayan.

Tablo 2.3'te verilen tüm aşıların ortak yönü kas içi (intramüsküler) uygulama kapsamında olmasıdır. Bununla birlikte temelde aşı tipi, raf ömrü ve depolama için uygun sıcaklık aralığı bakımından farklılaşmaktadır. Özellikle yeni geliştirilen aşı teknolojilerinden olan mRNA aşılarından Comirnaty -90 ila -60 °C'de ve Spikevax -20°C ± 5°C 'de viral vektör aşısı olan Jcovden ise -25 ila 15°C'de depolamayı gerektirmesi yönüyle diğer aşıların uygun sıcaklık değerinden (+2 ila +8 °C) farklılaşmaktadır. Raf ömrü en uzun olan aşılar Jcovden (24 ay) ve Covilo (24 ay) olurken, en kısa raf ömrüne sahip aşı ise Vaxzevria (6 ay) olmuştur. Pfizer–BioNTech tarafından geliştirilen ve ilk kullanım onayını alan Comirnaty aşısının, Omicron alt varyantlarına yönelik geliştirilen aşıları da listeye alınmıştır. Küresel olarak onaylayan ülke sayısı açısından sırasıyla Comirnaty, Vaxzevria, Jcovden, Covilo ve Spikevax aşılarının önde gelen aşılar olduğu görülmektedir. Bu listenin yanı sıra mevcut durumda Rusya'da geliştirilen ve 74 ülkede onaylanan Sputnik V (NR-viral vektör) aşısı, Fransa'da geliştirilen ve 33 ülkede onaylanan Valneva (inaktif, adjuvantlı) aşısı ile 30 ülkede onaylanan VidPrevtyn (protein alt birimi) aşısı ve diğer bazı aşıların DSÖ tarafından değerlendirme süreçleri devam etmektedir (WHO, 2023b; COVID-19 Vaccine Tracker, 2023). Acil durum kullanım listesinde veya değerlendirme listesinde yer almamakla birlikte, Türkiye'de aşı geliştiren ülkelerden biri olmuştur. İlk yerli ve milli inaktif COVID-19 aşısı olan TURKOVAC, 22.12.2021 tarihinde Sağlık Bakanlığı Türkiye İlaç ve Tıbbi Cihaz Kurumu tarafından acil kullanım onayı almıştır (Türkiye İlaç ve Tıbbi Cihaz Kurumu, 2021).

COVID-19 aşılarının ortaya çıkması ile birlikte küresel aşı pazar payı önemli ölçüde etkilenmiştir. DSÖ, 94 üretici arasında 2021 yılında küresel aşı pazarının 141 milyar dolar değerinde 16 milyar aşı dozu tedarik ettiğini belirtmiştir. COVID-19 aşıları hariç bırakıldığında, aşıların değeri açısından sırasıyla ilk dört şirket MSD (%22), GSK(%20), Sanofi (%17) ve Pfizer (%14) piyasanın %73'üne sahipken, COVID-19 aşıları ile birlikte ilk dört şirketin sırasıyla Pfizer (%30), Moderna (%12), Sinovac (%12) ve CNBG (%7) olduğu ve piyasanın %61'ine sahip olduğu görülmüştür. COVID-19 aşıları ile birlikte hacim açısından incelendiğindeyse, ilk dört şirket Pfizer (%15), SII (%15), Sinovac (%13) ve CNBG (%11) olarak sıralanmıştır. Bu veriler COVID-19 pandemisi sırasında piyasaya yeni giren şirketler olmasına rağmen, çok yüksek düzeyde yoğunlaşmanın devam ettiğini ve aşı piyasasında önde gelen şirketler değişse de az sayıda üreticiye bağımlılığın sürdüğünü göstermektedir (WHO, 2022d).

Aşı etkinlik oranı açısından değerlendirildiğinde, mevcut aşılar ile iki dozluk aşılamanın SARS-CoV-2 enfeksiyonuna karşı önemli düzeyde korunma sağladığı ortaya konulmuştur. Yapılan sistematik derleme ve meta–analiz çalışmalarında, tam aşılamanın SARS-CoV-2 enfeksiyonuna karşı ortalama %85-95 etkililik gösterdiğini, ancak uygulanan nüfus, baskın olan varyant ve kullanılan aşı tipine göre bu oranın önemli düzeyde farklılıklaştığı görülmektedir (CDC, 2022a). Kanada'da yapılan bir araştırmada, Pfizer-BioNTech aşısının Delta varyantının neden olduğu semptomatik hastalığa karşı %87 etkililik gösterdiği, Alfa varyantında ise bu oranın %89 olduğu bulunmuştur (Chung ve diğ., 2021). Katar'da yapılan çalışmada ise semptomatik hastalığa karşı Moderna aşısının %85, Pfizer-BioNTech aşısının %54 etkililik gösterdiği saptanmıştır (Tang ve diğ., 2021). İsrail'de asemptomatik SARS-CoV-2 enfeksiyonuna karşı etkinliğin değerlendirildiği çalışmada, Pfizer-BioNTech aşısının Alfa varyantına karşı etkinlik oranı %92 olarak bulunurken, Katar'da yapılan bir çalışmada Pfizer-BioNTech aşısının Delta varyantına karşı etkinlik oranı %36, moderna aşısının ise %80 olarak elde edilmiştir (Haas ve diğ., 2021; Tang ve diğ., 2021). Bu sonuçlar COVID-19'a karşı güvenirliği ve etkinliği klinik çalışmalar ile desteklenen aşıların uzun vadeli sonuçlarına ulaşmak için genişletilmiş saha çalışmalarına ve fayda/risk değerlendirilmelerine ihtiyaç olduğunu göstermektedir (Kaur ve Gupta, 2020).

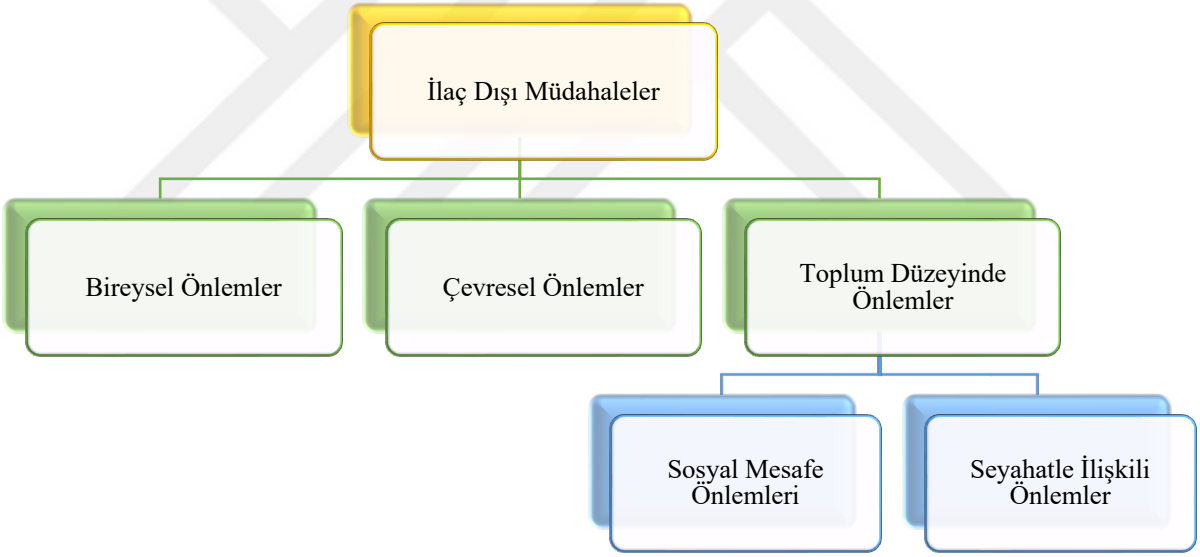
Sonuç olarak pandemi durumunda aşılar, bulaşıcı hastalıklara karşı korunma sağlaması ve hayat kurtarması yönleriyle çok önemlidir. Aşıların sağladığı bu sağlık faydaları ile birlikte, özellikle düşük gelirli ülkelerde tedavi için ayrılan kaynakları büyümeyi sağlayacak eğitim kurumlarına, yollara ve diğer yatırımlara yönlendirme imkanı sağlaması yönüyle aşılar ülkelerin kendi ihtiyaçlarını karşılama becerisine de katkı sağlayan önemli araçlar olarak görülmelidir (Gates, 2018). Gelişmiş ülkelerde kaynakların ulaşılabilirliği ile aşılama oranları nispeten iyi bir düzeyde olmasına rağmen, aşı tereddütleri olan bazı gruplar aşı olmayı reddetmektedir. Son dönemde "anti-vax" olarak ortaya çıkan aşı karşıtı hareket nedeniyle aşılamanın düşmesi, COVID-19 pandemisinin küresel olarak kontrol edilmesi çabalarını önemli ölçüde etkilemiştir (Albrecht, 2022). Bununla birlikte alt ve alt-orta gelir grubu ülkelerinde aşı kaynaklarına erişim imkanının olmaması nedeniyle, mevcut durumda birçok ülkede aşılama oranı oldukça yetersiz düzeydedir. DSÖ'nün 2022 ortasına kadar küresel aşılama için belirlediği %70 aşılama oranına, Haziran 2022 itibariyle 194 üye devletin yalnızca 58'i ulaşmış ve düşük gelirli ülkelerde özellikle sağlık çalışanları, 60 yaş üstü ve bağışıklığı baskılanan bireyler gibi yüksek riskli gruplarda dahil olmak üzere bu hedefin çok gerisinde kalındığı belirtilmiştir. Bu çerçevede aşıların geliştirilmesini ve üretiminin hızlandırılmasını

amaçlayan COVAX platformu, aşıya dünyadaki her ülke için adil ve eşitlikçi erişimi garanti etmek ve özellikle alt ve alt-orta gelir grubu ülkelerde tedarik sağlanabilmesi için aracı olmaktadır. Bu oluşuma öncülük eden DSÖ, COVID-19 pandemisine karşı herkes güvende olana kadar kimsenin güvende olmayacağını belirtmiş ve aşı dozlarının küresel olarak paylaşılması gerekliliğini vurgulamıştır (WHO, 2023a).

#### *2.2.7.2. İlaç Dışı Müdahaleler*

COVID-19 hastalığı, Çin'de ortaya çıktıktan yalnızca birkaç ay sonra dünya çapında yayılmış ve küresel bir pandemiye dönüşmüştür. Pandeminin ilk zamanlarında alınabilecek önlemler, geçmiş pandemilerde olduğu gibi halk sağlığına yönelik iyi hijyen ve karantina uygulamaları gibi ilaç dışı müdahalelerle sınırlı kalmıştır. Pandeminin özellikle savunmasız gruplar üzerindeki olumsuz etkilerinin kontrol altına alınabilmesi için "taktik tedaviler" olarak adlandırılan antiviral ilaçlar (remdesivir, molnupiravir, hidroklorokin, favipiravir vb.) ve anti-SARS-CoV2 nötralize edici antikorlar (iyileşen plazma, sotrovimab, casirivimab-imdevimab vb.) gibi kısa vadeli yaklaşımlar uygulanmış olsa da, bu tedaviler bağışıklık sistemini güçlendirmemektedir. Bağışıklık sistemini güçlendirmek için "stratejik tedavi" yaklaşımı olarak bilinen aşı geliştirme çalışmalarına ihtiyaç duyulmaktadır (Calina ve diğ., 2020). Ancak aşı geliştirme süreçleri tasarımdan piyasaya sürülmesine kadar çok uzun ve meşakkatli bir süreç gerektirmektedir. COVID-19 pandemisinin küresel düzeydeki etkisi, aşı geliştirme çalışmalarını hiç olmadığı kadar hızlandırmış ve aşılama sonrasında şiddetli hastalık, hastaneye yatış ve ölüm riskine karşı güçlü bir korunma sağlanmıştır. Ancak, SARS-CoV-2 enfeksiyonuna karşı geliştirilen ilk aşıya (Pfizer-BioNTech'in geliştirdiği Comirnaty) DSÖ tarafından acil durum kullanım onayının verilmesi ve aşılamanın başlaması, pandeminin bir yıl sonrasında Aralık 2020'de olmuştur (WHO, 2023b). Bu nedenle yeni bir pandemi başladığında onu kontrol altına alabilmek ve yayılmasını etkin bir şekilde önleyebilmek için en kritik müdahale araçları olan ilaç dışı müdahalelere başvurulması gerekmektedir. İlaç dışı müdahaleler ile hastalığın yayılma hızını yavaşlatmak, bilim insanlarına aşı geliştirmek için ihtiyaç duyduğu zamanı sağlamak mümkün olacaktır. Pandemi durumunda uygulanacak ilaç dışı müdahalelerin çeşitliliği ve düzeyi, pandeminin toplumu hangi düzeyde etkilediği ile yakından ilgilidir. Küresel düzeyde mortalite ve morbidite yükü oluşturan COVID-19 pandemisinde ilaç dışı müdahaleler yoğun bir şekilde uygulanmıştır. Bu uygulamalar, etkili bir aşının bulunmadığı dönemde halk sağlığı açısından en etkili müdahale aracı olmakla birlikte, sosyal ve ekonomik olarak ciddi bir maliyet unsuru olduğundan politika yapıcıların COVID-19 ile mücadelede zorlu bir sınav vermesine yol açmıştır (Calina ve diğ., 2020).

COVID-19 pandemisinin çeşitli coğrafyalardaki yaygın ve yıkıcı etkisi, küresel ölçekte ülkelerin okul ve işyeri kapatma, etkinlik iptali, toplu taşımanın ve seyahatlerin kısıtlanması, evde kalma zorunluluğu, temaslı takibi, izolasyon ve karantina gibi pek çok ilaç dışı müdahale uygulamasına başvurmasını gerektirmiştir. İlaçla tedavi seçeneklerinin sınırlı olduğu zamanlarda daha ön planda olan bu uygulamalar aşılama sonrasında da çeşitli düzeylerde uygulanmaya devam etmektedir. İlaç dışı müdahaleler, havalandırması iyi olmayan ortamlardan kaçınma ve sık el yıkama gibi bireysel düzeyde yapılan gönüllü eylemlerden oluşabileceği gibi okul veya işyeri kapatma, seyahat kısıtlama ve karantina gibi ulusal ve uluslararası düzeyde zorunlu müdahalelerden oluşabilir (WHO, 2022e). Avrupa Hastalık Önleme ve Kontrol Merkezi COVID-19'a karşı ilaç dışı müdahalelerin uygulanması hakkında geniş kapsamlı bir kılavuz oluşturmuştur. Bu kılavuzda ilaç dışı müdahaleler Şekil 2.5'te gösterildiği gibi üç ana başlık altında sınıflandırılmıştır (ECDC, 2020).




**Şekil 2.5:** İlaç dışı müdahalelerin sınıflandırması.

**1. Bireysel Önlemler:** Kişisel enfeksiyon riskini azaltmaya yönelik birey düzeyinde uygulanan fiziksel mesafe, el hijyeni ve maske kullanımı gibi kişisel koruyucu önlemlerdir (WHO, 2019).

- *Fiziksel mesafe:* Enfekte bir kişi öksürdüğünde veya hapşırdığında SARS-CoV-2 damlacıkları ve parçacıkları 6 fit (1,83 m) mesafeye ulaşabilmektedir. Bu nedenle diğer insanlarla yakın temasta olmak enfekte olma riskini önemli ölçüde artırmaktadır. DSÖ, öksürme ve hapşırmanın yanı sıra şarkı söyleme ve konuşma faaliyetleri ile ağızdan

partikülün atıldığını ve kalabalık yerlerde, yakın temas ortamlarında ve yetersiz havalandırılan kapalı alanlarda COVID-19 yayılma riskinin artacağını belirtmiştir (WHO, 2021a). İnsanlar semptom göstermese de virüsü taşıyabileceği için birbirine çok yakın konuşmaların yapıldığı yakın temas ortamlarından kaçınarak 1-2 metrelik fiziksel mesafenin mutlaka korunması tavsiye edilmektedir. SARS-CoV-2 damlacıklarının iki metreden daha uzağa ulaşabileceğine yönelik çeşitli kanıtlar olsa da, bireysel düzeyde fiziksel mesafenin gözetilmesi önlemi bulaşma riskini önemli ölçüde azalttığı bir gerçektir (ECDC, 2020). Chu ve diğ. (2020) fiziksel mesafenin virüs bulaşma üzerindeki etkisini incelediği sistematik derleme ve meta-analiz çalışmasında 1 metre veya daha fazla fiziksel mesafenin bulaşma riskini yaklaşık 5 kat azalttığını ve sağlanan ilave mesafenin ek faydalar getireceğini bildirmiştir.

- *Solunum görgü kuralları:* SARS-CoV-2'nin en yaygın görülen bulaş yollarından biri enfekte bireyin solunum damlacıklarına maruz kalmak olup, nadiren daha önce enfekte bir kişinin bulunduğu bir odadan geçmekle de (hava yoluyla bulaş) bulaş söz konusu olabilmektedir (National Institutes of Health, 2022). Bu nedenle SARS-CoV-2'nin hem damlacık hem de hava yoluyla bulaşmasını önleyebilmek için bireysel düzeyde solunum görgü kurallarına uyulması çok önemlidir. Öksürme veya hapşırma sırasında SARS-CoV-2 damlacıkları ve parçacıklarının yayılmasını önleyebilmek ve yayılmasını yavaşlatılabilmek için öksürürken veya hapşırırken kağıt mendil kullanarak ağız ve burunun kapatılması, hemen sonrasında mendilin atılması ve ellerin sabun ve su ile yıkanarak dezenfekte edilmesi gereklidir. Mendil olmadığı durumlarda hapşırma veya öksürme kolun içine yapılarak yayılma yavaşlatılmalıdır. Solunum görgü kurallarının her durumda uygulanması tavsiye edilmektedir (CDC, 2022d).

- *El hijyeni:* Elleri sabun ve su kullanarak sık ve uygun şekilde yıkamak (20-40 saniye) ya da solüsyonlar, jeller veya mendillerle elleri temizlemek pandeminin bulaşma hızını yavaşlatmada oldukça etkili ve önemli bir risk içermeyen bir önlemdir. Ellerin kirli olması durumunda öncelikle sabun ve su kullanılmalıdır. Alkol bazlı el dezenfektanlarının sabun ve suya göre sağladığı ek faydaların sınırlı olduğu ve kullanılacaksa %60-85 alkol içermesi gerektiği bildirilmektedir. El hijyeninin her durumda uygulanması önerilmektedir (ECDC, 2020). El hijyeninin bulaşıcı hastalıkların yayılmasını azaltma olasılığı %24-%31'dir. Sabunlar, sentetik deterjanlar,

antiseptik el yıkama ürünleri, alkol bazlı el dezenfektanları ve dezenfektan mendiller el hijyenini sağlamada sıklıkla kullanılan ürünlerdir (Rundle ve diğ., 2020).

- *Yüz maskeleri:* Maskeler, büyük solunum damlacıklarının, kullanan bireyin ağzına ve burnuna ulaşmasını önlemek ve yayılmanın kaynağında azaltılmasını ve/veya kontrol edilmesini sağlamak için kullanılan araçlardır. Genelde sağlık çalışanları ve hastalar arasında bulaşıcı bir ajanın yayılmasını önlemek için kullanıldığından 'cerrahi maske' veya 'prosedür maskesi' olarak da bilinir (ECDC, 2020). Yüz maskeleri, belirlenen sertifika standartlarını karşılayan onaylı tıbbi maskeler (N-95), sertifika standardında olmayan ancak kullanımı yetkiye tabi tıbbi maskeler (gevşek tek kullanımlık tıbbi maskeler) ve kalite güvencesi olmayan ev yapımı maskeler olarak sınıflandırılabilir. Genel olarak tıbbi maske takmak, COVID-19 enfeksiyon riskini etkili bir şekilde azaltmaktadır (Li ve diğ., 2020). SARS-CoV-2 bulaşmasını önlemede yüz maskesinin etkisini inceleyen bir sistematik derleme ve meta analiz çalışmasında, yüz maskesi takmanın hem sağlık çalışanlarını hem de genel popülasyonu koronavirüslerin neden olduğu enfeksiyona karşı koruduğu belirtilmiştir (Chu ve diğ., 2020).
- *Diğer kişisel koruyucu donanımlar (eldiven, önlük, yüz kalkanları (siperlikler) ve gözlükler):* SARS-CoV-2 enfeksiyonu genellikle enfekte bireyin solunum damlacıklarının ağza ve burna ulaşması ile yayılmaktadır. Ancak bununla birlikte enfekte bireylerin solunum damlacıklarının çeşitli cansız yüzey ve nesneleri kontamine etmesi ve bu yüzey ve nesnelere dokunan bir kişinin ardından ağza, burna veya gözlere dokunması dolaylı bir bulaşmaya neden olabilmektedir (WHO, 2021a). Bu çerçevede pandeminin yayılmasını yavaşlatmak ve riski minimize etmek için maske kullanımına ilave olarak eldiven, önlük, siperlik ve gözlük gibi kişisel koruyucu donanımlar SARS-CoV-2 enfeksiyonuna karşı kullanılmıştır. Chu ve diğ. (2020) yaptıkları sistematik derleme ve meta-analiz çalışmasında fiziksel mesafe ve maske kullanımı önlemlerine ilave olarak siperlik ve gözlük kullanımı ile sağlanan göz korumasının daha düşük enfeksiyon riski ile ilişkili olduğunu belirtmiştir. Ancak eldivenlerin SARS-CoV-2 bulaşmasını önlemede etkisiz olması ve ek fayda sağlamaması ve hatta yetersiz el hijyenine ve yüzey kontaminasyonuna yol açması nedeniyle kullanımı önerilmemektedir (ECDC, 2020).

**2. Çevresel Önlemler:** Kamusal alanlardaki yüzeylerin temizlenmesi ve kapalı alanların uygun şekilde havalandırılması gibi toplumda hastalık bulaşma riskini azaltmak için çevresel düzeyde

uygulanan önlemlerdir. Bu tür önlemler, sağlık çalışanlarının nozokomiyal bulaşmasını ve enfeksiyonunu azaltmak için sağlık hizmetlerinin sunulduğu ortamlarda özellikle önemlidir (ECDC, 2020).

- *Çevresel temizlik:* SARS-CoV-2'nin virüs parçacıkları ile kontamine olmuş yüzeylere dokunulması ve ardından burun, ağız veya gözlere temas edilmesi ile dolaylı olarak bulaşabildiği bilinmektedir. Bu nedenle virüsün bu yolla yayılmasını azaltmak için çevresel temizlik önerilmektedir. SARS-CoV-2'nin yaygın şekilde görüldüğü durumlarda artan vaka sayıları ile birlikte kamusal alanlar yaygın şekilde kontamine olmakta olup, virüsün yayılma riski artmaktadır. Bu durumlarda virüse karşı etkili olan deterjanlar ve dezenfektanlar kullanılarak kamusal alanlardaki yüzeylerin (kapı kolları, düğmeler/butonlar, tuvaletler, otobüsler vb.) düzenli olarak temizlenmesi ve dezenfekte edilmesi önerilmektedir. Buna ilave olarak COVID-19 hastalarının bulunduğu ortamlarda seyreltilmiş çamaşır suyu veya diğer dezenfektanlarla yüzeylerin temizlenmesinden sonra dekontaminasyonu da önerilmektedir (ECDC, 2020).
- *Havalandırma:* SARS-CoV-2 virüsünün hava yoluyla bulaşabileceğine yönelik kanıtlar, COVID-19'a yakalanma riskini tahmin etmek için hava akışlarını anlamak ve kontrol etmek gerekliliğini ortaya koymuştur. Buna göre insanların nefes vermesi sırasında ortaya çıkan çapı 5-10 $\mu$m olan solunum damlacıklarının kaynağa yakın zemine hızla düştüğü, çapı 5 $\mu$m'den küçük olan aerosollerin ise havada uzun bir süre asılı kaldığı bilinmektedir (Bhagat ve diğ., 2020). Bu nedenle virüsün bulaşıcılığını azaltmak için kapalı iç mekanlarda (restoranlar, partiler, alışveriş merkezleri, ibadet mekanları, yurtlar, yolcu gemileri ve araçlar) yeterli havalandırmanın sağlanması gereklidir. Bu kapsamda kapalı iç mekanlarda hava değişim hızını artırmak, hava sirkülasyonunu azaltmak, dış hava kullanımını artırmak ve bu sayede bulaşıcılığı azaltmada ısıtma, havalandırma ve iklimlendirme sistemleri tamamlayıcı bir rol oynayacaktır. Bunu sağlarken filtreleme olmadan hava devridaiminin kullanılması bulaşıcılık riskini artıracağı için önerilmemektedir (ECDC, 2020).

**3. Toplum Düzeyinde Önlemler:** İzolasyon, karantina, temaslı izlemi ve okul kapatmaları gibi kişiler arası yakın fiziksel etkileşimleri sınırlamaya yönelik sosyal mesafe önlemleri ile giriş-çıkış taramaları, yurt içi hareket kısıtlamaları, uluslararası seyahat kısıtlamaları ve sınır kapatmaları gibi seyahatle ilişkili önlemleri kapsayan topluluk düzeyinde uygulanan müdahalelerdir (ECDC, 2020; WHO, 2019).

***Sosyal Mesafe Önlemleri*:** Bulaşıcı hastalıkların yayılmasını, hastaneye yatışları ve ölümleri azaltmak için enfekte olan ve olmayan kişiler arasındaki yakın teması azaltmak üzere uygulanan temaslı izlemi, izolasyon, karantina, evde kalma emirleri, okul ve işyeri önlemleri ve kapanışları gibi fiziksel etkileşimleri sınırlamaya yönelik önlemlerdir (WHO, 2019).

- *Temaslı izlemi/takibi*: COVID-19 hastalarının büyük çoğunluğuna testlerle tanı konulmakta ve izolasyonu sağlanabilmektedir. Test sonucu pozitif olan doğrulanmış vakalarla birlikte tanı konulamayan asemptomatik bireylerin varlığı da gözetilmeli ve kişiden kişiye bulaşma zincirlerini kırmak için enfekte kişilerle yakın zamanda yakın temasta olanların tespit edilmesine yönelik temaslı izlemi faaliyetleri yürütülmelidir. Bulaşıcı hastalıklara karşı önlem alınması amacı ile kaynağın tespiti ve temaslıların belirlenmesi çalışmalarını ifade eden filyasyon ya da saha incelemesi salgınla etkin mücadele için oldukça önemlidir (Mbunge, 2020; T.C. Sağlık Bakanlığı 2021b). Bu çerçevede DSÖ, doğrulanmış vakaların izolasyonunu ve temaslı izlemi sonucunda yakın temaslı olduğu tespit edilenlerin tedbiren diğerlerinden ayrılmasını önermektedir. Bu süreç temelde hastalığı olanların veya şüpheli vakaların hastalığı daha fazla kişiye bulaştırmasını önlemeyi amaçlamaktadır. Temaslı izlemi faaliyetleri sağlık çalışanları, toplum, araştırmacılar, telekomünikasyon şirketleri ve hükûmet yetkililerinin ortak çabaları ile gerçekleştirilmektedir. Sağlık yetkililerinin enfekte olmuş kişilerle yaptığı görüşmede temas ortamı, temas süresi ve mesafenin yakınlığına dair elde edilen bilgilere dayalı olarak her bir temaslının risk düzeyi belirlenir ve gerekli önlemler alınır (Mbunge, 2020; Ahmed ve diğ. 2020).

- *Hasta bireylerin izolasyonu:* İzolasyon veya tecrit, bulaşıcı hastalığı olduğu kesin olarak bilinen doğrulanmış bir vakanın hastalığı başkalarına bulaştırmasını önlemek amacıyla diğerlerinden ayrılması olarak tanımlanır. Bu önlem, belirli bir süre boyunca özel izolasyon tesislerinde veya evde (hafif vakalar) yönetilen COVID-19 vakalarının izolasyonunu içermektedir. COVID-19 semptomları gösterenlerin tamamının mevcut imkanlarla test edilmesinin ve tespit edilenlerin tamamının izolasyon tesislerinde tutulması güç olduğundan, mevcut durumda federal, eyalet veya yerel halk sağlığı yönetimi tarafından uygulanan zorunlu izolasyon uygulamaları yanında bireylerin gönüllülük ve sorumluluk bilincine dayalı kendi kendine/gönüllü izolasyon uygulaması da tercih edilmektedir (ECDC, 2020). DSÖ, COVID-19 hastalığının başlangıcında yayınladığı yönergede izolasyondan hastaları taburcu etmek için 24 saat arayla alınan

ardışık numunelerde iki negatif RT-PCR sonucu olmasını gerekli görmüştür. Mayıs 2020'de güncellenen kılavuzda semptomları düzelen hastaların haftalarca pozitif test sonucu olsa da, bulaşıcı olma olasılığının olmadığı ya da düşük olduğuna dair kanıtları değerlendirmiştir. Bu çerçevede yeniden test gerektirmeden hastaları izolasyondan taburcu edebilmek için, semptomatik hastalarda semptom başlangıcından sonra 10 gün ve semptomsuz en az 3 gün (10+3 gün), asemptomatik hastalar için 10 gün izolasyon süresi önerilmiştir. Bu öneriye göre şiddetli bir vakanın 30 gün semptomunun devam etmesi durumunda uygulanması gereken izolasyon süresi 33 (30+3) gündür. Ülkeler izolasyonu, taburcu etmek için ilk öneriyi veya güncellenen öneriyi benimseyebilir (WHO, 2020c). CDC'ye göre izolasyonu sona erdirme kararı, sağlık hizmeti sağlayıcıları ve yerel sağlık birimlerinin istişaresine göre vaka bazında verilmelidir. Bununla birlikte yapılan güncel çalışmalar tahmini bulaşma riskinin, semptomların başladığı zamanda ve hastalığın ilk 5 gününde en yüksek olduğunu gösterdiği için CDC, Aralık 2021'de COVID-19 hastalarında izolasyon süresini 5 gün ile sınırlamıştır (CDC, 2022b; CDC, 2022e). Farklı varsayımlara dayalı olarak yapılan simülasyon çalışmalarında izolasyonun bulaşmayı azaltacağı, salgın boyutunu küçülteceği ve salgının tepe noktasını geciktireceği öne sürülmektedir (Fong ve diğ., 2020).

- *Maruz kalanların karantinası:* Bulaşıcı hastalık salgınlarını kontrol etmenin en eski ve en etkili araçlarından birisi karantinadır. 14. yüzyılda Venedik limanına vebalı limanlardan gelen gemilerin 40 gün bekletilmesinden yola çıkarak bu uygulama İtalyanca 40 sayısına karşılık gelen 'quaranta' kelimesinden türetilmiştir (Güner ve diğ., 2020). Kişilerin karantinası, "hasta olmayan ancak bulaşıcı bir ajana veya hastalığa maruz kalmış olabilecek kişilerin semptomlarını izlemek ve vakaların erken teşhisini sağlamak amacıyla faaliyetlerinin kısıtlanması veya birbirlerinden ayrılmasıdır." Karantina süresi genellikle hastalığın kuluçka süresinden biraz daha uzun sürmektedir. DSÖ, bir COVID-19 hastasıyla 1 metre mesafede ve 15 dakikadan fazla yüz yüze temas halinde olan, uygun kişisel koruyucu ekipman kullanmadan COVID-19 hastalarına doğrudan bakım sağlayan, belirli bir süre boyunca bir COVID-19 hastasıyla aynı yakın ortamda kalan, herhangi bir taşıtta bir COVID-19 hastasıyla yakın mesafede seyahat eden veya belirtilen diğer risk değerlendirmelerine uyanların 14 gün boyunca karantinaya alınmasını önermektedir. Bununla birlikte hükûmetlerin topluluklarla yapıcı ilişkiler kurarak güncel, tutarlı ve güvenilir bilgileri sağlaması ve savunmasız nüfus başta olmak üzere karantinaya alınan bireylerin yiyecek ve içecek gibi temel

ihtiyaçlarını, sağlık hizmeti, mali, sosyal ve psikososyal destek gibi diğer tüm ihtiyaçlarını karşılaması önerisinde bulunmuştur (WHO, 2020d). Karantina önlemi hükûmetlerin zorunlu bir uygulaması olabileceği gibi kişinin gönüllülük ve sorumluluk bilinciyle kendi kendine/gönüllü karantina uygulaması da söz konusudur. Ayrıca kişi düzeyinde karantina uygulanmasının yanı sıra, grup veya toplum düzeyinde de karantina uygulanabilmektedir. Karantina için bireylerin özel konutları, hastaneler, kamu kurumları (yurtlar vb.) ve diğer mekanlar (yolculuk gemileri vb.) tercih edilebilmektedir. COVID-19'u kontrol etmede karantina ve diğer önlemlerin etkisini inceleyen bir Cochrane derlemesinde, doğrulanmış veya şüpheli vakalara maruz kalanların karantinaya alınması, hiçbir önlem alınmama senaryosu ile karşılaştırıldığında karantinanın vakaların %44 ila %96'sını ve ölümlerin ise %31 ila %76'sını önleyebileceği rapor edilmiştir. Aynı çalışmada karantinaya ilave olarak okulların kapanması, seyahat kısıtlamaları ve sosyal mesafe gibi diğer ilaç dışı müdahale önlemleri uygulamanın yeni vakaların, bulaşmaların ve ölümlerin azaltılmasında daha etkili olabileceği bildirilmiştir (Nussbaumer-Streit ve diğ., 2020).

- *Evde kalma emirleri/önerileri:* COVID-19 hastalığı semptomlarını gösterenlerin tamamının test edilebilmesi ve erken tanı konulabilmesi hastalığın bulaşıcılığını önlemek için çok önemlidir. Ancak toplumda yaygın bulaşma durumlarında veya laboratuvar kapasitesinin yeterli olmadığı durumlarda kaynaklar yeterli olmayacağı için bireylere evde kalmaları için öneriler verilmektedir (ECDC, 2020). Bir ülkede tüm vatandaşları kapsayacak evde kalma emri uygulanabileceği gibi, belirli bölgeye, belirli bir risk grubuna (65 yaş ve üzeri vb.) veya bir bölgedeki yüksek risk grubuna yönelik evde kalma emirleri veya önerileri söz konusu olabilir. Zorunlu evde kalma emirleri, nüfus hareketini ve hanehalkı dışında kişiden kişiye yakın teması azaltarak SARS-CoV-2'ye potansiyel maruziyeti sınırlasa da, bu emirlerin günlük hayatı önemli ölçüde aksattığı ve ekonomik açıdan olumsuz etkilediği açıktır. Bununla birlikte evde kalma emirlerinin yaşam tarzı değişikliklerine etkisinin değerlendirildiği bir çalışmada, evde kalma emirlerinin beslenme davranışında değişikliklere, fiziksel aktivitede azalmaya, hareketsizliğin artmasına ve zihinsel sağlıkta düşüşe neden olduğu belirtilmiştir. Bu nedenle sağlığı korumak ve müdahalenin olumsuz etkilerini en aza indirmek için evde kalma emirlerinin en iyi şekilde kullanılabileceği zamanlamanın ve koşulların değerlendirilmesi gerekmektedir (Moreland ve diğ., 2020; Flanagan ve diğ., 2021).

- *Kalabalıktan kaçınma*: Kalabalık ortamlarda insanlarla yakın temas halinde COVID-19'un yayılmasında ciddi bir risk unsurudur. Kamusal alanlarda kalabalıklarla iç içe olmak hastalığın damlacık, hava yolu ve cansız nesnelere dokunarak yayılması riskini artırmaktadır. Kamusal alanlar sağlanan işlev ve hizmetlere göre, yaşam hizmet alanları, dış mekanlar ve kapalı alanlar olarak sınıflandırılabilir. Halk için günlük ihtiyaçlarının karşılandığı yaşam hizmet alanlarında (mağazalar, süpermarketler, restoranlar, oteller) sık temas edilen nesneler (servis masası, asansör düğmesi, kapı kolu, alışveriş sepeti gibi) bulaş kaynağı haline gelebilir. Bununla birlikte ödeme yapma ve ürün seçme durumlarında yakın temas halinde olmak damlacık bulaşması ve havayla bulaşma riskini artırmaktadır. Parklar, açık sahneler ve plajlar gibi dış mekanlarda ise yemek pişirme, kamp yapma, dans etme ve şarkı söyleme gibi etkinliklerle yakın temas kurmak hastalığın yayılma riskini artırmaktadır. Asansör ve tuvalet gibi kapalı yerlere doğrulanmış ve şüpheli vakaların girmesi, hastalığın sağlıklı bireylere farklı yollarla bulaşmasına yol açabilmektedir. Bu nedenle riski azaltmak için özellikle yüksek riskli bireylerin kalabalıklardan kaçınması ve risk ve ortam temelli değerlendirmelerle müdahale stratejilerinin belirlenmesi önerilmektedir (Pan ve diğ., 2022).
- *Eğitim ve sosyal farkındalık*: COVID-19 hastalığının iletim zincirini kesmede uygun ve yeterli eğitimin verilmesi önemli bir faktördür. Pandemi süreçleri ile ilgili yeterli eğitimin verilmediği ve sosyal farkındalığın bulunmadığı toplumlarda, bireyler bilinçsizce virüsü bulaştırmaktadır (Rashedi ve diğ., 2020). Bu kapsamda iyi hijyen uygulamalarının, kişisel koruyucu önlemlerin, çevresel önlemlerin ve sosyal mesafe önlemlerinin hastalıktan korunmadaki önemini topluma kapsayıcı ve açıklayıcı olarak bildirecek eğitim kampanyalarının düzenlenmesi ve kamuoyunun güven verici şekilde aydınlatılması gereklidir. Özellikle hasta bireylerin şiddetli hastalık geçirme ve hastalığı yayma riskinin, onlara bakım veren hane halkı üyelerinin ise hastalığa yakalanma riskinin önlenebilmesi için sağlık çalışanlarına eğitim aşamasında önemli görevler düşmektedir. Bununla birlikte 65 yaş ve üzerindekiler, kanser hastaları ve hamileler gibi yüksek risk grubunda yer alan kişilerin şiddetli hastalık, hastaneye yatış ve ölüm riskini azaltabilmek için eğitim faaliyetleri kritik önem taşımaktadır (ECDC, 2020).
- *Okul temelli önlemler:* Şiddetli bir pandemi sırasında çocukların sağlığını korumanın ve toplum genelinde pandeminin yayılmasını yavaşlatmanın en önemli yollarından biri okulların kapatılmasıdır. Okulda çocuklar günün büyük bir bölümünde kapalı alanlarda

yakın temas halinde olduğu için virüse maruziyet riski önemli düzeyde artmaktadır. Bu kapsamda yerel halk sağlığı uzmanlarının pandeminin toplumdaki şiddeti ve bulaşabilirliğini yansıtan epidemiyolojik veriler çerçevesinde aldığı okul kapatma tedbirlerine yerel makamların ve okul yöneticilerinin uyması gerekmektedir. Okul kapatmalarının, yakın teması azaltarak ölümlerin azaltılmasına ve virüsün yayılmasını yavaşlatmaya katkısı olmakla birlikte, eğitim fırsatlarının kaçırılması, yemek veya sağlık hizmetleri gibi sağlanan ek okul hizmetlerine ulaşamama, çocuklarla ilgilenmek için evde kalan ebeveynlerin potansiyel gelir kaybı ve alternatif bakım arayan ebeveynler için aksamalar ve ek maliyetler gibi yol açtığı çeşitli zorluklar da söz konusudur (CDC, 2022d). Bununla birlikte yapılan bir sistematik derleme çalışmasında sağlık ve sosyal bakım sektörlerinde çalışanların yaklaşık %30'unun çocuk bakım yükümlülüğünün olduğu ve okul kapatmalarının işe devamsızlığa yol açarak sağlık hizmetleri işgücünü azaltacağı belirtilmiştir. Son olarak okulları kapatmanın pandeminin zirvesini ortalama %29,7 oranında azalttığı ve zirveyi ortalama 11 gün geciktirdiği bildirilmiştir (Viner ve diğ., 2020).

- *İş yeri temelli önlemler:* İşyerleri, çalışanlar ve yakın temaslı çevreleri için pandemi durumlarında yüksek riskli ortamlardır. Bu durumlarda çalışanların ve müşterilerin sağlığını korumada işverenler kritik bir role sahiptir. Halk sağlığı uzmanlarının işverenlerle birlikte hareket ederek pandeminin yayılmasını yavaşlatmak için gerektiğinde işyeri kapatma ve diğer iş yeri temelli önlemleri uygulamayı sağlamalıdır (CDC, 2022d). İşyeri temelli önlemler arasında ücretli izin politikası, evden uzaktan çalışma, esnek çalışma düzenini sağlayan kademeli vardiyalar (farklı işe giriş ve çıkış saatleri uygulaması vb.), yüz yüze toplantılar yerine çevrimiçi toplantıların düzenlenmesi, azaltılmış temas ve hafta sonunun uzatılması gibi pek çok uygulama yer almaktadır (WHO, 2019). Bununla birlikte işverenler çalışanları kişisel koruyucu ekipmanları kullanmaya teşvik etmeli ve bunun için gerekli olan maske, siperlik, kağıt mendil, sabun, temiz su ve el dezenfektanı gibi malzemeleri çalışanların erişimine sunmalıdır. Pandeminin şiddetli seyrettiği durumlarda öncelikle savunmasız gruplarda yer alan çalışanların (hamileler, kanser hastaları, yaşlılar vb.) evden uzaktan çalışma imkanlarının hem işveren hem de hükûmet düzeyinde sağlanması oldukça kritiktir. Ancak iş süreçlerinin yüz yüze toplantılar gerektirdiği durumlarda veya istihdam türünün evden çalışmaya uygun olmadığı durumlarda (fabrika işçisi, itfaiyeci, polis memuru vb.) bu önlemleri uygulamak oldukça zordur (CDC, 2022d).

***Seyahatle İlişkili Önlemler:*** Seyahat tavsiyeleri, seyahatle ilgili kısıtlamalar, sınırların kapatılması, yolcuların taraması ve karantina uygulanması gibi uzun mesafeye virüsün iletimini azaltmaya ve bir ülke içinde veya sınırlar arasında virüsün coğrafi yayılmasını önlemeye veya sınırlamaya yönelik önlemlerdir (ECDC, 2020; WHO, 2019).

- *Seyahat tavsiyeleri:* Yolcuların yurt içi ve yurt dışı seyahatleri sırasında enfeksiyon riskini en aza indirmek için dikkate almaları gerekli olan, yasal ve ekonomik sonuçları bulunan resmi hükûmet tavsiyelerini ifade etmektedir. COVID-19 pandemisinin başlarında birçok ülke virüsün daha geniş coğrafi alanlara yayılmasını önlemek ve sınırlamak için seyahat tavsiyeleri yayınlamıştır. Özellikle topluluk bulaşmasının devam ettiği bölgelere veya ülkelere yapılan seyahatlerin ve etkilenen ülkelerden yapılacak ithalatın yol açacağı enfeksiyon riskinin azaltılması amaçlanmıştır. Bunun için yolcuların seyahatle ilgili tüm önlemler hakkında zamanında bilgiye erişiminin sağlanması ve seyahat tavsiyelerinde belirtilen önleyici tedbirleri yolcuların uygulaması için gerekli hatırlatılmaların yapılması önemlidir (ECDC, 2020).
- *Giriş ve çıkış taramaları:* Giriş taramaları, etkilenen bölgelerden gelen yolcuların bir ülkeye girebileceği ulusal sınırlarda ve havaalanlarında sağlık anketleri, sıcaklık tarayıcıları veya laboratuvar testleri ile taranmasını ifade etmektedir. Etkilenen bölgelerden diğer bölgelere seyahat edeceklere yapılan taramalar ise çıkış taramalarıdır (ECDC, 2020). Yolcuları influenza enfeksiyonları için taramanın ana kriterlerinden biri ateştir. Yapılan taramanın hassasiyeti büyük ölçüde termometreler ve kızılötesi termal görüntü tarayıcıları gibi araçlarla ateşin saptanabilmesine bağlıdır. Ancak ateşi olan bazı yolcular, termal tarayıcılar veya termometreler tarafından tespit edilmemek için seyahatten önce ateş düşürücü alarak semptomları azaltmaya çalışmaktadır. Bununla birlikte yapılan bir çalışmada COVID-19 salgınında havaalanı taraması yoluyla bazı vakalar tespit edilmiş olsa da, genel olarak tarama yoluyla daha fazla enfekte yolcunun tespit edilmediği sonucuna ulaşılmıştır. Bu nedenle birçok ülkede seyahat taramalarında ateş taraması yerine seyahatten kısa bir süre önce yapılmış polimeraz zincir reaksiyonu (PCR) gibi moleküler tanı sonuçları gerekli kılınmıştır (WHO, 2019; Quilty ve diğ., 2020).
- *Yurt içi seyahat kısıtlamaları*: Bir ülke veya bölge içerisinde virüsün bulaşıcılığını sınırlamak için uygulanan seyahat kısıtlamalarıdır. Seyahat sırasında insanlarla yakın temas kurmak virüs bulaşma riskini artırabilmektedir. Özellikle pandeminin

başlangıcında yurt içi seyahat kısıtlamalarının uygulanması ile ülke içerisinde henüz vaka görülmeyen bölgelerdeki popülasyonun korunması ve virüsün o bölgede yayılmasının geciktirilmesi mümkün olacaktır (ECDC, 2020). Hem şehir içi hem de şehirler arası hareket, pandeminin gidişatını önemli ölçüde etkilemektedir. Tayvan'da yapılan bir çalışmada şehir içi hareketin toplam vaka sayısı üzerinde daha fazla etkiye sahip olduğu ve şehirler arası hareketin ise coğrafi kapsamı etkilediği sonucuna ulaşılmıştır. Seyahat kısıtlamalarının zamanlaması, süresi ve seviyesinin enfeksiyon sayısı üzerinde etkili olduğu ve bu önlemin pandeminin kısa vadeli kontrolüne katkı sağladığı belirtilmiştir (Chang ve diğ., 2021). Bununla birlikte ülke içi hareket kısıtlamaları diğer ilaç dışı müdahalelerle birlikte uygulandığında daha etkili sonuçlar alındığı gözlenmiştir. Bir gözlemsel çalışmada COVID-19 pandemisinde 142 ülkede virüsün bulaşıcılığını (Rt'yi) düşürmede ülke içi hareket kısıtlamalarının yanı sıra işyeri kapatma ve evden çalışma gibi önlemlerin zamanında uygulanmasının büyük bir etkiye sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Koh ve diğ., 2020).

- *Uluslararası seyahat kısıtlamaları ve sınır kapatma:* Pandemi durumlarında bir hastalık kıtalararası yayılma gösterdiği için, etkilenen bölgelerden veya ülkelerden seyahatleri kısıtlamak veya etkilenen bölgelere/ülkelere yapılan seyahatleri kısıtlamak gibi önlemlerle virüs bulaşma riski azaltılabilmektedir. Bu kısıtlamalar pandeminin şiddetine göre bireylerin belirli bir ülkeye veya bölgeye giriş ve çıkış hareketlerinin önlenmesi diğer bir ifadeyle tam sınır kapatma düzeyinde olabileceği gibi, belirli ülkelere veya bölgelere yönelik yolcu giriş yasakları, yolcu hacimlerini azaltmaya yönelik uçuş iptalleri, havaalanı kapatma, yolcuların karantinası ve taranması gibi farklı düzeylerde önlemleri içerebilir (ECDC, 2020). COVID-19'un küresel olarak yayıldığı ve pandemi olarak ilan edildiği Mart 2020'de sınır kapatma uygulamaları başlamıştır. COVID-19 pandemisinde 31 ülkenin seyahat politikalarının incelendiği bir çalışmada, Nisan ve Mayıs 2020'de ülkelerin yaklaşık %40'ının sınır kapatma politikası uyguladığı, Ağustos 2020'den itibaren, tam sınır kapatma önlemlerinin gevşediği ve daha yaygın olarak kısmi sınır kapatma (bazı bölgelerden geliş yasağı), gelenlerin taranması ve karantinaya alınması önlemlerinin tercih edildiği gözlenmiştir (Bou-Karroum ve diğ., 2021). Uluslararası seyahat kısıtlamalarının etkinliğinin değerlendirildiği çalışmalarda, uluslararası uçuş hacminin azaltılması gibi önlemlerin ilişkili ölüm sayısındaki zirveyi 2 hafta ve vakaların uluslararası yayılmasını 2-19 hafta geciktirebileceği tahmin edilmiştir. Uluslararası seyahat bulaşıcı hastalıkların sınır ötesine yayılmasını

tetikleyeceği için, sınırların tamamen kapatılması influenzanın yayılmasını veya hiç etkilenmeyen ülkelerde ortaya çıkmasını önleyebilir veya en azından birkaç hafta geciktirebilir. Ancak pratikte, gıda ve tıbbi malzeme ithal etme ihtiyacı nedeniyle seyahat kısıtlama ve sınır kapatma önlemleri uzun vadede sürdürülebilir olmadığı gibi ekonomik ve sosyal bozulmaya da yol açabilir. Bu nedenle çok şiddetli pandeminin olduğu ve ulusal yasaların izin verdiği durumlarda ancak bu aşırı önlem uygulanabilmektedir (Ryu ve diğ., 2020).

İlaç dışı müdahalelerinin etkin kullanımı pandeminin yol açtığı mortalite ve morbidite yükünü önemli ölçüde azaltmakta ve insan gücü kaynağının uzun vadeli korunmasını sağlayarak başta sağlık sektörü olmak üzere tüm sektörler için kritik faydalar sağlamaktadır. Ancak ilaç dışı müdahalelerin sağladığı faydalarla birlikte yol açtığı olumsuz durumlar da söz konusudur (PAHO, 2020). Bu kapsamda ilaç dışı müdahalelerin etkileri yayılma, davranış ve tıbbi uygulama üzerindeki etkileri olmak üzere üç alt başlıkta değerlendirilebilir (Perra, 2021).

- *Enfeksiyonun yayılması etkileri:* COVID-19'un yayılması üzerinde kişisel koruyucu önlemler, izolasyon, karantina, sosyal mesafe önlemleri ve seyahat yasakları gibi ilaç dışı müdahalelerin çeşitli düzeylerde etkisi olduğu görülmüştür. Kucharski ve diğ. (2020), Çin'de seyahat kısıtlamalarından bir hafta önce 2,35 olan temel üreme oranının seyahat kısıtlamalarından bir hafta sonra 1,05'e düşmesi, Koh ve diğ. (2020) 142 ülkeyi kapsayan çalışmasında, ülke içi hareket kısıtlamaları, işyeri kapatma ve evden çalışma önlemlerinin zamanında uygulanmasının virüsün bulaşıcılığını (Rt'yi) düşürmede büyük bir etkiye sahip olması ve Islam ve diğ. (2020) 149 ülkeyi kapsayan çalışmasında ise, herhangi bir fiziksel mesafe müdahalesi uygulamasının COVID-19 insidansında %13'lük bir azalma ile ilişkilendirilmesi ilaç dışı müdahalelerin yayılma üzerindeki etkilerini ortaya koymaktadır (Castex ve diğ., 2021).
- *Davranışlar üzerindeki etkileri*: COVID-19 ile mücadelede ilaç dışı müdahalelerin bireylerin davranışları üzerinde etkileri; çevrimiçi etkinlikler, hareketlilik, sağlık, harcama ve finansal piyasaların performansı gibi çok geniş bir kapsamdadır. İzolasyon, tecrit ve evde kalma emirleri insanların olağan aktivitelerini ve geçim kaynaklarını etkilemiştir. Bireylerde yalnızlık, kaygı, depresyon, uykusuzluk, uyuşturucu madde kullanımı, kendine zarar verme veya intihar davranışları daha sık görülmekle birlikte, geçimsizlik, aile içi şiddet ve istismar vakaları ciddi artış göstermiştir (Kumar ve Nayar, 2021). Bununla birlikte karantinaya alınan kişilerin veya hane halkında izole edilen

bireylere bakım verenlerin evden çalışmasına imkan sağlanmaması durumunda çeşitli ekonomik zorluklar söz konusu olacaktır (PAHO, 2020).

- *Tıbbi uygulama üzerindeki etkileri:* İlaç dışı müdahalelerin sağlık hizmetleri üzerindeki etkilerini kapsamaktadır. Yapılan çalışmalarda ilaç dışı müdahalelerin hastane ziyaretlerini, uzman takibini ve rutin taramaları büyük ölçüde sınırladığı ve bu nedenle teşhislerin gecikmesine ve önlenebilir ölümlerde artışa yol açtığı öngörülmüştür. Maringe ve diğ. (2020) tanıdaki gecikmelerin kanser sağkalım sonuçları üzerindeki etkisini tahmin ettikleri çalışmada, tanıdan sonra 5. yıla kadar meme kanserine bağlı ölümlerde %7,9-9,6, kolorektal kanser için %15,3-16,6, akciğer kanseri için %4,8–5,3 ve özofagus kanseri için %5,8–6,0 artış tahmin edilmiştir.

İlaç dışı müdahalelerin olası etkileri göz önünde bulundurularak hükûmetlerin pandemi ile mücadelede en uygun planlamayı yapması gereklidir. Pandeminin erken safhalarında durumun ciddiyeti tam olarak bilinemeyeceği için, etkili ve güvenilir bir aşı geliştirilene kadar ilaç dışı müdahalelerin zamanında uygulanması önemlidir. Bu çerçevede pandemi durumunda izlenmesi gereken eylem adımları; halk sağlığı uzmanlarının topluluk liderleri ve kilit paydaşlarla ortaklık kurması, verilerin toplanması ve sürveyans sistemi ile izlenmesi, vatandaşa farklı iletişim kanallarından doğru ve gerekli bilgiler sağlanarak toplum desteğinin kazanılması, pandemiye müdahalede kapsayıcı hedefler belirlenmesi ve bu hedeflere yönelik seçilen ilaç dışı müdahalelerin önerilmesi ve uygulanması, müdahalelerin etkinliğini, tetikleyici gelişmeleri ve devre dışı bırakma durumlarını tespit edebilmek için verilerin izlenmesi olarak özetlenebilir. Hükûmetler, müdahele önlemlerini pandeminin şiddetine göre gözden geçirmeli ve stratejilerini hızla yeni duruma uyarlayabilmelidir. Bu kapsamda epidemiyolojik verilere dayalı olarak yerel veya bölgesel düzeyde veya belirli popülasyon grupları için hangi müdahalelerin kombinasyonunun tercih edileceğine karar verilmelidir (CDC, 2022d).

Etkili ve güvenilir bir aşı geliştirilmeden önce pandeminin etkisini hafifletmek için uygulanan en etkili strateji, kişiler arası teması azaltmaya yönelik ilaç dışı müdahalelerdir. Bununla birlikte yaygın ve zamanında test ve temas takibi, vakaların izolasyonu ve temaslıların karantinası gibi fiziksel mesafe müdahalelerine imkan sağlayan ve salgının tüm aşamalarında kilit bir role sahip olan ölçütlerdir. İlaç dışı müdahalelerin enfeksiyonun yayılmasını yavaşlatma, hastaneye yatış ve ölümleri azaltmadaki önemi ve etkisine yönelik yapılan çalışmalardan farklı düzeylerde kanıtlar ve tahminler verilmiştir. Ancak ülkeler enfeksiyon kontrolünde genellikle birden fazla müdahaleyi birlikte uyguladığı için farklı durumlarda hangi

müdahalenin etkili olabileceğini belirlemek zorlaşmaktadır. Ayrıca ilaç dışı müdahalelerin enfeksiyonun kuluçka süresinden daha uzun sürede etkisini gösterebileceği ve 40 güne kadar gecikme olabileceği bildirilmiştir. Bu çerçevede müdahalelerin zamanlamasının ülkelerin pandemi ile mücadeledeki başarısını etkilediği bilinmektedir. Bununla birlikte ilaç dışı müdahalelerin toplumsal ve ekonomik bozulmaya yol açabilmesi ve uygulanmasında ülkeye özgü çeşitli faktörlerin etkili olabilmesi söz konusudur. Bu nedenlerle, politika yapıcıların ve karar vericilerin eylem planı hazırlarken ve müdahaleleri uygularken insanların davranış değişikliğinden kaynaklanabilecek gecikmeleri, ülkelerin kendilerine özgü kaynak mevcudiyeti, coğrafyası, nüfus ve siyasi faktörleri (sağlık okuryazarlığı, hükûmete güven, kültürel çeşitlilik ve dil çeşitliliği vb.) göz önünde bulundurması ve toplumsal ve ekonomik bozulmayı en aza indirecek önlemlerin bileşimini tercih etmesi kritik derecede önemlidir (ECDC, 2020; Wiersinga ve diğ., 2020).

#### *2.2.7.3. Müdahale Yöntemlerini İzlemede Kullanılan Endeks ve Göstergeler*

Günümüzde sağlığın korunması ve geliştirilmesine yönelik çabaların ivme kazanması, pandemi ile mücadelede koruyucu tedbirlerin hükûmetler tarafından uygulanmasına önemli ölçüde zemin hazırlamıştır. Bu doğrultuda ülkeler COVID-19 ile mücadelede farklı müdahale yaklaşımlarını farklı düzeylerde uygulamıştır. Ülkelerin müdahaleleri uygulama düzeyindeki farklılıkların etkisini gözlemleyebilmek için veri toplama ihtiyacı söz konudur. Bu doğrultuda hükûmetler tarafından ilaç ve ilaç dışı müdahalelerin uygulanma durumlarını izleyebilmek için çeşitli endeksler oluşturulmuştur. COVID-19 özelinde ilaç ve ilaç dışı müdahalelerinin izlenmesine yönelik oluşturulan endeksler belirli göstergeleri bir arada değerlendirmeye odaklanmaktadır. Bu kapsamda Oxford COVID-19 Kamu Müdahale İzleyicisi (OxCGRT), hükûmetlerin faaliyetlerini takip etmek için bireysel politika önlemleri çerçevesinde izlenen 20 göstergeye ilişkin bilgiler Tablo 2.4'te verilmiştir (Hale ve diğ., 2021a).

**Tablo 2.4:** OxCGRT'nin izlediği göstergeler.

| *ID* | **Gösterge** | **Türü** | **Maksimum** |
|---|---|---|---|
| *Sınırlama ve kapatma politikaları* | | | |
| *C1* | Okul kapatma | Ordinal | 3 (0,1,2,3) |
| *C2* | İşyeri kapatma | Ordinal | 3 (0,1,2,3) |
| *C3* | Halka açık etkinliklerin iptali | Ordinal | 2 (0,1,2) |
| *C4* | Toplanma boyutuyla ilgili kısıtlamalar | Ordinal | 4 (0,1,2,3,4) |
| *C5* | Toplu taşımayı kapatma | Ordinal | 2 (0,1,2) |
| *C6* | Evde kalma zorunlulukları | Ordinal | 3 (0,1,2,3) |
| *C7* | Ülke içi hareket kısıtlamaları | Ordinal | 2 (0,1,2) |
| *C8* | Uluslararası seyahat kısıtlamaları | Ordinal | 4 (0,1,2,3,4) |
| *Ekonomik politikalar* | | | |
| *E1* | Gelir desteği | Ordinal | 2 (0,1,2) |
| *E2* | Haneler için borç/sözleşme erteleme | Ordinal | 2 (0,1,2) |
| *E3* | Mali önlemler | Sayısal | - |
| *E4* | Uluslararası destek verme | Sayısal | - |
| *Sağlık sistemi politikası* | | | |
| *H1* | Kamuyu bilgilendirme kampanyası | Ordinal | 2 (0,1,2) |
| *H2* | Test politikası | Ordinal | 3 (0,1,2,3) |
| *H3* | Filyasyon takibi | Ordinal | 2 (0,1,2) |
| *H4* | Sağlık hizmetlerine acil yatırım | Sayısal | - |
| *H5* | COVID-19 aşılarına yatırım | Sayısal | - |
| *H6* | Yüz koruması (Maske) | Ordinal | 4 (0,1,2,3,4) |
| *H7* | Aşılama politikası | Ordinal | 5 (0,1,2,3,4,5) |
| *H8* | Yaşlı insanların korunması | Ordinal | 3 (0,1,2,3) |
| *Diğer* | | | |
| *M1* | Diğer yanıtlar | Metin | - |

Tablo 2.4'te çeşitli endekslerin oluşturulmasında temel olarak izlenen göstergelere; sınırlama ve kapatma politikaları, ekonomik politikalar, sağlık sistemi politikası ve diğer olmak üzere dört başlıkta yer verilmiştir. 18 Mart 2021 itibariyle sağlık sistemleri politikası altında yaşlı insanların korunması göstergesi de eklenerek izlenen gösterge sayısı 21'e ulaşmıştır (Hale ve diğ., 2021a). Tablo 2.4'te verilen göstergelerle elde edilen verileri anlamlandırmak amacıyla seçili göstergelerin basit ortalamaları alınarak dört farklı endeks üretilmiştir. Bu endekslerin her biri hükûmetlerin farklı boyutlardaki yanıtlarının düzeyini yansıtmaktadır. Endeks değerleri 0 ile 100 arasında bir sayıyı ifade edecek şekilde seçili göstergelerin basit ortalamaları ile elde

edilmiştir. Bu endeksler önemli gösterge olarak kullanılmakla birlikte, bir kamu politikasının etkin şekilde uygulanıp uygulanmadığı hakkında bilgi vermez (Mathieu ve diğ., 2020).

Endekslerin hesaplanmasında diğer başlığında yer alan metin türündeki M1 göstergesi ile "ekonomik politikalar" ve "sağlık sistemi politikası" başlıkları altında yer alan sayısal türdeki E3, E4, H4 ve H5 göstergeleri dışında kalan ordinal türdeki 16 gösterge kullanılmaktadır. Bu endeksler farklı boyutlarda hükûmetlerin yanıt düzeylerini ortaya koymaktadır. Veriler haftada iki kez güncellenerek takip edilmektedir. Bu doğrultuda oluşturulan dört endeksin içerdiği göstergelere aşağıda yer verilmiştir (Hale ve diğ., 2021a).

- Kamu müdahale endeksi: C1-C8, E1-E2, H1-H3, H6-H8
- Sınırlama ve sağlık endeksi: C1-C8, H1-H3, H6-H8
- Sıkılık endeksi: C1-C8, H1
- Ekonomik destek endeksi: E1-E2

***Dünya Sağlık Örgütü Avrupa Bölge Ofisi,*** COVID-19 ile mücadelede ülkelerin izlediği politikaları sistematik olarak izleyebilmek ve değerlendirebilmek için "Sağlık Sistemi Müdahale İzleme" (The Health Systems Response Monitor, HSRM) platformunu oluşturmuştur. Sağlık sistemlerine odaklanmayı amaçlayan izleme sisteminin aynı zamanda halk sağlığı girişimleri ve diğer sektörlerdeki müdahaleleri de ortaya çıkarması hedeflenmiştir. Politika yapıcılara diğer hükûmetlerin kaynakları ve hizmet sunumunu nasıl yönettiğine ilişkin önemli bir perspektif sağlayan HSRM platformu, Tablo 2.5'te verilen altı bölüm ve çeşitli alt başlıklardan oluşmaktadır (WHO Regional Office for Europe, 2020a).

**Tablo 2.5:** Sağlık sistemi müdahale izleme bileşenleri.

| ***Bölüm / Temel bilgi*** | ***Alt başlıklar*** | **Amaçlar** |
|---|---|---|
| ***Bulaşıcılığı önleme***<br>*- Temel halk sağlığı önlemleri*<br>*- Vakaların test edilmesi ve belirlenmesi, temaslıların izlenmesi ve salgın ölçeğinin izlenmesi için yerinde önlemler* | • Sağlık iletişimi<br>• Fiziksel mesafe<br>• İzolasyon ve karantina<br>• İzleme ve gözetim<br>• Test | Ülkelerin genel halka ve hastalığa sahip olan (olabilecek) kişilere nasıl tavsiyelerde bulunduklarını sunmak ve hastalığın yayılmasını nasıl önlediğini paylaşmak. |
| ***Yeterli fiziksel altyapı ve işgücü kapasitesinin sağlanması***<br>*- Fiziksel altyapı*<br>*- Eksiklikleri gidermeye yönelik önlemler*<br>*- İş gücü kapasitesini korumaya veya geliştirmeye yönelik adımlar*<br>*- İşgücü beceri karışımı ve sorumlulukları*<br>*- Eğitim ve İK girişimleri* | • Fiziksel altyapı<br>• İşgücü | Ülkelerde altyapı yetersizliklerini gidermek için geliştirilen uygulamaları ve sağlık çalışanlarını korumaya ve desteklemeye yönelik yaklaşımları detaylandırmak. |
| ***Sağlık hizmetlerinin etkili sunulması***<br>*- COVID-19 vakaları için planlama ve hastanın izleyeceği yollar*<br>*- Temel hizmetlerin sürdürülmesi* | • Planlama hizmetleri<br>• Vakaların yönetimi<br>• Temel hizmetlerin sürdürülmesi | Hizmet sunumuna yönelik yaklaşımları açıklamak ve ülkelerin COVID ve COVID dışı bakımı nasıl dengelediğini keşfetmek. |
| ***Hizmetler için ödeme yapılması***<br>*- Ülkeler COVID-19 hizmetleri için nasıl ödeme yapıyor?* | • Sağlık finansmanı<br>• Yetkilendirme ve kapsam | Sigorta, vergiye dayalı ve karma sistemlerde bakım için ödeme yapmanın farklı zorluklarını keşfetmek. |
| ***Yönetişim***<br>*- Pandemi müdahale planları*<br>*- Sağlık sisteminin yönlendirilmesi*<br>*- Acil müdahale mekanizmaları*<br>*- Etkilenen hastalara sağlık hizmetleri sunumunun düzenlenmesi* | - | Yönetimin sağlık sistemlerinin sürekli işleyişini nasıl sağlamaya çalıştığını ve bu amaçla bilginin nasıl iletildiğini anlamak. |
| ***Diğer sektörlerdeki önlemler***<br>*- Sağlık sistemi dışındaki sektörlerde alınan önlemler ve verilen tavsiyeler* | • Sınır kısıtlamaları<br>• Seyahat tavsiyesi<br>• Ekonomi<br>• Devlet yardımı<br>• Sivil savunma<br>• Sınır ötesi işbirliği | Sağlık sistemi müdahalelerini daha geniş bir politika ortamında belirlemek. |

Tablo 2.5'te verilen alt başlıklar temelinde ülkelerin değerlendirilmesi, COVID-19 mücadelesinde politika yapıcıların deneyim paylaşımını ve bu deneyimler karşılaştırılarak yeni stratejilerin formüle edilmesini sağlaması yönüyle önemli ve gereklidir. Bu doğrultuda DSÖ Avrupa Bölge Ofisi tarafından hastalığın tedavisinin sınırlı olduğu pandeminin erken dönemlerde hükûmet müdahaleleri ile epidemiyolojik durumun nasıl seyrettiğinin ortaya

çıkarılmasını sağlamak üzere bir çalışma başlatılmıştır. Bu çalışma sonucunda Oxford COVID-19 Kamu Müdahale İzleyicisinden (OxCGRT) esinlenerek hazırlanan halk sağlığı ve sosyal önlemler (PHSM) endeksi geliştirilmiştir. Bu önlemler hem kısıtlayıcı büyük ölçekli halk sağlığı müdahalelerini (kurumların belirli faaliyetlerini kapatma, kısıtlama veya zorunlu kılma) hem de tüm temaslıların hızlı bir şekilde belirlenmesi, izole edilmesi, test edilmesi, izlenmesi ve karantinaya alınması, kişisel koruyucu önlemler ve fiziksel mesafenin korunması gibi temel halk sağlığı müdahalelerini içermektedir. PHSM şiddet endeksi; 'maske takma', 'okulların kapanması', 'ofislerin, işletmelerin, kurumların ve operasyonların kapatılması','toplanma kısıtlamaları', 'yurt içi hareket kısıtlamaları' ve 'uluslararası seyahat kısıtlamaları' olmak üzere altı göstergeden oluşmaktadır (WHO Regional Office for Europe, 2020b).

Bu altı gösterge müdahale politikasının yoğunluk ve kapsamına karşılık gelen sıralı bir ölçeğe dayalı olarak puanlanır ve 0 ile 100 arasında bir skalaya yerleştirilir. Bu altı göstergenin ortalaması, her ülke için birleşik PHSM şiddet endeksi puanını oluşturur. Bu endeks DSÖ Avrupa Bölgesi'nin 53 üye devleti için hesaplanmaktadır. Endeks hükûmetler tarafından COVID-19 ile mücadele kapsamında alınan önlemleri izlemek ve değerlendirmek için sistematik bir yaklaşım sağlamaktadır. Elde edilen endeks skorları COVID-19 ile ilgili verilerin toplanması, görüntülenmesi ve analiz edilmesi ile mevcut ve gelecekteki pandemi müdahalesi kapsamında politika yapıcıların özel politika kılavuzu geliştirmesine katkı sağlar. Ancak bu endeks müdahalelerin uygunluğunu veya etkisini değerlendirmez. Bunun yanı sıra hükûmetlerin aldığı önlemlere uyulmasını etkileyebilecek diğer faktörleri (kültürel ve bireysel sağlık inançları ve davranışları gibi) dikkate almaz (WHO Regional Office for Europe, 2020b).

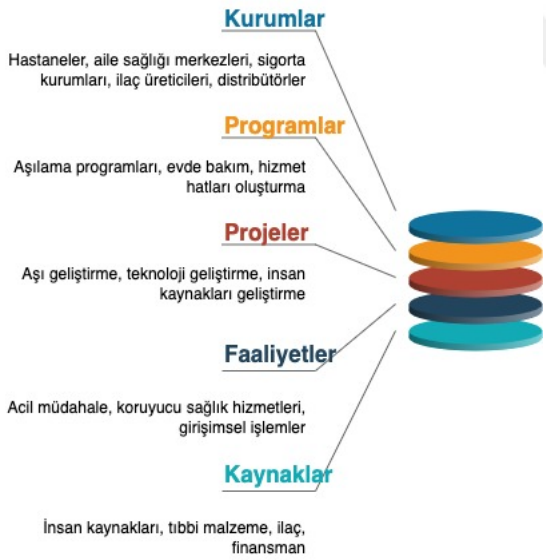
Hükûmetler, pandemiyle mücadelede çeşitli tedbirleri uygularken kanıta dayalı yaklaşımın benimsenmesi önemlidir. Sıkılık endeksi, sınırlama ve sağlık endeksi ve PHSM şiddet endeksi gibi araçlar, pandemi ile mücadelede politika geliştirilmesini sağlayabilmek için ülkelerdeki uygulamalara ilişkin standartlaştırılmış veriler sağlamaktadır. Bu veriler ile alınan tedbirlerin uygulanma düzeylerinin pandeminin seyri üzerindeki etkisini araştıran ileri düzey çalışmalar gerçekleştirilebilmektedir.

## 2.3. SAĞLIK SİSTEMLERİNİN ETKİNLİĞİ ve COVID-19 PANDEMİSİ MÜCADELE SÜRECİ

### 2.3.1. Sağlık Sistemlerinin Genel Çerçevesi ve Etkinliği

Sağlık kavramının farklı tanımlamaları ile bağlantılı olarak literatürde sağlık sistemleri kavramı için de farklı tanımlar yapılmıştır. Roemer (1993) sağlık sistemlerini üretken

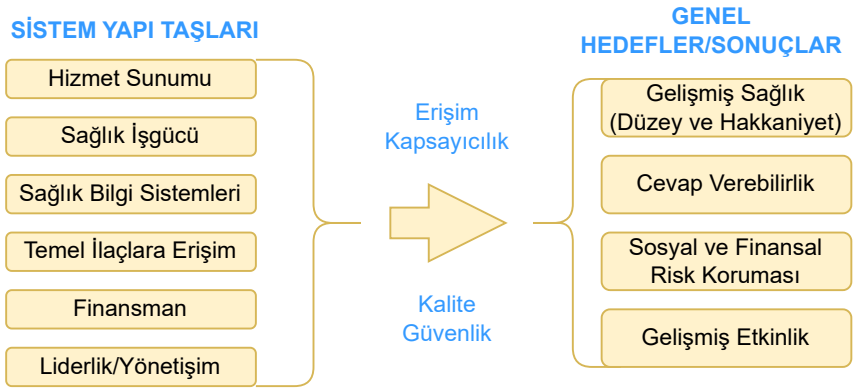
kaynaklar, programların organizasyonu, ekonomik destek mekanizmaları, yönetim metotları ve hizmet sunumu olmak üzere beş özellik ile tanımlamaktadır. Buna göre sağlık sistemi "sağlık hizmetlerinin nüfusa sunulmasıyla sonuçlanan kaynakların, organizasyonun, finansmanın ve yönetimin birleşimi" olarak ifade edilmektedir (Hsiao, 2003). WHO (2000) ise daha geniş bir perspektifle "öncelikli amacı sağlığı geliştirmek, iyileştirmek veya sürdürmek olan tüm faaliyetleri" sağlık sisteminin bir parçası olarak tanımlamıştır. Bu tanımlamaya göre sağlık sistemleri, sağlık faaliyetlerine adanmış tüm kurum, kuruluş ve kaynakları kapsayan geniş sistemlerdir. Kişisel sağlık hizmetleri, halk sağlığı hizmetleri veya sektörler arası girişimler kapsamında yer alan ve birincil amacı sağlığı iyileştirmek olan tüm çabalar sağlık faaliyeti kapsamındadır. Yolları ve çevresel koşulları geliştirmeye yönelik çalışmalar ve sağlık eğitimine yönelik tüm faaliyetler de sağlık faaliyeti olarak değerlendirilir (WHO, 2000; Belek, 2016). Kavuncubaşı (2022) ise sağlık sistemini "toplumun sağlık düzeyini geliştirmeyi hedefleyen kurumlar, programlar, projeler ve faaliyetler bütünü" olarak ifade etmiştir. Bu tanımda yer alan sağlık sisteminin bileşenleri Şekil 2.6'daki gibi örneklendirilmiştir (Kavuncubaşı, 2022).




**Şekil 2.6:** Sağlık sisteminin bileşenleri.

Bir sağlık sisteminin etkin şekilde yürütülebilmesi için insan gücüne, fonlara, bilgilere, malzemelere, ulaşıma, iletişime, genel rehberlik ve yönlendirmeye gereksinim duyulmaktadır. Sağlık sisteminin geniş kapsamlı tanımı dahilinde gereksinim duyulan bu girdilerle birlikte, sistem süreçlerinin, çıktılarının ve sonuçlarının tanımlanabilmesine yönelik ortak çabalar yürütülmektedir. Bu kapsamda sağlık sistemlerinin tüm bileşenlerini ele alan bir çerçeve

çizilmemiş olsa da, DSÖ tarafından sağlık sistemlerinin temel bileşenlerini veya yapı taşlarını sunan bir çerçeve oluşturulmuş ve Şekil 2.7'de bu çerçeveye yer verilmiştir (WHO, 2010).




**Şekil 2.7:** DSÖ sağlık sistemleri çerçevesi.

Şekil 2.7 incelendiğinde, sağlık sistemleri çerçevesinin yapı taşları, genel hedefler veya sonuçlar ve ikisi arasında yer alan hizmet sonuçlarıyla ilgili ara hedefler olmak üzere temelde üç bileşen görülmektedir. Bunlardan sistem yapı taşları olarak ifade edilen bileşenlerden olan finansman ve sağlık işgücü, sağlık sisteminin temel girdi bileşenleri olarak görülmektedir. Tıbbi ürünler ve teknolojiler (temel ilaçlara erişim) ile hizmet sunumu ise, sağlık sisteminin doğrudan (ilk) çıktılarını, yani sağlık bakımının mevcudiyeti ve dağıtımını yansıtmaktadır. Liderlik/yönetişim ve sağlık bilgi sistemleri gibi kesişen bileşenler ise, diğer tüm sağlık sistemi bileşenlerinin genel politikası ve düzenlemesi için temel oluşturmaktadır. Sistemin ikinci bileşenleri olan erişim, kapsam, kalite ve güvenlik sağlık sisteminin ara veya araçsal hedefleri olarak ele alınmaktadır. Bunlar kendi başına bir amaç değil genel hedeflere ulaşmada bir araç olarak görülmektedir. Çerçeveye göre sağlık sistemlerinin genel hedefleri ise gelişmiş sağlık, finansal risk korunması, yanıt verebilirlik ve etkinliği içermektedir (WHO, 2010). Bunlardan gelişmiş sağlık için yaşam süresi, mortalite, morbidite, sakatlık, doğurganlık veya sağlık beklentileri gibi göstergeler ile ölçüm yapılabilir. Bu kapsamda DSÖ tarafından yayınlanan "100 Temel Sağlık Göstergesi Global Referans Listesi'nde (artı sağlıkla ilgili sürdürülebilir kalkınma hedefleri)" yaş ve cinsiyete göre mortalite, nedene göre mortalite, doğurganlık ve morbidite alt başlıkları altında sağlık düzeyi (durumu) göstergeleri belirlenmiştir (WHO, 2018). Genel hedeflerden ikincisi olan cevap verebilirlik, sağlık bakımı sağlayanların hizmet sürecinde nüfusun beklentilerini itibara saygı gösterme, gizlilik, özerklik ve dakiklik gibi ilkeler temelinde karşılamasıdır. Finansal risk koruması hedefi ise, hanelerin sağlık harcamaları nedeniyle karşılaşacağı riske karşı korumayı ifade eder. Sağlık harcamalarının bireyleri yoksullaştırdığı bir sağlık sistemi adaletsiz sistem olarak nitelendirilir. Son olarak sağlık

sistemlerinde etkinlik hedefi ise, belirli bir girdi setinden maksimum çıktının elde edilmesi (bir hastanede röntgen cihazının atıl bırakılmaksızın kullanılması) veya istenen çıktının minimum girdi ile elde edilmesi (hastanede kalış süresinin güvenli ve uygun taburculuk sağlayacak düzeye indirilmesi) durumudur. Etkinlik diğer kaynaklarda genel olarak ara hedef olarak değerlendirilmiştir (Siddiqi ve diğ., 2022; WHO, 2010).

#### *2.3.1.1. Sağlık Sistemleri Etkinliklerinin Ölçümü, Analizi ve Değerlendirilmesi*

Sağlık sistemlerinin etkinliklerinin ölçümüne geçmeden önce etkinlik (efficiency) kavramının sınırının belirlenmesi önemlidir. Performans kavramıyla birlikte değerlendirilen etkinlik kavramı esasen performansın alt boyutlarından biridir. Performans, belirlenmiş amaçlara uygun olarak birey, grup veya organizasyonların nitel ve nicel yönden bir işi gerçekleştirme düzeylerini ifade etmektedir (Yılmaz, 2018). Performans kavramı etkinlik ile birlikte etkililik, ekonomiklik, verimlilik, kalite, kârlılık ve bütçeye uygunluk gibi alt bileşenlerden oluşmaktadır. Bunlardan etkinlik en az gayret ve maliyetle en fazla sonuç elde etme kapasitesidir (Benli, 2006: 5). Peter Drucker'e göre ise etkinlik organizasyonların başarıyı sağladıktan sonra varlıklarını sürdürebilmeleri için gerekli minimum koşullar olup, işlerin doğru yapılmasıdır (Drucker, 1998: 36).

Etkinlik genel olarak üretim sınırının bilindiği durumlarda standart performansın gerçekleşen (fiili) performansa oranlanmasıyla elde edilmektedir. Karar birimleri olarak ifade edilen karşılaştırma yapılacak sistemlerin belirli bir mal ve hizmet bileşiminden oluşan çıktıları en az miktarda kaynak veya optimum girdi kombinasyonu ile üretmesi o karar biriminin teknik etkin olduğunu diğer bir ifade ile işlerin doğru şekilde yapıldığını göstermektedir. Teknik etkinliğin değerlendirilmesinde karar birimlerinin girdileri ve dış koşullar kıstas alınarak çıktıların maksimize edilip edilmediği değerlendirildiği için normların önceden belirlenmesi gerekli değildir. Bu kapsamda bir karar biriminin teknik etkinliği genellikle diğer karar birimlerinin dahil edildiği değerlendirme grubunun karşılaştırmalı analiz edilmesine dayanmaktadır (Cylus ve diğ., 2016; Yip ve Hafez, 2015). Teknik etkinlik ile birlikte girdi ve çıktı arasındaki oransal değişimin ele alındığı ölçek etkinlik, bir karar biriminin hem teknik hem de ölçek etkinliğinin bileşimi olan toplam etkinlik, birim maliyeti verilen girdilerden maliyeti minimize edecek bileşimin seçilmesini ifade eden tahsis etkinlik ve teknik ve tahsis etkinliğin bileşimi olan ekonomik etkinlik gibi diğer etkinlik türleri de literatürde tanımlanmıştır (Byrnes ve Valdmanis 1994: 130; Tarım, 2001: 31). Tablo 2.6'da etkinlik kavramının alt boyutları olarak ele alınan çeşitli alt etkinlik türlerinin tanımlarına yer verilmiştir

(Koopmans, 1951; Debreu, 1951; Ray, 2004: 2; Banker ve diğ., 1984: 36; Ozcan, 2014: 18; Maniadakis ve diğ., 2009; Porcelli, 2009: 7; Coelli ve diğ., 2005; Yolalan, 1993: 17).

**Tablo 2.6:** Etkinlik alt boyutları.

| Etkinlik Alt Boyutu | Açıklama |
|---|---|
| **Teknik Etkinlik** | Eğer herhangi bir çıktıda bir birimlik artış için en azından diğer bir çıktıda azalış veya bir girdide artış gerekiyorsa ve herhangi bir girdide bir birimlik azalış için en azından diğer bir girdide bir birimlik artış veya bir çıktıda azalış gerekiyorsa üreticiler teknik olarak etkindir. Bütün olarak ekonominin teknik etkinliğini ölçme ve değerlendirmede kaynak kullanım katsayısı tanımlanmıştır. Bu katsayının 1 değerini alması karar biriminin optimum noktada olduğunu, 1'den herhangi bir sapma ise kaynakların etkin kullanılmamasından kaynaklı toplumsal bir kaybın olduğunu göstermektedir. |
| **Ölçek Etkinlik** | En verimli ölçek büyüklüğünün (most productive scale size-MPSS) tahmini için girdi ve çıktılardaki oransal değişimin ele alındığı bir etkinlik türüdür. Buna göre bileşim sabit tutularak tüm girdilerde sağlanan artıştan oransal olarak daha fazla çıktı artışının elde edilmesi ölçeğe göre artan getiriyi (Increasing Return to Scale-IRS); çıktılarda sağlanan artışın oransal olarak tüm girdilerde gerçekleştirilen artıştan daha az olması ise ölçeğe göre azalan getiriyi (Decreasing Return to Scale-DRS) tanımlamaktadır. Ölçek etkin olmayan karar birimleri ancak yeni hizmet üretim süreçlerini ve yeni teknolojileri benimseyerek ölçek etkin olabilir. |
| **Toplam Etkinlik** | Bir karar biriminin çıktılarını en az girdi bileşeni ile üretmesi teknik etkinliği, en uygun üretim boyutunda faaliyet göstermesi ölçek etkinliği ve hem teknik hem de ölçek etkin olması ise toplam etkinliği ifade etmektedir. Teknik ve ölçek etkinliğin çarpımı ile toplam etkinlik skoru hesaplanmaktadır. |
| **Tahsis Etkinlik** | Karar birimlerinin üretim sürecinde kullandığı girdi bileşenlerinin fiyatlarıyla ilgili bilginin mevcut olması durumunda maliyeti minimize edecek en uygun girdi bileşiminin seçilmesi ile gerçekleşmektedir. |
| **Ekonomik Etkinlik** | Karar biriminin hem tahsis etkin hem de toplam etkin olması durumu ekonomik (iktisadi) etkinlik olarak ifade edilmektedir. Tahsis ve toplam etkinliğin çarpımı ile hesaplanmaktadır. |
| **Radyal ve Radyal Olmayan Etkinlik** | Radyal etkinlik girdi vektörünün her bir bileşeni için aynı oranda girdi büzülmesinin ya da çıktı vektörünün her bir bileşeni için aynı oranda çıktı genişlemesinin varolduğunun kabulü ile yapılan etkinlik ölçümüdür. Radyal olmayan etkinlik ise her bir girdi bileşeni için büzülme faktörü veya her bir çıktı bileşeni için genişleme faktörü ağırlıklandırılarak hesaplandığı etkinlik ölçümüdür. |

Tablo 2.6'da verilen etkinlik kavramlarının kullanımında literatürde farklılıklar söz konusu olabilmektedir. Buna göre toplam etkinlik çeşitli çalışmalarda teknik etkinlik olarak; teknik etkinlik ise saf (pür) teknik etkinlik olarak kullanılabilmektedir (Özden, 2008: 168). Sağlık hizmetleri açısından bu etkinlik türlerinden girdilerin optimize edildiği yolu iyileştirmeye yönelik olan teknik etkinlik/saf teknik etkinlik ve sağlık hizmeti sunumunun

sonuçlarının nüfus arasında ne kadar iyi dağıtıldığını ele alan tahsis etkinlik kavramları, etkinlik ölçümünün iki ayrı boyutunu ifade etmesi yönüyle önemlidir (Chisholm ve Evans, 2010).

Tahsis etkinlik kavramı, toplumsal faydayı en üst düzeye çıkaracak en uygun mal ve hizmet bileşimine kaynakların tahsis edilmesi olup, doğru işlerin yapılmasını ifade etmektedir. Teknik etkinlik kavramı ise, belirli bir mal ve hizmet bileşiminin en az miktarda kaynak veya optimum girdi kombinasyonu ile üretilmesi olup, işlerin doğru şekilde yapılmasıdır. Tahsis etkinlik, bir tedavi, müdahale ya da sağlık programın benimsenmesi kararında sağlanan kazanımları kaliteye ayarlanmış yaşam yılları ya da sakatlığa ayarlanmış yaşam yılları gibi ölçütleri kullanan sağlık teknolojisi değerlendirme kurumlarının çalışmalarının merkezinde yer almaktadır. Teknik etkinlik ise normların öncesinde belirlenmesini gerektirmeden, karar birimlerinin girdileri ve dış koşullar kıstas alınarak çıktıların maksimize edilip edilmediğini değerlendirmektedir. Bu çerçevede teknik etkinlik üzerine yapılan çoğu analizin merkezinde karşılaştırmalı performans yer almaktadır (Cylus ve diğ., 2016; Yip ve Hafez, 2015). Teknik etkinlik ölçümünde sıklıkla kullanılan ve parametrik olmayan bir yöntem olan Veri Zarflama Analizi'ne bir sonraki bölümde yer verilecektir.

Sağlık sistemlerinin etkinlik ölçümü ile sağlık sistemi hedeflerine ulaşılmasını sağlamak üzere girdi kaynaklarının ne ölçüde kullanıldığı ortaya çıkarılmaktadır. Sağlık sektöründe geleneksel piyasa mekanizmalarının işlememesi durumu diğer bir ifadeyle piyasa başarısızlığı, herhangi bir politika önlemi alınmaması durumunda düşük kaliteli ve uygun olmayan bakımın sunulmasına yol açmaktadır. Bu nedenle sağlık sistemlerinin etkinliklerinin ölçülebilmesi için daha iyi araçlara ihtiyaç duyulmaktadır. Sağlık sistemlerinin etkinliğinin ölçülmesi ile olası etkinsizliklerin yol açacağı sağlık düzeyi kaybı, alternatif tedavilerin uygulanamaması, diğer sektörlere yeterli kaynak aktarılamaması ve finansman sistemine olan güvensizlik gibi birçok olumsuz durum önlenebilir. Etkinlik ölçümü, fon sağlayanların tükettiği kaynakların hangi sistemde daha büyük kazanımlar sağladığını göstermekte ve kaynakların optimum şekilde tahsis edilip edilmediğinin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Karar vericilerin uzun vadeli mali sürdürülebilirliği sağlayacak şekilde sağlık kaynaklarını kullanıp kullanmadığını göstermesi yönüyle de hesap verebilirliği sağlayan önemli bir araçtır (Cylus ve diğ., 2016).

Sağlık sistemlerinin işleyişini ölçmek ve karşılaştırabilmek için ülke bağlamlarını ve özelliklerini engellemekten kaçınırken aynı zamanda ülkeler arasında karşılaştırmalara olanak tanıyacak standardizasyonların sağlanabilmesi önemlidir. Bu kapsamda DSÖ tarafından Şekil 2.7'de sağlık sistemlerinin yapı taşları olarak tanımlanan altı bileşen için dünya çapında çeşitli

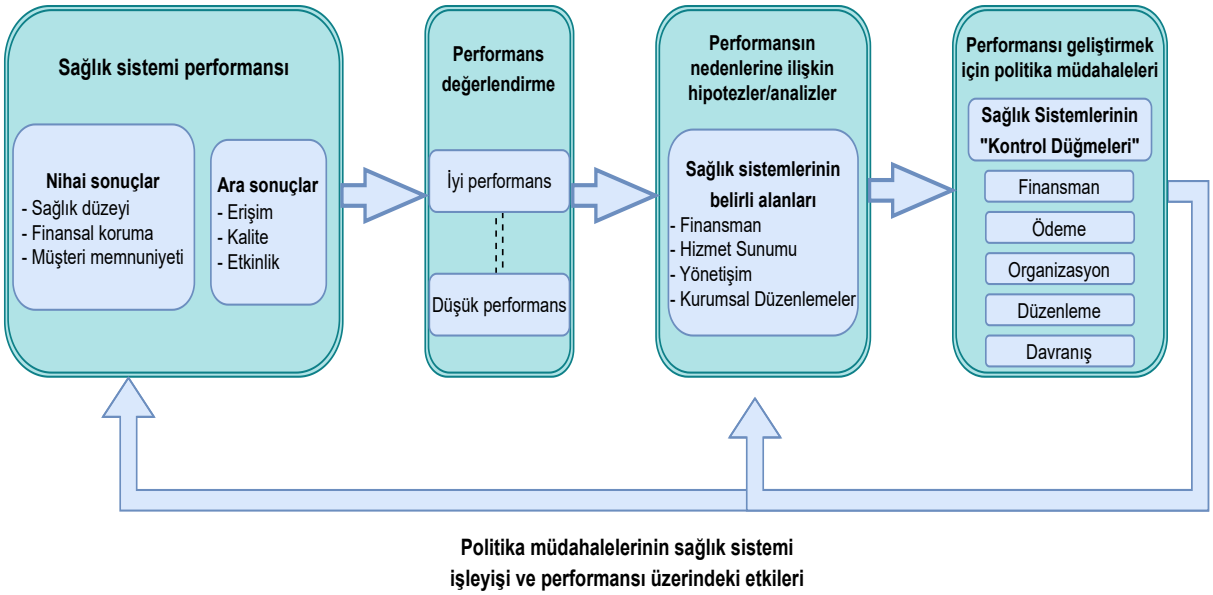
uzmanların katılımı ile sistemin her bir yapı taşı için ölçüm stratejileri ve temel göstergeler tanımlanmıştır. Sağlık sistemleri trendlerinin düzenli olarak izlenebileceği ve karşılaştırılabileceği araçları içeren bu temel göstergeler her bir yapı taşı için Tablo 2.7'de verildiği gibi özetlenmiştir (WHO, 2010).

**Tablo 2.7:** Sağlık sistemleri yapı taşlarının temel göstergeleri.

| *ID* | *Yapı Taşları ve Göstergeler* |
|---|---|
| *1. Sağlık Hizmet Sunumu* | |
| *1.1.* | 10.000 kişiye düşen sağlık tesislerinin sayısı ve dağılımı |
| *1.2.* | 10.000 kişiye düşen yatak sayısı |
| *1.3.* | Yılda 10.000 kişi başına ayaktan tedavi birimi ziyaret sayısı |
| *1.4.* | Sağlık tesisleri için genel hizmete hazırlık skoru |
| *1.5.* | Spesifik hizmetler sunan sağlık tesislerinin payı |
| *1.6.* | 10.000 kişi başına spesifik hizmetler sunan sağlık tesislerinin sayısı ve dağılımı |
| *1.7.* | Sağlık tesislerinin spesifik hizmetlere hazırlık puanı |
| *2. Sağlık İşgücü* | |
| *2.1.* | 10.000 kişi başına sağlık çalışanı sayısı |
| *2.2.* | Sağlık çalışanlarının meslek/uzmanlık, bölge, çalışılan yer ve cinsiyete göre dağılımı |
| *2.3.* | Eğitim seviyesi ve alanına göre 100.000 nüfus başına sağlık meslekleri eğitim kurumlarının yıllık mezun sayısı |
| *3. Sağlık Bilgi Sistemleri* | |
| *3.1.* | Sağlık bilgi sistemi performans endeksi |
| *4. Temel İlaçlar* | |
| *4.1.* | Kamu ve özel sağlık tesislerinde seçilmiş 14 temel ilacın ortalama mevcudiyeti |
| *4.2.* | Kamu ve özel sağlık tesislerinde seçilen 14 temel ilacın medyan tüketici fiyat oranı |
| *5. Sağlık Finansmanı* | |
| *5.1.* | Toplam sağlık harcaması |
| *5.2.* | Genel devlet harcamalarının bir payı olarak sağlıkta genel devlet harcamaları (GDSH/GDH) |
| *5.3.* | Sağlık için yapılan hanehalkı cepten harcamalarının toplam sağlık harcamalarına oranı |
| *6. Liderlik ve Yönetişim* | |
| *6.1.* | Politika endeksi |

Sağlık sistemleri analizi, Tablo 2.7'de verilen temel göstergeler ve diğer ek göstergelerden oluşan girdi, süreç ve çıktı unsurları ele alınarak sağlık sistemi performansının belirleyicilerini anlamayı ve bunları iyileştirmek için daha iyi politikalar ve stratejiler geliştirmeyi amaçlamaktadır. Bu amaçla yapılan analizler sağlık sistemi girdi, süreç ve çıktı unsurları hakkında veriler toplanarak bir araya getirilmesi ve sonuçların üretilmesi diğer bir ifadeyle bireylerin ve toplumun refahı üzerindeki etkilerinin analiz edilmesi süreçlerini

içermektedir. Sağlık sistemleri analizi, sağlık sistemi etkinsizliğinin nedenlerini ortaya çıkarmayı ve etkinliği artırmak için politikalar ve stratejiler formüle etmeyi amaçlamaktadır. Bu kapsamda düşük performansın nedenlerini belirlemek ve bunu geliştirecek politika değişikliklerini önermeyi sağlamak için farklı parçaların nasıl bir araya geldiğini gösteren sağlık sistemleri analiz mantığı Şekil 2.8'de gösterilmiştir (Berman ve Bitran, 2011).




**Şekil 2.8:** Sağlık sistemleri analizinin mantığı.

Şekil 2.8'de en solda performansı ölçmek için kullanılan nihai ve ara sonuç göstergeleri yer almaktadır. Sağa doğru izleyen bir sonraki adımda analistler performans göstergelerini kullanarak yaptıkları ölçümler temelinde analiz birimlerinin performansını iyi veya düşük performans olarak değerlendirmektedir. Performans değerlendirme işleminin ardından performansın nedenlerini saptamak için finansman, hizmet sunumu, yönetişim ve kurumsal düzenlemeler gibi sağlık sisteminin yapı taşları olarak ifade edilen belirli alanlar üzerinden analizler yapılmakta ve hipotezler oluşturulmaktadır. Performansı geliştirmek amacıyla politika müdahaleleri önerebilmek için nedenlerin belirlenmesi önemli bir adımdır (Berman ve Bitran, 2011). Bu kapsamda sağlık sistemi girdilerindeki teknik etkinsizliğin önde gelen nedenleri DSÖ tarafından yayınlanan bir raporda Tablo 2.8'de verilen alt başlıklarda tespit edilmiştir (Chisholm ve Evans, 2010).

**Tablo 2.8:** Sağlık sistemi etkinsizliğinin önde gelen nedenleri.

| ***Etkinsizlik kaynağı*** | **Yaygın nedenleri** |
|---|---|
| ***Sağlık çalışanları*** *Uygun olmayan ya da maliyetli personel istihdamı* | Önceden belirlenen insan kaynakları prosedürlerine uygunluk, tıp profesyonellerinin direnç göstermesi, sabit/esnek olmayan sözleşmeler, liyakatsizlik |
| ***İlaçlar*** *Jenerik ilaçların yetersiz kullanımı ve aşırı fiyatlandırması* | Reçete yazanlar üzerinde yetersiz maliyet kontrolü, ilaçların daha düşük algılanan etkinliği ve güvenliği, reçete yazma alışkanlıkları, satın alma/dağıtım sistemleri, aşırı zamlar, ilaç vergileri ve harçlar |
| ***İlaçlar*** *Akılcı olmayan ilaç kullanımı* | Tüketici talep ve beklentisi, terapötik etkisi hakkında sınırlı bilgi, yetersiz düzenleyici çerçeveler |
| ***İlaçlar*** *Standart altı veya sahte ilaçlar* | Farmasötik düzenleyici yapıların ve tedarik sistemlerinin zayıf olması |
| ***Sağlık bakım ürünleri*** *Ekipmanın veya prosedürlerin aşırı kullanımı* | Tedarikçi kaynaklı talep, hizmet başına ücret ödeme mekanizmaları, dava korkusu, yetersiz yönergeler/incelemeler |
| ***Sağlık hizmetleri*** *Yetersiz bakım kalitesi ve tıbbi hatalar* | Klinik bakım standartları ve prosedürleri hakkında yetersiz bilgi veya uygulama, zayıf koordinasyon ve yetersiz denetim |
| ***Sağlık hizmetleri*** *Uygun olmayan hastane ölçeği* | Sağlık hizmeti altyapısının yetersiz planlama, koordinasyon ve kontrolü ile uygun olmayan yönetim kaynakları seviyesi |
| ***Sağlık hizmetleri*** *Uygun olmayan hasta kabulleri veya kalış süreleri* | Alternatif bakım düzenlemelerinin olmaması, taburcu olmak için yetersiz teşvikler, en iyi uygulama hakkında sınırlı bilgi |
| ***Sağlık sistemi kaçakları*** *İsraf, yolsuzluk, dolandırıcılık* | Net olmayan kaynak tahsisi kılavuzu, şeffaflık eksikliği, zayıf sorumluluk ve yönetişim mekanizmaları |
| ***Sağlık müdahaleleri*** *Uygun ve etkin olmayan stratejilerin birleşimi* | Düşük maliyetli ve yüksek etkili müdahaleler yerine yüksek maliyetli düşük etkili müdahalelerin uygulanması ve finanse edilmesi |

Tablo 2.8'de verilen etkinsizlik nedenlerinden sistem için geçerli olanların giderilmesi ve nihai sonuçların iyileştirmesi için politika yapıcılar tarafından geliştirilen politika müdahalelerini gruplandırmada Roberts ve diğ. (2003) tarafından kullanılan kontrol düğmeleri yaklaşımı tercih edilebilir. Sağlık sisteminin nihai sonuçlarını değiştirebilecek en önemli faktörleri yansıtan bir araç olarak beş kontrol düğmesi kısaca şunları kapsamaktadır (Siddiqi ve diğ., 2022; Yip ve Hafez, 2015).

- ***Finansman,*** sağlık sektöründeki faaliyetler için ödeme yapan tüm para toplama mekanizmaları (vergiler, sigorta primleri ve doğrudan (cepten) ödemeler) ve bu mekanizmaların nasıl kullanıldığını ifade etmektedir.
- ***Ödeme,*** sağlık hizmeti sunucularına sundukları hizmetin karşılığı olan paranın hangi yöntemlerle (hizmet başına ödeme, kişi başına ödeme, vaka başına ödeme, günlük

ödeme, doğrudan ödeme) transfer edileceğini ifade etmektedir. Her ödeme yönteminin farklı teşvikleri olduğu için, hizmet sunucularının davranışlarını çeşitli düzeylerde etkilemektedir.

- ***Organizasyon,*** sağlık hizmetleri piyasalarındaki hizmet sunucularının birleşimi, rolleri ve işlevlerini ve her bir hizmet sunucusunun iç işleyişini etkileme mekanizmasını ifade etmektedir. Beş kontrol düğmesinin de organizasyon yönü vardır. Sağlık sisteminde hangi hizmetlerin kamu hangi hizmetlerin özel ağırlıklı sunulacağı, rekabetin teşvik edilip edilmeyeceği ve basamak entegrasyonu gibi pek çok politikayı kapsamaktadır.
- ***Düzenleme,*** sağlık sistemindeki hizmet sunucular, sigorta şirketleri, hastalar ve toplum dahil olmak üzere tüm aktörlerin davranışlarını değiştirmek için devletin yaptırım gücü ile hazırladığı ve uyguladığı kanun, tüzük ve yönetmelik gibi normları ifade etmektedir. Düzenlemeler ilaçların onaylanması, hastanelerin sertifikalandırılması ve akreditasyonunu ve sağlık iş gücünün ruhsatlandırılması gibi konuları içermektedir.
- ***Davranış,*** hem hastalar hem de hizmet sunucularının sağlık ve sağlık bakımı ile ilgili davranışlarını etkileme çabalarını ifade etmektedir. İlaç kullanmanın hastalığın seyrini değiştirmesi, aşılamanın ölümleri etkilemesi ve doktorların antibiyotik reçete etme alışkanlıklarının sağlık bakımını etkilemesi gibi konularda hem hastaların hem de hizmet sunucularının geliştirilen politikalardaki sınırlamaları kabul etmeye ikna edilmesini kapsamaktadır. COVID-19 aşısı olmayanlar için AVM'ler, okullar veya diğer toplu mekanlara girişlerde negatif test zorunluluğu getirilmesi, aşı olmaya ikna etmek için geliştirilen bir davranış politikası örneğidir.

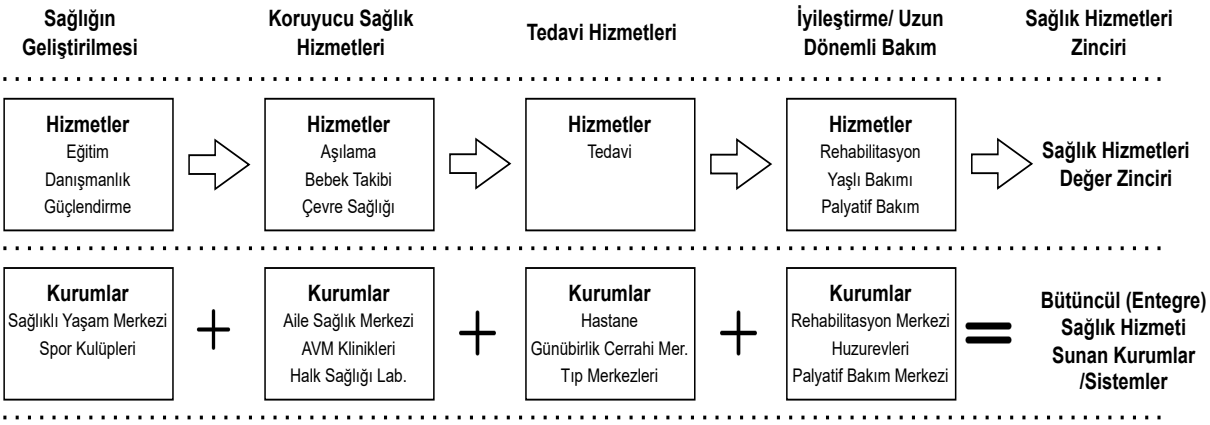
Belirtilen bu politika araçlarının kapsamını ve etkinliğini, bir ülkenin sosyo-ekonomik gelişimi, siyasi iradesi, liderlik ve yönetişim yapıları gibi makro faktörler de etkilemektedir (Yip ve Hafez, 2015). Belirlenen politika önerileri ile sistemlerin gelecekteki performansını geliştirmek üzere etkinsizlik nedenleri ile sistemin ara ve nihai sonuçlarının değişim ve dönüşümünün başarı ile sağlanması arzu edilmektedir (Berman ve Bitran, 2011).

Sağlık sistemlerinin genel hedeflerine ulaşmada etkinliğin ölçülmesi ve değerlendirilmesinin vazgeçilmez bir rolü vardır. Ancak karşılaştırmalı sağlık sistemi etkinliğine ilişkin tutarlı öngörüler sunan ve politika reformlarına rehberlik edecek etkinlik ölçümü, uygulamada araştırmacılar ve politika yapıcılar için oldukça zordur. Bunun temelinde özellikle girdilerin belirlenmesi noktasında, hastalara verilen bakımın daha tutarlı ve daha ayrıntılı maliyetlendirilmesi ihtiyacı ve çıktıların belirlenmesinde geliştirilmiş kalite ölçümü ihtiyacı yer almaktadır. Ayrıca çoğu gösterge mevcut sağlık sistemi bileşenlerini sınırlı düzeyde

yansıtmaktadır. Bu kapsamda günümüzde tüm hasta kayıtlarını kapsayabilen elektronik sağlık kayıtları ve bağlantılı veri setlerinin kullanımı etkinlik değerlendirmelerini kolaylaştırmak için zemin hazırlasa da, ülkelerin bilgi sistemleri kullanımındaki farklılıklar nedeniyle uluslararası karşılaştırmalardan elde edilecek kazanımları artırabilmek için bilgi standartları ve protokoller (EuroDRG vb.) üzerine anlaşmaların yapılmasına ihtiyaç vardır. Bu bakış açısıyla sağlık sistemlerinin etkinliğini ölçmek zorlu ama değerli bir girişimdir (Cylus ve diğ., 2017). Bunlarla birlikte sağlık sisteminin kapsamını çok geniş bir çerçevede ele almak etkinlik ölçümü ve değerlendirmesini oldukça zorlaştırmaktadır. Bu nedenle sağlık sistemini koruyucu sağlık hizmetleri ve tedavi edici sağlık hizmetleri ile sınırlandırmak etkinlik değerlendirmelerini kolaylaştırmak için gereklidir (Belek, 2016). Bu kapsamda COVID-19 ile mücadelede sağlık sistemlerinin etkinliğini değerlendirirken araştırma kapsamı sağlık sistemlerinin bulaşıcılıkla mücadele ve tedavi etkinliği olarak sınırlandırılmış ve izleyen bölümlerde bu başlıklar temelinde COVID-19 mücadele süreci değerlendirilmiştir.

#### *2.3.1.2. Bulaşıcılıkla Mücadele Etkinliği*

Sağlık sistemlerinde belirli bir kurumsal yapı içinde çeşitli girdilerin biraraya getirilerek ve harekete geçirilerek hastalıkların önlenmesi, mevcut hastalıkların tedavisi, hastalık şiddetinin ve süresinin azaltılması veya hastalık nedeniyle ortaya çıkan işlev kaybının yeniden kazandırılması için yapılan tüm işlemler hizmet sunumu işlevinin kapsamında yer almaktadır. Sağlık hizmetleri üretimi veya sunumu temelde dört başlık altında ele alınmaktadır. Bu ana başlıklar altında verilen alt hizmetlere ve bu hizmetleri sunan kurumlara verilen örnekleri içeren sağlık hizmetleri değer zinciri Şekil 2.9'da verilmiştir (Kavuncubaşı, 2022: 8-9).



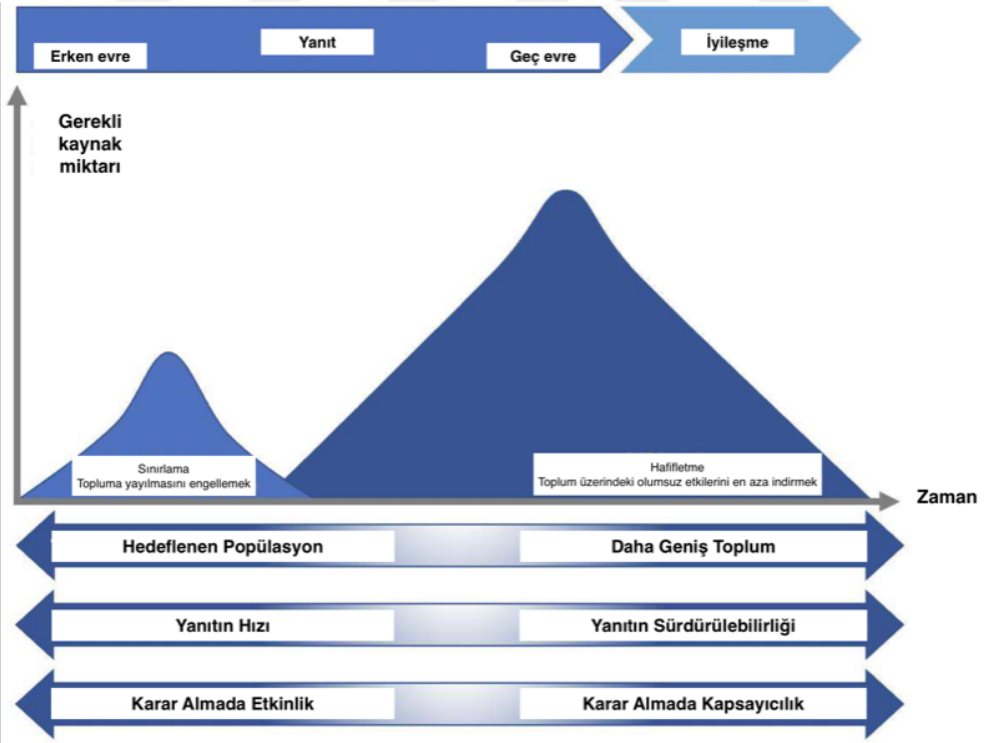

**Şekil 2.9:** Sağlık hizmetleri değer zinciri.

Şekil 2.9'da görüldüğü gibi birbirini takip eden ve birbiriyle ilişkili sağlık hizmetleri süreçleri bütüncül sağlık hizmeti sistemi veya sağlık hizmetleri değer zincirini oluşturmaktadır.

Bunlardan toplum ve bireylerin kendi sağlık düzeyleri hakkında kontrol sahibi olması ve bilinçli davranmasını sağlayan sağlığın geliştirilmesi hizmetleri ile hastalığın ortaya çıkmasını önlemeyi, hastalık risk faktörlerini yok etmeyi veya etkisini azaltmayı amaçlayan koruyucu sağlık hizmetleri bulaşıcı hastalıklarla mücadele sürecinin önemli hizmet bileşenleridir. Bunlardan koruyucu sağlık hizmetlerinin kapsamı, ayrım gözetmeksizin tüm nüfusa hizmet verilmesini içeren *temel müdahaleler* (COVID-19 eğitim programları vb.), belirli bir hastalığa maruz kalma riski nispeten daha fazla olan hizmetleri içeren *seçici müdahaleler* (65 yaş ve üzeri nüfusa yönelik kısıtlamalar) ve çeşitli problemleri olan nüfus grubuna karşı verilen *odaklanmış koruyucu sağlık hizmetleri* (temaslılara yönelik danışmanlık hizmetleri vb.) koruyucu sağlık hizmetleri kapsamında yer almaktadır (Kavuncubaşı, 2022: 10). Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü (OECD), DSÖ ve Avrupa Komisyonun işbirliği ile hazırlanan sağlık hizmetleri işlevleri sınıflandırmasında önleyici bakımın kapsamı ise sağlık risklerinin herhangi bir etki yaratmadan azaltılmasını hedefleyen birincil koruma (aşılama vb.) ya da hastalığın saptanmasını ve ardından mümkün olduğunca erken tedavisini amaçlayan özel müdahaleleri içeren ikincil koruma (erken vaka tespitine yönelik laboratuvar ve görüntüleme hizmetleri vb.) ile çerçevelendirilmiştir. Üçüncül koruma var olan bir hastalığın veya yaralanmanın olumsuz etkilerini amaçladığı için, bu sınıflandırmada tedavi edici ve rehabilite edici hizmetlerle ilişkilendirilmiştir. Bu sınıflandırma kapsamında birincil ve ikincil korumaya odaklanan önleyici hizmetler "bilgi, eğitim ve danışmanlık programları", "bağışıklama programları", "erken hastalık tanılama programları", "sağlık durumu izleme programları", "epidemiyolojik sürveyans, risk ve hastalık kontrol programları" ve "afet ve acil durum müdahale programları için hazırlık" olarak belirlenmiştir (OECD, 2017). Bu kapsamdaki COVID-19'u önlemeye yönelik bileşenler İlaç Dışı Müdahaleler başlığında ifade edilmiştir.

COVID-19 gibi bulaşıcı hastalıklarla mücadelede koruyucu sağlık hizmetlerinin yoğun olarak kullanıldığı bir müdahale stratejisi izlemek başarılı bir sonuç almak için oldukça önemlidir. Bu kapsamda ülkelerin genel olarak bulaşıcılıkla mücadele etkinliğini sağlamada sınırlama (containment) ve hafifletme (mitigation) stratejilerini tercih ettiği görülmektedir. Bu stratejiler yeni ortaya çıkan bulaşıcı bir hastalığın yol açabileceği bir pandemiye karşı hazırlıklı olmayı, olumsuz etkilerinin en aza indirilmesini ve kontrol altına alınmasını sağlamayı amaçlamaktadır. Bunlardan sınırlama stratejileri "*öncelikle belirli bir grup veya topluluk içinde bulaşmayı sınırlayarak enfeksiyonun yayılmasını önlemeyi amaçlayan stratejilerdir.*" Çeşitli tanı yöntemleri, aktif vaka tespiti, temaslı izlemi ve takibi, vakaların izolasyonu ve temaslıların karantinası, sınır kapatma gibi müdahaleleri kapsayan sınırlama stratejileri bulaşmanın kontrol

altına alınabilir bir ölçekte olduğu pandeminin erken dönemlerinde daha yoğun olarak uygulanabilen stratejilerdir. Hafifletme stratejileri ise, *"öncelikle şokun sosyo-ekonomik sistem üzerindeki yoğunluğunu hafifleterek toplum üzerindeki olumsuz etkileri en aza indirmeyi amaçlayan stratejilerdir."* Bu stratejiler vaka sayılarında görülen pik sonrasında eğriyi düzleştirmeye ve bulaşıcılığı sağlık sisteminin tedavi kapasitesinin altına düşürmeye odaklanmaktadır. Kişisel ve/veya çevresel hijyenin artırılması, halka açık yerlerde maske takılması, kalabalıktan kaçınmaya yönelik birey ve toplum düzeyindeki önlemler, okul, işyeri ve halka açık yer kapatmaları ve nüfus genelinde tecritler gibi fiziksel mesafeye odaklanan önlemleri kapsamaktadır. Bu önlemlerin farklı stratejilerde kullanımını kesin sınırlarla birbirinden ayırmak mümkün olmamakla birlikte, doğru yer ve zamanda ve uygun düzeyde bu önlemlerin uygulanması gereklidir. Bu önlemlerin hangi durumlarda uygulanmasının önerildiği ya da önerilmediğine ilişkin bilgiler Uluslararası Kurumların COVID-19 Pandemisi Rehberliği başlığında verilecektir. Bu bölümde belirtilen sınırlama ve hafifletme stratejilerinin pandemi sürecinde kullanımını zaman boyutunda ifade edebilmek için Şekil 2.10'da politika önceliklerinin değişimi gösterilmiştir (OECD, 2023a).




**Şekil 2.10:** Pandemi sürecinde politika önceliklerinin değişimi.

Şekil 2.10'da zaman boyutunda değişim incelendiğinde pandeminin erken evresinde kaynakların çoğunun hedef popülasyonu (enfekte vakalar ve temaslıları) kontrol etmeye

yönlendirildiği sınırlama stratejisinin genellikle tercih edildiği görülmektedir. Pandemi aşamaları ilerledikçe stratejiler hedeflenen popülasyon yerine tüm toplumu etkileyen fiziksel mesafe önlemleri gibi hafifletici önlemlere doğru kaymaktadır. Sınırlama stratejisinin başarıya ulaşması vakaların ve temaslıların hızlı bir şekilde tanımlanması ve izole edilmesi/karantinaya alınması ile birlikte, güçlü sürveyans ve raporlama sistemlerinin kapasitelerinin mevcut olmasına bağlıdır. Bu kapsamda İngilizce baş harfleri nedeniyle 4T Stratejisi olarak adlandırılan test, izleme, takip, tedavi ve izolasyon (testing, tracing, tracking, treatment and isolation) yaklaşımlarının zamanında uygulanmasının bulaşıcılığı kontrol altına almada oldukça etkin olduğu ortaya konulmuştur (OECD, 2023a). CDC ise, pandemiye yol açma potansiyeli bulunan yeni bir virüs ortaya çıktığında bulaşmayı yavaşlatmak için her toplumun mutlaka hafifletme stratejilerine sahip olması gerektiğini vurgulamıştır. Buna göre her topluluğun kendine has özellikleri nedeniyle benzersiz olduğu ve epidemiyoloji, topluluk özellikleri, sağlık ve halk sağlığı kapasiteleri gibi yerel faktörlere dayalı olarak stratejilerin belirlenmesinin önemli olduğu ifade edilmiştir (CDC, 2020b).

Sağlık sistemlerinin bulaşıcılıkla mücadele etkinliği değerlendirilirken hastalığın küresel olarak tanımlanmasından itibaren hastalığı sınırlamaya yönelik uygulanan ilaç dışı müdahaleler ve pandemi sürecinde hastalığın tanı ve tedavisine yönelik kullanılan testler ve aşılar gibi girdi bileşenleri olarak değerlendirilmektedir. Bu girdi bileşenleri kullanılarak hedeflenen ise hastalığın toplumda yayılmasını önlemeye yönelik hizmetlerle sağlık çıktılarını iyileştirmektir. Buna göre sağlık sistemlerinin bulaşıcılıkla mücadele etkinliğinin değerlendirilmesine yönelik araştırma modellerinde ilaç dışı müdahalelerin göstergesi olan sıkılık endeksi, test sayısı ve aşılanan kişi yüzdesi gibi göstergeler genellikle girdi değişkeni olarak kullanılmaktadır. Bu girdi bileşenleri ile sunulan bulaşıcılıkla mücadele hizmetleri sonucunda sağlık düzeyi çıktılarının (milyon kişi başına vaka sayısı vb.) iyileştirilmesi hedeflenmektedir. Bu kapsamda sağlık sistemlerinin bulaşıcılıkla mücadele etkinliğini değerlendirmek üzere çeşitli araştırma modellerinde kullanılan göstergeler COVID-19 mücadelesinin analizine yönelik çalışmaların değerlendirildiği literatür özeti bölümünde ayrıca yer verilecektir.

#### *2.3.1.3. Tedavi Etkinliği*

Sağlık sistemlerinde hastalığın ortaya çıkmasını önlemeye, hastalık risk faktörlerini yok etmeye veya etkisini azaltmaya yönelik sunulan koruyucu ya da önleyici sağlık hizmetlerinin yanı sıra tedavi ve rehabilitasyon (iyileştirme) hizmetleri çeşitli kurumların organizasyonu ile

sunulmaktadır. Bu hizmetlerin temel amacı mevcut hastalıkların tedavisi, hastalık şiddetinin ve süresinin azaltılması veya hastalık nedeniyle ortaya çıkan işlev kaybının yeniden kazandırılmasıdır. Tedavi hizmetleri genel olarak tanı koyma, tedavi uygulama ve izleme adımlarını içermektedir (Kavuncubaşı, 2022: 8-9).

Sağlık hizmetleri işlevleri sınıflandırmasında tedavi edici bakım, rehabilite edici bakım ve uzun süreli bakım birbirinden ayrı başlıklar altında sınıflandırılmıştır. Bunlardan tedavi edici hizmetler yataklı tedavi edici bakım, günlük tedavi edici bakım, ayakta tedavi edici bakım ve evde tedavi edici bakım olmak üzere dört alt başlık altında sınıflandırılmıştır. Rehabilite edici hizmetler ve uzun süreli bakım hizmetleri de benzer başlıklarla (yataklı, günlük, ayakta ve evde bakım) sınıflandırılmıştır. Tedavi edici sağlık hizmetleri sağlık harcamalarının genellikle yarıdan fazlasını oluşturduğu için bu hizmetler genel ve uzmanlaşmış hizmetler olarak ele alınmaktadır. Buna göre daha yaygın sağlık hizmeti ihtiyaçları, daha az karmaşık hizmetlerle (temel veya genel hizmetlerle) çözülebilirken, daha az sayıda bir dizi ihtiyaç artan düzeyde teknolojik karmaşıklık (uzmanlaşmış hizmetler) gerektirmektedir. Sağlık hizmetleri sistemine giriş noktası olarak ifade edilen genel hizmetler rutin muayeneler, reçete yazma, rutin danışmanlık, enjeksiyon, aşılama gibi daha yüksek düzeyde uzmanlık gerektirmeyen hizmet bileşenleri içermektedir. Bununla birlikte daha karmaşık sağlık hizmeti gereksinimleri için daha karmaşık teşhis ve tedavi prosedürlerini içeren ve yüksek teknoloji kullanımı gerektiren uzmanlaşmış hizmetlerde hizmet sunumunda önemli bir yere sahiptir. Tedavi hizmetlerini bunun gibi çeşitli alt kırılımlarla ele almak etkinlik ve etkililik değerlendirmeleri için yararlıdır (OECD, 2017).

COVID-19 gibi bulaşıcı hastalıklarla mücadelede, hastalığa yeni bir virüsün yol açması hastalığın erken aşamalarında tedavi edici hizmetlerin kapsamının sınırlı kalmasına neden olmaktadır (Singhal, 2020). Bununla birlikte yapılan çalışmalar ve araştırmalar ve geçmiş deneyimlerle COVID-19 hastalığının tedavisine yönelik çeşitli prosedürler ve rehberler zamanla ortaya konulmuştur. COVID-19 hastalığının tedavisinde hastalığın şiddetine göre ayaktan tedavi hizmetleri veya evde bakım tedavisi tercih edilebildiği gibi daha şiddetli hastalar için yatarak hizmet sunumu ya da yoğun bakım hizmetleri gibi ileri düzey uzmanlaşmış tedavi hizmetleri tercih edilebilmektedir (Cascella ve diğ., 2022; National Institutes of Health, 2022: 234). COVID-19 hastalığı ile mücadelede sunulan tedavi hizmetleri Tedavi Yöntemleri başlığı altında ele alınmış ve COVID-19 vakalarının hastalık şiddetine göre nasıl yönetileceğine dair tedavi rehberlerinin ortaya koyduğu öneriler sıralanmıştır.

Tedavi hizmetlerinin etkin bir şekilde sunulması uygun kaynak bileşiminin hazır olmasını gerektirmektedir. Bu kapsamda sağlık sistemlerinin COVID-19 hastalığıyla mücadelede mevcut vakalara tedavi hizmetlerini sunabilecek düzeyde yeterli sağlık kaynağına (yeterli sağlık tesisi ve hastane yatağı, eğitimli ve deneyimli sağlık işgücü, tanı için gerekli kaynaklar (laboratuvar ve görüntüleme hizmetleri), ilaç stokları, bilgi sistemleri vb.) sahip olması tedavi etkinliğinin sağlanması için önemli ve gereklidir. Buna göre sağlık sistemlerinin COVID-19 tedavi hizmetlerindeki etkinliği değerlendirilirken belirtilen kaynaklarla birlikte tanı konulan COVID-19 vakalarından oluşan girdi bileşenlerinin sunulan tedavi hizmetleri sonucunda elde edilen sağlık düzeyi çıktıları (iyileşen hasta sayısı, COVID-19'a bağlı ölüm sayısı, vaka ölüm hızı vb.) ile göreceli olarak değerlendirilmektedir. Bu noktada sağlık sistemlerinin tedavi etkinliklerinin değerlendirmesinde kullanılacak değişkenlere ilişkin verilerin ulaşılabilirliği farklı sistemlerin analize dahil edilebilmesi noktasında önemli bir sınırlayıcı olmaktadır. Sağlık sistemlerinin COVID-19 pandemisi ile mücadele süreçlerindeki tedavi etkinliğini değerlendirmeye yönelik yapılan çalışmalarda kullanılan değişkenlere ve araştırma modeline ilişkin bilgilere bu çalışmaların literatür özeti bölümünde yer verilecektir.

### 2.3.2. COVID-19 Pandemisi ile Mücadele Süreci

SARS-CoV-2 salgınının DSÖ tarafından 30 Ocak 2020'de 'Uluslararası Öneme Sahip Halk Sağlığı Acil Durumu' ilan edilmesi ile birlikte, virüsün yayılmasını önleme ve olumsuz etkilerini sınırlama çabaları dünyanın dört bir yanındaki hükûmetler ve uluslararası kuruluşların işbirliği ile başlatılmıştır. Küresel ölçekte başlayan bu seferberlik virüsün bulaş kaynağı, bulaşma yolları ve varyantlarına ilişkin bilgilerin paylaşıldığı, kaynakların planlaması, organizasyonu ve kullanılması noktasında deneyimlerin aktarıldığı, hastalığı önlemeye yönelik tedbirler ile izleme, tanı ve tedavi gibi konularda kanıta dayalı politika önerilerinin ortaya konulduğu ve hastalığın mortalite ve morbidite etkisini sınırlamak amacıyla çeşitli teknik ve finansman destek mekanizmalarının oluşturulduğu geniş bir işbirliği ağı ile sonuçlanmıştır. Bu bölümde öncelikle pandemi ile mücadele sürecinin uluslararası düzeyde aktörleri olan kurumların rehberliği, desteği ve koordinasyonuna yönelik çeşitli bilgilere yer verilecektir. Bunun akabinde küresel, kıtasal ve bölgesel düzeyde COVID-19 pandemisinin epidemiyolojik değerlendirmesi zaman boyutunda yapılacaktır. Ardından çalışmanın ana karar birimleri olan ülkeler bazında sağlık sistemine ilişkin genel bilgilere, epidemiyolojik değerlendirmelere, hükûmetlerin ilaç ve ilaç dışı müdahale politikalarını yansıtan çeşitli göstergelerin değerlendirmelerine yer verilecektir. Bu kapsamda ülkeler arası farklılıkları daha iyi ortaya

koymak amacıyla coğrafi bölge, ekonomik yapı, sağlık sistemi yapısı veya pandemi yanıtı açısından farklı nitelikteki seçili ülkeler değerlendirmeye alınacaktır.

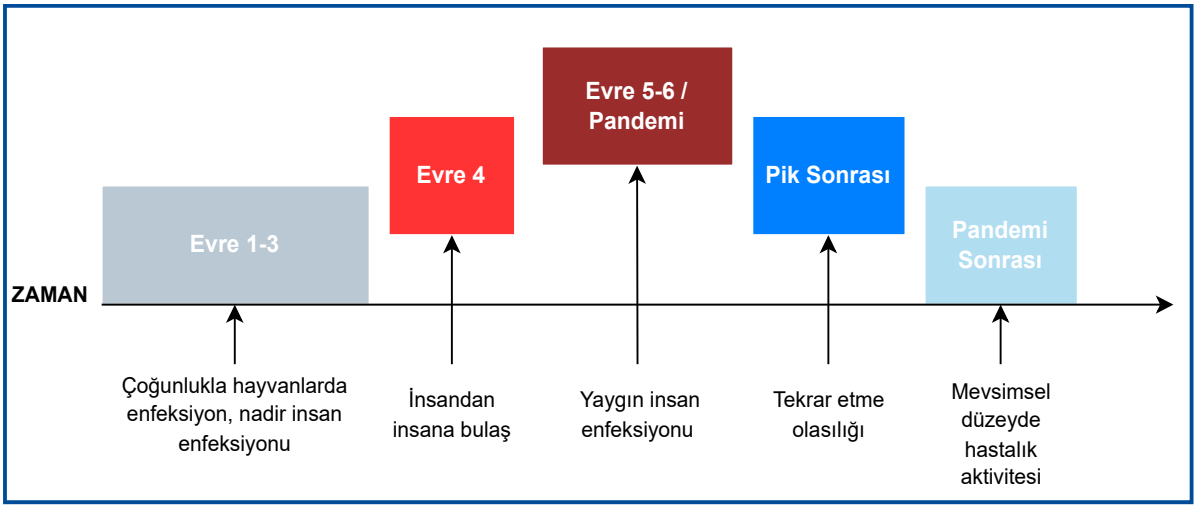
#### *2.3.2.1. Uluslararası Kurumların COVID-19 Pandemisi Rehberliği*

COVID-19'un kısa sürede dünya geneline yayılması, hükûmetlerin mümkün olduğunca hızlı önlem almalarını sağlamada ulusal ve yerel düzeydeki otoriteler ile bölgesel ve uluslararası kurumların bilgilendirme ve rehberliğine olan ihtiyacı artırmıştır. Özellikle hastalığın daha erken görüldüğü ülkelerde mevcut durumun ciddiyetinin daha önce anlaşılması ve hastalığın bulaşıcılığını azaltmaya yönelik tedbirlerin etkinliğine dair sonuçların sahadan elde edilmiş olması henüz yeterli düzeyde hazırlık yapmayan veya deneyimi olmayan ülkelerin vatandaşlarını en uygun şekilde yönlendirebilmesi için oldukça kritiktir. Bu kapsamda pandemi durumunda bir ülkede hastalığı kontrol etme ve önleme çalışmaları birinci derecede ulusal ve yerel düzeyde yetkililerin sorumluluğunda yürütülmekle birlikte, uluslararası kurumların küresel sağlığı korumak ve geliştirme noktasında üye devletler için aldığı kararlar ve yayınladığı kılavuzlar etkili mücadele için önem arz etmektedir.

Uluslararası kurumlar COVID-19 pandemisi görülmeden önce pandemi durumlarında uygulanması gereken çeşitli müdahale önerilerini yayınlamış olsa da, gerek pandeminin yeni bir virüsten kaynaklanması gerekse mortalite ve morbidite açısından etkilerinin daha yıkıcı olması nedeniyle COVID-19 pandemisine özgü eylem adımlarının planlanması ve buna yönelik kanıta dayalı kılavuzların oluşturulması ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Bu kapsamda Avrupa Hastalık Kontrol ve Önleme Merkezi (ECDC) gibi Avrupa Birliği (AB) bölgesi kuruluşunun yanı sıra, küresel sağlık otoritesi olan Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ) gibi uluslararası kuruluşlar hastalığı önleme ve sınırlamaya yönelik politika önerileri ile tanı, tedavi, izleme ve aşılama stratejileri gibi pek çok konuda kanıta dayalı rehberlerle destek sağlamıştır. Bunun yanı sıra OECD ve Asya Kalkınma Bankası (ADB) ile Birleşmiş Milletlere (BM) bağlı kuruluşlar olan Dünya Bankası (DB) ve Uluslararası Çalışma Örgütü (ILO) gibi kuruluşlar pandemiyle mücadelede uluslararası dayanışmayı sağlamak üzere gerekli finansman, teknik ve bilgi desteğini sağlayarak küresel çabaya destek olmuştur.

***Dünya Sağlık Örgütü*** COVID-19 pandemisinden yıllar önce pandemiye hazırlık ve yanıt planlamasında ülkelere yardımcı olacak bir çerçeve sunmak amacıyla altı aşamalı bir yaklaşım önermiştir. Bunlardan ilk üç aşama kapasite geliştirme ve müdahale planlama faaliyetlerini içeren hazırlıklı olma süreçleri ile ilişkiliyken, son üç aşama müdahale ve hafifletme çabalarına olan ihtiyacı yansıtmaktadır. Son aşamalardaki süreçlerin pandeminin

risk seviyesi ile ilişkisi olmakla birlikte, ilk üç aşamada risk basitçe ortaya konulamadığı için pandemi ile sonuçlanmayan durumlara da hazırlık yapılması durumu söz konusu olabilmektedir. Bununla birlikte gelişmiş sürveyans sistemlerine rağmen indeks vakaların tespit edilememesi, virüsün yaygın dolaşıma girmesine ve Aşama 3'ten doğrudan Aşama 5 veya 6'ya atlamasına neden olabilir. İlk vakaların tespiti ile hızlı sınırlama faaliyetleri başarılı olması durumunda Aşama 4'ten Aşama 3'e dönmek mümkün olabilmektedir. Belirtilen altı aşamanın ardından pandemi sonrası iyileşme faaliyetlerini kolaylaştırmak için pandeminin ilk dalgasından sonraki dönemler DSÖ tarafından pik sonrası ve pandemi sonrası dönem olmak üzere Şekil 2.11'deki zaman boyutlarında ele alınmıştır (WHO, 2009).




**Şekil 2.11:** Pandemik influenza aşamaları.

Bu aşamalarla birlikte farklı ülkelerde hayvan ve insan vakalarının görülmesi eş zamanlı olmadığı için yapılacakların ülkeler düzeyinde farklılık gösterebileceğini vurgulayan DSÖ ülkelerin pandemi risk yönetimi değerlendirmesini tavsiye ettiği rehber yayınlamış ve rehberde risk değerlendirme için interpandemik aşama, alarm aşaması, pandemi aşaması ve geçiş aşaması olmak üzere süreklilik arz eden dört aşamayı tanımlamıştır. DSÖ hazırlık, müdahale ve iyileştirme bağlamında belirlediği bu aşamaların esas alınarak yerel koşullara dayalı ulusal risk değerlendirmelerinin yapılmasını önermektedir (WHO, 2017a). OECD (2023a) pandemi gibi bir şok durumunda müdahaleyi dört aşamada tanımlamıştır. Bu aşamalardan ilki bozulmadan önce şokların önlenmesi ve hafifletilmesi için kritik işlevlerin hazırlanması için adımların atıldığı *hazırlık aşamasıdır*. Şok başladıktan sonra sağlık sisteminin temel işlevlerinin sürdürülmesi ve sonuçların sistem çökmeden etkisinin azaltılmasını içeren ikinci aşama ise *absorbe etme (sönümleme) aşamasıdır*. Şok nedeniyle kesintiye uğrayan işlevlerin mümkün olan en kısa sürede ve en etikili şekilde geri kazandırıldığı üçüncü aşama ise *kurtarma*

*aşamasıdır*. Son aşama ise gelecekteki benzer tehditlerin etkisini azaltma ve bunlardan kurtulmayı öğrenme ve geliştirme kapasitesini tanımlayan uyum sağlama aşamasıdır.

DSÖ hazırlık ve müdahale önerilerini, planlama ve koordinasyon, durum izleme ve değerlendirme, hastalığın yayılmasını azaltma, sağlık hizmeti sunumunun sürekliliği ve iletişim olmak üzere beş bileşene göre gruplandırmıştır. DSÖ tarafından her bir pandemi aşaması için önerilen eylemler ise Tablo 2.9'da verilmiştir (WHO, 2009).

**Tablo 2.9:** Pandemi aşamalarına göre eylem önerileri.

| Hazırlık bileşenleri | Aşamalar | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | **1-3** | **4** | **5-6** | **Pik sonrası** | **Pandemi sonrası** |
| **Planlama ve koordinasyon** | Ulusal influenza salgını hazırlık ve müdahale planları geliştirin, uygulayın ve periyodik olarak gözden geçirin. | Enfeksiyon yayılmasını sınırlamak için DSÖ işbirliği ile hızlı pandemiyi sınırlama faaliyetlerini yönlendirin ve koordine edin. | Toplumsal ve ekonomik etkileri azaltmak için çok sektörlü kaynaklara liderlik ve koordinasyon sağlayın. | Gelecekteki olası dalgalar sırasında ek kaynaklar ve kapasiteler için plan yapın ve koordine edin. | Öğrenilen dersleri gözden geçirin ve deneyimleri uluslararası toplumla paylaşın. Kaynakları yenileyin. |
| **Durum izleme ve değerlendirme** | Ulusal hayvan sağlığı yetkilileri ve diğer ilgili sektörlerle işbirliği içinde güçlü ulusal sürveyans sistemleri geliştirin. | Sürveyansı artırın. Sınırlama faaliyetlerini izleyin. Bulguları DSÖ ve uluslararası toplumla paylaşın. | Gelişen pandemiyi, etkilerini ve hafifletme önlemlerini aktif olarak izleyin ve değerlendirin. | Sonraki dalgaları tespit etmek için izlemeye devam edin. | Bir sonraki pandemi ve diğer halk sağlığı acil durumları için pandemi özelliklerini ve durum izleme ve değerlendirme araçlarını değerlendirin. |
| **Hastalığın yayılmasını azaltma** | Bireylerde kendini korumaya yönelik faydalı davranışları teşvik edin. Farmasötiklerin ve aşıların kullanımını planlayın. | Hızlı pandemiyi sınırlama faaliyetlerini ve diğer faaliyetleri uygulayın. Gerektiğinde DSÖ ve uluslararası toplumla işbirliği yapın. | Bireysel, toplumsal ve farmasötik önlemleri uygulayın. | Kılavuzları, protokolleri ve algoritmaları güncellemek için kullanılan önlemlerin etkinliğini değerlendirin. | Uygulanan tüm müdahalelerin kapsamlı bir değerlendirmesini yapın. |
| **Sağlık hizmeti sunumunun sürekliliği** | Sağlık sistemini büyütmek için hazırlayın. | Acil durum planlarını etkinleştirin. | Her düzeyde sağlık sistemleri için acil durum planları uygulayın. | Dinlenin, kaynakları yeniden stoklayın, planları gözden geçirin ve temel hizmetleri yeniden oluşturun. | Sağlık sisteminin pandemiye tepkisini değerlendirin ve öğrenilen dersleri paylaşın. |
| **İletişim** | Gerçek ve potansiyel riskleri iletmek için iletişim planlamasını tamamlayın ve iletişim faaliyetlerini başlatın. | Bireysel ve toplum riskini önlemek ve azaltmak için önerilen müdahaleleri teşvik edin ve iletin. | Genel kamuoyuna ve tüm paydaşlara salgının durumu ve riski azaltmaya yönelik önlemler hakkında güncellemeler sağlamaya devam edin. | Pandemi durumundaki herhangi bir değişiklik hakkında halka ve diğer paydaşlara düzenli olarak güncellemeler sağlayın. | Tüm toplulukların ve sektörlerin katkılarını ve öğrenilen dersleri kamuoyuna bildirin. Bir sonraki büyük halk sağlığı krizine hazırlık için öğrenilen dersleri planlamaya dahil edin. |

Tablo 2.9'da verilen eylemler incelendiğinde, 1-3 aşamalarında küresel, bölgesel, ulusal ve yerel düzeylerde pandemiye hazırlık ve müdahale kapasitelerinin güçlendirmesinin amaçlandığı görülmektedir. Aşama 4'te ise aşı geliştirme ve uygulama sürecine geçiş aşamasına kadar ilaç dışı müdahalelerle yeni virüsü sınırlı bir alanda kontrol altına almaya veya yayılmasını geciktirmeye çalışarak zaman kazanmak amaçlanmaktadır. Aşama 5-6'da ise

çeşitli müdaheleler ile pandeminin toplum üzerindeki etkisinin azaltılması amaçlanmaktadır. Pik sonrası dönemde belirtilen eylemler, pandeminin sağlık ve sosyal etkilerini ele almayı ve gelecekteki olası pandemi dalgalarına hazırlanmayı amaçlamaktadır. Son olarak pandemi sonrası dönemde belirtilen faaliyetler, hem pandeminin uzun vadeli sağlık ve sosyal etkilerini ele almayı hem de sağlık ve sosyal işlevleri eski haline getirmeyi amaçlamaktadır. Sağlık sektörü ve diğer sektörler, sivil toplum örgütleri, bireyler ve aileler olmak üzere tüm tarafların belirlenen amaçlara ulaşmada rolleri ve sorumlulukları olmakla birlikte, ulusal hükûmet pandemi sürecinde genel koordinasyon ve iletişim çabalarının doğal lideridir (WHO, 2009).

DSÖ'nün herhangi bir pandemi durumunda ulusal planlama için sunduğu eylem önerileri yanında, COVID-19 pandemisine özgü hem ilaç müdahalelerinin hem de ilaç dışı müdahalelerin uygulanması için kılavuzlar hazılanmıştır. Bu kapsamda ilaç dışı müdahalelerin ulusal düzeyde uygulanması için sırasıyla; mevcut sağlık bakım sisteminin değerlendirilmesi, bulaşma dinamikleri ile eşleştirmek için ilaç dışı müdahalelerin nasıl uygulanacağının belirlenmesi, ilaç dışı müdahalelere rehberlik etmesi için epidemiyolojik durumun değerlendirilmesi ve ilaç dışı müdahaleleri ayarlamak ve çeşitli maliyetlere karşı etkinliğini dengelemek için COVID-19 pandemisi, sistem kapasitesi ve müdahalelerin etkisindeki değişim izlenmesi olmak üzere dört adım önerilmiştir. İlk aşama ülkelerin COVID-19'a karşı sağlık sistemlerinin kapasitesinin öngörülen vaka sayısı, akut ve kritik bakım hastaları yüzdesi, ortalama hastanede kalış süresi gibi talep göstergeleri baz alınarak değerlendirilmesini ve tedavi etme kapasitesini artıracak proaktif önlemlerin alınmasını kapsamaktadır (WHO, 2022f).

İlaç dışı müdahalelerin uygulanmasında önerilen ikinci aşama pandeminin seyrine, sağlık sisteminin kapasitesine ve yerel kültür gibi diğer faktörlere göre müdahalelerin nasıl uygulanacağının belirlenmesi ile ilişkilidir. Bu kapsamda bulaşma aşamalarına göre birbirini tamamlayan iki yol önerilmiştir. Bunlardan ilki, belirli bir coğrafi bölgede enfeksiyon tespit edilir edilmez ilaç dışı müdahalelere odaklanan sıkı yaklaşımdır. Pandemiyi minimum sosyoekonomik zararla kontrol etmeyi amaçlayan ve bulaşma aşaması ne olursa olsun önlemleri yürürlüğe alan güçlü ve odaklanmış yaklaşım sınırlı bulaşma dönemlerinde en yüksek faydaya sahiptir. İkinci yol ise daha geniş kapsamlı ilaç dışı müdahalelerin uygulanmasını ve önlemlerin epidemiyolojik duruma göre kademeli olarak ayarlanmasını içermektedir. Buna göre müdahalelerin etkiliği, sosyoekonomik maliyeti ve toplumsal kabul durumu olmak üzere üç kriter baz alınarak iş yerleri, okullar, kamuya açık yerler ve etkinlikler ve seyahat kategorilerindeki müdahalelerin değerlendirilmesi yapılmıştır (WHO, 2022f). DSÖ'nün

sunduğu ilaç dışı müdahalelerin değerlendirilmesi yaklaşımının yanı sıra ***Avrupa Hastalık Kontrol ve Önleme Merkezi (ECDC)*** epidemiyolojik duruma dayalı olarak ilaç dışı müdahale türlerinin hangi durumlarda kullanılmasının uygun ve etkili olacağına dair genel bir perspektifi Tablo 2.10'da verildiği gibi sunmuştur (ECDC, 2020).

**Tablo 2.10:** COVID-19 pandemisinde ilaç dışı müdahaleler ve uygulama endikasyonları.

| İlaç Dışı Müdahale | Düşük Prevalans | Yüksek Prevalans | Coğrafi Düzey | Hastalık Etkisi | Olumsuz Toplumsal Etki |
|---|---|---|---|---|---|
| **Hijyen önlemleri-** Dikkatli el ve solunum hijyeni | + | + | Ulusal | Yüksek | Düşük |
| **Yüz maskeleri-** Kamu alanlarında yüz maskesi kullanımı | +/- | + | Ulusal | Yüksek | Düşük |
| **İzolasyon ve karantina-** Doğrulanmış ve olası COVID-19 vakalarının önerilen izolasyonu | + | + | Ulusal | Yüksek | Düşük |
| **İzolasyon ve karantina-** Vakaların temaslıları için karantina | + | + | Ulusal | Yüksek | Düşük |
| **İzolasyon ve karantina-** Belirli gruplar için karantina | +/- | +/- | Ulusal | Düşük | Düşük |
| **Fiziksel mesafe-** Halka açık yerlerde kişiler arasında önerilen >1-2 metre fiziksel mesafe | + | + | Ulusal | Yüksek | Düşük |
| **Fiziksel mesafe-** Kamuya açık alanların kapatılması | - | +/- | Yerel | Yüksek | Orta |
| **Fiziksel mesafe-** Toplu taşımanın kapatılması | - | +/- | Yerel | Yüksek | Yüksek |
| **Fiziksel mesafe-** İş yerlerinin kapatılması | - | + | Yerel | Yüksek | Orta |
| **Fiziksel mesafe-** Uzaktan çalışmayı önerme | + | + | Ulusal | Yüksek | Düşük |
| **Fiziksel mesafe-** Okulların kapatılması | - | +/- | Yerel | Yüksek | Yüksek |
| **Fiziksel mesafe-** Yüksek risk grubunun ve savunmasız nüfusun korunması | +/- | + | Ulusal | Yüksek | Orta |
| **Fiziksel mesafe-** Evde kalma emirleri ve tavsiyeleri | - | +/- | Yerel | Yüksek | Yüksek |
| **Toplu toplantılar-** Halka açık toplantılara müdahaleler | +/- | + | Ulusal | Yüksek | Orta |
| **Hareket kısıtlamaları-** Uluslararası seyahat kısıtlamaları | +/- | - | Ulusal | Düşük | Yüksek |
| **Hareket kısıtlamaları-** Ulusal hareket kısıtlamaları ya da tavsiyeler | - | + | Yerel | Orta | Orta |

+: önerilir, +/-: kabul edilebilir, -: önerilmez

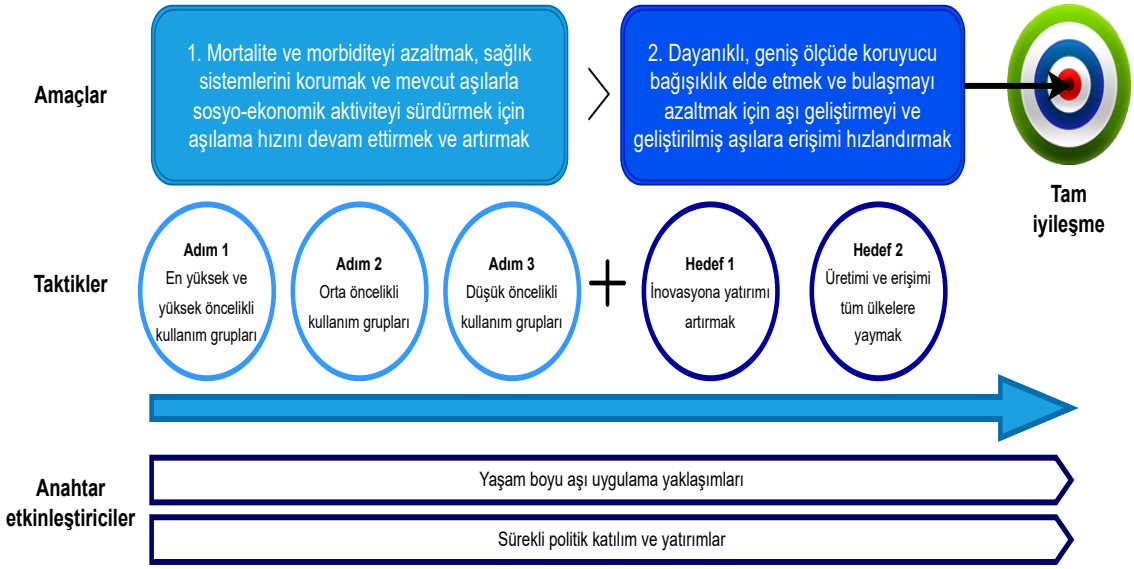
Tablo 2.10'da görüldüğü üzere el hijyeni, solunum görgü kuralları, doğrulanmış ve olası COVID-19 vakalarının izolasyonu, temaslıların karantinası, 1-2 metre fiziksel mesafenin korunması ve uzaktan çalışma önerileri pandeminin şiddeti farketmeksizin ulusal düzeyde uygulanması önerilen ilaç dışı müdahalelerdir (ECDC, 2020). Dünya Sağlık Örgütü benzer

şekilde pandemi durumunda şiddetine bakılmaksızın el hijyeni, solunum görgü kuralları, vakaların izolasyonu uygulamalarını önermekle birlikte, ilave olarak semptomatik bireylerin yüz maskesi kullanması, yüzey ve nesne temizliği, artan havalandırma ve seyahat önerilerinin uygulanmasını tavsiye etmektedir (WHO, 2019). COVID-19 prevalansının düşük olduğu dönemlerde kamuya açık alanların, toplu taşımanın, iş yerlerinin ve okullarının kapatılması, evde kalma emirlerinin ve ulusal hareket kısıtlamalarının uygulanması önerilmemektedir. Yüksek prevalans dönemlerinde ise yalnızca uluslararası seyahat kısıtlamasının uygulanması önerilmemekte, diğer müdahaleler ya önerilmekte ya da kabul edilebilir olarak nitelendirilmektedir (ECDC, 2020).

İlaç dışı müdahalelerin uygulanmasında önerilen üçüncü aşama sürveyans siteminde izlenen göstergelere dayalı olarak epidemiyolojik durumun değerlendirilmesidir. COVID-19 salgının ülke içerisinde mortalite ve morbidite etkisi zaman içerisinde dalgalanacağı için ilaç dışı müdahalelerin bu duruma göre dinamik olarak ayarlanması gereklidir. Ülkeler sağlık sistemi kapasitesini aşacak bir hastalık yükü ile karşılaşmamak için ilaç dışı müdahaleleri güçlendirme ve genişletmeyi gözden geçirmelidir. Son aşamada ise sağlık sistemi kapasitesindeki değişikliklerin, müdahalelerin ve COVID-19 salgınının etkisinin sürekli olarak izlenmesi ve buna uygun ayarlamaların yapılması yer almaktadır. Bunun için çok kaynaklı izleme sisteminin yürürlükte olması ve buna göre değerlendirme mekanizması oluşturulması ve uygulanması gereklidir (WHO, 2022f). Temaslı takibi, karantina ve izolasyon gibi pek çok ilaç dışı müdahale ile ilgili DSÖ ve ECDC gibi kurumların tavsiyeleri İlaç Dışı Müdahaleler başlığı altında kapsamlı olarak ele alınmıştır (WHO, 2020b; WHO, 2020c; WHO, 2020d).

DSÖ ilaç dışı müdahaleler ile birlikte, çok sayıda randomize kontrollü çalışmanın sonuçlarına dayalı olarak hastalık şiddetine göre COVID-19 tedavisinde kullanılan ilaçlar hakkında önerilerde bulunmuştur. Yakın zamanda yapılan çalışmaların sonucunu dikkate alarak bu önerilerde güncellemeler yapılmıştır (WHO, 2022c). COVID-19 Tedavi Yöntemleri başlığı altında hastalığın şiddetine göre çeşitli önerilere yer verilmiştir. Terapötikler hakkında yayınlanan kılavuzla birlikte, DSÖ aşılama konusunda küresel çabayı desteklemek ve geliştirmek için "COVID-19 Araçlarına Erişimi Hızlandırma" ortaklığını başlatarak ilaç dışı müdahaleler için önemli bir rol üstlenmiştir. Bu ortaklık altında pandemiyi sona erdirmek amacıyla tanı, tedavi ve aşıları uygulamak için alt oluşumlar planlanmıştır. Bunlardan "COVID-19 Aşıları Küresel Erişim (COVAX)" işbirliği programı kapsamında, 150'den fazla ülkenin katılımı ile COVID-19 aşılarının geliştirilmesi ve üretiminin hızlandırılması ve her

ükenin adil ve eşitlikçi erişiminin sağlanmasına yönelik faaliyetler DSÖ önderliğinde yürütülmektedir. Bu kapsamda DSÖ üye ülkeler için 2022 ortasına kadar belirlediği %70 aşılama hedefine ulaşılması için tedarik, teknik ve finansal destek sağlamaya yönelik faaliyetleri koordine etmiştir. Ancak mevcut stratejiler ile taahhüt edilen aşı eşitliğinin sağlanamamasının bir sonucu olarak hedeflenen aşılamaya küresel düzeyde ulaşılamamıştır (WHO, 2023a). Bu nedenle DSÖ "Değişen Bir Dünyada Küresel Covid-19 Aşılama Stratejisi" ile 2023 ve sonrası için küresel bir COVID-19 aşılama stratejisi geliştirmek üzere çalışmalar yürütmüştür. Güncellenen çalışmada aşılama stratejisinin amaçları iki yönlü olarak Şekil 2.12'deki gibi özetlemiştir (WHO, 2022g).




**Şekil 2.12:** Küresel COVID-19 aşılama stratejisi.

Şekil 2.12'de görüldüğü üzere ilk amaç kapsamında sağlık çalışanları ve 60 yaş üzeri nüfus gibi yüksek öncelikli gruplardan başlayarak aşılamada önceliklendirmenin sağlanması önerilmiştir. İkinci amaç kapsamında ise daha etkili ve güvenilir sonuçlara sahip, yetkilendirilmiş, koruma süresi ve kapsamı artırılmış, bulaşmayı azaltma ve uygulamayı iyileştirme beklentileri olan COVID-19 aşılarına yatırımı artırmak ve tüm ülkelerin aşılara erişimini sağlamak için tedarik anlaşmalarını sağlamak hedefleri ortaya konulmuştur. Bunları kolaylaştıracak olan anahtar etkinleştiriciler ise aşılamayı yaşam boyu desteklendiği, politik desteğin bulunduğu ve yatırımların teşvik edildiği yaklaşımın benimsenmesidir. Bu amaç ve hedeflerin ulusal ve küresel eşitlik, standartlar (kalite, güvenilirlik ve etkinlik) uygunluk ve entegrasyon (diğer temel sağlık hizmetleri önceliklerinin engellemeden uygulanması) ilkeleri çerçevesinde gerçekleştirilmesi gerektiği önemle vurgulanmıştır (WHO, 2022g). DSÖ tarafından mevcut durumda aşıların kaliteli, güvenilir ve etkili olup olmadığı uluslararası

standartlar çerçevesinde kapsamlı bir şekilde değerlendirilmesi yapılarak uygun görülen aşılar Acil Durum Kullanım Listesi'ne (EUL) dahil edilmekte ve Birleşmiş Milletler Çocuklara Yardım Fonu (UNICEF) ve Birleşmiş Milletler'in (BM) diğer kuruluşları aşılar için tavsiyeler verilmektedir. İlaç müdahaleleri başlığı altında DSÖ rehberliği detaylı olarak ele alınmıştır (WHO, 2023b; WHO, 2023c).

DSÖ'nün üye devletlere sağladığı kanıta dayalı rehberlik, teknik ve mali yardım, iletişim ve malzeme temini gibi desteklerin yanı sıra, diğer uluslararası kuruluşlarda COVID-19 pandemisi ile mücadelede çeşitli sorumluluklar üstlenmiştir. Bu kapsamda önde gelen diğer uluslararası kuruluşların pandemi ile mücadelede üstlendiği sorumluluklar ve hükûmetlere sağladığı çeşitli destekler aşağıda özetlenmiştir:

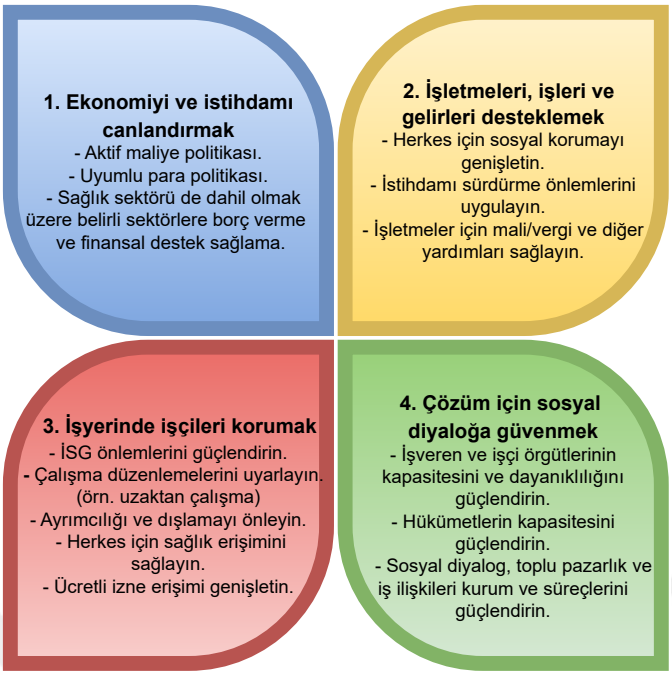
***Dünya Bankası Grubu***, özellikle gelişmekte olan ülkelerde pandeminin sağlık, sosyal ve ekonomik alanlardaki yıkıcı etkileriyle mücadelesine destek olmak amacıyla hızlı, kapsamlı ve erken adımlar atmış ve küresel nüfusun %70'inden fazlasını kapsayan 110'dan fazla ülkenin ihtiyaç duyduğu kaynakları sağlamıştır. Bu kapsamda finansman ve teknik desteğin öncelikle COVID-19'a dayanma kapasitesi sınırlı olan kırılganlık, çatışma ve şiddet (fragility, conflict, and violence) ile karakterize olan ve Küçük Ada eyaletleri dahil alt ve alt-orta gelir grubu ülkelere aktarılmasına odaklanılması tercih edilmiştir. Ayrıca DB, aşırı yoksulluğu sona erdirmek ve ortak refahı artırmak için hükûmetlere sağlıklı, üretken ve özel sektör liderliğindeki büyümenin sağlandığı işbirliği yaklaşımını tavsiye etmektedir (World Bank, 2020a).

Dünya Bankası pandemi yanıtını "Destek, Yeniden Yapılandırma ve Dirençli İyileşme" olmak üzere üç aşamalı faaliyet dört ana sütun üzerine planlamıştır. Acil destek aşaması COVID-19'un sağlık, sosyal, ekonomik ve finansal etkilerine acil müdahaleyi içermektedir. Ülkelerde pandemi kontrol altına alınarak ekonomi yeniden açıldığında sağlık sistemleri, beşeri sermaye, diğer sektörler ve firmaların eski haline getirilmesi için finansman sağlanması yeniden yapılandırma aşamasının kapsamındadır. Son aşama ise daha sürdürülebilir, kapsayıcı ve esnek bir gelecek inşa etmek için yeni fırsatlardan yararlanma çabalarını içermektedir. Kriz müdahalesi için belirlenen dört ana sütun ise sırasıyla; *"hayat kurtarmak"*, *"yoksulları ve savunmasızları korumak"*, *"daha sürdürülebilir iş büyümesi ve istihdam yaratılmasının sağlanması"* ve *"daha iyi yeniden inşa etmek için politikaların, kurumların ve yatırımların güçlendirilmesi"* olarak belirlenmiştir. Bu ana temalar ve aşamalar çerçevesinde Birleşmiş Milletler, Uluslararası Para Fonu, Çok Yönlü Kalkınma Bankaları, Özel Sektör Aşı Partnerlikleri ve Sivil Toplum ile ortaklıklar oluşturarak Nakdi ve Ayni Transferler, Kalkınma

Politikası Finansmanı, Topluluk Odaklı Kalkınma Projeleri, Sağlık Çok Aşamalı Program Yaklaşımları, Yatırım Projesi Finansmanı, Sağlık Değer Zinciri Platformu, Danışmanlık Hizmetleri ve Analitik, Mikrofinans Kalkınma Projeleri, Çok Taraflı Yatırım Garanti Ajansı, Kamu-Özel Ortaklıkları gibi çeşitli model ve araçlar ile kaynak aktarımı sağlanmaktadır (World Bank, 2020b).

Dünya Bankası Grubu çeşitli alt kuruluşlar aracılığıyla 2021 yılı 12 aylık mali dönemde 98,8 milyar dolar (Sahra Altı Afrika 35,2; Latin Amerika ve Karayipler 17,5; Güney Asya 15,6) değerinde kısa ve uzun vadeli finansman taahütü vermiştir (World Bank, 2022a). Ayrıca Dünya Bankası aşının 78 ülkede yaygınlaştırılmasını desteklemek için 10,1 milyar dolar tutarında 112 aşılama projesini onaylamıştır. DSÖ finansmanı ile satın alınan 634 milyon doz aşının 501 milyonu 2022 sonu itibarıyla 54 ülkeye teslim edilmiştir. Afganistan, Bangladeş, Arjantin, Etiyopya, Gürcistan, Gana, Irak, Ürdün, Kenya, Moğolistan, Nepal, Senegal, Güney Afrika, Tunus, Türkiye, Ukrayna ve Zimbabve aşı için finansman desteği sağlanan ülkelerden birkaçıdır. Dünya Bankası aşı finansmanı operasyonlarını COVAX, DSÖ ve UNICEF ile küresel dayanışma içerisinde yürütmektedir. Dünya Bankası aşı alımında DSÖ'nün ön yeterlik veya acil kullanım listesi yetkilendirmesini temel almaktadır. Ülkelerin sağlık sistemlerini güçlendirmesine ve aşı dağıtımına yardımcı olmak için sağlanan finansmanı ise güvenli ve etkili dağıtım politikaları oluşturmak, depolamayı genişletmek ve soğuk zincirler oluşturmak, veri ve izleme sistemleri geliştirmek, sağlık çalışanlarını eğitmek, vatandaşlar ve topluluk katılımı aracılığıyla aşılara güven oluşturmak için kullanmaktadır (World Bank, 2023a).

***Uluslararası Çalışma Örgütü (ILO),*** COVID-19 pandemisinin ekonomik ve sosyal etkileriyle mücadelede politika çerçevesini dört ana sütun etrafında yapılandırmıştır. Her bir sütun birbirini tamamlayarak sağlam bir bütün oluşturmaktadır. Sürdürülebilir ve hakkaniyete uygun bir toparlanmayı kolaylaştırmak için tasarlanmış, denenmiş ve güvenilir politika yanıtlarını planlamada uluslararası çalışma standartları temel teşkil etmektedir. Bu doğrultuda COVID-19 pandemisinin sosyo-ekonomik etkisiyle mücadeleye yönelik olarak belirlenen dört sütunlu politika çerçevesi Şekil 2.13'te verilmiştir (International Labour Organization, 2020).




**Şekil 2.13:** Uluslararası çalışma standartlarına dayalı dört sütunlu politika çerçevesi.

ILO, Şekil 2.13'te belirlenen dört ana sütunu çerçeve alarak bileşenleri olan hükûmetler, işverenler ve işçiler ile politika yapıcılar ve genel halka yönelik pandemi müdahalesinin vazgeçilmez bir parçasını oluşturan temel politika eylem alanları hakkında kapsamlı ve bütünleşik tavsiyelerde bulunmuştur. ILO iş sürekliliğinin ve istihdamın korunmasını sağlamak için üye ülkelerde hükûmetlerin ilgili ofisleri ile koordineli şekilde çalışarak kalkınma işbirliği projeleri, genişletilmiş teşvik programları, destek programları ve çalışma grupları gibi oluşumlara öncülük etmiş ve mücadele sürecine aktif destek sağlamıştır (International Labour Organization, 2020; International Labour Organization, 2023).

***Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü (OECD)***, COVID-19 ile mücadelede küresel çabaya katkıda bulunmak motivasyonu ile sağlık, ekonomik ve toplumsal krizleri ele almak, koordinasyonu kolaylaştırmak ve küresel eyleme katkıda bulunmak için çeşitli konularda derlenen veriler, analizler ve tavsiyeleri paylaşmıştır. Sağlıktan eğitime ve vergilere kadar pek çok konuda politika yanıtlarını bir araya getiren OECD, etkilenen sektörler için hem kısa vadeli önlemler ile rehberlik sağlamayı hem de uzun vadeli sonuçlar ve etkiler hakkında analize dayalı politika yanıtlarını ülkeler arası koordinasyonla uygulamayı amaçlayan çabaları yürütmektedir (OECD, 2022).

***Asya Kalkınma Bankası (ADB)***, çoğunluğu Asya Pasifik Bölgesi'nde bulunan ve gelişmekte olan üye ülkeleri COVID-19 pandemisi ile mücadelede finansman, bilgi ve çeşitli

ortaklıklar yoluyla desteklemektedir. 10 Eylül 2021 itibarıyla gelişmekte olan üye ülkelerde aşılama desteği dahil olmak üzere COVID-19 müdahalesine toplam 20,8 milyar dolar kaynak aktaran Banka, gelişmekte olan üye ülkelere güvenli ve etkili aşıların hızlı ve adil bir şekilde tedarik edilmesi ve dağıtılmasını sağlamak için Aralık 2020'de 9 milyar dolarlık Asya Pasifik Aşı Erişim Tesisi'ni (APVAX) başlatmıştır. Ayrıca tedarikçiler, profesyonel uzmanlar, özel sektör şirketleri, sivil toplum kuruluşları ve diğer bilgi ortaklarıyla işbirliği yaparak tedarik zincirlerinde uzun vadeli sistemik dayanıklılığı oluşturmak için hizmetler sağlamıştır (Asian Development Bank, 2022).

#### *2.3.2.2. COVID-19 Pandemisinin Epidemiyolojik Değerlendirmesi*

COVID-19 pandemisi, 31 Aralık 2019 tarihinde Çin Halk Cumhuriyeti'nde bildirilen ilk vakalar ile başlayan ve birkaç ay içerisinde küresel olarak hızla yayılan 21. yüzyılın en yıkıcı pandemisidir. Pandemi başlangıcından 31 Aralık 2022 tarihine kadar geçen üç yıl içerisinde dünya genelinde doğrulanan vaka sayısı 660.378.823 ve ölüm sayısı 6.692.967 olarak bildirilmiş ve vaka ölüm hızı dünya genelinde %1,01 olarak gerçekleşmiştir. Mevcut durumda SARS-CoV-2 virüsünün görülmediği kıta kalmamıştır. Ancak kıtasal olarak incelendiğinde pandeminin farklı düzeylerde etkili olduğu görülmektedir. COVID-19 pandemisinin 31.12.2022 tarihi itibarıyla çeşitli alt kıtalardaki epidemiyolojik değerlendirmesi çeşitli göstergelerle Tablo 2.11'de özetlenmiştir (Our World in Data, 2023).

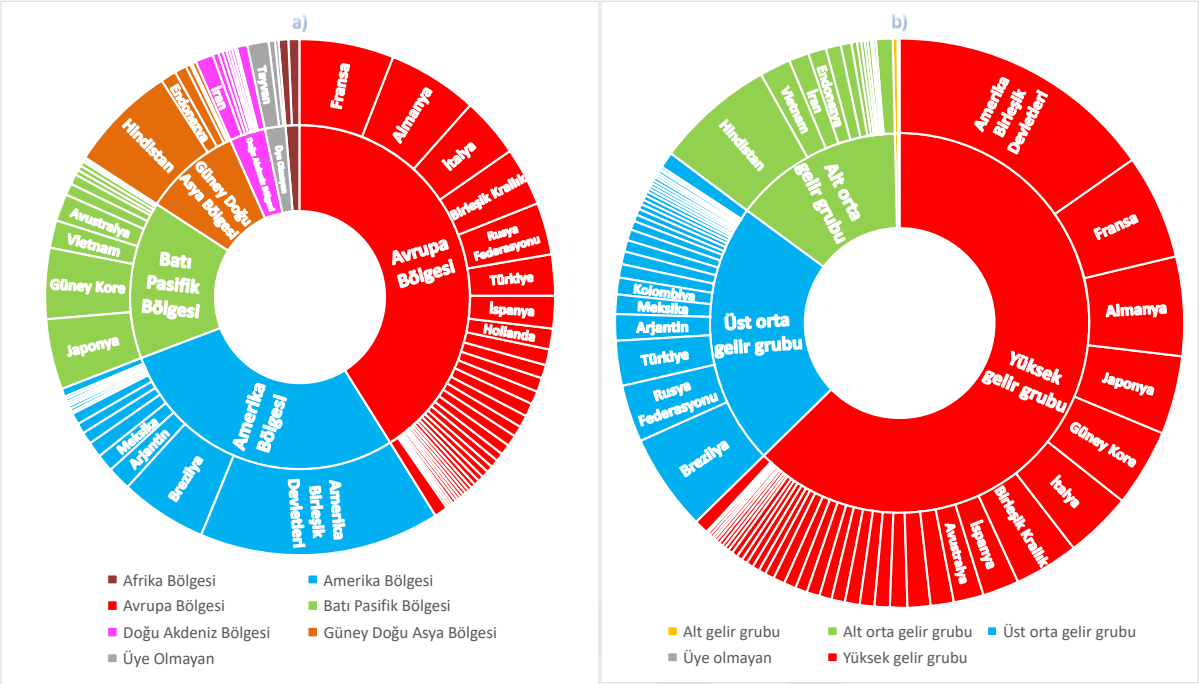
**Tablo 2.11:** Kıtalara göre COVID-19 epidemiyolojisi.

| ***Kıta*** | **Doğrulanmış Vaka Sayısı** | **Ölüm Sayısı** | **Vaka Ölüm Hızı (%)** | **Milyon Kişi Başına Vaka** | **Milyon Kişi Başına Ölüm** |
|---|---|---|---|---|---|
| *Avrupa* | 244.917.298 | 2.003.209 | 0,82 | 328.833 | 2.690 |
| *Asya* | 203.370.998 | 1.516.711 | 0,75 | 43.074 | 321 |
| *Kuzey Amerika* | 119.222.565 | 1.552.121 | 1,30 | 198.597 | 2.585 |
| *Güney Amerika* | 66.767.130 | 1.341.262 | 2,01 | 152.849 | 3.071 |
| *Okyanusya* | 13.632.440 | 22.210 | 0,16 | 302.682 | 493 |
| *Afrika* | 12.467.671 | 257.439 | 2,06 | 8.739 | 180 |
| *Dünya* | 660.378.823 | 6.692.967 | 1,01 | 82.805 | 839 |

*Uluslararası olarak tanımlanan 721 doğrulanmış vaka ve 15 ölüm kıta dağılımında hesaplanmamıştır.

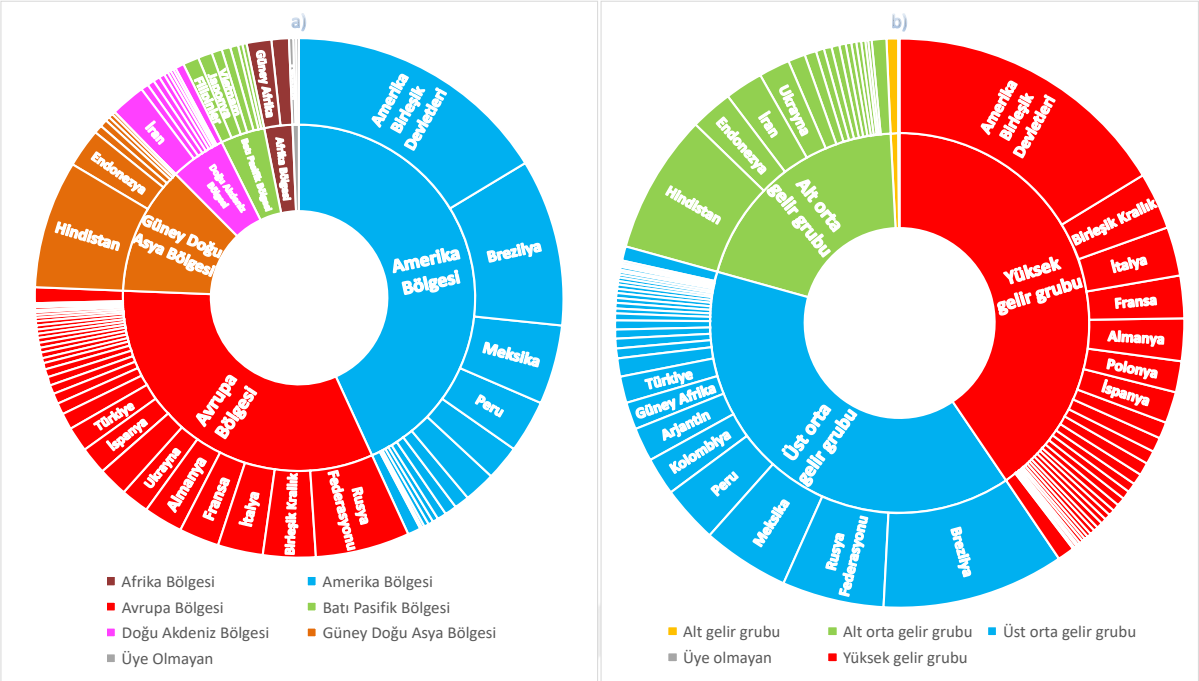
Tablo 2.11'e göre Asya Kıtasında başlayan COVID-19 pandemisinden en çok etkilenen kıta, 244.917.298 doğrulanmış vaka ve 2.003.209 ölüm ile Avrupa Kıtası olmuştur. Küresel nüfusun %9,34'ünün yaşadığı Avrupa Kıtasında vakaların %37,09'u ve ölümlerin %29,93'ü gerçekleşmiştir. %30,80'i Asya'da, küresel nüfusun sırasıyla %7,53'ünün yaşadığı Kuzey Amerika Kıtasında vakaların %18,05'i ve ölümlerin %23,19'u ve küresel nüfusun %5,48'inin yaşadığı Güney Amerika'da ise vakaların %10,11'i ve ölümlerin %2,06'sı bildirilmiştir. Nüfusun toplamda %22,34'ünü oluşturan üç kıtada tüm vakaların %65,25'i ve tüm ölümlerin %73,16'sı görülmüştür. Küresel nüfusun %59,20'sini kapsayan Asya kıtasında ise vakaların %30,80'i ve ölümlerin %22,06'sı gerçekleşmiştir. Vaka ölüm hızı %2,06 ile en yüksek Afrika Kıtasında, %0,16 ile en düşük Okyanusya Kıtasında görülmüştür. Vakaların ve ölümlerin nüfus başına görülme sıklığını ifade eden ölçütler incelendiğinde, milyon kişi başına vaka sayısına göre sırasıyla Avrupa, Okyanusya ve Kuzey Amerika'nın nüfus başına en çok vaka görülen kıtalar olduğu, milyon kişi başına ölüm sayısına göre ise sırasıyla Güney Amerika, Avrupa ve Kuzey Amerika'nın nüfus başına en çok ölümün gerçekleştiği kıtalar olduğu görülmektedir.

Dünya Sağlık Örgütü küresel sorumluluklarını yerine getirirlen raporlama, analiz ve denetim faaliyetlerini etkin yürütmek için 6 alt bölge oluşturmuş ve mevcut durumda üye bulunan 194 ülkeye ilişkin COVID-19 verilerini izlemektedir. Bununla birlikte Dünya Bankası atlas metoduna göre yaptığı hesaplama ile ülkeleri gelir gruplarına ayırmakta ve bu sınıflandırma çerçevesinde verileri izlemekte ve analiz etmektedir. Buna göre uluslararası kurumların önderliğinde ve rehberliğinde yürütülen COVID-19 pandemisi ile küresel mücadelenin geniş bir perspektiften değerlendirilebilmesi için Our World in Data (2023) üzerinden elde edilen 31.12.2022 tarihli kümülatif doğrulanmış COVID-19 vaka sayılarının DSÖ bölgeleri (a) ve DB gelir grubuna (b) göre dağılımı Şekil 2.14'te verilmiştir.




**Şekil 2.14:** DSÖ bölgelerine (a) ve DB gelir grubuna (b) göre kümülatif COVID-19 vakaları. Kaynak: Çizim yazara aittir.

Şekil 2.14 incelendiğinde toplam vaka sayısına göre sırasıyla %41,08 ile DSÖ Avrupa Bölgesi ilk sırada yer alırken, % 28,14 ile Amerika ve %14,87 ile Batı Pasifik bölgeleri ilk üç bölge içerisinde yer alan diğer bölgeler olmuştur. Bununla birlikte DB gelir grubu sınıflandırılması incelendiğinde ise vakaların %62,69'unun yüksek gelir grubunda yer alan 74 ülkede, %22,45'inin ise üst orta gelir grubunda yer alan 54 ülkede gerçekleştiği görülmektedir. Ülkelere göre toplam vaka sayısı incelendiğinde küresel nüfusun %4,24'ünü oluşturan Amerika Birleşik Devletleri'nde tüm vakaların %15,26'sı görülmüş ve vaka sayısı açısından ilk sırada yer alan ülke olmuştur. Hindistan %6,77 ikinci sırada yer alırken, onu sırasıyla %5,96 ile Fransa, %5,66 ile Almanya, %5,50 ile Brezilya, %4,43 ile Japonya ve %4,41 ile Güney Kore izlemiştir. Üst sıralarda yer alan bu ülkelerden Hindistan dışında kalanların tamamında küresel nüfus içerisindeki payından daha fazla vaka görülmüştür. Pandeminin mortalite etkisinin DSÖ bölgeleri (a) ve DB gelir grubuna (b) göre değerlendirebilmesi için Our World in Data (2023) üzerinden elde edilen kümülatif ölüm sayılarının dağılımı Şekil 2.15'te verilmiştir.

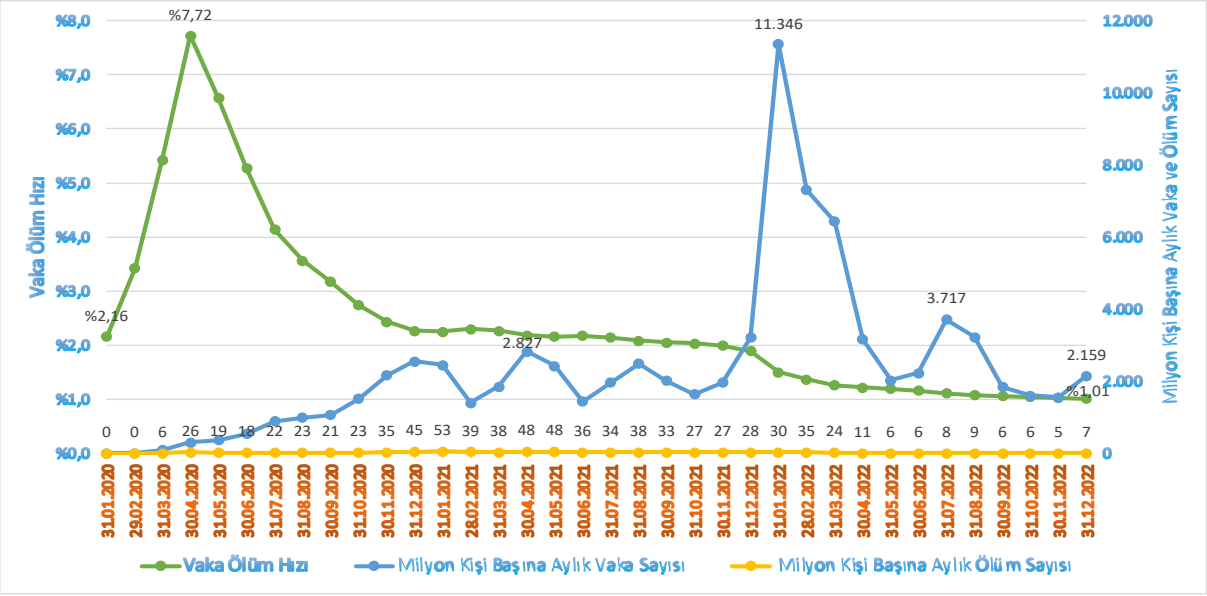



**Şekil 2.15:** DSÖ bölgelerine (a) ve DB gelir grubuna (b) göre kümülatif COVID-19 ölümleri. Kaynak: Çizim yazara aittir.

Şekil 2.15'te verilen 31.12.2022 tarihli kümülatif COVID-19 ölümlerinin DSÖ bölge dağılımı incelendiğinde, küresel nüfusun %12,94'ünü oluşturan Amerika Bölgesi'nde ve %11,63'ünü oluşturan Avrupa Bölgesi'nde küresel ölümlerin sırasıyla %43,22'si ve %32,46'sı olmak üzere toplamda %75,68'i görülmüştür. DB gelir grubu sınıflandırmasına göre ise ölümlerin %79,36'sı yüksek gelir grubu ve üst orta gelir grubu ülkelerde gerçekleşmiştir. Ülkelere göre kümülatif ölüm sayısı değerlendirildiğinde, ölümlerin %16,33'ünün görüldüğü ABD ilk sırada yer alırken, onu sırasıyla %10,37 ile Brezilya, %7,93 ile Hindistan, %5,76 ile Rusya ve %4,95 ile Meksika izlemiştir.

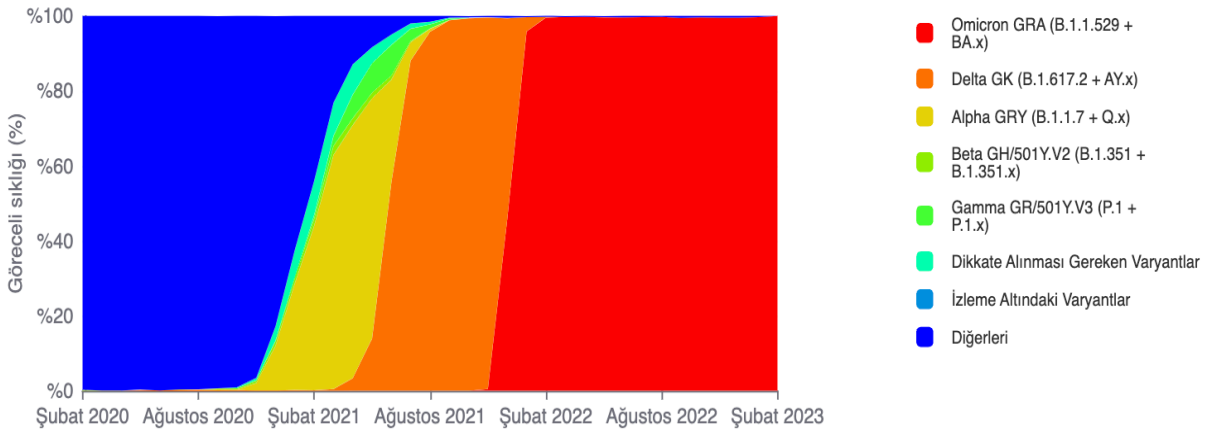
Bulaşıcılıkla mücadele etkinliği değerlendirilirken vaka sayısı, tedavi etkinliğini değerlendirirken ise ölüm sayısı önemli bir gösterge olarak kullanılmaktadır. Ancak bunların nüfus ile standardize edilmesi, daha farklı değerlendirilmeler yapılabilmesi için önemli ve gereklidir. Bunun için yaygın olarak milyon kişi başına doğrulanmış vaka sayısı ve milyon kişi başına ölüm sayısı göstergeleri kullanılmaktadır. Bu göstergeler nüfus temelinde hangi ülke veya bölgenin pandemiden daha fazla etkilendiğini göstermesi yönüyle karşılaştırmalara imkan sağlayabileceği gibi aynı zamanda, belirli bir ülke veya bölgede vaka ve ölüm trendinin izlenebilmesine ve bu sayede geçmiş verilerle karşılaştırma yapılabilmesine imkan sağlamaktadır. Bunlardan ülkeler ya da bölgeler arası karşılaştırmaların, belirli bir zaman noktasında kümülatif olarak hesaplanan vaka ve ölüm sayısının nüfusa oranlanması ile kesitsel

olarak yapılması mümkündür. Bu kapsamda dünya genelinde ve alt kıtalarda görülen milyon kişi başına vaka sayısı ve ölüm sayısı kümülatif olarak Tablo 2.11'de verilmiştir. Ancak kümülatif hesaplama yerine günlük, haftalık veya aylık vaka ve ölüm sayıları ile yapılan hesaplamalar, zaman boyutunda değerlendirmeler yapılmasına imkan sağlayarak hangi dönemlerde vaka veya ölümlerin zirve yaptığını ortaya koymaktadır. Buna göre grafikte oluşan zirve (pik) noktalar, politika yapıcıların ve karar vericilerin önlemleri artırması gerektiğini göstermesi yönüyle oldukça kritiktir. Bu tepe noktalar ile oluşan eğrinin, virüsün yayılmasını yavaşlatmaya yönelik uygulanacak halk sağlığı stratejileri ile düzleştirilmesi hedeflenmektedir. Belirli bir zaman noktasında nüfus başına çok yüksek sayıda vaka görülmesi ile sağlık sistemlerinin tedavi kapasitesi aşılabileceği için grafikte sivri dağılımlar olmadan eğrinin düzleştirilmesi istenmektedir. Buna göre pandeminin dünya genelinde seyrini 36 aylık zaman boyutunda değerlendirebilmek için öncelikle Our World in Data (2023)'de yer alan günlük vaka ve ölüm sayıları kullanılarak Ocak 2020-Aralık 2022 arasındaki her ay için ayrı ayrı olmak üzere kümülatif yeni vaka ve yeni ölüm sayıları hesaplanmıştır. Ardından aylık yeni vaka ve ölümler küresel nüfusa bölünmüş ve elde edilen değerler 1 milyon ile çarpılarak her ay için milyon kişi başına vaka ve ölüm sayısı değerleri elde edilmiştir. Bu hesaplama ile hangi aylarda pandeminin vaka veya ölüm bazında şiddetlendiği yorumlanabilmektedir. Ayrıca her bir aydaki toplam vaka ve ölüm sayısı üzerinden kümülatif vaka ölüm hızı hesaplanmıştır. Şekil 2.16'da yapılan tüm bu hesaplamalara ilişkin sonuçlar çizgi grafik üzerinde gösterilmiştir.




**Şekil 2.16:** COVID-19 pandemisinin aylık verilerle küresel seyri, Ocak 2020-Aralık 2022.
Kaynak: Çizim yazara aittir.

Şekil 2.16 incelendiğinde, Aralık 2021'de başlayan milyon kişi başına vaka sayısındaki keskin artış ile birlikte Ocak 2022'de zirve görülmüş ve grafikte sivri bir dağılıma yol açmıştır. Bu artışta yeni varyantların etkilerinin yanı sıra, ilaç dışı müdahalelerin gevşemesinin önemli etkileri olabileceği düşünülmektedir. Vaka sayılarındaki artışla birlikte milyon kişi başına ölümlerin aynı oranda artış göstermediği görülmektedir. Mortalitenin aynı oranda artış göstermemesinde pandeminin başladığı döneme kıyasla antiviraller gibi yüksek etkinliğe sahip çeşitli tedavi seçeneklerinin çoğalması, yüksek risk grubunun popülasyon içerisindeki payının azalması ya da aşılama ile birlikte bağışıklık kazanılması gibi faktörlerin etkili olduğu tahmin edilmektedir. Bu nedenlerle birlikte kişi başına artan vakalar ve giderek azalan kişi başına ölümler kümülatif olarak vaka ölüm hızının azalmasına yol açmıştır. Pandemi başlangıcında tanı için yeterli düzeyde test yapılamaması, tespit edilemeyen asemptomatik vakaların varlığı ve tedavi seçeneklerinin kısıtlılığı gibi faktörler nedeniyle vaka ölüm hızı Nisan 2020'de %7,72 ile zirve yapmış olsa da, artan vakalar ile birlikte Aralık 2022'de kümülatif vaka ölüm hızı %1,01 seviyesine kadar gerilemiştir. Milyon kişi başına vaka veya ölümlerde görülen zirve ile baskın SARS-CoV-2 varyantlarının zaman içerisindeki değişimini görebilmek için pandemi başlangıcından Şubat 2023'e kadar GISAID'le paylaşılan baskın varyantların göreceli sıklığı Şekil 2.17'de alan grafiği olarak verilmiştir (GISAID, 2023).

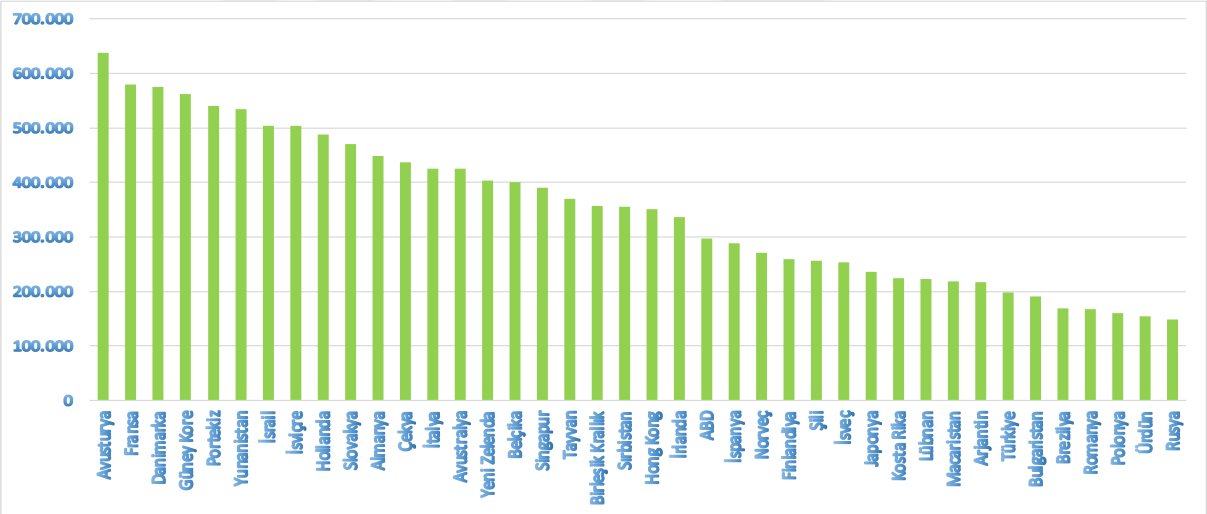



**Şekil 2.17:** Küresel olarak baskın olan SARS-CoV-2 varyantlarının göreceli sıklığı.
Kaynak: GISAID, 2023.

Şekil 2.17 incelendiğinde Eylül 2020'de tespit edilen Alfa varyantının Şubat-Mayıs 2021 dönemlerinde baskın varyant olduğu görülmektedir. Şekil 2.16'da Nisan 2021'de görülen lokal zirvenin Alfa varyantının baskın olduğu dönemde olduğu anlaşılmaktadır. Ekim 2020'de tespit edilen Delta varyantının Haziran-Aralık 2021 döneminde baskın varyant olduğu görülmektedir. Kasım 2021'de tespit edilen Omicron varyantının ise tüm paylaşılan viral

dizilerin %95,89'una ulaşması ile milyon kişi başına aylık vaka sayısının 11.346 ile zirve noktasına ulaşmasının eş zamanlı olarak Ocak 2022'de gerçekleşmesi dikkat çekmektedir. Ocak 2023 itibarıyla Omicron varyantı paylaşılan viral dizilerin %99,67'sine ulaşarak küresel baskın varyant olmaya devam etmektedir (GISAID, 2023).

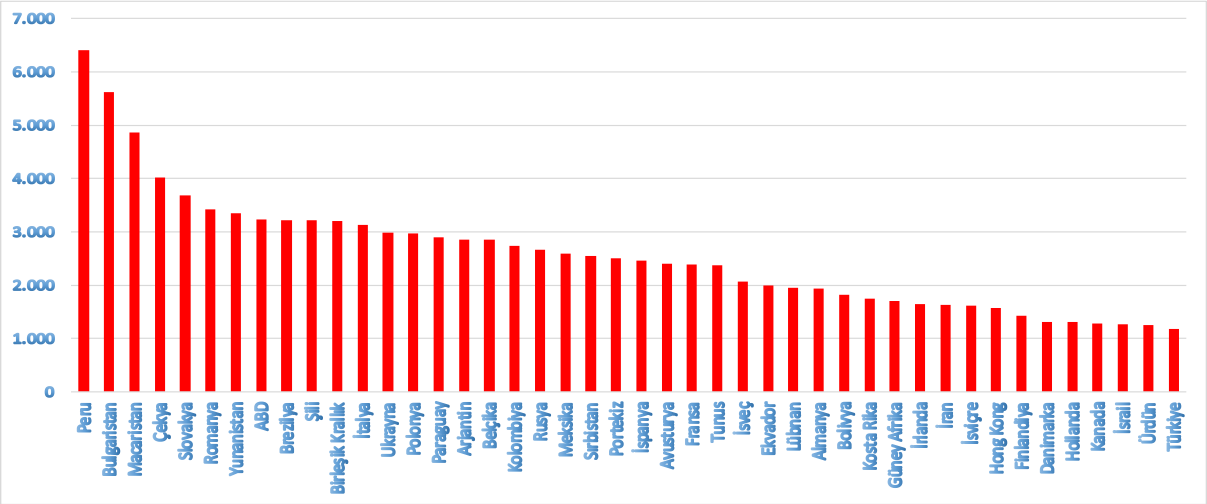
COVID-19 pandemisinin küresel mortalite ve morbidite etkisi farklı verilerle açıklanmıştır. Küresel boyutta genel etkilerinin yanı sıra ülke boyutunda pandeminin mortalite ve morbidite etkilerinin değerlendirilmesi önemlidir. COVID-19 ile mücadelede ilaç ve ilaç dışı müdahalelerin hastalığın yayılma hızını yavaşlatma ve ölümleri önlemedeki kanıtlanan etkileri nedeniyle, ülke boyutunda yapılan değerlendirmeler pandemi ile mücadelede ülkelerin etkinliğinin göreceli karşılaştırılmasına imkân sağlamaktadır. Bu kapsamda Our World in Data (2023) üzerinden elde edilen veriler kullanılarak küresel nüfusun yaklaşık %94,28'ini oluşturan 103 ülkenin 31.12.2022 tarihi itibarıyla kümülatif milyon kişi başına vaka sayısı sıralaması hesaplanmış ve Şekil 2.18'de sütun grafik olarak özetlenmiştir.




**Şekil 2.18:** Ülkelere göre kümülatif milyon kişi başına vaka sayıları.
Kaynak: Çizim yazara aittir.

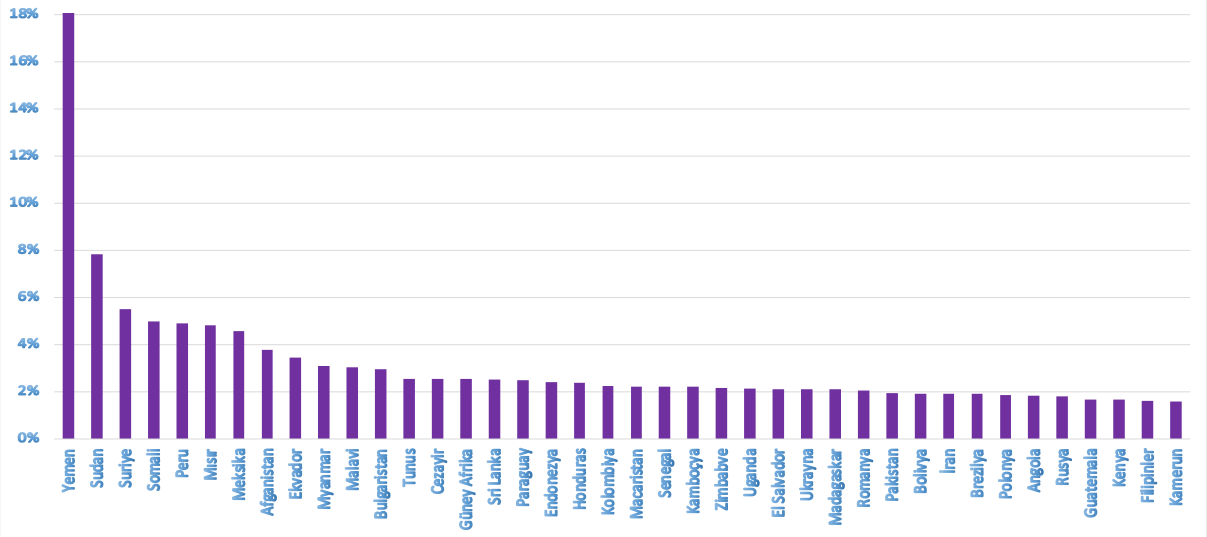
Şekil 2.18'de yer alan ve hesaplamaya dahil edilen ülkeler 31.12.2022 tarihi itibarıyla 1.000'in üzerinde COVID-19 ölümü bildiren ve 5 milyon üzeri nüfusa sahip olan ülkelerdir. Buna göre milyon kişi başına vaka sayısı sıralamasında ilk 10'da başta Avusturya, Fransa ve Danimarka olmak üzere toplam 9 Avrupa Bölgesi ülkesi yer almıştır. Batı Pasifik Bölgesi'nden ise sırasıyla Güney Kore, Avustralya, Yeni Zelenda ve Singapur, milyon kişi başına en çok vaka görülen ülkeler olmuştur. İlk 20'de yer alan ülkelerden Sırbistan ve Kosta Rika dışındaki tüm ülkelerin yüksek gelir grubunda yer aldığı görülmektedir. Şekil 2.18'de verilen tüm

ülkelerin vaka görülme sıklığı dünya ortalamasının (83.805) üzerindedir. Bu ülkelerin üç yıllık periyotta bulaşıcılıkla mücadele etkinliği yönünden diğer ülkelerin gerisinde kaldığı anlaşılmaktadır. Aynı gözlemler için kümülatif olarak hesaplanan milyon kişi başına ölüm sayısı verilerinin ülke sıralaması ise Şekil 2.19'da verilmiştir.




**Şekil 2.19:** Ülkelere göre kümülatif milyon kişi başına ölüm sayıları.
Kaynak: Çizim yazara aittir.

Milyon kişi başına ölüm sayısı, popülasyonun tamamı üzerinden hastalığın mortalite etkisini göstermesi bakımından oldukça önemlidir. Şekil 2.19'a göre Amerika Bölgesi'nden Peru, ABD, Brezilya ve Şili, Avrupa Bölgesi'nden ise Bulgaristan, Macaristan, Çekya, Slovakya, Romanya ve Yunanistan ilk 10'da yer alan ülkeler olmuştur. Gelir grubu açısından değerlendirildiğinde vaka sayısı sıralamasından farklı olarak Peru, Bulgaristan, Romanya ve Brezilya gibi üst orta gelir grubu ülkeler popülasyon temelinde mortalite yönüyle en çok etkilenen ülkeler olmuştur. Bununla birlikte üç yıllık periyotta COVID-19 nedeniyle ölenlerin hastalığa yakalananlar içerisindeki sıklığını ifade eden ve sağlık sistemlerinin tedavi etkinliğini yansıtan önemli bir gösterge olan vaka ölüm hızını hesaplanması sağlık sistemlerinin değerlendirebilmesi için oldukça kritiktir. Belirlenen ülkeler için Our World in Data (2023) üzerinden elde edilen 31.12.2022 tarihli kümülatif veriler ile hesaplanan vaka ölüm hızları Şekil 2.20'de büyükten küçüğe sıralanarak verilmiştir.




**Şekil 2.20:** Ülkelere göre kümülatif vaka ölüm hızları, 31 Aralık 2022.
Kaynak: Çizim yazara aittir.

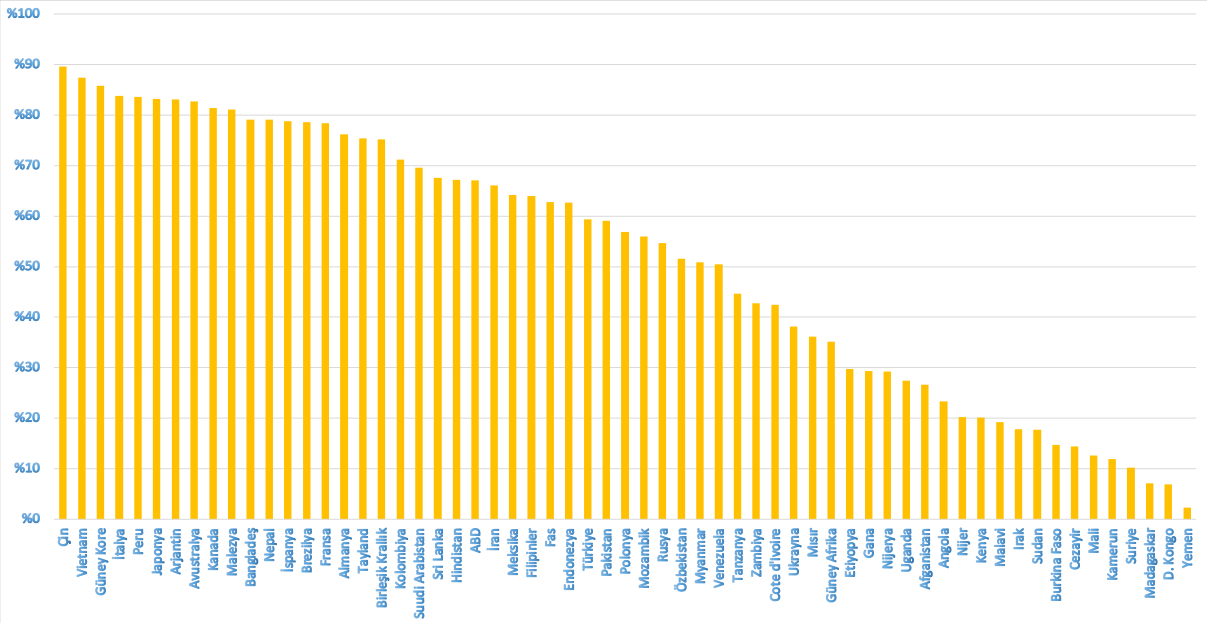
Şekil 2.20 incelendiğinde ilk 10'da Doğu Akdeniz Bölgesi ülkelerinden Yemen, Sudan, Suriye, Mısır, Afganistan ve Myanmar ve Amerika Bölgesi ülkelerinden Peru, Meksika ve Ekvador yer almıştır. Sırasıyla Afrika (%1,95), Amerika (%1,56) ve Doğu Akdeniz bölgelerinin küresel vaka ölüm hızının (%1,01) üzerinde değerlere sahip olması nedeniyle, sıralamada bu bölgelerdeki ülkelerin üst sıralarda olduğu görülmektedir. Bununla birlikte Avrupa Bölgesi ülkelerinden Bulgaristan, Macaristan, Ukrayna, Romanya ve Polonya gibi ülkeler de yüksek vaka ölüm hızı ile tedavi etkinliği açısından görece kötü performans sergileyen ülkeler olmuştur. Gelir grubu açısından değerlendirildiğinde yüksek gelir grubu ülkelerinden yalnızca Macaristan ve Polonya sıralamada yer almıştır. COVID-19 ile mücadelede ilaç ve tıbbi malzeme gibi sağlık kaynaklarına ulaşmakta güçlük çeken düşük gelirli ülkelerde sağlık sistemlerinin tedavi etkinliğinin görece düşük olduğu görülmektedir. Bunun ana nedenlerinden biri de aşılama oranlarının hedeflenen seviyenin oldukça altında kalmasıdır. Küresel ölçekte aşı geliştirmeye yönelik çalışmalar farklı ülkelerin katkılarıyla daha geniş bir coğrafyada devam etmesine rağmen Ocak 2023 itibarıyla küresel olarak hedeflenen aşılama oranlarına ulaşamayan bölge veya ülkeler olduğu görülmektedir. 29.01.2023 tarihi itibarıyla en az iki doz aşı alan diğer ifadeyle tam aşılanan kişi sayısı 5.054.766.970 ile küresel nüfusunun yaklaşık %63,83'ünü oluşturmaktadır. DSÖ bölgeleri (a) ve DB gelir grubuna (b) göre değerlendirme yapılabilmesi için tam aşılanan kişilerin dağılımına Şekil 2.21'de yer verilmiştir (WHO, 2023d).




**Şekil 2.21:** DSÖ bölgelerine (a) ve DB gelir grubuna (b) göre tam aşılanan kişi sayıları.
Kaynak: Çizim yazara aittir.

DSÖ bölgelerine göre incelendiğinde, küresel nüfusun %24,35'ini oluşturan Batı Pasifik Bölgesi tam aşılanan nüfusun %33,01'ini oluşturmuş ve %86,53 tam aşılama ile en yüksek orana sahip bölge olmuştur. Bölgelerin küresel nüfustaki payı ile tam aşılanan kişi sayısının toplam aşılama içerisindeki payı karşılaştırıldığında, Afrika (küresel nüfusun %15,05'i-tam aşılamanın %6,26'sı) ve Doğu Akdeniz (%9,86-%7,13) bölgelerinde aşılamanın nüfus bazında yetersiz kaldığı görülmektedir. Afrika ve Doğu Akdeniz bölgelerinin aşılama oranları sırasıyla %26,56 ve %46,16 ile dünya ortalamasının (%63,83) altında kalmıştır. Dünya Bankası gelir grubu sınıflandırmasına göre incelendiğinde ise, küresel nüfusun %76,08'ini oluşturan alt orta ve üst orta gelir grubu ülkelerinde tam aşılanan kişiler toplam aşılamanın %79,24'ünü kapsamaktadır. Gelir grubunun küresel nüfustaki payı ile tam aşılanan kişi sayısının toplam aşılama içerisindeki payı kıyaslandığında alt gelir grubu (küresel nüfusun %8,73'ü - tam aşılamanın %3,06'sı) ve alt orta gelir grubu (%43,46-%39,72) ülkelerin aşılama oranları %22,38 ve %58,33 ile ortalamanın altında kaldığı görülmektedir. Bu verilere göre mevcut durumda alt ve alt orta gelir grubunda yer alan gelişmemiş ülkelere aşı tedariği sağlamaya yönelik küresel işbirliğinin henüz hedefine ulaşamadığını söylemek mümkündür. Bununla birlikte tam aşılanan kişilerin popülasyon içerisindeki payının ülkelere göre hesaplanması, ülkeler arası karşılaştırmaların yapılabilmesi ve hedeflenen aşılama orana ne düzeyde ulaşıldığının tespit edilebilmesi bakımından önemlidir. Buna göre WHO (2023d) ve Our World in Data (2023) verileri temel alınarak nüfusu 20 milyonun üzerinde olan ve küresel

nüfusun yaklaşık %90,62'sini oluşturan 61 ülkenin tam aşılanan nüfus oranları Şekil 2.22'de verildiği gibi hesaplanmış ve görselleştirilmiştir.




**Şekil 2.22:** Ülkelere göre tam aşılananların nüfus içerisindeki payı, 29 Ocak 2023.
Kaynak: Çizim yazara aittir.

Şekil 2.22 incelendiğinde Batı Pasifik Bölgesi ülkeleri olan Çin, Vietnam, Güney Kore, Japonya, Avustralya ve Malezya'da nüfusun %80'inden fazlasının en az iki doz aşı aldığı görülmektedir. DSÖ tarafından belirlenen %70 aşılama hedefine Avrupa Bölgesi ülkelerinden İtalya, İspanya, Fransa, Almanya ve Birleşik Krallık ulaşmıştır. Aşılama oranı %50'inin altında olan Ukrayna dışındaki ülkelerin tamamı, Afrika ve Doğu Akdeniz bölgelerinde yer almaktadır. Yüksek gelir grubu ülkelerin ise tamamı %50'inin üzerinde aşılamaya ulaşmıştır. Aşılama oranları vaka ölüm hızı verileri ile birlikte değerlendirildiğinde, en yüksek vaka ölüm hızına sahip olan Yemen, Sudan, Suriye, Mısır, Afganistan, Malavi, Cezayir ve Güney Afrika gibi ülkelerin aşılama oranlarının %50'inin altında kaldığı görülmektedir. Bununla birlikte Peru, Brezilya, Kolombiya, Sri Lanka, İran ve Meksika %60'ın üzerinde aşılamaya ulaşmasına rağmen vaka ölüm hızlarının ortalamanın üzerinde gerçekleştiği görülmektedir. Bu noktada daha derinlemesine değerlendirme için aşılamanın ve vaka ölüm hızının her bir ülke için zaman boyutunda incelenmesi gereklidir. Bununla birlikte genel olarak %70'in üzerinde aşılamanın gerçekleştiği 20 ülkenin toplam vaka ölüm hızının %0,79 olarak elde edilmesi mortaliteyi azaltmada aşılamanın önemli olduğunu gösterebilir. Ancak ülkeler arası karşılaştırmalar yapılırken sağlık sistemlerinin gerekli durumlarda tanı koyabilecek kaynaklara sahip olması,

asemptomatik vakaların varlığı, ilaç dışı müdahalelerin uygulanma durumu, veri kayıt, raporlama ve bildirme politikaları gibi pek çok faktörün etkisi göz önünde bulundurulmalıdır.

#### *2.3.2.3. Çin Halk Cumhuriyeti*

##### *Genel Bilgiler ve Sağlık Sistemi Yapısı*

DSÖ Batı Pasifik Bölgesi üyesi olan Çin Halk Cumhuriyeti'nin yüz ölçümü 9.600.013 $km^2$, 2021 yılı nüfusu 1.412.360.000 ve 2020 yılı nüfus yoğunluğu ($km^2$ arazi alanı başına düşen nüfus) 150 kişidir. Çin Halk Cumhuriyeti'nde 2021 yılı verilerine göre kişi başına düşen gayri safi yurt içi hasıla (GSYİH) 12.556$ ve kişi başına düşen gayri safi milli hasıla (GSMH) ise 11.880$ olup, Dünya Bankası gelir sınıflandırmasında yüksek orta gelir grubu ülkeleri arasında yer almıştır. 2019 yılı verilerine göre doğumda beklenen yaşam süresi 77,97 yıl olan Çin'de 65 yaş ve üzeri nüfus yüzdesi ise 12,02'dir (World Bank, 2023b).

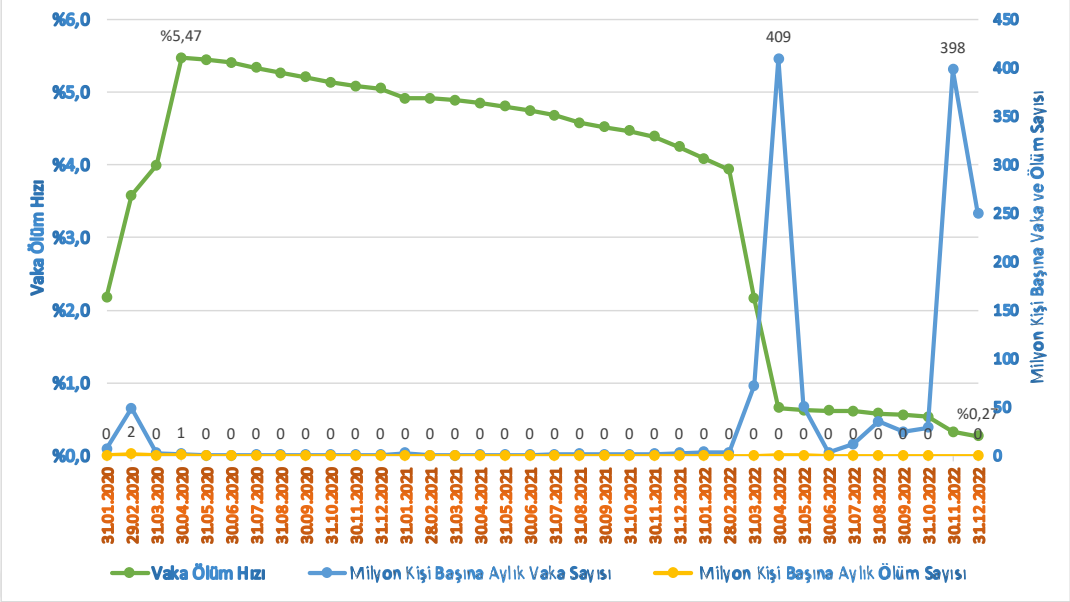
Çin Halk Cumhuriyeti sağlık sistemi harcamalar yönüyle incelendiğinde, 2019 yılı verilerine göre GSYİH'den sağlığa ayrılan payın %5,35 olduğu, bu harcamaların %55,98'inin yurt içi kamu harcamaları ve %44,02'sinin yurt içi özel sağlık harcamaları (cepten yapılan sağlık harcamaları tüm sağlık harcamalarının %35,23'ü) olduğu görülmektedir. COVID-19 pandemisinin başladığı 2020 yılında kişi başına sağlık harcaması 540 dolardan 583 dolara yükselmiş ve GSYİH'den sağlığa ayrılan pay %5,59 (%54,80 kamu, %45,20 özel ve %34,79 cepten harcama) olarak gerçekleşmiştir. Sağlık harcamalarının finansmanında %35,45 ile zorunlu sağlık sigortası ve %19,35 ile diğer devlet harcamaları olmak üzere kamunun toplamda %54,80 ağırlığı söz konusudur. Sağlık harcamaları finansmanında cepten harcamalar %34,79, gönüllü sağlık sigortaları %7,23 ve diğer harcamalar olmak üzere %45,20 gönüllü finansman söz konusudur (WHO, 2023e). Sağlık kaynakları bakımından incelendiğinde, 2020 veya en yakın yıl verilerine göre 1.000 kişi başına düşen hastane yatağı sayısı 4,34 ve 1.000 kişi başına düşen hekim sayısı 1,98 olan Çin'in hekim sayısının dünya ortalamasına yakın, hastane yatak sayısının ise ortalamanın üzerinde olduğu görülmektedir. Buna ek olarak hastane yataklarının %72,46'sının kamuya ve %27,54'ünün özel sektöre ait olduğu bir yapı bulunmaktadır (World Bank, 2023b; OECD, 2023b).

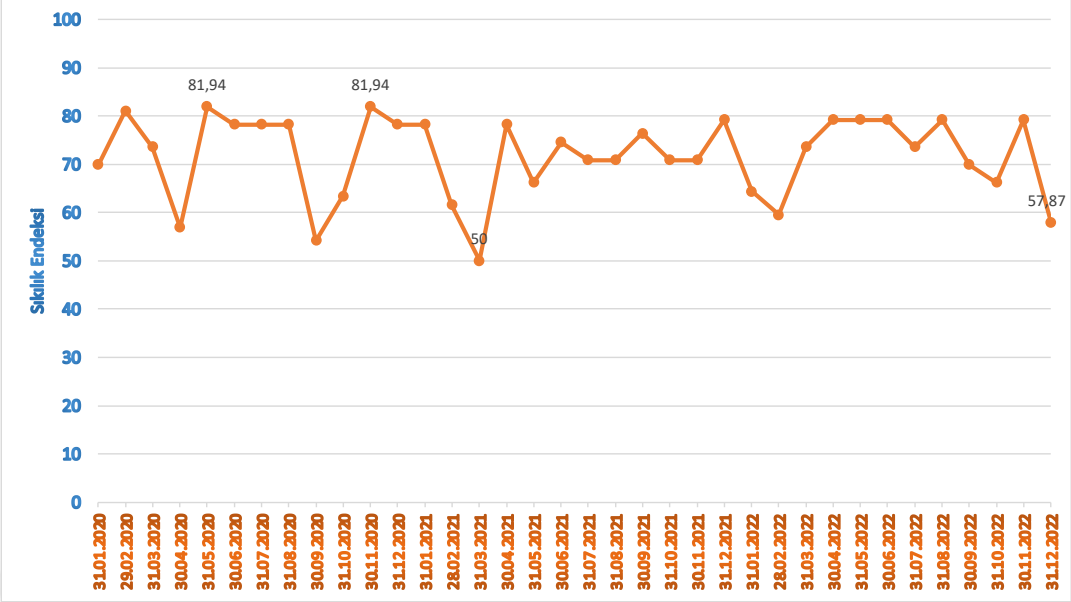
Çin Halk Cumhuriyeti'nde tıp ve sağlık sistemi reformunu koordine etmek üzere ulusal sağlık politikaları geliştiren, uygulayan, buna uygun şekilde sağlık hizmetlerinin kaynak tahsisini koordine eden ve halk sağlığını tehdit eden sorunlara yönelik hastalık önleme ve kontrol çalışmalarını birincil derecede sorumlu olarak yürüten kurum Ulusal Sağlık Komisyonu (National Health Commission, NHC) birimidir. Bununla birlikte Ulusal Sağlık Komisyonu'nun

temel görevlerinden biri olan hastalık önleme ve kontrolü için stratejiler geliştirme ve uygulama çalışmalarını NHC ile birlikte yürüten kurum olan Çin Hastalık Kontrol ve Önleme Merkezi önemli bir role sahiptir. COVID-19 pandemi sürecinde Ulusal Sağlık Komisyonu ve Çin Hastalık Kontrol ve Önleme Merkezi, halk sağlığına teknik rehberlik ve destek sağlama ve gerekli durumlarda karantina gibi müdahale uygulamalarını ulusal düzeyde yürütmektedir. Çin'de ruhsatlandırılacak ilaç ve aşıların incelenmesi ve onaylanması yetkileri ise Ulusal Tıbbi Ürünler İdaresi'ne verilmiştir (Chinese Center for Disease Control and Prevention, 2023).

***COVID-19 Pandemi Sürecinin Genel Değerlendirmesi***

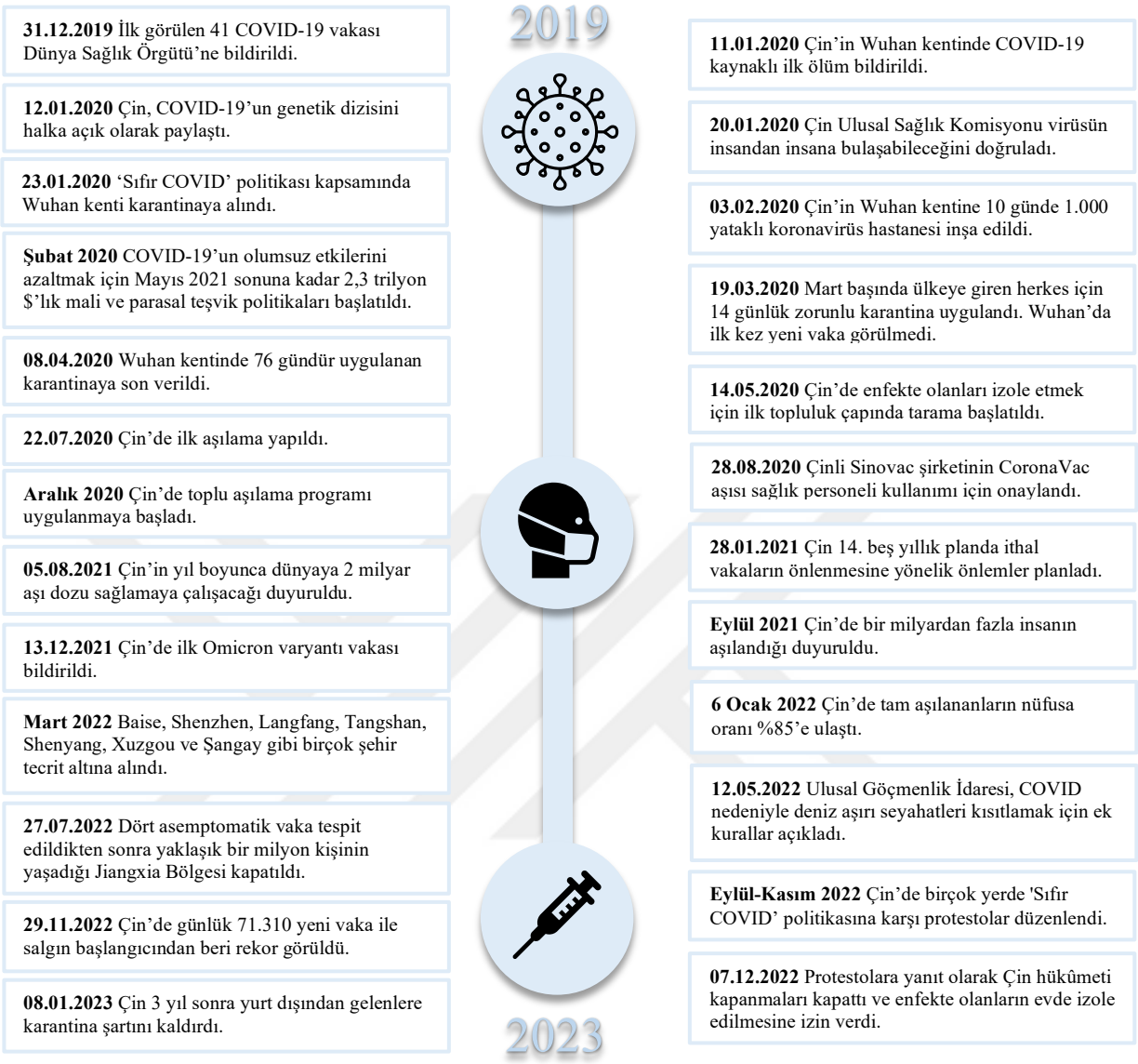
Çin Halk Cumhuriyetinin Wuhan kentinde bir dizi pnömoni vakasının bildirilmesi üzerine yapılan araştırmalar sonucunda 31 Aralık 2019 tarihinde yeni bir koranavirüs olan SARS-CoV-2 virüsü tanımlanmıştır. DSÖ Batı Pasifik Bölgesi'nde yer alan Çin Halk Cumhuriyeti pandeminin başladığı zamandan beri "Sıfır COVID" olarak bilinen ve ilaç dışı müdahalelerin katı bir şekilde uygulanmasını kapsayan halk sağlığı politikası tercih edilmiştir. 2022 yılı sonuna kadar üç yıllık süre boyunca virüsün toplumda yayılmasını tamamen durdurmaya yönelik katı önlemler tercih edilmiştir. Ancak Aralık 2022'den itibaren bu katı önlemlerin kademeli olarak kaldırılması kararı verilmiştir (Wikipedia, 2023a). Çin'de 31.12.2022 tarihi itibarıyla milyon kişi başına doğrulanan vaka sayısı 1.372 ve milyon kişi başına ölüm sayısı 4 olarak hesaplanmıştır. Buna göre Çin'de Batı Pasifik Bölgesi'nin (50.967 vaka ve 140 ölüm) ve üst orta gelir grubunun (57.542 vaka ve 1.008 ölüm) altında milyon kişi başına vaka ve ölüm görülmüştür. Küresel nüfusun yaklaşık %17,88'ini oluşturan Çin'de tüm vakaların %0,30'u ve tüm ölümlerin %0,08'i gerçekleşmiştir. Çin'de kümülatif vaka ölüm hızı ise %0,27 ile Batı Pasifik Bölgesi'ne (%0,27) eşit ve üst orta gelir grubundan (%1,75) düşüktür. Bu verilere göre Çin Halk Cumhuriyeti'nin bulaşıcılıkla mücadele kapsamında yeni vakaların önlenmesinde ve tedavi etkinliği kapsamında hastalığa yakalananların iyileştirilmesinde diğer ülkelere kıyasla 31.12.2022 tarihi itibarıyla daha iyi performans gösterdiği söylenebilir. Bununla birlikte yeni vaka ve ölüm sayısını zaman boyutunda inceleyerek epidemiyolojik değerlendirmenin kapsamını genişletebilmek için Our World in Data (2023)'de verilen günlük veriler üzerinden üç yıllık zaman periyodunda aylık yeni vaka ve ölüm sayıları ile kümülatif vaka ölüm hızları hesaplanmış ve Şekil 2.23'te çizgi grafik olarak verilmiştir.


%6,0
%5,0
%4,0
%3,0
%2,0
%1,0
%0,0
Vaka Ölüm Hızı
450
400
350
300
250
200
150
100
50
0
Milyon Kişi Başına Vaka ve Ölüm Sayısı
%5,47
409
398
%0,27
0 2 0 1 0 0 0




**Şekil 2.24:** Çin Halk Cumhuriyeti'nde sıkılık endeksinin aylık değişimi, Ocak 2020-Aralık 2022.
Kaynak: Çizim yazara aittir.

Çin Halk Cumhuriyeti'nde pandemiyi önlemeye yönelik ilaç dışı müdahalelerin aşılamanın artmasına bakılmaksızın üç yıllık dönem boyunca sürdürüldüğü Şekil 2.24'ten anlaşılmaktadır. İlk COVID-19 aşısı geliştiren ülkelerden biri olan Çin'de aşılama 22 Temmuz 2020'den bu yana devam etmektedir. 29 Kasım 2022 itibarıyla tam aşılanan nüfusu %89,5 düzeyine ulaşan Çin Halk Cumhuriyeti, küresel olarak en yüksek aşılamanın yapıldığı ülkelerden biridir (WHO, 2023d). Tam aşılamanın hedeflenen düzeye ulaşması sıfır COVID politikasından ödün verilmesine yol açmamış ve üç yıllık periyotta ilaç dışı müdahalelerin diğer müdahalerle birlikte sürdürülmesi tercih edilmiştir. Bu çerçevede pandemi sürecinde Çin'de yaşanan bu gelişmeleri, epidemiyolojik veriler ve hükûmet müdahalesi boyutları ile özetleyen zaman çizelgesi Şekil 2.25'te verilmiştir (Law, 2021; Xinhua, 2021; Wikipedia, 2023a; U.S. Department of Defense, 2023; Asian Development Bank, 2021; Wikipedia, 2023b).




**Şekil 2.25:** Çin Halk Cumhuriyeti'nde COVID-19 zaman çizelgesi.

Şekil 2.25'teki zaman çizelgesine göre, Çin'de pandeminin başlangıcından itibaren karantina ve izolasyon önlemleri gibi ilaç dışı müdahalelerin geniş bir coğrafyayı kapsayacak şekilde kararlılıkla uygulandığı görülmektedir. Ancak üç yıl boyunca sıfır COVID politikası kapsamında sürdürülen katı önlemlerin, ülke genelinde protestoların düzenlenmesine yol açtığı anlaşılmaktadır. Bu gelişmelerle birlikte, Çin hükûmeti tedbirleri kademeli olarak gevşetmeye karar vererek sıfır COVID politikasından üç yıl sonra vazgeçmiştir. COVID-19 ile mücadele politikasındaki bu değişiklik, 2023 yılı itibarıyla Çin'de görülen yeni vaka sayılarını önemli ölçüde artırmıştır. Bu durumun izleyen dönemlerde sağlık sistemi için çeşitli güçlüklere yol açabileceği öngörülmektedir.

### *2.3.2.4. Amerika Birleşik Devletleri*

#### *Genel Bilgiler ve Sağlık Sistemi Yapısı*

DSÖ Amerika Bölgesi üyesi olan Amerika Birleşik Devletleri'nin yüz ölçümü 783.356 $km^2$, 2021 yılı nüfusu 331.893.740 ve 2020 yılı nüfus yoğunluğu ($km^2$ arazi alanı başına düşen nüfus) 36 kişidir. ABD'de 2021 yılı verilerine göre kişi başına düşen GSYİH 70.249$ ve kişi başına düşen GSMH ise 70.930$ olup, Dünya Bankası gelir sınıflandırmasında yüksek gelir grubu ülkeler arasında sınıflandırılmıştır. 2019 yılı verilerine göre doğumda beklenen yaşam süresi 78,79 yıl olan ABD'nin 65 yaş ve üzeri nüfus yüzdesi 15,79'dur (World Bank, 2023b).

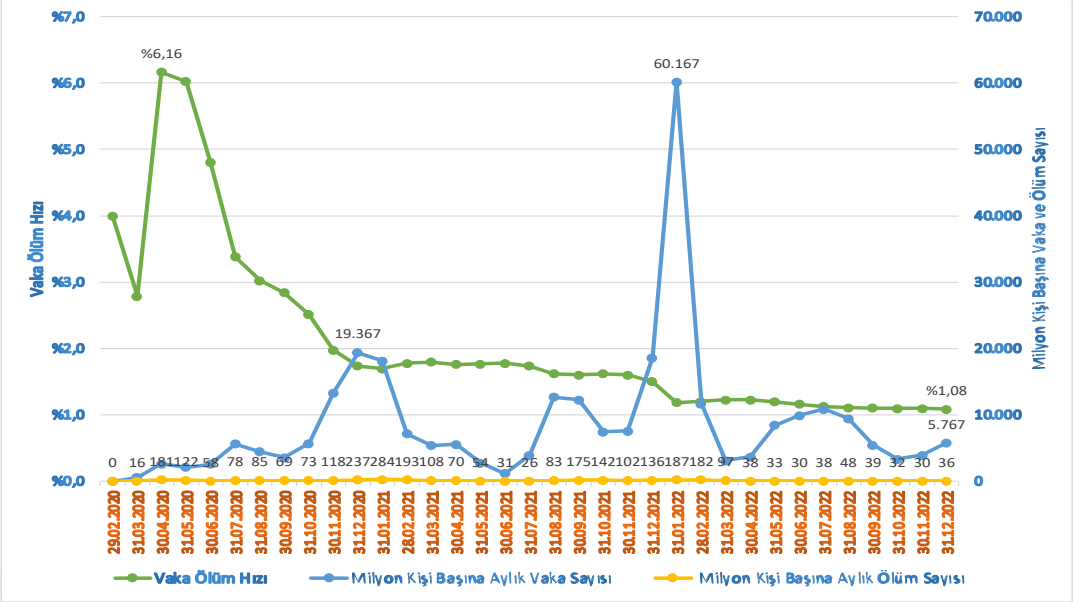
ABD sağlık sistemi harcamalar yönüyle incelendiğinde, 2019 yılı verilerine göre GSYİH'den sağlığa ayrılan payın %16,68 olduğu, bu harcamaların %51,54'ünün yurt içi kamu harcamaları ve %48,46'sının yurt içi özel sağlık harcamaları (cepten yapılan sağlık harcamaları tüm sağlık harcamalarının %11,33'ü) olduğu görülmektedir. COVID-19 pandemisinin başladığı 2020 yılında kişi başına sağlık harcaması 10.661 dolardan 11.702 dolara yükselmiş ve GSYİH'den sağlığa ayrılan pay %18,82 (%56,77 kamu, %43,23 özel ve %9,89 cepten harcama) olarak gerçekleşmiştir. Piyasacı sağlık sisteminin tipik örneklerinden biri olan ABD sağlık sisteminde, mevcut durumda fakirleri ve yaşlıları kapsayan zorunlu sosyal sigorta %22,23 ve devlet finansman düzenlemeleri %33,24 ile sağlık harcamalarında önemli paya sahibidir. Sağlık harcamalarında zorunlu ve gönüllü özel sağlık sigortalarının payı %30,25 ve diğer gönüllü finansman harcamalarının payı %14,28'dir (WHO, 2023e). Sağlık kaynakları bakımından incelendiğinde, 2020 veya en yakın yıl verilerine göre 1.000 kişi başına düşen hastane yatağı sayısı 2,8 ve 1.000 kişi başına düşen hekim sayısı 2,6 olan ABD'nin yüksek gelir grubu ülkeler ortalamasının altında sağlık kaynaklarına sahip olduğu görülmektedir. Bununla birlikte mülkiyetine göre hastane yataklarının %21,56'sının kamuya ve %78,44'ünün ise özel sektöre (%22,4 kar amaçlı-%77,6 kar amaçlı olmayan) ait olduğu bir organizasyon yapısı mevcuttur (World Bank, 2023b; OECD, 2023b).

ABD'de bulaşıcı hastalıkların yayılmasını önleme sorumluluğu federal hükûmetindir. Bu çerçevede federal hükûmete ABD Anayasasının Ticaret Maddesi ile tecrit ve karantina yetkisi ve Halk Sağlığı Hizmeti Yasası ile bulaşıcı hastalıkların yabancı ülkelerden ABD'ye ve eyaletler arasında girişini ve yayılmasını önlemek için tedbirler alma yetkisi verilmiştir. Federal hükûmetin bu yetkileri, ABD Sağlık ve İnsan Hizmetleri Bakanlığı'na (Health and Human Services, HHS) bağlı Hastalık Kontrol ve Korunma Merkezleri'ne (CDC) devredilmiştir. Buna göre bulaşıcı hastalıkla mücadelede Amerika Birleşik Devletleri'ne gelen ve eyaletler arasında

seyahat edenlerin rutin olarak izlenmesi ve bulaşıcı hastalıkları taşıdığından şüphelenilen kişilerin alıkonulması, muayene edilmesi ve serbest bırakılması yetkileri CDC'ye verilmiştir. Buna ilave olaraak COVID-19'a karşı geliştirilen ilaç tedavilerinin ve aşıların bilimsel standartlara uygunluğunun değerlendirilmesi, düzenlenmesi, kullanım onayı verilmesi ve denetlenmesi gibi süreçler ise HHS'ye bağlı ABD Gıda ve İlaç İdaresi (US Food and Drug Administration, FDA) tarafından yürütülmektedir (CDC, 2022f).

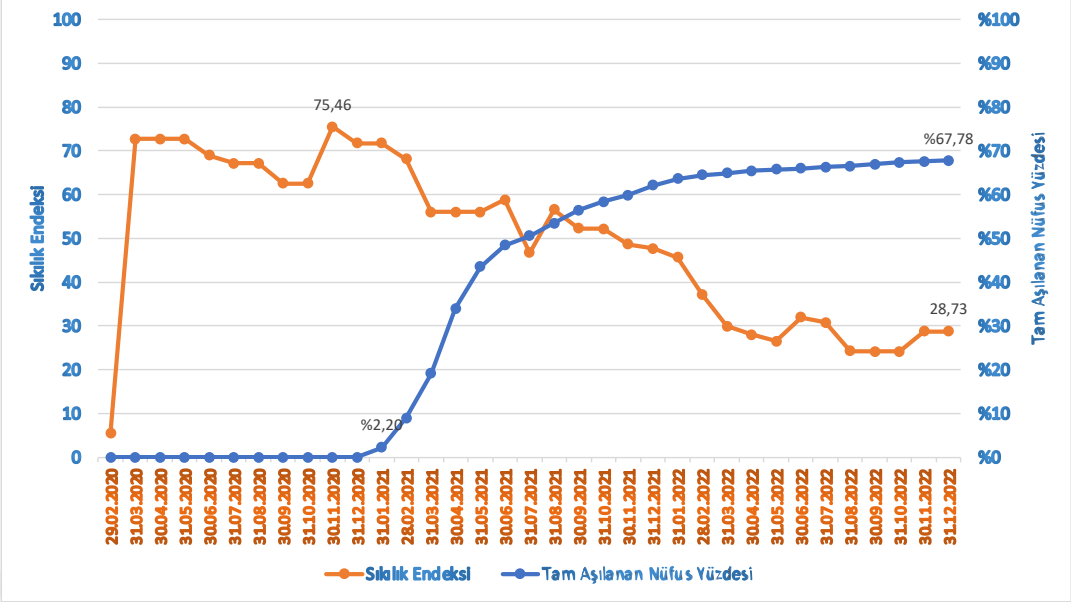
***COVID-19 Pandemi Sürecinin Genel Değerlendirmesi***

DSÖ Amerika Bölgesi'nde yer alan Amerika Birleşik Devletleri'nde ilk COVID-19 vakası 20 Ocak 2020 tarihinde Washington eyaletinde tespit edilmiştir. ABD, 31.12.2022 tarihi itibarıyla toplam doğrulanmış vaka ve ölüm sayısı yönüyle pandemiden en çok etkilenen ülke olmuştur. Buna göre 100.780.815 vaka ve 1.093.008 ölüm ile tüm COVID-19 vakalarının %15,26'sı ve tüm ölümlerin ise %16,33'ü küresel nüfusun %4,24'ünü oluşturan ABD'de görülmüştür. Milyon kişi başına doğrulanan vaka sayısı 297.913 ve milyon kişi başına ölüm sayısı 3231 olarak hesaplanmıştır. Bu çerçevede, ABD'de Amerika Bölgesi'nin (180.038 vaka ve 2.803 ölüm) ve yüksek gelir grubunun (2.218 ölüm) üzerinde vaka ve ölüm gerçekleştiği görülmektedir. ABD'de kümülatif vaka ölüm hızı %1,08 ile Amerika Bölgesi'nden (%1,56) düşük olsa da, küresel (%1,01) ve yüksek gelir grubu (%0,66) vaka ölüm hızlarının üzerindedir. Bu verilere göre ABD'nin bulaşıcılıkla mücadele ve tedavi etkinliği bakımından yüksek gelir grubu ülkelere kıyasla daha kötü performans sergilediği söylenebilir. Kümülatif veriler üzerinden yapılan değerlendirmelerle birlikte, aylık yeni vaka ve ölüm sayıları üzerinden zaman boyutunda değerlendirmeler yapılabilmesi için Our World in Data (2023)'deki günlük vaka ve ölüm sayısı verileri üzerinden üç yıllık zaman periyodunda aylık yeni vaka ve ölüm sayıları ile kümülatif vaka ölüm hızları hesaplanmış ve Şekil 2.26'da çizgi grafik olarak verilmiştir.




**Şekil 2.26:** ABD'de COVID-19 pandemisinin aylık seyri, Şubat 2020-Aralık 2022.
Kaynak: Çizim yazara aittir.

Şekil 2.26 incelendiğinde ABD'de yeni vaka sayılarında 2020 yılı Aralık ayında lokal bir zirve gerçekleştiği, asıl zirvenin ise Omicron varyantının baskın olduğu 2022 yılı Ocak ayında gerçekleştiği görülmektedir. Bu dönemlerde vaka sayılarının sağlık sisteminin tedavi kapasitesini zorlayacak şekilde artması, nüfus başına ölüm sayısının da benzer şekilde zirve yapmasına yol açmıştır. İlaç müdahalelerinin sınırlı olduğu pandeminin ilk yılında kümülatif vaka ölüm hızı %2 seviyelerinin üzerinde seyrederken, izleyen dönemlerde ilaç müdahaleleri olanaklarının da artması ile vaka ölüm hızının küresel düzeye yakınsamıştır. Yeni vaka ve ölüm sayılarındaki değişimin hükûmet müdahaleleri boyutuyla inceleyebilmek için, ABD'de pandemi ile mücadele kapsamında uygulanan ilaç dışı müdahalelerin göstergesi olan ve Our World in Data (2023) veri setinde izlenen sıkılık endeksi değeri ile ilaç müdahalelerinin göstergesi olan ve tam aşılanan kişilerin ülke nüfusuna bölünmesi ile elde edilen yüzde değerinin aylık değişimine Şekil 2.27'de yer verilmiştir.




**Şekil 2.27:** ABD'de sıkılık endeksinin ve tam aşılanan nüfusun aylık değişimi, Şubat 2020-Aralık 2022.

Kaynak: Çizim yazara aittir.

ABD'de sınırlı karantina uygulaması, seyahat tavsiyeleri ve kısıtlamaları gibi önlemler pandeminin ülkede görülmesiyle alınmış olmakla birlikte, özellikle evde kalma emirleri gibi katı önlemlerin ilk vaka görüldükten yaklaşık iki ay sonra alındığı Şekil 2.27'de verilen sıkılık endeksi değerinin keskin artışı ile teyit edilebilmektedir. Bununla birlikte sıkılık endeksi değerinin pandeminin ilk yılında yüksek düzeyde sürdüğü, aşılamanın başladığı 2020 yılı Aralık ayı itibarıyla ilaç dışı müdahalelerin kademeli olarak gevşetildiği görülmektedir. Omicron varyantı ile artan yeni vakalara rağmen ilaç dışı önlemlerin kaldırılmasına devam edilmiştir. Bunun temel gerekçelerinden biri tam aşılanan nüfusun %60'ın üzerine ulaşmış olmasıdır. Aşı geliştiren dünyanın en gelişmiş ülkelerinden biri olmasına ve aşılamayı ücretsiz olarak yapmasına rağmen ABD'de tam aşılananların nüfus içerisindeki payı istenen düzeye ulaşamamıştır. Bu duruma "anti-vax" olarak bilinen aşı karşıtı hareketlerin neden olduğu bilinmektedir. ABD'de siyasi görüşün aşılama oranları ile COVID-19 vaka ve ölüm hızları arasında ilişkisini açıklamaya yönelik yapılan bir çalışmada, Trump'a oy veren Cumhuriyetçi seçmenin daha yüksek vaka ve ölüm hızına sahip olduğu ve daha düşük aşılamaya sahip olduğu ortaya konulmuştur (Albrecht, 2022). Bu kapsamda mevcut verileri pandemi sürecinde ABD'de yaşanan gelişmeler ile birlikte değerlendirmek faydalı olacaktır. Bu amaçla pandemi sürecini epidemiyolojik veriler ve hükûmet müdahalesi boyutları ile özetleyen zaman çizelgesine Şekil 2.28'de yer verilmiştir (CDC, 2022b; U.S. Department of Defense, 2023; U.S. Department of the Treasury, 2022; Kantis ve diğ., 2023).




**Şekil 2.28:** Amerika Birleşik Devletleri'nde COVID-19 zaman çizelgesi.

Şekil 2.28'deki gelişmeler incelendiğinde, hastalığın ülkede görüldüğü zamandan itibaren çeşitli seyahat önlemlerinin alındığı, ancak evde kalma emirleri gibi katı önlemlerin

yeni vaka sayılarındaki artış sonrasında uygulandığı görülmektedir. COVID-19 pandemisi, ABD'nin tüm eyaletlerinde afet ilan edilmesine yol açmıştır. Pandeminin ilk zamanlarından itibaren en güncel teknolojilerin kullanıldığı aşı platformlarındaki çalışmalara finansman desteği sağlanmasına ve toplumun aşıya erişimini kolaylaştırmaya yönelik politikalar uygulanmıştır. Toplum genelinde aşılamanın yaygınlaşmasına paralel olarak kısıtlayıcı önlemler azaltılmış ve kademeli olarak kaldırılmıştır. Mevcut durumda aşılamanın toplum genelinde istenen seviyeye çıkarılabilmesi için aşılama ile ilgili bilgilendirme ve teşvik edici politikaların uygulanmasına ihtiyaç olduğu anlaşılmaktadır.

#### *2.3.2.5. Hindistan*

***Genel Bilgiler ve Sağlık Sistemi Yapısı***

DSÖ Güney Doğu Asya Bölgesi üyesi olan Hindistan'ın yüz ölçümü 3.287.260 $km^2$, 2021 yılı nüfusu 1.407.563.840 ve 2020 yılı nüfus yoğunluğu ($km^2$ arazi alanı başına düşen nüfus) 470 kişidir. Hindistan'da 2021 yılı verilerine göre kişi başına düşen GSYİH 2.257$ ve kişi başına düşen GSMH ise 2.150$ olup, Dünya Bankası gelir sınıflandırmasında düşük orta gelir grubu ülkeleri arasında yer almıştır. 2019 yılı verilerine göre doğumda beklenen yaşam süresi 70,91 yıl olan Hindistan'da 65 yaş ve üzeri nüfus yüzdesi 6,47'dir (World Bank, 2023b).

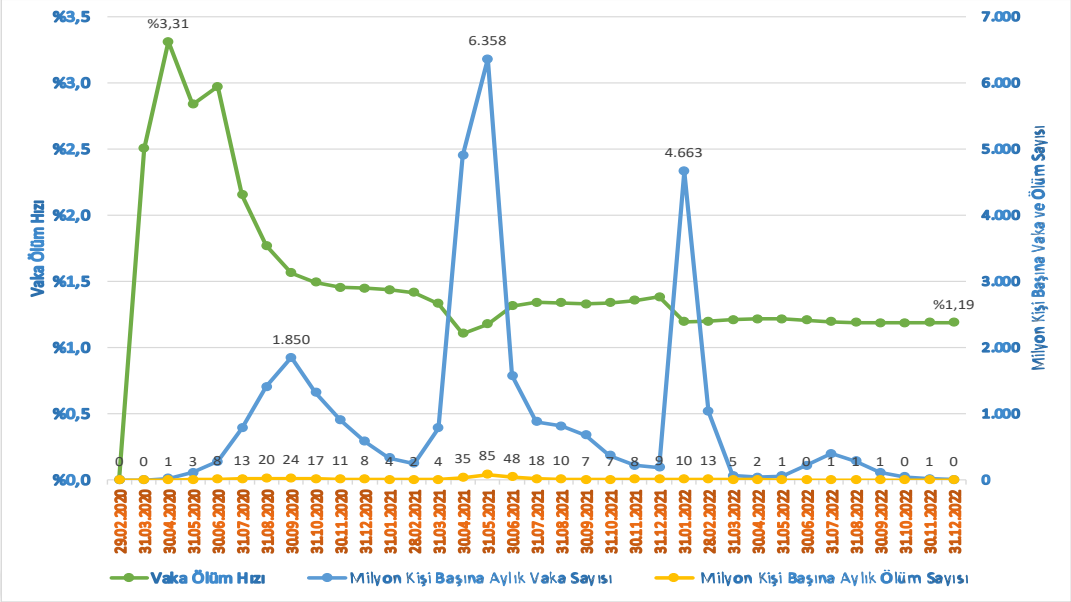
Hindistan sağlık sistemi harcamalar yönüyle incelendiğinde, 2019 yılı verilerine göre GSYİH'den sağlığa ayrılan payın %2,94 olduğu, bu harcamaların %33,48'inin yurt içi kamu harcamaları, %65,65'inin yurt içi özel sağlık harcamaları (cepten yapılan sağlık harcamaları tüm sağlık harcamalarının %53,38'i) ve %0,87'sinin dış sağlık harcamaları olduğu görülmektedir. COVID-19 pandemisinin başladığı 2020 yılında kişi başına sağlık harcaması 61 dolardan 57 dolara düşmüş ve GSYİH'den sağlığa ayrılan pay %2,96 (%36,65 kamu, %62,36 özel, dış harcama %0,99 ve %50,59 cepten harcama) olarak gerçekleşmiştir. Piyasacı sağlık sisteminin en tipik örneklerinden biri olan Hindistan sağlık sisteminde mevcut durumda zorunlu sağlık sigortasının (%6,7) ve gönüllü sağlık sigortasının (%6,9) sağlık harcamaları içerisindeki payı oldukça sınırlıdır (WHO, 2023e). Sağlık harcamaları ağırlıklı olarak cepten harcamalardan oluşan gönüllü finansman harcamaları (%62,36) ile karşılanmaktadır. Sağlık kaynakları bakımından incelendiğinde, 2020 veya en yakın yıl verilerine göre 1.000 kişi başına düşen hastane yatağı sayısı 0,5 ve 1.000 kişi başına düşen hekim sayısı 0,9 olan Hindistan'ın sağlık kaynaklarının oldukça yetersiz düzeyde olduğu görülmektedir (World Bank, 2023b).

Hindistan'da yapılan son düzenlemelerle birlikte, ulusal sağlık ve aile planlaması politikalarından sorumlu olan Sağlık ve Aile Refahı Bakanlığı, Sağlık ve Aile Refahı Dairesi

ve Sağlık Araştırmaları Dairesi olmak üzere iki ana birime ayrılmıştır. Ülkede bulaşıcı hastalıkların kontrolünü sağlamak ve yayılmasını önlemek amacıyla oluşturulan Ulusal Hastalık Kontrol Merkezi (National Centre for Disease Control, NCDC), Sağlık ve Aile Refahı Bakanlığı Sağlık Hizmetleri Genel Müdürlüğü'nün idaresindedir. NCDC, COVID-19 pandemisi sürecinde pek çok tavsiye ve eğitim materyali ile birlikte, vakaların nasıl yönetileceğine ve halk sağlığının nasıl korunacağına dair yönergeler, vaka tanımları, standart çalışma prosedürleri ve raporlama faaliyetleri ile ilgili pek çok rehber yayınlamıştır. Bunun yanı sıra ülkede COVID-19 tedavisi için geliştirilen ilaç ve aşıların ulusal olarak düzenlenmesi ve kullanım onayı verilmesi süreçleri ise Sağlık ve Aile Refahı Bakanlığı'na bağlı bir kurum olan Merkezi İlaç Standart Kontrol Organizasyonu'nun (Central Drugs Standard Control Organisation, CDSCO) yetkisinde yürütülmektedir (Ministry of Health and Family Welfare, 2023).

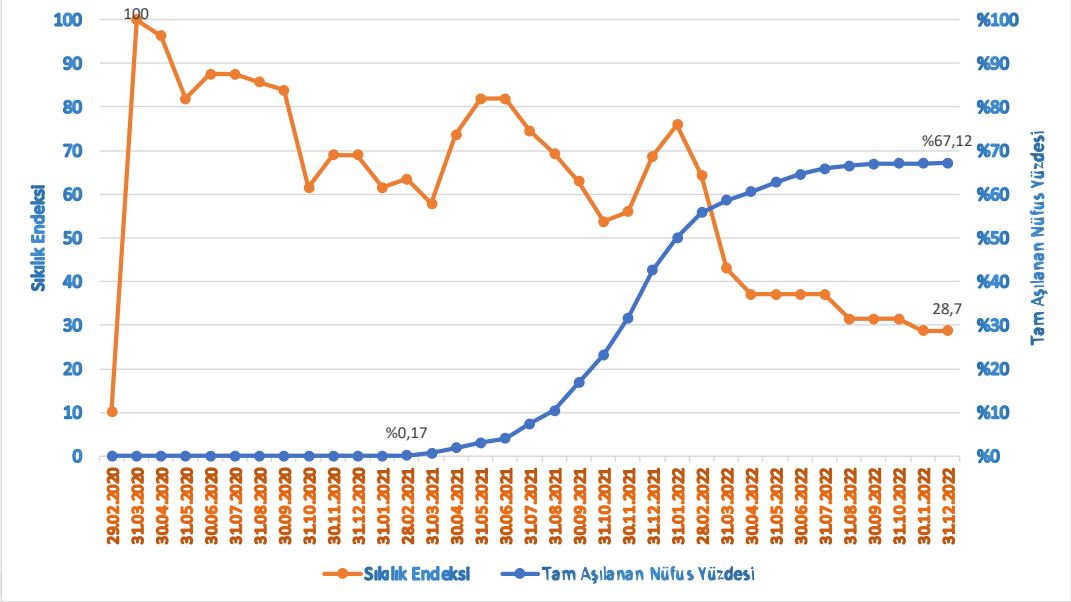
***COVID-19 Pandemi Sürecinin Genel Değerlendirmesi***

DSÖ Güney Doğu Asya Bölgesi'nde yer alan ve Çin'in ardından dünyanın en fazla nüfusuna sahip ikinci ülkesi olan Hindistan'da ilk resmi COVID-19 vakası 30 Ocak 2020 tarihinde bildirilmiştir. Doğrulanmış vaka yönüyle 31.12.2022 tarihi itibarıyla pandemiden en çok etkilenen ikinci, ölüm sayısı yönüyle ABD ve Brezilya'dan sonra üçüncü ülke olmuştur. Buna göre 44.679.873 vaka ve 530.705 ölüm ile tüm COVID-19 vakalarının %6,77'si ve tüm ölümlerin ise %7,93'ü küresel nüfusun %17,77'sini oluşturan Hindistan'da görülmüştür. Milyon kişi başına doğrulanan vaka sayısı 31.527 ve milyon kişi başına ölüm sayısı 374 olarak hesaplanmıştır. Buna göre Hindistan'da vaka sayısı olarak alt orta gelir grubunun (27.740 vaka) üzerinde, Güney Doğu Asya Bölgesi'nin (153.690 vaka ve 471 ölüm) altında vaka ve ölüm gerçekleştiği görülmektedir. Hindistan'da kümülatif vaka ölüm hızı ise %1,19 ile Güney Doğu Asya Bölgesi (%1,32) ve alt orta gelir grubunun (%1,40) hızından düşük olsa da, küresel vaka ölüm hızından (%1,01) yüksektir. Bu verilere göre Hindistan'ın pandemi ile mücadelede bölge ve gelir grubuna kıyasla ortalama değerlere sahip olduğu, ancak küresel olarak ortalamanın altında performans sergilediği söylenebilir. Kümülatif veriler üzerinden yapılan değerlendirmelerle birlikte, aylık yeni vaka ve ölüm sayıları üzerinden zaman boyutunda değerlendirmeler yapılabilmesi için Our World in Data (2023)'deki günlük vaka ve ölüm sayısı verileri üzerinden üç yıllık zaman periyodunda aylık yeni vaka ve ölüm sayıları ile kümülatif vaka ölüm hızları hesaplanmış ve Şekil 2.29'da çizgi grafik olarak verilmiştir.




**Şekil 2.29:** Hindistan'da COVID-19 pandemisinin aylık seyri, Şubat 2020-Aralık 2022.
Kaynak: Çizim yazara aittir.

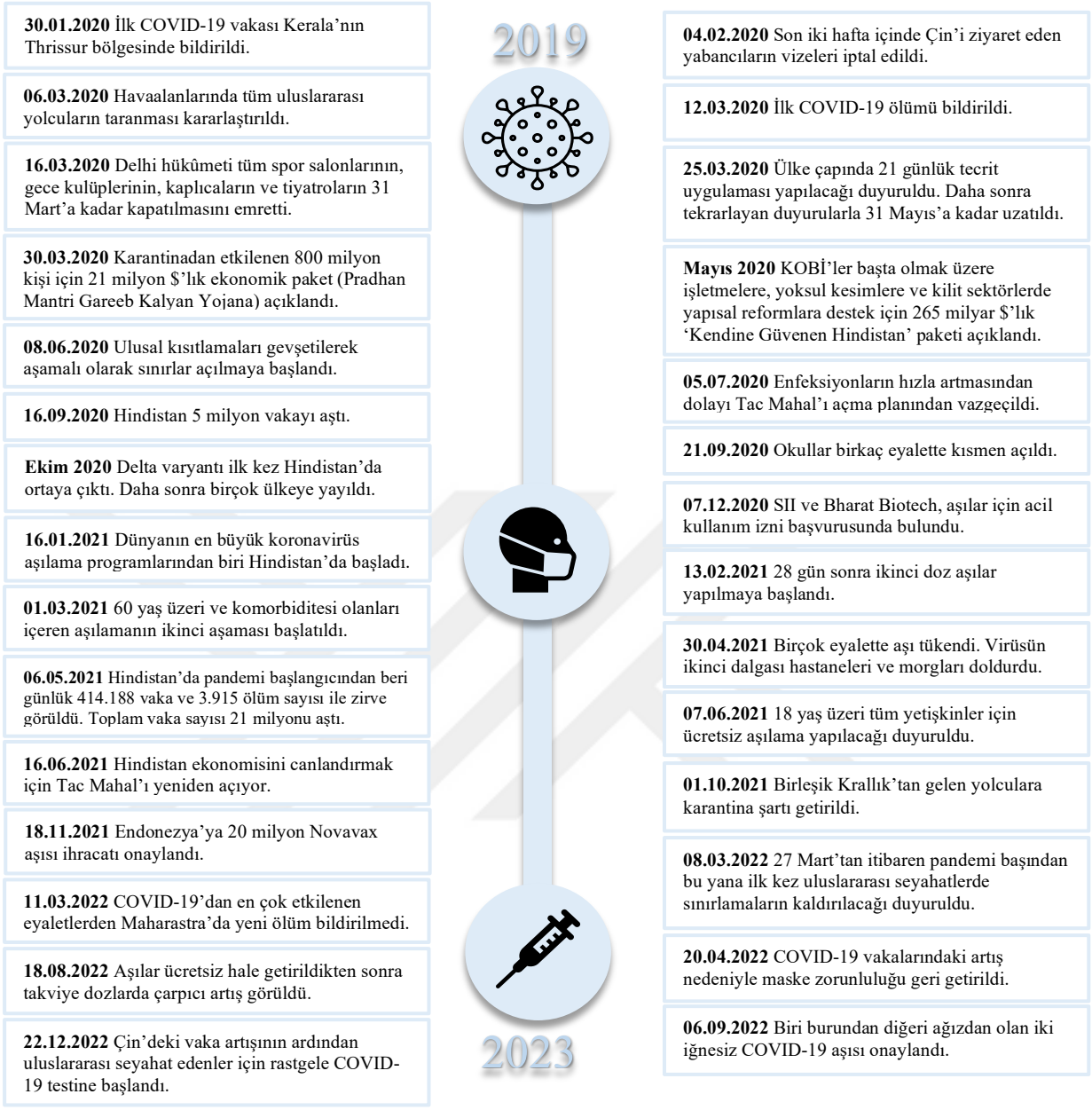
Şekil 2.29 incelendiğinde, Hindistan'da yeni vaka sayılarında 2020 yılı Eylül ayında lokal bir zirve gerçekleştiği, asıl zirvenin ise Delta varyantının ülke içindeki baskınlığının GISAID (2023) verilerine göre %88'lere ulaştığı 2021 yılı Mayıs ayında gerçekleştiği görülmektedir. Hem sağlık iş gücü hem de diğer sağlık kaynakları oldukça yetersiz olan Hindistan'da aylık nüfus başına ölüm sayısında ise benzer şekilde Mayıs 2021'de zirve görülmüştür. Omicron varyantının ülke içi baskınlığının %92'leri aştığı 2022 yılı Ocak ayında milyon kişi başına vaka sayısında lokal bir zirve görülse de, yeni ölümlerin giderek azaldığı anlaşılmaktadır. Buna bağlı olarak ilaç müdahalelerinin sınırlı olduğu pandeminin ilk aylarında kümülatif vaka ölüm hızı %3 seviyelerinde seyrederken, izleyen dönemlerde ölümlerin azalması ile vaka ölüm hızının küresel düzeye yakınsadığı görülmektedir. Bu verilerdeki değişimi hükûmet müdahaleleri boyutuyla değerlendirebilmek için, Hindistan'da ilaç dışı müdahalelerin düzeyini gösteren ve Our World in Data (2023) veri setinde izlenen sıkılık endeksi değeri ile ilaç müdahalelerinin göstergesi olan ve tam aşılanan kişilerin ülke nüfusuna bölünmesi ile elde edilen yüzde değerinin aylık değişimine Şekil 2.30'da yer verilmiştir.




**Şekil 2.30:** Hindistan'da sıkılık endeksinin ve tam aşılanan nüfusun aylık değişimi, Şubat 2020-Aralık 2022.

Kaynak: Çizim yazara aittir.

Hindistan'da ilk vaka görülmesinden yaklaşık iki ay sonra Mart sonunda ülke çapında tecrit uygulanmasına karar verilmiş ve sıkılık endeksi değerinin en yüksek seviye olan 100 değerine ulaşmıştır. Sonrasında bu önlemlerin kademeli olarak gevşetilmesi ile Eylül 2020'de lokal zirve görülmüştür. Delta varyantı ile birlikte tam aşılamanın çok sınırlı olduğu 2021 yılı Nisan ve Mayıs aylarında yeni vakaların artması, sağlık kurumlarının kapasitesini zorlamıştır. Bu nedenle o dönemde ilaç dışı müdahaleler kısmen artırılmış ve 18 yaş üzerine aşıyı ücretsiz sunarak tam aşılanmanın izleyen dönemlerde hızla artırılması sağlanmaya çalışılmıştır. Bu durum izleyen dönemlerde artan vakalara rağmen ölümlerde azalmayı sağlamıştır. Tam aşılanan nüfusun %50'nin üzerine ulaştığı Ocak 2022 itibarıyla ilaç dışı müdahaleler ülke çapında gevşetilmeye başlamıştır. Sağlık sisteminin mevcut kapasitesinin hızla artan vaka yükünü kaldıramayacağı için Delhi hükûmeti gelişmelere göre kısmi sınırlamalar uygulayabilmektedir. Mevcut durumda DSÖ hedefi olan %70 tam aşılama hedefine yaklaşan Hindistan'ın ilaç dışı müdahalelerin aşılamadaki artışla eş zamanlı olarak azaldığı görülmektedir. Bu kapsamda mevcut verilerin pandemi sürecinde Hindistan'da yaşanan gelişmelerle birlikte değerlendirilebilmesi için, epidemiyolojik veriler ve hükûmet müdahalesi boyutlarını özetleyen zaman çizelgesi Şekil 2.31'de verilmiştir (The Wire, 2020; Kantis ve diğ., 2023; International Labour Organization, 2023; The Indian Express, 2021; Aspinall, 2022).




**Şekil 2.31:** Hindistan'da COVID-19 zaman çizelgesi.

Şekil 2.31 incelendiğinde, hastalığın ülkeye yayılmasından kısa bir süre sonra ülke çapında ilaç dışı müdahalelerin uygulanmasına yönelik politikaların tercih edildiği görülmektedir. Buna göre zaman içinde vaka ve ölümlerde yaşanan gelişmelere göre bu önlemlerle ilgili çeşitli düzenlemeler yapılmıştır. Mevcut durumda ilaç dışı müdahalelerin gevşetilmesine ve aşılamanın yaygınlaştırılmasına yönelik politikalar sürdürülmektedir.

### *2.3.2.6. Birleşik Krallık*

#### *Genel Bilgiler ve Sağlık Sistemi Yapısı*

DSÖ Avrupa Bölgesi üyesi olan Birleşik Krallık'ın yüz ölçümü 243.610 $km^2$, 2021 yılı nüfusu 67.326.570 ve 2020 yılı nüfus yoğunluğu ($km^2$ arazi alanı başına düşen nüfus) 277 kişidir. Birleşik Krallık'ta 2021 yılı verilerine göre kişi başına düşen GSYİH 46.510$ ve kişi başına düşen GSMH ise 44.480$ olup, Dünya Bankası gelir sınıflandırmasında yüksek gelir grubu ülkeler arasında yer almıştır. 2019 yılı verilerine göre doğumda beklenen yaşam süresi 81,20 yıl olan Birleşik Krallık'ta 65 yaş ve üzeri nüfus yüzdesi 18,53'tür (World Bank, 2023b).

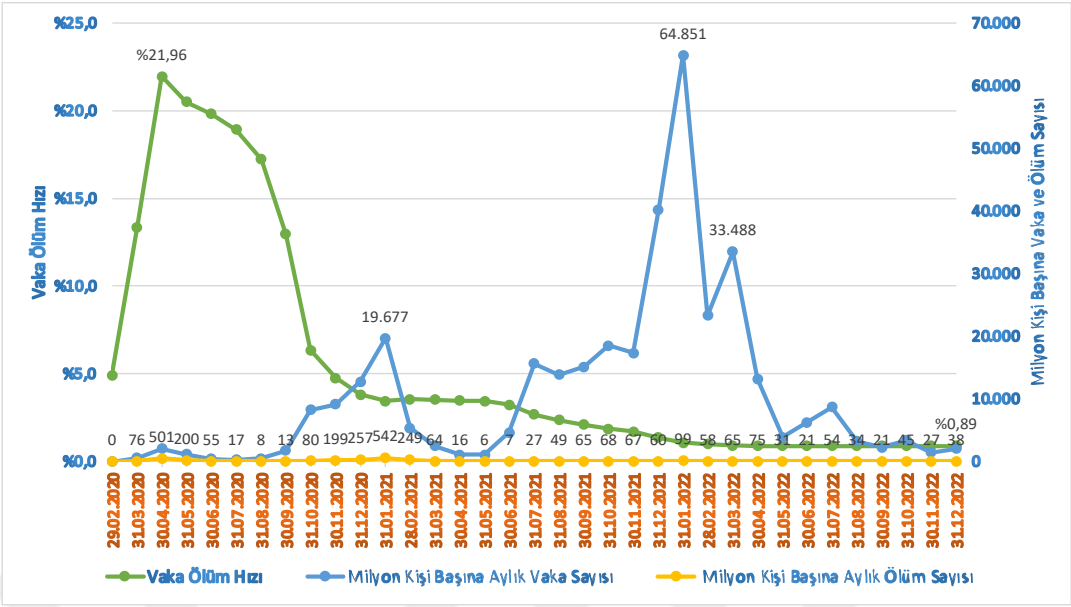
Birleşik Krallık sağlık sistemi harcamalar yönüyle incelendiğinde, 2019 yılı verilerine göre GSYİH'den sağlığa ayrılan payın %9,87 olduğu, bu harcamaların %80,24'ünün yurt içi kamu harcamaları ve %19,76'sının yurt içi özel sağlık harcamaları (cepten yapılan sağlık harcamaları tüm sağlık harcamalarının %16,39'unu) olduğu görülmektedir. COVID-19 pandemisinin başladığı 2020 yılında kişi başına sağlık harcaması 4.265 dolardan 4.927 dolara yükselmiş ve GSYİH'den sağlığa ayrılan pay %11,98 (%83,70 kamu, %16,30 özel ve %13,60 cepten harcama) olarak gerçekleşmiştir. Vergilerle finansman sistemi olarak bilinen Beveridge sisteminin doğduğu Birleşik Krallık'ta sağlık harcamalarında kamunun finansmanı sadece vergilere dayalı olarak yapılmaktadır. Sağlık harcamalarının %82,84 ile çok büyük bir kısmı kamu tarafından finanse edilmektedir. Sağlık harcamaları finansmanında cepten harcamaların %13,60'lık payının yanı sıra, gönüllü sağlık sigortalarının %2,2 ile çok sınırlı düzeyde payı söz konusudur (WHO, 2023e). Sağlık kaynakları bakımından incelendiğinde, 2020 veya en yakın yıl verilerine göre 1.000 kişi başına düşen hastane yatağı sayısı 2,5 ve 1.000 kişi başına düşen hekim sayısı 5,8 olan Birleşik Krallık'ın hekim sayısı açısından görece en iyi durumda olan ülkelerden biri olduğu, ancak hastane yatak sayısının yüksek gelir grubu ülkeler ortalamasının altında olduğu görülmektedir (World Bank, 2023b). Birleşik Krallık'ta mülkiyetine göre hastane yataklarının %94,12'si kamuya aittir. Pandemi başlangıcında özel sektöre ait olan 8.000 hastane yatağı kapasitesi kiralanmış ve tüm hastane yatakları kamu organizasyonunda kullanılmıştır (OECD, 2023b; Nelson, 2020).

Birleşik Krallık'ta sağlık ve sosyal bakım politikalarının yürütülmesinden Sağlık ve Sosyal Bakım Bakanlığı (Department of Health and Social Care, DHSC) sorumludur. Birleşik Krallık'ta vatandaşların sağlığının korunması ve sağlık hizmetlerinin ücretsiz ve eşit olarak sunulması için Ulusal Sağlık Sistemi (National Health Service, NHS) oluşturulmuştur. DHSC, NHS'i denetleme yetkisine sahiptir. DHSC, NHS ile birlikte farklı pek çok kurum ve kuruluş

desteğiyle hizmet vermektedir. Bunlardan bulaşıcı hastalıklar ve diğer sağlık tehditlerinin etkilerinden halkın korunması sorumluluğuna sahip olan Birleşik Krallık Sağlık Güvenliği Ajansı, pandemi sürecinde önemli görevler üstlenmiştir. Birleşik Krallık'ta ilaçlar ve aşıların düzenlenmesi, güvenlik, kalite ve etkinlik standarlarının değerlendirilmesi ve ruhsat verilmesi süreçlerindeki sorumluluk ise, İlaç ve Sağlık Ürünleri Düzenleme Kurumu'na aittir. Birleşik Krallık'ta hangi ilaçların satın alınacağına DHSC karar verirken, ilaçların NHS'de kullanıma sunulup sunulmayacağına Ulusal Klinik Mükemmellik Enstitüsü (National Institute of Clinical Excellence) karar vermektedir (UK Government, 2023).

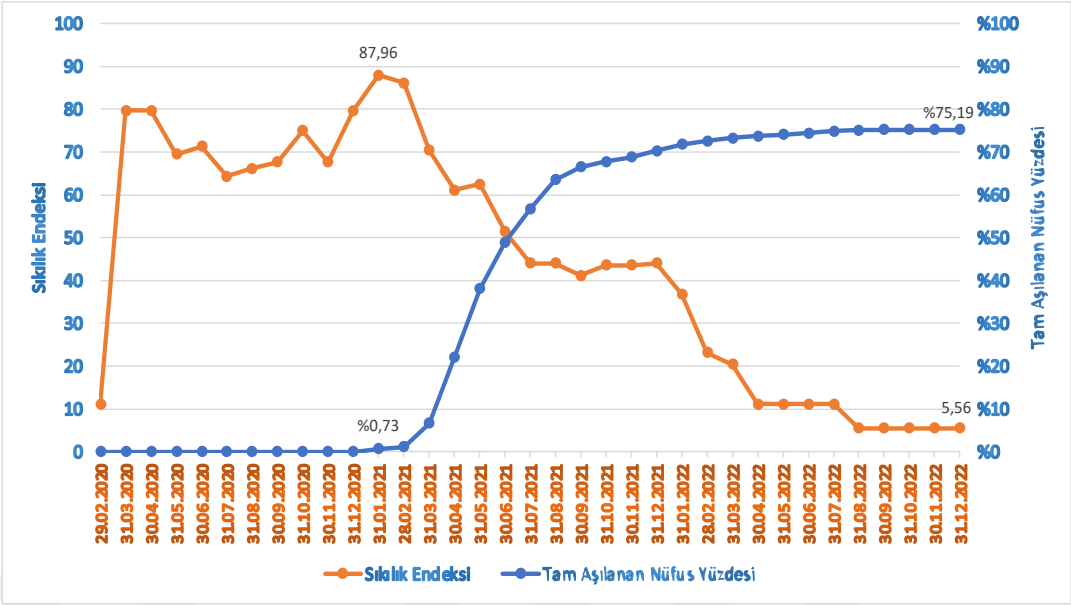
***COVID-19 Pandemi Sürecinin Genel Değerlendirmesi***

DSÖ Avrupa Bölgesi'nde yer alan Birleşik Krallık'ta ilk resmi COVID-19 vakası 31 Ocak 2020 tarihinde bildirilmiştir. Doğrulanmış vaka sayısına göre 31.12.2022 tarihi itibarıyla pandemiden en çok etkilenen dokuzuncu, ölüm sayısına göre yedinci ülke olmuştur. Buna göre 24.135.084 vaka ve 215.865 ölüm ile tüm vakaların %3,65'i ve tüm ölümlerin ise %3,23'ü küresel nüfusun %0,85'ini oluşturan Birleşik Krallık'ta görülmüştür. Milyon kişi başına doğrulanan vaka sayısı 357.509 ve milyon kişi başına ölüm sayısı 3.198 olarak hesaplanmıştır. Buna göre Birleşik Krallık'ta nüfus başına vaka ve ölüm sayısının yüksek gelir grubunun (338.438 vaka ve 2.218 ölüm) ve Avrupa Bölgesi'nin (292.452 vaka ve 2.342 ölüm) üzerinde olduğu görülmektedir. Birleşik Krallık'ta kümülatif vaka ölüm hızı ise, 31 Aralık 2022 itibarıyla %0,89 ile Avrupa Bölgesi (%0,80) ve yüksek gelir grubunun (%0,66) üzerinde olsa da, küresel vaka ölüm hızının (%1,01) altındadır. Bu verilere göre Birleşik Krallık'ın pandemi ile mücadelede nüfus başına veriler dikkate alındığında, bulaşıcılıkla mücadelede aynı gelir grubu ülkelerin gerisinde kaldığı söylenebilir. Kümülatif veriler üzerinden yapılan kesitsel değerlendirmeye ilave olarak zaman boyutunda değerlendirmeler yapılabilmesi için Our World in Data (2023)'deki günlük vaka ve ölüm sayısı verileri üzerinden üç yıllık zaman periyodunda aylık yeni vaka ve ölüm sayıları ile kümülatif vaka ölüm hızları hesaplanmış ve Şekil 2.32'de çizgi grafik olarak verilmiştir.




**Şekil 2.32:** Birleşik Krallık'ta COVID-19 pandemisinin aylık seyri, Şubat 2020-Aralık 2022.
Kaynak: Çizim yazara aittir.

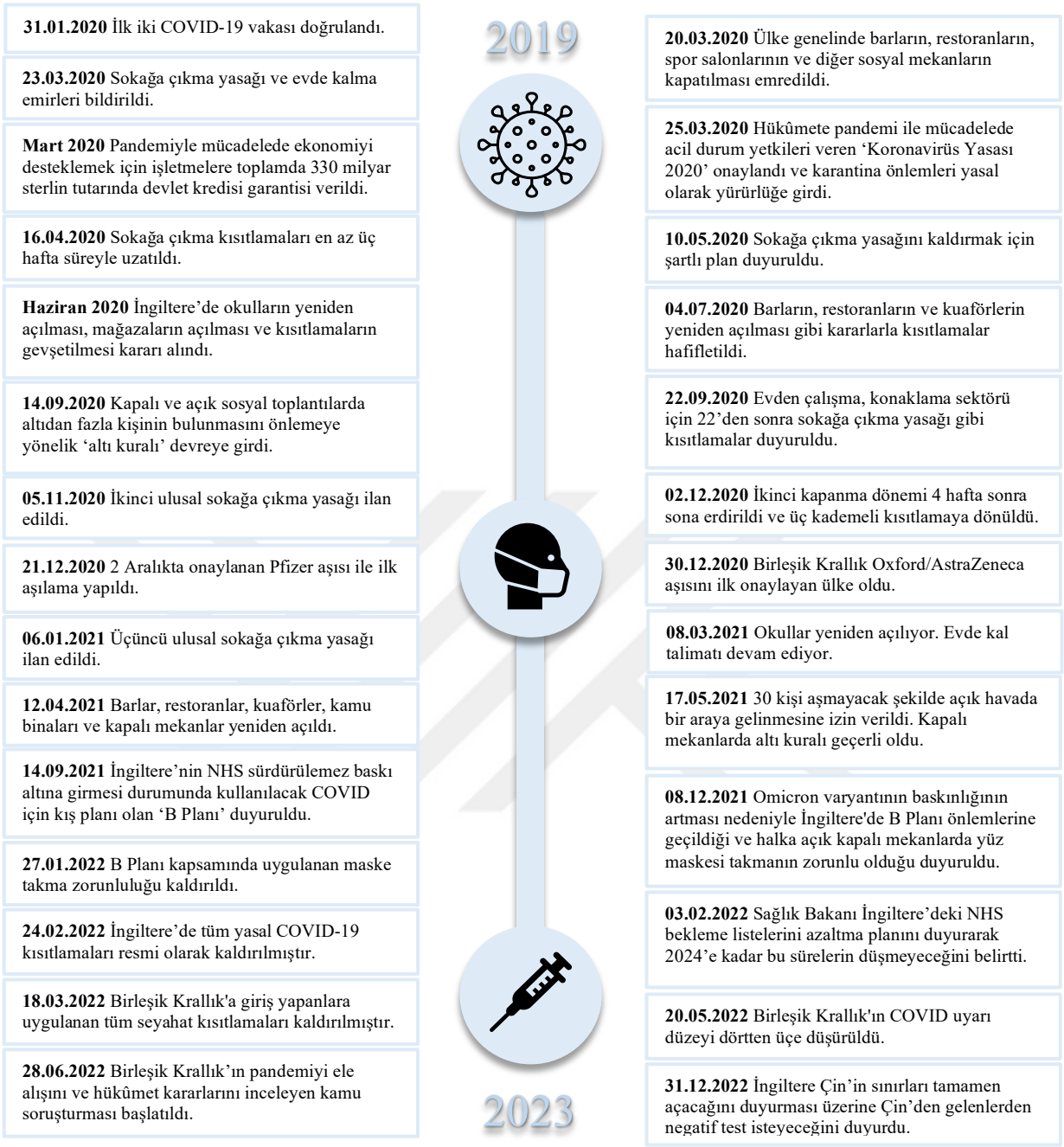
Şekil 2.32 incelendiğinde SARS-CoV-2 virüsünün tanımlananan ilk varyantı olan Alfa varyantının Eylül 2020'de Birleşik Krallık'ta tespit edilmesi ve ardından GISAID (2023) verilerine göre ülke içindeki baskınlığının 2021 yılı Ocak ayında %84'e ulaşması ile aylık yeni vaka sayısında ve ölüm sayısında lokal zirve gerçekleştiği görülmektedir. Zirve görülen dönemde uygulanan ilaç dışı önlemler yeni vaka ve ölüm sayısının giderek azalmasını sağlamıştır. Bu zirveden sonra aşılamaya hız verilse de, ilaç dışı tedbirlerin gevşetilmesi ve Omicron varyantının ülke içindeki baskınlığının GISAID (2023) verilerine göre %99'a ulaşması ile 2022 yılı Ocak ayında nüfus başına yeni vaka sayısının dramatik şekilde arttığı ve yeni zirve yaptığı görülmektedir. Bu dönemde vaka sayılarında ciddi artışa rağmen, nüfus başına yeni ölümler giderek azalmıştır. Bu durum pandemi başlangıcında %20'yi aşan yüksek vaka ölüm hızının giderek azalmasını ve kümülatif vaka ölüm hızının küresel düzeye yakınsamasını sağlamıştır. Bu verilerdeki değişimi hükûmet müdahaleleri boyutuyla değerlendirebilmek için, Birleşik Krallık'ta ilaç dışı müdahalelerin düzeyini gösteren ve Our World in Data (2023) veri setinde izlenen sıkılık endeksi değeri ile ilaç müdahalelerinin göstergesi olan ve tam aşılanan kişilerin ülke nüfusuna bölünmesi ile elde edilen yüzde değerinin aylık değişimine Şekil 2.33'de yer verilmiştir.




**Şekil 2.33:** Birleşik Krallık'ta sıkılık endeksinin ve tam aşılanan nüfusun aylık değişimi, Şubat 2020-Aralık 2022.

Kaynak: Çizim yazara aittir.

Birleşik Krallık'ta ilk vaka görülmesinden yaklaşık iki ay sonra ülke çapında karantina önlemleri yürürlüğe girmiş olup, ilaç dışı müdahalelerin üst düzeyde uygulandığı Şekil 2.33'de sıkılık endeksi değerinin Mart sonundaki keskin artışından anlaşılabilmektedir. Nüfus başına vakaların 2021 Ocak ayında zirve yapması ile önlemlerin artırıldığı ve sıkılık değerinin zirveye ulaştığı görülmektedir. 2022 yılı Ocak ayında Omicron varyantı ile nüfus başına vaka sayısında görülen yeni zirveye rağmen, tam aşılanan nüfusun %70'in üzerine çıkması temel alınarak ilaç dışı müdahalelerin kademeli olarak gevşetilmesi kararı devam ettirilmiştir. Mevcut durumda nüfusun %75'inden fazlasına en az iki doz aşı uygulandığı ve ilaç dışı müdahalelerin neredeyse tamamen kaldırıldığı görülmektedir. Bu kapsamda ilgili verilerin pandemi sürecinde Birleşik Krallık'ta yaşanan gelişmelerle birlikte değerlendirilebilmesi için, epidemiyolojik veriler ve hükûmet müdahalesi boyutlarını özetleyen zaman çizelgesi Şekil 2.34'te verilmiştir (Institute for Government, 2022; Kantis ve diğ., 2023; Wikipedia, 2023c; Aspinall, 2022).




**Şekil 2.34:** Birleşik Krallık'ta COVID-19 zaman çizelgesi.

Şekil 2.34 incelendiğinde, COVID-19'a karşı ilaç dışı müdahalelerin Mart 2020 itibarıyla üst düzeyde uygulandığı görülmektedir. Mart 2021 yılı itibarıyla aşılamanın hızla artmasıyla eş zamanlı olarak ilaç dışı müdahalelerin kademeli olarak gevşetilmesine yönelik kararlar alınmış ve izleyen dönemlerde hızla artan yeni vakalara rağmen bu kararlar sürdürülmüştür. Mevcut durumda ilaç dışı müdahaleler büyük ölçüde kaldırılmış olmakla birlikte, hükûmetin pandemiye müdahale kararlarına yönelik soruşturmalar devam etmektedir.

### *2.3.2.7. Brezilya*

#### *Genel Bilgiler ve Sağlık Sistemi Yapısı*

DSÖ Amerika Bölgesi üyesi olan Brezilya'nın yüz ölçümü 8.515.770 $km^2$, 2021 yılı nüfusu 214.326.220 ve 2020 yılı nüfus yoğunluğu ($km^2$ arazi alanı başına düşen nüfus) 26 kişidir. Brezilya'da 2021 yılı verilerine göre kişi başına düşen GSYİH 7.507$ ve kişi başına düşen GSMH ise 7.740$ olup, Dünya Bankası gelir sınıflandırmasında yüksek orta gelir grubu ülkeleri arasında yer almıştır. 2019 yılı verilerine göre doğumda beklenen yaşam süresi 75,34 yıl olan Brezilya'da 65 yaş ve üzeri nüfus yüzdesi 9'dur (World Bank, 2023b).

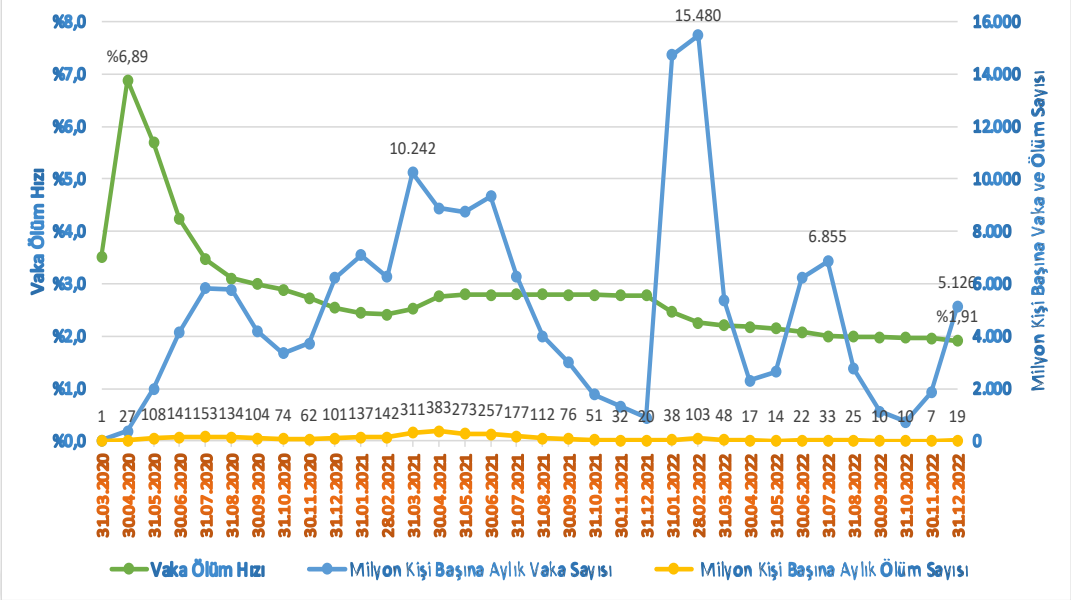
Brezilya sağlık sistemi harcamalar yönüyle incelendiğinde, 2019 yılı verilerine göre GSYİH'den sağlığa ayrılan payın %9,61 olduğu, bu harcamaların %40,74'ünün yurt içi kamu harcamaları, %59,11'inin yurt içi özel sağlık harcamaları (cepten yapılan sağlık harcamaları tüm sağlık harcamalarının %24,88'i) ve %0,15'inin dış sağlık harcamaları olduğu görülmektedir. COVID-19 pandemisinin başladığı 2020 yılında kişi başına sağlık harcaması 850 dolardan 701 dolara düşmüş ve GSYİH'den sağlığa ayrılan pay %10,31 (%44,75 kamu, %55,10 özel, dış harcama %0,15 ve %22,39 cepten harcama) olarak gerçekleşmiştir. Sağlık harcamalarının finansmanında gönüllü sağlık sigortası %28,7 ile kayda değer bir paya sahiptir. Ancak zorunlu sağlık sigortasının harcamalar içerisindeki payı (%0,5) çok sınırlıdır. Yapılan sağlık harcamalarının %44,8'i zorunlu finansman sözleşmelerinden karşılanmakla birlikte, ağırlıklı olarak gönüllü finansman (%52,4) söz konusudur (WHO, 2023e). Sağlık kaynakları bakımından incelendiğinde, 2020 veya en yakın yıl verilerine göre 1.000 kişi başına düşen hastane yatağı sayısı 2,2 ve 1.000 kişi başına düşen hekim sayısı 2,3 olan Brezilya'nın dünya ortalamasına yakın sağlık kaynaklarına sahip olduğu görülmektedir. Buna ek olarak hastane yataklarının %63,55'inin kamuya ve %36,45'inin özel sektöre ait olduğu bir yapı bulunmaktadır (World Bank, 2023b; OECD, 2023b).

Brezilya'da sağlık sisteminin ve ulusal sağlık politikalarının yürütülmesinin temelinde 1988 Federal anayasası ve takip eden reformların önemli bir yeri vardır. Sağlığın anayasal bir hak olarak tanınması üzerine halk sağlığı hizmetlerinin evrensel ve ücretsiz olarak sunulması, sağlağın korunması ve geliştirilmesi için Birleşik Sağlık Sistemi (Sistema Único de Saúde , SUS) oluşturulmuştur. SUS, anayasada belirlendiği üzere Sağlık Bakanlığı, Eyalet Sağlık Departmanı (State Health Department, SES) ve Belediye Sağlık Departmanı (Municipal Health Department, SMS ) kuruluşlarını birarada bulundurmaktadır. Ulusal Sağlık Konseyi ile birlikte Sağlık Bakanlığı pandemi ile ilgili politikaları formüle etmek, düzenlemek, denetlemek ve

değerlendirmek görevlerini yerine getirmekle birlikte, SES ve SMS'in bu faaaliyetlerde ortak sorumlulukları vardır. Federal sağlık yönetiminden Sağlık Bakanlığı'nın, eyalet düzeyinde sağlık yönetiminden özel sekreterliklerin ve belediyelerde ise belediye yöneticilerinin sorumlulukları bulunmaktadır. Brezilya'da COVID-19 ve diğer hastalıkların tedavisi için geliştirilen ilaç ve aşıların onay, kayıt, izin ve diğer işlemler ise, SUS içerisinde Sağlık Bakanlığı'na bağlı özerk bir yapı olan Sağlık Düzenleme Kurumu (Brazilian Health Regulatory Agency, Anvisa) sorumluluğunda yürütülmektedir (Ministério da Saúde, 2023).

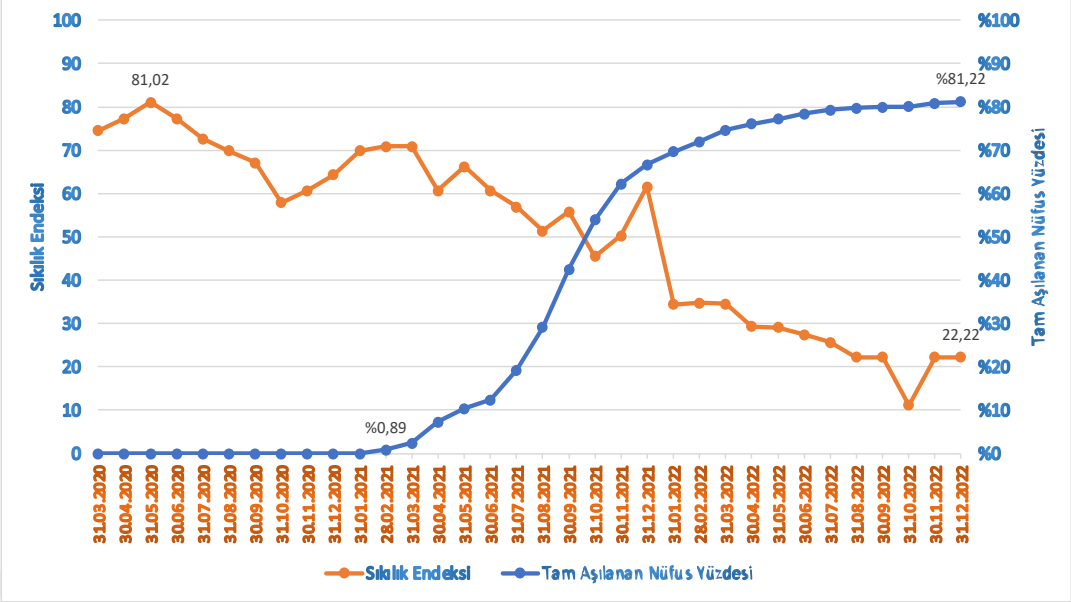
***COVID-19 Pandemi Sürecinin Genel Değerlendirmesi***

DSÖ Amerika Bölgesi'nde yer alan Brezilya'da ilk resmi COVID-19 vakası 26 Şubat 2020 tarihinde São Paulo eyaletinde bildirilmiştir. Doğrulanmış vaka sayısına göre 31.12.2022 tarihi itibarıyla pandemiden en çok etkilenen beşinci, ölüm sayısına göre ABD'nin ardından ikinci ülke olmuştur. Buna göre 36.331.281 vaka ve 693.853 ölüm ile tüm vakaların %5,50'si ve tüm ölümlerin ise %10,37'si küresel nüfusun %2,70'ini oluşturan Brezilya'da görülmüştür. Milyon kişi başına doğrulanan vaka sayısı 168.737 ve milyon kişi başına ölüm sayısı 3.223 olarak hesaplanmıştır. Buna göre Brezilya'da nüfus başına vaka ve ölüm sayısının üst orta gelir grubunun (57.542 vaka ve 1.008 ölüm) ve Amerika Bölgesi'nin (2.803 ölüm) üzerinde olduğu görülmektedir. Brezilya'da kümülatif vaka ölüm hızı ise, 31 Aralık 2022 itibarıyla %1,91 ile hem Amerika Bölgesi'nden (%1,56) hem de üst orta gelir grubundan (%1,75) yüksektir. Bu verilere göre Brezilya'nın pandemi ile mücadelede nüfus başına veriler dikkate alındığında, pandemi ile mücadelede diğer ülkelerin gerisinde kaldığı açıktır. Kümülatif veriler üzerinden yapılan kesitsel değerlendirmelere ilave olarak zaman boyutunda değerlendirmeler yapılabilmesi için Our World in Data (2023)'deki günlük vaka ve ölüm sayısı verileri üzerinden üç yıllık zaman periyodunda aylık yeni vaka ve ölüm sayıları ile kümülatif vaka ölüm hızları hesaplanmış ve Şekil 2.35'te çizgi grafik olarak verilmiştir.




**Şekil 2.35:** Brezilya'da COVID-19 pandemisinin aylık seyri, Mart 2020-Aralık 2022.
Kaynak: Çizim yazara aittir.

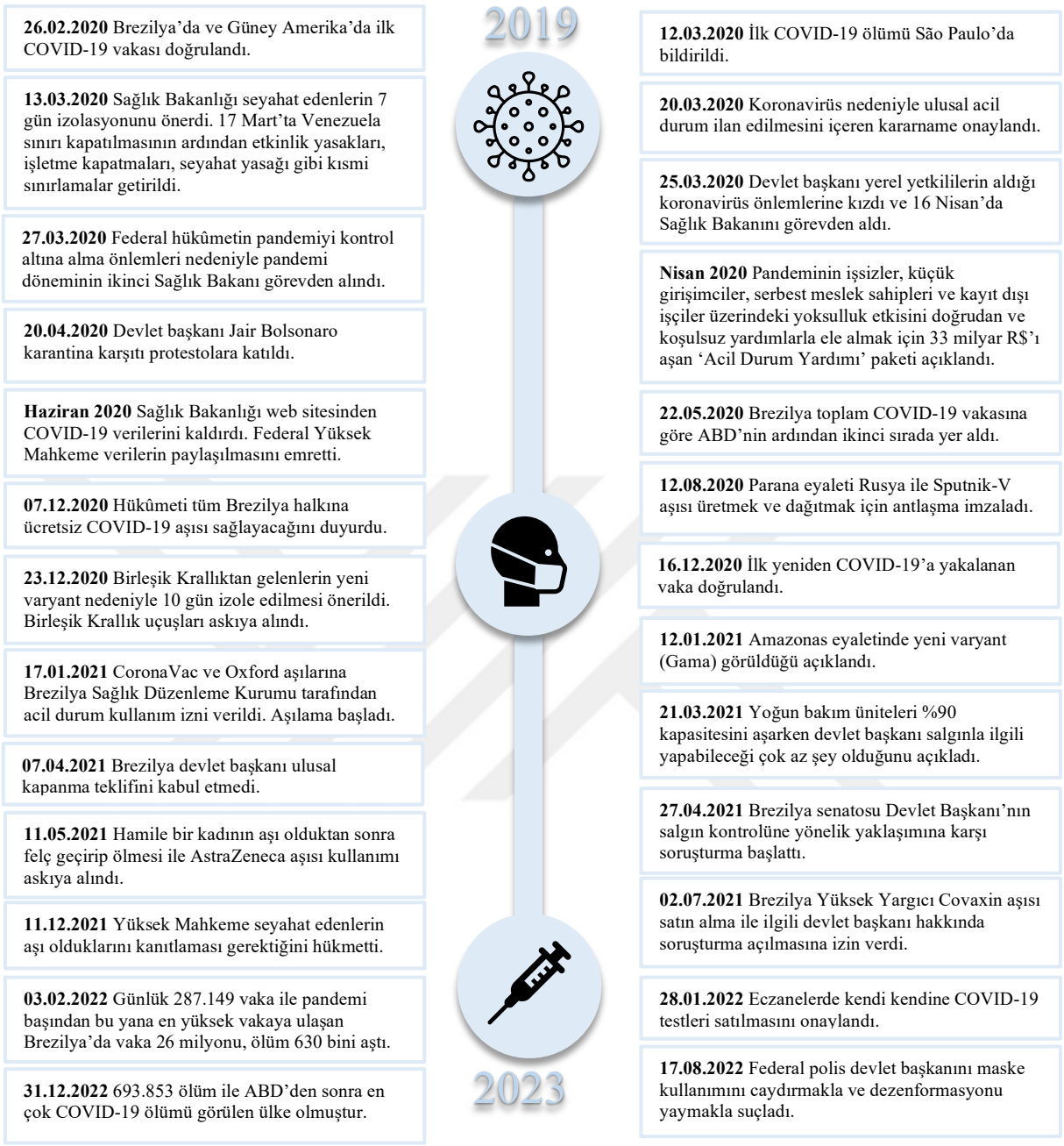
Şekil 2.35 incelendiğinde Brezilya'da nüfus başına vakanın pandeminin ilk yılında giderek arttığı ve GISAID (2023) verilerine göre Gama varyantının ülke içindeki baskınlığının Mart 2021'de %82'e ulaşması ile aylık yeni vaka sayısında lokal zirve gerçekleştiği görülmektedir. Sağlık sistemin kapasitelerini zorlayan bu zirve nüfus başına ölüm sayısında ciddi artışa yol açmıştır. İzleyen dönemlerde nüfus başına vaka sayısı giderek azalsa da, 2022 yılı Ocak ve Şubat aylarında Omicron varyantının ülke içindeki baskınlığının %98'in üzerine ulaşması ile nüfus başına yeni vaka sayısının yeni zirve görülmüştür. Bu dönemlerde vaka sayılarında keskin artışa rağmen, nüfus başına yeni ölümlerdeki artış daha sınırlı kalmıştır. Buna rağmen Brezilya'da kümülatif vaka ölüm hızının pandemi süreci boyunca küresel düzeyin üstünde seyrettiği görülmektedir. Bu verilerdeki değişimi hükûmet müdahaleleri boyutuyla değerlendirebilmek için Our World in Data (2023) veri setinde izlenen sıkılık endeksi değerinin ve tam aşılanan nüfus yüzdesinin aylık değişimine Şekil 2.36'da yer verilmiştir.




**Şekil 2.36:** Brezilya'da sıkılık endeksinin ve tam aşılanan nüfusun aylık değişimi, Mart 2020-Aralık 2022.

Kaynak: Çizim yazara aittir.

Brezilya'da ilk vaka görülmesinden yaklaşık bir ay sonra Mart sonu itibarıyla ülke çapında ulusal acil durum ilan edilmesi ve ilaç dışı müdahalelerin üst düzeyde uygulanması kararına bağlı olarak Şekil 2.36'da sıkılık endeksi değerinin ilk aylarda yüksek seyrettiği görülebilmektedir. Ancak devlet başkanının önlemlere karşı bir tavır alması pandemi ile mücadelenin önemli ölçüde olumsuz etkilenmesine yol açmıştır. 2022 yılı Şubat ve Mart aylarında nüfus başına vaka sayısında zirve görülmesine rağmen, sıkılık endeksi değerinin azaldığı görülmektedir. Bu kararın alınmasında tam aşılanan nüfusun %72'nin üzerine ulaşması önemli bir etken olmuştur. Mevcut durumda küresel düzeyin üzerinde aşılamanın yapıldığı Brezilya'da ilaç dışı müdahalelerin büyük ölçüde kaldırıldığı görülmektedir. Bu kapsamda pandemi sürecinde Brezilya'da yaşanan gelişmelerle ilgili verilerin değerlendirilebilmesi için, epidemiyolojik veriler ve hükûmet müdahalesi boyutlarını özetleyen zaman çizelgesi Şekil 2.37'de verilmiştir (Ministério da Saúde, 2023; Kantis ve diğ., 2023; Aspinall, 2022; Wikipedia, 2023d; International Labour Organization, 2023).




**Şekil 2.37:** Brezilya'da COVID-19 zaman çizelgesi.

Şekil 2.37 incelendiğinde, Brezilya'da hastalığın görülmesinden kısa bir süre sonra ilaç dışı müdahalelerin uyguladığı, ancak Devlet başkanının alınan önlemlere karşı tavır alması nedeniyle sağlık otoritelerinde yönetim istikrarsızlığı oluştuğu görülmektedir. Bu durum izleyen dönemlerde ilaç dışı önlemlerin kademeli olarak gevşetilmesine yol açmıştır. Mevcut durumda aşılamanın yaygınlaştırılması ve ilaç dışı müdahalelerin kademeli olarak gevşetilmesi politikalarının sürdürüldüğü Brezilya'da, pandemi sürecinde yüksek vaka ve ölüm sayılarının görülmesinden sorumlu tutulan Devlet başkanı hakkındaki soruşturmalar ise devam etmektedir.

### *2.3.2.8. Türkiye*

#### *Genel Bilgiler ve Sağlık Sistemi Yapısı*

DSÖ Avrupa Bölgesi üyesi olan Türkiye Cumhuriyeti'nin yüz ölçümü 785.350 $km^2$, 2021 yılı nüfusu 84.775.400 ve 2020 yılı nüfus yoğunluğu ($km^2$ arazi alanı başına düşen nüfus) 109 kişidir. Türkiye Cumhuriyeti'nde 2021 yılı verilerine göre kişi başına düşen GSYİH 9.661$ ve kişi başına düşen GSMH ise 9.900$ olup, Dünya Bankası gelir sınıflandırmasında yüksek orta gelir grubu ülkeleri arasında yer almıştır. 2019 yılı verilerine göre doğumda beklenen yaşam süresi 77,83 yıl olan Türkiye'de 65 yaş ve üzeri nüfus yüzdesi 7,95'tir (World Bank, 2023b).

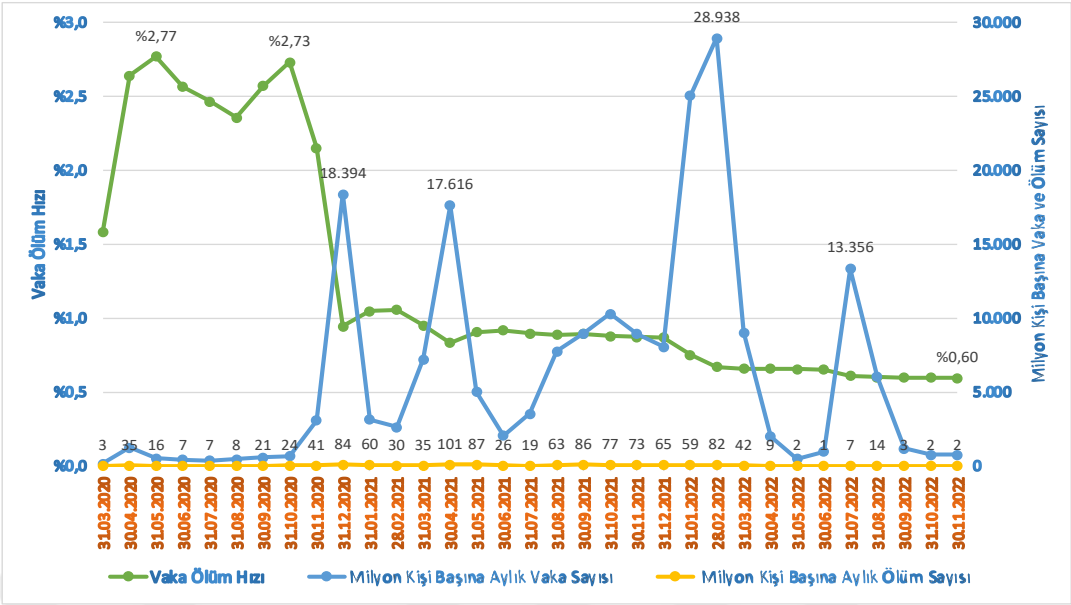
Türkiye Cumhuriyeti sağlık sistemi harcamalar yönüyle incelendiğinde, 2019 yılı verilerine göre GSYİH'den sağlığa ayrılan payın %4,36 olduğu, bu harcamaların %77,69'unun yurt içi kamu harcamaları ve %22,31'inin yurt içi özel sağlık harcamaları (cepten yapılan sağlık harcamaları tüm sağlık harcamalarının %17,05'i) olduğu görülmektedir. COVID-19 pandemisinin başladığı 2020 yılında kişi başına sağlık harcaması 397 dolardan 395 dolara düşmüş ve GSYİH'den sağlığa ayrılan pay %4,62 (%78,85 kamu, %21,15 özel ve %16,43 cepten harcama) olarak gerçekleşmiştir. Sağlık harcamalarının finansmanında %53,97 ile zorunlu sağlık sigortası ve %24,88 ile vergilerle finansman olmak üzere toplamda %78,85 ile kamunun baskın bir role sahip olduğu görülmektedir. Sağlık harcamaları finansmanında cepten harcamaların %16,43'lük payının yanı sıra, %2,3 ile gönüllü sağlık sigortalarının çok sınırlı düzeyde payı söz konusudur (WHO, 2023e). Sağlık kaynakları bakımından incelendiğinde, 2020 veya en yakın yıl verilerine göre 1.000 kişi başına düşen hastane yatağı sayısı 2,8 ve 1.000 kişi başına düşen hekim sayısı 1,8 olan Türkiye'nin dünya ortalamasına yakın bir sağlık kaynağına sahip olduğu görülmektedir. Bununla birlikte mülkiyetine göre hastane yataklarının %77,21'inin kamuya ve %22,79'unun ise kâr amaçlı özel sektöre ait olduğu bir organizasyon yapısı mevcuttur (World Bank, 2023b; OECD, 2023b).

Türkiye Cumhuriyeti'nde 2003 yılında yürürlüğe giren Sağlıkta Dönüşüm Programı ile sağlık sisteminde önemli ve geniş kapsamlı bir reform süreci başlamıştır. Bu süreçte pek çok değişiklik gerçekleşmiş olmakla birlikte, anayasal bir hak olarak tanımlanan sağlığın korunması ve geliştirilmesinden, teşhis, tedavi ve rehabilite edici hizmetlerin yürütülmesine kadar tüm faaliyetlerde birincil derecede yetki ve sorumluluk Sağlık Bakanlığı'nda olacak şekilde bu değişiklikler gerçekleşmiştir. Sağlık Bakanlığı mevcut durumda bu görevlerini merkez ve taşra teşkilatına bağlı kurumlar ile yürütmektedir. Bunlardan bulaşıcı hastalıkların önlenmesi ve

tedavi edilmesi ile ilgili süreçleri yürüten ve Sağlık Bakanlığı merkez teşkilatında yer alan Halk Sağlığı Genel Müdürlüğü pandemi sürecinde önemli görevler üstlenen bir birimdir. COVID-19 ile mücadele kapsamında Müdürlük önemli sorumluluklar üstlenmekle birlikte, politikaların formüle edilmesi ve düzenlenmesinde görüş alınması için Sağlık Bakanlığı bünyesinde 'Koronavirüs Bilim Kurulu' oluşturulmuştur. Sağlık Bakanlığı koordinasyonu ile 2019 yılında hazırlanan "Pandemik İnfluenza Ulusal Hazırlık Planı" çerçevesinde, Kurul önerileri dikkate alınarak COVID-19 pandemi yönetimi yapılmıştır. Ayrıca il düzeyinde oluşturulan İl Pandemi Kurulları tarafından yapılan değerlendirmeler ile COVID-19 önlemlerinin etkisi artırılmaya çalışılmıştır. Bununla birlikte, Türkiye'de COVID-19 tedavisi için geliştirilen ilaç, aşı ve tıbbi cihazların düzenlenmesi, izin verilmesi ve denetlenmesi faaliyetleri Türkiye İlaç ve Tıbbi Cihaz Kurumu'nun yetki ve sorumluluğu çerçevesindedir (T.C. Sağlık Bakanlığı, 2021b; T.C. Sağlık Bakanlığı, 2023a).

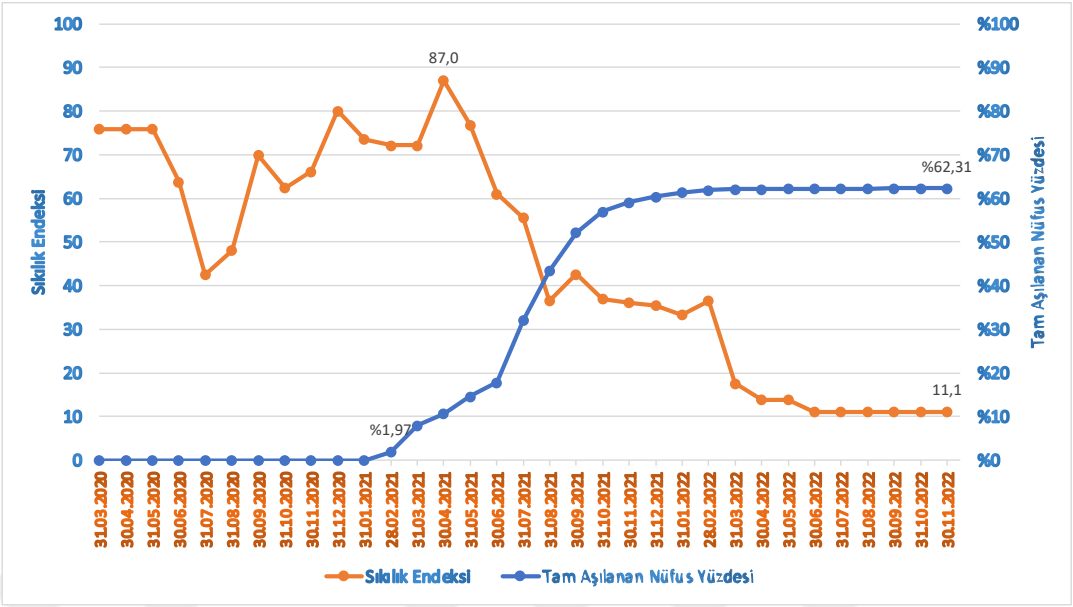
***COVID-19 Pandemi Sürecinin Genel Değerlendirmesi***

Türkiye'de doğrulanmış ilk COVID-19 vakası 11 Mart 2020 tarihinde İstanbul'da tespit edilmiş ve bildirilmiştir. DSÖ Avrupa Bölgesi'nde yer alan Türkiye'de 31.12.2022 tarihi itibarıyla milyon kişi başına vaka sayısı 198.259 ve milyon kişi başına ölüm sayısı 1.186 olarak hesaplanmıştır. Buna göre nüfus başına vaka ve ölüm sayısı Avrupa Bölgesi'nin (292.452 vaka ve 2.342 ölüm) altında, üst orta gelir grubunun ise (57.542 vaka ve 1.008 ölüm) üzerinde gerçekleşmiştir. Küresel nüfusun yaklaşık %1,07'sini oluşturan Türkiye'de ise tüm vakaların %2,56'sı ve tüm ölümlerin %1,51'i gerçekleşmiştir. Türkiye'de kümülatif vaka ölüm hızının %0,60 ile DSÖ Avrupa Bölgesi (%0,80) ve üst orta gelir grubu (%1,75) hızlarından düşük olduğu görülmektedir. Bu verilere göre bulaşıcılıkla mücadele açısından görece iyi durumda olmasa da, tedavi etkinliği açısından diğer ülkelere kıyasla daha iyi durumda olduğu söylenebilir. Ancak üç yıllık kümülatif verilerle birlikte, aylık vaka ve ölüm sayısını incelemek daha isabetli değerlendirmeler yapılmasına imkan sağlayacaktır. Bu çerçevede Türkiye'de Mart 2020'de başlayan pandemi sürecinin zaman boyutunda değerlendirilebilmesi için Our World in Data (2023)'deki günlük vaka ve ölüm verileri üzerinden üç yıllık zaman periyodunda aylık yeni vaka ve ölüm sayıları ile kümülatif vaka ölüm hızları hesaplanmış ve Şekil 2.38'de çizgi grafik olarak verilmiştir.




**Şekil 2.38:** Türkiye Cumhuriyeti'nde COVID-19 pandemisinin aylık seyri, Mart 2020-Aralık 2022. Kaynak: Çizim yazara aittir.

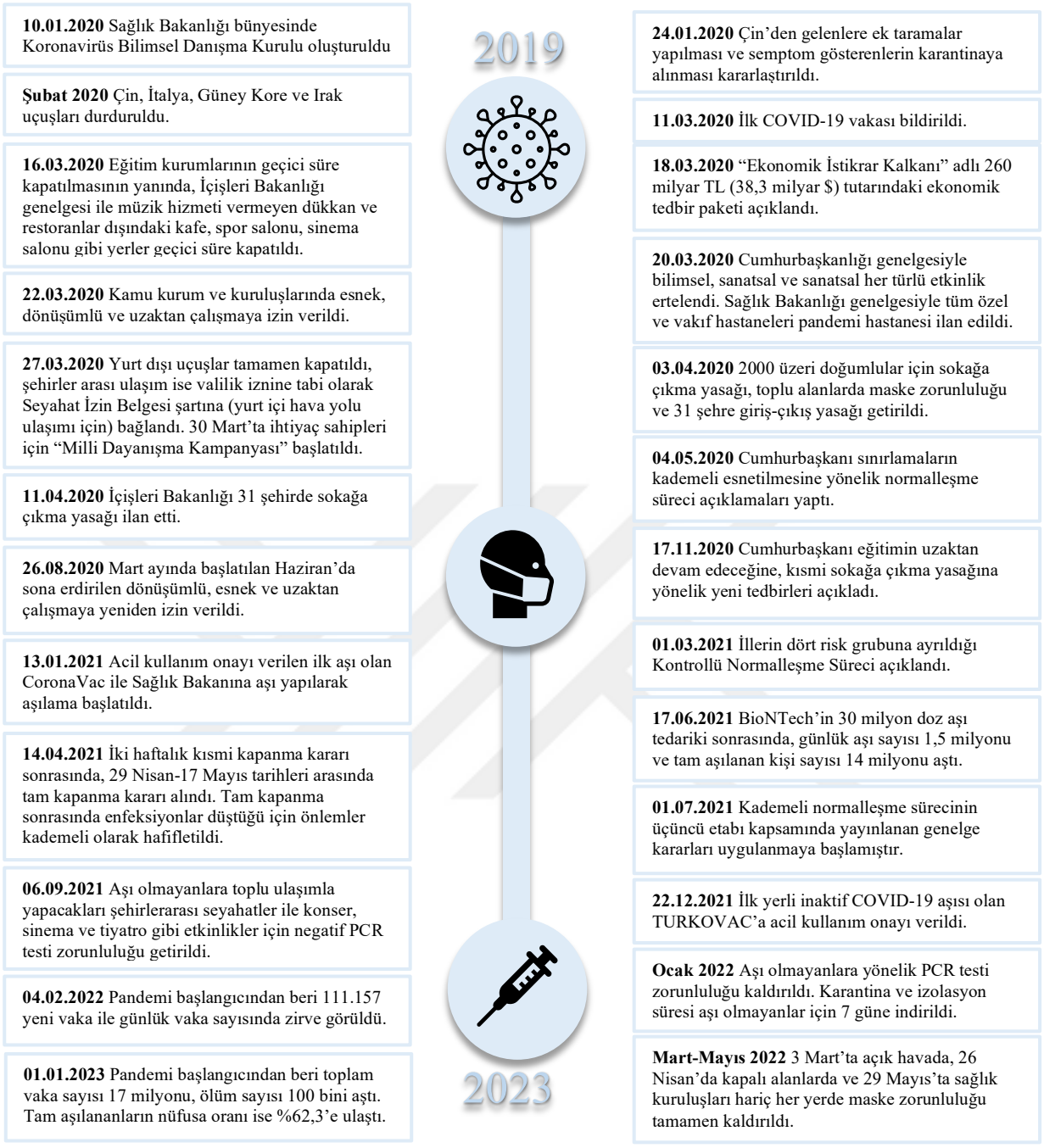
Şekil 2.38'e göre Türkiye'de kronolojik olarak Aralık 2020, Nisan 2021, Şubat 2022 ve Temmuz 2022 dönemlerinde aylık yeni vaka sayılarının pik yaptığı dört enfeksiyon dalgası görülmüştür. Milyon kişi başına yeni ölümler ise Aralık 2020 ve Nisan 2021'de zirve yapmıştır. Türkiye'de GISAID (2023) verilerine göre Aralık 2020'de görülen Alfa varyantı Ocak ayında tüm vakaların %59,45'ine ulaşmıştır. Mart 2021'den sonra artmaya başlayan Delta varyantı ise Aralık 2021'e kadar baskın varyant olmuştur. Ocak 2022'den itibaren tüm dünyada olduğu gibi Türkiye'de Omicron varyantı baskın hale gelmiş ve Şubat ayında milyon kişi başına yeni vaka sayısında zirve görülmesine yol açmıştır. İzleyen dönemlerde artan kişi başına yeni vakalara kıyasla yeni ölümlerin azalması vaka ölüm hızının kümülatif olarak azalmasını sağlamıştır. Ölümlerin azalmasında aşılama, antiviral ve diğer tedavi seçenekleri gibi ilaç müdahalelerinin kritik önemi vardır. Bu kapsamda Türkiye'de pandemi ile mücadele kapsamında uygulanan ilaç dışı müdahalelerin göstergesi olan ve Our World in Data (2023) veri setinde izlenen sıkılık endeksi değeri ile ilaç müdahalelerinin bir göstergesi olan en az iki doz aşı alanların nüfus içerisindeki kümülatif yüzde değerinin zaman boyutundaki değişimi Şekil 2.39'da çizgi grafik olarak verilmiştir.




**Şekil 2.39:** Türkiye Cumhuriyeti'nde sıkılık endeksinin ve tam aşılanan nüfusun aylık değişimi, Mart 2020-Kasım 2022.

Kaynak: Çizim yazara aittir.

Türkiye'de Ocak 2020'de Sağlık Bakanlığı bünyesinde Koronavirüs Bilim Kurulu oluşturulmuş ve pandeminin seyrine göre kurul kararları dikkate alınarak ilaç dışı müdahaleler uygulanmıştır. Şekil 2.39'da Mayıs 2020'den itibaren alınan sıkı tedbirlerin Temmuz 2020'ye kadar kademeli olarak gevşetildiği görülmektedir. Aralık 2020 ve Nisan 2021'de yeni vaka sayılarının zirve yapması ile ilaç dışı müdahaleler de maksimum düzeye ulaşmıştır. 13 Ocak'ta aşılamanın başlaması ve belirli bir seviyeye ulaşması ile Mayıs 2021'de ilaç dışı önlemler kademeli olarak azaltılmaya başlamıştır. Omicron varyantının baskınlığı ile birlikte Şubat 2022 ve Temmuz 2022'de yeni vaka sayılarında zirve görülmesine rağmen tam aşılamanın %60'ın üzerine ulaşması nedeniyle ilaç dışı müdahalelerin uygulanmasının tercih edilmediği anlaşılmaktadır. İlaç müdahaleleri kapsamında ise mevcut durumda yerli COVID-19 aşısı (TURKOVAC) geliştiren sayılı ülkelerden biri olan ve aşılamayı ücretsiz olarak uygulayan Türkiye'de aşılama toplumun önemli bir kısmına yapılsa da, Kasım 2022 verilerine göre DSÖ tarafından hedeflenen aşılama düzeyine ulaşılamadığı görülmektedir. Bu kapsamda grafik üzerindeki verilerin açıklamalarını teyit eden ve pandemi sürecinde Türkiye'de yaşanan gelişmeleri, epidemiyolojik veriler ve hükûmet müdahaleleri boyutları ile özetleyen COVID-19 zaman çizelgesine Şekil 2.40'da yer verilmiştir (T.C. İçişleri Bakanlığı, 2022; T.C. Sağlık Bakanlığı, 2021b; T.C. Sağlık Bakanlığı, 2022b; T.C. Sağlık Bakanlığı, 2023b; Wikipedia, 2022b; International Labour Organization, 2023; VOA, 2022).




**Şekil 2.40:** Türkiye Cumhuriyeti'nde COVID-19 zaman çizelgesi.

Şekil 2.40 incelendiğinde, Türkiye'de pandeminin ilk yılında hastalığın şiddetine göre çeşitli seviyelerde ilaç dışı müdahalelerin uygulanmasına yönelik politikaların uygulandığı görülmektedir. Bu kapsamda pandeminin seyrine göre pek çok müdahalede gevşeme veya sıkılaştırma söz konusu olmuştur. Mayıs 2021'den itibaren yeni vakalardaki artışa bakılmaksızın, aşılamanın artmasına paralel olarak ilaç dışı müdahalelerin kademeli olarak gevşetilmesi tercih edilmiştir. Mevcut durumda ilaç dışı müdahaleler önemli ölçüde kaldırılmış olup, aşılamanın yaygınlaştırılmasına yönelik çabalar sürmektedir. Dünya Bankası, Türkiye'de

COVID-19 ulusal aşılama programının yetkililer tarafından hızla uygulamaya konulduğunu belirtmiş ve 26 Haziran 2022 tarihinde "Türkiye'nin Acil Durum COVID-19 Sağlık Operasyonu "kapsamında aşı için yapmış olduğu 500 milyon $ değerindeki ek finansman başvurusunu onaylamıştır. Bu kapsamda Türkiye'de onaylanan dört aşıdan (CoronaVac, Pfizer-BioNTech, Sputnik V ve TURKOVAC) Sputnik V dışındaki üç aşı ile belirlenen hedef gruplara yönelik aşılama süreci devam etmektedir (World Bank, 2022b; T.C. Sağlık Bakanlığı, 2023b).

#### *2.3.2.9. Pandemi Hazırlık Süreçleri, Politika Farklılıkları ve Geleceğe Bakış*

*Pandemi Öncesi Hazırlık*

Sağlık sistemlerinin COVID-19 pandemisindeki başarısı genellikle kapasite farklılıklarıyla ilişkilidir. Bununla birlikte sağlık sisteminin kapasite fazlalığınına sahip olması tek başına yeterli değildir. Buna göre hastalığın bulaşıcılığının azaltılması ve tedavi hizmetlerinin korunmasını sağlaması yönüyle halk sağlığı önlemleri kritik öneme sahiptir (Sagan ve diğ., 2022). Bu kapsamda önceki salgınlardan alınan dersler çerçevesinde birçok ülke pandemi hazırlık planlarını oluşturmuştur. Bununla birlikte DSÖ, COVID-19 pandemisinden önce halk sağlığı acil durum hazırlığı (public health emergency preparedness, PHEP) için etkili bir çerçeve oluşturmak üzere çaba göstermiştir. Bu kapsamda DSÖ tarafından politika hedefleri ve öncelikleri oluşturmaya odaklanan ve ulusal düzeyde acil durum hazırlığı için güçlendirilmesi gereken temel kapasitelerin belirlendiği "Acil Durum Hazırlığı Stratejik Çerçevesi" oluşturulmuştur. Acil durumlara müdahale etmek için operasyonel hazırlık, dirençli sağlık sistemi, insan-hayvan-çevre kesişimli tek sağlık ve yekpare devlet, yekpare toplum yaklaşımı stratejik hedefler olarak belirlenmiştir. Bu hedefler doğrultusunda 'yönetim', 'kapasiteler' ve 'kaynaklar' olmak üzere üç alanda toplam 12 temel kapasite tanımlanmıştır. Bunlar (WHO, 2017b);

- Yönetim: 'Acil durum hazırlığını entegre eden politikalar ve mevzuat', 'Acil duruma hazırlık, müdahale ve kurtarma planları', 'Koordinasyon mekanizmaları'.
- Kapasiteler: 'Acil duruma hazırlık için öncelikleri belirlemek üzere risklerin ve kapasitelerin değerlendirilmesi', 'Gözetim, erken uyarı ve bilgi yönetim sistemleri', 'Acil durumlar için teşhis hizmetlerine erişim', 'Temel hizmetlerin, acil durum hizmetlerinin ve sağlık tesislerinin acil durum hazırlığı ve sürekliliği', 'Acil duruma hazırlık için tüm paydaşlarla risk iletişimi, 'Acil durum hazırlıklarını bilgilendirmek ve hızlandırmak için araştırma, geliştirme ve değerlendirme'.

- Kaynaklar: ‘Acil duruma hazırlık için mali kaynaklar ve acil durum müdahalesi için beklenmedik durum finansmanı’, ‘Acil durumlar için adanmış, eğitimli ve donanımlı insan kaynağı’ ve ‘Sağlık için lojistik mekanizmaları ve temel malzemeler’.

DSÖ oluşturduğu bu çerçeve ile ülkelerin PHEP unsurlarını tanımlamıştır. Bu çerçevenin kapsamı, sınırları aşan düzeyde yerel ve ulusal bulaşıcı hastalık salgınları, epidemi ve pandemi durumları, doğal, teknolojik ve toplumsal tehlikelerin neden olduğu diğer acil durumlar olarak belirlenmiştir. Acil duruma hazırlık için gereklilikleri özetleyen bu stratejik çerçevenin ulusal, alt ulusal, yerel ve toplum düzeyi olmak üzere her düzeyde çok sektörlü eylemlerle koordine edilmesi ve uygulanması gelecekteki krizlerin başarı ile ele alınabilmesi için gerekli olduğu belirtilmiştir (WHO, 2017b). Bu çerçeve dahilinde birçok ülke ulusal hazırlık planlarını COVID-19 pandemisi öncesinde hazırlamıştır. Pandemi öncesi ulusal plan hazırlama çalışmaları ele alınan ülkeler için aşağıda özetlenmiştir:

COVID-19 pandemisi öncesinde süreçlerin uluslararası planlaması açısından ele alınan ülkeler içerisinde en hazırlıklı olanlarından biri ABD’dir. ABD’de “Ulusal Pandemik İnfluenza Planı” ilk olarak 2005 yılında hazırlanmıştır. 2009 Influenza A(H1N1) pandemisi deneyimiyle güncellenen plan, 2017 yılında Ebola ve Zika salgınları müdahalesi sonrasında tekrar güncellendi. Bu stratejik planda DSÖ rehberliğinde ortaya konulan pandemi aşamaları temelinde federal hükûmetlerin, toplulukların ve diğer kamu ve özel sektör paydaşlarının rolleri ve sorumlulukları tanımlanmış ve operasyon planlarının sürekliliğini geliştirmek için hazırlıklar yapılmıştır (U.S. Department of Health and Human Services, 2017). Brezilya’da ise muhtemel bir influenza pandemisinin morbidite ve mortalite etkisini azaltmak ve zamanında planlama yaparak mevcut kaynakları optimize etmek amaçları doğrultusunda 2010 yılında “Ulusal İnfluenza Planı” ortaya konulmuştur. Bu planda DSÖ aşamaları temelinde ilgili kurum ve kuruluşların pandemi sürecindeki sorumlulukları ve yeterlilikleri ve ne yapacakları belirtilmiştir (Ministério da Saúde, 2010).

Çin Halk Cumhuriyeti’nde pandemik influenzaya yanıt verilebilmesi için 2005 yılında “Sağlık Bakanlığı Pandemik İnfluenza için Hazırlık Planı ve Acil Durum Planı” yayınlanmıştır. Bu planda pandemiye yanıt kapsamında yapılacaklar hazırlık aşaması, pandemi aşaması ve son aşama olmak üzere üç aşamada ele alınmıştır. Pandemi hazırlıkları, sürveyans, aşı hazırlıkları, ilaç hazırlıkları, tıbbi tedavi kurumu hazırlıkları, personel hazırlıkları, teknik hazırlıklar, finansman ve malzeme hazırlıklarını içermektedir (Ministry of Health Press Office, 2005). Hindistan’da ise küresel kuş gribi salgınlarının tehdidi ve bir insan pandemisi endişesi ile 2005

yılında ulusal bir eylem planı hazırlanmıştır. Bu eylem planları izleyen dönemlerde 2006, 2012, 2015 ve son olarak 2021 yılında pandeminin önlenmesi ve kontrolünde yol gösterebilmesi için güncellenmiştir. Güncel bilimsel çalışmalar ışığında düzenlenen 2021 yılı eylem planı eyaletlere hazırlık tavsiyeleri, şüpheli durumda alınması gereken önlemler, salgın sırasında yapılacaklar, operasyon sonrası gözetim planı, eğitim, hayvanat bahçeleri yönergeleri ve bölümlere ayrıma alt başlıkları ile tanımlanmıştır (Government of India, 2021).

Birleşik Krallık'ta 2009 Influenza A(H1N1) pandemisi deneyimi sonrasında bir pandemi durumunda taleplerini planlamak ve bunlara yanıt vermek için "İnfluenza Hazırlık Stratejisi 2011" hazırlanarak stratejik bir çerçeve oluşturulmuştur. Buna göre sürveyans ve modelleme, bulaşma riskinin azaltılması, antiviral ve antibiyotik stokları oluşturma, birinci basamak sağlık hizmetleri ve hastaneler üzerindeki baskıyı azaltma, gelişmiş satın alma sözleşmeleri, aşılama ve dalgalanma planlarını kapsayan çok yönlü ve kanıta dayalı yaklaşım ortaya konulmuştur. Yanıt verme stratejileri ise DSÖ'nün Uluslararası Öneme Sahip Halk Sağlığı Acil Durumu ilan etmesiyle başlayan *'tespit aşaması'*, ilk hastanın tanımlanması ile başlayan *'değerlendirme aşaması'*, pandeminin varışlarda kontrol altına alınmasının mümkün olmadığı durumlarda *'tedavi aşaması'*, toplum üzerinde daha geniş etkilerin görüldüğü *'tırmanma aşaması'* ve pandeminin pik yaptıktan sonra vaka sayısının düşmesiyle sunulan hizmet ölçeğinin küçültüldüğü *'iyileşme aşaması'* olarak beş aşamada tanımlanmıştır (Department of Health & Social Care, 2020).

Türkiye'de 2019 yılında Halk Sağlığı Genel Müdürlüğü tarafından "Pandemik İnfluenza Ulusal Hazırlık Planı" oluşturulmuştur. Bu planda DSÖ'nün belirlediği pandemi aşamalarna göre ulusal alarm düzeyleri oluşturulmuştur. Her bir alarm düzeyinde yapılması gerekenler planlama ve koordinasyon, durumun izlenmesi ve değerlendirilmesi, korunma ve kontrol, tıbbi uygulamalar ve iletişim başlıkları altında belirlenmiştir. Planda pandemi durumunda tüm kurum ve kuruluşların görev ve sorumlulukları birim düzeyinde detaylı olarak değerlendirilmiş ve ayrıca il hazırlıkları, ikinci ve üçüncü basamak sağlık kurumları hazırlıkları, toplu yaşam alanları içeren kurum/kuruluşların faaliyet planlarına yönelik kontrol listeleri oluşturulmuştur. Bununla birlikte çeşitli ilaç ve ilaç dışı müdahalelerin uygulanmasına yönelik bilgilere yer verilmiştir (T.C. Sağlık Bakanlığı, 2019).

Ülkelerin pandemiye hazırlıklarını değerlendirmek için çeşitli araçlar geliştirilmiştir. Bunlardan biri olan ve 2019'da oluşturulan Küresel Sağlık Güvenliği (Global Health Security, GHS) Endeksi ile önleme, tespit ve raporlama, hızlı müdahale, sağlık sistemi, uluslararası

normlara uyum ve risk çevresi olmak üzere altı kategoride 34 göstergeye dayalı olarak ülkelerin yeterlikleri ve hazırlıkları değerlendirilmiştir (Cameron ve diğ., 2019). Bunun yanı sıra Dünya Sağlık Örgütü 13 temel yeterlik üzerinden zamanın belirli bir noktasında elde edilen niteliklerin yüzdesini hesaplayarak ülkeler bazında Uluslararası Sağlık Düzenlemeleri Temel Yeterlik Skoru (Average of 13 International Health Regulations Core Capacity Scores, IHRCCS) ortalamasını elde etmiştir. Ülkelerin genel halk sağlığının bir göstergesi olarak kullanılan bu skor, (1) Ulusal mevzuat, politika ve finansman, (2) Koordinasyon ve ulusal temas noktası iletişimleri, (3) Gözetim, (4) Yanıt, (5) Hazırlık, (6) Risk iletişimi, (7) İnsan kaynakları, (8) Laboratuvar, (9) Giriş noktaları, (10) Zoonotik olaylar, (11) Gıda güvenliği, (12) Kimyasal olaylar, (13) Radyonükleer acil durumlar bileşenlerinden oluşmaktadır (WHO, 2023f).

Geçmiş pandemi deneyimleri incelenen ülkelerde acil durumlar için ulusal planlamalar yapılmasına zemin hazırlamıştır. Bu kapsamda pandemi gibi halk sağlığı durumları için DSÖ rehberliğinde hazırlanan dokümanlar temel alınmış ve pandemi durumunda hükûmetlerin nasıl müdahale edeceğine dair planlar oluşturulmuştur. OECD (2023a) tarafından yapılan araştırmada 23 ülkeden alınan yanıtlara göre ülkelerin %91'inin pandemi hazırlık planları olduğu ve bu planların %70 çoğunlukla DSÖ gereklilikleri olduğu için hazırlandığı görülmüştür. Ayrıca bu planlara en sık dahil edilen on kapasitenin test ve laboratuvar hazırlığı, gözetim ve raporlama, risk iletişimi, acil operasyonel hükûmet sistemi veya organizasyonu, aşı ve diğer ilaç stokları, Sağlık Bakanlığı dışındaki bakanlıkların rolü, bilgi ve veri altyapısının yönetimi, fiziksel mesafe önlemleri ve uygulaması, vaka izolasyon protokolü ve lojistiği, vaka incelemesi ve izlemi/takibi konuları olduğu bildirilmiştir. Bu planlar pandemi sırasında çok yönlü stratejinin işlemesi için temel olsa da, bazı ülkelerde COVID-19 gibi yeni bir hastalık için bu planların uygulanmasında çeşitli zorluklar görülmüş, planlamada ihmal edilen önemli eksiklikler (asemptomatik bulaşma vb.) fark edilmiş ve yeterince esnek planlar oluşturulmadığı bildirilmiştir. Bununla birlikte planlarda savunmasız gruplar ve gençler için psikolojik destek, kısıtlayıcı müdahalelerden etkilenen insanlar ve işletmeler için sosyal ve finansal destek, tedbirlerin katılımını sağlamak için sivil toplum katılımı ve müdahalelerde mahremiyet veya etik gibi konular hakkında stratejiler ortaya konulmadığı ve bu nedenle planların eksik görüldüğü ifade edilmiştir. Planlamanın eksik yönleri de kapsayacak şekilde yapılması önemli olmakla birlikte, bir pandemi durumunda hazırlıklı olmanın yanında önlemleri zamanında uygulayabilmekte kritik düzeyde önemlidir. Özellikle GHS endeksine göre en yüksek skoru alan ve planlama yönünden en hazırlıklı ülkelerden biri olan Amerika Birleşik Devletleri'nin COVID-19'dan morbidite ve mortalite yönüyle en çok etkilenen ülkelerden biri olması

önlemlerin zamanında proaktif yaklaşımla uygulanmasının önemini açıkça ortaya koymaktadır (OECD, 2023a).

*Politika Farklılıkları ve Geleceğe Bakış*

Pandemi ile mücadele sürecinde ülkeler arası politika farklılıklarını ortaya koymak için seçili ülkelerin epidemiyolojik verileri değerlendirilmiş ve uygulanan politika müdahaleleri zaman çizelgesinde özetlenmiştir. Bu kapsamda mevcut sağlık sistemi unsurları, uluslararası kuruluşların destekleri ve diğer olanaklar ölçüsünde ülkelerin farklı düzeylerde ilaç ve ilaç dışı müdahaleleri uyguladığı görülmektedir. Buna göre ele alınan ülkeler temelinde hazırlık süreçleri, politika farklılıkları ve sağlık düzeyi çıktıları hakkında genel bir değerlendirme ve karşılaştırma yapılabilmesi için mücadele sürecinde etkili olan seçili göstergelere ilişkin veriler Tablo 2.12'de verilmiştir (World Bank, 2023b; WHO, 2023d; WHO, 2023e; OECD, 2023b).

**Tablo 2.12:** Seçili ülkelerin COVID-19 pandemisine ilişkin verilerinin karşılaştırması.

| ***Ülkeler/ Göstergeler*** | **Çin** | **ABD** | **Hindistan** | **Birleşik Krallık** | **Brezilya** | **Türkiye** |
|---|---|---|---|---|---|---|
| *Kişi başına GSYİH ($) / 2021* | 12.556 | 70.249 | 2.257 | 46.510 | 7.507 | 9.661 |
| *Nüfus yoğunluğu (km² başına nüfus) / 2020* | 150 | 36 | 470 | 277 | 26 | 109 |
| *65 yaş ve üzeri nüfus (%) / 2019* | 12,02 | 15,79 | 6,47 | 18,53 | 9 | 7,95 |
| *GSYİH'den sağlığa ayrılan pay (%) / 2020* | 5,59 | 18,82 | 2,96 | 11,98 | 10,31 | 4,62 |
| *Kişi başı sağlık harcaması ($) / 2020* | 583 | 11.702 | 57 | 4.927 | 701 | 395 |
| *Kamu sağlık harcaması (%) / 2020* | 54,80 | 56,77 | 36,65 | 83,70 | 44,75 | 78,85 |
| *Cepten harcama / 2020 (Sağlık harcaması %)* | 34,79 | 9,89 | 50,59 | 13,60 | 22,39 | 16,43 |
| *Hekim sayısı (1000 kişi başına) / 2020* | 1,98 | 2,6 | 0,9 | 5,8 | 2,3 | 1,8 |
| *Yatak sayısı (1000 kişi başına) / 2020* | 4,34 | 2,8 | 0,5 | 2,5 | 2,2 | 2,8 |
| *Hastane yatağı - kamu (%) / 2020* | 72,46 | 21,56 | 37,59 | 94,12 | 63,55 | 77,21 |
| *Küresel sağlık güvenliği endeks skoru (2019)* | 49 | 76 | 43 | 68 | 51 | 49 |
| *Ortalama sıkılık endeksi (üç yıl ort.2019-2022)* | 71,63 | 49,06 | 59,97 | 44,19 | 50,88 | 44,70 |
| *Bin kişi başına test/2022 Haziran veya en yakın* | 6.462 | 2.709 | 610 | 7.480 | 331 | 1.925 |
| *Tam aşılanan nüfus (%) / 31.12.2022* | 89,5 | 67,78 | 67,12 | 75,19 | 81,22 | 62,31 |
| *Milyon kişi başına vaka / 31.12.2022* | 1.372 | 297.913 | 31.527 | 357.509 | 168.737 | 198.259 |
| *Milyon kişi başına ölüm / 31.12.2022* | 4 | 3.231 | 374 | 3.198 | 3.223 | 1.186 |
| *Kümülatif vaka ölüm hızı (%) / 31.12.2022* | 0,27 | 1,08 | 1,19 | 0,89 | 1,91 | 0,60 |

Tablo 2.12'ye göre ekonomik gelişmişlik ve sağlık harcamaları açısından ABD ve Birleşik Krallık en yüksek değere sahip ülkeler olsa da, sağlık kaynakları ve sağlık işgücü açısından ABD'nin gelişmiş ülkeler ortalamasının altında olduğu bilinmektedir. Birleşik Krallık sağlık işgücü açısından, Çin ise hastane yatağı sayısı bakımından karşılaştırma grubunda en yüksek değere sahip ülkeler olmuştur. Sağlık harcamalarında kamunun payının en baskın olduğu ülkeler Birleşik Krallık ve Türkiye, cepten harcamaların payının en baskın olduğu ülkeler ise sırasıyla Hindistan, Çin ve Brezilya'dır. Hizmet sunumu yönüyle ise sırasıyla Birleşik Krallık, Türkiye ve Çin'de kamunun baskın olduğu görülmektedir. Küresel sağlık güvenliği endeksi skorları esas alındığında pandemiye en hazırlıklı ülkelerden biri olan ABD'nin aynı zamanda nüfus yoğunluğu gibi bulaşıcılığı etkileyebilecek bir kriter yönüyle diğer ülkelerden avantajlı durumda olduğu anlaşılmaktadır. ABD ve ABD'den sonra karşılaştırma grubu içinde en yüksek küresel sağlık güvenliği endeksi skoruna sahip olan Birleşik Krallık, milyon kişi başına vaka sayısı açısından en yüksek değere sahip ülkeler olmuştur. Bulaşıcılığın kontrolündeki etkinliğin önemli bir göstergesi olan milyon kişi başına vaka sayısının en önemli belirleyicilerinden biri ilaç dışı müdahalelerin uygulanma düzeyini yansıtan sıkılık endeksidir. Sıkılık endeksi değeri incelendiğinde sırasıyla Birleşik Krallık, Türkiye, ABD ve Brezilya en düşük değere sahip ülkeler olmuştur. Bu ülkeler içerisinde özellikle ABD, Brezilya ve Birleşik Krallık'ta milyon kişi başına ölüm sayısı benzer şekilde yüksek düzeyde görülmüştür. En az iki doz aşı almış nüfusun yüzdesi incelendiğinde ise Çin, Brezilya ve Birleşik Krallık en yüksek aşılamanın yapıldığı ülkeler olmuştur. Yüksek aşılamaya rağmen Brezilya karşılaştırma grubu içerisinde vaka ölüm hızı açısından en yüksek değere sahip ülke olmuştur. Hizmet sunumunda kamunun baskın olduğu Çin, Türkiye ve Birleşik Krallık'ta ise tedavi etkinliğinin önemli bir göstergesi olan vaka ölüm hızının en düşük düzeyde olduğu görülmektedir. Bu ülkelerin ortak özelliklerinden biri ise kişi başına uygulanan test sayısının görece yüksek düzeyde olmasıdır. Bu veriler ışığında ilaç dışı müdahalelerin pandemi başlangıcından beri üst düzeyde uygulandığı sıfır COVID stratejisini benimseyen Çin Halk Cumhuriyeti hükûmetinin aşılama konusunda da istenilen düzeye ulaşması ile karşılaştırma grubu ülkelerin sağlık düzeyi çıktılarına göre pandemi ile başarılı şekilde mücadele ettiği söylenebilir. Sağlık kaynaklarının yetersiz ve nüfus yoğunluğunun yüksek olduğu Hindistan'da ise mevcut imkanlara uygun şekilde daha sıkı ilaç dışı müdahale önlemleri uygulandığı ve bu sayede bulaşıcılıkla mücadele açısından küresel düzeyde nispeten daha iyi sonuçlar alındığı görülmektedir. Sağlık kaynakları açısından dünya ortalamasına yakın bir değere sahip olan, sağlık harcamaları ve hizmet sunumu kamu ağırlıklı olan Türkiye'de ise vaka ölüm hızı tedavi

etkinliği göstergesi olarak ele alındığında karşılaştırma grubu ülkeler içerisinde görece başarılı olduğu söylenebilir.

COVID-19 ile mücadelede Çin Halk Cumhuriyeti'nin yanı sıra Avustralya, Yeni Zelanda ve Singapur gibi sınırlarını daha kolay kapatabilen ülkeler üst düzey baskı ve kontrol gerektiren sıfır COVID politikasını uygulamayı tercih etmiştir. Özellikle ilaç tedavisinin sınırlı olduğu dönemlerde pandeminin yol açacağı olumsuz etkilerden kaçınmayı ve eğriyi düzleştirerek sıfır vakayı hedefleyen bu politika başlangıçta hem insan hayatının kurtarılması açısından hem de ekonomik açıdan bulaşıcılığı önlemede en başarılı strateji olarak görülmüştür. Ancak bu stratejinin uzun vadeli uygulanması bulaşıcılığı sınırlama açısından başarı sağlamakla birlikte ekonomik olarak oldukça ağır bir yük getirmektedir (Jecker ve Au, 2022; Su ve diğ., 2022). Bu kapsamda tecrit (kilitleme) stratejisi ile 4T stratejisini (test, izleme, takip, tedavi ve izolasyon) karşılaştıran bir ekonomik-epidemiyolojik modelleme çalışmasında, yüksek riskli hedef grupları kısıtlayarak küçük salgınları kontrol altına almayı amaçlayan agresif ancak başarılı kontrol altına alma stratejilerinin eğriyi düzleştirmede tüm bir nüfusu kısıtlamaya göre daha etkili olduğu ve GSYİH üzerindeki etkilerinin daha az olduğu öne sürülmüştür (OECD, 2023a; Aum ve diğ., 2021).

Genel olarak eliminasyon (sıfır COVID) stratejisi ile hafifletme stratejisi COVID-19 ile mücadelede tercih edilen iki strateji olmuştur. Sınırlarını kolay kapatabilen Pasifik kıyısındaki ülkeler eliminasyon stratejisini benimserken, ABD ve birçok Avrupa ülkesi hafifletme stratejisini uygulamayı tercih etmiştir. Yapılan bazı çalışmalarda eliminasyon stratejisini benimseyen ülkelerde COVID-19 ölüm oranlarının çok daha düşük olduğu bulgulanmış ve bu sonuca bağlı olarak eliminasyon stratejinin refahı en üst düzeye çıkarmanın en iyi yolu olduğu belirtilmiştir (Oliu-Barton ve diğ., 2021). Bu yönüyle eliminasyon stratejisi COVID-19'a bağlı ölümleri büyük ölçüde önlemekle birlikte, ev içi şiddet, depresyona bağlı intihar ve uyuşturucuya bağlı ölümlere ve gelişmekte olan ülkelerde yoksulluk içinde yaşayan vatandaşların hayatta kalması için çalışma gerekliliklerini karşılayamamasına yol açması gibi olumsuz etkileri bu stratejiye muhalif bir kesimi oluşturmuştur (Jecker ve Au, 2022).

Hafifletme stratejileri nispeten ılımlı ilaç dışı müdahale önlemleri ile enfeksiyon sayılarını kontrol edilebilir düzeyde tutmayı amaçlamaktadır. Ülkelerin büyük çoğunluğunun tercih ettiği bu stratejide mortalite ve morbidite verileri yakından izlenmekte ve enfeksiyonların sağlık hizmetlerinin kapasitesini aşmaya başlaması ile birlikte tecrit uygulamasına geçilmesi tercih edilmektedir. Bu iki stratejiye ilave olarak toplumsal yaşamı büyük ölçüde normal

şartlarda sürdüren, yalnızca risk gruplarının sağlık ve yaşam haklarına müdahale eden, yüksek vaka ve ölüm sayısını ve tekrarlayan pandemi riskini kabul eden sürü bağışıklığı stratejisi de sınırlı sayıda ülke tarafından uygulanmıştır (Lu ve diğ., 2021). Ancak hastalıkların yok edilmesine veya ortadan kaldırılmasına yol açan klasik sürü bağışıklığı COVID-19 hastalığı için neredeyse kesinlikle ulaşılamaz bir hedef olarak ifade edilmiştir. Bunun temel gerekçeleri ise enfeksiyon veya aşının SARS-CoV-2'ye karşı uzun süreli koruma sağlamaması ve yeni varyant döngülerinin ortaya çıkmasıdır (Morens ve diğ., 2022). Planlı bir şekilde sürü bağışıklığı stratejisini uygulayan gelişmiş ülkelerden biri olan İsveç'te elde edilen olumsuz sonuçlar COVID-19 ile mücadelede sürü bağışıklığı stratejinin işe yaramadığını göstermiştir. Benzer şekilde pandeminin ilk yılında sürü bağışıklığını kısa bir süre uygulayan İngiliz hükûmeti ani karar değişikliği ile tecrit uygulamaya karar vermiş ve bu politik kararsızlığın yol açtığı başarısızlık daha sonra soruşturmalara konu olmuştur (Jung ve diğ., 2020).

Sonuç olarak hem kesitsel hem de zaman grafiğinde incelenen veriler ve kronolojik gelişmeler ülkelerin pandemiye hazırlıklarında planlama süreçlerinin önemi yanında, uygulamada yönetsel kararlılık, toplumsal katılım ve uzlaşı, zamanında ve etkili kriz iletişimi, çok sektörlü eylem koordinasyonu ve hızlı yanıt verebilme gibi mücadele sürecinin birçok önemli dinamiğinin başarılı bir müdahale için kritik öneme sahip olduğunu göstermiştir. Bununla birlikte pandemi ile mücadele sürecinde yaygın olarak tercih edilen hafifletme stratejisi ile eliminasyon stratejisinin farklı durumlar için avantajlı ya da dezavantajlı olabildiği görülmüştür. İlaç ve ilaç dışı müdahalelerin farklı düzeyde uygulanmasını içeren bu stratejilerin kullanımı ülkelerin kendine özgü çeşitli dinamiklerine göre başarı veya başarısızlıkla sonuçlanmıştır. Ayrıca yapılan genel değerlendirmede küresel olarak görülen yüksek vaka ve ölüm sayıları dünyanın pandemi gibi krizlere henüz yeterli düzeyde hazır olmadığını göstermektedir. Bu çerçevede gelecekte halk sağlığı acil durumlarına hazırlık yapılabilmesi için COVID-19 pandemisi ile mücadele sürecinde elde edilen farklı deneyimler temelinde gerek küresel gerekse ülkeler düzeyinde değerlendirmeler yapılmalı ve bu değerlendirmeleri temel alan çıkarımlar yapılması gereklidir. OECD (2023a) geleceğe hazırlık kapsamında COVID-19 pandemisinden alınacak temel dersleri dört alanda Şekil 2.41'deki gibi özetlemiştir.




**Şekil 2.41:** COVID-19 pandemisinden alınacak temel dersler.

Şekil 2.41'de verilen dört alandaki temel çıkarımlar gelecekteki halk sağlığı krizlerine daha dirençli ve etkili hazırlık yapılması ve müdahale edilebilmesi için ulusal ve alt-ulusal düzeyde temel kapasitelere yatırım yapılması gerektiğini ve eyleme geçilmesi ihtiyacını vurgulamaktadır. Son olarak sağlık sistemlerinin pandemi gibi şoklara karşı yanıt verme kabiliyetini güçlendirmek için gelişmiş önleyici bakım, aşılama programları gibi kitlesel nüfus programları, yeterli temel ekipman, iyi düzenlenmiş sağlık bilgileri, yeterli sayıda sağlık ve uzun süreli bakım uzmanı ve tıbbi rezerv gibi hedefli yatırımların planlanması hem mevcut pandeminin yeni dalgalarına hem de ortaya çıkabilecek yeni şoklara karşı sağlık sisteminin dayanıklılığını güçlendirmesi açısında gerekli ve önemlidir (OECD, 2023a).

## 2.4. VERİ ZARFLAMA ANALİZİ

Performans değerlendirmenin önemli bir boyutu olan etkinlik kavramı ve alt türleri sağlık sistemlerinin etkinliği başlığında ele alınmış ve performansın bileşenlerinden biri olarak açıklanmıştır. Buna göre karar verme birimleri (KVB) olarak ifade edilen karşılaştırma yapılacak sistemlerin kullandıkları kaynaklar (girdiler) ile ürettiği mal ve hizmet bileşiminden oluşan çıktıların birlikte değerlendirilmesine imkân sağlayan çeşitli etkinlik ölçütleri geliştirilmiştir. Tanımlanan bu etkinlik türlerinin ölçülebilmesi için belirli bir sistemin etkinliğinin mutlak etkinlik standardı ile kıyaslanması gerekmektedir. Bu kapsamda bir sistemin etkinlik düzeyinin ölçülmesi ve değerlendirilmesi için en kritik nokta mutlak etkinlik standardının belirlenmesidir. Üretim fonksiyonu olarak da bilinen bu standart iki ayrı yolla belirlenebilmektedir. Bunlardan ilki etkinlik sınırının mühendislik uygulamalarında kullanılan teorik fonksiyonun türetilmesiyle belirlenmesidir. Teorik olarak bu yolun kullanılması beklenen bir durum olmasına rağmen, karmaşık organizasyonlarda teorik hedeflerin ortaya konulması oldukça güçtür. Bu durumlarda ikinci yol olarak mevcut uygulamalar içerisinden en iyi uygulamalarla etkinlik sınırının belirlenmesi ve kıyaslamanın yapılması uygun olacaktır. Buna göre mutlak etkinlik standardının belirlenmesinde sınır yaklaşımı başlığı altında üretim sınırını temsil eden üretim fonksiyonunun analitik olarak ifade edilmeye çalışıldığı parametrik yaklaşımlar ile üretim teknolojisi için sonlu sayıda parametresi olan ve fonksiyonel formu belirlenmiş parametrik olmayan yaklaşımlar olmak üzere iki farklı yaklaşım kullanılmaktadır (Tarım, 2001). İki farklı yaklaşım da sınır fonksiyonunu tahmin etmeyi amaçlamakta ve sınırın üzerinde yer alan karar birimlerinin etkin olduğunu varsaymaktadır (Erpolat, 2011: 46).

KVB'lerin etkinliklerinin parametrik yaklaşım ile belirlenmesinde Stokastik Sınır Analizi, Serbest Dağılım Yaklaşımı ve Kalın Sınır Yaklaşımı gibi çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Karmaşık organizasyonlar için parametrik yöntemleri uygulamada yaşanılan güçlükler nedeniyle alternatif olarak geliştirilen ve matematiksel programlamayı çözüm tekniği olarak ele alan parametrik olmayan yöntemler tercih edilmektedir. Üretim fonksiyonunun arkasında herhangi bir analitik form varlığını öngörmeyen ve bu sayede esneklik sağlayan parametresiz yöntemlerden en sık kullanılanı ise Veri Zarflama Analizi'dir (VZA). Bu tezde sağlık sistemlerinin etkinliklerinin değerlendirilmesinde VZA kullanılacağı için araştırmanın çerçevesi gözetilerek bu bölümde yer verilmiştir.

### 2.4.1. Veri Zarflama Analizi'nin Kavramsal Çerçevesi

Veri Zarflama Analizi'nde değerlendirme yapılacak tüm KVB'lerinin etkinliklerini ölçmede kullanılan etkinlik sınırı tüm gözlemleri kuşatan ve örten bir şekle sahip olduğundan, gözlemlerin analizde belirlenen sınır içerisinde kalması durumu "zarflama" tabiri ile ifade edilmiş ve yöntem bu şekilde adlandırılmıştır (Cooper ve diğ., 2006). Literatürde VZA için farklı özelliklerini esas alarak yapılan birçok tanımlama bulunmaktadır. Bu tanımlamalardan birkaçı aşağıda verilmiştir.

- VZA'nın ilk modelinin ortaya konulduğu çalışmada Charnes ve diğ. (1978) VZA'yı "*modern ekonominin mihenk taşı olan üretim fonksiyonu ve/veya etkin üretim imkanları yüzeyleri gibi uç ilişkilerin deneysel tahmininde yeni bir yol sağlayan gözlem verilerine uygulanan bir matematiksel programlama modeli*" olarak tanımlamıştır.
- Sherman ve Zhu (2006) VZA'yı "*en iyi uygulama gruplarını oluşturmak ve en iyi uygulama gruplarıyla kıyaslandığında hangi birimlerin etkin olmadığını ve bu etkinsizliğin büyüklüğünü belirlemek için kullanılan niceliksel bir teknik*" olarak tanımlamıştır.
- Cooper ve diğ. (2011) tarafından VZA "*birden çok girdiyi birden çok çıktıya dönüştüren Karar Verme Birimleri (KVB'ler) adı verilen bir dizi eş varlığın performansını değerlendirmek için kullanılan görece yeni bir veri odaklı yaklaşım*" olarak tanımlanmıştır.

Bu tanımlamalardan anlaşıldığı üzere VZA, etkinlik ölçümü üzerine yapılan farklı çalışmaları temel alarak geliştirilmiştir. Buna göre etkinlik ile ilgili kavramsal tanımlamaların başladığı Koopmans (1951) ve Debreu (1951) tarafından yapılan çalışmalar önemli bir temeldir. Koopmans (1951) teknik etkinlik tanımı ile etkinlik sınırını vurgulamıştır. Debreu (1951) ise bir bütün olarak ekonominin teknik etkinliğini ölçmede kaynak kullanım katsayısını tanımlamıştır. Buna göre katsayının 1 değerini alması ekonominin optimum noktada olduğunu, 1'den herhangi bir sapma olması ise kaynakların etkin kullanılmadığını ve dolayısıyla toplumsal bir kaybın olduğunu göstermektedir (Ray, 2004: 2). Modern anlamda etkinliğin ele alınması Farrell'ın (1957) gözlenen çıktıların üretimiyle uygun biçimde tüm girdilerde maksimum radyal azalışın ölçüsü olarak teknik etkinlik endeksini geliştirmesiyle olmuştur. Tüm bu çalışmaları temel alan Charnes ve diğ. (1978) ise Farrell'ın tek çıktı ile girdileri oranlayan teknik etkinlik ölçümünü çoklu girdi ve çıktı olması halinde ölçmeyi mümkün kılacak VZA'yı geliştirmiştir (Yolalan, 1993: 27). Bu çalışma ile klasik VZA yöntemlerinden

biri olarak bilinen CCR (Charnes, Cooper ve Rhodes) modeli ortaya çıkmıştır (Charnes ve diğ., 2013: 3-4).

Charnes ve diğ. (1978) tarafından ortaya konulan ilk VZA modeli ile ölçeğe göre sabit getiri varsayımı (constant returns to scale-CRS) altında etkinlik ölçümü yapılmıştır. Bu çalışmada oransal form tanıtılmıştır. Bu çalışmadan sonra Banker ve diğ. (1984) tarafından ölçek etkinlik kavramının açıklandığı çalışma ile klasik VZA modellerinden biri olan BCC (Banker, Charnes ve Cooper) modeli ortaya konulmuştur. Bu model ölçeğe göre değişken getiri yaklaşımını (variable returns to scale-VRS) esas aldığı için toplam, teknik ve ölçek etkinlik olmak üzere üç ayrı etkinlik skorunun hesaplanması mümkün hale gelmiştir. VZA'nın iki temel modeli olan CCR ve BCC modelleri dışında zaman içerisinde farklı amaçlara yönelik gelişmiş VZA modelleri tanıtılmıştır. Bunlardan bazıları amaçları ile şu şekilde özetlenebilir (Lotfi ve diğ., 2020b; Ozcan, 2014).

- VZA'nın temel modellerinde etkin olarak bulunan KVB'lerin kendi aralarında karşılaştırılamaz olması nedeniyle etkin birimler arasında daha fazla ayrım yapılmasını sağlamak ve süper etkinlik değerlendirmesi yapmak amacıyla geliştirilen Anderson ve Peterson modeli, MAJ süper etkinlik modeli ve Norm L1 süper etkinlik modeli,
- VZA modelinde girdi fiyat bilgileri ile farklı senaryoları dikkate alarak hesaplamanın yapıldığı maliyet etkinlik modeli,
- Değerlendirilen KVB'lerin gelir etkinlik skorunu elde edebilmek için geliştirilen gelir etkinliği modeli,
- Etkinlikteki değişimlerin zaman varyasyonu ile ölçülebilmesini sağlamak üzere geliştirilen Malmquist Verimlilik Endeksi,
- Her bir girdi veya çıktının aylak değerlerinin ayrıca dikkate alınmasını sağlamak üzere geliştirilen radyal olmayan etkinlik modeli olarak da bilinen aylak tabanlı ölçüm modeli,
- Tek aşamalı üretim sisteminden karmaşık bir yapıya sahip olan ve üretim sistemi alt süreçlere ayrıştırılabilen KVB'lerin ara çıktılarının dikkate alınarak etkinlik ölçümünün yapılabilmesi için geliştirilen Network VZA modeli,
- Bir veya daha fazla girdideki azalmanın bir veya daha fazla çıktıda artışa neden olduğu bir durumda mevcut tıkanıklığı önlemeye yönelik geliştirilen tıkanıklık modeli,

- İstenmeyen girdi veya istenmeyen çıktı olması durumunda etkinlik değerlendirmesini farklı yaklaşımlarla gerçekleştiren VZA modelleri gibi pek çok ileri VZA modeli geliştirilmiştir. Bunlara ilave olarak literatürde geliştirilen çok sayıda VZA modelinin bulunması nedeniyle bu bölümün kapsamı temel VZA modelleri ile araştırmanın yönteminde kullanılacak olan istenmeyen girdi veya istenmeyen çıktı modelleri ile sınırlandırılmıştır.

### 2.4.2. Veri Zarflama Analizi Temel Modelleri

Veri Zarflama Analizi'nin temel modellerinin odak noktası, bir KVB'nin etkinliğini ürettikleri mal ya da hizmet bakımından birbirlerine benzer KVB'lere göre ölçmek için "en iyi uygulama" sınırını tahmin etmektir. VZA'da karar birimlerinin göreli etkinliğinin ölçülmesinde parametrik olmayan metodoloji kullanılmaktadır (Cooper ve diğ., 2011; Yolalan, 1993). Genel olarak parametrik yöntemler ekonometrik yaklaşımlarına, parametrik olmayan yöntemler ise matematiksel programlamaya dayanmaktadır. Matematiksel programlama, kıt kaynakların alternatif kullanımları arasından belirlenen amaç fonksiyonu (maksimizasyon ya da minimizasyon) doğrultusunda en uygun çözümün elde edilebilmesi için mevcut bileşenlerin matematiksel olarak formüle edilmesidir. VZA'nın çözümleme aşamasında matematiksel programlama kullanılmaktadır (Luptacik, 2010). Bu bölümde VZA'nın temel modelleri olarak bilinen Charnes ve diğ. (1978) tarafından geliştirilen CCR modeli ile Banker ve diğ. (1984) tarafından ölçeğe göre değişken getirinin (VRS) ele alındığı BCC modelinin matematiksel formu ve grafiksel gösterimine yer verilecektir.

#### *2.4.2.1. CCR (Charnes-Cooper- Rhodes) Modeli*

Charnes ve diğ. (1978) tarafından geliştirilen ilk VZA modeli yazar soyadlarının baş harf kısaltılması ile "CCR modeli" olarak bilinmektedir. Bu modelde ölçeğe göre sabit getiri varsayımı altında etkinlik ölçümü yapıldığı için bazı kaynaklarda "CRS modeli" olarak da geçmektedir. Bu çalışmada geliştirilen ilk VZA modeli girdi yönelimli olarak tanımlanmıştır. Buna göre herhangi bir KVB'nin etkinlik ölçümü tüm karar birimlerinin benzer oranları 1'e eşit veya 1'den az olduğu kısıtları altında ağırlıklı çıktıların ağırlıklı girdilere oranının maksimizasyonu ile elde edilir. Oransal form olarak bilinen CCR modelinin bu ilk formunda, modelin çözümlenmesinde yaşanan sorunlar nedeniyle amaç fonksiyonunda yer alan payda 1'e eşitlenerek bir kısıt olarak yazılmış ve bu sayede doğrusal programlama problemi haline dönüştürülmüştür. Bunun akabinde doğrusal programlama ile verilen modelin hem çözümünü kolaylaştırmak hem de farklı yorumlar yapılmasına imkan tanımak için zarflama modeli

geliştirilmiştir. Bununla birlikte geliştirilen ilk girdi yönelimli CCR modeli KVB'lerinin belirli bir çıktı seviyesini minimum sayıda girdi ile elde etmesine odaklanmaktadır. Girdiye müdahalenin sınırlı olduğu durumlarda ise KVB'lerin belirli bir girdi seviyesiyle maksimum çıktı üretmesine odaklanan çıktı yönelimli model kullanılmaktadır. Bu kapsamda CCR modelinin girdi ve çıktı yönelimli olarak geliştirilen oransal, zarflama ve çarpan formlarının matematiksel gösterimi Tablo 2.13'te verilmiştir (Zhu, 2014: 21; Cooper ve diğ., 2011: 8-13).

**Tablo 2.13:** Girdi ve çıktı yönelimli CCR modellerinin matematiksel gösterimi.

| Model Türü | Girdi Yönelimli Model | Çıktı Yönelimli Model |
|---|---|---|
| **CCR Oransal Model** | $\text{maks}\, h_o(\mu,v) = \frac{\sum_{r=1}^{s} \mu_r y_{ro}}{\sum_{i=1}^{m} v_i x_{io}}$<br>Kısıtlar;<br>$\frac{\sum_{r=1}^{s} \mu_r y_{rj}}{\sum_{i=1}^{m} v_i x_{ij}} \leq 1$ ; $j = 1,\ldots, n,$<br>$\mu_r, v_i \geq \varepsilon > 0$ ; $r = 1,\ldots, s$ ; $i = 1,\ldots, m.$ | $\text{min}\, h_o(\mu,v) = \frac{\sum_{i=1}^{m} v_i x_{io}}{\sum_{r=1}^{s} \mu_r y_{ro}}$<br>Kısıtlar;<br>$\frac{\sum_{i=1}^{m} v_i x_{ij}}{\sum_{r=1}^{s} \mu_r y_{rj}} \geq 1$ ; $j = 1,\ldots, n,$<br>$\mu_r, v_i \geq \varepsilon > 0$ ; $r = 1,\ldots, s$ ; $i = 1,\ldots, m.$ |
| **CCR Zarflama Modeli** | $\text{min}\theta - \varepsilon\left(\sum_{i=1}^{m} s_i^- + \sum_{r=1}^{s} s_r^+\right)$<br>Kısıtlar;<br>$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j x_{ij} + s_i^- = \theta x_{io}$ $i = 1,2,\ldots, m;$<br>$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j y_{rj} - s_r^+ = y_{ro}$ $r = 1,2,\ldots, s;$<br>$\lambda_j \geq 0$ $j = 1,2,\ldots, n.$ | $\text{maks}\phi + \varepsilon\left(\sum_{i=1}^{m} s_i^- + \sum_{r=1}^{s} s_r^+\right)$<br>Kısıtlar;<br>$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j x_{ij} + s_i^- = x_{io}$ $i = 1,2,\ldots, m;$<br>$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j y_{rj} - s_r^+ = \phi y_{ro}$ $r = 1,2,\ldots, s;$<br>$\lambda_j \geq 0$ $j = 1,2,\ldots, n.$ |
| **Etkinlik Hedefi** | $\hat{x}_{io} = \theta^* x_{io} - s_i^{-*}$ $i = 1,2,\ldots, m$<br>$\hat{y}_{ro} = y_{ro} + s_r^{+*}$ $r = 1,2,\ldots, s$ | $\hat{x}_{io} = x_{io} - s_i^{-*}$ $i = 1,2,\ldots, m$<br>$\hat{y}_{ro} = \phi y_{ro} + s_r^{+*}$ $r = 1,2,\ldots, s$ |
| **CCR Çarpan Modeli** | $\text{maks}\, z = \sum_{r=1}^{s} \mu_r y_{ro}$<br>Kısıtlar;<br>$\sum_{r=1}^{s} \mu_r y_{rj} - \sum_{i=1}^{m} v_i x_{ij} \leq 0,$<br>$\sum_{i=1}^{m} v_i x_{io} = 1$<br>$\mu_r, v_i \geq \varepsilon > 0$ | $\text{min}\, q = \sum_{i=1}^{m} v_i x_{io}$<br>Kısıtlar;<br>$\sum_{i=1}^{m} v_i x_{ij} - \sum_{r=1}^{s} \mu_r y_{rj} \geq 0,$<br>$\sum_{r=1}^{s} \mu_r y_{ro} = 1$<br>$\mu_r, v_i \geq \varepsilon > 0$ |

Tablo 2.13'te VZA'nın geliştirilen ilk temel modeli olan CCR modelinin girdi ve çıktı yönelimli durumlarında kullanılan oransal, zarflama ve çarpan formlarının matematiksel

gösterimine yer verilmiştir. Tablo 2.13'te yer alan denklemlerde yer alan 'n' KVB sayısını, 'm' kullanılan girdileri, 's' üretilen çıktıları, '$x_{ij}$' j. karar biriminin i. girdi miktarını, '$y_{rj}$' j. karar biriminin r. çıktı miktarını, '$\mu_r$' r. çıktı miktarına verilen ağırlığı, '$v_i$' i. girdi miktarına verilen ağırlığı, 'ε' 0'dan büyük arşimedgil olmayan bir sayıyı, 'θ*' etkinlik skorunu, 'θ' girdilerin ne kadar azaltılabileceğini gösteren büzülme katsayısını, 'ϕ' çıktıya ait genişleme katsayısını, '$\lambda_j$' ise j. karar biriminin yoğunluk değerini (etkin olmayan KVB'lerin referans grubunda yer alıp almayacağını gösteren değer), '$s_i^-$' girdilerdeki aylak (slack) değerleri, '$s_r^+$'çıktılardaki aylak değerleri, '$\hat{x}_{io}$' o. karar biriminin etkin olması için i. girdi miktarlarında yapılması gereken değişikliği, '$\hat{y}_{ro}$' o. karar biriminin etkin olması için r. çıktı miktarlarında yapılması gereken değişikliği ifade etmektedir.

Başlangıçta geliştirilen oransal formun uygulanmasında yaşanılan sorunlar neticesinde zarflama ve çarpan formları geliştirilmiştir. Tablo 2.13'te verilen zarflama modeli esasen iki aşamadan oluşmaktadır. Buna göre ilk aşamada etkinlik skorunu ifade eden $\theta^*$ değeri elde edilmektedir. Hesaplanan etkinlik değeri 1'den büyük çıkmayacaktır. İkinci aşamada ise etkin karar birimleri için sıfıra eşit olmayan aylak değer olup olmadığı kontrol edilmektedir (Cook ve Zhu, 2005: 4-9). Buna göre CCR girdi yönelimli zarflama modelinde θ = 1, çıktı yönelimli modelde ise ϕ = 1 olması ve tüm i (girdi) ve r (çıktı) değerleri için $s_i^{-*} = s_r^{+*} = 0$ olması durumunda o karar birimi etkindir. Bu modellerde θ = 1, çıktı yönelimli modelde ise ϕ = 1 olmasına rağmen, $s_i^{-*} \neq 0$ ve/veya $s_r^{+*} \neq 0$ olması durumunda ise karar birimi zayıf etkin olmaktadır. Zayıf etkin karar birimleri etkinlik hedefleri oluşturulurken etkin olmayan karar birimlerinin referans grubunda yer almazlar (Cooper ve diğ., 2011: 10-12). Zayıf etkin KVB'lerin var olması çoklu optimal çözümlerin nedenidir. Bu kapsamda zayıf etkin KVB olmaması durumunda ikinci aşamadaki hesaplama gerekli olmadan etkin olmayan karar birimleri için etkinlik hedefleri oluşturulur (Cook ve Zhu, 2005:4-9). Zarflama modellerine yönelik ikili doğrusal programlama problemleri ise çarpan modeli olarak anılmaktadır. Buna göre $v_i$ ve $\mu_r$ ikili değişkenlerine çarpanlar denir. Hesaplamada girdi ve çıktı ağırlıklarını ifade eden $v_i$ ve $\mu_r$ sıfır olarak değerlendirilmemesi için ε değerinden büyük olması kısıtı eklenmiştir. Bu modelde yer alan $\sum_{i=1}^{m} v_i x_{io} = 1$ veya $\sum_{r=1}^{s} \mu_r y_{ro} = 1$ kısıtları ise normalizasyon kısıtı olarak bilinir (Zhu, 2014: 49). Çarpan modelinde bir karar birimi ancak $\sum_{r=1}^{s} \mu_r y_{ro} = 1$ veya $\sum_{i=1}^{m} v_i x_{io} = 1$ optimal durumunda olması ile sınır üzerinde yer alır. CCR modelinin çözümünde çarpan formu yerine zarflama formunun kullanılması önerilir. VZA'da KVB sayısı (n), girdi ve çıktıların sayısından (m+s) fazla olması gerektiği çeşitli araştırmacılar tarafından

söylenir. Bu nedenle çarpan modelinde n tane kısıt, zarflama modelinde ise kısıtlarla değişkenlerin değişiminden dolayı m+s tane kısıt olacaktır. Özellikle KVB sayısının fazla olduğu modellerde zarflama modelinin kullanılması çözümü kolaylaştırmaktadır (Kale, 2009: 74).

### *2.4.2.2. BCC (Banker-Charnes-Cooper) Modeli*

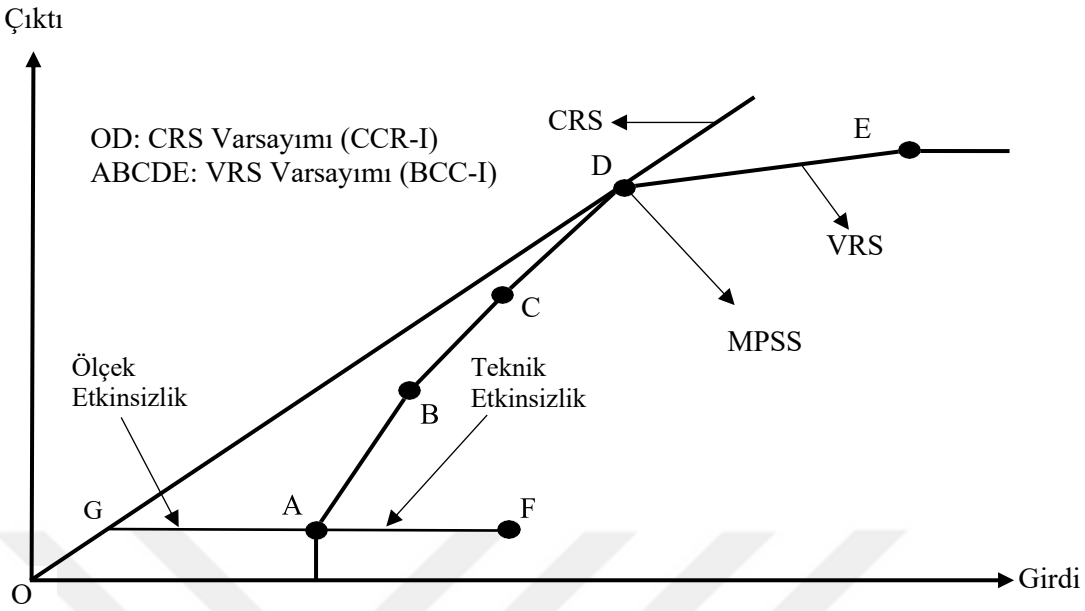
Banker ve diğ. (1984) yaptıkları çalışma ile ölçek etkinliği kavramını ortaya çıkararak ölçeğe göre değişken getiri varsayımı altında etkinlik ölçümü yapılmasını sağlamıştır. Bu model literatürde yazarların soyadlarının baş harf kısaltılması ile "BCC modeli" olarak bilinmektedir. Bu modelde ölçeğe göre değişken getiri varsayımı altında etkinlik ölçümü yapıldığı için bazı kaynaklarda "VRS modeli" olarak da geçmektedir. BCC modelinin girdi ve çıktı yönelimli olarak geliştirilen zarflama ve çarpan formlarının matematiksel gösterimine Tablo 2.14'te yer verilmiştir (Cook ve Zhu, 2005: 10; Zhu, 2014: 21-50).

**Tablo 2.14:** Girdi ve çıktı yönelimli BCC modellerinin matematiksel gösterimi.

| **Model Türü** | **Girdi Yönelimli Model** | **Çıktı Yönelimli Model** |
|---|---|---|
| **BCC Zarflama Modeli** | $\min\theta - \varepsilon\left(\sum_{i=1}^{m} s_i^- + \sum_{r=1}^{s} s_r^+\right)$<br>Kısıtlar;<br>$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j x_{ij} + s_i^- = \theta x_{io}$ i = 1,2,…, m;<br>$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j y_{rj} - s_r^+ = y_{ro}$ r = 1,2,…, s;<br>$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j = 1$<br>$\lambda_j \geq 0$ j = 1,2,..., n. | $\max\phi + \varepsilon\left(\sum_{i=1}^{m} s_i^- + \sum_{r=1}^{s} s_r^+\right)$<br>Kısıtlar;<br>$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j x_{ij} + s_i^- = x_{io}$ i = 1,2,…, m;<br>$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j y_{rj} - s_r^+ = \phi y_{ro}$ r = 1,2,…, s;<br>$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j = 1$<br>$\lambda_j \geq 0$ j = 1,2,..., n. |
| **Etkinlik Hedefi** | $\hat{x}_{io} = \theta^* x_{io} - s_i^{-*}$ i = 1,2,..., m<br>$\hat{y}_{ro} = y_{ro} + s_r^{+*}$ r = 1,2,..., s | $\hat{x}_{io} = x_{io} - s_i^{-*}$ i = 1,2,..., m<br>$\hat{y}_{ro} = \phi y_{ro} + s_r^{+*}$ r = 1,2,..., s |
| **BCC Çarpan Modeli** | $\max z = \sum_{r=1}^{s} \mu_r y_{ro} + \mu_o$<br>Kısıtlar;<br>$\sum_{r=1}^{s} \mu_r y_{rj} - \sum_{i=1}^{m} v_i x_{ij} + \mu_o \leq 0,$<br>$\sum_{i=1}^{m} v_i x_{io} = 1$<br>$\mu_r, v_i \geq \varepsilon > 0$<br>$\mu_o$ = serbest | $\min q = \sum_{i=1}^{m} v_i x_{io} + v_o$<br>Kısıtlar;<br>$\sum_{i=1}^{m} v_i x_{ij} - \sum_{r=1}^{s} \mu_r y_{rj} + v_o \geq 0,$<br>$\sum_{r=1}^{s} \mu_r y_{ro} = 1$<br>$\mu_r, v_i \geq \varepsilon > 0$<br>$v_o$ = serbest |

Tablo 2.14'te görüldüğü gibi BCC zarflama modelinin CCR zarflama modelinden tek farkı konvekslik (dışbükeylik) kısıtı olarak bilinen $\sum_{j=1}^{n} \lambda_j=1$ kısıtının eklenmesidir. Bu kısıt ile CCR modelinde karar birimlerinin etkin olması için ölçek etkin olması gerekliliği ortadan kalkmıştır. Benzer şekilde iki aşamalı gerçekleştirilen hesaplamada bir KVB'nin etkinlik değerinin 1 olması durumunda girdi yönelimli modelde girdilerin oransal olarak azaltılamadığı veya çıktı yönelimli modelde ise aynı girdi miktarı ile daha fazla çıktı elde edilmeyeceği sınır çizgisi üzerinde yer alır. Etkinlik değerinin 1'den küçük olması durumunda ise KVB etkinlik sınırı dışında kalmaktadır. BCC modellerinin yorumlanması CCR modeli ile benzer şekilde yapılmaktadır. Burada ek olarak ölçeğe göre getiri durumlarını ortaya koymak mümkün olmuştur. Buna göre bir karar birimi için tüm girdilerde sağlanacak artıştan oransal olarak daha fazla çıktı artışının elde edilmesi ölçeğe göre artan getiriyi (Increasing Return to Scale-IRS); tüm çıktılarda sağlanan artışın oransal olarak tüm girdilerde gerçekleştirilen artıştan daha az olması ise ölçeğe göre azalan getiriyi (Decreasing Return to Scale-DRS) ifade etmektedir. BCC modelinin girdi veya çıktı yönelimli uygulanması bir karar biriminin ölçeğe göre getiri durumu üzerinde belirleyici olabilmektedir (Banker ve diğ., 2011). Bu bağlamda bir KVB'nin CCR yöntemi ile elde edilen toplam etkinlik skorunun BCC modeli ile elde edilen teknik etkinlik skoruna bölünmesi ile o karar biriminin ölçek etkinlik skoru elde edilmektedir (Toplam Etkinlik (CCR Skoru)= Teknik Etkinlik (BCC Skoru)*Ölçek Etkinlik). Bu sayede toplam etkinliği oluşturan teknik ve ölçek etkinlik kavramlarının birbirinden ayrılması mümkün olmuştur (Cooper ve diğ., 2006: 141).

CCR modellerinden farklı olarak BCC modellerinde j. karar biriminin yoğunluk değerini 1'e eşitleyen dışbükeylik kısıtının olması etkinlik sınırının farklılaşmasına yol açmaktadır. Bu kısıt $\sum_{j=1}^{n} \lambda_j \leq 1$ olarak değiştirildiğinde ölçeğe göre artmayan getiri (non-ıncreasing returns to scale), $\sum_{j=1}^{n} \lambda_j \geq 1$ olarak değiştirildiğinde ise ölçeğe göre azalmayan getiri (non-decreasing returns to scale) olarak bilinen farklı etkinlik sınırları elde edilebilmektedir (Cook ve Zhu, 2005: 9-10). Bu bölümde VZA'nın temel modelleri olan CCR modeli ve dışbükeylik kısıtının eklendiği BCC modeli olmak üzere iki farklı modelin matematiksel gösterimine yer verilmiştir. Bu modellerin matematiksel gösterimi yanında, göreli kıyaslamaya dayanan etkinlik sınırının grafiksel izahı da mümkündür. Şekil 2.42'de VZA'nın kuramsal temeli, tek girdi ve tek çıktı kullanan karar birimleri üzerinden girdi yönelimli model için grafiksel olarak gösterilmiştir (Cubbin ve Tzanidakis, 1998).



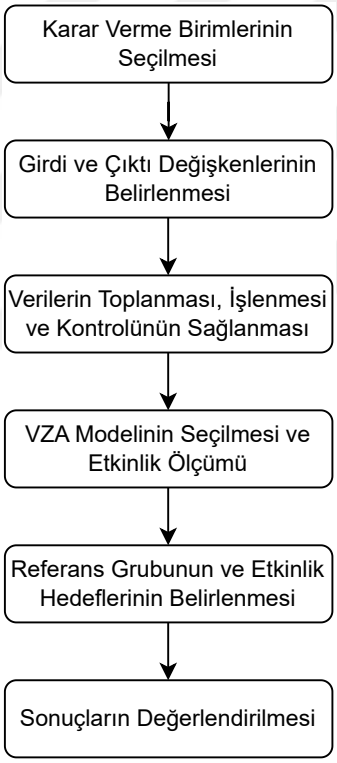

**Şekil 2.42:** VZA temel modellerinin grafiksel gösterimi.
Kaynak: Cubbin, J. ve Tzanidakis, G. (1998).

Şekil 2.42'de A, B, C, D, E ve F karar birimlerinden oluşan bir değerlendirme seti yer almaktadır. Bu karar birimleri için VZA'nın ilk modeli olan ölçeğe göre sabit getiri varsayımı altında girdi yönelimli CCR (CCR-I) modelinde etkinlik sınırı OD doğrusu ile çizilmektedir. Bu sınır ise CCR-I modeli ile elde edilen toplam etkinlik sınırını ifade etmektedir. Bu sınır üzerinde yalnızca D karar birimi yer aldığı için tek bir KVB toplam etkin olmuştur. BCC modeli ile konvekslik (dışbükeylik) kısıtı eklenmiş ve en verimli ölçek büyüklüğünün (most productive scale size-MPSS) tahmini mümkün hale gelmiştir. Buna göre ölçeğe göre değişken getiri (VRS) varsayımı altında girdi yönelimli BCC modelinde KVB'lerin etkinlik sınırı ise grafikte verildiği gibi ABCDE konveks doğrusu ile çizilmektedir. Buna göre şekilde D noktası MPSS olarak da adlandırılan en verimli ölçek büyüklüğünü yansıtmaktadır. D karar birimi hem teknik hem de ölçek etkin olduğu için toplam etkindir. ABCDE konveks doğrusu ile çizilen sınır ise teknik etkinlik sınırına karşılık gelmektedir. Bu sınır üzerinde yer alan A, B, C, D ve E karar birimleri üretimde girdilerini atıl olmaksızın kullanmakta ve mümkün olan maksimum çıktıyı elde etmektedir. Bu nedenle bu karar birimleri teknik etkindir. F birimi ise ABCDE konveks doğrusu sınırının dışında kaldığı için teknik etkin değildir. Teknik etkin olabilmesi için aynı çıktıyı daha az girdi ile üretmesi gerekliliği ve teknik etkinsizliğin boyutu grafiğe yansıtılmıştır. F birimin mevcut çıktı düzeyi ile ölçek etkinliği de sağlayabilmesi için OD doğrusu üzerine kayacak şekilde girdilerini azaltması gerektirmektedir. Buna göre AG doğrusu F biriminin ölçek etkinsizlik boyutunu, AF doğrusu ise teknik etkinsizlik boyutunu göstermektedir. Teknik etkin

olan A, B, C ve E birimlerinin toplam etkin olması için ise OD doğrusu üzerine denk gelecek şekilde girdilerini azaltması diğer bir ifade ile ölçek etkin olması gereklidir. Bu karar birimlerinin etkinlik sınırına olan uzaklıkları ölçek etkinsizlik derecesini yansıtmaktadır (Cubbin ve Tzanidakis, 1998; Tarım, 2001).

### 2.4.3. Veri Zarflama Analizinin Uygulama Aşamaları

Veri Zarflama Analizi'nin temel modelleri uygulanırken matematiksel hesaplamalardan önce modelin kurulma aşamasında izlenmesi gereken çeşitli adımlar bulunmaktadır. Bu işlem adımlarının en uygun şekilde yürütülmesi değerlendirme sonuçlarının güvenilirliği üzerinde kritik öneme sahiptir. Bu çerçevede Şekil 2.43'te VZA'nın uygulamasında izlenmesi gereken işlem adımları sıralı olarak verilmiştir.




**Şekil 2.43:** VZA uygulama adımları.

Kaynak: Çizim yazara aittir.

Araştırma sorununun çözümü için VZA'nın en uygun yöntem olduğuna karar verilmesinden sonra Şekil 2.43'te görüldüğü gibi ilk aşamada "*KVB'lerin seçilmesi"* gerekmektedir. VZA ile belirli kaynakları (girdileri) kullanarak bir takım çıktılar elde eden KVB'lerin göreli etkinliklerinin ölçülmesi hedeflenmektedir. Bu yöntemde hastaneler, üniversiteler, okullar, bankalar, üretim işletmeleri, enerji istasyonları, karakollar, vergi daireleri

gibi büyük organizasyon departmanları, işletmeler, ülkeler ve hatta hekim, hemşire gibi bireyler KVB olarak seçilebilmektedir (Charnes ve diğ., 2013). Burada önemli olan noktalardan biri kıyaslama yapılacak karar birimlerinin aynı endüstri kolundaki homojen organizasyonlar olması diğer bir ifadeyle üretim sürecinde kullanılan girdilerle çıktıların (yoğunluk ve büyüklük farkları hariç) benzer olmasıdır. Örneğin yatak sayısı ve personel gibi girdi değişkenlerinin benzer olduğu düşünülerek sağlık kurumları ve otelcilik işletmelerinin aynı grup içerisinde göreli etkinlik değerlendirmesi yapılamaz. Bununla birlikte sağlık ocağı ile eğitim ve araştırma hastanesi gibi aynı sektörde faaliyet gösteren işletmeler olsa dahi kullanılan girdiler, çıktılar ve üretim sürecindeki farklılıklar nedeniyle göreli karşılaştırma yapmak doğru değildir. KVB'lerin homojenliği sağlandıktan sonra KVB'lerin seçilmesi başlığındaki diğer önemli konu girdi ve çıktı sayılarıyla bağlantılı olarak yeterli sayıda karar biriminin belirlenmesidir. Literatürde asgari KVB sayısını belirleme noktasında farklı görüşler bulunmaktadır. Buna göre bir VZA araştırmasında m adet girdi ve s adet çıktı için gerekli olan n adet karar verme birimi sayısını; Bowlin (1998) $n \geq 3 \times (m + s)$, Dyson ve diğ. (2001) $n \geq 2 \times (m \times s)$, Cooper ve diğ. (2001) $n \geq \max(m \times s, 3 \times (m + s))$ olarak tanımlamıştır. KVB sayısının fazla olması daha iyi uygulamaların değerlendirilmesi olasılığını artıracağı için mümkün olduğunca fazla karar biriminin değerlendirilmesi istenmektedir.

VZA'da karar birimleri belirlendikten sonra araştırmanın amacı ile ilişkili olarak karar birimlerinin üretim fonksiyonunu en iyi ifade edecek *"girdi ve çıktı değişkenlerinin belirlenmesi"* gerekmektedir. Girdi ve çıktı değişkenleri arasındaki üretim teknolojisi ilişkisini açıklamada güçlü varsayımlar gerektirmemesi nedeniyle bu aşamaya özgü spesifik kurallar mevcut değildir. Ancak seçilen değişkenlerin etkinlik skorunun belirleyicisi olması nedeniyle değişkenlerin seçilmesinde literatür taraması ve uzman görüşleri gibi kalitatif metotlar ve çeşitli kantitatif metotların kullanılması faydalı olabilir (Ramanathan, 2003:174). VZA'da girdi ve çıktı seçimi noktasında temel bileşenler analizi, regresyona dayalı test, etkinlik katkı ölçüsü ve önyükleme tahmin prosedürü gibi farklı kantitatif yöntemler kullanılabilmektedir. Ayrıca birbiri ile yüksek düzeyde ilişkili girdi değişkenlerinin tespiti için korelasyon analizi sıklıkla kullanılmaktadır. Buna göre yüksek düzeyde ilişkili iki değişkenden birinin modelden çıkarılmasına yönelik yaklaşım ile birlikte, tek girdi ve tek çıktılı VZA modelinden başlayarak eklenen her bir değişkenin sonuca etkisinin gözlemlendiği yaklaşım da boyut azaltmada tercih edilebilmektedir. Modelde aday değişkenlerin tümüne yer vermek yerine bu tip yöntemlerle süreci daha iyi ifade eden değişkenlerin seçilmesi VZA'nın araştırma yeteneğini artırmaktadır. Aksi durumda benzersiz özelliğe sahip boyutların sayısı artabileceği için ortalama etkinlik

puanları artma eğiliminde olacak ve ayrım gücü azalacaktır. Farklı girdi ve çıktı değişkenleri üzerinden senaryolar kurularak bunların sonuca etkisinin gözlemlenmesi kritik hataları önleyeceği için tavsiye edilmektedir (Nataraja ve Johnson, 2011; Sarkis, 2007).

Girdi ve çıktı seçiminde önemli faktörlerden biri karar birimleri arasındaki kayıt ile ilgili farklılıkların bulunabilmesidir. Örneğin hastanelerin karar birimi olduğu bir VZA çalışmasında bir hastanede hemşire sayısı değişkeni yanlızca hemşirelerin sayısını ifade ederken, başka bir hastanede ebe ve hemşire sayısının toplamı olarak ifade edilmişse bu durum etkinlik değerlendirmesini etkileyerek girdi sayısı fazla olan karar birimlerinin etkinsiz bulunması potansiyelini artıracaktadır. Bu durum gözetilerek girdi ve çıktı değişkenlerinin belirlenmesi ve değişkenlerin standart karşılığı bulunamayan karar birimlerinin gerekli durumlarda analiz kapsamından çıkarılması etkinlik sınırının gerçeğe daha yakın çizilmesini sağlayacaktır. Girdi ve çıktı değişkenlerinin yanında etkinlik değerlendirmesinde üretim sürecini etkileyen çevresel değişkenlerin de değerlendirilmesi önem taşımaktadır. Bu kapsamda etkinlik değerlendirmesini yaparken bu değişkenleri modele dahil eden ileri VZA modelleri bulunmakla birlikte, çevresel değişkenleri etkinliği açıklayan faktörler olarak ele alan aşamalı analizlerde bulunmaktadır. Bu araştırmada çevresel değişkenler aşamalı analiz ile değerlendirilecektir.

VZA uygulamasının üçüncü aşamasında ise seçilen karar birimleri ve belirlenen girdi-çıktı değişkenlerine ilişkin *"veri toplama, işleme ve kontrol süreci"* yer almaktadır. Bu süreçte verileri ulaşılabilir olan karar birimleri değerlendirilebileceği için bir değişkene ilişkin verilerin çok sayıda gözlem kaybına yol açması durumunda araştırmacıların değişkenlerin belirlenmesi aşamasını tekrar gözden geçirmesi gerekebilir. Ancak bazı durumlarda kayıp verilerin öznel yöntemlerle en iyi tahminin yapılması da söz konusu olabilmektedir. VZA'da 'pozitiflik şartı' olarak da bilinen girdi ve çıktı değişkenlerinin negatif olmaması gerekliliği bulunmaktadır. Veri toplama işlemi tamamlandıktan sonra negatif sayılar veya sıfır değerine sahip değişkenlerin olması durumunda bunları pozitif kılacak sabit bir sayının tüm gözlemlere eklenmesi veya bazı durumlarda sıfır veya negatif değere sahip olan gözlemlerin diğerlerinden daha küçük bir sayı ile düzeltilmesi tavsiye edilmiştir. VZA'da farklı ölçü birimlerinin birlikte değerlendirilmesi veri setlerinde dengesizliğe yol açabilmektedir. Bunun önüne geçebilmek için veri kümelerinin benzer büyüklükte olmasını sağlayacak şekilde verileri normalleştirmek gerekebilir. Bu kapsamda verileri negatif veya sıfır değeri olmadan normalleştirmenin en pratik yolu ortalama normalizasyonu kullanmaktır. Ortalama normalizasyonu tüm karar birimleri için her girdi ve çıktı değişkeninin aritmetik ortalamasının alınması ve ilgili karar biriminin her girdi ve çıktı

değerinin o değişken için hesaplanan ortalama değere bölünmesi ile sağlanmaktadır. İstenmeyen girdi ya da çıktı olması durumunda başvurulan çözüm yollarına ise bir önceki bölümde yer verilmiştir (Sarkis, 2007).

Tüm girdi ve çıktı değişkenleri için veri işleme ve normalizasyon işlemleri tamamlandıktan sonra *"VZA modelinin seçilmesi ve uygulanması"* aşamasına geçilmektedir. Bu aşamada yer alan model seçimi, aslında araştırma amacının belirlenmesi ile birlikte büyük ölçüde karalaştırılmaktadır. Ancak değişkenlere ilişkin senaryolar ile ortaya çıkabilecek çeşitli sorunlar araştırmacıyı daha farklı modelleri kullanmaya yönlendirebilir. Bu aşamada etkinliğin değerlendirilecek alt boyutuna göre (örneğin ölçek etkinlik skoru için BCC modeli) ve girdi veya çıktılar üzerindeki kontrolün varlığına göre girdi veya çıktı yönelimli modelin kullanılması kararlaştırılır. Bununla birlikte girdilerdeki atıllığın azaltılmasını ve çıktılardaki atıllığın artırılmasını eş zamanlı gerçekleştiren toplamsal (additive) modeller ya da yönelimsiz model olarak bilinen model de kullanılabilmektedir. Buna ek olarak aylak değişkenlerin ağırlıklandırıldığı aylak tabanlı model veya girdi ve çıktı değişkenlerinin ($v_i$ ve $\mu_r$) ağırlıklandırıldığı güven bölgesi modeli gibi farklı modeller uygun şartlarda tercih edilebilmektedir (Ozcan, 2014). Model belirlendikten sonra tüm KVB'lerin göreli kıyaslaması yapılarak en iyi uygulama örneklerine göre etkinlik sınırı çizilmekte ve bu sınıra göre etkinlik skorları elde edilmektedir. Bu aşamada analiz uygulamasını kolaylaştıran DEA Solver Pro 4.0, DEAP Version 2.1, Frontier Analysist, R, Python, MATLAB ve STATA gibi pek çok program mevcuttur. Bu programlar aracılığıyla KVB'lerin seçilen model ve yönelim doğrultusunda göreli etkinlikleri ölçülerek etkinlik skorları belirlenebilmektedir.

VZA için kullanılan programlarda etkinlik skorları ile birlikte aylak (slack) değerler de hesaplanabilmekte ve bu sayede bir sonraki aşama olan *"referans gruplarının ve etkinlik hedeflerinin belirlenmesi"* mümkün olmaktadır. Buna göre etkinlik değeri 1 ve girdi ve çıktılardaki aylak (slack) değerleri 0 olan karar birimleri etkin olmayan KVB'lerin referans grubunda yer almaktadır. Etkin bir KVB'nin referans kümesi içerisindeki güçlülüğü ne kadar yoğunlukta referans gösterildiği ile ilişkilidir. Bu aşamada etkin olmayan karar birimlerinin etkin olabilmesi için girdi ve çıktılarla ilgili yönelim türüne bağlı olarak miktarsal hedefler belirlenmektedir. Referans gösterilen karar birimlerine benzetilmeye çalışılan etkin olmayan karar birimlerinin girdi ve çıktılarında öngörülen bu değişim "potansiyel iyileştirme" olarak bilinmektedir (Sherman ve Zhu, 2006). Son aşamada ise VZA modelinin uygulanması ile elde edilen bulguların yorumlanması ve *"sonuçların değerlendirilmesi"* yer almaktadır. Mevcut

uygulamalar içerisinden en iyi uygulama örneklerini öne çıkararak karar birimlerinin etkinlik hedefini ortaya koyan VZA, özellikle sınırlı kaynakların etkin yönetimi ve optimum ölçek büyüklüğü hakkında önemli bilgiler sağlamaktadır. Bu nedenle elde edilen sonuçların doğru şekilde değerlendirilmesi ile karar vericilerin mevcut durum hakkında yargı sahibi olması ve varsa yönetsel ya da ölçek etkinsizlik durumuna yönelik önlemlerin alınması mümkün olabilmektedir.

### 2.4.4. Veri Zarflama Analizinin Güçlü ve Zayıf Yönleri

VZA'nın uygulanması ve değerlendirilmesinde diğer yöntemlere kıyasla pek çok güçlü yönler olduğu gibi, zayıf tarafları da bulunmaktadır. Buna göre VZA'nın güçlü yönleri aşağıdaki gibi özetlenebilir (Yolalan, 1993; Mortimer, 2002; Steering Committee for the Review of Commonwealth, 1997; Aydemir, 2002):

- Etkinlik değerlendirmesinde kullanılacak girdi ve çıktı değişkenlerinin birbirinden farklı ölçü birimlerinde olmasına imkan tanımaktadır.
- Birden fazla girdi ve çıktı bulunan üretim ortamlarında işletmenin değişik boyutlarını herhangi bir birleştirme problemine yol açmadan tek bir etkinlik ölçütüne indirgenmektedir.
- Parametrik yöntemler bağımlı değişkeni yani çıktıyı açıklayacak bağımsız değişkenlerin yani girdilerin güçlü varsayımlarla oluştulmasını gerektiriken, VZA girdi ve çıktı değişkenleri arasındaki üretim teknolojisi ilişkisini açıklamada güçlü varsayımlar gerektirmemekte ve bu konuda araştırmacıya esneklik sağlamaktadır.
- Birden çok girdi ve çıktı değişkeninin olduğu sistemlerde girdi ve çıktı fiyatları gerekmeden miktarlar üzerinden kolayca birleştirilerek teknik etkinlik skoru hesaplanabilmektedir. Bu durum, özellikle çıktılara fiyat atamanın zor veya imkansız olduğu yerlerde insan hizmetleri sağlayan devlet hizmet sağlayıcılarının etkinliğini analiz etmek için yöntemi uygun ve kullanışlı hale getirmektedir.
- Etkinlik sınırının tahmini ortalama fonksiyon ile kıyaslandığında, VZA'da en iyi gözlemler tarafından oluşturulan sınırın kullanılması ortalama fonksiyonuna göre daha anlamlı ve geçerli sonuçlar vermesini sağlamaktadır.
- Karar birimlerinin etkinlik seviyelerinin yanı sıra, olası etkinsizlik kaynakları da belirlenebilmektedir. Toplam (teknik) etkinliği teknik (saf teknik) ve ölçek etkinsizliğe;

ekonomik etkinliği ise toplam (teknik) ve tahsis etkinsizliğe ayrıştırmanın bir yolunu sunmaktadır.

- Etkin olmayan karar birimleri için referans (başvuru) grubunda yer alan karar birimlerini belirleyerek, faaliyetleri iyileştirmenin yollarını sağlayacak potansiyel rol model sunar. Bu, VZA'yı kıyaslama ve değişiklik uygulama programları için potansiyel olarak yararlı bir araç haline getirmektedir.

Bu güçlü yönlerle birlikte herhangi bir ampirik teknikte olduğu gibi VZA'da sonuçları yorumlamada çeşitli sınırlılıklar ve zayıf yönlere sahiptir. Bunları aşağıdaki gibi sıralayabiliriz (Yolalan, 1993; Mortimer, 2002; Steering Committee for the Review of Commonwealth, 1997; Aydemir, 2002: 91-92; Tarım 2001; Bhat ve diğ., 2001; Jacobs ve diğ., 2006; Sherman ve Zhu, 2006):

- Deterministik bir teknik olan VZA, özellikle ölçüm hatasına duyarlı sonuçlar üretebilmektedir. Bir karar biriminin girdileri veya çıktılarının aşırı derecede büyük ya da küçük değerlere sahip olması durumunda, o karar birimi etkinlik sınırının şeklini önemli ölçüde bozarak yakındaki karar birimlerinin etkinlik puanlarını azaltan aykırı bir değer haline gelebilir. Regresyona dayalı çalışmalarda, tahminde hata terimlerinin varlığı, aykırı değerlerin etkisini azaltma eğilimindedir, ancak VZA'da diğer tüm karar birimlerine eşit ağırlık verilir. Bu nedenle veriler bir araya getirilirken potansiyel aykırı (uç) değerlerin taranması oldukça önemlidir. Bunun tespitini kolaylaştırmak için çıktı/girdi oranları örnek ortalamadan yaklaşık iki buçuk standart sapmadan daha fazla olan karar birimlerinin dikkatle incelenmesi tavsiye edilmektedir.
- VZA'da içsel tanımlanan üretim fonksiyonundaki gözlem hatalarının olasılık dağılımı ile ilgili herhangi bir varsayımda bulunulmadığı için istatistiksel olarak incelenmesi uygun değildir. Rassal hata denilen değişken göz ardı edildiği için KVB'lerin etkin olmama sebebi tamamen işletmeye bağlanmaktadır. Bu noktada dışsal faktörlerin etkinlik üzerine etkisini ölçmek için ileri analizler uygulanabilir.
- VZA mutlak etkinliği değil, göreli etkinliği ölçtüğü için etkinlik sınırını oluşturan karar birimlerinin mevcut potansiyelinin tamamını kullanıp kullanmadığı noktasında diğer bir ifadeyle mutlak etkinlik hakkında bir yargıda bulunmaz. Bu sebeple etkin KVB'ler için herhangi bir hedef oluşturmaz.

- Belirli bir örneklem içindeki en iyi uygulamalara göre etkinlik değerlendirmesi yapıldığı için farklı örneklemlerin kullanıldığı bir başka çalışma ile etkinlik skorlarını karşılaştırmak anlamlı değildir. Bu kapsamda, yalnızca eyalet veya ülke içinden karar birimlerini içeren bir VZA çalışması, ulusal veya uluslararası en iyi uygulamalara göre bir yorum yapılmasını sağlamaz.
- Etkinlik skorları girdi ve çıktı özelliklerine ve örneğin boyutuna duyarlıdır. Daha fazla karar birimini dahil ederek örnek boyutunu artırmak, benzer karşılaştırma ortakları bulmasına zemin hazırlayacağı için ortalama etkinlik puanını düşürebilmektedir. Kuruluş sayısını artırmadan çıktı ve girdi değişkenlerinin sayısını artırmak ise, bir karar biriminin nispeten benzersiz olabileceği boyutların sayısını artıracağı için ortalama etkinlik puanları artma eğiliminde olacaktır.
- Kurumların performansını değerlendirmede ve geliştirmede yöneticilerin VZA'yı tam olarak benimseyebilmesi ve kullanılması temel düzeyde doğrusal programlama ve matematiksel kavram bilgisi gerektirdiği için caydırıcı olabilmektedir.

Bu sınırlamalara rağmen Veri Zarflama Analizi, özellikle kamu hizmet sunucularının etkinliğini incelemek için yararlı bir araç olarak kullanılmaktadır. Bu sınırlamaların kabul edilmesi gerektiği gibi, bu sınırlamaların etkisini gözetecek şekilde modellemenin yapılması VZA'nın potansiyel faydalarının bu sınırlamalarının önüne geçmesini sağlayacaktır.

## 2.5. MAKİNE ÖĞRENMESİ

Makine öğrenmesi, insan zekasını taklit edebilen bilgisayar algoritmaları geliştirme teknolojisi olarak ifade edilebilir. Bu algoritmalar geliştirilirken bilgisayar bilimi, olasılık ve istatistik, yapay zeka, bilgi teorisi, psikoloji, kontrol teorisi ve felsefe gibi pek çok farklı disiplinden yararlanılır (El Naqa ve Murphy, 2015). Makine öğrenmesi daha genel bir ifade ile verilere erişebilen ve bunları öğrenmek için kullanabilen bilgisayar programlarının geliştirilmesine odaklanan bir yapay zeka uygulamasıdır (Sakarkar ve diğ. 2021; 25). Makine öğrenmesi mantığı çerçevesinde yapılan ilk çalışmalardan biri modern bilgisayar biliminin kurucusu sayılan Alan Turing tarafından 1950 yılında yayınlanan "Bilgisayar Makineleri ve Zeka" başlıklı makaledir. Bu makalede yazar bir sorgulayıcı, bir insan ve bilgisayardan oluşan üç katılımcılı taklit oyununu tanıtıyor. Sorgulayıcı bu iki katılımcı ile yazışarak hangisinin bilgisayar olduğunu tespit etmeye çalışıyor ve tepkiler arasındaki farkı tutarlı şekilde

söyleyemediği durumda bilgisayar oyunu kazanıyor. Günümüzde bir makinenin zekasını kontrol eden bu test yazarın kendi adı ile “Turing Testi” olarak bilinimektedir (Bell, 2022; 209).

Modern anlamda “makine öğrenmesi" terimi ilk kez 1952 yılında bilgisayar oyunları ve yapay zekanın öncüsü olan IBM’den Arthur Samuel tarafından ortaya atılmıştır. Bilgisayar bilimlerindeki erken literatür, bilgisayarların açık programlama olmadan görevleri yerine getiremeyeceğini ve yalnızca algoritma çalıştırabileceğini düşünüyordu. Ancak Samuel’in bilgisayarların dama oynamayı öğrenmek üzere programlanabileceğini göstermesi ile bu görüş boşa çıkmıştır. 1959’da Arthur Samuel makine öğrenmesini "bilgisayara açıkça programlanmadan öğrenme yeteneği veren çalışma alanı" olarak tanımlamıştır. Widrow ve Hoff tarafından 1960’da ikili deseni tanıyan “ADALINE” ve telefon hatlarındaki yankıları ortadan kaldırmak için kullanılan ilk sinir ağı olan “MADALINE” modellerinin geliştirilmesi bu alanda önemli gelişmeler olmuştur. Bunu takiben Sebestyen tarafından 1962’de “yakınlık algoritması” ve 1965’te Nilsson tarafından “minimum mesafe sınıflandırıcısı” olarak bahsedilen kural, Cover tarafından 1967’de “en yakın komşu kuralı” olarak tanıtılmıştır (Samuel, 1959; El Bouchefry ve de Souza, 2020).

1975 yılında Werbos tarafından çok katmanlı algılayıcının (Multilayer Perceptron-MLP) geliştirilmesi önemli bir adım olmuştur. Bunu 1986'da Quinlan tarafından karar ağaçlarının geliştirilmesi ve 1995’te Cortes ve Vapnik tarafından destek vektör makinelerinin geliştirilmesi izlemiştir. İzleyen yıllar içerisinde AdaBoost ve rastgele ormanlar gibi kolektif veya topluluk makine öğrenme algoritmaları önerilmiştir. Daha yakın zamanlarda ise, Geffery Hinton tarafından (2007) öğrenme için çok katmanlı yeni bir sinir ağları mimarisine atıfta bulunan derin öğrenme kavramı ortaya atılmış ve izleyen yıllarda bu kavram altında dağıtılmış çok katmanlı öğrenme algoritmaları ortaya çıkmıştır (Quinlan, 1986; Cortes ve Vapnik, 1995; El Naqa ve Murphy, 2015).

### 2.5.1. Makine Öğrenmesi Kavramsal Çerçevesi ve Uygulamaları

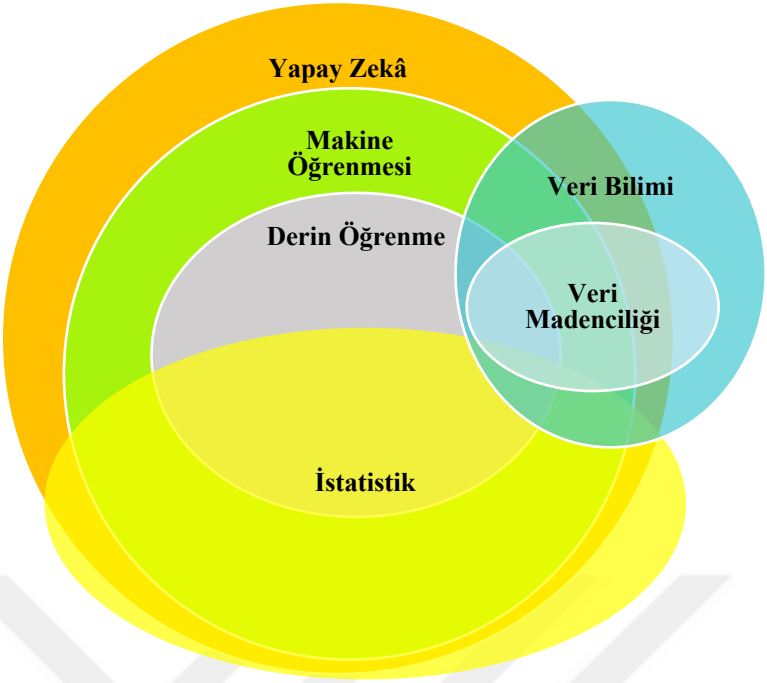
Carnegie Mellon Üniversitesi’nden Mithchell’ın 1997’de yayınladığı kitabında makine öğrenmesi kavramı “Eğer bir bilgisayar programının G görevlerinde P ile ölçülen performansı deneyim D ile artıyorsa, o bilgisayar programının bazı G görevlerinin sınıflarına ve performans ölçüsü P’ye göre deneyim D’den ögrendiği söylenmektedir” olarak tanımlanmıştır. Bu tanım makine öğrenmesinin Şekil 2.44’te gösterilen dört ana unsurunu vurgulamaktadır (Balaban ve Kartal, 2015).




**Şekil 2.44:** Makine öğrenmesi temel unsurları.

Şekil 2.44'te belirtilen dört ana unsurdan biri olan görev, bilgisayarları öğrenir duruma getirmek için ona neyi öğreneceğinin ve görevinin ne olacağının söylenmesidir. Deneyim ise, bilgisayarların tanımlanan görevi yerine getirirken ona sunulan verileri tecrübe olarak alması ve öğrenme için kullanmasıdır. Algoritma, bir problemin çözümünde izlenen kademeli yol olarak ifade edilebilir. Makine öğrenmesi altında sınıflandırma, kümeleme, yapay sinir ağları, genetik ve karar ağaçları algoritmaları gibi algoritmalar geliştirilmiştir. Son olarak bilgisayarın kullanılan algoritma ile görevi ne kadar iyi yerine getirdiği ve deneyim sağlayıp sağlamadığını görmek için performans ölçülür ve değerlendirilir (Balaban ve Kartal, 2015).

Makine öğrenmesini kavramsal olarak yapay zekâ ile sıklıkla iç içe geçmiş durumdadır. Ancak Ted Dunning yapay zekâ; makine öğrenmesi ve derin öğrenmeyi içinde barındıran geniş bir alan olduğundan bu kavram yerine daha net olan makine öğrenmesi ve derin öğrenme kavramlarını kullanmak gerekir. 1950'li yıllarda başlayan yapay zekâ çalışmalarının alt kümesi olarak 1980'li yıllarda gelişen makine öğrenmesi ve onun da altında daha spesifik bir alan olan ve 2010'larda çalışılmaya başlayan derin öğrenme yer almaktadır. Bu üç kavramın yanı sıra istatistik, veri bilimi ve veri madenciliği gibi kavramlar da bu kavramsal kargaşa da yerini almıştır. Bu kavramlar kesin sınırlarla ayırmak mümkün değildir. Ancak içerdiği farklılıkları daha açık yansıtmak üzere Şekil 2.45'te bilgi keşfinde ortaya çıkan farklı disiplinlerin kapsamı gösterilmiştir (Gürsakal, 2018: 55-56; Altunkaynak, 2022: 3).




**Şekil 2.45:** Bilgi keşfi yöntemleri.

Şekil 2.45'te görüldüğü üzere veri madenciliği hem makine öğrenmesi hem de istatistik biliminden yararlanarak veriden faydalı bilgileri çıkartmaya odaklanan veri biliminin bir alt dalıdır (Altunkaynak, 2022: 5). Yapay zekanın daha spesifik olarak alt alanı olan makine öğrenmesi ise örnek veriler veya geçmiş deneyimler kullanılarak bir performans kriterini optimize etmek için bilgisayarların programlanmasıdır (Alpaydin, 2020: 32). Makine öğrenmesi ile derin öğrenme arasındaki en temel fark ise büyük verinin hangi türünü işlediğinde yatmaktadır. Büyük verinin türlerini; satır ve sütunların olduğu tablolar halindeki tüm verileri kapsayan yapılandırılmış veriler, yapısal olduğu halde organize tutulmayan düzensiz verileri kapsayan kısmen yapılandırılmış veriler ve makineler (uygu görüntüleri, fotoğraf, video vb.) ve insanlar (e-mail, sosyal medya paylaşımları, web içerikleri vb.) tarafından üretilen yapılandırılmamış veriler olarak başlıklandırmak mümkündür. Makine öğrenmesi yapılandırılmış verilerin, derin öğrenme ise yapılandırılmamış verilerin öğrenmesi için çalışmaların yapıldığı alanlardır (Sorhun, 2021; Gürsakal, 2018: 66).

Makine öğrenmesinin çerçevesini tanımladıktan sonra hangi sorunların çözümünde yer aldığının ortaya konulması gerekir. Bu doğrultuda Şekil 2.46'da geniş alanlara yayılmış olan makine öğrenmesi uygulamalarına örnekler verilmiştir (Sakarkar ve diğ. 2021: 26, Sarker, 2021).




**Şekil 2.46:** Makine öğrenmesi uygulamaları.

Şekil 2.46'da görüldüğü üzere makine öğrenmesi; görüntü, ses ve patern tanımadan istenmeyen e-posta filtrelemeye, tıbbi teşhisten trafik tahminine, borsa işlemlerinden kredi kartı, telefon veya sigorta şirketleri için dolandırıcılık tespitine, sürdürülebilir tarımdan sürücüsüz arabalara kadar çok farklı alanlarda uygulamalar ile çözüm olmuştur. Bugün internette gezinirken Netflix'in geçmiş veriler üzerinden film önermesi ve Amazon'un ürün tavsiye etmesi makine öğrenmesinin tipik uygulama örnekleridir (Sakarkar ve diğ. 2021; 26-33, Sarker, 2021).

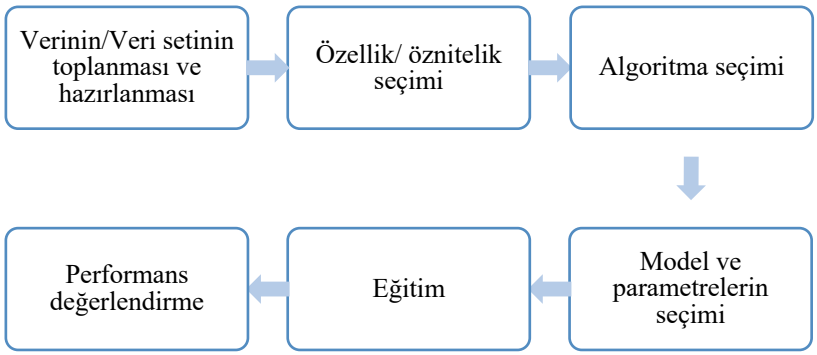
### 2.5.2. Makine Öğrenmesi Bileşenleri

Makine öğrenmesi algoritmaları, bireyler, iş süreçleri, işlemler, olaylar vb. ile ilgili kalıpları öğrenirken genellikle verileri kullanır ve işler. Bu veriler yapılandırılmış, kısmen yapılandırılmış ve yapılandırılmamış gibi çeşitli şekillerde olabilir. Bunlarla birlikte metaveri olarak bilinen bir başka tür veri tipi de bulunmaktadır. Tablo 2.15'te bu veri tiplerinin özellikleri örnekleri ile birlikte özetlenmiştir (Sarker, 2021).

**Tablo 2.15:** Veri türleri.

| Veri Tipi | Tipik Özellikleri | Örnekler |
|---|---|---|
| **Yapılandırılmış** | İyi tanımlanmış yapıya sahiptir. Oldukça organize ve kolay erişilebilir olan ve standart bir düzen izleyen veri modeline uygundur. Bir kurum veya bir bilgisayar programı tarafından kullanılır ve tipik olarak tablo biçiminde saklanır. | İsimler, tarihler, adresler, kredi kartı numaraları, hisse senedi bilgileri vb. |
| **Kısmen yapılandırılmış** | Yapılandırılmış veriler gibi ilişkisel bir veri tabanında saklanmaz, ancak analiz etmeyi kolaylaştıran belirli organizasonel özelliklere sahiptir. | HTML, XML, JSON belgeleri, NoSQL veri tabanları vb. |
| **Yapılandırılmamış** | Önceden tanımlanmış bir format ya da organizasyonel özellikler yoktur. Bu durum çoğunlukla metin ve multimedya içeren materyali yakalamayı, işlemeyi ve analiz etmeyi çok daha zor hale getirir. | Sensör verileri, e-postalar, PDF ve ses dosyaları, videolar, resimler, sunumlar, web sayfaları vb. |
| **Metaveri** | Verinin normal bir türü değil, veri hakkında veridir. Veri ve metaveri arasındaki temel fark, veri özelliklerine göre bir şeyi sınıflandırabilen, ölçebilen ve hatta belgeleyebilen materyal olmasıdır. Metaveriler, veri bilgilerini açıklayarak kullanıcılar için daha önemli hale getirir. | Bir belgenin yazar, dosya boyutu, oluşturulan tarih, tanımlayan anahtar sözcükler vb. özellikleri |

Gerçek dünyada veriler Tablo 2.15'te örneklendirildiği gibi farklı türlerde karşımıza çıkmaktadır. Gerçek dünyadaki akıllı uygulamaları oluşturmak için belirli bir problemi analiz etmek ve verilerden içgörüler veya faydalı bilgiler çıkarmak üzere farklı türde makine öğrenmesi algoritmaları kullanılabilir (Sarker, 2021). Bu algoritmalara geçmeden önce bir makine öğrenmesi modelinin, algoritma türünden bağımsız olarak içerdiği altı bileşeni tanımlamak gerekir. Şekil 2.47'de bu bileşenler aşamalı olarak gösterilmiştir (Alzubi ve diğ., 2018).




**Şekil 2.47:** Makine öğrenmesi modeli bileşenleri.

Şekil 2.47'de gösterildiği üzere bir makine öğrenmesi algoritmasındaki ilk aşama, verileri girdi olabilecek bir formatta toplamak ve hazırlamaktır. Özellikle web verileri gibi verilerin gereksiz ya da alakasız verilerin temizlenmesi ve işlenmesi gerekir. İlk aşamada elde edilen veriler ilgili probleme yönelik öğrenme süreci ile ilgili olmayan özellikleri/öznitelikleri içerebilir. Bu nedenle ikinici aşamada verileri bu özelliklerden arındırarak en önemli özelliklerin alt kümesi elde edilmelidir. Makine öğrenmesi algoritmaları tüm problemlerin çözümüne uygun olarak tasarlanmamıştır. Bu nedenle üçüncü aşamada elde edilen veriler ve özellikler çerçevesinde en iyi sonuca ulaşmak için hangi algoritmanın kullanılacağına karar vermek oldukça önemlidir. Bu algoritmalardan çoğu çeşitli parametrelerin en uygun değerlerini ayarlamak için bazı manuel müdahaleler (k-ortalamalar algoritmasında optimum k'nın manuel tanımlanması gibi) gerektirir (Alzubi ve diğ., 2018).

Uygun algoritma ve parametre değerleri seçildikten sonra, veri seti eğitim ve test olmak üzere iki ayrık kümeye bölünür. Eğitim verisi olarak belirlenen veri setinin bir kısmı modelin eğitilmesi için kullanılır. Bu aşama aslında izleyen bölümde ifade edilecek olan makine öğrenmesi tekniklerini birbirinden ayıran önemli bir noktadır. Gözetimsiz tekniklerde veri setinin tamamı girdi olarak kullanılmaktadır. Gözetimli tekniklerde ise veri setinden belirli bir oranda eğitim verisi girdi olarak belirlenir. Bu aşamada veriyi bölmede en yaygın kullanılan yaklaşım veriden rastgele örneklem belirlemektir. Bu yaklaşımdan farklı olarak CADEX, DUPLEX, SPXY ve SPlit gibi deterministik yöntemlerde bulunmaktadır. Bu yöntemlerde verinin ne kadarının eğitim ne kadarının test verisi olacağının diğer bir ifadeyle bölme oranının belirlenmesi gerekir. Bu noktada Pareto ilkesi temel alınarak 80:20 yani %80 eğitim ve %20 test verisi olarak ayırmak yaygın olarak tercih edilmekle birlikte, 70:30, 60:40 ve hatta 50:50 gibi oranlarında kullanıldığı görülmektedir. Optimal oranı belirlemeye yönelik literatürde çeşitli kriterler geliştirilmekte olup, henüz bu konuda uzlaşı olmadığı görülmektedir (Joseph, 2022).

Son aşamada ise sistemin gerçek zamanlı uygulanmasından önce, model önceden görülmemiş yeni verilere karşı test edilmelidir. Bir önceki aşamada eğitim seti ile öğrenen algoritma yeni verilere öğrendiği ilişkiyi uygulayarak tahminde bulunur. Bu aşamada modelin test veri seti üzerinde yaptığı tahminlerin performansı doğruluk, kesinlik ve geri çağırma gibi çeşitli performans parametreleri kullanılarak değerlendirilir (El Bouchefry ve de Souza, 2020; Alzubi ve diğ., 2018).

### 2.5.3. Makine Öğrenmesi Teknikleri

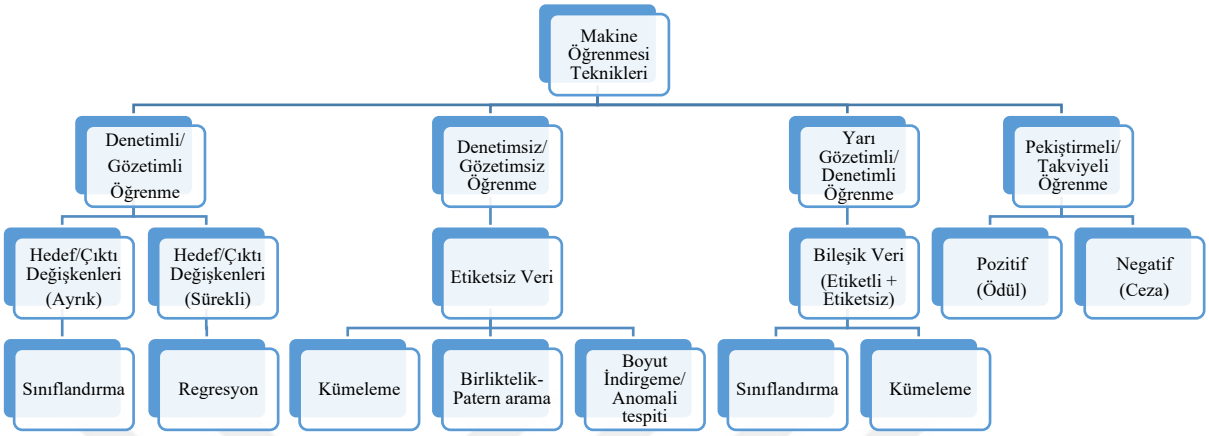
Pratikte bulunan tahmin problemlerinin birçoğu öğrenme problemi olarak ele alınabilir ve bu sayede makine öğrenmesinin uygulama alanları genişletilebilir. Bu problemlerin çözümlerin farklı teknik ve algoritmalar kullanılmakla birlikte, esasında bu algoritmalar çeşitli standart görevleri yerine getirmek üzere uygulanmaktadır. Bu kapsamda makine öğrenmesinin bazı standart görevlerine Tablo 2.16'da yer verilmiştir (Mohri ve diğ., 2018; 3, Sarker, 2021, Alzubi ve diğ., 2018; Doshi ve diğ., 2022).

**Tablo 2.16:** Standart öğrenme görevleri.

| Görevler | Açıklama |
|---|---|
| **Sınıflandırma** | Çıktı değişkenini bir veya daha fazla girdi değişkenine dayalı olarak farklı sınıflara ayırma işlemidir. Başka bir ifadeyle çıktının evet/hayır, doğru/yanlış gibi önceden bilenen sabit sayıda çıktı sınıfından yalnızca biri olabileceği bir kategori atama sorunudur. Örneğin, belge sınıflandırmasında her belgeye politika, iş, spor veya hava durumu gibi bir kategori atanması sorunu ya da resim sınıflandırmada her resme araba, tren veya uçak gibi kategori arama sorunu bu kapsamda yer alır. Girdi değişkenlerini iki farklı sınıfta sınıflandırması durumunda ikili (binary), ikiden fazla sınıfa sınıflandırmaya çalıştığında ise çoklu (multiclass) sınıflandırma söz konusudur. |
| **Regresyon** | Çıktı ve girdi değişkenleri arasındaki ilişkiyi ortaya koyma işlemidir. Başka bir ifadeyle her bir öge için gerçek bir değer tahmin etme sorunudur. Bunlar genellikle 'ne kadar' veya 'kaç' gibi sorularla ilgilenen problemlerdir. Regresyon örnekleri, stok değerlerinin veya ekonomik değişkenlerin varyasyonlarının tahminini içerir. Sınıflandırma görevlerinde çıktı/hedef değişken kategorik veya ayrık iken, regresyonda süreklidir. |
| **Sıralama** | Bazı kriterlere göre ögeleri sıralamayı öğrenme sorunudur. Web araması, örneğin bir arama sorgusuyla ilgili web sayfalarını döndürme, kurallı bir sıralama örneğidir. |
| **Kümeleme** | Veri içindeki yapılar öğrenmeye çalışılarak veri yapısındaki benzerliğe dayalı olarak homojen alt kümeler oluşturma sorunudur. Genellikle çok büyük veri kümelerini analiz etmek için kullanılmaktadır. Sosyal ağ analizi bağlamında, büyük insan grupları içindeki doğal toplulukları tanımlamaya çalışmak kümeleme sorununa bir örnektir. |
| **Birliktelik** | Büyük veri kümelerinde değişkenler arasındaki ilişkileri, "EĞER İSE" ifadelerini keşfetmeyi öğrenme sorunlarıdır. Örneğin "bir müşteri bir bilgisayar veya dizüstü bilgisayar (bir ürün) satın alırsa, aynı zamanda anti-virüs yazılımı (başka bir ürün) de satın alması muhtemeldir." ifadesi bu görev kapsamındadır. Günümüzde nesnelerin interneti, tıbbi teşhis, akıllı telefon uygulamaları ve biyoinformatik gibi birçok uygulama alanında kullanılmaktadır. |
| **Boyut indirgeme** | İlk temsilin bazı özellikleri korunurken, öğelerin ilk temsilini daha düşük boyutlu bir temsile dönüştürme sorunudur. Bilgisayarlı görü görevlerinde dijital görüntülerin ön işlemesinin yapılarak boyut indirgenmesi örnek olarak verilebilir. |
| **Anomali tespiti** | Belirli bir kalıbı analiz eden ve kalıptaki değişiklikleri veya anormallikleri tespit etme sorunudur. Kredi kartı şirketlerinin müşterilerin olağan dışı işlemleri tespit ederek olağan dışı işlemde uyarı vermesi bu soruna örnek olarak verilebilir. |

Makine öğrenmesi teknikleri Tablo 2.16'da verilen pratikte yer alan problemleri çözümlemek üzere kullanılmaktadır. Bu görevleri yerine getirimede kullanılan makine

öğrenmesi teknikleri temelde dört kategoriye ayrılmakta olup, Şekil 2.48'de bu teknikler gösterilmiştir (Sarker, 2021; Mohri ve diğ., 2018).




**Şekil 2.48:** Makine öğrenmesi teknikleri.

Şekil 2.48'de görüldüğü üzere makine öğrenmesi tekniklerinin hepsi tüm problemlerin çözümünde kullanılamamaktadır. Probleme uygun makine öğrenmesi tekniğinin tercih edilmesi gerekmektedir. Bu noktada dikkat edilmesi gereken en önemli hususlardan biri ise verinin yapısıdır. Girdinin etiketli veri olması durumunda denetimli teknikler kullanılırken, etiketsiz olması durumunda denetimsiz teknikler, karma olması durumunda yarı gözetimli teknikler kullanılmaktadır.

### *2.5.3.1. Denetimli (Gözetimli) Öğrenme Teknikleri*

Denetimli öğrenme teknikleri tahmine dayalı veri analizi uygulamalarında modelleri oluşturmak için kullanılmaktadır. Bu teknikler, geçmiş örneklere dayalı olarak bir dizi tanımlayıcı öznitelik ile bir çıktı öznitelik arasındaki ilişkinin modelini otomatik olarak öğrenir. Daha sonra bu model yeni örnekleri tahmin etmek üzere kullanılmaktadır (Kelleher ve diğ., 2020: 5). Bu süreçten anlaşıldığı üzere denetimli öğrenmede hedef, etiketlenmiş eğitim verilerinden bir fonksiyon veya harita çıkarmaktır. Eğitim verileri tanımlayıcı özellik ya da girdi vektörü olarak adlandırılan X ve çıktı öznitelik, hedef özellik ya da çıktı vektörü olarak adlandırılan Y'den oluşur. Y vektöründeki etiket X girdi vektöründen ilgili girdi örneğinin açıklamasıdır. X ve Y vektörleri birlikte eğitim örneğini veya eğitim veri kümesini oluştururlar. Çıktı vektörü Y'nin etiketleri genellikle insan olan bir süpervizör tarafından sağlanmaktadır (Mohammed ve diğ., 2017: 42). Denetimli öğrenmede süpervizör tarafından sağlanan $x_i$ girdileri ve $y_i = f(x_i)$ çıktılarından oluşan bir dizi etiketli eğitim örneği $\{\langle x_i, y_i \rangle\}$ üzerinden

başlangıçta bilinmeyen bir $f: X \rightarrow Y$ fonksiyonunu çözüm olarak üretir (Mitchell, 1997). Denetimli öğrenmede verilerin nasıl çalıştığı ve girdi-çıktı ilişkisi bir çözüm olarak ortaya konulduktan sonra test veri setinde kullanılır. Denetimli öğrenme algoritmaları devreye alındıktan sonra bile gelişmeye devam eder ve kendisini yeni veriler ile eğitirken yeni kalıplar ve ilişkiler keşfeder (Sakarkar ve diğ., 2021).

Denetimli öğrenme sürecini bir örnek üzerinden daha açık bir şekilde ifade etmek mümkündür. Bir bankanın geçmişte vermiş olduğu ipoteklere ilişkin kullanıcıların meslek, yaş ve kredi-maaş oranı gibi tanımlayıcı özelliklerini ve ipotek başvurusunda bulunan kişinin krediyi temerrüde düşürüp ödemediğini veya krediyi tam olarak geri ödeyip ödemediğini gösteren bir çıktı özniteliğini/hedef özelliğini içeren veri seti bulunmaktadır. Burada meslek, yaş ve kredi-maaş oranı gibi girdi değişkenleri ile krediyi geri ödeme ya da ödememe olarak kategorize edilen etiketli verinin tahmin edilmesi problemi söz konusudur. Bu veri setinde X vektörü meslek, yaş ve kredi-maaş oranı gibi girdi değişkenlerinden, Y vektörü ise krediyi tam olarak geri ödeyip ödememe durumunu gösteren çıktı değişkenidir. Bu örnek için çıktı özniteliği ayrık değişken olduğu için bir sınıflandırma problemi olduğu söylenebilir. Geçmiş verilerden eğitim seti ile uygun algoritma kullanılarak ilişki otomatikleştirilir ve yeni ipotek başvurusu geldiğinde başvuru sahibinin geri ödeme durumu algoritma ile tahmin edilir (Kelleher ve diğ., 2020: 5-7).

Günümüzde denetimli öğrenme teknikleri biyoinformatik, ses tanıma, yüz tanıma, nesne tanıma, görüntü sınıflandırma, belge sınıflandırma ve istenmeyen posta tespiti gibi pek çok uygulamada kullanılmaktadır (Sakarkar ve diğ., 2021: 41-43; Murphy, 2012: 5-8). Facebook, olumlu ve olumsuz duyguları ifade eden durum güncellemesini analiz etmek için, Google ise belge kategorizasyonu için denetimli öğrenme tekniklerinden Naïve Bayes algoritmasını kullanmaktadır (Alzubi ve diğ., 2018).

#### *2.5.3.2. Denetimsiz (Gözetimsiz) Öğrenme Teknikleri*

Denetimsiz öğrenme teknikleri denetimli öğrenmede yer alan çıktı özniteliği/hedef özelliğin olmaması durumunda kullanılmaktadır. Denetimsiz öğrenmenin temel amacı, etiketlenmemiş verilerdeki gizli ve ilginç kalıpları ortaya çıkarmaktır. Denetimli öğrenmenin aksine, çıktının değerlerinin ne olabileceği hakkında hiçbir fikir vermeyeceği için bir regresyon veya sınıflandırma problemine doğrudan uygulanamaz. Denetimsiz öğrenme teknikleri yaygın olarak kümeleme, anomali tespiti, birliktelik ve boyut indirgeme gibi görevler yerine getirilirken tercih edilmektedir (El Bouchefry ve de Souza, 2020: 227-228).

Denetimsiz öğrenmede, kullanıcıların modeli öğretmesi ya da denetlemesi gerekmez. Doğru çıktı ya da hedef ve bunu öğretecek bir süpervizör yoktur. Algoritma kendisi girdi olarak sunulan verilerden öğrenir. Benzerliklerine göre verileri öğrenmek ve gruplamak için verilerden kalıpları ve bilgileri keşfeder. Örneğin, farklı kedi ve köpek türlerinden oluşan bir görüntü veri setinin herhangi bir etiket olmaksızın girdilere göre gruplara ayrılması görevi bir denetimsiz öğrenme problemidir. Bu örnekte algoritma, görüntü özelliklerini kendi başına tanımlayarak görüntüler arasındaki benzerliklere göre gruplara ayırma görevini gerçekleştirecektir (Doshi ve diğ., 2022).

Günümüzde denetimsiz öğrenme teknikleri sahtekarlık tespiti, pazarlama stratejileri için satın alma tercihlerinin belirlenmesi ve ürün ya da hizmet tavsiyeleri gibi pek çok uygulamada kullanılmaktadır (Sakarkar ve diğ., 2021: 45). Bu kapsamda Amazon veya Flipkart gibi web siteleri hangi öğelerin sıklıkla birlikte satın alındığını önermek veya Google otomatik tamamlama ile arama motoruna yazılan kelime ile birlikte gelen diğer ilişkili kelimeleri araması denetimsiz öğrenme tekniklerinden Apriori uygulaması örnekleridir. Google ve Yahoo gibi arama motorlarının web sayfalarını benzerliğe göre kümelemesi ise k-ortalamalar uygulama örneğidir. Bu algoritmaya yöntem bölümünde ayrıca yer verilecektir (Alzubi ve diğ., 2018).

#### *2.5.3.3. Yarı Denetimli (Gözetimli) Öğrenme Teknikleri*

Yarı denetimli öğrenme, hem etiketli hem de etiketsiz veriler üzerinde çalıştığı için denetimli ve denetimsiz tekniklerin hibrit kullanımı olarak ifade edilebilir. Gerçek dünyada etiketli veriler daha nadirdir. Yarı denetimli bir öğrenme modelinde amaç, yalnızca etiketlenmiş veriler kullanılarak üretilenden modelden daha iyi bir tahmin sonucu sağlamaktır (Sarker, 2021). Bunun yanı sıra yarı denetimli öğrenme etiketlenmemiş verileri kullanarak denetimli bir görevi çözmeye yardımcı olmayı amaçladığı için bu teknikleri kullanmaya büyük bir ilgi vardır (Murphy, 2012: 268).

Pratikte çok sayıda etiketlenmemiş örnek kolayca toplanabilmektedir, ancak bunları "etiketlemek" oldukça maliyetlidir. Örneğin, bilgisayar destekli tıbbi görüntü analizinde çok sayıda tıbbi görüntü elde etmek mümkündür. Bu görüntüler üzerinden tıp uzmanlarından tüm lezyonları işaretlemesini istemek pratik olmayacaktır. Aynı durum web sayfası öneri modellerinde de geçerlidir. Bu öneri modellerinde kullanıcılardan ilgilendikleri web sayfalarını etiketlemeleri istenir. Ancak, kullanıcılar genellikle buna zaman harcamak istemezler. Bu nedenle yarı denetimli öğrenme teknikleri, gerçek dünya uygulamalarında oldukça fazla talep görmektedir (Zhou, 2021: 317).

Sağlık ve hukuk endüstrilerinde konuşma ve görüntü analizi ve web içeriğinin sınıflandırması gibi durumlarda yarı denetimli öğrenme teknikleri kullanılmaktadır. Web içeriğinin sınıflandırılmasında içerik toplama ve tarama motorlarının sistemleri için yarı denetimli öğrenme uygulanır. Etiket koleksiyonları içerik analizi için kullanılır. uClassify, bu prosedürün mükemmel bir örneğidir (Cooper, 2019). Makine çevirisi, dolandırıcılık tespiti, etiketleme verileri ve metin sınıflandırması yarı denetimli öğrenmenin kullanıldığı bazı uygulamalardır (Sarker, 2021).

#### *2.5.3.4. Pekiştirmeli (Takviyeli) Öğrenme Teknikleri*

Makine öğrenmesi teknikleri içerisinde klasik türlerden farklı diğer bir teknik ise pekiştirmeli ya da takviyeli öğrenmedir. Pekiştirmeli öğrenme, kontrol teorisi, optimizasyon ve bilişsel bilimlerle ilintili geniş bir alandır. Denetimli öğrenmede olduğu gibi makineye pasif olarak etiketlenmiş bir veri seti sunulmaz. Bunun yerine çevre ile etkileşeme girerek bir dizi eylem yoluyla bilgi toplanır. Ayrıca pekiştirmeli öğrenmede eğitim ve test aşamaları birbirine karışmıştır. Pekiştirmeli öğrenmede amaç, çevre ile etkileşimlere dayalı olarak performansını artıran ajan olarak isimlendirilen bir sistem geliştirmektir. Buna ulaşmak için en iyi eylem yolunu veya politikayı belirlemek hedeflenir. Burada ajan eylemi gerçekleştiren ve bu eylemlerden öğrenen bir unsurdur. Ajanın amacına ulaşması, tipik olarak çevreden aldığı ve maksimize etmeye çalıştığı ödülle ölçülür. Bir ajan, çevre ile etkileşimi yoluyla, keşifsel bir deneme-yanılma yaklaşımı veya müzakereli planlama yoluyla bu ödülü en üst düzeye çıkaran bir dizi eylemi öğrenmek için pekiştirmeli öğrenmeyi kullanabilir. Pekiştirmeli öğrenmede ajanın çevreden aldığı bilgi eylemine dair anlık bir ödüldür. Bununla birlikte pekiştirmeli öğrenmenin önemli bir yönü gecikmiş ödül veya cezaları da dikkate almasıdır (Mohri ve diğ., 2018; Raschka ve Mirjalili, 2017).

Pekiştirmeli öğrenme sürecinde keşif (exploration) ve sömürü (exploitation) kavramları arasındaki ödünleşim en önemli zorluklardan biridir. Ajan ödül elde etmek için geçmişte denediği ve ödül almada etkili olduğu eylemleri seçmelidir. Ajan ödülü maksimize edebilmek için daha önce deneyimlediği eylemlerden yararlanır. Bununla birlikte ödülü maksimize etmek için daha önce deneyimlemediği eylemler varsa bunları da keşfetmesi gerekir. Buradaki ikilem, ne yeni eylemlerin keşfi ne de geçmiş eylemlerin sömürüsünün, görevde başarısız olmadan tek başına takip edilememesidir. Matematikçiler tarafından onlarca yıldır yoğun bir şekilde çalışılan bu ikilem henüz çözüme kavuşturulamayan bir konudur (Sutton ve Barto, 2018: 3).

Pekiştirmeli öğrenme süreçlerini daha iyi açıklamak için örneklendirmek faydalı olacaktır. Bir mobil robotun, daha fazla çöp toplamak için yeni bir odaya girip girmeyeceğine veya pil şarj istasyonuna geri dönüş yolunu bulmaya çalışmasına karar verrmesi pekiştirmeli öğrenme örneğidir. Burada robot (ajan) kararı mevcut şarj düzeyine ve şarj cihazını geçmişte ne kadar hızlı ve kolay bulabildiğine göre deneyimler üzerinden verir (Sutton ve Barto, 2018; 3). Pekiştimeli öğrenmenin en bilinen örneklerinden biri satranç motorudur. Burada ajan, tahtanın durumuna (çevre) bağlı olarak bir dizi hamleye karar verir. Bu modelde ödül, oyunun sonunda kazanma veya kaybetme olarak tanımlanabilir (Raschka ve Mirjalili, 2017). Ancak pekiştirmeli öğrenme algoritmalarında bazı durumlarda çözüm mutlak bir değer değildir. Bir haritada iki nokta arasındaki en kısa rotayı bulmak amacıyla pekiştirmeli öğrenmenin kullanılması durumunda, çözüm yüzde değeriyle ifade edilen bir etkinlik puanı alır. Bu yüzde değeri ne kadar yüksek olursa, algoritmaya o kadar fazla ödül verilir. Böylece program, mümkün olan en iyi ödül için mümkün olan en iyi çözümü vermek üzere eğitilir. Günümüzde pekiştirmeli öğrenme teknikleri bilgisayar oyunları oynamak için yapay zekanın oluşturulması, robotik ve endüstriyel otomasyon, veri madenciliği, sağlık hizmetleri ve alım-satım işlemleri gibi pek çok uygulama alanında kullanılmaktadır (Sakarkar ve diğ., 2021; El Bouchefry ve de Souza, 2020; 228).

### 2.5.4. Makine Öğrenmesi Algoritmaları

Algoritmalar, hesaplama yöntemlerini kullanarak verilerden bilgi çıkarmak için benimsenmiştir. Makine öğrenmesi teknikleri altında yer alan algoritmalar pratikte birbirinden farklı pek çok sorunun çözümünde kullanılmaktadır. Bu algoritmalar ile Tablo 2.16'da verilen çeşitli görevleri gerçekleştirmek üzere makine öğrenmesi süreci işletilir. Bu algoritmalar temelde bir önceki bölümde bahsedilen farklılıklar odağında çeşitli teknikler altında sınıflandırılmıştır. Bu teknikler ve algoritmalar yapılan çalışmalar ile birlikte daha ileri bir boyuta taşındığı ve bir disiplin olarak makine öğrenmesinin ortaya çıktığı söylenebilir. Makine öğrenmesi algoritmalarının gelişme süreci devam etmekle birlikte, genel olarak sık kullanılan algoritmaları hangi öğrenme tekniği altında yer aldığına ve gerçekleştirdiği görevlere göre Tablo 2.17'deki gibi özetlemek mümkündür (Zhou, 2021; Kelleher ve diğ., 2020; El Bouchefry ve de Souza, 2020; Sarker, 2021).

**Tablo 2.17:** Makine öğrenmesi algoritmaları.

| Öğrenme Tekniği | Görev | Algoritma |
|---|---|---|
| **Denetimli Öğrenme** | Sınıflandırma | • Naïve Bayes<br>• Lojistik Regresyon<br>• K-En Yakın Komşu<br>• Destek Vektör Makineleri<br>• Topluluk Metotları (Rassal Orman vb.)<br>• Karar Ağaçları |
| | Regresyon | • Doğrusal Regresyon<br>• Polinom Regresyon<br>• Topluluk Metotları (Rassal Orman vb.)<br>• Karar Ağaçları |
| **Denetimsiz Öğrenme** | Kümeleme | • K-Ortalamalar<br>• K-Medoids<br>• Bulanık C-Ortalamalar<br>• Hiyerarşik Kümeleme<br>• Ortalama Kaydırma<br>• Gaussian Karışım Modeli<br>• DBSCAN |
| | Birliktelik-Patern arama | • APriori<br>• FP-Growth<br>• Eşdeğerlik Sınıf Dönüşüm |
| | Boyut İndirgeme/ Anomali Tespiti | • Temel Bileşenler Analizi<br>• Gizli Anlamsal Analiz<br>• Doğrusal Ayırma Analizi<br>• Tekli Değer Ayrışımı |
| **Pekiştimeli Öğrenme** | Optimizasyon, Karar Verme, Kontrol, Sınıflandırma vb. | • Markov Karar Süreci<br>• Q-Öğrenme<br>• Yapay Sinir Ağları<br>• Derin Çekişmeli Ağlar<br>• A3C<br>• Genetik Algoritma |

Tablo 2.17'de verilen ve çeşitli görevleri yerine getirmede kullanılan algoritmalar dışında günümüzde pek çok makine öğrenme algoritması kullanılmaktadır. Bu aşamada verilen algoritmalardan araştırma kapsamında yer alan ve kümeleme görevi için kullanılacak olan k-ortalamalar algoritması ile sınıflandırma görevi için kullanılacak olan karar ağacı algoritmalarından sınıflandırma ve regresyon ağaçları (CART) algoritması ve topluluk metotlarından rastgele orman algoritması yöntem kısmında ele alıncaktır. Ancak Tablo 2.17'de verilen bu algoritmalarından farklı görevler kapsamında yer alan algoritmaların en azından birkaç tanesini uygulamaları ile kısaca açıklamak faydalı olacaktır.

- *Naïve Bayes*: Bayes Teoremine dayanan ve bir nesnenin olasılığına dayalı olarak tahminde bulunmayı sağlayan olasılıksal bir sınıflandırma algoritması olan Naïve Bayes, çok büyük veri setleri için uygundur. İstenmeyen e-posta filtreleme, duygusal analiz ve makale sınıflandırma, gerçek zamanlı tahmin ve kredi skorlama Naïve Bayes algoritmasının bazı popüler uygulamalarıdır (Doshi ve diğ., 2022).
- *Destek Vektör Makineleri*: Özellikle sınıflandırma görevlerinde sıklıkla kullanılan destek vektör makineleri algoritmasında, bir dizi veriye dayalı olarak otomatik veri sınıflandırması için öğrenme modelleri üretilir. Gen sınıflandırma, belirli özelliklere göre kanser tahmini, yangın, sel, deprem vb. tahmin, patolojik beyin tespiti, güneş radyasyonu tahmini ve metin sınıflandırma gibi uygulamalar Destek Vektör Makineleri kullanılarak yüksek başarı ile gerçekleştirilebilmektedir (Mehne ve Mirjalili, 2020).
- *Karar Ağaçları*: Hem sınıflandırma hem de regresyon problemlerine uygulanabilen karar ağaçları, akış şeması benzeri bir ağaç yapısına (kök, dal ve yaprak) sahip olduğundan uygulaması ve anlaşılması kolay bir algoritmadır. Karar ağaçları tıp, moleküler biyoloji, farmakoloji, astronomi, biyomedikal mühendisliği, kontrol sistemleri, tarım ve finansal analiz gibi geniş uygulama alanlarında kullanılmaktadır (Obulesu ve diğ., 2018). Yöntem başlığı altında ayrıntılı olarak ele alınacaktır.
- *Rastgele Orman*: Karar ağaçlarında olduğu gibi hem sınıflandırma hem de regresyon problemleri için kullanılabilen rastgele orman algoritması, bir veri kümesinin farklı alt kümelerinde bir dizi karar ağacını birleştiren bir sınıflandırıcıdır. Karmaşık bir sorunu çözmek ve modelin performansını artırmak için tek bir karar ağacına güvenmek yerine, her ağaçtan tahminleri alarak çoğunluk oylarına göre nihai çıktıyı tahmin eden topluluk öğrenmesine dayalı bir algoritmadır. Bankacılıkta kredi risklerini, tıpta hastalık trendleri ve risklerini, arazi geliştirmede benzer arazi kullanımına sahip alanları ve pazarlamada

güncel trendileri belirlemek üzere yaygın olarak kullanılmaktadır (Doshi ve diğ., 2022). Yöntem başlığı altında ayrıntılı olarak ele alınacaktır.

- *K-ortalamalar*: Etiketlenmemiş veri kümesini en iyi benzer noktalarına dayalı olarak k sayıda farklı kümeye ayıran bir denetimsiz öğrenme algoritmasıdır. Algoritma aynı alt kümedeki gözlemler homojen, farklı kümelerdeki gözlemler heterojen olacak şekilde verilerdeki alt grupları oluşturmaktadır. Bu algoritma belge sınıflandırma, kablosuz sensör ağları, teşhis sistemleri, sigorta dolandırıcılığı tespiti, müşteri ve pazar segmentasyonu gibi çeşitili ugyulamalarda kullanılmaktadır (Kohad, 2021). Yöntem başlığı altında ayrıntılı olarak ele alınacaktır.
- *APriori*: Veritabanlarındaki geçmiş işlemleri inceleyerek birliktelik kuralları oluşturmak ve sıklıkla birlikte kullanılan öge kümelerini bulmak için kullanılan bir algoritmadır. Özellikle pazar sepeti analizinde tüketicinin pazardan birlikte satın alabileceği ürünleri bulmak için kullanılmakla birlikte, tıpta hastalığa bağlı hastalık ilişkisini ortaya koymak ve internet arama motorlarında sık kullanılan kelimelere göre otomatik tamamlamayı sağlamak için kullanılmaktadır (Doshi ve diğ., 2022).
- *Temel Bileşenler Analizi*: Büyük bir veri kümesinden temel bileşenler olarak adlandırılan daha az sayıda ilişkisiz değişkenin tanımlanması için kullanılan bir boyut azaltma/indirgeme algoritmasıdır. Temel bileşenler analizi, sinir bilim, finans, görüntü sıkıştırma, yüz tanıma ve anomali tespiti gibi farklı pek çok alanda kullanılmaktadır (Joshi, 2020).
- *Markov Karar Süreci*: Markov karar süreçleri, sonuçların kısmen bir karar vericinin kontrolü altında olduğu, kısmen de rastgele olduğu karar verme senaryoları hakkında akıl yürütmek için kullanılan matematiksel bir çerçevedir. Finansal modellemeden robot kontrolüne ve insan konuşma akışını modellemeye kadar çeşitli uygulamaları mevcuttur (Kelleher ve diğ., 2020: 643).
- *Q-Öğrenme*: Bir ajana hangi koşullar altında hangi eylemi gerçekleştireceğini söyleyen davranışların kalitesini (Q) öğrenmek için kullanılan modelsiz yani çevre modeline ihtiyaç duymayan bir pekiştirmeli öğrenme algoritmasıdır. Oyun teorisi, bilgi teorisi, üretim, tedarik zinciri lojistiği, çok etmenli sistemler, sürü zekası, uçak kontrolü, robot hareket kontrolü gibi çeşitli alanlarda çok sayıda gerçek dünya problemini çözmek için kullanılabilmektedir (Sarker, 2021).

## 2.6. COVID-19 MÜCADELESİNİ ANALİZDE VZA ve/veya MAKİNE ÖĞRENMESİ TEKNİKLERİNİ KULLANAN ÇALIŞMALARIN LİTERATÜR ÖZETİ

Sağlık hizmetlerinde teknolojinin yoğun kullanımı ile birlikte veri kayıt sistemlerinin gelişmesi büyük veri olarak adlandırılan veri yığınlarının ortaya çıkmasına yol açmıştır. Bu verileri fayda sağlayacak şekilde anlamlandırma ve sağlık hizmetleri süreçlerine katkı sağlama noktasında makine öğrenmesi algoritmaları önemli bir potansiyele sahiptir. Günümüzde bazı şirketler sağlık uzmanlarına daha iyi kararlar vermelerini sağlamak üzere daha iyi bilgilendirilmiş veriler sağlamak için makine öğrenmesi tekniklerini kullanmanın avantajlarını araştırmaktadır. Kalp atış hızı, ağırlık, nabız, adımsayar, kan basıncı ve hatta kan şekeri seviyeleri gibi bir dizi sağlık bilgisini bir araya getiren akıllı telefonları ve diğer giyilebilir cihazları kullanan tüketici sayısının artması kişiselleştirilmiş tıp alanının gelişmesine katkı sağlarken, aynı zamanda büyük verinin ve onu anlamlı hale getirecek makine öğrenmesi tekniklerinin sağlık alanında kullanımına da zemin hazırlamıştır (Bell, 2022: 213).

Sağlık hizmetleri perspektifinde makine öğrenmesi uygulamalarını incelediğimizde son yıllarda önemli ölçüde gelişme kaydedildiğini söylemek mümkündür. Bu doğrultuda günümüzde sağlık hizmetlerinde makine öğrenmesi uygulamalarının başta tıbbi teşhis olmak üzere kişiselleştirilmiş tıp, daha iyi radyoterapi, akıllı sağlık kayıtları, ilaç keşfi ve üretimi, klinik deney ve araştırma, kitle kaynaklı veri toplama ve salgın tahmini gibi pek çok alanda yer bulduğu görülmektedir (Kalaiselvi ve Deepika, 2020: 93). COVID-19'un dünya genelindeki yıkıcı etkisi özellikle araştırmacıların da pandemi ile mücadelede makine öğrenmesi tekniklerini kullanma çabalarını önemli ölçüde artırmıştır. Bu kapsamda yüksek risk altındaki hastaları, ölüm oranlarını ve diğer anomalileri sınıflandırmak, virüsün kökenini anlamak, hastalık teşhisi ve tedavisinde kullanmak, salgının nerede ve ne zaman yayılacağını tahmin etmek, ülkelerin mücadele stratejilerini ve performanslarını değerlendirmek üzere makine öğrenmesi teknikleri yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır (Sarker, 2021). Bu tekniklerin ve bütünleşik olarak kullanılan Veri Zarflama Analizi gibi diğer yöntemlerin kullanımının pandemi gibi halk sağlığını olumsuz etkileyen yıkıcı olaylara karşı erken dönemde tedbirlerin alınması ve politika aktörlerinin pandemiye karşı en uygun stratejileri geliştirmesi noktasında destek sağlayacağı açıktır. Bu kapsamda çalışmanın bu bölümünde COVID-19 pandemisine karşı mücadele süreçlerini Veri Zarflama Analizi ve/veya makine öğrenmesi algoritmaları ile değerlendiren çalışmalara yer verilmiştir. Tablo 2.18'de seçili çalışmaların araştırma tasarımına ilişkin özet bilgilere yer verilmiştir.

**Tablo 2.18:** COVID-19 mücadelesinin analizinde VZA ve/veya makine öğrenmesi yöntemlerini kullanan çalışmaların literatür özeti.

| *Yazar/Yıl* | *Analiz Kapsamı (Karar Birimleri ve Analiz Periyodu)* | *1. Aşama Kümeleme Analizi* | *2. Aşama Etkinlik Analizi (Veri Zarflama Analizi)* | *3. Etkinlik Belirleyicileri (Makine Öğrenmesi Teknikleri vd.)* |
|---|---|---|---|---|
| *Shirouyehzad ve diğ. (2020)* | 25 Mart 2020'de ilk doğrulanmış COVID-19 vakasının üzerinden en az bir ay geçmiş olan ve ilk doğrulanmış vakadan itibaren ilk 30 günde 10 veya daha fazla vaka bulunan 29 ülke analiz kapsamına alınmıştır. | Kullanılmamıştır. | İstenmeyen çıktıların girdi, istenmeyen girdilerin ise çıktı değişkeni olarak kullanıldığı BCC (VRS) modeli ile analiz edilmiştir. Buna göre etkinlik analizi iki aşamalı olarak yapılmıştır. Bulaşıcı hastalık kontrolü etkinliğini değerlendirilen ilk modelde istenmeyen girdi olan nüfus yoğunluğu **çıktı değişkeni olarak**, istenmeyen çıktı değişkeni olan doğrulanmış vaka sayısı ile Uluslararası Sağlık Düzenlemeleri Temel Kapasite Puanı (13 göstergeden oluşan) **girdi değişkeni** olarak kullanılmıştır. Tıbbi tedavi performansının değerlendirildiği ikinci modelde ise doğrulanmış vaka sayısı **girdi,** ölen vakalar ve iyileşen vakalar ise **çıktı değişkeni** olarak belirlenmiştir. | Kullanılmamıştır. |
| *Su ve diğ. (2021)* | G-20 üyesi 19 ülke ile birlikte yüksek vaka ve ölüme sahip İran ve İspanya ve yüksek nüfusa sahip Pakistan ve Nijerya'dan oluşan 23 ülkenin doğrulanmış ilk vaka sonrası 105 günlük verileri kullanılmıştır. | Kullanılmamıştır. | Temel CCR (CRS) modeli ile analiz yapılmıştır. VZA modelinde **girdi değişkeni** olarak doğrulanmış yeni vakalar, **çıktı değişkenleri** olarak ise nüfus yoğunluğu ve kentleşme düzeyi kullanılmıştır. Vaka sayısı istenmeyen çıktı olduğu için modele girdi olarak dahil edilmiştir. | Kullanılmamıştır. |
| *Ghasemi (2020)* | COVID-19 ile mücadele etkinliğini belirlemek için 2 Şubat 2020-12 Nisan 2020 tarihleri arasında en az 70 günlük verisi bulunan 19 ülke analize dahil edilmiştir. Haftalık veriler ile analiz yapılmıştır. | Kullanılmamıştır. | COVID-19 yaygınlığının kontrol edilmesi ve COVID-19 kaynaklı ölümlerin önlenmesi olmak üzere ülkelerin performansı iki ayrı boyutta Dinamik VZA ile değerlendirilmiştir. Buna göre ilk modelde nüfus sayısı ve nüfus yoğunluğu **girdi,** doğrulanmış vaka sayısı **çıktı değişkeni** olarak belirlenmiştir. İkinci modelde ise nüfus sayısı, nüfus yoğunluğu ve 65 yaş ve üzeri nüfus yüzdesi **girdi**, doğrulanmış ölüm sayısı **çıktı değişkeni** olarak belirlenmiştir. | Kullanılmamıştır. |
| *Ordu ve diğ. (2021)* | Seçilmiş 16 ülke karar birimi olarak belirlenmiştir. Bu ülkeler 100. doğrulanmış vakadan sonra en azından devam eden 5 ardışık hafta boyunca COVID-19 ile mücadele eden ülkelerdir. Seçilen ülkelerin 100. vaka tarihlerinden sonra 31 Aralık 2019-11 Nisan 2020 tarihleri arasındaki 5 haftalık verileri kullanılmıştır. | Kullanılmamıştır. | Süper etkinlik modeli kullanılmıştır. Her hafta verisi ayrı ayrı olacak şekilde toplam 80 VZA modeli kurulmuştur. Bu VZA modellerinde **girdi değişkenleri**; *demografi* (nüfus sayısı, medyan yaş, 70 yaş ve üzeri nüfus yüzdesi), *vakalar* (toplam doğrulanmış vaka, haftalık doğrulanmış vaka), *kaynaklar* (bin kişi başına hekim sayısı, yüz bin kişi başına hastane yatağı sayısı), **çıktı değişkenleri** ise toplam doğrulanmış ölüm, haftalık toplam ölüm, iyileşen oranı olarak belirlenmiştir. | Kullanılmamıştır. |

**Tablo 2.18 (devam):** COVID-19 mücadelesinin analizinde VZA ve/veya makine öğrenmesi yöntemlerini kullanan çalışmaların literatür özeti.

| *Yazar/Yıl* | *Analiz Kapsamı (Karar Birimleri ve Analiz Periyodu)* | *1. Aşama Kümeleme Analizi* | *2. Aşama Etkinlik Analizi (Veri Zarflama Analizi)* | *3. Etkinlik Belirleyicileri (Makine Öğrenmesi Teknikleri vd.)* |
|---|---|---|---|---|
| *Breitenbach ve diğ. (2020)* | 30 Nisan 2020 tarihi itibarıyla ilk vaka görülmesinin üzerinden 100 gün geçmiş olan ülkelerden vaka sayısına göre en çok etkilenen 31 ülke gözlem olarak seçilmiştir. Bu ülkeler tüm vakaların %90'ını temsil eden bir örneklem oluşturmaktadır. Bunlardan sadece Güney Afrika kıta temsili için dahil edilmiş. Ülkelerin virüsün yayılmasını kontrol altına alma etkinliğini belirtilen tarih baz alınarak statik olarak analiz etmiştir. | Kullanılmamıştır. | Girdi yönelimli VRS modeli ile analiz yapılmıştır. VZA modelinde her ülkenin döngüdeki toplam gün sayısından döngü başlangıcından enfeksiyonların istikrarlı bir şekilde düşmeye başladığı noktaya (COVID-19 yörünge eğrisindeki bükülme noktası) kadar geçen gün sayısının çıkarılması ile elde edilen değer **çıktı değişkeni** olarak belirlenmiştir. Bu değişken, kritik noktaya hızla ulaşan KVB'lere daha yüksek çıktı değerleri ve gecikenlere düşük değerler atar. **Girdi değişkenleri** ise sokağa çıkma kısıtlaması gün sayısı, bin kişi başına hekim sayısı, bir milyon kişi başına toplam test sayısı ve GSYH içinde sağlık harcamalarının yüzdesi olarak belirlenmiştir. | Kullanılmamıştır. |
| *Ibrahim ve diğ. (2020)* | İki ayrı model oluşturulan çalışmanın ilk modeli olan bulaşıcılıkla mücadele etkinliği modelinde 58 ülke, tedavi etkinliği modelinde ise 57 ülke analize dahil edilmiştir. COVID-19 değişkenleri için 15 Temmuz 2020 tarihli kümülatif veriler kullanılmıştır. | Kullanılmamıştır. | İstenmeyen çıktılar olduğunda kullanılabilen yönelimli uzaklık fonksiyonuna dayalı CRS modeli ile analiz yapılmıştır. Bulaşıcılıkla mücadele etkinliğinin belirlendiği ilk modelde **girdi değişkenleri** olarak nüfus yoğunluğu ve 13 Uluslararası Sağlık Düzenlemeleri Temel Kapasite Puanı **çıktı değişkeni** olarak doğrulanmış vaka sayısı kullanılmıştır. Tedavi etkinliğinin belirlendiği ikinci modelde ise **girdi değişkenleri** olarak doğrulanmış vaka sayısı, bin kişi başına hekim sayısı, bin kişi başına hastane yatağı sayısı ve 65 yaş ve üzeri nüfus yüzdesi, **çıktı değişkenleri** olarak ise COVID-19 ilişkili ölüm sayısı ve iyileşen vaka sayısı kullanılmıştır. | Kullanılmamıştır. |
| *Aydin ve Yurdakul (2020)* | 142 farklı ülkenin 21/01/2020-28/07/2020 tarihleri arasındaki COVID-19 değişkenleri (vaka sayısı, test sayısı, ölüm sayısı, iyileşen hasta sayısı, aktif hasta sayısı) ve diğer değişkenlere ait en yakın yıl verileri kullanılmıştır. | k-means algoritması ve hiyerarşik kümeleme algoritması kullanılmıştır. | Weighted Stochastic Imprecise DEA (WSIDEA) yöntemi kullanılmıştır. Bu analizde 7 girdi, 5 çıktı ve 2 flexible değişken ile model kurulmuştur. Modelde **girdiler** (toplam ölüm, sıkılık endeksi, aşırı yoksul oranı, CVD ölüm oranı, diyabet prevalansı, erkek ve kadın sigara içme yüzdesi), **çıktılar** (nüfus, GSYİH, hastane yatağı, toplam iyileşen, toplam test) ve **flexible** (toplam vaka, aktif vaka) değişkenler kullanılmıştır. | Karar ağaçları ve rastgele orman algoritması kullanılmıştır. Hastane yatağı, diyabet prevalansı ve sıkılık endeksi faktörlerinin etkinlik üzerinde etkili olduğu; GSYİH, kadın-erkek sigara içen oranı, aşırı yoksul oranı, CVD ölüm oranı faktörlerinin etkinlik üzerindeki etkisi ise çok az ya da yoktur. |

**Tablo 2.18 (devam):** COVID-19 mücadelesinin analizinde VZA ve/veya makine öğrenmesi yöntemlerini kullanan çalışmaların literatür özeti.

| *Yazar/Yıl* | *Analiz Kapsamı (Karar Birimleri ve Analiz Periyodu)* | *1. Aşama Kümeleme Analizi* | *2. Aşama Etkinlik Analizi (Veri Zarflama Analizi)* | *3. Etkinlik Belirleyicileri (Makine Öğrenmesi Teknikleri vd.)* |
|---|---|---|---|---|
| *Breitenbach ve diğ. (2021)* | 220 ülke içerisinden küresel vaka ve ölüm sayılarının %90'ını temsil eden 36 ülke analiz kapsamına alınmıştır. COVID-19 değişkenleri için 11 Kasım 2020 tarihli kümülatif veriler kullanılmıştır. | Kullanılmamıştır. | Girdi yönelimli BCC (VRS) modeli ile analiz yapılmıştır. İstenmeyen çıktıların olduğu modellerde You ve Yan (2011) oran modeli kullanılmıştır. Oluşturulan ilk modelde; **girdi değişkenleri** test sayısı, doktor sayısı, hemşire sayısı, sağlık harcaması (GSYİH %), **çıktı değişkeni** olarak iyileşmelerin enfeksiyon oranlarına oranı (istenilen çıktının istenmeyene oranı) olarak belirlenmiştir. İkinci modelde **girdiler** aynı, **çıktı değişkeni** iyileşmelerin ölüm oranlarına oranı olarak belirlenmiştir. Üçüncü modelde ise **girdiler** aynı, **çıktı değişkeni** iyileşen sayısı olarak belirlenmiştir. | Kullanılmamıştır. |
| *Pereira ve diğ. (2022)* | Araştırmada OECD üyesi 37 ülke, aday üye olan 6 ülke, kilit ortak olan 4 ülke ve dünya çapında COVID-19'a karşı ülkelerin yanıtlarını kapsamlı ve güvenilir şekilde temsilini sağlayacak 8 ülke olmak üzere toplamda 55 ülke karar birimi olarak belirlenmiştir. COVID-19 ile ilgili değişkenlere ait veriler 31 Aralık 2020 tarihi itibarıyla alınan kümülatif verilerdir. | Kullanılmamıştır. | Araştırmada üretim sistemini alt süreçlere ayrıştırarak daha yüksek ayırt edicilik sağlayan Network VZA modeli kullanılmıştır. Bu modelde **girdi değişkenleri** olarak sağlık harcamaları, COVID-19 tanısında kullanılan araçların maliyetleri, dezenfeksiyon ve sterilizasyon ürünleri ile ilgili maliyetler, oksijen terapi ekipmanı maliyetleri; **istenen ara çıktı** olarak KKD kullanan nüfus; **istenmeyen ara çıktı** olarak KKD kullanmayan nüfus, enfekte nüfus, hastaneye yatırılması gereken vakalar, yoğun bakım gerekli olan hastaneye yatan sayısı, **istenen çıktılar** enfekte olmayan nüfus, evde iyileşen, hastanede iyileşen, yoğun bakımda iyileşenler; **istenmeyen çıktılar** ise hastaneye yatırılanlardan ölenler ve yoğun bakımda ölenlerdir. | Kullanılmamıştır. |
| *Xu ve diğ. (2021)* | Amerika'da yer alan 50 eyalet analize dahil edilmiştir. 1 Mart 2020-31 Ocak 2021 tarihleri arasındaki COVID-19 değişkenleri (kişi başına doğrulanmış vakalar, kişi başına iyileşenler, test sayısı) ile diğer değişkenlere ait en yakıl yıl verileri kullanılmıştır. | Kullanılmamıştır. | Standart VZA modelinin istenmeyen çıktılara göre doğrusal veri dönüşümünü sağlayan Seiford ve Zhu (2002) yaklaşımı kullanılmıştır. VZA modelinde kişi başına test sayısı, kişi başına sağlık çalışanı sayısı, toplam kamu finansmanı (dolar), toplam hastane yatağı sayısı **girdi değişkeni** olarak; iyileşen kişi sayısı (son 3 girdiyle ilişkili), doğrulanmış vaka sayısı (ilk girdiyle ilişkili istenmeyen çıktı) ise **çıktı değişkenleri** olarak belirlenmiştir. | Performans değerlendirmede lojistik regresyon ve CART, model performansını kıyaslama ve değişkenlerin önemini belirlemede Boosted Tree ve rastgele orman kullanılmıştır. Etkinliği açıklamada; **1. Sosyal mesafe** (toplu buluşma yasağı, nüfus yoğunluğu, zorunlu olmayan işletme kapanışları, evde kalma süresi, kentsel nüfus yüzdesi) **2. Sağlık politikası** (telesağlık hizmetlerine erişim, maske zorunluluğu, nüfus başına test sayısı, aşı sayısı, hastane yatağı sayısı, kamu finansmanı) **3. Sosyo-ekonomik ölçütler** (GSYİH, sağlık çalışanı, fiziksel hareketsizlik, bölge) kullanılmıştır. |

**Tablo 2.18 (devam):** COVID-19 mücadelesinin analizinde VZA ve/veya makine öğrenmesi yöntemlerini kullanan çalışmaların literatür özeti.

| *Yazar/Yıl* | *Analiz Kapsamı (Karar Birimleri ve Analiz Periyodu)* | *1. Aşama Kümeleme Analizi* | *2. Aşama Etkinlik Analizi (Veri Zarflama Analizi)* | *3. Etkinlik Belirleyicileri (Makine Öğrenmesi Teknikleri vd.)* |
|---|---|---|---|---|
| *Martínez-Córdoba ve diğ. (2021)* | Analiz kapsamında kullanılması düşünülen COVID-19 değişkenlerini raporlayan, eksik veya hatalı verisi olmayan 155 ülke analize dahil edilmiştir. 1 Şubat 2021 tarihli COVID-19 verileri ve diğer değişkenlere ait en yakıl yıl verileri analizde kullanılmıştır. | Kullanılmamıştır. | İstenmeyen çıktılar için doğrusal veri dönüşümünü sağlayan Seiford ve Zhu (2002) yaklaşımı ile çıktı yönelimli BCC (VRS) modeli uygulanmıştır. Modelde bin kişi başına hekim sayısı, bin kişi başına hemşire sayısı, bin kişi başına hastane yatağı sayısı, sağlık harcaması (GSYİH%) **girdi değişkeni olarak** bin kişi başına toplam vaka sayısı ve bin kişi başına ölüm sayısı ise **çıktı değişkeni** olarak belirlenmiştir. | VZA etkinlik skoruna etki eden çevresel faktörleri belirlemek için kesikli (truncated) regresyon modeli kullanılmıştır. Çevresel değişkenler olarak ülkelerin Avrupa, Asya, Amerika ve Afrika bölgelerinde olma durumları, devlet liderinin cinsiyeti, devlet liderinin ideolojisi, ses çıkarabilme (ifade, örgütlenme, medya, seçime katılım vb.), toplumun hukukun üstünlüğüne riayeti, nüfusun medyan yaşı, GSYİH değişim tahmini ve işsizlik oranı değişkenleri kullanılmıştır. |
| *Delis ve diğ. (2021)* | Mayıs 2020 ve Mart 2021 döneminde COVID-19 ile mücadelede hükûmet politikalarının aylık etkinlik endeksini ortaya koymuştur. 81 ülke analize dahil edilmiştir. Bunun nedeni özellikle küçük ve uzak ülkelerin salgınla ciddi ölçüde karşı karşıya kalmamış olmasıdır. | Kullanılmamıştır. | Hükûmetler girdiler üzerinde karar verdiği için temel VZA modeli olan girdi yönelimli CRS modelinin Simar ve Wilson (1998) yaklaşımı ve parametrik Stokastik Sınır Analizi kullanılmıştır. VZA modelinde hükûmet politikası girdisi olarak ele alınan COVID-19 Çevreleme ve Sağlık Endeksi değişkeni **girdi değişkeni** olarak, ülkelerin 7 günlük mortalite hareketli ortalamalarının AR(1) süreci ile dönüşümü **çıktı değişkeni** olarak belirlenmiştir. | VZA modelinde elde edilen hükûmet politikası etkinliğinin belirleyicileri iki değişkenli regresyonlarla analiz edilmiştir. Bunun için "hükûmet etkinliği", "mülkiyet hakları ve kanun yaptırımı", "siyasi istikrar ve çatışma", "istihdam ve eşitsizlik", "demokrasi ve özgürlük", "nüfus ve kültür" ve "sağlık hizmetleri" başlıkları altında birçok değişkenin etkisi incelenmiştir. |
| *Taherinezhad ve Alinezhad (2022)* | 21 Haziran 2021 tarihi itibarıyla COVID-19 pandemisinden en çok etkilenen ve en yüksek vaka sayısına sahip 100 ülke analize dahil edilmiştir. Ülkelerin uyguladığı stratejilerin etkinliği önleme, enfeksiyon tespiti ve medikal olmak üzere üç sistem ile değerlendirilmiş ve burada elde edilen etkinlik skoruna göre dört etkinlik grubu oluşturulmuştur. Bu etkinlik değerlerini açıklayan farktörler ise ML algoritmaları ile belirlenmiştir. | Kullanılmamıştır. | Ölçeğe göre değişken getiri (VRS) varsayımını esas alan ve istenmeyen çıktıları Färe ve Grosskopf (2004) yaklaşımı ile çözümleyen, sistem içerisindeki süreçlerin ara ilişkilerini hesaba katan ilişkisel Network VZA modeli kullanılmıştır. Önleme sisteminde **girdiler** aşılama, maske kullanımı ve sosyal mesafe **çıktılar** toplam ve aktif vakalar, enfeksiyon tespitinde **çıktılar** Aşama 1 ile aynı, **girdiler** toplam test sayısı ve Akciğer BT görüntü sayısı ve son olarak tedavi sisteminde **girdi değişkenleri** olarak hastane yatağı, yoğun bakım yatağı ve invaziv ventilatör ve **çıktı değişkenleri** olarak iyileşen vakalar ve ölümler dikkate alınmış ve buna göre ilişkisel modelde test sayısı girdi, toplam vaka ve aktif vaka **ara çıktı** , iyileşen ve ölenlerin çıktı olduğu bir kriz sistemi modellenmiştir. | VZA ile elde edilen etkinlik skoruna göre ülkeler dört gruba ayrılmıştır. Etkinliğe göre ayrımı tahmin etmek için makine öğrenmesinin Bag, AdaBoost ve RUSBoost algoritması olmak üzere üç topluluk öğrenme algoritması kullanılmıştır. |

**Tablo 2.18 (devam):** COVID-19 mücadelesinin analizinde VZA ve/veya makine öğrenmesi yöntemlerini kullanan çalışmaların literatür özeti.

| *Yazar/Yıl* | *Analiz Kapsamı (Karar Birimleri ve Analiz Periyodu)* | *1. Aşama Kümeleme Analizi* | *2. Aşama Etkinlik Analizi (Veri Zarflama Analizi)* | *3. Etkinlik Belirleyicileri (Makine Öğrenmesi Teknikleri vd.)* |
|---|---|---|---|---|
| *Lupu ve Tiganasu (2022)* | 31 Avrupa ülkesinin sağlık sistemlerinin COVID-19 tedavisindeki etkinliğinin belirlenmesi amaçlanmıştır. 1 Ocak 2020-1 Ocak 2021 arasındaki veriler ilk dalga (1 Ocak-15 Haziran), rahatlama dönemi (15 Haziran-1 Kasım) ve ikinci dalga (1 Kasım-31 Aralık) olarak üç aşamalı etkinlik değerlendirmesi yapılmıştır. Bunun akabinde Tobit regresyon ile etkinliği açıklayan faktörler incelenmiştir. | Kullanılmamıştır. | Statik VZA modeli analizde kullanılmıştır. Bu modelde **girdi değişkenleri** COVID-19 vakaları, bin kişi başına hekim sayısı, bin kişi başına hemşire sayısı, bin kişi başna hastane yatağı sayısı ve kişi başına sağlık harcaması ($) olarak; **çıktı değişkeni** ise COVID-19 ölümleri olarak belirlenmiştir. Üç aşama için ayrı ayrı olacak şekilde etkinlik skorları hesaplanmıştır. | VZA ile elde edilen etkinlik skorları dört eşit aralığa bölünerek 4 ayrı grup oluşturulmuştur. Sağlık sistemlerinin etkinlik skoruna dayalı değişkenin açıklayıcıları Tobit regresyon analizi ile belirlenmiştir. Bu analizlerde komorbiditeler, nüfus yaşı, nüfus yoğunluğu, kişi başına GSYİH, eğitim, hükûmet etkinliği, insanların üst/ast ilişkisine nasıl baktığını ifade eden güç mesafesi gibi değişkenler kullanılmıştır. |
| *Zhu ve diğ. (2022)* | Birleşmiş Milletlere üye 117 ülkenin COVID-19 bulaşıcılığı etkinliğini değerlendirmek amacıyla kümülatif doğrulanmış vaka sayısı, iyileşen sayısı ve doğrulanmış ölüm sayısı değişkenlerinin 20 Ocak 2020-1 Ağustos 2021 tarihleri arasındaki verileri kullanılmıştır. | Kullanılmamıştır. | Çıktı yönelimli ve çok aşamalı süper etkinlik VZA yaklaşımı ile iki farklı model kullanılmıştır. Buna göre ilk modelde KVB olarak seçilen 117 ülkenin 18 aylık dönem için koronavirüs bulaşma zamanı, i. aşamada bulaşıcı kişi sayısı, i. aşamada iyileşen kişi sayısı değişkenleri girdi değişkeni olarak; (i+1). aşamada bulaşıcı kişi sayısı ve i. aşamadaki ölen sayısı değişkenleri çıktı değişkenleri olarak kullanılmıştır. İkinci modelde aynı girdi ve çıktı değişkenlerine ait 76 haftalık periyot kullanılarak seçili 20 ülke için değerlendirilmiştir. İkinci modelde aynı ülkede farklı aşamalarda salgın bulaşması değerlendirilmiştir. | Kullanılmamıştır. |
| *Aktas ve diğ. (2022)* | 107 ülkenin COVID-19 ile mücadeledeki etkinliği ve etkinliklerin zaman içindeki değişimi Haziran ve Aralık 2020 verileri kullanılarak üç aşamalı metodoloji ile analiz edilmesi amaçlanmıştır. | Küresel Rekabet Edebilirlik Endeksinde yer alan 12 gösterge puanı baz alınarak modele dayalı kümeleme analizi ile ülkeler oldukça yüksek rekabetçi, rekabetçi ve rekabetçi olmayan olmak üzere üç kümeye atanmıştır. | VZA'nın güven bölgesi yaklaşımı çıktı yönelimli olarak kullanılmıştır. Analiz iki farklı modele göre gerçekleştirilmiştir. Bu modellerde yurt içi kaynaklı sağlık harcamalarının sağlık harcamaları içerisindeki payı (%), yurt içi kaynaklı kamu sağlık harcamalarının sağlık harcamaları içerisindeki payı (%), yurt içi kaynaklı kişi başına sağlık harcaması ($), kişi başına sağlık harcaması ($), bin kişi başına hastane yatağı sayısı girdi değişkeni olarak kullanılırken; çıktı değişkenleri ilk modelde 15 Haziran 2020'ye kadar ülkede görülen maksimum yeni vaka sayısı ve 17 Aralık 2020'ye kadar maksimum yeni vaka sayısı, ikinci modelde ise aynı tarihlere kadar görülen maksimum yeni ölüm sayısı değişkenleri kullanılmıştır. | Veri Zarflama Analizi ile 3 farklı küme 2 ayrı model ile elde edilen etkinlik skorlarındaki farklılığı açıklamak için üçüncü aşamada Birleşmiş Milletler İnsani Gelişme Raporu'nda yayınlanan 66 değişkenin açıklama gücü Tobit regresyon analizi ile test edilmiştir. Buna göre ev ve ortam hava kirliliğine atfedilen ölüm oranı, uluslararası gelen turist sayısı, kentsel nüfus, finans sektörü tarafından sağlanan yurt içi kredi, kişi başına düşen gayri safi milli gelir, ülke kümeleri ve politik rejim değişkenleri Tobit regresyon analizinde kullanılmıştır. |

# 3. YÖNTEM

## 3.1. Araştırmanın Amacı ve Önemi

COVID-19 pandemisinin dünya genelinde hızla yayılmasıyla birlikte gelişmişlik durumu farketmeksizin tüm kıtalarda yer alan ülkeler pandeminin pek çok alandaki çeşitli olumsuz etkileriyle karşı karşıya kalmıştır. Bu olumsuz etkilerin yol açtığı yıkıcılığın önlenebilmesi veya hafifletilebilmesi için hükûmetler çeşitli stratejiler belirlemiş ve bu stratejiler çerçevesinde ulaşmak istedikleri amaçlara uygun olarak çeşitli kararları uygulamıştır. Bununla birlikte uygulamaların amaçlara ulaşmadaki etkinliği sürekli izlenerek gerekli durumlarda stratejilerin yeniden gözden geçirilmesi ve değiştirilmesi söz konusu olmuştur. Bu kapsamda hükûmetler tedavi seçeneklerinin sınırlı olduğu pandeminin erken dönemlerinde özellikle pandeminin yayılmasını önlemeye yönelik halk sağlığı uygulamalarına/ilaç dışı müdahalelere ağırlık verirken, hastalığın yol açtığı mortaliteyi önlemek için sağlık sistemlerinin mevcut tedavi kapasitesini COVID-19 hastalarının tedavisine yönlendirmeye ve sağlık kaynaklarına yapılan yatırımlarla tedavi kapasitesini artırmaya yönelik çeşitli stratejileri de uygulamıştır.

COVID-19 ile mücadeleye yönelik gerçekleştirilen tüm çabalar sağlık sistemlerinin mevcut kaynaklarını etkin şekilde kullanabilmesini ve bunun bir sonucu olarak pandeminin morbidite ve mortalite etkisinin minimize edilmesini sağlamayı amaçlamaktadır. Buna göre sağlık sistemlerinin pandemi ile mücadelede mevcut kaynaklarını ne düzeyde etkin kullandığını ve uyguladığı stratejilerin morbidite ve mortalite yükünü ne düzeyde önleyebildiğini ortaya koyabilmek için ülkeler arası karşılaştırmaların yapılması gereklidir. Bu karşılaştırmalar yapılırken Afrika ve Latin Amerika gibi alt kıtalardaki ülkelerin zayıf sağlık sistemlerine sahip olması ve yoksulluk düzeyinin oldukça yüksek olması gibi çeşitli koşulların bu özellikteki ülkelerin pandemiye karşı savunmasız kalmasına yol açabileceği ve gelişmişlik düzeyi ile ilişkili olarak ülkelerin veri güvenilirliği durumu mutlaka değerlendirilmelidir. Bu kıstaslar dikkate alınarak yapılan etkinlik değerlendirmeleri görece etkin ülkelerin referans olarak belirlenmesine ve ülkelerin etkin olma durumunu açıklayan kritik faktörlerin saptanacağı ileri analizlerin yapılmasına imkan sağlaması yönüyle önem arz etmektedir.

Bu çerçevede çalışmada öncelikli olarak gelişmişlik düzeyi, sağlık kaynakları ve veri güvenilirliği açısından benzer karakteristiğe sahip ülkelerin belirlenmesi, bu ülkelerin mevcut kaynakları ve uyguladıkları stratejiler temelinde COVID-19 hastalığı ile mücadelede etkinlik düzeylerinin bulaşıcılıkla mücadele ve tedavi etkinliği olarak belirlenmesi ve etkin olma durumlarını açıklayan faktörlerin ortaya çıkarılması amaçlanmaktadır.

### 3.2. Araştırmanın Evreni ve Veri Toplama

Araştırma evrenini COVID-19 pandemisinden morbidite ve mortalite yönüyle etkilenmiş olan ve verileri ulaşılabilir olan Dünya Sağlık Örgütü üyesi tüm ülkeler oluşturmaktadır. Buna göre üç aşamalı olarak izlenecek araştırma tasarımı nedeniyle çalışmanın sonuçlarını olumsuz etkileyecek düzeyde veri kayıpları olan gözlemlerin (ülkelerin) analiz kapsamından çıkarılması tercih edilmiştir. Bununla birlikte ihmal edilebilir düzeyde veri kaybı olan gözlemlerin veri önişleme aşamasında eksik değer atama işlemleri yapılmıştır. Araştırma tasarımında benzer karakteristiğe sahip ülkelerin yer alacağı kümelerin oluşturulması amaçlandığından ayrıca örneklem seçimi yapılmamıştır. Buna göre analize dahil edilen ülkelere ilişkin bilgilere Ek 1'de yer verilmiştir.

Araştırma verilerinin toplanması için herkese açık olarak veri paylaşımının yapıldığı veri tabanlarından faydalanılmıştır. Bu kapsamda özellikle COVID-19 doğrulanmış vaka sayısı, ölüm sayısı, sıkılık endeksi ve tam doz aşılanmış kişi sayısı gibi veriler için Our World in Data ve Worldometers, onun dışındaki sağlık göstergeleri ve diğer göstergelere ilişkin veriler ise WHO Global Dataset ve World Bank Dataset gibi veri kaynaklarından elde edilmiştir.

### 3.3. Araştırmanın Sınırlılıkları ve Etik Boyutu

Araştırma kapsamında verisi ulaşılabilir olan ülkeler kapsama alınmış eksik veri bulunan ülkeler çalışma kapsamına alınmamıştır. Bu yönüyle çalışmanın sonuçları gözlem olarak belirlenen ülkeler ile sınırlıdır. Bununla birlikte çalışmada denetimsiz makine öğrenme algoritması olan k-ortalamalar algoritması ile karşılaştırma grupları oluşturulduğu ve görece değerlendirme yapıldığı için araştırma bulgularının farklı karşılaştırma gruplarının oluşturulacağı başka bir çalışma ile farklılık gösterebileceği göz önünde bulundurulmalıdır.

Araştırmada özellikle kümeleme özniteliği olarak istatiksel performans endeksinin dahil edilmesi bu değerlendirmeye sahip olmayan ve veri toplama ve paylaşımı noktasında geri planda olan ülkelerin filtrelenmesini sağlamıştır. Ancak bununla birlikte ülkelerin COVID-19'a

ilişkin paylaştığı veriler kayıt altına alınan ya da gerçekte olan ile farklılık gösterebilir. Özellikle gerçekte olan ile mevcut verilerin farklılaşmasında asemptomatik bireylerin tespit edilememesi, semptom gösteren hastaların uygulanan politikalara bağlı olarak sağlık kuruluşuna başvurmayı tercih etmemesi, tarama programlarının yetersiz olması, izleme faaliyetlerini yürütecek yeterli insan gücü ve sağlık kaynağının olmayışı ve diğer ölüm nedenleri ile karıştırılması gibi pek çok faktör söz konusu olabilmektedir. Bu kapsamda araştırmanın sonuçlarının ülkelerin yetkili makamları tarafından beyan edilen ve paylaşılan verilere dayalı olarak hazırlanan ilgili veri setleri ile sınırlı olduğu mutlaka dikkate alınmalıdır.

Araştırmanın etik kurul onayı için 23.12.2022 tarihinde İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa Sosyal ve Beşeri Bilimler Etik Kurulu'na başvurulmuştur. 17.03.2023 tarihli etik kurul kararında çalışmanın sekonder analiz içermesi ve insan katılımcılardan oluşmaması nedeniyle etik kurul iznine gerek olmadığı beyan edilmiş ve ilgili karar ekte sunulmuştur.

## 3.4. Araştırmada Kullanılan Analiz Yöntemleri

### 3.4.1. K-Ortalamalar Kümeleme Algoritması

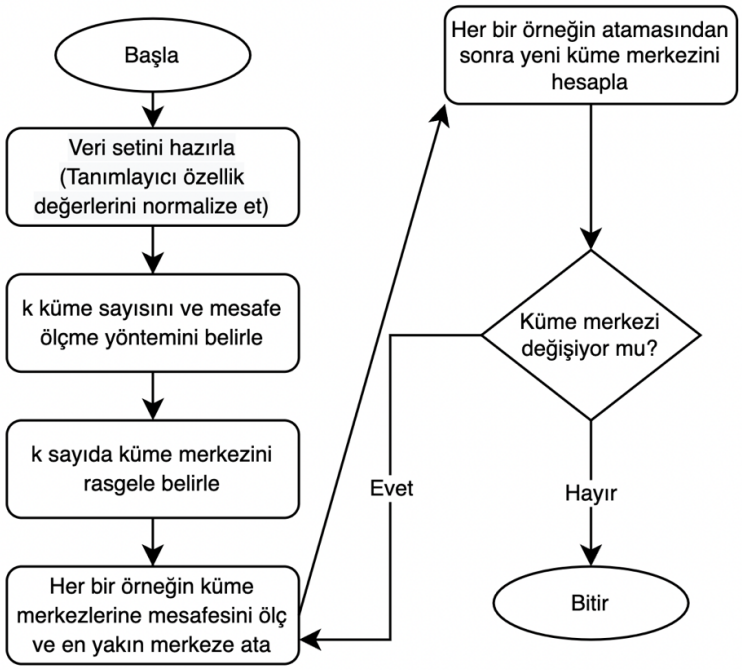
Makine öğrenmesinde etiketlenmemiş veriler üzerinden temel özelliklerin ve kalıpların keşfedilerek veri yapısındaki benzerliğe dayalı homojen alt kümeler oluşturulması sorunu kümeleme olarak ifade edilmektedir. Kümeleme algoritmaları, bir veri kümesini küme olarak adlandırılan ayrık alt gruplara bölerek diğer kümelerden daha çok birbirine benzeyen nesne gruplarını veya kümeleri belirlemeyi amaçlar. Bu kümeler aynı zamanda sınıf olarak da adlandırılmaktadır. Kümeleme, verilerin doğal yapısını tanımlamak için tek başına kullanılabildiği gibi, sınıflandırma gibi diğer öğrenme görevleri için bir ön işleme tekniği olarak da kullanılabilir (Zhou, 2021: 212; Rodriguez ve diğ., 2019).

Kullanılan öğrenme stratejisine bağlı olarak farklı kümeleme algoritmalarının tercih edilmesi söz konusudur. Kümeleme problemlerinde en sık kullanılan yöntemlerden biri Macqueen (1967) tarafından geliştirilen k-ortalamalar algoritmasıdır. Bunun nedeni ise kullanımı ve anlaşılmasının kolay olması ve büyük miktarda veriyi etkin bir şekilde analiz edebilmesidir. Hesaplama açısından verimli olan bu yöntem, kümeleme sorunlarının çözümünde genellikle etkilidir (Rana ve diğ., 2011). Bu kapsamda araştırmanın ilk aşamasında yapılacak kümeleme analizinde k-ortalamalar algoritması kullanılması uygun görüldüğü için araştırmada kullanılacak analiz yöntemlerinin ilk başlığı altında bu algoritmaya yer verilmiştir.

K-ortalamalar algoritmasının amacı, $\mathrm{d}_1$'den $\mathrm{d}_n$'e kadar $n$ örnekten oluşan bir veri setini ($D$), $C_1$ila $C_k$ olmak üzere $k$ ayrık kümeye bölmektir. Bu notasyonda $\mathrm{d}_i$, $m$ adet tanımlayıcı özellikler kümesini ifade etmektedir. Bulunacak küme sayısı olan $k$, algoritmanın bir girdisi olarak kullanılır ve her örnek başlangıçta belirtilen $k$ sayıda kümeye yerleştirilir. Algoritma örneklerin kümelere bölünmesi işlemini, $C_1$'den $C_k$'ye küme merkezleri olarak adlandırılan $k$ kümelerinin merkezleri olduğu yerleri en aza indirerek yapmaktadır (Kelleher ve diğ., 2020).

$$\sum_{i=1}^{n} \min_{\mathrm{c}_1,\ldots,\mathrm{c}_k} Dist(\mathrm{d}_i, \mathrm{c}_j)$$

Verilen eşitlikte $Dist$, örnekleri küme merkezleriyle karşılaştırmak için kullanılan bir mesafe ölçüsüdür. Daha önce ifade edildiği üzere k-ortalamalar algoritmasında mesafe ölçümünde genellikle Öklid metriği tercih edilmektedir. Algoritma, $\mathrm{c}_1$'den $\mathrm{c}_k$'ye kadar $k$ küme merkezini rastgele seçerek başlar. Küme merkezleri, bir veri kümesinde bulunan her tanımlayıcı özellik için bir değerden oluşur. Başlangıçta belirlenen ilk küme merkezlerine genellikle tohum ya da küme çekirdeği denir. Bu küme merkezlerinin değerleri, tanımlayıcı özelliklerin minimum ve maksimum değerleriyle sınırlanan tek tip dağılımların ardından rastgele seçilebilir. Veri kümesinde bulunan her örneğin belirlenen küme merkezlerinin her birine olan mesafesi daha sonra uzaklık ölçüsü olarak belirtilen $Dist$ kullanılarak hesaplanır. Bu algoritmada kullanılacak mesafe yönteminin seçimi uygulayıcının tercihine göre değişmekle birlikte, araştırmalarda ve uygulamada genellikle Öklid mesafesi kullanılmaktadır. Burada en önemli noktalardan biri bu algoritmayı kullanmadan önce tanımlayıcı özelliklerin/özniteliklerin normalleştirilmesidir. Bu sayede özellikler arasındaki mesafe katkıları karşılaştırılabilmektedir. Örneğin bir veri setinde yer alan örneklerin yaş ve gelir gibi iki tanımlayıcı özelliğe göre kümelenebilmesi için öncelikle bu özelliklerin standardize edilmesi gerekir. Daha sonra veri kümesindeki her bir örnek (gözlem), küme ağırlık merkezi $\mathrm{c}_i$ 'ye en yakın olan $C_i$ kümesinin bir elemanı olarak atanır. Küme merkezleri her yeni gelen elemanın tanımlayıcı özelliklerinin ortalama değerine güncellenir ve o kümenin üyelerini temsil edecek şekilde hareket ettirilir. Bu süreç yakınsama gerçekleşene kadar yani küme elemanları değişmeyene ve küme merkezleri kararlı olana kadar yinelenir. Bu yöntemde kümelerin benzerliği, küme merkezine diğer örneklerin uzaklıklarının ortalaması alınarak ölçülür. Buna göre grup içi toplam uzaklıklar minimum olduğu noktada algoritma tamamlanır ve her gözlem en fazla bir kümede yer alacak şekilde tüm gözlemler $k$ sayıda ayrık kümeye dağıtılır (Kelleher ve diğ., 2020: 601; Han ve diğ., 2011; Wu, 2012: 8). K-ortalamalar algoritmasının akış diyagramı Şekil 2.49'da verilmiştir.




**Şekil 3.1:** K-ortalamalar algoritması akış diyagramı.
Kaynak: Çizim yazara aittir.

Uygulamada kolaylık sağlayan etkin bir kümeleme yöntemi olan k-ortalamalar yöntemi, yalnızca nümerik veri setleri için kullanılmaktadır. Bu yöntemde hiyerarşik yöntemlerden farklı olarak küme sayısı olan $k$ değeri algoritmaya girdi olarak verildiği için modelin performansı önemli ölçüde bu değere göre şekillenmektedir. Denetimsiz bir öğrenme tekniği olan k-ortalamalar algoritmasında sonuçların performansını değerlendirecek herhangi bir etiket/çıktı değişkeni olmadığı için kümeleme sonucunun ne kadar iyi olduğunu ölçmek zorlu bir görevdir. Bu durum algoritmanın önemli bir zaafı olarak görülse de, günümüzde optimal c$k$ sayısını bulmak üzere çeşitli yaklaşımlar kullanılmaktadır (Kodinariya ve Makwana, 2013). Kümelemede en uygun küme sayısını belirlemede kullanılan en basit yol gözlem sayısı (n) olmak üzere, $k = \sqrt{n/2}$ eşitliği ile $k$ değerini elde etmektir (Açar ve Öz, 2020).

Ancak bu eşitlikte gözlem sayısının $(n)$ artması, $k$ değerinin anlamsız bir şekilde artmasına yol açacağından bu yaklaşımlar genelde küçük örneklemler için uygun olmaktadır. Bu durum, küme geçerliliğini test etmek üzere geliştirilen yaklaşımlar ile uygun şekilde çözüme kavuşturulabilmektedir. Bu bölümde en sık tercih edilen yaklaşımlardan dirsek yöntemi, siluet indeksi ve gap istatistik yöntemi ile ilgili bilgilere yer verilmiştir.

*Dirsek Yöntemi:*

K-ortalamalar algoritmasının temelinde, toplam küme içi varyasyonun [veya küme içi kareler toplamının] en aza indirilecek şekilde kümelerin tanımlanmsı fikri vardır. Dirsek yöntemi, küme içi kareler toplamına küme sayısının bir fonksiyonu olarak bakmaktadır. Bu yöntemde her k değeri için (genellikle 1-10 arası) gözlemlerin küme merkezine olan uzaklıklarının karesi toplamı hesaplanmakta ve grafik olarak çizilmektedir. Çizilen grafikte toplamlar arasındaki farkın azaldığı ve görsel olarak dirseği andıran noktada yer alan k sayısı optimal küme sayısı olarak seçilmektedir. Çizilen grafikte bazı durumlarda büküm noktası belirsiz kaldığı için diğer yöntemlere başvurulmaktadır (Kassambara, 2017: 129).

*Silüet İndeksi:*

Rousseeuw (1987) tarafından geliştirilen silüet (silhouette) indeksi, kümeleme işlemi sonucunda her bir nesnenin ne kadar iyi sınıflandırıldığını grafik olarak göstermek için kullanılmaktadır. Silüet indeksinde bir küme içindeki her bir nokta için genişlik hesaplanmaktadır. Silüet indeks değer aralığı $-1 \leq S(i) \leq 1$ 'dir. En yüksek indeks değerine sahip ayırma, en uygun küme sayısı olarak değerlendirilir (Patil ve Baidari, 2019). Bu yöntemde uyum aynı kümedeki tüm noktalar arasındaki mesafeye göre ölçülürken, ayırma en yakın komşu mesafesine dayanmaktadır (Arbelaitz ve diğ., 2013).

*Boşluk (Gap) İstatistik Yöntemi:*

Tibshirani ve diğ. (2001) yaptıkları çalışmada boşluk istatistiğine dayanan ve herhangi bir kümeleme tekniği için uygun olan bir yaklaşım önermişlerdir. Boşluk istatistiği, farklı k değerleri için küme içi varyasyon içindeki toplamı, verilerin referans sıfır dağılımı altında beklenen değerleriyle karşılaştırır. Boşluk istatistiğini maksimize eden (yani, en büyük boşluk istatistiğini veren) değer en uygun küme sayısını verir. Bu durumda kümeleme yapısı, noktaların rastgele tek biçimli dağılımından uzak olmaktadır (Kassambara, 2017: 130-131). Algoritma aşağıdaki eşitliklerle gösterilmiştir (Patil ve Baidari, 2019). Boşluk istatistiği yöntemi, diğer yaklaşımlardan farklı olarak beklenen değerleri için önceden hazırlanmış ve bunları, tanımlanan k aralığı için küme içi toplamla karşılaştırmaktadır. Dirsek ve silüet yöntemi ise beklenen değerleri bulmaya gerek kalmadan küme içi toplam veya ortalamayı hesaplayarak çalışmaktadır Bu yaklaşımların yöntem, çalışma mantığı ve en uygun sayı belirlemesi açısından farklılıkları Tablo 3.1'de özetlenmiştir (Sagala ve Gunawan, 2022).

**Tablo 3.1:** Küme sayısını belirlemede kullanılan yaklaşımların karşılaştırması.

| **Kriter/Yaklaşım** | | **Dirsek Yöntemi** | **Silüet Yöntemi** | **Gap İstatistik Yöntemi** |
|---|---|---|---|---|
| Metot | İstatistiksel | √ | | |
| | Doğrudan | | √ | √ |
| Çalışma Mantığı | | Küme içi kareler toplamının hesaplanması | Gözlemlerin ortalama silüet değerlerinin hesaplanması | Küme içi toplamla beklenen değerlerin karşılaştırılması |
| Optimal Küme Sayısı | | Küme içi kareler toplamı eğrisinin büküm/dirsek noktasındaki değer | Silüet skoruna göre belirlenir | Orijinal verilerdeki yoğunluğu kümeleyen değer, bu referans eğrisinin en altına düşer |

Tablo 3.1'de en uygun küme sayısını belirlemede sıklıkla kullanılan indekslerin temel farklılıkları gösterilmiştir. Ancak literatürde bu yöntemlere ilave olarak küme geçerliliğini belirlemede yaklaşık 30 indeks (Dunn indeksi, Calinski-Harabasz, Gamma indeksi, C-indeksi, Duda ve Hart indeksi vb.) daha kullanılmaktadır. Gerçek küme etiketlerinin bilindiği diğer bir ifadeyle referans modelin kullanıldığı durumlarda küme geçerliliğinde harici indeksler (Jaccard Katsayısı, Fowlkes and Mallows İndeksi, Rand İndeksi vb.) kullanılırken, referans modelin olmadığı durumlarda dahili indeksler (Davies Bouldin İndeksi, Dunn İndeksi vb.) kullanılmaktadır (Zhou, 2021: 212-214). Bu indeksler içerisinde her koşulda en iyi performansı gösteren tek bir dahili küme doğrulama indeksi bulunmamaktadır. Ancak 30 adet küme geçerlilik indeksini karşılaştırmak üzere yapılan bir çalışmada, Silhouette indeksinin çoğu durumda en iyi sonucu veren indeks olduğu görülmüştür (Arbelaitz ve diğ., 2013). Sonuç olarak, hem mesafe ölçümü hem de küme geçerlilik indekslerinde her durumda kesin olarak en iyi performans gösteren bir yol olmadığı için bu yaklaşımların bir bütün olarak değerlendirilmesi önemlidir.

### 3.4.2. İstenmeyen Çıktılara Doğrusal Monoton Dönüşüm Uygulayan VZA Modeli

VZA'da yönelimli modeller ile yapılan etkinlik değerlendirmelerinde karar birimlerinin göreli olarak daha az girdi kaynağı ile daha fazla çıktı üretmesi bir etkinlik kriteri olarak görülmektedir. Ancak bazı durumlarda üretim sürecinde istenene çıktılara ilave olarak istenmeyen çıktılar (undesirable outputs) söz konusu olabilir (Jahanshahloo ve diğ., 2005). Örneğin; etkinlik değerlendirmesinde bir fabrikada üretilen hatalı ürün sayısı ve tehlikeli atık üretimi veya bir hastanede ölen kişi sayısı, hastane enfeksiyonu sayısı veya bir sağlık sistemi içerisinde vaka sayısı, bebek ölüm hızı ve anne ölüm hızı gibi çeşitli morbidite veya mortalite ölçütleri çıktı değişkeni olarak modelde yer alabilir. Bu durumlarda VZA'nın temel mantığında yer alan çıktıların maksimizasyonu yaklaşımı yerine, istenen çıktıları maksimize eden ve istenmeyen çıktıları minimize eden bir amaç fonksiyonunu ortaya koyabilecek bir yaklaşım tercih edilmelidir. Bu kapsamda araştırmanın ikinci aşamasında yapılacak etkinlik analizlerinde istenmeyen çıktıların yer alacağı modeller kullanılacağı için bu bölümde VZA'nın toplamsal terslik veri dönüşümü uygulayan yaklaşımına yer verilmiştir. İstenmeyen çıktıların modelde yer aldığı etkinlik değerlendirmelerinde literatürde farklı pek çok yaklaşım bulunmaktadır. Buna göre araştırmada etkinlik değerlendirmesinin güvenilir ve doğru bir şekilde gerçekleştirebilmek için doğrusal monoton azalan dönüşüm yaklaşımının tercih edilmesini daha iyi ifade edebilmek için bu bölümde diğer yaklaşımlarda aşağıda özetlenmiştir.

*İstenmeyen çıktıların modele alınmaması:* Temel VZA modellerinde istenmeyen çıktıların dönüştürülmeden kullanılması etkinlik değerlendirmesinin hatalı sonuçlandırılmasına sebep olacaktır. Bu sorunu ele almanın ilk basit yaklaşımı o değişkeni kullanmaktan kaçınmaktır. Bu durumda istenmeyen çıktı değişkeni modelden atıldığı temel VZA modelleri kullanılmaktadır. Ancak üretim sürecinin önemli bir çıktısı olan bir değişkenin modele dahil edilmemesi araştırmacıları yanlış yönlendirecektir.

*İstenmeyen çıktıların girdiler olarak modele alınması:* Dyckhoff ve Allen (2001) ve Scheel (2001) tarafından tanıtılan bu yaklaşım, istenmeyen çıktıların VZA modellerine girdi olarak dahil edilmesini içermektedir. Özellikle çevre etkinlik değerlendirmelerinde kullanılan bu yaklaşım istenmeyen çıktıların kuvvetli atılabilir olduğunu varsaymaktadır. Ancak istenmeyen çıktılarda sınırsız bir azalma teknik olarak mümkün olmadığı için istenmeyen çıktıları girdi olarak değerlendirmenin hatalı yorumlamaya neden olabileceğine dair kritik eleştiriler söz konusudur (Pishgar-Komleh ve diğ., 2020). Seiford ve Zhu (2002) bu yaklaşımın kullanılması ile doğru üretim sürecinin yansıtılamayacağını belirtmiştir.

*İstenmeyen çıktılara çarpımsal terslik veri dönüşümü:* İstenmeyen çıktılara veri dönüşümü uygulama yaklaşımlarından biri olan doğrusal olmayan monoton azalan dönüşüm uygulaması ilk kez Golany ve Roll (1989) tarafından kullanılmıştır. Bu yaklaşımda istenmeyen çıktılara resiprok çeviri uygulaması diğer bir ifadeyle çarpımsal terslik uygulaması yapılmaktadır. Buna göre istenen çıktıların "$y_{rj}^{g}$" ve istenmeyen çıktıların "$y_{rj}^{b}$" yer aldığı bir modelde istenmeyen çıktıların her biri için "$1/y_{rj}^{b}$" çarpımsal terslik dönüşümü uygulanır. Ancak Lewis ve Sexton (1999) bu dönüştürme yönteminin teknik etkinlik ölçümünde BCC modelinin temel varsayımlarından biri olan konvekslik özelliğinin yitirilmesine neden olduğunu ifade etmiştir (Hua ve Bian, 2007).

*İstenmeyen çıktılara toplamsal terslik veri dönüşümü:* İstenmeyen çıktılara veri dönüşümü uygulama yaklaşımlarından bir diğeri ise doğrusal monoton azalan dönüşüm uygulamasıdır. Seiford ve Zhu (2002) tarafından önerilen bu yaklaşım toplamsal terslik çeviri uygulaması olarak da bilinmektedir. Bu dönüşümde çarpımsal terslikte konvekslik özelliğinin yitirilmesi dezavantajı ortadan kaldırılmış ve konvekslik özelliği muhafaza edilmiştir. Buna göre modele alınacak tüm istenmeyen çıktılar için $\bar{y}_{rj}^{b} = -y_{rj}^{b} + v_r > 0$ toplamsal terslik dönüşümü uygulanır. Modelin uygulanmasında tüm istenmeyen çıktıların pozitif olması gerekliliğini ifade eden $\bar{y}_{rj}^{b} > 0$ koşulunu sağlanması için en uygun $v_r(w)$ dönüşüm vektörünün kullanılması gerekmektedir. Buna göre Veri Zarflama Analizi bölümünde verilen çıktı odaklı BCC zarflama modeli istenmeyen çıktıların doğrusal monoton azalan dönüşümü ile birlikte matematiksel olarak aşağıdaki gibi ifade edilir (Seiford ve Zhu, 2002; Zhu, 2014:143-145).

Maks $\phi_o$

Kısıtlar;

$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j x_{ij} \leq x_{io} \qquad i = 1,2,\ldots, m;$$

$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j y_{rj}^{g} \geq \phi y_{ro}^{g}$$

$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j \bar{y}_{rj}^{b} \geq \phi \bar{y}_{ro}^{b} \qquad r = 1,2,\ldots, s;$$

$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j = 1$$

$$\lambda_j \geq 0 \qquad j = 1,2,..., n.$$

Tablo 2.14'te verilen çıktı odaklı BCC modelinin istenen çıktıları artıracak ve istenmeyen çıktıları azaltacak kısıtları içeren amaç fonksiyonu matematiksel olarak gösterilmiştir. Bu durumda o. karar biriminin etkinlik hedefleri ise aşağıdaki gibi belirlenmektedir.

$\hat{x}_{io} = x_{io} - s_i^{-*}$

$\hat{y}_{ro}^{g} = \phi y_{ro}^{g} + s_r^{+*}$

$\hat{y}_{ro}^{b} = v_r - (\phi \bar{y}_{ro}^{b} + s_r^{+*})$

Seiford ve Zhu (2002) tarafından önerilen ve istenmeyen çıktıların kuvvetli atılabilir olduğunu varsayan bu yaklaşım "sınıflandırma değişmezliğini" sağlamaktadır. Bir diğer ifade ile etkin ve etkin olmayan şeklinde sınıflandırılan KVB'ler veri dönüşümünde de bu sınıflarda kalma değişmezliğine sahiptir. Bu yaklaşımda etkinlik skorunun 1 olması o karar biriminin etkin olduğunu yansıtırken, 1'in ne kadar üzerinde olduğu ise karar biriminin etkinsizlik derecesini yasıtmaktadır. Bu yaklaşımın sınırlılığı sadece BCC modeli diğer bir ifade ile ölçeğe göre değişken getiri varsayımı (VRS) için uygulanabilmesidir (Öner ve Yılmazer, 2021; Hua ve Bian, 2007). Bu araştırmada konvekslik özelliğinin muhafaza edilmesi ve sınıflandırma değişmezliğinin sağlanması nedeniyle bu yaklaşım tercih edilmiştir.

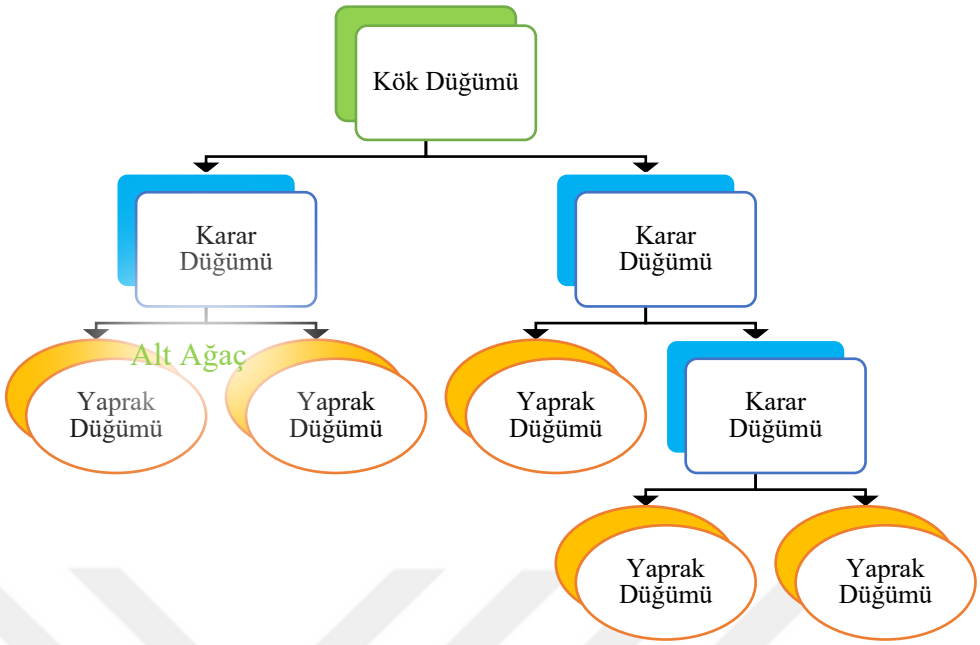
*Yönelimli uzaklık fonksiyonunu kullanan etkinlik ölçüsü:* İstenmeyen çıktılara dönüşüm uygulayan yaklaşımlar yerine istenmeyen çıktıları orijinal değerleri ile modele alan çalışmalar da bulunmaktadır. İlk olarak Färe ve diğ. (1989) tarafından hiperbolik etkinlik ölçüsünün tanıtılması ile başlayan yaklaşım istenmeyen çıktıların zayıf atılabilir olduğu varsaymaktadır. Färe ve Grosskopf (2004) ise yaptıkları çalışma ile istenmeyen çıktıların zayıf atılabilir olduğu ve sıfıra ortaklık aksiyomunun gerçekleştiği üretim ortamlarında kullanılabilecek yönelimli uzaklık fonksiyonunu (directional distance function) tanıtmıştır. Bu yöntemde modelin yönelim vektörüne bağlı olarak karar birimlerinin etkinlik değerleri belirlenmektedir. Bu yöntemde diğerlerinden farklı olarak etkinlik skorunun 0 olması o karar biriminin etkin olduğunu göstermekte, sıfırdan uzaklaşmalarda etkinsizliğin derecesini yansıtmaktadır (Öner ve Yılmazer, 2021).

Bu modellere ek olarak VZA'da istenmeyen çıktıları ele alan farklı çalışmalar da söz konusudur. You ve Yan (2011) bu kapsamda etki oranı ve oran (rasyo) modeli olmak üzere iki farklı yaklaşımı tanıtmışlardır. Etki oranı yaklaşımında istenmeyen çıktının temel VZA

modelinde istenen çıktı olarak kullanıldığı modeldeki etkinlik skoru (B), istenmeyen çıktının dahil edilmediği modelin etkinlik skorundan (A) çıkarılarak istenmeyen çıktının yol açtığı çevresel etki (C) elde edilir ($C = B - A$). Buna göre istenmeyen çıktının etkisini açıklayan etkinlik skoru $A^* = A(1 - C)$ eşitliği ile elde edilir. Oran modelinde ise önceki yaklaşımlardan farklı olarak istenmeyen çıktı $\left(O_q^-\right)$ istenen çıktının $\left(O_p^+\right)$ oranı şeklinde $(O_p^+/O_q^-)$ ifade edilmektedir. Buna göre oran modeli kullanıldığında bir istenen çıktı ve bir istenmeyen çıktı olması durumunda tek bir çıktı, iki istenen çıktı ve bir istenmeyen çıktı olması durumunda iki çıktı değişkeni elde edilmektedir.

### 3.4.3. Karar Ağaçları

Karar ağaçları, verilerdeki özniteliklerin gerçek değerlerine dayalı bir karar modeli üreten ve genellikle sınıflandırma ve regresyon problemleri için kullanılan denetimli makine öğrenme algoritmasıdır. Karar ağaçları yöntemlerinin oldukça hızlı olmaları ve doğru sonuçlar vermeleri, bu problemlerde sıklıkla tercih edilmelerini sağlamıştır (Sullivan, 2017: 34-35). Karar ağaçları, ağacı tanımlayan eğitimden önce sabit bir parametre seti varsaymadığı için yani uzay dağılımı ve sınıflandırıcı yapısı hakkında herhangi bir varsayım içermediği için parametrik olmayan bir algoritmadır. "Naïve Bayes" ve "lojistik regresyon" algoritmalarından farklılaşarak varsayımdan uzak olması yönüyle avantaj sağlamaktadır. Sınıflandırma modelleri içerisinde karar ağaçları, modelin üretildiği veri kümesiyle aynı özelliklere sahip olacak verileri oluşturmak için kullanılamadığından ayırt edici bir modeldir. Karar ağaçları, öznitelik uzayını farklı sınıflara ait bölgelere yinelemeli olarak bölerek oluşturur ve aynı sınıfa ait komşu bölgeler toplayarak bir karar sınırı tanımlar. Bu yönüyle üretken sınıflandırma modellerinden olan "Naïve Bayes" ve "k-en yakın komşu" algoritmalarından farklılaşmaktadır (Kelleher ve diğ., 2020; 732-733; Rokach ve Maimon, 2014: 81). Karar ağaçlarının temel amacı, önceki verilerden (eğitim verileri) çıkarılan basit karar kurallarını öğrenerek hedef değişkenin sınıfını veya değerini tahmin etmek için kullanılabilecek bir eğitim modeli oluşturmaktır (Sakarkar ve diğ., 2021: 79). Şekil 3.2'de gösterildiği gibi bir karar ağacı, kök düğümü, karar düğümleri ve yaprak düğümlerinden oluşan hiyerarşik bir modeldir (Doshi ve diğ., 2022: 102).




**Şekil 3.2:** Karar ağacı yapısı.

Karar ağaçlarında özniteliklerden biri kök düğüm olarak seçilir. Bir öznitelikten gelen dallar, alt düğümlere veya terminal düğümlere tanımlanır. Terminal düğümler, önceden tanımlanmış kategorilerden biri olarak verilir ve diğerleri karar ağacında nitelikler olarak verilir. Bir düğümden gelen her dal, karşılık gelen özniteliğin bir değerine veya değer aralığına karşılık gelir. Her bir karar düğümü, dalları etiketleyen ayrık sonuçlara sahip bir test fonksiyonu uygulamaktadır. Bir girdi verildiğinde, her düğümde bir test uygulanır ve sonuca bağlı olarak dallardan biri alınır. Bir ögeyi sınıflandırmadan önce eğitim örnekleri kullanılarak karar ağacı oluşturulmalıdır. Daha önce ifade edildiği gibi denetimli makine öğrenmesi algoritmalarında eğitim örneklerinden ayrılmış bazı örnekleri içeren test (doğrulama) veri seti hazırlanır. Eğitim örneklerinden oluşturulan öğrenme süreci test veri seti ile sınanır. Test veri setinde öğrenme sürecinin performansını maksimize etmek için oluşturulan karar ağacının budanması işlemi yapılır (Alpaydin, 2020: 319; Jo, 2021: 141-142). Araştırada kullanılan karar ağacı yöntemi olan CART yöntemine girmeden önce buraya kadar geçen temel kavramların tanımlarına Tablo 3.2'de yer verilmiştir (Sullivan, 2017: 46-47; Sakarkar ve diğ., 2021: 80).

**Tablo 3.2:** Karar ağaçlarında temel kavramlar.

| Terim | Tanımı |
|---|---|
| Kök Düğüm | Tüm popülasyonı veya örneği temsil eden kök düğüm, iki veya daha fazla homojen kümeye bölünür. |
| Bölme/Parçalama | Düğümleri iki veya daha fazla alt düğüme sınıflandırmak için yapılan işlemdir. |
| Karar Düğümü | Bir alt düğüm başka alt düğümlere bölündüğünde, karar düğümü olarak adlandırılır. |
| Yaprak / Terminal Düğüm | Bölünemeyen düğümler, yaprak veya terminal düğüm olarak tanımlanır. |
| Budama | Bir karar düğümünün alt düğümlerinin kaldırıldığı süreç olan budama, başka bir ifade ile bölme işleminin tersidir. |
| Dal / Alt Ağaç | Tam bir ağacın bir alt bölümü, alt ağaç veya dal olarak tanımlanır. |
| Ana ve Alt (Çocuk) Düğüm: | Düğümlerin bölünmesinde bölünen düğüm ana düğüm, bu bölünme nedeniyle oluşan yeni alt düğümler ise çocuk düğüm olarak adlandırılır. |

Karar ağaçları, bir karara götüren if/else sorularından oluşan bir hiyerarşi öğrenirler. Bu öğrenme sürecindeki amaç mümkün olduğu kadar az sayıda if/else sorusu ile doğru cevaba ulaşmaktır (Müller ve Guido, 2016). Karar ağacı oluştururken ağacın büyüklüğünü (öznitelik sayısı, düğüm sayısı, yaprak sayısı vb.) artırmak ağaç yapısını daha karmaşık bir hale getirecek ve takibini zorlaştıracaktır. Aynı veriler üzerinden hatasız kodlama yapacak birçok karar ağacı geliştirilebileceği için zorlu bir görevdir (Rokach ve Maimon, 2014; Barros ve diğ., 2015: 9).

Karar ağacı, mevcut hedef/çıktı değişkenin/özniteliğinin türüne dayalı olarak iki sınıfa ayrılmaktadır. Bir veri setinde hedef öznitelik “Evet veya Hayır” gibi ayrık değerler alan kategorik bir değişken olduğunda “kategorik değişken karar ağacı” söz konusu olur. Bu durumda sınıflandırma ağaçları kullanılır. Bunun yerine sürekli bir değişken olan bir kişinin gelirini, ürün, meslek vb. değişkenler ile tahmin etmek üzere bir karar ağacı oluşturulduğunda “sürekli değişken karar ağacı” söz konusu olur. Bu durumda regresyon ağaçları kullanılır (Sullivan, 2017: 43-45).

Sınıflandırma ağaçları, bir nesne veya bir örneği girdi öznitelik değerlerine göre önceden tanımlanmış bir kümeye sınıflandırmak için kullanılmaktadır. (Rokach ve Maimon, 2014: 10). Regresyon ağaçlarının temelinde yer alan fikir ise, verilen girdi öznitelikleri ile sayısal hedef özniteliğini tahmin etmek için karar ağaçlarını ve doğrusal regresyonu birleştirmektir. Sınıflandırma ağacı söz konusu olduğunda, ağaç büyütülürken bölme özniteliğinin seçimi safsızlık kriterleri ile ölçülür. Bölme işleminden sonra, bir dal seçen tüm örnekler aynı sınıfa ait olursa, bölme saf olarak değerlendirilir (Alpaydin, 2020: 322). Karar

ağacı algoritmaları özünde optimal bölme özniteliğini yani kök düğümü belirleyerek en iyi bölünmeyi sağlamayı amaçlamaktadır. Genel olarak, bölme işlemi ilerledikçe, her düğümde daha fazla örneğin tek bir sınıfa ait olması, diğer bir ifade ile her düğümün saflığının artması istenir. Regresyon ağaçlarında bölme özniteliği seçiminde safsızlık kriterleri yerine genellikle en küçük kareler hata kriteri kullanılmaktadır. Regresyon ağaçlarında yapraklar bir sınıfı değil, gerçek bir sayıyı tahmin ederek tümevarım gerçekleştirilir (Rokach ve Maimon, 2014: 85). Sınıflandırma problemlerinde en uygun özniteliğin seçiminde kullanılan bazı bölme kriterleri aşağıdaki gibi özetlenebilir (Zhou, 2021:81).

*Bilgi Kazancı (Information Gain):* Safsızlık ölçümünde yaygın olarak kullanılan yaklaşımlarden biri bilgi entropisi ya da basit entropidir. Bilgi kazancı olarak adlandırılan kriter, Shannon entropisine dayalı olarak hesaplanmaktadır. $p_k$, $D$ mevcut veri setindeki $k$. sınıfın oranını ve $k = 1, 2, \ldots, |y|$ ifade etmek üzere entropi şu şekilde tanımlanmaktadır (Zhou, 2021: 82).

$$\text{Ent}\,(D) = -\sum_{k=1}^{|y|} p_k log_2 p_k.$$

Bilgi kazancı, safsızlık ölçüsü olarak entropi ölçüsünü kullanan safsızlık temelli bir kriterdir. Belirli bir veri kümesinden temel olasılık dağılımının parametreleri hakkında çıkarımlar yapmak için kullanılan maksimum olabilirlik tahmini (MLE) ile yakından ilişkilidir (Rokach ve Maimon, 2014: 62). $\text{Ent}\,(D)$ değeri ne kadar düşük olursa, $D$'nin saflığı o kadar artmaktadır. Saf bir altküme, örneklerinin tümü aynı düzeye/sınıfa ait olandır. Hesaplanan entropi değerinin 0'a yaklaşması alt kümenin saflığını yani özniteliklerin bölünmeden türetilen alt kümeleri arasında sınıf/düzey ayrılabilirlik seviyesini artırmaktadır (Barros ve diğ., 2015 13). Quinlan (1986) tarafından geliştirilen ID3 algoritması, bölme özniteliği seçiminde bilgi kazancını kullanmaktadır (Barros ve diğ., 2015: 13; Zhou, 2021: 82-84; Jo, 2021: 153-154).

*Kazanç Oranı (Gain Ratio):* Bilgi kazancında, kök düğüm seçilirken safsızlık ölçütü entropiyi kullanmanın getirdiği bazı dezavantajlar vardır. Özellikle, birçok düzeye/sınıfa sahip öznitelikleri tercih etmektedir. Bunun nedeni ise, bu öznitelikler verileri, tanımlayıcı öznitelik ile hedef öznitelik arasındaki herhangi bir korelasyondan bağımsız olarak saf olma eğiliminde olan birçok küçük alt kümeye bölmektedir. Quinlan (1993) bu sorunu çözmek için C4.5 algoritmasında kullandıkları ve kazanç oranı olarak adlandırdıkları bir çözüm önermiştir. Bu oran, bir özniteliğin bilgi kazancının, özniteliğin değerini belirlemek için kullanılan bilgi miktarına bölünmesiyle hesaplanmaktadır (Kelleher ve diğ., 2020: 142).

*Gini indeksi (Gini index):*

Hedef öznitelik değerlerinin olasılık dağılımları arasındaki farklılıkları ölçen başka bir safsızlık ölçüsüdür. Bu indeks Breiman ve diğ. (1984) tarafından CART algoritmasında kullanılmıştır. Kazanç entropi yerine, sınıf olasılık dağılımları arasındaki mesafe ile ölçüldüğü için mesafe temelli kriterler sınıfında yer alır. Bilgi kazancı ve kazanç oranı ise bilgi teorisi temelli kriterlerdir. Buna göre $p_k$, $D$ mevcut veri setindeki $k$. sınıfın oranını ve $k = 1, 2, \dots, |y|$ ifade etmek üzere gini indeksi aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır (Singh ve Gupta, 2014; Shalev-Shwartz ve Ben-David: 234; Barros ve diğ. 2015: 15-16).

$$\text{Gini}(D) = \sum_{k=1}^{|y|} \sum_{k' \neq k} p_k \, p_k{}' = 1 - \sum_{k=1}^{|y|} p_k^2.$$

$$\text{Gini_index}(D, a) = \sum_{v=1}^{V} \frac{|D^v|}{|D|} Gini(D^v).$$

Veri setindeki tüm örnekler aynı hedef değere sahip olduğunda gini indeksi 0'dır. Eşit olasılığa sahip $k$ olası hedef değeri olduğunda ise $1 - \frac{1}{k}$ olarak elde edilir. Gini indeksinin avantajlı yanı, skor her zaman 0 ile 1 arasında olduğu için öznitelikler arasında karşılaştırma daha kolay olmaktadır (Kelleher ve diğ., 2020: 145). Sınıflandırma ve Regresyon Ağaçları (CART) algoritmasında, gini indeksine bir alternatif olarak çok sınıflı problemlerde kullanılan twoing bölünme kriteri de tanımlanmıştır. Hedef özniteliği ikili olduğu durumda bu iki indeks eşdeğerdir (Rokach ve Maimon, 2014: 65). Burada belirtilen bölme kriterleri dışında DKM kriteri, Kikare istatistiki olasılık oranı, GMI kriteri, CAIR kriteri, MPI kriteri, Kolmogorov-Smirnoff kriteri, ORT kriteri ve AUC bölme kriteri gibi diğer pek çok kriter kullanılabilmektedir (Barros ve diğ. 2015: 12-19; Rokach ve Maimon, 2014: 61-66).

Karar ağaçlarında yaygın kullanılan bölme işlemini sonlandırma yani durdurma kriterleri aşağıda verilmiştir (Rokach ve Maimon, 2014: 30; Barros ve diğ., 2015: 29).

- Eğitim kümesindeki tüm örnekler tek bir öznitelik değerine ait olması,
- Maksimum ağaç derinliğine (derin ağaçlardan kaçınmak için belirlenebilen parametre) ulaşılması,
- Terminal düğümündeki örnek sayısının, ana düğümler için minimum örnek sayısından az olması,
- Düğüm bölünürse, bir veya daha fazla alt düğümdeki örnek sayısının, alt düğümler için minimum örnek sayısından az olması,

- En iyi bölme kriterinin, belirlenen bir eşik değerden büyük olmaması durumlarında durdurma işlemi gerçekleştirilir.

Durdurma kriterleri incelendiğinde, analizi yapanın ağacın maksimum derinliği ya da minimum örnek sayısı gibi parametrelerle ağaç oluşumunu durdurabildiği görülmektedir. Bunun en temel sebebi karar ağacı algoritmasının seçtiği tahmin modeli, modelin veri setine çok yakın olacak ve verilerdeki gürültüye duyarlı olacak kadar karmaşık olduğunda aşırı uyum sorununun görülmesidir. Aşırı uyum, öğrenme örnekleri için çok iyi bir tahminde, ancak yeni örnekler için çok daha kötü tahminlerde kendini gösterir. Aslında bu kavram genelleme yeteneğinin yeterli olmamasıyla açıklanabilir. Karar ağacı algoritmaları mevcut verilerin ayrıntılarını algılamaya fazla odaklandığından, az sayıda eğitim örneği ile çok fazla bölmenin kullanıldığı ayrıntılı yapraklar oluşturacaktır. Bunun tam tersi durum ise tahmin modelinin, tanımlayıcı öznitelikler ile hedef öznitelik arasındaki veri kümesindeki temel ilişkiyi temsil edemeyecek kadar basit olması durumu diğer bir ifadeyle yetersiz uyumdur (Kelleher ve diğ., 2020: 14; Kretowski, 2019: 35). Durdurma kriterleri daha büyük veri setlerinde gürültü kaynaklı az sayıda örneğe bölünmenin engellenmesi için kullanılmaktadır. Bu noktada analizde aşırı ve yetersiz uyumu optimum çözüme kavuşturmada farklı yaklaşımlar tercih edilebilmektedir. İzleyen bölümde karar ağaçlarında bu amaçla kullanılan farklı budama teknikleri verilmiştir.

Karar ağaçlarında aşırı uyum olması durumunda çok az örneğe dayanan herhangi bir karar, varyansa ve dolayısıyla genelleme hatasına neden olabilir. Bu sorunu çözmek üzere iki farklı budama yaklaşımı tercih edilebilmektedir. Bunlardan ilki ağaç yapısının tam olarak tamamlanmadan durdurulduğu ön budamadır. Daha önce verilen durdurma kriterleri temelde ön budama yaklaşımı ile ortaya konulan kriterlerdir. Bu kriterlerin basit bir uygulama örneği, bir düğüme ulaşan eğitim örneklerinin sayısı eğitim veri kümesinin %5'inden (belirlenen eşik) azsa, safsızlık veya hataya bakılmaksızın bölme işlemi durdurulur. Bu ön budamanın tipik bir örneğidir (Alpaydin, 2020: 330). Aşırı uyum sorunu için farklı durumlarda iyi çalışacak evrensel bir mekanizma sunmak oldukça zordur. Bu nedenle, önce olası aşırı büyümüş bir ağaç indüksiyonun sağlandığı ve ardından ağaç boyutunun küçültülmesi ve genelleştirilmesinin gerçekleştirildiği *sonradan budama* yaklaşımı daha yaygın olarak kabul görmüştür. Bu yaklaşım, hesaplama açısından biraz daha karmaşık olsa da, erken durdurma riskini ortadan kaldırarak daha güvenilir bir analiz imkanı sunmaktadır. Budama sonrası algoritmaları tahmin doğruluğunun kestirimine ulaşmanın yolunu aramaktadır. Sonradan budamada pek çok teknik

kullanılmaktadır (Kretowski, 2019; 35-37). Bunlardan biri olan *azaltılmış hata budaması (reduced-error pruning),* Quinlan (1987) tarafından önerilen ve her bir iç düğümün en sık kullanılan sınıfla değiştirilmesi durumunda, ağaçların doğruluğunun azalıp azalmadığını kontrol eden bir prosedürü içermektedir.. Budama doğruluğun azaldığı noktaya kadar sürdürülür. Bir düğüm, budama kümesinde daha düşük bir sınıflandırma hatası veren bir alt ağaç içeriyorsa budanamaz. Bu nedenle yöntem aşağıdan yukarıya bir şekilde gerçekleştirilir. Bu yöntemde budama seti kullanılması ihtiyacı, özellikle küçük veri setleri için ciddi bir dezavantajdır (Barros ve diğ., 2015: 30-31; Rokach ve Maimon, 2014: 70-71).

*Karar Ağaçlarında Değerlendirme*

Karar ağaçlarında hedef öznitelik kategorik olduğunda, yapılan tahminlerin değerlendirilebilmesi için modelin ne sıklıkla doğru tahminler yaptığı ve modelin yanlış ise yaptığı hataların ciddiyetini ortaya koyacak performans ölçütlerine gereksinim duyulur. Bu noktada bir modelin ne kadar iyi performans gösterdiğini değerlendirmek için kullanılabilen en basit performans ölçüsü, *yanlış sınıflandırma oranıdır*. Bu oran model tarafından yapılan yanlış tahmin sayısının toplam tahmin sayısına oranlanması ile elde edilir. Modelin doğru tahmin sayısının toplam tahmin sayısına oranlanması ile *doğruluk* ya da *sınıf doğruluğu* değeri elde edilir. 0 ila 1 arasında değerler alabilen bu ölçütlerden yanlış sınıflandırma oranının 0'a yaklaşması, doğruluk değerinin ise 1'e yaklaşması ise modelin daha iyi performans gösterdiğini ifade eder. Bununla birlikte modelin performansının daha ayrıntılı değerlendirilebilmesi ve diğer birçok performans ölçütünün hesaplanabilmesi için *karmaşıklık matrisinden* yararlanılmaktadır. Bu matris ikili hedef özniteliğine sahip bir tahmin probleminde pozitif ve negatif olarak belirtilen iki seviye/sınıf için modelin test veri setinde yaptığı tahminlerin sonuçlarını Tablo 3.3'te verilen dört sonuçta frekanslarını yansıtır (Kelleher ve diğ., 2020: 536-538).

**Tablo 3.3:** Karmaşıklık matrisinin yapısı.

| | | Tahmin Edilen Sınıf | |
|---|---|---|---|
| | | Pozitif | Negatif |
| Hedef/Gerçek Sınıf | Pozitif | Gerçek Pozitif<br>True Positive-TP | Yanlış Negatif<br>False Negative-FN |
| | Negatif | Yanlış Pozitif<br>False Positive-FP | Gerçek Negatif<br>True Negative-TN |

Tablo 3.3'e göre ikili hedef özniteliğine sahip bir tahmin probleminde tahmin sonuçları dört sınıfta yer alır. Bunlar;

- Gerçek Pozitif (True Positive-TP): Test setinde pozitif bir hedef öznitelik değerine sahip olan bir örneğin pozitif olarak tahmin edilmesi durumudur.
- Gerçek Negatif (True Negative-TN): Test setinde negatif bir hedef öznitelik değerine sahip olan bir örneğin negatif olarak tahmin edilmesi durumudur
- Yanlış Pozitif (False Positive-FP): Test setinde negatif hedef öznitelik değerine sahip örneğin pozitif olarak tahmin edilmesi durumudur. İstatistikte Tip 1 hata olarak geçer.
- Yanlış Negatif (False Negative-FN): Test setinde pozitif hedef öznitelik değerine sahip örneğin negatif olarak tahmin edilmesi durumudur. İstatistikte Tip 2 hata olarak geçer.

Karmaşıklık matrisi bir tahmin modelinin performansının tanımlanmasına ve farklı yönlerinin çeşitli ölçütlerle ortaya konulmasına imkan sağlamıştır. Tablo 3.4'te bu ölçütlere yer verilmiştir (Kelleher ve diğ., 2020: 539-552; Rokach ve Maimon, 2014: 34-38).

**Tablo 3.4:** Performans değerlendirme ölçütleri.

| **Ölçütler** | **Matematiksel İfadesi** |
|---|---|
| **Doğruluk ya da Sınıf Doğruluğu Oranı** | $\text{Doğruluk} = \frac{\text{TP} + \text{TN}}{\text{TP} + \text{TN} + \text{FP} + \text{FN}}$ |
| **Yanlış Sınıflandırma Oranı** | $\text{Yanlış Sınıflandırma Oranı} = \frac{\text{FP} + \text{FN}}{\text{TP} + \text{TN} + \text{FP} + \text{FN}}$ |
| **TP Oranı (TPR) / Hassasiyet, Duyarlılık ya da Geri Çağırma** | $\text{TPR (Geri Çağırma)} = \frac{\text{TP}}{\text{TP} + \text{FN}}$ |
| **TN Oranı (TNR) / Özgüllük** | $\text{TNR} = \frac{\text{TN}}{\text{TN} + \text{FP}}$ |
| **FP Oranı (FPR)** | $\text{FPR} = \frac{\text{FP}}{\text{TN} + \text{FP}} = 1 - \text{TNR}$ |
| **FN Oranı (FNR)** | $\text{FNR} = \frac{\text{FN}}{\text{TP} + \text{FN}} = 1 - \text{TPR}$ |
| **Kesinlik ya da Pozitif Tahmin Değeri** | $\text{Kesinlik} = \frac{\text{TP}}{\text{TP} + \text{FP}}$ |
| **Geri Çağırma** | $\text{Geri Çağırma} = \frac{\text{TP}}{\text{TP} + \text{FN}}$ |
| **Ortalama Sınıf Doğruluğu$_{\text{Harmonik ort.}}$** | $\frac{1}{\frac{1}{\lvert levels(t)\rvert}\sum_{l \epsilon levels(t)} \frac{1}{geri\ çağırma}}$ |
| **$F_1$ Ölçüsü ya da F Skoru** | $F_1\text{Ölçüsü} = 2 \times \frac{(\text{Kesinlik} \times \text{Geri Çağırma})}{(\text{Kesinlik} + \text{Geri Çağırma})}$ |

Tablo 3.4'te verilen ölçütler hem karar ağaçları algoritmalarının içsel kıyaslamasında hem de diğer sınıflandırma yöntemleri ile karar ağaçlarının performanslarının kıyaslanmasında sıklıkla kullanılmaktadır. Tahmin modellerinin performansını değerlendirecek doğru performans ölçüsünün seçimi tahmin probleminin doğası (sınıflandırma veya regresyon) ve veri kümesinin özelliklerine bağlıdır. Tablo 3.4'te verilenler dışında sınıflandırma modellerinin performansını değerlendirmede, kaldıraç eğrisi, işlem karakteristik eğrisi (ROC), eğri altında kalan alan (AUC) ve Kolmogorov-Smirnov istatistiği gibi teknikler de kullanılmaktadır. Uygun yönteme karar verirken zorlanılması durumunda sınıflandırma problemleri için genellikle harmonik ortalamaya dayalı ortalama sınıf doğruluğu, regresyon problemlerinde ise $R^2$ (1-(Artıklar kareler toplamı/ortalamaya uzaklığın kareler toplamı)) önerilmektedir. Veri setinin çok küçük olduğu durumlarda ise (300 örnekten az) çapraz doğruluk yerine veri setinden her defasında farklı örnekler seçerek yeni bir veri seti oluşturmaya imkan tanıyan bootstrap yaklaşımı tercih edilir (Kelleher ve diğ., 2020: 586).

Karar ağaçlarının yorumlanabilir ve anlaşılır olması birçok alanda kullanılmasını sağlamıştır. Belirli bir problem için kullanılması gereken karar ağacı algoritması, problemin doğasına ve kullanılan veri setine bağlı olarak seçilmektedir. Bu algoritmalar metodolojik olarak birbirinden farklılaşmaktadır. Bu kapsamda hangi algoritmanın tercih edileceğine karar verilirken veri setinin uygunluğu, analiz ve görevin kapsamı ve diğer faktörler gözetilmelidir. Burada algoritma seçiminde hedef değişkenlerin türü belirleyici olmaktadır. Buna göre verilen kriterler sınıflandırma ve regresyon ağaçları durumuna göre tercih edilmektedir. Belirli bir görev için hangi algoritmanın en iyi sonuç vereceğini belirleyebilmek için farklı model türleri kullanılarak değerlendirme yapılmalıdır (Sullivan, 2017: 53; Kelleher ve diğ., 2020: 169). Bu çerçevede araştırmada sınıflandırma probleminin çözümünde karar ağacı algoritması olan CART algoritması ve topluluk öğrenme yöntemleri altında yer alan ve karar ağacı temelinde geliştirilen Rastgele Orman algoritması yöntem olarak kullanıldığı için bu bölümde iki algoritmaya yer verilmiştir.

#### *3.4.3.1. CART Algoritması*

Sınıflandırma ve Regresyon Ağaçları kısaltması olan CART (Classification and Regression Trees) algoritması, Breiman ve diğ. (1984) tarafından geliştirilmiştir. Bu algoritma bölme kriteri olarak ID3 için kullanılan bilgi kazancı yerine gini indeksini kullanmıştır. En yüksek gini indeksi değerine sahip öznitelik bölme için kullanılmaktadır. Bu algoritmada özniteliklerin sürekli değerleri de işlenebilmektedir (Kelleher ve diğ., 2020: 169).

CART algoritması çok değişkenli bölmelere izin veren ilk sistemlerden biridir. Terminal olmayan düğümlerde iyi doğrusal nitelik kombinasyonlarını bulmak için geriye doğru öznitelik eleme ile bir yukarıya tırmanma stratejisi kullanır (Barros ve diğ., 2015: 25). İkili ağaçlar oluşturma ile karakterize olan bu algoritmada elde edilen ağaç, maliyet-karmaşıklık budaması stratejisi ile budanır. CART'ın en önemli bir özelliklerinden biri sınıflandırma ağaçlarının yanı sıra regresyon ağaçları da oluşturabilmesidir. Buna göre hedef öznitelik nicel bir değişken olması durumunda regresyon ağaçları prosedürü uygulanır. Regresyon ağaçlarında yapraklar bir sınıfı değil gerçek bir sayıyı tahmin eder. Regresyon durumunda CART, kare tahmin hatasını (en küçük kareler sapma) en aza indiren bölmeleri aramaktadır. Her yapraktaki tahmin, düğüm için ağırlıklı ortalamaya dayanır. Bir $\tau$ düğümü için toplam, o düğümdeki tüm örnekler ve $\bar{y}(\tau)$, örneklerin ortalaması olmak üzere her adımda, heterojenlik yanıtların düğüm içi karelerinin toplamı ile aşağıdaki gibi ölçülür (Rokach ve Maimon, 2014: 79-86; Kozak, 2019: 8).

$$i(\tau) = \sum (y_i - \bar{y}(\tau))^2$$

Buna göre düğüm içi kareler toplamını en çok azaltan öznitelik bölme için seçilir. CART yönteminin regresyon problemlerini de bu şekilde ele alabilmesi, eksik ve sürekli değerleri işleyebilmesi gibi üstünlükleri iyi bilinen bir algoritma olarak kullanımını yaygınlaştırmıştır. Bu üstünlüklerle birlikte, CART algoritmasında birkaç örneği yok etmek ve karar ağacında değişikliklere neden olmak gibi önemsiz değişiklikler ağaç karmaşıklığında, bölme değişkenlerinde ve değerlerinde değişikliklere yol açabilmektedir. Bu nedenle algoritma kararsız karar ağacına sahip olabilir. Ayrıca CART algoritmasının, yalnızca bir değişkene göre bölünmesi bu algoritmanın dezavantajları arasında sayılabilir (Singh ve Gupta, 2014). Buna göre ID3, C4.5 ve CART klasik karar ağacı algoritmaları pek çok yönüyle farklılık göstermektedir. Bu algoritmaların birbirine benzeyen ya da birbirinden farklılaşan temel karakteristikleri ayrıca Tablo 3.5'te özetlenmiştir (Loh, 2011; Singh ve Gupta, 2014; Kumar ve Kiruthika, 2015).

**Tablo 3.5:** Karar ağacı algoritmalarının temel karakteristikleri.

| **Algoritmalar** | **ID3** | **C4.5** | **CART** |
|---|---|---|---|
| **Veri Tipi** | Bağımlı ve bağımsız değişkenler kategorik | Bağımlı değişken kategorik, bağımsız değişken kategorik veya sürekli | Bağımlı ve bağımsız değişkenler kategorik veya sürekli |
| **Tahmin Türü** | Sınıflandırma | Sınıflandırma | Sınıflandırma ve regresyon |
| **Eksik Değerler** | İşleyemez | İşleyebilir | İşleyebilir |
| **Bölme Kriteri** | Bilgi kazancı | Kazanç oranı | Gini ve Twoing (Sınıf.), En küçük kareler (Regres.) |
| **Oluşan Dal Sayısı** | ≥2 | ≥2 | 2 |
| **Budama Stratejisi** | Budama yapılmaz | Hata tabanlı | Maliyet-karmaşıklık |
| **Hız** | Düşük | ID3'den hızlı | Ortalama |
| **Boosting** | Desteklenmez | Desteklenmez | Desteklenir |
| **Aykırı Değerler** | Duyarlı | Duyarlı | İşleyebilir |

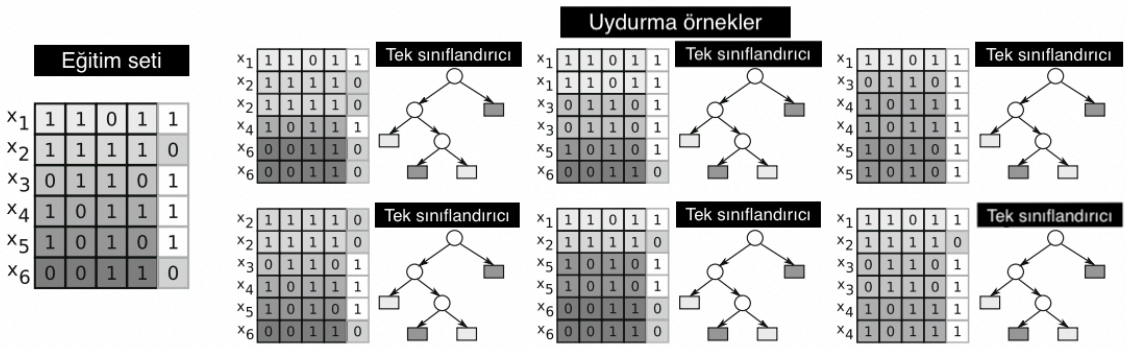
Tablo 3.5'te verilen algoritmalar farklılıkları ele aldıkları problemlerle ilgili farklı sonuçlar vermesine yol açmaktadır. Bu durum algoritmaların performansını etkilemektedir. Doğruluk oranı gibi ölçütlerle algoritmaların performansının değerlendirildiği çalışmalarda farklı sonuçlar elde edilebilmektedir. Bu da her durumda kesin olarak en iyi performans gösteren bir algoritma olmadığını göstermektedir (Shamrat ve diğ., 2021; Lavanya ve Rani, 2011). Bunların yanı sıra, karar ağacı temelinde sınıflandırma ve regresyon problemlerinin çözümü için birden çok öğreneni eğiterek birleştiren topluluk öğrenmesi yöntemleri de kullanılmaktadır. Bu kapsamda tezin izleyen bölümünde analiz kapsamında kullanılacak olan ağaç tabanlı topluluk öğrenme yöntemlerinden Rastgele Orman algoritmasına yer verilecektir.

*Ağaç Tabanlı Topluluk Öğrenme Yöntemleri*

Karar ağacı algoritmaları (ID3, C4.5 ve CART) tahmin için tek bir karar ağacı geliştirerek en uygun modeli ortaya koymaya çalışmaktadır. Topluluk öğrenme yöntemleri ise, bir problemin tahminini tek bir model yerine bir dizi model (model topluluğu) oluşturma ve sonrasında bu modellerin çıktılarını toplayarak en uygun modele ulaşma yaklaşımını benimsemektedir. Model topluluğu içerisinde yer alan her bir model birbirinden bağımsız olarak tahmin yapar. Bu yöntemlerin arkasındaki fikir, bir sorunu çözüme kavuşturmak, tek uzmanın çalışmasından ziyade uzman komitesinin çalışması ile daha olasıdır. Bu nedenle karar ağacına dayalı topluluk öğrenmede oluşturulan her bir sınıflandırıcı daha sonra çoğunluk

oylaması ya da ağırlıklı oylama ile birleştirilir. En yüksek oyu alan karar seçilir. Sürekli hedef öznitellikleri için, ortalama aykırı değerlerden daha fazla etkileneceği için medyan tercih edilir. Topluluk oluşturmaya yönelik algoritmalarda bagging (torbalama) ve boosting (güçlendirme) olmak üzere iki standart yaklaşım kullanılmaktadır (Kozak, 2019; Kelleher ve diğ., 2020).

*Bagging (Torbalama):* Bootstrap AGGregatING kısaltması olarak geçen Bagging, bootsrap (yeniden örnekleme) yaklaşımına dayalı olan bir topluluk öğrenme yöntemidir. Breiman (1996) tarafından önerilen bu yaklaşım, ilk ve en basit sınıflandırıcılardan biridir. Eğitim setindeki küçük değişiklikler öğrenicide büyük bir farka neden olması durumunda, diğer bir ifadeyle öğrenme algoritmasının yüksek varyansa sahip olması durumunda, öğrenme algoritması kararsız bir algoritmadır. Torbalama yöntemi, varyans ve aşırı uyum sorunlarını çözümlemek üzere kullanılmakta olup, sınıflandırmanın kararlılığını ve doğruluğunu artırmaktadır. Torbalama ile tüm eğitim setinden seçim yoluyla oluşturulan veri alt kümeleri (yeniden örnekleme örnekleri) temel alınarak birden fazla sınıflandırıcı (karar ağacı modeli) oluşturulur. Öğrenme örneğinin $n$ gözlemden oluştuğu bir durumda, oluşturulacak her bir alt küme için $n$ gözlem olacak şekilde ve bu alt kümeler de aynı olasığa $(1/n)$ sahip olacak şekilde seçilir. Torbalamada, temel öğrenicileri oluşturmak şansa ve öğrenme yönteminin istikrarsızlığına bırakılmıştır. Şekil 3.3'te bagging algoritmasının bir örneği verilmiştir (Alpaydin, 2020: 766-767; Kozak, 2019: 108-109).



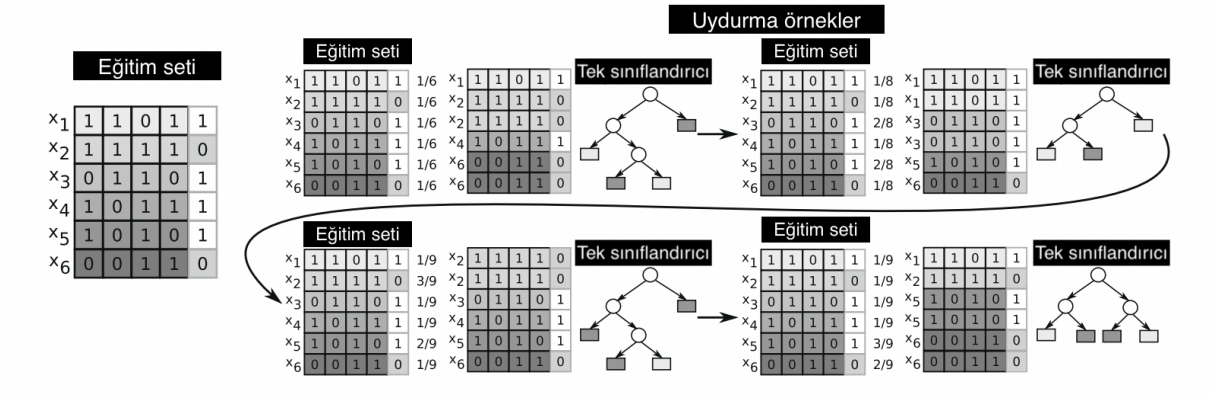

**Şekil 3.3:** Bagging algoritması örneği.
Kaynak: Kozak, 2019: 109.

Şekil 3.3'te gösterildiği gibi yeniden örnekleme yer değiştirme ile yapıldığından, yeniden örnekleme örneğinde bazı örnekler birden fazla kez yer alırken, bazı örneklerin hiç yer almaması mümkündür (Alpaydin, 2020: 766). Hazırlanan her bir alt örnek kadar karar ağacı türetiler ve her bir durum bir oya karşılık gelecek şekilde oylanarak seçim yapılır. Bagging

yönteminde tek bir karar ağacının aşırı eğitimi, kalan ağaçlar tarafından oylama sürecinde etkisiz hale geleceği için budama kullanımı onaylanmamıştır (Kozak, 2019: 109). Bu yaklaşımın en temel sorularından biri ise "kaç tane yeniden örnekleme örneği gereklidir?" sorusudur. Mutlak olarak belirtilen bir sayı olmamakla birlikte, sınıflandırma problemleri için 50, regresyon problemleri için 25 adet yeniden örnekleme örneği kullanılması tavsiye edilmiştir. Bağımlı değişken sayısal bir değer olduğunda, kategorik olması durumundan daha az yeniden örnekleme örneği gerektirdiği ifade edilmiştir (Breiman, 1996). Regresyon durumunda, daha robust (sağlam) olması için, sınıflandırıcı tahminleri birleştirilirken ortalama yerine medyan alınabilir (Alpaydin, 2020: 766).

*Boosting (Güçlendirme):* Boosting, temel fikri zayıf öğrenenleri güçlü öğrenenlere dönüştürmek olan bir algoritma ailesidir. Güçlendirme algoritmaları, bir temel öğreniciyi eğitmekle başlamaktadır. Bu modelde yanlış sınıflandırılmış örneklere daha sonraki temel öğreniciler tarafından daha fazla dikkat edilecek şekilde, temel öğrenicinin sonucuna göre eğitim örneklerinin dağılımı ayarlanmaktadır. İlk temel öğrenici eğitildikten sonra, ikinci temel öğrenici uyarlanmış eğitim örnekleriyle eğitilir. Elde edilen sonuç, eğitim örneği dağılımını yeniden uyarlamak için kullanılır. Bu süreç, temel öğrenicilerin sayısı önceden tanımlanmış bir $T$ değerine ulaşana kadar tekrarlanır. Bunlarda kullanılan veri seti aşamalı olarak uyarlanarak süreçler gerçekleştirilir. Sonunda ise temel öğrenenler ağırlıklandırılır ve birleştirilir (Zhou, 2021: 184).

Güçlendirme yönteminde, torbalamada olduğu gibi, özel olarak oluşturulmuş uydurma örnekler üzerinden hareket edilir. Dolayısıyla ilk aşamada torbalamaya benzer şekilde uydurma örnek seti oluşturulur. Şekil'de verilen örnek Boosting algoritmasında gösterildiği üzere sonraki aşamalarda eğitim setinden belirli bir örneği seçme olasılığı torbalamadan farklılaşmaktadır. Güçlendirme, yeniden örneklemenin kullanılmasını gerektirmez ve sınıflandırıcıların oluşturulması ağırlıklı gözlemlere dayalı olabilir. İlk uydurma örnek setinden oluşturulan karar ağacında yanlış sınıflandırılan tüm örneklerin ağırlıkları artırılarak uydurma örnek oluşturulur. Bu işlem her yinelendiğinde sınıflandırıcının verilerden yeni bir şey çıkarabilmesi için farklı eğitim setlerinden beslenmesi gerekir. Bu süreç yinelenerek sonucunda sınıflandırıcıların ağırlıklandırılarak birleştirildiği bir model elde edilir. Bu yaklaşımla elde edilen model tek bir karar ağacı modelinden daha iyi bir sınıflandırma doğruluğuna sahip olur. Bu süreç Şekil 3.4'te gösterilmiştir (Kozak, 2019: 110).



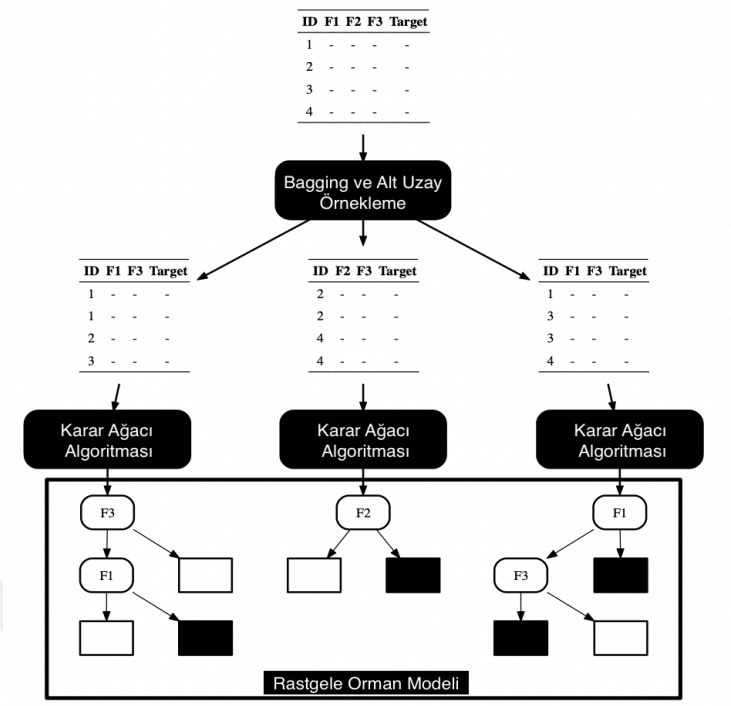

**Şekil 3.4:** Boosting algoritması örneği.

Kaynak: Kozak, 2019: 110.

Güçlendirme algoritmalarında, zayıf modellller ağırlıklandırılmış örneklerle başa çıkamadığında yeniden örnekleme tekniği ile ağırlıklı verilerden ağırlıksız bir veri seti oluşturulur. Örnekler veri seti orjinal eğitim seti kadar büyük olana kadar ağırlıklarına göre bir olasılıkla seçilir. Güçlendirme algoritmaları, hatası büyük birçok hipotezi sentezleyerek eğitim setindeki hatası ve varyansı zayıf öğrenen tarafından üretilenden küçük olan birleştirilmiş son bir sınıflandırıcı ürettiğinden performansı iyileştirmektedir. Bununla birlikte veriler üzerinde iyi performans gösteren bir bileşik sınıflandırıcı oluşturmak için çok sayıda yineleme yapmak aşırı uyum sorununa yol açabileceği için, tek bir sınıflandırıcıdan doğruluğu daha az olan karmaşık bir bileşik sınıflandırıcı oluşturabilir. Bunu önlemenin olası bir yolu, yineleme sayısını olabildiğince küçük tutmaktır (Rokach ve Maimon, 2014: 121).

### *3.4.3.2. Rastgele Orman Algoritması*

Rastgele orman, karar ağacını temel alan ve genişleten bir topluluk öğrenme yöntemidir. Karar ağaçlarında eğitim örneklerinden oluşturulmuş tek bir ağaç incelenirken, rastgele ormanda eğitim seti alt kümelere bölünerek alt kümelerden farklı karar ağaçları oluşturulmaktadır (Jo, 2021: 160). Rastgele orman algoritması, problemleri farklı bir açıdan ele alan öngörücü performansı ve sadeliği sayesinde kullanımı ve popülerliğini gün geçtikçe artırmaktadır. Breiman (2001) tarafından geliştirilen rastgele ormanlar, torbalamada (bagging) yeniden örnekleme (bootstrap sampling) sürecine ek olarak rastgele alt uzay (random subspace) örnekleme olarak bilinen rastgele öznitelik seçimini de ilave ederek farklılaşan bir torbalama (bagging) uzantısıdır (Rokach, 2016). Şekil 3.5'te torbalama (bagging), altuzay örnekleme ve karar ağaçlarının birleştirilmesi ile ortaya çıkan model topluluğu oluşturma süreci gösterilmektedir. Bu model topluluğu rastgele orman modeli olarak tanımlanmaktadır (Kelleher ve diğ., 2020: 160).




**Şekil 3.5:** Bagging ve alt uzay örnekleme ile rastgele orman süreci.
Kaynak: Kelleher ve diğ., 2020: 160.

Şekil 3.5'te gösterildiği gibi rastgele orman algoritmasında her karar ağacının eğitimi, o karar ağacı için eğitim verilerinden rastgele oluşturulmuş olan azaltılmış eğitim verileri ve girdi öznitelikleri ile sınırlıdır. Randomize etme süreci, ilk aşama olan yeniden örnekleme (bootstrap sampling) ile başlamaktadır. Yeniden örnekleme sürecinde her temel öğrenen, orijinal eğitim örneklerinin yaklaşık %63,2'sini kullanmakta, eğitim setinin kalan %36,8'ini oluşturan örnekler ise doğrulama seti olarak kullanılabilmektedir. Eğitim setindeki ağaçlar oluşturulurken kullanılan örnekler torba içi veriler (inbag data), ağaç tahminlerinin test edilmesi için kullanılan örnekler ise torba dışı veriler (out-of-bag data) olarak adlandırılmaktadır. Bu uygulama genelleme hatası ve değişkenlerin göreceli önemini tahmin etmek için oldukça faydalıdır (Jafarzadeh ve diğ., 2021; Zhou, 2021: 191-192; Cutler ve diğ. 2012).

İkinci aşamada geleneksel karar ağaçlarında uygulanan tüm özniteliklerden en uygun bölme özniteliğini seçme süreci yerine, öznitelik setinden eşit olasılıkla rastgele oluşturulan bir $n$ öznitelik alt kümesinden seçim yapılmaktadır. Burada önerilen alt küme boyutu olan $n$ değeri, $N$ özniteliklerin sayısı olmak üzere, $n = log_2 N + 1$ olarak hesaplanmaktadır. Özniteliklerin çoğunun kategorik olması durumunda, az sayıda öznitelik ile alt küme oluşturmak düşük korelasyon, ancak aynı zamanda düşük güçle sonuçlanacaktır. İyi bir test seti doğruluğu sağlamak için hesaplanan $n$ değerinin yaklaşık iki-üç katı alınmalıdır. Bu noktada farklı

uygulamalar söz konusudur. Bir başka yaklaşıma göre $n$ değeri sınıflandırma problemlerinde $n = \sqrt{N}$ olarak elde edilirken, regresyon problemlerinde M örneklerin sayısı olmak üzere, $n = \frac{\mathrm{M}}{3}$ olarak belirlenmektedir. İkinci aşamada her bir düğümde en iyi özniteliği seçmek yerine öznitelikler, seçilme olasılığı ölçülen değeriyle orantılı olarak rastgele seçileceği şekilde uygulanabilir (Zhou, 2021: 191-192; Rokach, 2016; Cutler ve diğ., 2012; Breiman, 2001).

Rastgele orman algoritmasında analizi yapanın belirlediği iki önemli ölçütten biri olan kullanılacak girdi özniteliği sayısı olup, hesaplaması yukarıda verilmiştir. Bununla birlikte analizi yapanın tanımladığı bir diğer ölçüt ise ormanda oluşturulacak ağaç sayısıdır. Rastgele ormanda başlangıç olarak, daha fazla ağaç kullanılması genellikle daha iyidir. Bunun nedeni ise verilerdeki anormallikleri düzeltmek için daha fazlasını yapmasıdır. Ancak bu durum her bir ek ağacın bir öncekinden daha az fayda sağlayacağı azalan bir getiri alanına kadar söz konusudur. Fayda belirli bir noktadan sonra artmayacağı gibi, her bir ağacın ayrı ayrı oluşturulması ve test verilerinin her birinden ayrı ayrı geçmesi gerektiğinden programın çalışma süresi de artacaktır. Rastgele ormanda kaç tane ağaç olması gerektiği kararı, probleme ve bilgi işlem kaynaklarına bağlı olarak değişebilir. Bu noktada az miktarda ağaçla başlamak ve çapraz doğrulama sonuçları ile sayıyı artırmanın sağladığı avantajın ek çalışma süresine değmediğini belirlemek iyi bir yoldur. Rastgele ormanda genellikle 100 ağaç kullanmak başlangıç için iyi bir yerdir. Burada ağaç sayısını önemli ölçüde artırarak iyileştirmeler elde etmek yerine, diğer parametreleri inceleyerek ve hızlı çalışan daha az sayıda ağaçla verilerdeki iyileştirmeleri incelemek genellikle daha iyi bir yoldur. Bununla birlikte özellikle torba dışı tahminin kararsız ve yanlış olmaması için ağaç sayısının yeterli büyüklükte olması oldukça önemlidir. Bu nedenle parametrenin uygun değerini saptamada torba dışı hata oranı (out-of-bag error rate) kullanılabilmektedir (Hartshorn, 2016; Cutler ve diğ., 2012).

Rastgele orman algoritmasının temelinde CART algoritması ile oluşturulan çok sayıda karar ağacı vardır. Ağaçlar, her düğümde bölünecek az sayıda girdi özniteliklerinin rastgele seçilmesi ve CART metodolojisi ile bunlar içerisinden en iyi bölme özniteliğinin belirlenmesi ile oluşturulmaktadır. Bu doğrultuda en iyi bölme özniteliği seçiminde entropi tabanlı bilgi kazancı kullanılmaktadır. Bu öznitelik belirlendikten sonra, ikili bölmeye izin veren gini indeksi ile hangi değerin kesim noktası olarak dallanmayı yapacağı belirlenir. Bu algoritmada çok sayıda sınıflandırıcı kullanılması nedeniyle CART algoritmasından farklı olarak ağaç budama işlemi yapılmaz. Sürekli öznitelikler söz konusu olduğunda, karar ağacı tümevarım algoritmasına rastgelelik eklemek için tüm örnekleri kullanmak yerine, örneklerin özniteliğe

göre değişen bir alt örneği kullanılır. Bölme kriterini optimize eden öznitelik ve bölme değeri, o düğümdeki karar olarak seçilir. Bölme işlemi örneklere göre değişeceğinden topluluklarda birleştirilebilecek farklı ağaçlar oluşur. Karar ağacının randomize edilmesinin bir başka yolu ise öznitelikler için histogramları kullanarak potansiyel bölme noktasının en iyi kutu sınırını çizen histogram aralığından rastgele seçilmesidir (Rokach, 2016; Breiman, 2001; Jafarzadeh ve diğ., 2021).

***Rastgele Ormanda Değişken Önem Ölçüleri ve Yakınlık Ölçüsü***

Rastgele orman algoritmasında sınıflandırma ya da regresyon görevleri dışında ayrıca tahmin değişkenlerinin göreceli önem dereceleri belirlenebilmektedir. Bunun için en sık kullanılan iki önem ölçüsü ise permütasyon önem ölçüsü ve ortalama azalan safsızlık (mean decrease impurity) ölçüsü ya da bilinen karşılığı ile Gini önem ölçüsüdür. Permütasyon önem ölçüsündeki temel fikir, bir tahmin değişkeninin tüm değerlerine izin vererek değişiklikler sonrası torba dışı hata farklılıklarının standart sapması ile normalize edilmesidir. Buna göre yüksek değerler alan öznitelikler daha önemli olarak sıralanmaktadır. Gini önem ölçüsündeki temel fikir ise bir tahmin değişkeni ağacı dallara ayırmadan hesaplanan gini değeriyle, bölme işlemi sonrasında hesaplanan gini değerinin farkının alınması ve ormandaki tüm ağaçlarda o değişken bazında oluşan farkların toplanmasıdır. Her bir karar ağacının eğitiminde CART algoritması gereği Gini safsızlığı kullanıldığından, hesaplama açısından daha pratiktir. Bununla birlikte öznitelikler arasındaki korelasyon hesaba katılmamaktadır. Örneğin, yüksek düzeyde ilişkili iki özniteliğin her ikisi de hedef özniteliği tahmin etmede eşit derecede öneme sahip olduğu durumda, tüm açıklayıcı güç diğer özniteliğe atfedileceği için bu özniteliklerden birinin Gini tabanlı önemi diğerine göre düşük olabilir. Bu kapsamda karar ağacı oluşturulmadan önce fazlalık olan özniteliklerin kaldırılması bu soruna çözüm olabilir (Hjerpe, 2016: 12-23; Qi, 2012: 310-311; Codecademy Team, 2022).

Rastgele orman algoritmasında her bir karar ağacının eğitiminde tüm örnekler yerine, eğitim verilerinden rastgele oluşturulmuş örneklerin ve girdi özniteliklerinin kullanıldığı ifade edilmiştir. Bu yaklaşım her bir ağacın performansını azaltsa da, ağaçlar arasında daha küçük bir korelasyon meydana getireceğinden topluluğu bir bütün olarak daha güvenilir kılacaktır. Bu nedenle ancak her bir karar ağacında kullanılan eğitim alt kümesinin birbirinden farklı olması ile oluşacak ormanın performansını artırabilmek mümkün olacaktır. Rastgele orman algoritmasında eğitilmiş ormanda yer alan gözlemlerin/örneklerin birbiriyle olan ilişkisi diğer bir ifadeyle ikili yakınlık (pairwase proximity) ölçüsü sağlanmaktadır. İki gözlem arasındaki

yakınlık oranı, bu gözlemlerin ormandaki ağaç sınıflandırmalarının kaçında aynı uç düğümde sonlandıklarını gösteren bir orandır. Ağaç oluşturulurken kullanılan örnek sayısı $N$ olmak üzere genellikle $N \times N$ boyuta sahip matris oluşturulmakta ve daha sonra elde edilen ikili yakınlık oranları görselleştirilebilmektedir. İki gözlemin tüm ağaçlarda aynı uç düğümde sonlanmaları durumunda yakınlıkları 1, hiç aynı uç düğümde yer almaması durumunda ise yakınlıkları 0 olacaktır. Proximity değeri özellikle eksik değerlerin işlenmesi, çok boyutlu ölçekleme ile veri görselleştirme ve bu sayede aykırı değerlerin tespit edilmesi süreçlerinde kullanılmaktadır (Cutler ve diğ., 2012; Jafarzadeh ve diğ., 2021).

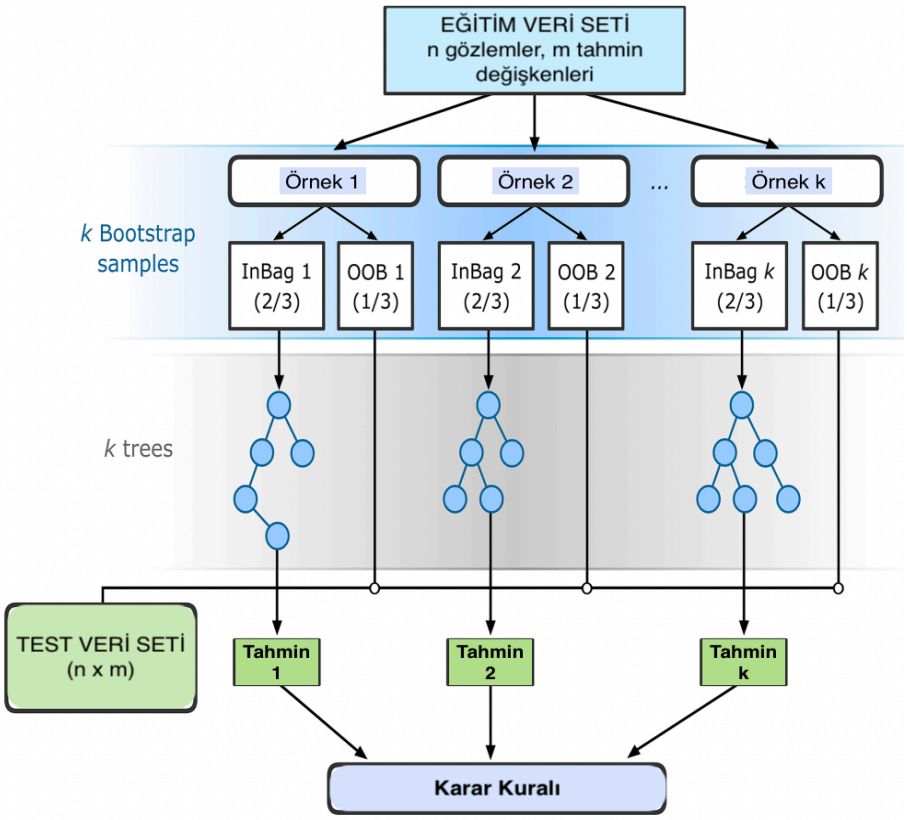
***Rastgele Ormanda Ağırlıklandırma ve Nihai Modeli Belirleme***

Rastgele orman algoritmasında önemli bir diğer konu ise çıktı özniteliğinde yer alan sınıfların/düzeylerin dağılımıdır. Bazı sınıfların diğerlerinden çok daha küçük olduğu durumları ifade eden dengesiz veri setleri birçok sınıflandırıcı için önemli bir zorluk unsurudur. Bazı durumlarda belirli bir sınıfa/düzeye atamak daha kritik sonuçlara sebebiyet vereceğinden ağırlıklandırma yapılması gerekir. Örneğin gerçekte hasta olan birini sağlıklı olarak tahmin edilmesi, sağlıklı olan birini hasta olarak tahmin edilmesinden daha ciddidir. Bu nedenle dengesiz veri setlerinde sınıfların dengeli olarak ele alınabilmesi önem taşımaktadır. Rastgele ormanlar, dengesiz verilerde dengeli sonuçlar vermek için sınıfları/düzeyleri ağırlıklandırma konusunda oldukça etkili bir yöntemdir (Cutler ve diğ., 2012).

Rastgele orman algoritmasında eğitim setinden rastgele seçilen torba içi (InBag) veriler ile oluşturulan her bir karar ağacının torba dışı (OOB) veriler kullanılarak hata oranları hesaplanmakta ve bunu takiben torba dışı tahminler üzerinden genelleme hatası elde edilmektedir. Regresyon ve sınıflandırma problemlerinde farklı olmak üzere, her sınıf/düzey için sınıf bazında hata oranını ve bunun karmaşıklık matrisini veren torba dışı hata oranı (out-of-bag error rate) elde edilir. Bir anlamda modelin iç testi olan torba dışı hata oranı, orjinal veri setinden ayrılmış test veri seti olması durumunda bu veri setinin test edilmesi ile ortaya çıkacak hata oranı ile karşılaştırılmaktadır. Bu iki hata oranı genellikle birbirine yakın sonuçlar verir (Cutler ve diğ., 2012; Zhou, 2021;191-192).

Bu aşama sonrasında nihai karara geçmeden her bir karar ağacının OOB hata oranına göre, ters orantılı olacak şekilde ağırlıklandırma işlemi yapılabilmektedir. Buna göre en yüksek hata oranına sahip karar ağacına en düşük ağırlık, en düşük hata oranına sahip karar ağacına ise en yüksek ağırlık verilir. Sınıflandırma problemlerinde bu ağırlıklar nispetinde oluşturulan her bir karar ağacının oyuna göre çoğunluk oylaması yapılarak nihai modele ulaşılabileceği gibi,

ağırlık verilmeden yapılan oylama ile de nihai modele ulaşmak mümkündür. Burada iki yaklaşım içinde üstünlüklerin olduğu durumlar farklı çalışmalarda ortaya konulmuştur. Genel olarak her bir karar ağacının önemli ölçüde farklı performans gösterdiği durumlarda ağırlıklı ortalama alma yöntemi tercih edilirken, benzer performans gösterdiği durumlarda basit ortalama alma yöntemi ile oylama yapılarak nihai modele ulaşılması uygundur (Balli ve diğ., 2019; Zhou, 2021: 194-195). Hedef öznitelik sürekli bir değer olması durumunda ise yani regresyon problemlerinde bazı araştırmacılar tarafından tahmin değerlerinin ortalamasının alınması gerektiği belirtilmiştir. Bazı araştırmacılar ise ortalamanın aykırı değerlerden daha fazla etkileneceğini ileri sürerek medyan değerinin tercih edilmesinin uygun olacağını ifade etmiştir (Balli ve diğ., 2019; Kelleher ve diğ., 2020: 159). Hem sınıflandırma hem de regresyon problemleri için kullanılabilen rastgele orman algoritmasının belirtilen bu işlem adımlarını özetleyen akış diyagramı ayrıca Şekil 3.6'da gösterilmiştir (Rodriguez-Galiano ve diğ., 2016).



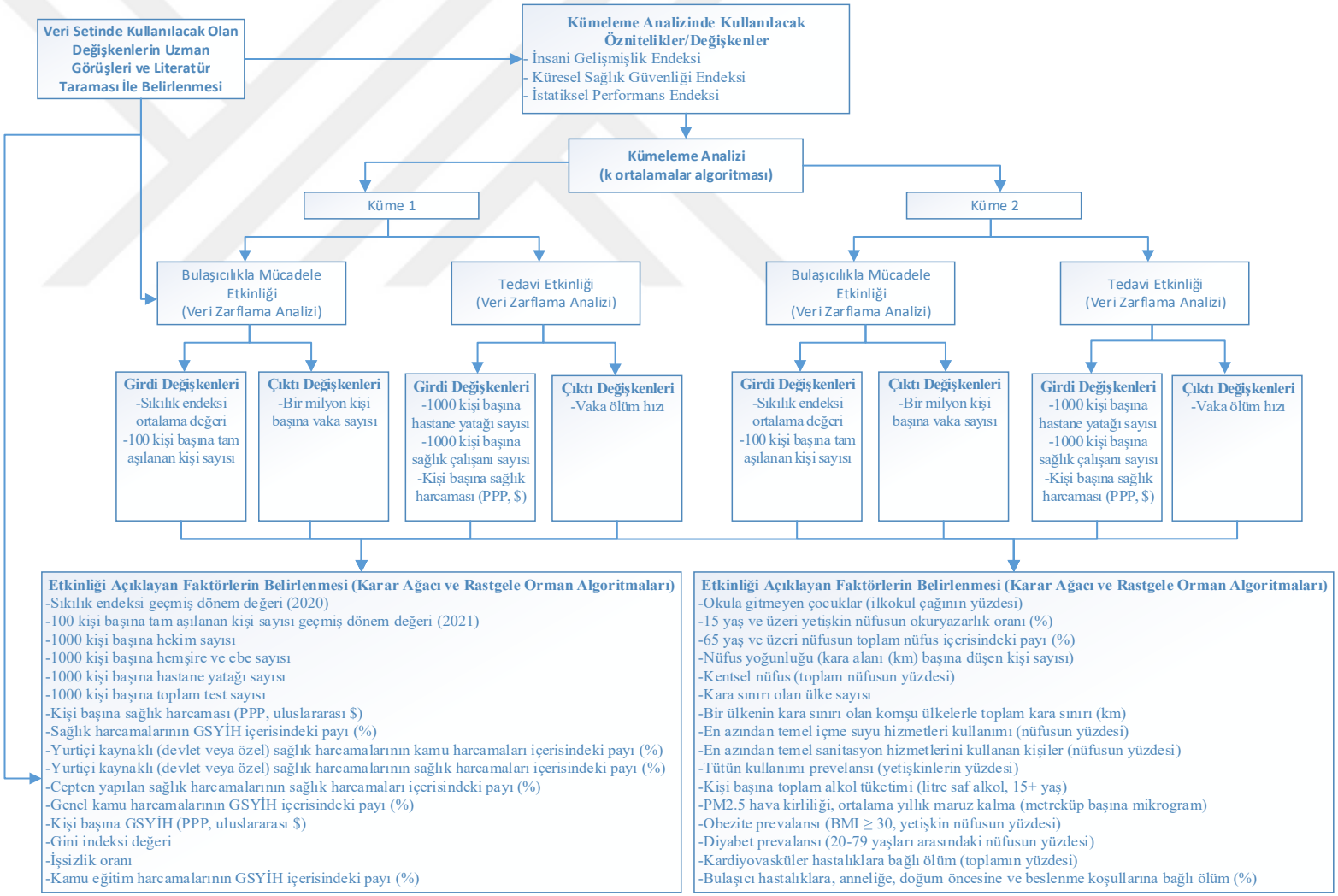

**Şekil 3.6:** Rastgele orman algoritması akış diyagramı.
Kaynak: Rodriguez-Galiano ve diğ., 2016

Şekil 3.6'da gösterildiği üzere tahmin problemine (sınıflandırma veya regresyon) uygun olarak her bir karar ağacı tahmini dikkate alınarak karar kuralı diğer bir ifadeyle nihai karar ağacı modeli elde edilmektedir. Bu şekilde ormanda yer alan ağaçların tahminlerinin

birleştirilmesi genel doğruluğu yüksek bir model ortaya konulmasını sağlamaktadır (Alpaydin, 2020; 346). Bu noktada nihai modelin performansı kesinlik değeri, sensitivite, spesifite, F skoru ve AUC değeri gibi farklı ölçütler ile hesaplanabilir. Bu performans göstergeleri ID3, C4.5 ve CART algoritmaların aynı veri seti üzerinde elde edilen tahminlerinin performansları ile karşılaştırılabilir. Rastgele ormanlar tahminde etkili bir araç olup, "Büyük Sayılar Kanunu" gereği beklenen değere yakınsayacağından yeni verilere uyan bir model ortaya koyacaktır (Breiman, 2001). Rastgele orman algoritması yapılan birçok karşılaştırmalı çalışmada veri setinden bağımsız olarak en doğru ve en hızlı öğrenme yöntemlerden biri olarak sonuç vermiştir. Popülerliği nedeniyle, rastgele orman uygulaması, Weka, R, Matlab, scikit-learn ve C# gibi çeşitli yazılım platformlarında yer almıştır (Fernández-Delgado ve diğ., 2014; Rokach, 2016).

### 3.5. Araştırmanın Uygulama Adımları

Araştırmada COVID-19 pandemisi ile mücadelede ülkeler arası kıyaslamalar yapmaya imkan sağlayacak karşılaştırma gruplarının oluşturulması, ülkelerin bulaşıcılıkla mücadele ve tedavi etkinliğinin belirlenmesi ve etkin olma durumunu belirleyen faktörlerin ortaya çıkarılmasından oluşan üç aşamalı bir yaklaşım kullanılmıştır. Bu kapsamda araştırmada kullanılan analiz yöntemlerini sırasıyla k-ortalamalar algoritması, Veri Zarflama Analizi ve üçüncü aşamada kullanılan CART algoritması ve rastgele orman algoritması olarak ifade etmek mümkündür. Bu analiz yöntemlerinin matematiksel yapısı, ilişkili modeller ve uygulama süreçlerine ilişkin bilgiler ayrıntılı olarak verilmiştir. Bu bölümde araştırmanın uygulama adımları verilerek ilgili yöntemlerin hangi model ve yapı ile hangi aşamada kullanıldığı ve bu yöntemleri uygulamada hangi değişkenlerin kullanıldığı hakkında bilgiler verilecektir. Bu kapsamda araştırmada kullanılan analiz yöntemleri ve uygulama adımlarını detaylı olarak yansıtabilmek amacıyla hazırlanan araştırma tasarımına Şekil 3.7'de yer verilmiştir.




**Şekil 3.7:** Araştırma tasarımı.

Şekil 3.7'de verilen araştırma tasarımına göre araştırmanın ilk aşamasında ülkelerin COVID-19 ile mücadele etkinliğinin güvenilir şekilde belirlenebilmesi için benzer karakteristiğe sahip ülke gruplarının oluşturulması ve bu değerlendirme gruplarının analiz amacına uygun göstergelerle belirlenmesi amacıyla kümeleme analizinin yapılması yer almaktadır. Bu kapsamda Dünya Bankası tarafından ülkelerin gelir durumunu dikkate alan Atlas Metodu sınıflaması gibi çeşitli sınıflandırmalar bulunmaktadır. Ancak bu araştırmada sadece ülkelerin gelir durumunu kıstas alan gelişmişlik durumu değil, aynı zamanda sağlık sistemlerinin hazırlık durumu ve istatistiksel performansı gibi çeşitli göstergelerinde dikkate alınması önem arz etmektedir. Bu çerçevede literatür taraması ve uzman görüşlerine dayalı olarak hangi değişkenler/öznitelikler ile kümeleme analizinin yapılacağı belirlenmiştir.

Homojen kümelerin elde edilmesinde denetimsiz makine öğrenme yöntemlerinden biri olan k-ortalamalar kümeleme algoritması kullanılacaktır. Bu aşamada kullanılacak olan bu algoritma seçilen özniteliklere göre benzer ülkelerin aynı gruba atanmasını sağlayacaktır. Mesafe ölçümüne göre benzerlik (politetik) temelli olan k-ortalamalar algoritması, gözlemlerin farklı küme kesişimlerinin olmadığı diğer bir ifadeyle sınırların net olarak belirlendiği (hard clustering) ve gözlemlerin herhangi bir hiyerarşi olmadan belirli gruba dahil olduğu düz (flat) özellikteki bir algoritmadır. Üç öznitelik olduğu için gözlemleri üç boyutlu olarak kümeleyecektir. Bu algoritmada aynı kümede yer alan elemanların birbirine olan mesafelerinin toplamının minimum ve farklı kümede yer alan elemanların birbirine olan mesafelerinin ise maksimum olması kümeleme performansının iyi olduğunu göstermektedir. Esasen araştırmanın ikinci aşamasında ülkelerin etkinliklerini değerlendirmede kullanılacak olan Veri Zarflama Analizi'nde karar birimlerinin girdi/kaynak büyüklüklerini dikkate alan ölçeğe göre getiri yaklaşımı halihazırda kullanılmaktadır. Ancak COVID-19 ile mücadelede kullanılan kaynaklar yanında çeşitli nedenlerle ülkelerin çıktı göstergeleri olarak ele alınan vaka ve ölüm sayılarına ilişkin istatistiksel verilerin doğruluğu ve güvenilirliği çeşitli kaynakların kullanımını gerektirmektedir. Bu nedenle ülkelerin gelişmişlik durumu ve sağlık kaynakları açısından değerlendirilmesi ve buna göre homojen kümelerin oluşturulması ikinci aşamada etkinlik sınırının gerçeğe daha yakın çizilebilmesi için gereklidir.

Araştırmanın ilk aşamasında kullanılacak olan k-ortalamalar algoritması, özellikle ikinci aşamada yapılacak etkinlik değerlendirmelerinin görece kıyaslamaya dayalı olması nedeniyle homojen kümeler oluşturulmasını sağlamak için tercih edilmiştir. Bu çerçevede Dünya Bankası sınıflamasında kullanılan göstergeler dışında araştırmada farklı göstergelerin dikkate alınarak kümeleme yapılması araştırmanın özgünlüğünü yansıtmaktadır. Bu kapsamda

araştırma tasarımına uygun olarak k-ortalamalar algoritmasının uygulanmasında uzman görüşlerine dayalı olarak kullanılacak değişkenler/öznitelikler Tablo 3.6'daki gibi belirlenmiştir.

**Tablo 3.6:** Kümeleme analizinde kullanılan öznitelikler.

| Gösterge Adı | Hesaplama Metodolojisi | Kaynak/ Veri Yılı |
|---|---|---|
| Küresel sağlık güvenliği endeksi sağlık sistemi alt skoru | Küresel Sağlık Güvenliği endeksinin sağlık sistemi alt boyutu altında yer alan yedi alt başlıktaki değişkenlerin birlikte değerlendirilmesi ile hesaplanmaktadır. | Cameron ve diğ./2019 |
| İnsani gelişme endeks skoru | Yaşam beklentisi endeksi, eğitim endeksi ve gelir endeksi olmak üzere üç endeks için hesaplanan skorun geometrik ortalaması alınarak hesaplanmaktadır. | HDI/2020 |
| İstatiksel performans göstergesi endeks skoru | Veri kullanımı, kullanıcılar tarafından güvenilen veri hizmetleri, veri ürünleri, veri kaynakları ve veri altyapısı olmak üzere 5 sütun altında yer alan 22 boyutun ağırlıklı ortalaması alınarak hesaplanmaktadır. | WB/2019 |

Tablo 3.6'da verilen değişkenlerden ülkelerin sağlık güvenliğini, yeteneklerini ve sağlık sistemlerinin pandemiye hazırlığını yansıtan Küresel Sağlık Güvenliği (Global Health Security, GHS) endeksi skorunun kullanılmasının nedeni sağlık sistemlerinde ülkelerin girdi olarak kullandığı tesisler, iş gücü, ilaç ve tıbbi cihazlar gibi çeşitli üretim faktörlerinin özellikle COVID-19 tedavi etkinliğini değerlendirmede kritik öneme sahip olmasıdır. Bu kapsamda mevcut durumda sağlık sisteminin kaynaklarını ve hazırlığını çok boyutlu olarak değerlendiren küresel sağlık güvenliği endeksi skoru ülkelerin anlamlı karşılaştırmalar yapılacak kümelerde yer almasını sağlayacaktır. Bu analizde altı alt boyuttan oluşan küresel sağlık güvenliği endeksinin ülkelerin yeterli ve güçlü sağlık sektörüne sahip olma durumunu değerlendiren dördüncü boyutuna ait skoru kullanılmıştır. Buna göre endeksin dördüncü alt boyutunda 7 alt başlık altında yer alan çeşitli göstergeler değerlendirilerek bir skor elde edilmektedir (Cameron ve diğ., 2019):

- *Klinikler, hastaneler ve toplum bakım merkezlerindeki sağlık kapasitesi:* Daha geniş sağlık sistemi için mevcut insan kaynakları (hekim sayısı, hemşire ve ebe sayısı, sağlık iş gücü stratejisi), tesis kapasitesi (hastane yatağı sayısı, izolasyon kapasitesi, kapasite genişletme planı).
- *Sağlık sistemi ve sağlık çalışanları için tedarik zinciri:* Rutin sağlık hizmetleri ve laboratuvar sistemi tedariği, Acil durumlar için stoklama, Acil durumlar için imalat ve tedarik.

- *Tıbbi karşı önlemler ve personel konuşlandırması:* Bir halk sağlığı acil durumu sırasında tıbbi karşı önlemleri dağıtma sistemi, yabancı sağlık personelini kabul etme sistemi.
- *Sağlık hizmetlerine erişim:* Sağlık hizmetlerine erişim, ücretli sağlık izni, sağlık çalışanlarının sağlık hizmetlerine erişimi.
- *Bir halk sağlığı acil durumu sırasında sağlık çalışanları ile iletişim:* Sağlık çalışanları ile iletişim.
- *Enfeksiyon kontrol uygulamaları:* Sağlık hizmeti ile ilişkili enfeksiyon izleme.
- *Yeni tıbbi önlemleri test etme ve onaylama kapasitesi:* Kayıt dışı müdahalelerin klinik araştırmaları için düzenleyici süreç, tıbbi karşı önlemlerin onaylanması için düzenleyici süreç.

Kümeleme analizinde kullanılan ve ülkelerin gelir, eğitim ve sağlık statüsünü yansıtan İnsani Gelişme Endeksi (Human Development Index, HDI) skorunun dahil edilme nedeni ise COVID-19 ile mücadele etkinliğini anlamlı şekilde belirleyebilmek için gelir, eğitim ve sağlık düzeyi açısından benzer karakteristiğe sahip ülkelerin biraraya getirilmesi gerekliliğidir. Buna göre bir sağlık sisteminin en önemli girdisi sağlık hizmeti alacak bireylerdir. Bu bireylerin gelir, eğitim ve sağlık düzeyleri ülkelere göre büyük farklılıklar gösterebilmekte ve bu farklılıklar sağlık hizmetleri kullanımından önlemlere/tedaviye uyum sağlamaya kadar pek çok süreç üzerinde kritik bir role sahiptir. Bu nedenle bu öznitelik benzer yapıda ülkelerin kümelenmesi için önemli bir gösterge olarak değerlendirilmiştir. İnsani gelişme endeksi (HDI, 2020);

- *Uzun ve sağlıklı bir yaşam:* Doğumda beklenen yaşam süresi (DBYS) göstergesi ile hesaplanan yaşam beklentisi endeksi kullanılmaktadır. Endekste (DBYS-20)/(85-20) formülü kullanılmaktadır. Doğumda beklenen yaşam süresi 85 ise 1, 20 ise 0 değerini alır.
- *Bilgili olmak:* Ortalama eğitim süresi (OES) göstergesi ile hesaplanan ortalama eğitim süresi endeksi (OES/15) ve beklenen eğitim süresi göstergesi ile hesaplanan beklenen eğitim süresi endeksinin (BES/18) ortalaması alınarak hesaplanan eğitim endeksi kullanılmaktadır.
- *İyi bir yaşam standardına sahip olmak:* Satın alma gücü paritesine göre kişi başına milli gelir (KBMG, $) göstergesi kullanılarak oluşturulan gelir endeksi kullanılmaktadır. Endekste ( ln (KBMG)- ln (100 ))/( ln (75000)- ln (100)) formülü kullanılmaktadır. Son

aşamada ise üç alt boyutta elde edilen skorların geometrik ortalaması alınmaktadır. Buna göre yapılan hesaplama ile elde edilen skor 0,800'ün üzerinde olması durumunda çok yüksek, 0,700-0,799 arası yüksek, 0,550-0,699 arası orta ve 0,550'nin altında olması durumunda ise düşük olarak sınıflandırılmaktadır.

Kümeleme analizinde ülkelerin veri güvenilirliğini yansıtan önemli bir gösterge olan İstatistiksel Performans Göstergeleri (Statistical Performance Indicators, SPI) endeks skorunun öznitelik olarak modele dahil edilmesinin nedeni ise COVID-19 hastalığı ile ilgili verilerin izlenebilmesi için mevcut durumda değerlendirmeye tabi olabilecek yerleşik bir veri kayıt ve izleme sisteminin varlığının gerekli olmasıdır. Bu gösterge doğrudan COVID-19'a ilişkin verilerin güvenilirliği ile ilgili bir puanlama yapmasa da ülkenin istatiksel performansı hakkında genel bir çerçeve sunması nedeniyle oldukça önemlidir. Bir ülkenin ekonomi, sağlık ve eğitim gibi pek çok alandaki performansını izlemeye ve değerlendirmeye yönelik güvenilir istatistikler üretmek için güçlü bir istatistik kapasitesinin olması bir ön koşuldur. İstatistiksel performans göstergeleri endeks skoru istatistiksel sistemlerin performansını ve bunları iyileştirme çabalarını değerlendirmek amacıyla açık kaynaklı bir çerçeve sağlamaktadır. Bu gösterge güvenilir, kullanılabilir, yüksek kaliteli istatistikler sunan ülkeleri belirleyen bir puanlama sistemine sahiptir. Bu endekste *veri kullanımı*, *kullanıcılar tarafından güvenilen veri hizmetleri*, *veri ürünleri*, *veri kaynakları* ve *veri altyapısı* olmak üzere 5 sütun altında yer alan 22 boyuta göre hesaplama yapılmaktadır. Tüm istatistiksel performans göstergelerinin ağırlıklı ortalaması alınarak 0-100 arasında değişen (en iyi skor 100) genel bir skor elde edilmektedir (World Bank, 2023b). Küresel sağlık güvenliği endeksi alt skoru, insani gelişme endeksi skoru ve istatiksel performans göstergesi skoru olmak üzere üç ayrı göstergenin kullanımı ile hem analiz kapsamı dışında kalan ülkelerin filtrelenmesi hem de kapsama alınan ülkelerin farklı alanlarda benzer gelişmişlik düzeyine ve karakteristiğe sahip ülkeler ile birlikte değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu aşamanın uygulamasında orijinal R yazılımından daha kullanıcı dostu bir platform sağladığı için R istatistik programı (R Studio) kullanılmıştır. Bu analiz sonucunda optimal küme büyüklüğü ve bu kümede yer alacak ülkeler belirlenmiştir.

COVID-19 ile mücadelede sağlık sistemlerinin ne düzeyde etkin olduğunun ortaya konulması araştırmanın amaçları arasında yer almaktadır. Bu kapsamda karar birimleri olan ülkeler kümeleme analizi ile belirlendikten sonra ikinci aşamada her küme için ayrı ayrı etkinlik değerlendirmesi yapmak amacıyla doğrusal olmayan matematiksel programlama yöntemi olan Veri Zarflama Analizi kullanılmıştır. Ülkelerin COVID-19 ile mücadelede etkinlik düzeylerini

belirlemeye yönelik yapılan çalışmalarda kullanılan değişkenler incelendiğinde genel olarak hastane yatağı sayısı, sağlık çalışanı sayısı ve test sayısı gibi girdi değişkenleri ile doğrulanmış vaka sayısı ve ölüm sayısı gibi çıktı değişkenlerinin aynı model içerisinde değerlendirildiği görülmektedir. Bu çalışmada alınan uzman görüşleri çerçevesinde kümeleme analizi ile oluşturulan iki ayrı alt kümedeki ülkelerin COVID-19 ile mücadele etkinliğinin bulaşıcılıkla mücadele ve tedavi etkinliği olmak üzere iki alt başlıkta değerlendirilmesi uygun görülmüştür. Bunun nedeni özellikle kavramsal çerçeve içerisinde de ayrıca belirtildiği gibi COVID-19'a karşı koruyucu sağlık hizmetleri ve tedavi edici sağlık hizmetleri gibi sağlık sisteminin iki ana hizmet unsuru açısından sağlık sistemlerinin performansını değerlendirebilmektir. Bu çalışmada ülkelerin hem bulaşıcılıkla mücadele hem de tedavi etkinliğinin değerlendirmesini sağlayacak iki ayrı modelin kurulması çalışmanın özgün değerini oluşturan bir diğer unsurdur. Buna göre farklı girdi ve çıktı değişkenlerinin belirleneceği iki ayrı modelde ülkelerin hem bulaşıcılıkla mücadelede hem de COVID-19 tedavisinde görece ne düzeyde etkin olduğu ortaya konulacaktır. Etkinlik değerlendirmesinde KVB'lerinin üretim süreçlerini en iyi ifade edecek biçimde girdi ve çıktıların belirlenmesi önem arz etmektedir. Buna göre bulaşıcılıkla mücadele etkinliğinin değerlendirilmesinde uzman görüşleri ve literatür taraması dikkate alınarak seçilen girdi ve çıktı değişkenleri ve bu değişkenlere ilişkin açıklamalar Tablo 3.7'de verilmiştir.

**Tablo 3.7:** Bulaşıcılıkla mücadele etkinliği modelinde kullanılan girdi ve çıktı değişkenleri.

| Değişken Türü | Gösterge Adı | Hesaplama Metodolojisi | Kaynak/ Veri Yılı |
|---|---|---|---|
| Girdi Değişkeni | Sıkılık endeksi değeri (2022) | Sıkılık endeksi günlük değerlerinin (30.01.2020-30.06.2022) aritmetik ortalaması alınarak yazar tarafından hesaplanmıştır. | Ourworld/ 2022 |
| Girdi Değişkeni | 100 kişi başına tam aşılanan kişi sayısı | 30.06.2022 tarihi itibarıyla en az iki doz aşı alan kişi sayısının toplam nüfusa bölünmesi ve 100 ile çarpılması ile hesaplanmıştır. | Ourworld/ 2022 |
| Çıktı Değişkeni | Milyon kişi başına vaka sayısı | 30.06.2022 tarihi itibarıyla doğrulanmış COVID-19 vaka sayısının nüfusa bölünmesi ve bir milyon ile çarpılması ile hesaplanmıştır. | Ourworld/ 2022 |

Tablo 3.7'de verilen bulaşıcılıkla mücadele etkinliği modelinde çıktı değişkeni olarak milyon kişi başına vaka sayısı kullanılmıştır. Bunun nedeni koruyucu hizmetlerin temel amacının hasta kişileri tedavi etmek yerine toplumdaki sağlıklı bireylerin hastalığa yakalanmasını önlemek olmasıdır. Bu kapsamda COVID-19 hastalığı prevalansını gösteren ve nüfusa göre standardize edilmiş olan en önemli değişken olan milyon kişi başına vaka sayısı

değişkeni toplumun hastalığa ne düzeyde yakalandığını yansıtan en kritik değişken olarak değerlendirilmiştir.

Modelde yer alan iki girdi değişkeninden biri sıkılık endeksi değeri olarak belirlenmiştir. Sıkılık endeksi, hükûmetlerin hangi önlemleri, ne zaman ve ne ölçüde aldığına ilişkin bilgi sağlayan bir endekstir. Bu endeks ülkeler arası karşılaştırmalara imkan sağlayarak karar vericilerin hükûmet müdahalelerinin sağlamlığını ve sürdürülebilirliğini anlamasına ve pandeminin yayılmasını etkili bir şekilde kontrol edilmesi ve yönetilmesi için önlemlerin genişletilmesine yardımcı olabilmektedir. Sınırlama ve kapatma politikaları başlığı altında okul kapatma, işyeri kapatma, halka açık etkinliklerin iptali, toplanma boyutuyla ilgili kısıtlamalar, toplu taşımayı kapatma, evde kalma zorunlulukları, ülke içi hareket kısıtlamaları, uluslararası seyahat kısıtlamaları gibi değişkenlerin izlendiği endeksin hesaplamalarına ilişkin detaylı bilgi "Müdahale Yöntemlerini İzlemede Kullanılan Endeks ve Göstergeler" başlığı altında verilmiştir. Bu endeks ile oluşturulan değişken pek çok çalışmada ilaç dışı müdahalelerin veya koruyucu hizmetlerin bir göstergesi olarak ele alınmış ve vaka sayıları üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir. Hale ve diğ. (2021b), 113 ülke verilerine göre ilaç dışı müdahalelerin göstergesi olarak kullanılan sıkılık endeksindeki artışın takip eden 28 gün içinde COVID-19 insidansını önemli ölçüde azalttığını bulgulamıştır. Benzer şekilde Nanda ve Sharma (2021), 47 Avrupa ülkesinin verilerini analiz ettiği çalışmalarında, içinde bulunulan aya ait ortalama sıkılık endeksi değerinin bir sonraki ayda gerçekleşen vaka sayıları üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu tespit etmiştir. Bu nedenle bir ülkenin çıktı değişkeni olarak alınan milyon kişi başına vaka sayısı üzerinde etkisi olan önemli bir değişken olan sıkılık endeksi değeri çalışmaya girdi olarak dahil edilmiştir.

Bulaşıcılıkla mücadele modeline girdi olarak dahil edilen bir diğer değişken ise en az iki doz aşı almış kişileri nüfusa standardize olarak ifade edecek bir gösterge olan 100 kişi başına tam aşılanan kişi sayısıdır. COVID-19 gibi bulaşıcı hastalıklardan korunmanın ve bu hastalıkların yol açacağı morbidite ve mortalitenin önlenmesinin en etkin yollarından biri bağışıklamadır. Yapılan sistematik derleme ve meta–analiz çalışmalarında, tam aşılamanın SARS-CoV-2 enfeksiyonuna karşı ortalama %85-95 etkililik gösterdiğini, ancak uygulanan nüfus, baskın olan varyant ve kullanılan aşı tipine göre bu oranın önemli düzeyde farklılıklaştığı belirtilmiştir (CDC, 2022a). COVID-19 enfeksiyonunu önlemede çeşitli aşıların güvenirliği ve etkinliğine yönelik yapılan çalışmalarda elde edilen sonuçlar "İlaç Müdahaleleri" başlığı altında ayrıca verilmiştir. Bu temel çalışmalardan yola çıkarak bu çalışmada bireye yönelik koruyucu sağlık hizmetlerinin önemli bir bileşeni olarak görülen 100 kişi başına tam aşılanan kişi sayısı

diğer bir girdi değişkeni olarak değerlendirilmiştir. Sonuç olarak belirlenen iki girdi ve bir çıktılı model kullanılarak VZA'nın uygulanması kararlaştırılmıştır. Ancak burada kullanılan çıktı değişkenine ait değerin artması ülkenin etkinlik skorunu azaltacağı için istenmeyen çıktı değişkenini dikkate alacak bir VZA modelinin kullanılması gerekecektir. Bu kapsamda Seiford ve Zhu (2002) tarafından önerilen ve istenmeyen çıktıların kuvvetli atılabilir olduğunu varsayan toplamsal terslik dönüşümü yaklaşımının kullanılmasının uygun olacağı düşünülmüştür. Bunun nedeni ise bu yaklaşımda sınıflandırma değişmezliğinin diğer bir ifade ile etkin ve etkin olmayan şeklinde sınıflandırılan KVB'lerin veri dönüşümünde de bu sınıflarda kalma değişmezliğinin sağlanabilmesidir. Bu yaklaşımda etkinlik skorunun 1 olması o karar biriminin etkin olduğunu yansıtırken, 1'in ne kadar üzerinde olduğu ise karar biriminin etkinsizlik derecesini yasıtmaktadır. Bu yaklaşımın sınırlılığı sadece BCC modeli için uygulanabilmesidir (Öner ve Yılmazer, 2021; Hua ve Bian, 2007).

Araştırma tasarımında ikinci VZA modelinde tedavi etkinliğinin belirlenmesi amaçlandığı için birinci modelden farklı girdi ve çıktı değişkenleri kullanılmıştır. Tedavi etkinliğinin değerlendirilmesinde kullanılacak olan girdi ve çıktı değişkenleri ve bu değişkenlere ilişkin açıklamalar Tablo 3.8'de verilmiştir.

**Tablo 3.8:** Tedavi etkinliği modelinde kullanılan girdi ve çıktı değişkenleri.

| **Değişken Türü** | **Gösterge Adı** | **Hesaplama Metodolojisi** | **Kaynak/ Veri Yılı** |
|---|---|---|---|
| Girdi Değişkeni | 1.000 kişi başına sağlık çalışanı sayısı | Hekim, hemşire ve ebe sayısı toplamının nüfusa bölünmesi ve 1.000 ile çarpılması ile hesaplanmıştır. | WHO/2019 |
| Girdi Değişkeni | 1.000 kişi başına hastane yatağı sayısı | Kamu, özel, genel ve uzmanlaşmış hastaneler ve rehabilitasyon merkezlerindeki hasta yatakları sayısını nüfusa bölünmesi ve 1.000 ile çarpılması ile hesaplanmıştır. | WHO/2019 |
| Girdi Değişkeni | Kişi başına sağlık harcaması (PPP, uluslararası $) | Satın alma gücü paritesinde uluslararası dolar cinsinden ifade edilen kişi başına sağlık cari harcamalarını göstermektedir. | WHO/2020 |
| Çıktı Değişkeni | Vaka ölüm hızı | 30.06.2022 tarihi itibarıyla COVID-19'a bağlı ölümlerin doğrulanmış COVID-19 vaka sayısına bölünmesi ile yazar tarafından hesaplanmıştır. | Ourworld/ 2022 |

Tablo 3.8'de verilen tedavi etkinliği modelinde çıktı değişkeni olarak vaka ölüm hızı kullanılmıştır. Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde genellikle ilk modelde kullanılan milyon kişi başına vaka sayısını girdi değişkeni olarak ve milyon kişi başına ölüm sayısını çıktı

değişkeni olarak ele almaktadır. Ancak çalışmada farklı değişken bileşiminden oluşan modellerin kullanıldığı değerlendirmelerde bu şekilde yapılan bir ayrıştırmanın özellikle etkinlik sonuçlarında bir çok ülke için anlamsız ve tutarsız sonuçların elde edilmesine yol açabileceği görülmüştür. Bu nedenle COVID-19'a bağlı milyon kişi başına ölüm sayısının doğrudan milyon kişi başına vaka sayısı ile ilişkilendirilildiği mortalite ölçütü olan vaka ölüm (fatalite) hızının kullanılmış ve bu sayede çıktı değişkeni ile daha tutarlı ve anlamlı sonuçların elde edildiği görülmüştür. Bu kapsamda diğer modellerdeki tutarsızlık, modele diğer girdi değişkenlerinin dahil edilmesi ile birlikte milyon kişi başına vaka sayısı girdisinin milyon kişi başına ölüm sayısı çıktısı üzerindeki etkisinin zayıflamasından ve bu nedenle sonuçlarda sapma olmasından kaynaklanmaktadır. Bu çerçevede belirli bir hastalıktan ölenlerin o hastalığa yakalananlar içerisindeki sıklığını ifade eden ve 100'de katsayısı ile ifade edilen vaka ölüm hızı çıktı değişkeni olarak kullanılmıştır.

Modelde girdi değişkeni olarak kullanılan değişkenlerden biri bin kişi başına sağlık çalışanı sayısıdır. Sağlık çalışanları tedavi hizmetlerinin sunulmasında en kritik unsurlardan biridir. Bu çalışmada hekim sayısı ve hemşire sayısının ayrı ayrı değerlendirilmesi yerine sağlık çalışanlarının (hekim, hemşire ve ebe) nüfusa standardize edildiği tek bir göstergenin kullanılması tercih edilmiştir. Bunun nedeni ise çalışmanın kapsamında yer alan 144 ülkeden özellikle sağlık iş gücü yetersizliği bulunan ülkelerde COVID-19 tedavi hizmetlerinde farklı meslek gruplarının benzer işleri ayrıştırılamayacak düzeyde yapabilmesinden kaynaklanmaktadır. Ayrıca farklı değişkenler olarak ele alınması değişkenlerin modelde önem düzeyini etkilemekte ve gerçeğe yakın etkinlik sınırının elde edilmesini zorlaştırmaktadır.

Modelde yer alan ikinci girdi değişkeni ise bin kişi başına hastane yatağı sayısıdır. COVID-19 hastalığının tedavisinde hastalığın şiddetine göre ayaktan tedavi hizmetlerinin yanı sıra hastalığı daha şiddetli geçirenlerde yatarak hizmet sunumu ya da yoğun bakım hizmetleri gibi ileri düzey uzmanlaşmış tedavi hizmetleri tercih edilebilmektedir. Bu nedenle hastanelerde COVID-19 nedeniyle yatan hastalara hizmet sunumunda mevcut kaynakların bir ölçüsünü yansıtan hastane yatağı sayısı önemli bir girdi değişkeni olarak modelde kullanılmıştır.

Modelde yer alan son girdi değişkeni ise satın alma gücü paritesine göre kişi başına sağlık harcamasıdır. Bu gösterge sağlık finansman sistemlerinin temel bir göstergesi olarak değerlendirilmektedir. Toplam sağlık harcaması, sağlık ürünleri ve hizmetleri satın almak için fonları yöneten tüm finansman kurumlarının harcamalarının toplamını yansıtmaktadır. Daha sonra bu harcamalar satın alma gücü paritesi kullanılarak nüfusa göre standardize edilmekte ve

bu gösterge oluşturulmaktadır. Bu değişken için COVID-19 pandemisinin küresel olarak başladığı ve sağlık kaynaklarının ağırlıklı olarak COVID-19 ile mücadeleye tahsis edildiği 2020 yılı verilerinin kullanılması, bu değişkenin tedavi etkinliği modelinde önemli bir belirleyici olarak değerlendirilmesini sağlamıştır. Modelde COVID-19 ile mücadelede tedavi etkinliği açısından önemli göstergeler olan yoğun bakım yatağı ve invaziv ventilatör sayısı gibi değişkenlerin de kullanılması teorik olarak daha iyi sonuçlar elde edilmesini sağlayabilecektir. Ancak bu konuda analiz kapsamına alınan ülkeler için verilerin yetersizliği nedeniyle model beliritlen değişkenlerle sınırlandırılmıştır. Bununla birlikte ikinci VZA modelinde de çıktı değişkeni değeri etkinlik skorunu olumsuz olarak etkileyeceği için istenmeyen çıktı değişkeni olarak değerlendirilmiş ve ilk modeldeki gibi Seiford ve Zhu (2002) tarafından önerilen toplamsal terslik dönüşümü yaklaşımına dayanan VZA modeli kullanılmıştır.

Araştırmanın üçüncü aşamasında literatürde etkinlik değerlendirmesi yapan diğer çalışmalardan farklı olarak hem bulaşıcılıkla mücadele hem de tedavi etkinliği üzerinde etkili olabilecek veya etkinlik durumunu açıklayabilecek faktörlerin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu çerçevede üçüncü aşamada her bir küme için ülkelerin bulaşıcılıkla mücadele ve tedavi etkinlik düzeylerini açıklayan parametreler karar ağacı algoritması olan CART algoritması ve rastgele orman algoritması ile analiz edilmiştir. Bu aşamada karar ağaçlarının tercih edilmesinde kolay uygulanabilir, anlaşılabilir ve açıklanabilir olması önemli bir faktör olmuştur. Doğrusal modellerin aksine karar ağaçlarının doğrusal olmayan ilişkileri yakalayabilmesi de önemli bir tercih nedeni olmuştur. Bununla birlikte ağaçlarda açıklayıcı değişkenlerin/özniteliklerin sürekli değişken olması durumunda normalleştirme veya standardize etme işlemi yapılmasına gerek olmamasıdır. Kukla değişkene ihtiyaç olmadan kategorik değişkenleri/özellikleri de işlemek mümkündür. Bu araştırmada ele alınan problem özelinde değerlendirdiğimizde ise genellenebilirlik probleminin olmaması ve mevcut durumun keşfedilmesine yönelik olması nedeniyle karar ağaçları en uygun çözümü sunan yöntemlerdir. Karar ağacı algoritmalarından CART algoritmasında, bağımlı veya bağımsız değişken olarak sürekli veya kategorik değişkenlerin kullanılabilmesi araştırmada bu yöntemin kullanılmasının en temel nedenlerinden biridir.

Rastgele orman algoritması ise temelinde CART algoritması ile oluşturulan çok sayıda karar ağacı olan ve her düğümde bölünecek az sayıda girdi özniteliğinin rastgele seçildiği ve bunlar içerisinden CART metodolojisine dayalı olarak en iyi bölme özniteliğinin belirlendiği ağaç tabanlı bir topluluk öğrenme algoritmasıdır. Karmaşık bir sorunu çözmek ve modelin performansını artırmak için tek bir karar ağacına güvenmek yerine, her ağaçtan tahminleri

alarak çoğunluk oylarına göre nihai çıktıyı tahmin eden bir yöntemdir. CART algoritmasında en iyi bölme özniteliğinin ikili bölünmesinde kesim noktası değerin belirlenmesi için gini indeksi kullanılmaktadır.

Bu aşamada denetimli makine öğrenme algoritmalarında bir hedef değişken tanımlanması gerekmektedir. Bu kapsamda araştırmanın ikinci aşamasında VZA sonuçlarının kategorize edileceği bir yaklaşım ile sınıflandırma problemi olarak modelin kurulması uygun görülmüştür. Bunun için öncelikle bulaşıcılıkla mücadele etkinliği ve tedavi etkinliği modellerinde etkinlik skorlarının histogramları incelenmiş ve hedef öznitelik için potansiyel bölme noktası 1,0002 olarak değerlendirilmiştir. Buna göre iki ayrı modelde elde edilen etkinlik skoru ayrı ayrı değerlendirilerek bir ülkenin etkinlik skoru $1 \leq ES < 1{,}0002$ arasında ise "etkin", $ES \geq 1{,}0002$ ise "değil" olarak sınıflandırılmıştır. Hedef değişken "etkin" ve "değil" olmak üzere iki ayrı sınıf değeri ile oluşturulduktan sonra sınıflandırma probleminin çözümünde kullanılacak açıklayıcı/bağımsız değişkenlerin belirlenmesi gerekmektedir. Bu kapsamda literatür taraması ve uzman görüşlerine dayalı olarak bulaşıcılıkla mücadele ve tedavi etkinliğini açıklayabilecek olası değişkenler Tablo 3.9'daki gibi belirlenmiştir (Our World in Data, 2023; WHO, 2023d; WHO, 2023e; WHO, 2023g; Wikipedia, 2023e; World Bank, 2023b).

**Tablo 3.9:** Bulaşıcılıkla mücadele ve tedavi etkinliğini açıklamada kullanılan değişkenler.

| **Kodu** | **Gösterge Adı** | **Hesaplama Metodolojisi** | **Kaynak/ Veri Yılı** |
|---|---|---|---|
| SE20 | Sıkılık endeksi geçmiş dönem değeri (2020) | Sıkılık endeksi günlük değerlerin (30.01.2020-31.12.2020) aritmetik ortalaması alınarak yazar tarafından hesaplanmıştır. | Ourworld/ 2021 |
| TAK21 | Tam aşılanan kişi yüzdesi (2021) | 31.12.2021 tarihi itibarıyla en az iki doz aşı alan kişi sayısı toplam nüfusa bölünmüş ve 100 ile çarpılmıştır. | Ourworld/ 2022 |
| HS | 1000 kişi başına hekim sayısı | Hekimler, pratisyen ve uzman tıp pratisyenleri sayısının nüfusa bölünmesi ve 1000 ile çarpılmasıyla hesaplanmaktadır. | WHO/2019 |
| HES | 1000 kişi başına hemşire ve ebe sayısı | Hemşire ve ebe sayısının nüfusa bölünmesi ve 1000 ile çarpılmasıyla hesaplanmaktadır. | WHO/2019 |
| HYS | 1000 kişi başına hastane yatağı sayısı | Kamu, özel, genel ve uzmanlaşmış hastaneler ve rehabilitasyon merkezlerindeki hasta yatakları sayısını nüfusa bölünmesi ve 1000 ile çarpılmasıyla hesaplanmaktadır. | WHO/2019 |
| TSBK | 1000 kişi başına toplam test sayısı | 31.05.2022 tarihine kadar yapılan COVID-19 testi sayısının nüfusa bölünmesi ve 1000 ile çarpılmasıyla hesaplanmaktadır. | WHO/2022 |
| SH | Kişi başına sağlık harcaması (PPP, uluslararası $) | Satın alma gücü paritesinde uluslararası dolar cinsinden ifade edilen kişi başına sağlık cari harcamalarını göstermektedir. | WHO/2020 |
| SHY | Sağlık harcamalarının GSYİH içerisindeki payı (%) | Sağlık harcamalarının GSYİH'ye bölünmesi ve 100 ile çarpılmasıyla toplam GSYİH'nin yüzdesi olarak ifade edilir. | WHO/2020 |
| KSKHY | Yurt içi kaynaklı sağlık harcamalarının kamu harcamaları içerisindeki payı (%) | Yurt içi kaynaklı (devlet veya özel) yapılan sağlık harcamalarının kamu harcamaları içerisindeki payını yüzdesel olarak ifade eder. | WHO/2020 |
| KSSHY | Yurt içi kaynaklı sağlık harcamalarının sağlık harcamaları içerisindeki payı (%) | Yurt içi kaynaklı (devlet veya özel) yapılan sağlık harcamalarının sağlık harcamaları içerisindeki payını yüzdesel olarak ifade eder. | WHO/2020 |
| CSHY | Cepten yapılan sağlık harcamalarının sağlık harcamaları içerisindeki payı (%) | Cepten yapılan sağlık harcamalarının sağlık harcamaları içerisindeki payını yüzdesel olarak ifade eder. | WHO/2020 |
| KHY | Genel kamu harcamalarının GSYİH içerisindeki payı (%) | Genel kamu harcamalarının GSYİH'ye bölünmesi ve 100 ile çarpılmasıyla toplam GSYİH'nin yüzdesi olarak ifade edilir. | WHO/2020 |
| GSYİH | Kişi başına GSYİH (PPP, uluslararası $) | Satın alma gücü paritesi oranları kullanılarak uluslararası dolara dönüştürülen kişi başına gayri safi yurt içi hasılayı göstermektedir. | WB/2019 |
| GK | Gini katsayısı | Varsayımsal bir mutlak eşitlik çizgisi ile Lorenz eğrisi arasındaki alanı ölçerek maksimum alanın yüzdesi olarak ifade etmektedir. 0 (mükemmel eşitliği) ile 100 (mükemmel eşitsizliği) arasındadır. | WB/2019 |
| İY | İşsizlik oranı | İşgücü veya nüfusun ekonomik olarak aktif kısmının ne kadarının işsiz olduğu yüzdesel olarak hesaplanmaktadır. | WB/2019 |
| KEH | Kamu eğitim harcamalarının GSYİH içerisindeki payı (%) | Eğitime yapılan devlet harcamalarının GSYİH'ye bölünmesi ve 100 ile çarpılmasıyla toplam GSYİH'nin yüzdesi olarak ifade edilir. | WB/2019 |

**Tablo 3.9 (devam):** Bulaşıcılıkla mücadele ve tedavi etkinliğini açıklamada kullanılan değişkenler.

| **Kodu** | **Gösterge Adı** | **Hesaplama Metodolojisi** | **Kaynak/ Veri Yılı** |
|---|---|---|---|
| ODÇ | Okula gitmeyen çocuklar (ilkokul çağındaki çocukların yüzdesi) | Hiç okula gitmeyen veya okulu bırakan resmi ilkokul çağındaki çocukların resmi ilkokul çağındaki nüfus içindeki payını gösterir. | WB/2019 |
| OO | Okuryazarlık oranı (15 yaş ve üzeri yetişkin nüfusun yüzdesi) | Günlük yaşamlarıyla ilgili kısa ve basit bir ifadeyi anlayarak hem okuyabilen hem de yazabilen 15 yaş ve üzeri kişilerin yüzdesidir. | WB/2021 |
| N65 | 65 yaş ve üzeri nüfusun toplam nüfus içerisindeki payı (%) | 65 yaş ve üzeri nüfusun toplam nüfus içerisindeki payını yüzdesel olarak ifade etmektedir. | WB/2019 |
| NY | Nüfus yoğunluğu (kara alanı (km) başına düşen kişi sayısı) | Yıl ortası nüfusun kilometrekare cinsinden arazi alanına bölünmesiyle hesaplanmaktadır. | WB/2019 |
| KNY | Kentsel nüfus yüzdesi | Toplam 100 nüfus başına "kentsel" olarak tanımlanan bir bölgede ikamet eden kişilerin sayısıdır. | WB/2019 |
| KKS | Kara sınırı olan ülke sayısı | Bir ülkenin kara sınırı olan komşu ülke sayısını göstermektedir. | Wikipedia/ 2019 |
| KS | Bir ülkenin kara sınırı olan komşu ülkelerle toplam kara sınırı (km) | Köprüler, geçitler veya tüneller gibi insan yapımı yapılar dışında bir ülkenin komşu ülkelerle olan kara sınırını (km) göstermektedir. | Wikipedia/ 2019 |
| İSH | En azından temel içme suyu hizmetleri kullanımı (nüfusun yüzdesi) | Güvenli su kaynaklarını (borulu su, sondaj kuyuları, korumalı kaynaklar vb.) gidiş dönüş 30 dakikadan fazla olmamak üzere kullanan nüfusun yüzdesini ifade etmektedir. | WB/2020 |
| TSH | En azından temel sanitasyon hizmetlerini kullanımı (nüfusun yüzdesi) | En azından temel sanitasyon hizmetlerini diğer hanelerle paylaşılmayan sanitasyon tesislerini kullanan nüfusun yüzdesidir. | WB/2020 |
| TK | Tütün kullanımı prevalansı (yetişkinlerin yüzdesi) | Halihazırda herhangi bir tütün ürününü (füme ve/veya dumansız tütün) kullanan 15 yaş ve üzerindeki nüfusun yüzdesidir. | WB/2019 |
| AT | Kişi başına toplam alkol tüketimi (litre saf alkol, 15+ yaş) | Bir takvim yılı boyunca kişi başına (15 yaş ve üzeri) tüketilen toplam (kayıtlı ve kayıtsız alkolün toplamı) alkol miktarıdır. | WB/2019 |
| HK | PM2.5 hava kirliliği, ortalama yıllık maruz kalma (metreküp başına mikrogram) | Hem kentsel hem de kırsal alanlarda nüfusa göre ortalama yıllık PM2.5 konsantrasyonlarının ağırlıklandırılmasıyla hesaplanır. | WB/2017 |
| OP | Obezite prevalansı (VKİ ≥ 30, yetişkin nüfusun yüzdesi) | Vücut kitle indeksi (VKİ) 30 kg/m$^2$ veya daha yüksek olan 18+ yaşındaki yetişkinlerin yüzdesini ifade etmektedir. | WB/2018 |
| DP | Diyabet prevalansı (20-79 yaşları arasındaki nüfusun yüzdesi) | Diyabet prevalansı, tip 1 veya tip 2 diyabeti olan 20-79 yaş arası kişilerin yüzdesini ifade etmektedir. | WB/2021 |
| KÖH | Kardiyovasküler hastalıklara bağlı ölüm (%) | Kardiyovasküler hastalıklara bağlı ölüm her yaş için altta yatan nedenlere bağlı tüm ölümler içerisindeki payını ifade etmektedir. | WHO/2019 |
| BHÖY | Bulaşıcı hastalıklara, anneliğe, doğum öncesine ve beslenme koşullarına bağlı ölüm (%) | Bulaşıcı hastalıklara, anneliğe, doğum öncesine ve beslenme koşullarına bağlı ölüm ölümlerin her yaş için altta yatan nedenlere bağlı tüm ölümler içerisindeki payını ifade etmektedir. | WHO/2019 |

Buna göre Tablo 3.9'da verilen değişkenler ülkelerin bulaşıcılıkla mücadele ve tedavi etkinliği durumlarını potansiyel olarak açıklayabilecek değişkenlerdir. Bunlardan sıkılık endeksi ve tam aşılanan kişi sayılarının geçmiş dönem değerleri araştırmanın kesitsel yapısı nedeniyle vakaların pik yaptığı geçmiş dönemlerdeki önlemlerin etkisini görmeye imkan sağlayabileceği için dahil edilmiştir. Bunlarla birlikte;

- Sağlık kaynaklarının göstergesi olarak 1000 kişi başına hekim sayısı, 1000 kişi başına hemşire ve ebe sayısı, 1000 kişi başına hastane yatağı sayısı ve 1000 kişi başına toplam test sayısı,
- Sağlık harcamalarının göstergeleri olarak kişi başına sağlık harcaması, sağlık harcamalarının GSYİH içerisindeki payı, yurt içi kaynaklı sağlık harcamalarının kamu harcamaları içerisindeki payı, yurt içi kaynaklı sağlık harcamalarının sağlık harcamaları içerisindeki payı, cepten yapılan sağlık harcamalarının sağlık harcamaları içerisindeki payı,
- Ekonomik gelişmişliğin ve kamu payının göstergeleri olarak kişi başına GSYİH, gini katsayısı, işsizlik oranı, genel kamu harcamalarının GSYİH içerisindeki payı
- Eğitim durumu ve kamu rolünün göstergeleri olarak okula gitmeyen çocuklar, okuryazarlık oranı, kamu eğitim harcamalarının GSYİH içerisindeki payı,
- Toplumsal demografik yapının göstergeleri olarak 65 yaş ve üzeri nüfusun toplam nüfus içerisindeki payı, nüfus yoğunluğu, kentsel nüfus yüzdesi,
- Ülkelerin coğrafi yapısının değerlendirilmesini sağlayan göstergeler olarak kara sınırı olan ülke sayısı ve kara sınırı olan komşu ülkelerle toplam kara sınırı,
- Sağlık risk faktörleri ve davranış başlığında değerlendirilen temel içme suyu hizmetleri kullanımı, temel sanitasyon hizmetlerini kullanımı, tütün kullanımı prevalansı, alkol tüketimi, PM2,5 hava kirliliği, obezite prevalansı ve diyabet prevalansı
- Sağlık düzeyinin göstergesi olarak kardiyovasküler hastalıklara bağlı ölüm ve bulaşıcı hastalıklara, anneliğe, doğum öncesine ve beslenme koşullarına bağlı ölüm değişkenleri değerlendirmeye alınmıştır.

Analizde kullanılacak değişkenler belirlendikten sonra değişkenlere ilişkin veriler World Health Organization The Global Health Observatory, World Bank Open Data ve

Our World in Data gibi veri tabanlarından çekilerek elde edilmiştir. Buna göre elde edilecek veriler Excel ortamına aktarılarak analize hazır hale getirilmişttir. Bu kapsamda verileri analize dahil edilemeyecek kadar eksik olan ülkeler analiz kapsamından çıkarılmıştır. Çeşitli göstergeler için eksik değerleri bulunan ülkeler için ise veri önişleme yapılmış ve analize hazır hale getirilmiştir. Bu kapsamda üç aşamalı olarak gerçekleştirilen analizlere 144 ülke dahil edilmiştir. Bu ülkelere ilişkin bilgilere Ek 1'de yer verilmiştir.

Birinci aşamada kullanılan k-ortalamalar algoritması için R Studio'da "factoextra", "ggplot2", "NbClust" ve "cluster" paketleri kullanılmıştır. İkinci aşamada kullanılan istenmeyen çıktılara yönelik Veri Zarflama Analizi ise "deaR" paketi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. VZA ile oluşturulan hedef değişkeni açıklayıcı değişkenlerin belirlenmesine yönelik CART algoritması ve rastgele orman algoritması uygulaması için ise açık kaynak ve çapraz platform veri analizi, raporlama, entegrasyon platformu olan KNIME programı kullanılmıştır. Bu programda çeşitli ön ayarlar yapılarak analiz sonuçlarına ulaşılmıştır. Özellikle üçüncü aşamada elde edilen modellerin performansı karmaşılık matrisi, doğruluk oranı ve F skoru gibi parametreler ile değerlendirilmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Bu kapsamda araştırmanın tüm aşamalarında yer alan analizlerin gerçekleştirilmesinde ve bulguların görselleştirilmesinde Microsoft Excel, R Studio ve KNIME programları kullanılmıştır.

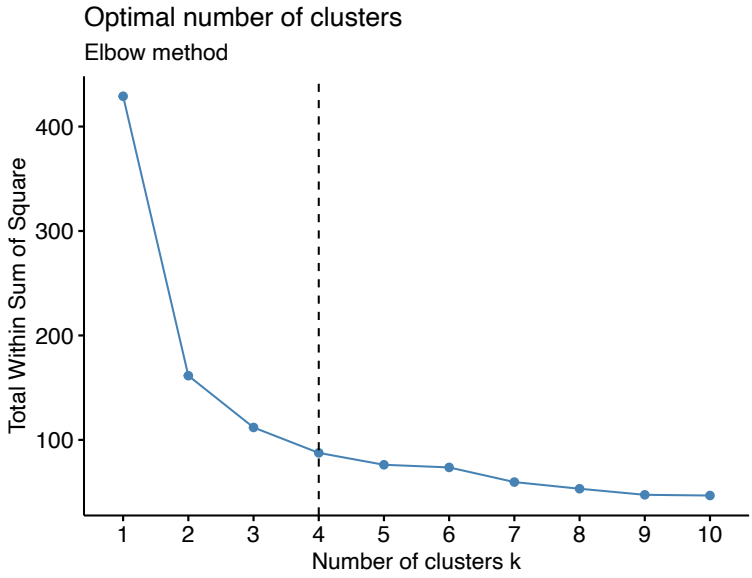
# 4. BULGULAR

Bu bölümde araştırma amacına uygun olarak üç aşamada gerçekleştirilen analizlere ilişkin bulgular üç ayrı başlık altında ele alınacaktır. Buna göre öncelikle analizin ilk aşamasında kullanılan ve ülkelerin seçili göstergelere göre homojen kümelere ayrılmasını amaçlayan k-ortalamalar algoritmasına dayalı kümeleme analizi bulguları verilecektir. Denetimsiz makine öğrenme algoritması olan bu yöntem ile karar birimi olarak belirlenen ülkelerin küme atamaları yapılmıştır. Bunun akabinde her bir alt kümede yer alan ülkelerin COVID-19 bulaşıcılıkla mücadele ve tedavi etkinliğinin karşılaştırılması için kullanılacak olan Veri Zarflama Analizi yönteminin bulgularına yer verilecektir. İlk aşamada oluşturulacak 'k' sayıda küme için ayrı ayrı olmak üzere Seiford ve Zhu (2002) tarafından geliştirilen ve istenmeyen çıktıların toplamsal terslik dönüşümünü sağlayan yaklaşım (VRS çıktı yönelimli model) ile yapılan analizin bulguları hem bulaşıcılıkla mücadele etkinliği hem de tedavi etkinliği modeli için verilecektir. Özellikle ikinci aşamada yapılan analizde seçilen ülkelerin COVID-19 ile mücadele etkinliği esas alındığından göreceli etkinliklerinin kıyaslanabilmesi için üretim sürecini en iyi temsil edecek girdi ve çıktı değişkenlerinin belirlenmesi önemlidir. Bu nedenle çalışmada elde edilen verilerden en uygun bileşimi elde etmek için literatürde yapılan çalışmalar ve uzman bilgilerinden faydalanılarak farklı girdi-çıktı bileşenleri kademeli olarak denenmiştir. Buna göre ilk aşamada yapılan kümeleme analizi sağlık sistemlerinin pandemiye hazırlığı ve diğer değişkenler açısından ülkeleri benzer kümelere ayrıştırsa da, benzer küme içindeki ölçek farklılıklarının etkinlik skoru üzerindeki etkisi öngörülerek VRS çıktı yönelimli model kullanılmıştır. Bu sayede ülkelerin yönetsel etkinliğini gösteren teknik etkinlik skoru sonuçları temel alınmıştır. Aynı zamanda farklı sayıda (k=2,k=3,k=4) küme senaryoları için etkinlik skorlarının değişimi gözlenerek karşılaştırma gruplarının farklılaşması durumunun gözlemlerin etkinlik durumuna etkisi sınanacaktır. Bu bölümde VZA ile yapılan etkinlik değerlendirmesi sonuçlarına göre ülkeler 'etkin' veya 'değil' olarak sınıflandırılacaktır. Yapılan bu sınıflandırma esas alınarak karar birimleri olan ülkelerin etkin veya değil sınıfında yer almasını açıklayan faktörler denetimli makine öğrenme tekniklerinden olan sınıflandırma ve regresyon ağaçları (CART) ve rastgele orman algoritması ile belirlenecektir. Bu aşamada bulaşıcılıkla mücadele ve tedavi etkinliği olmak üzere iki ayrı etkinliğin açıklanması için çeşitli göstergeler kurulan modellerde sınanmıştır. Bunun için bulaşıcılıkla mücadele ve

tedavi etkinliği skorlarını baz alan atanan sınıf değerleri iki ayrı modelde çıktı/hedef değişken olarak kullanılmıştır. Bu kapsamda CART ve rastgele orman algoritmaları hem bulaşıcı hem de tedavi etkinliğini açıklamak üzere farklı kümeler için ayrı ayrı olacak şekilde kullanılmış ve bulgular bu çerçevede sunulmuştur. Çalışmada kullanılan rastgele orman algoritması ile aynı zamanda hem bulaşıcılıkla mücadele hem de tedavi etkinliğini açıklamak üzere kullanılan değişkenlerin önem düzeyleri belirlenmiştir. Bu durum etkinlik sonuçlarının politika önerileri ile bağdaştırılması noktasında önem arz etmektedir. Denetimli makine öğrenmesi tekniklerinin kullanıldığı son aşamada gözlemler eğitim ve test seti olarak ayrıldığı için kurulan modelin performasını değerlendirmek mümkün olmaktadır. Bu kapsamda hem CART algoritması hem de rastgele orman algoritması ile kurulan modellerin performansları her aşamada çeşitli ölçütler kullanılarak değerlendirilmiştir.

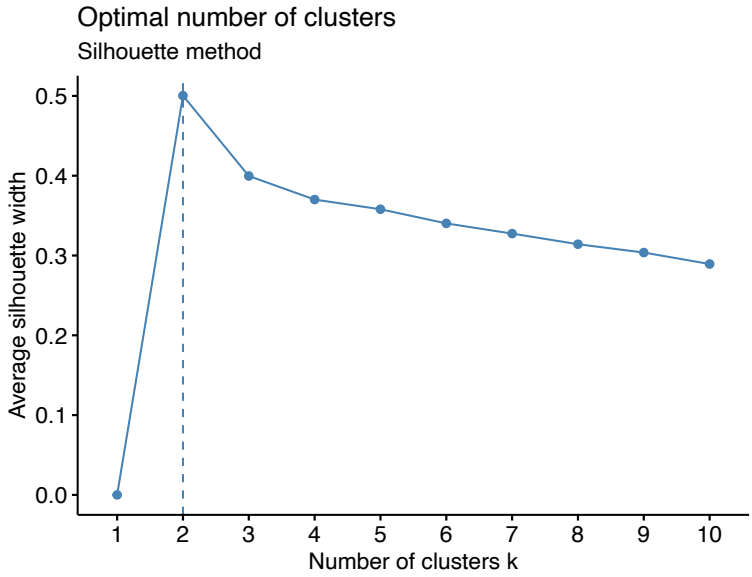
### 4.1. K-Ortalamalar Algoritması ile Yapılan Kümeleme Analizi Bulguları

Araştırmanın ilk aşamasında denetimsiz makine öğrenme algoritmalarından biri olan k-ortalamalar algoritmasının uygulaması R Studio programı üzerinden yapılmıştır. Bu kapsamda bir ülkenin gelişmişlik düzeyini farklı perspektiflerle yansıtan İnsani Gelişme Endeksi (Human Development Index-HDI), sağlık sistemlerinin pandemiye hazırlığını yansıtan Küresel Sağlık Güvenliği (Global Health Security-GHS4) Endeksine ait dört numaralı alt boyut (yeterli ve güçlü sağlık sektörü alt boyutu) ve ülkelerin veri güvenilirliğini yansıtan önemli bir gösterge olan İstatiksel Performans Göstergeleri (Statistical Performance Indicators-SPI) Endeksi öznitelik/girdi değişkeni olarak kullanılmıştır. Buna göre veri toplama aşamasında verileri ulaşılabilir olan 144 ülke için belirlenen öznitelikler kıstas alınarak k-ortalamalar algoritması ile homojen alt kümeler oluşturulmuştur. Bu kapsamda öncelikle en uygun k sayısının belirlenmesi gerekmektedir. Algoritma belirlenen özniteliklere ve girdi olarak sunulan k sayısına göre gözlemleri belirli bir kümeye atamaktadır. Bunun için ilk aşamada veri setindeki tüm sütunlar ‘scale’ fonksiyonu yardımı ile ölçeklendirilmiştir. Ardından en uygun k sayısını bulmak için sıklıkla önerilen dirsek yöntemi, silüet yöntemi ve gap istatistiği yaklaşımları kullanılmıştır. R programı üzerinden “factoextra” paketi yardımı ile öncelikle dirsek yöntemine göre analiz yapılmıştır. Analiz sonucuna göre dirsek yöntemi yaklaşımında önerilen küme sayısına ilişkin grafik çıktısı Şekil 4.1’de verilmiştir.



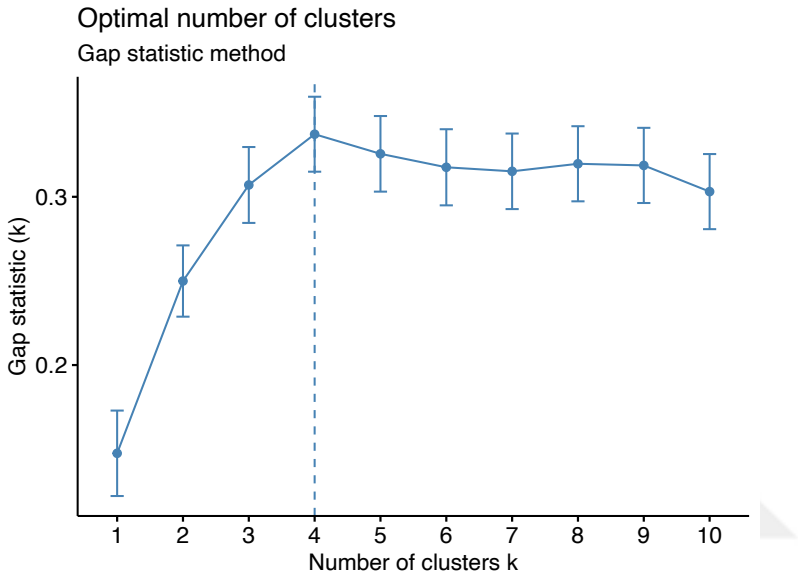

**Şekil 4.1:** Dirsek yöntemine göre optimum k sayısı.

Kümeleme analizinde kullanılan bir doğrulama yöntemi olan dirsek yönteminde küme sayısına göre hesaplanan hata kareler toplamı (SSE) üzerinden grafik oluşturulması ve hata karler toplamının kırılma noktasının optimum küme sayısı olarak belirlenmesi amaçlanmaktadır. Şekil'de görüldüğü üzere hata kareler toplamının kırılma noktası küme sayısına göre dört kümenin olduğu noktada olması nedeniyle dirsek yöntemine göre optimum küme sayısı 4 olarak önerilmiştir. Bununla birlikte optimum k sayısının belirlenmesine yönelik kullanılan bir diğer yaklaşım ise silüet yöntemidir. R programı üzerinden silüet yöntemine göre elde edilen grafik çıktısı ise Şekil 4.2'de verilmiştir.




**Şekil 4.2:** Silüet yöntemine göre optimum k sayısı.

Şeki 4.2'de görüldüğü üzere her bir küme sayısı için (k=1, k=2,…, k=10) ortalama siluet değerleri hesaplanmıştır. Buna göre en yüksek ortalama siluet genişliği değeri (0,51) iki küme olması durumunda elde edildiği için silüet yöntemine göre gözlemlerin iki kümeye (k=2) ayrılması önerilmiştir. Optimum k sayısını belirlemeye yönelik sık kullanılan yaklaşımlardan bir diğeri ise boşluk istatistiği yaklaşımıdır. Şekil 4.3'te boşluk istatisitiği yaklaşımına göre R programında yapılan analiz sonrasında elde edilen grafik çıktısına yer verilmiştir.




**Şekil 4.3:** Boşluk istatistiği yöntemine göre optimum k sayısı.

Boşluk istatistiği yöntemi ile yapılan hesaplamaya göre en yüksek istatistik değeri Şekil 4.3'te verilen grafikte görüldüğü üzere dört küme olması durumunda elde edilmiştir. Bu nedenle boşluk istatiği yaklaşımında dirsek yöntemi ile benzer şekilde optimum küme sayısının dört (k=4) olması önerilmiştir. Bu kapsamda elde edilen sonuçlara göre kullanılan bu yaklaşımların birbirinden farklı optimal sonuçlar ortaya koyabildiği görülmektedir. Bu yaklaşımlar dışında optimal küme sayısının belirlenmesine yönelik literatürde birçok indeks (30'dan fazla) yayınlanmıştır (Charrad ve diğ., 2014). Bu indeksler benzer şekilde birbirinden farklı sonuçlar vermekle birlikte, R istatistik programında "NbClust" paketi kullanılarak bu indekslerin çoğunluk kararını belirlemek mümkündür. Buna göre optimum küme sayısını indekslerin çoğunluk kararına göre belirlemek için R programı üzereinden NbClust paketi kullanılarak analiz yapılmıştır. Buna göre indekslerin optimum küme sayısı önerisinin sıklığını gösteren R programı çıktısı Şekil 4.4'te verilmiştir.

```
* Among all indices:
* 11 proposed 2 as the best number of clusters
* 6 proposed 3 as the best number of clusters
* 2 proposed 5 as the best number of clusters
* 2 proposed 8 as the best number of clusters
* 1 proposed 9 as the best number of clusters
* 2 proposed 10 as the best number of clusters

                   ***** Conclusion *****

* According to the majority rule, the best number of clusters is  2
```

**Şekil 4.4:** NbClust paketinde yer alan indekslere göre küme sayısı önerisi.

Şekil 4.4'te görüldüğü gibi 11 indekse göre optimum küme sayısı 2 olarak önerilirken, 6 indekse göre optimum küme sayısı 3 olarak önerilmiştir. Burada indekslerin küme sayılarına göre kritik değerlerini ve optimum küme sayısı önerilerini açık bir şekilde gösterebilmek için Tablo 4.1'de tüm indekslere ilişkin sonuçlar özetlenmiştir.

**Tablo 4.1:** NbClust paketinde yer alan indekslere göre optimum k sayısı.

| İndeks Adı | İndeks Değeri | Küme Sayısı | İndeks Adı | İndeks Değeri | Küme Sayısı | İndeks Adı | İndeks Değeri | Küme Sayısı |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| KL | 7,493 | 2 | Friedman | 4,488 | 10 | Ratkowsky | 0,558 | 2 |
| CH | 235,875 | 2 | Rubin | -1,305 | 8 | Ball | 43,299 | 3 |
| Hartigan | 50,704 | 3 | Cindex | 0,302 | 5 | PtBiserial | 0,687 | 2 |
| CCC | 0,613 | 8 | DB | 0,776 | 2 | Frey | 20,046 | 3 |
| Scott | 125,931 | 3 | Silhouette | 0,500 | 2 | McClain | 0,473 | 2 |
| Marriot | 156756,1 | 3 | Duda | 0,762 | 2 | Dunn | 0,0914 | 9 |
| TrCovW | 534,700 | 5 | PseudoT2 | 26,856 | 2 | SDindex | 1,927 | 2 |
| TraceW | 40,625 | 3 | Beale | 0,524 | 2 | SDbw | 0,111 | 10 |

Tablo 4.1'de verilen indekslerden CH, DB, Silhouette, Duda, PseudoT2, Beale, Ratkowsky, PtBiserial, Frey, McClain, Dunn ve SDindex olmak üzere toplamda 11 indeks optimum küme sayısını iki olarak önermektedir. Optimum küme (k) sayısını belirlemede bu indeks hesaplamaları oldukça önemli bir temel teşkil etmektedir. Bununla birlikte elde edilen bu sonuçların uzmanlık bilgisi ile bütünleştirilerek nihai küme sayısının belirlenmesi kritiktir. Bu sonuçlar dikkate alınarak araştırmanın ilk aşamasında yapılan kümeleme analizi için optimum küme sayısının 2 olarak belirlenmesi uygun görülmüştür. Buna göre R programında 'kmeans' fonksiyonu kullanılarak gözlemler iki kümeye ayrılacak şekilde analiz yapılmıştır. Bu analiz sonucunda alfabetik olarak sıra numarası verilmiş olan ülkelerden ilk kümede yer alan ülkeler Tablo 4.2'de, ikinci kümede yer alan ülkeler ise Tablo 4.3'te verilmiştir.

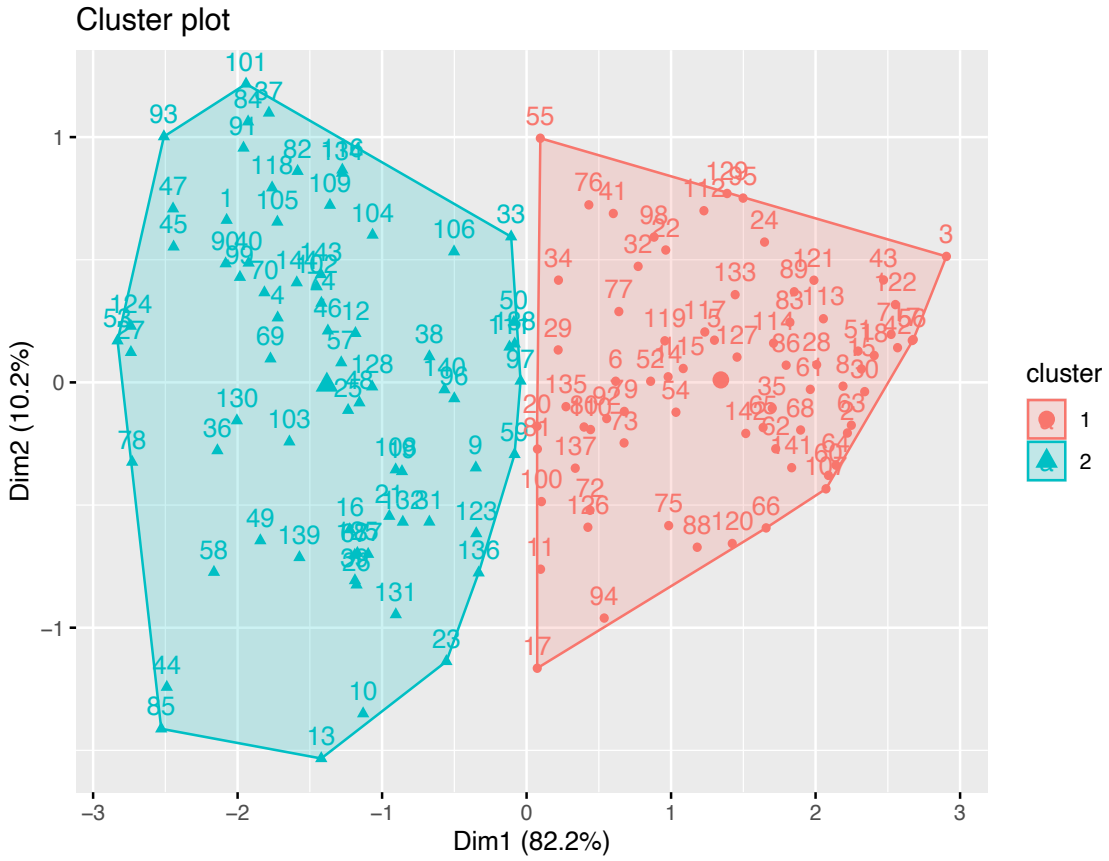
**Tablo 4.2:** Birinci kümede yer alan ülkeler.

| Sıra | Küme | Ülkeler | HDI | SPI | GHS4 | Sıra | Küme | Ülkeler | HDI | SPI | GHS4 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2 | 1 | Almanya | 0,947 | 87,5 | 53,7 | 72 | 1 | Katar | 0,848 | 63,0 | 40,0 |
| 3 | 1 | ABD | 0,926 | 88,9 | 75,2 | 73 | 1 | Kazakistan | 0,825 | 78,6 | 32,3 |
| 5 | 1 | Arjantin | 0,845 | 64,6 | 64,4 | 75 | 1 | Kıbrıs | 0,887 | 80,8 | 31,5 |
| 6 | 1 | Arnavutluk | 0,795 | 75,4 | 37,8 | 76 | 1 | Kırgızistan | 0,697 | 78,6 | 40,5 |
| 7 | 1 | Avustralya | 0,944 | 88,2 | 66,9 | 77 | 1 | Kolombiya | 0,767 | 73,8 | 43,7 |
| 8 | 1 | Avusturya | 0,922 | 89,1 | 54,0 | 79 | 1 | Kosta Rika | 0,810 | 79,8 | 32,8 |
| 11 | 1 | Bahreyn | 0,852 | 54,5 | 38,9 | 80 | 1 | Kuveyt | 0,806 | 64,2 | 42,5 |
| 14 | 1 | Belarus | 0,823 | 77,1 | 43,3 | 81 | 1 | Küba | 0,783 | 70,0 | 29,1 |
| 15 | 1 | Belçika | 0,931 | 82,4 | 64,3 | 83 | 1 | Letonya | 0,866 | 83,7 | 55,9 |
| 17 | 1 | Birleşik Arap Emirlikleri | 0,890 | 59,7 | 27,7 | 86 | 1 | Litvanya | 0,882 | 84,9 | 51,8 |
| 18 | 1 | Birleşik Krallık | 0,932 | 83,2 | 66,0 | 88 | 1 | Lüksemburg | 0,916 | 78,2 | 36,8 |
| 20 | 1 | Bosna-Hersek | 0,780 | 61,2 | 39,3 | 89 | 1 | Macaristan | 0,854 | 84,8 | 57,0 |
| 22 | 1 | Brezilya | 0,765 | 76,8 | 50,3 | 92 | 1 | Malezya | 0,810 | 71,1 | 39,0 |
| 24 | 1 | Bulgaristan | 0,816 | 82,3 | 58,3 | 94 | 1 | Malta | 0,895 | 74,6 | 24,1 |
| 28 | 1 | Çekya | 0,900 | 85,1 | 55,8 | 95 | 1 | Meksika | 0,779 | 87,5 | 52,5 |
| 29 | 1 | Çin | 0,761 | 58,2 | 49,4 | 98 | 1 | Moldova | 0,750 | 79,3 | 46,8 |
| 30 | 1 | Danimarka | 0,940 | 86,1 | 59,7 | 100 | 1 | Morityus | 0,804 | 75,9 | 20,7 |
| 32 | 1 | Ekvador | 0,759 | 73,0 | 49,6 | 107 | 1 | Norveç | 0,957 | 90,1 | 45,1 |
| 34 | 1 | Endonezya | 0,718 | 72,2 | 38,9 | 110 | 1 | Panama | 0,815 | 59,6 | 48,0 |
| 35 | 1 | Estonya | 0,892 | 86,1 | 46,4 | 112 | 1 | Peru | 0,777 | 68,8 | 65,7 |
| 41 | 1 | Filipinler | 0,718 | 75,7 | 46,3 | 113 | 1 | Polonya | 0,880 | 89,1 | 55,1 |
| 42 | 1 | Finlandiya | 0,938 | 88,5 | 64,1 | 114 | 1 | Portekiz | 0,864 | 85,5 | 50,7 |
| 43 | 1 | Fransa | 0,901 | 86,3 | 68,1 | 115 | 1 | Romanya | 0,828 | 77,5 | 45,4 |
| 51 | 1 | Güney Kore | 0,916 | 88,3 | 58,8 | 117 | 1 | Rusya | 0,824 | 78,2 | 49,6 |
| 52 | 1 | Gürcistan | 0,812 | 80,1 | 37,7 | 119 | 1 | Sırbistan | 0,806 | 75,8 | 46,2 |
| 54 | 1 | Hırvatistan | 0,851 | 68,4 | 51,4 | 120 | 1 | Singapur | 0,938 | 75,1 | 44,9 |
| 55 | 1 | Hindistan | 0,645 | 70,4 | 46,1 | 121 | 1 | Slovakya | 0,860 | 85,6 | 59,5 |
| 56 | 1 | Hollanda | 0,944 | 88,0 | 67,0 | 122 | 1 | Slovenya | 0,917 | 88,9 | 65,7 |
| 60 | 1 | İrlanda | 0,955 | 87,0 | 49,3 | 126 | 1 | Suudi Arabistan | 0,854 | 63,4 | 38,4 |
| 61 | 1 | İspanya | 0,904 | 88,9 | 49,7 | 127 | 1 | Şili | 0,851 | 82,4 | 48,2 |
| 62 | 1 | İsrail | 0,919 | 78,1 | 52,8 | 129 | 1 | Tayland | 0,777 | 76,1 | 62,3 |
| 63 | 1 | İsveç | 0,945 | 88,5 | 53,6 | 133 | 1 | Türkiye | 0,820 | 84,6 | 49,1 |
| 64 | 1 | İsviçre | 0,955 | 87,0 | 50,9 | 135 | 1 | Ukrayna | 0,779 | 72,5 | 32,7 |
| 65 | 1 | İtalya | 0,892 | 89,8 | 40,3 | 137 | 1 | Uruguay | 0,817 | 66,8 | 36,4 |
| 66 | 1 | İzlanda | 0,949 | 77,8 | 47,5 | 141 | 1 | Yeni Zelenda | 0,931 | 85,3 | 46,6 |
| 68 | 1 | Japonya | 0,919 | 85,8 | 49,3 | 142 | 1 | Yunanistan | 0,888 | 85,4 | 42,2 |
| 71 | 1 | Kanada | 0,929 | 87,5 | 65,0 | | | | | | |

**Tablo 4.3:** İkinci kümede yer alan ülkeler.

| Sıra | Küme | Ülkeler | HDI | SPI | GHS4 | Sıra | Küme | Ülkeler | HDI | SPI | GHS4 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | Afganistan | 0,511 | 49,8 | 20,6 | 82 | 2 | Lesotho | 0,527 | 55,2 | 27,2 |
| 4 | 2 | Angola | 0,581 | 54,9 | 16,8 | 84 | 2 | Liberya | 0,480 | 49,4 | 29,2 |
| 9 | 2 | Azerbaycan | 0,756 | 68,1 | 21,7 | 85 | 2 | Libya | 0,724 | 21,4 | 13,1 |
| 10 | 2 | Bahamalar | 0,814 | 50,1 | 11,6 | 87 | 2 | Lübnan | 0,744 | 51,9 | 19,2 |
| 12 | 2 | Bangladeş | 0,632 | 58,1 | 23,2 | 90 | 2 | Madagaskar | 0,528 | 52,0 | 15,8 |
| 13 | 2 | Barbados | 0,814 | 44,2 | 9,6 | 91 | 2 | Malavi | 0,483 | 56,5 | 19,9 |
| 16 | 2 | Beliz | 0,716 | 58,8 | 11,0 | 93 | 2 | Mali | 0,434 | 51,9 | 14,5 |
| 19 | 2 | Bolivya | 0,718 | 62,7 | 17,2 | 96 | 2 | Mısır | 0,707 | 74,1 | 16,5 |
| 21 | 2 | Botsvana | 0,735 | 57,3 | 18,5 | 97 | 2 | Moğolistan | 0,737 | 76,3 | 24,1 |
| 23 | 2 | Brunei | 0,838 | 53,1 | 22,6 | 99 | 2 | Moritanya | 0,546 | 48,1 | 21,0 |
| 25 | 2 | Cape Verde | 0,665 | 54,7 | 21,5 | 101 | 2 | Mozambik | 0,456 | 56,2 | 24,0 |
| 26 | 2 | Cezayir | 0,748 | 55,1 | 12,6 | 102 | 2 | Myanmar | 0,583 | 63,8 | 14,7 |
| 27 | 2 | Cibuti | 0,524 | 36,6 | 14,0 | 103 | 2 | Namibya | 0,646 | 52,2 | 14,4 |
| 31 | 2 | Dominik Cumhuriyeti | 0,756 | 63,9 | 16,8 | 104 | 2 | Nepal | 0,602 | 53,6 | 35,5 |
| 33 | 2 | El Salvador | 0,673 | 68,8 | 38,4 | 105 | 2 | Nijerya | 0,539 | 53,6 | 23,4 |
| 36 | 2 | Esvatini | 0,611 | 47,2 | 9,4 | 106 | 2 | Nikaragua | 0,660 | 51,7 | 47,5 |
| 37 | 2 | Etiyopya | 0,485 | 53,6 | 28,2 | 108 | 2 | Özbekistan | 0,720 | 54,9 | 24,4 |
| 38 | 2 | Fas | 0,686 | 59,0 | 30,9 | 109 | 2 | Pakistan | 0,557 | 60,7 | 24,1 |
| 39 | 2 | Fiji | 0,743 | 57,6 | 10,1 | 111 | 2 | Paraguay | 0,728 | 61,1 | 40,1 |
| 40 | 2 | Fildişi Sahili | 0,538 | 56,1 | 14,7 | 116 | 2 | Ruanda | 0,543 | 67,3 | 20,9 |
| 44 | 2 | Gabon | 0,703 | 28,1 | 9,3 | 118 | 2 | Senegal | 0,512 | 63,6 | 14,3 |
| 45 | 2 | Gambia | 0,496 | 44,0 | 17,9 | 123 | 2 | Sri Lanka | 0,782 | 72,6 | 13,6 |
| 46 | 2 | Gana | 0,611 | 62,0 | 15,6 | 124 | 2 | Sudan | 0,510 | 39,2 | 12,8 |
| 47 | 2 | Gine | 0,477 | 45,9 | 18,0 | 125 | 2 | Surinam | 0,738 | 50,8 | 18,9 |
| 48 | 2 | Guatemala | 0,663 | 61,0 | 16,9 | 128 | 2 | Tacikistan | 0,668 | 55,8 | 24,9 |
| 49 | 2 | Guyana | 0,682 | 41,5 | 16,1 | 130 | 2 | Timor | 0,606 | 51,0 | 9,7 |
| 50 | 2 | Güney Afrika | 0,709 | 73,5 | 29,3 | 131 | 2 | Trinidad ve Tobago | 0,796 | 42,1 | 29,7 |
| 53 | 2 | Haiti | 0,510 | 37,5 | 11,9 | 132 | 2 | Tunus | 0,740 | 64,1 | 13,1 |
| 57 | 2 | Honduras | 0,634 | 61,2 | 16,5 | 134 | 2 | Uganda | 0,544 | 67,6 | 20,4 |
| 58 | 2 | Irak | 0,674 | 34,8 | 15,0 | 136 | 2 | Umman | 0,813 | 58,5 | 26,2 |
| 59 | 2 | İran | 0,783 | 56,7 | 39,4 | 138 | 2 | Ürdün | 0,729 | 62,0 | 40,0 |
| 67 | 2 | Jamaika | 0,734 | 54,6 | 14,5 | 139 | 2 | Venezuela | 0,711 | 43,9 | 18,0 |
| 69 | 2 | Kamboçya | 0,594 | 56,2 | 12,3 | 140 | 2 | Vietnam | 0,704 | 66,0 | 24,0 |
| 70 | 2 | Kamerun | 0,563 | 53,5 | 17,9 | 143 | 2 | Zambiya | 0,584 | 59,0 | 20,8 |
| 74 | 2 | Kenya | 0,601 | 54,5 | 23,9 | 144 | 2 | Zimbabve | 0,571 | 61,7 | 14,4 |
| 78 | 2 | Kongo | 0,574 | 36,6 | 8,2 | | | | | | |

Tablo 4.2 ve 4.3'te verilen iki ayrı kümenin elemanları seçilen öznitelikler ve belirlenen optimum k sayısına göre küme merkezlerinin döngüsel olarak hesaplandığı ve gözlemlerin hesaplanan küme merkezlerine yakınlıklarının dikkate alınarak atandığı k-ortalamalar algoritması ile belirlenmiştir. Bu kapsamda R programı üzerinden yapılan küme atamasına göre ilk kümede 73 ülke, ikinci kümede ise 71 atanmıştır. Buna göre k-ortalamalar algoritması kullanılarak yapılan analiz sonrasında ülkelerin küme bilgilerini Tablo 4.2 ve Tablo 4.3'te alfabetik sıra numarası bazında iki boyutlu olarak yansıtan R programı çıktısı Şekil 4.5'te verilmiştir.




**Şekil 4.5:** K-ortalamalar algoritmasına göre kümeleme sonuçları.

Şekil 4.5'te 'factoextra' paketi kullanılarak oluşturulan iki boyutlu olarak kümeleme sonuçlarına göre ABD, Almanya, Avustralya, Çin, Fransa, Hindistan, İngiltere, İspanya ve Türkiye gibi ülkelerin yer aldığı birinci kümeye 73 ülke atanırken; Afganistan, Bangladeş, Fas, Güney Afrika, Mısır, Özbekistan, Pakistan, Vietnam ve Zimbabve gibi ülkelerin yer aldığı ikinci kümeye ise 71 ülkenin atandığı görülmektedir. Kümeleme analizinde amaç grup içinde yüksek benzerliği, gruplar arasında ise düşük benzerliği elde etmektir. Buna göre küme içinde kareler toplamı sırasıyla 74,545 ve

86,666 olarak elde edilmiştir. Bu analiz sonucunda kümeler arası farklılıkların hangi düzeyde sağlanabildiğini ölçmek üzere kümeler arası varyansın (kareler toplamının) tüm veri setindeki varyansa oranı hesaplanmaktadır. Bu oranı R programı %62,4 olarak hesaplamıştır. Bu değerin yüksek olması kümeler arası yüksek varyansı bir başka ifadeyle kümeler arası düşük benzerliği yansıttığı için %100'e yaklaşması istenir. Ancak araştırma amacına uygun olarak karşılaştırma gruplarının belirlenebilmesi için k sayısının optimum düzeyde kalması gereklidir. Bu nedenle sadece kümeler arası farklılığı artırmak için k sayısını maksimize etmek araştırma amacına uygun bir yaklaşım değildir. Bununla birlikte kümeleme analizinde kullanılan öznitelikler için her iki kümenin tanımlayıcı istatistik değerlerinin verilmesi ve eşit varyans varsayımı altında yapılan iki örneklem t testi ile kümeleme sonuçlarına göre değişkenlerin çıkarımsal olarak analiz edilmesi kümeler arasındaki farklılığı daha açık bir şekilde gösterecektir. Buna göre oluşturulan iki küme için uygulamada kullanılan özniteliklere ilişkin hesaplanan istatistiksel değerler ve her değişken için ayrı ayrı olmak üzere atanan küme bilgisi ile yapılan iki örneklem t testi sonuçları Tablo 4.4'te yer verilmiştir.

**Tablo 4–4:** Kümeleme analizi ile ilgili tanımlayıcı ve çıkarımsal istatistik bulguları

| Küme | Göstergeler | HDI | SPI | GHS4 |
|---|---|---|---|---|
| **Küme 1** | Minimum | 0,645 | 54,467 | 20,700 |
| | Maksimum | 0,957 | 90,094 | 75,200 |
| | Ortalama | 0,855 | 78,729 | 48,584 |
| | Standart Sapma | 0,072 | 9,094 | 11,368 |
| **Küme 2** | Minimum | 0,434 | 21,408 | 8,200 |
| | Maksimum | 0,838 | 76,283 | 47,500 |
| | Ortalama | 0,641 | 54,658 | 20,034 |
| | Standart Sapma | 0,1 | 10,4 | 8,301 |
| **İki örneklem t testi** | t istatistiği | 17,140 | -50,559 | -22,714 |
| | P(T<=t) two-tail | 0,000 | 0,000 | 0,000 |

Tablo 4.4'te verilen alt kümelere ilişkin temel istatistik bulguları incelendiğinde, Küme 1'de yer alan ülkelerin insani gelişme, istatiksel performans ve küresel halk sağlığı indeksleri özniteliklerinin ortalama değerlerinin Küme 2'de yer alan ülkelere göre daha yüksek olduğu görülmektedir. İki örneklem t testi sonuçlarına göre "küme bilgilerine göre değişken (HDI, SPI, GHS4) ortalamaları arasında fark yoktur" hipotezleri ayrı ayrı test edildiğinde p değerinin %95 güven düzeyinde anlamlı olduğu ve atanan küme bilgisine göre değişkenlerin ortalamaları arasında anlamlı bir fark olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Buna ilave olarak kümeleme analizi ile yapılan ülke sınıflandırmasının Dünya Bankası

tarafından yapılan gelir sınıflandırması ve DSÖ bölge sınıflandırması ile benzerliklerin ve farklılıkların ortaya çıkarılabilmesi için Tablo 4.5'te küme elemanlarının DB ve DSÖ sınıflamalarında yer aldığı gruplara ilişkin bilgilere yer verilmiştir.

**Tablo 4.5:** Kümelerde yer alan ülkelerin DB ve DSÖ gruplarına göre dağılımı.

| Sınıflama | Alt Grup | Küme 1 (Sayı) | Küme 1 (Yüzde) | Küme 2 (Sayı) | Küme 2 (Yüzde) |
|---|---|---|---|---|---|
| DSÖ Bölgesi | Afrika Bölgesi | 1 | %1,37 | 29 | %40,85 |
| | Amerika Bölgesi | 13 | %17,81 | 16 | %22,54 |
| | Avrupa Bölgesi | 43 | %58,90 | 3 | %4,23 |
| | Batı Pasifik Bölgesi | 8 | %10,96 | 5 | %7,04 |
| | Doğu Akdeniz Bölgesi | 5 | %6,85 | 13 | %18,31 |
| | Güney Doğu Asya Bölgesi | 3 | %4,11 | 5 | %7,04 |
| DB Gelir Grubu | Alt Gelir Grubu | 0 | %0 | 12 | %16,90 |
| | Alt Orta Gelir Grubu | 5 | %6,85 | 37 | %52,11 |
| | Üst Orta Gelir Grubu | 24 | %32,88 | 17 | %23,94 |
| | Yüksek Gelir Grubu | 44 | %60,27 | 5 | %7,04 |

Tablo 4.5'te verilen DSÖ sınıflamasına göre birinci kümede yer alan 73 ülkenin yaklaşık %88'i Avrupa, Amerika ve Batı Pasifik bölgesinde yer alırken, ikinci kümede yer alan 71 ülkenin yaklaşık %82'si ise sırasıyla Afrika, Amerika ve Doğu Akdeniz bölgesinde yer almaktadır. Buna göre Afrika bölgesinde olup birinci kümede yer alan tek ülke Morityus olurken, Avrupa bölgesinde olup ikinci kümede yer alan ülkeler ise Azerbaycan, Özbekistan ve Tacikistan olmuştur. Dünya Bankası gelir grubu sınıflamasına göre ise birinci kümede yer alan ülkelerin %93'ü yüksek ve üst orta gelir grubu ülkeleri olurken alt gelir grubunda yer alan hiçbir ülke birinci kümede yer almamıştır. İkinci kümede yer alan ülkelerin ise %93'ü sırasıyla alt orta, alt ve üst orta gelir grubunda yer alan ülkeler olmuştur. Bahamalar, Barbados, Brunei, Trinidad ve Tobago ve Umman olmak üzere toplamda 5 yüksek gelir grubu ülkesi ise ikinci grupta yer almıştır. Bu ülkeleri diğerlerinden ayırt eden öznitelikler istatiksel performans ve küresel sağlık güvenliği endeks değerleri olmuştur. Son olarak k-ortalamalar algoritması ile yapılan kümeleme analizi sonrasında birinci kümede yer alan 73 ülkenin toplam nüfusu 5.387.870.968 olarak elde edilirken, ikinci kümede yer alan 71 ülkenin toplam nüfusu 2.109.693.371 olarak elde edilmiştir. Kümeleme analizi ile oluşturulan karşılaştırma grupları, ülkelerin bulaşıcılıkla mücadele ve tedavi etkinliklerini VZA ile değerlendirmede temel teşkil edecektir.

## 4.2. Veri Zarflama Analizi Bulguları

Kümeleme analizi ile karşılaştırma grupları oluşturulmasından sonra ikinci aşamada aynı kümede yer alan ülkelerin COVID-19 ile mücadelede etkinliklerinin değerlendirilebilmesi için Veri Zarflama Analizi uygulaması yapılmıştır. Bu kapsamda iki ayrı etkinlik modelinin kullanılması uygun görülmüştür. İki modelde de kullanılan çıktı değişkenlerinin (milyon kişi başına vaka sayısı ve vaka ölüm hızı) istenmeyen özellikte olması nedeniyle istenmeyen çıktıların doğrusal monoton azalan dönüşümünü uygulayan Seiford ve Zhu (2002) yaklaşımı kullanılmıştır. Toplamsal terslik çeviri uygulaması olarak da bilinen bu yaklaşım çarpımsal terslik yaklaşımındaki konvekslik özelliğinin yitirilmesi dezavantajını ortadan kaldırdığı için tercih edilmiştir. Bu modelde VRS yaklaşımı çıktı yönelimli model kullanılması gerektiği için VRS çıktı yönelimli yaklaşım kullanılarak analiz yapılmıştır. Buna göre analize geçmeden önce farklı ölçütlerle ifade edilen girdi ve çıktı değişkenlerinin normalize edilmesi gerekmektedir. Bu kapsamda normalizasyon işlemi bir karar biriminin ilgili değişkene ait gözlenen değerinin değerlendirme grubunda yer alan tüm gözlemlerin aynı değişkene ait değerlerinin aritmetik ortalamasına bölünmesi ile gerçekleştirilmiştir. Normalizasyon dönüşümleri her iki modelde yer alan iki farklı küme için olmak üzere 4 ayrı dosyada gerçekleştirilmiştir. Bu işlemler tamamlandıktan sonra bulaşıcılıkla mücadele ve tedavi etkinliği modelleri belirlenen yöntem ile R programı üzerinden uygulanmıştır. Bu kapsamda Veri Zarflama Analizi ile elde edilen bulgular bulaşıcılıkla mücadele etkinliği ve tedavi etkinliği olmak üzere iki alt başlıkta verilmiştir.

### 4.2.1. Bulaşıcılıkla Mücadele Etkinliği VZA Bulguları

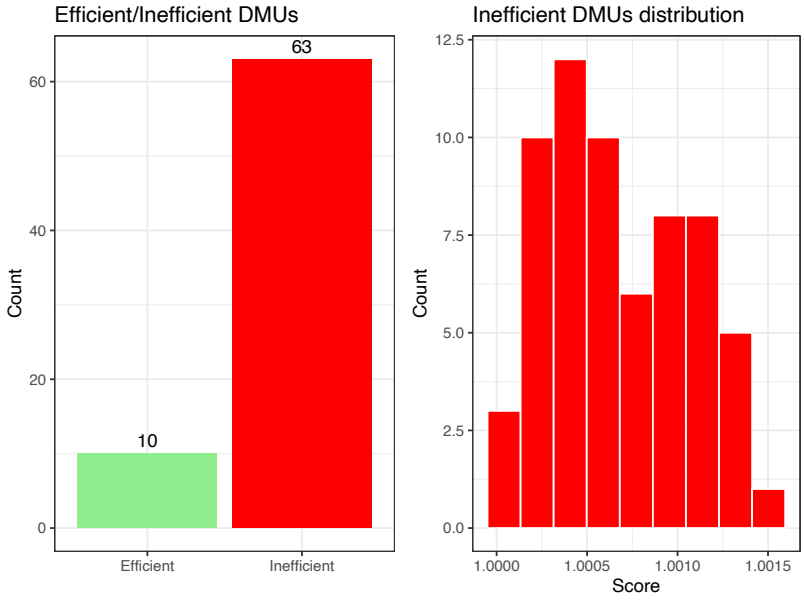
Ülkelerin COVID-19'a karşı bulaşıcılıkla mücadele etkinliğinin ortaya çıkarıldığı ilk etkinlik modelinde girdi değişkenleri olarak sıkılık endeksi ortalama değeri ve tam aşılanan diğer bir ifade ile en az iki doz aşı almış kişilerin yüzdesi değişkenleri; çıktı değişkeni olarak milyon kişi başına toplam vaka sayısı değişkeni kullanılmıştır. İlk kümenin ilgili değişkenlerine ait yapılan normalizasyon işleminin ardından 'deaR' paketi altında yer alan 'make_deadata' fonksiyonu ile gerekli tanımlamalar yapılmış ve analiz gerçekleştirilmiştir. Buna göre ilk kümede yer alan ülkelerin bulaşıcılıkla mücadele etkinliği skorları sıralı olarak Tablo 4.6'daki gibi elde edilmiştir.

**Tablo 4.6:** Birinci kümede yer alan ülkelerin bulaşıcılıkla mücadele etkinliği skorları.

| Sıra | Karar Verme Birimi | Etkinlik Skoru | Etkinlik Kodu | Sıra | Karar Verme Birimi | Etkinlik Skoru | Etkinlik Kodu |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 29 | Çin | 1 | 1 | 5 | Arjantin | 1,000528 | 0 |
| 100 | Morityus | 1 | 1 | 63 | İsveç | 1,000573 | 0 |
| 76 | Kırgızistan | 1 | 1 | 141 | Yeni Zelenda | 1,000605 | 0 |
| 126 | Suudi Arabistan | 1 | 1 | 54 | Hırvatistan | 1,000617 | 0 |
| 14 | Belarus | 1 | 1 | 120 | Singapur | 1,000633 | 0 |
| 20 | Bosna-Hersek | 1 | 1 | 3 | ABD | 1,000643 | 0 |
| 34 | Endonezya | 1,000014 | 1 | 107 | Norveç | 1,000647 | 0 |
| 55 | Hindistan | 1,000048 | 1 | 61 | İspanya | 1,000679 | 0 |
| 41 | Filipinler | 1,00005 | 1 | 137 | Uruguay | 1,000689 | 0 |
| 95 | Meksika | 1,00006 | 1 | 119 | Sırbistan | 1,00069 | 0 |
| 32 | Ekvador | 1,000092 | 1 | 121 | Slovakya | 1,000772 | 0 |
| 129 | Tayland | 1,000108 | 1 | 7 | Avustralya | 1,000802 | 0 |
| 68 | Japonya | 1,000122 | 1 | 60 | İrlanda | 1,000812 | 0 |
| 73 | Kazakistan | 1,000145 | 1 | 65 | İtalya | 1,000822 | 0 |
| 6 | Arnavutluk | 1,000189 | 1 | 18 | Birleşik Krallık | 1,000865 | 0 |
| 24 | Bulgaristan | 1,000201 | 0 | 2 | Almanya | 1,000876 | 0 |
| 17 | Birleşik Arap Emirlikleri | 1,000206 | 0 | 51 | Güney Kore | 1,000905 | 0 |
| 81 | Küba | 1,000225 | 0 | 15 | Belçika | 1,000928 | 0 |
| 71 | Kanada | 1,00024 | 0 | 142 | Yunanistan | 1,000982 | 0 |
| 112 | Peru | 1,000257 | 0 | 28 | Çekya | 1,001028 | 0 |
| 117 | Rusya | 1,000263 | 0 | 88 | Lüksemburg | 1,001037 | 0 |
| 135 | Ukrayna | 1,000266 | 0 | 35 | Estonya | 1,001046 | 0 |
| 77 | Kolombiya | 1,000278 | 0 | 86 | Litvanya | 1,001075 | 0 |
| 92 | Malezya | 1,000325 | 0 | 64 | İsviçre | 1,00109 | 0 |
| 115 | Romanya | 1,000328 | 0 | 11 | Bahreyn | 1,001091 | 0 |
| 113 | Polonya | 1,000334 | 0 | 52 | Gürcistan | 1,001146 | 0 |
| 98 | Moldova | 1,000334 | 0 | 43 | Fransa | 1,001154 | 0 |
| 72 | Katar | 1,00035 | 0 | 83 | Letonya | 1,001157 | 0 |
| 22 | Brezilya | 1,000359 | 0 | 62 | İsrail | 1,001198 | 0 |
| 80 | Kuveyt | 1,000371 | 0 | 56 | Hollanda | 1,001215 | 0 |
| 133 | Türkiye | 1,000417 | 0 | 66 | İzlanda | 1,001264 | 0 |
| 89 | Macaristan | 1,000435 | 0 | 122 | Slovenya | 1,001271 | 0 |
| 79 | Kosta Rika | 1,000454 | 0 | 8 | Avusturya | 1,001309 | 0 |
| 42 | Finlandiya | 1,000456 | 0 | 114 | Portekiz | 1,00132 | 0 |
| 94 | Malta | 1,000459 | 0 | 30 | Danimarka | 1,001397 | 0 |
| 127 | Şili | 1,000519 | 0 | 75 | Kıbrıs | 1,001495 | 0 |
| 110 | Panama | 1,000525 | 0 | | | | |

Etkinlik analizinde istenmeyen çıktılara toplamsal terslik dönüşümünü sağlayan Seiford ve Zhu (2002) yaklaşımı kullanıldığı için etkinlik skorunun 1'den fazla olması durumunda ülkelerin etkinlik sınırından uzaklaştığı ve 1'e yaklaştığı ölçüde etkinlik

sınırına yakınlaştığı şeklinde yorumlanır. Bu çerçevede Tablo 4.6'da etkinlik skoru 1 değerini alan Çin, Morityus, Kırgızistan, Suudi Arabistan, Belarus ve Bosna Hersek bulaşıcılıkla mücadelede etkin ülkeler sınıfında yer almıştır. Buna göre R programında yapılan analizde zayıf etkin ülkelerle birlikte etkin bulunan tüm ülkelerin sayısı ve ülkelerin etkinlik skorlarının histogram dağılımı Şekil 4.6'daki gibi elde edilmiştir.




**Şekil 4.6:** Birinci kümenin bulaşıcılıkla mücadele etkinliği analiz bulguları.

Şekil 4.6 incelendiğinde etkinlik skoru 1'e eşit olan altı ülke ile birlikte Endonezya, Hindistan, Filipinler ve Meksika'nın zayıf etkin (referans grubunda yer almayan ancak etkin durumda olan) ülkeler sınıfında yer aldığı görülmektedir. Ayrıca ülkelerin etkinlik skorlarının histogram dağılımı da verilmiştir. Bulaşıcılıkla mücadele etkinliği modelinde birinci kümede yer alan ülkelerin etkinlik skorlarının histogram dağılımı incelenmiş ve etkin olma durumunu belirleyen potansiyel bölme noktası 1,0002 olarak değerlendirilmiştir. Buna göre bulaşıcılıkla mücadele modelinde ve diğer modellerde elde edilen etkinlik skoru, $1 \leq ES < 1{,}0002$ arasında ise "etkin", $ES \geq 1{,}0002$ ise "değil" olarak sınıflandırılacak şekilde uygulanmıştır. Buna göre belirlenen etkinlik aralığında diğer 10 ülkeye ilave olarak Ekvador, Tayland, Japonya, Kazakistan ve Arnavutluk ülkeleri bulaşıcılıkla mücadele etkin sınıfında yer almıştır. Bu bağlamda birinci kümede yer alan 15 ülke 'etkin' olarak sınıflandırılırken, 58 ülke 'değil' olarak sınıflandırılmıştır.

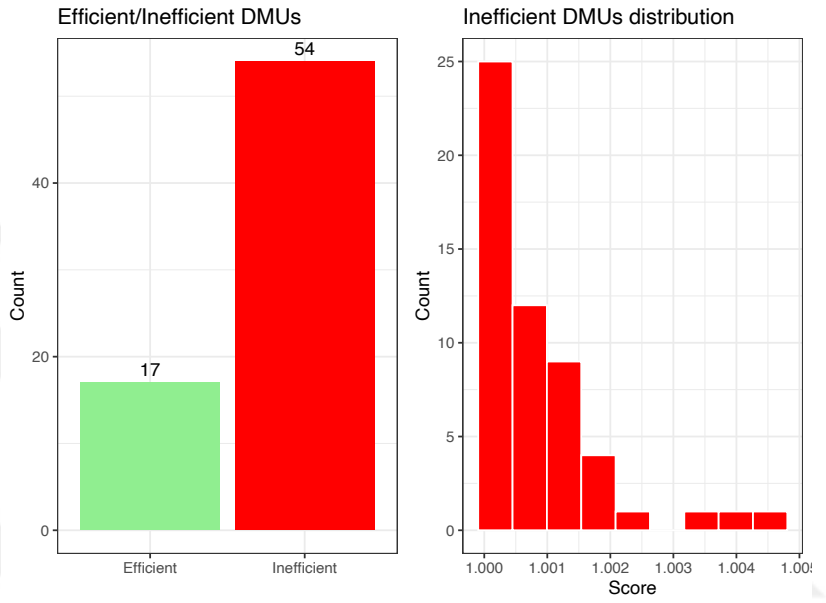
Bulaşıcılıkla mücadele etkinliği analizinin ikinci aşamasında ise ikinci kümede yer alan ülkelerden oluşan karşılaştırma grubu değerlendirilmiştir. Bu kapsamda birinci

kümenin bulaşıcılıkla mücadele etkinliğini değerlendirmede kullanılan girdi ve çıktı değişkenleri kullanılmıştır. Bu kapsamda küme içinde yapılan ortalama normalizasyonu işleminin ardından benzer şekilde 'deaR' paketi ile analiz yapılmıştır. Bu analiz sonucunda ikinci kümede yer alan ülkelerin bulaşıcılıkla mücadele etkinliği skorları Tablo 4.7'deki gibi sıralanmıştır.

**Tablo 4.7:** İkinci kümede yer alan ülkelerin bulaşıcılıkla mücadele etkinliği skorları.

| Sıra | Karar Verme Birimi | Etkinlik Skoru | Etkinlik Kodu | Sıra | Karar Verme Birimi | Etkinlik Skoru | Etkinlik Kodu |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 105 | Nijerya | 1 | 1 | 139 | Venezuela | 1,000225 | 0 |
| 124 | Sudan | 1 | 1 | 44 | Gabon | 1,000244 | 0 |
| 93 | Mali | 1 | 1 | 33 | El Salvador | 1,00033 | 0 |
| 53 | Haiti | 1 | 1 | 123 | Sri Lanka | 1,000378 | 0 |
| 40 | Fildişi Sahili | 1 | 1 | 104 | Nepal | 1,000399 | 0 |
| 118 | Senegal | 1 | 1 | 38 | Fas | 1,000403 | 0 |
| 70 | Kamerun | 1 | 1 | 57 | Honduras | 1,000514 | 0 |
| 106 | Nikaragua | 1 | 1 | 67 | Jamaika | 1,000637 | 0 |
| 84 | Liberya | 1,000003 | 1 | 48 | Guatemala | 1,000637 | 0 |
| 90 | Madagaskar | 1,000004 | 1 | 58 | Irak | 1,000666 | 0 |
| 128 | Tacikistan | 1,000004 | 1 | 31 | Dominik Cumhuriyeti | 1,000682 | 0 |
| 47 | Gine | 1,00002 | 1 | 36 | Esvatini | 1,000771 | 0 |
| 4 | Angola | 1,000022 | 1 | 103 | Namibya | 1,00082 | 0 |
| 134 | Uganda | 1,00003 | 1 | 50 | Güney Afrika | 1,000846 | 0 |
| 1 | Afganistan | 1,000032 | 1 | 39 | Fiji | 1,000896 | 0 |
| 37 | Etiyopya | 1,000036 | 1 | 85 | Libya | 1,000937 | 0 |
| 78 | Kongo | 1,000038 | 1 | 19 | Bolivya | 1,000961 | 0 |
| 91 | Malavi | 1,000038 | 1 | 9 | Azerbaycan | 1,000974 | 0 |
| 45 | Gambia | 1,000041 | 1 | 59 | İran | 1,001041 | 0 |
| 96 | Mısır | 1,000045 | 1 | 49 | Guyana | 1,001059 | 0 |
| 46 | Gana | 1,000049 | 1 | 132 | Tunus | 1,001085 | 0 |
| 26 | Cezayir | 1,000061 | 1 | 136 | Umman | 1,001088 | 0 |
| 74 | Kenya | 1,000064 | 1 | 10 | Bahamalar | 1,001118 | 0 |
| 109 | Pakistan | 1,000069 | 1 | 111 | Paraguay | 1,001234 | 0 |
| 101 | Mozambik | 1,000074 | 1 | 25 | Cape Verde | 1,001304 | 0 |
| 108 | Özbekistan | 1,000074 | 1 | 131 | Trinidad ve Tobago | 1,001394 | 0 |
| 69 | Kamboçya | 1,00009 | 1 | 140 | Vietnam | 1,001399 | 0 |
| 116 | Ruanda | 1,000108 | 1 | 21 | Botsvana | 1,001574 | 0 |
| 102 | Myanmar | 1,000131 | 1 | 125 | Surinam | 1,001676 | 0 |
| 12 | Bangladeş | 1,000134 | 1 | 138 | Ürdün | 1,001932 | 0 |
| 99 | Moritanya | 1,000146 | 1 | 16 | Beliz | 1,002014 | 0 |
| 27 | Cibuti | 1,000165 | 1 | 87 | Lübnan | 1,002603 | 0 |
| 82 | Lesotho | 1,000175 | 1 | 97 | Moğolistan | 1,003524 | 0 |
| 144 | Zimbabve | 1,000187 | 1 | 13 | Barbados | 1,003848 | 0 |
| 143 | Zambiya | 1,000193 | 1 | 23 | Brunei | 1,004708 | 0 |
| 130 | Timor | 1,000205 | 0 | | | | |

Tablo 4.7'de ikinci kümede yer alan ülkelerin bulaşıcılıkla mücadele etkinlik skorları etkin olandan etkin olmayana doğru sıralanarak verilmiştir. Buna göre etkinlik skoru 1 değerini alan Nijerya, Sudan, Mali, Haiti, Fildişi Sahili, Senegal, Kamerun ve Nikaragua etkin olan ülkeler sınıfında yer almıştır. İkinci kümede etkin bulunan ülkelerin sayısı ve ülkelerin etkinlik skorlarının histogram dağılımına ilişkin R programında elde edilen bulgular Şekil 4.7'deki verilmiştir.




**Şekil 4.7:** İkinci kümenin bulaşıcılıkla mücadele etkinliği analiz bulguları.

Şekil 4.7'de ikinci kümenin bulaşıcılıkla mücadele etkinliği sonuçları incelendiğinde 17 ülkenin etkin olduğu, 54 ülkenin ise etkin olmadığı görülmektedir. Etkinlik skoru 1'e eşit olan sekiz ülke ile birlikte zayıf etkin durumunda olan Liberya, Madagaskar, Tacikistan, Gine, Angola, Uganda, Afganistan, Etiyopya ve Kongo olmak üzere toplam 17 ülke etkin ülke sınıfında yer almıştır. Etkin olan ülkelerin etkinlik skorlarının histogram dağılımı da Şekil 4.7'de verilmiştir. Bulaşıcılıkla mücadele etkinliği modeli için birinci kümede belirlenen potansiyel bölme noktası (1,0002) bu kümenin etkinlik sınıfı için de kullanılmıştır. Buna göre ikinci kümede yer alan 32 ülke bulaşıcılıkla mücadelede 'etkin' ülke sınıfında yer alırken, 39 ülke 'değil' sınıfında yer almıştır.

### 4.2.2. Tedavi Etkinliği VZA Bulguları

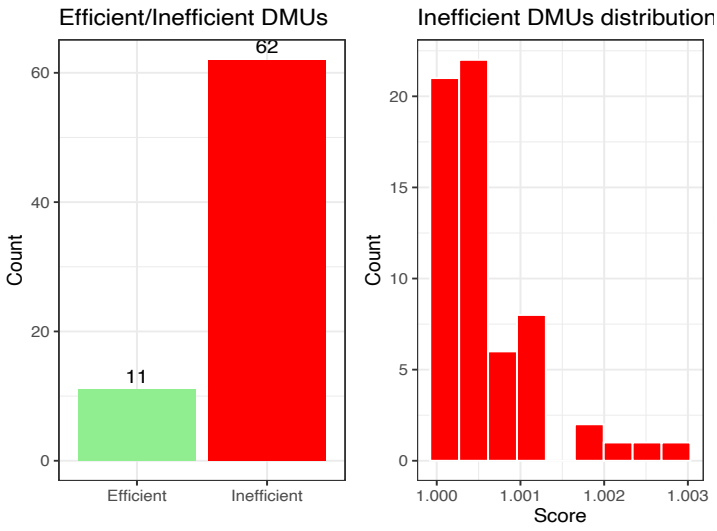
Ülkelerin COVID-19 ile mücadele etkinliklerinin analiz edildiği araştırmanın ikinci aşamasında değerlendirilen ikinci etkinlik türü COVID-19 tedavi etkinliğidir. Tedavi etkinliği modelinde girdi değişkenleri olarak bin kişi başına sağlık çalışanı sayısı, bin kişi başına hastane yatağı sayısı ve kişi başına sağlık harcaması değişkenleri; çıktı değişkeni olarak ise vaka ölüm hızı kullanılmıştır. Tedavi etkinliği modelinin belirlenmesi için girdi ve çıktı değişkenlerinin seçimi noktasında farklı senaryolar sınanmıştır. Örneğin literatürde yapılan çalışmalarda vaka ölüm hızını çıktı değişkeni almak yerine milyon kişi başına vaka sayısını diğer girdi değişkenleri ile birlikte girdi değişkeni olarak ele alan, buna karşılık çıktı değişkenini ise milyon kişi başına ölüm sayısı olarak belirleyen çalışmalar bulunmaktadır. Ancak çalışmada bu yaklaşım kullanılarak yapılan farklı senaryolarda sonuçların çıktı değişkeni olarak seçilen milyon kişi başına vaka sayısı ile sapmalı olabileceği görülmüştür. Bir başka ifade ile milyon kişi başına ölüm sayısı değişkeni sıralamasına göre kötü performans sergilemiş ülkeleri analizde etkin bulma yönünde tutarsız sonuçlar ortaya çıkabilmektedir. Bu çerçevede vaka ölüm hızı kullanarak doğrudan COVID'e bağlı ölümleri COVID vakalarının bir yüzddesi olarak ele almak değerlendirme sonuçlarının çıktı ile daha tutarlı olmasını sağladığı sonucuna ulaşılmıştır. Bu nedenle analizde üç girdi ve bir çıktının yer aldığı model kullanılmıştır. Bu kapsamda bulaşıcılıkla mücadele etkinliğini değerlendirmede olduğu gibi bu modelde de farklı ölçü birimlerini içeren değişkenler mevcuttur. Bu durumda analizin gerçekleştirilebilmesi için benzer şekilde ortalama normalizasyon prosedürü gerçekleştirilmiştir. Normalizasyon işlemi tamamlandıktan sonra veri analizi bulaşıcılıkla mücadele etkinliği modellerinde kullanılan deaR paketi ile gerçekleştirilmiştir. Buna göre değişken sayısı ve türüne ilişkin yapılan uygun tanımlamaların ardından analiz tamamlanmıştır. Yapılan analize göre birinci kümede yer alan ülkelerin COVID-19 tedavi etkinliği skorları Tablo 4.8'deki gibi sıralanmıştır.

**Tablo 4.8:** Birinci kümede yer alan ülkelerin tedavi etkinliği skorları.

| Sıra | Karar Verme Birimi | Etkinlik Skoru | Etkinlik Kodu | Sıra | Karar Verme Birimi | Etkinlik Skoru | Etkinlik Kodu |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 11 | Bahreyn | 1 | 1 | 142 | Yunanistan | 1,000332 | 0 |
| 51 | Güney Kore | 1 | 1 | 86 | Litvanya | 1,000344 | 0 |
| 120 | Singapur | 1 | 1 | 41 | Filipinler | 1,000346 | 0 |
| 66 | İzlanda | 1 | 1 | 94 | Malta | 1,000347 | 0 |
| 29 | Çin | 1 | 1 | 122 | Slovenya | 1,000347 | 0 |
| 141 | Yeni Zelenda | 1 | 1 | 63 | İsveç | 1,000366 | 0 |
| 129 | Tayland | 1 | 1 | 15 | Belçika | 1,000376 | 0 |
| 55 | Hindistan | 1 | 1 | 18 | Birleşik Krallık | 1,000396 | 0 |
| 72 | Katar | 1 | 1 | 110 | Panama | 1,000396 | 0 |
| 75 | Kıbrıs | 1,000016 | 1 | 61 | İspanya | 1,000409 | 0 |
| 7 | Avustralya | 1,000022 | 1 | 6 | Arnavutluk | 1,00041 | 0 |
| 17 | Birleşik Arap Emirlikleri | 1,000032 | 1 | 65 | İtalya | 1,000439 | 0 |
| 62 | İsrail | 1,000049 | 1 | 28 | Çekya | 1,000468 | 0 |
| 30 | Danimarka | 1,000062 | 1 | 121 | Slovakya | 1,000511 | 0 |
| 107 | Norveç | 1,000082 | 1 | 73 | Kazakistan | 1,000528 | 0 |
| 56 | Hollanda | 1,000102 | 1 | 126 | Suudi Arabistan | 1,000545 | 0 |
| 92 | Malezya | 1,000113 | 1 | 71 | Kanada | 1,000556 | 0 |
| 80 | Kuveyt | 1,000115 | 1 | 3 | ABD | 1,000615 | 0 |
| 133 | Türkiye | 1,000117 | 1 | 5 | Arjantin | 1,00065 | 0 |
| 68 | Japonya | 1,00013 | 1 | 54 | Hırvatistan | 1,000669 | 0 |
| 79 | Kosta Rika | 1,000141 | 1 | 127 | Şili | 1,000714 | 0 |
| 35 | Estonya | 1,000145 | 1 | 34 | Endonezya | 1,000888 | 0 |
| 64 | İsviçre | 1,000151 | 1 | 22 | Brezilya | 1,000956 | 0 |
| 114 | Portekiz | 1,000179 | 1 | 98 | Moldova | 1,000968 | 0 |
| 88 | Lüksemburg | 1,000183 | 1 | 135 | Ukrayna | 1,000973 | 0 |
| 14 | Belarus | 1,000184 | 1 | 113 | Polonya | 1,000976 | 0 |
| 42 | Finlandiya | 1,000196 | 1 | 77 | Kolombiya | 1,000994 | 0 |
| 8 | Avusturya | 1,000202 | 0 | 117 | Rusya | 1,001053 | 0 |
| 76 | Kırgızistan | 1,000204 | 0 | 115 | Romanya | 1,001143 | 0 |
| 60 | İrlanda | 1,000219 | 0 | 100 | Morityus | 1,001212 | 0 |
| 43 | Fransa | 1,000224 | 0 | 89 | Macaristan | 1,001259 | 0 |
| 2 | Almanya | 1,000239 | 0 | 24 | Bulgaristan | 1,001682 | 0 |
| 119 | Sırbistan | 1,000272 | 0 | 32 | Ekvador | 1,001823 | 0 |
| 83 | Letonya | 1,000273 | 0 | 20 | Bosna-Hersek | 1,002193 | 0 |
| 52 | Gürcistan | 1,000291 | 0 | 95 | Meksika | 1,002622 | 0 |
| 137 | Uruguay | 1,000301 | 0 | 112 | Peru | 1,002931 | 0 |
| 81 | Küba | 1,000322 | 0 | | | | |

Tablo 4.8'de verilen sonuçlara göre birinci kümenin tedavi etkinliği modelinde Bahreyn, Güney Kore, Singapur, İzlanda, Çin, Yeni Zelenda, Tayland, Hindistan ve Katar güçlü etkin; Kıbrıs ve Avustralya zayıf etkin olmak üzere toplam 11 ülke 'etkin' sınıfında

yer almıştır. Bu ülkelerden DSÖ bölge sınıflandırmasına göre Güney Doğu Asya Bölgesi'nde yer alan Tayland ve Hindistan ile Batı Pasifik Bölgesi'nde yer alan Çin dışındaki tüm ülkelerin yüksek gelir grubu ükeler olduğu görülmektedir. Tedavi etkinliği analizi kapsamında etkin bulunan bu ülkelerin (karar birimleri) sayıları ve ülkelerin etkinlik skorlarının histogram dağılımı ise R programı çıktısı olarak Şekil 4.8'deki gibi elde edilmiştir.




**Şekil 4.8:** Birinci kümenin tedavi etkinliği analiz bulguları.

Şekil 4.8'de verilen birinci kümedeki ülkelerin COVID-19 ile mücadelede tedavi etkinliği bulguları incelendiğinde 11 ülkenin etkin, 62 ülkenin ise etkin olmadığı görülmektedir. Bununla birlikte etkin olan ülkelerin etkinlik skorlarının histogram dağılımı da verilmiştir. Bu dağılım çerçevesinde tedavi etkinliği sınıfının tanımlanmasında potansiyel bölme noktası olarak 1,0002 değeri kullanılmıştır. Bu bölme noktası esas alındığında birinci kümede yer alan Birleşik Arap Emirlikleri, İsrail, Danimarka, Norveç, Hollanda, Malezya, Kuveyt, Türkiye, Japonya, Kosta Rika, Estonya, İsviçre, Portekiz, Lüksemburg, Belarus ve Finlandiya'da dahil olmak üzere toplamda 27 ülke tedavi 'etkin' ülke sınıfında, 46 ülke ise 'değil' sınıfında yer almıştır. Bu ülkeler DSÖ bölge sınıfına göre incelendiğinde ise sırasıyla 13 ülkenin Avrupa bölgesinde, 7 ülkenin Batı Pasifik bölgesinde, 4 ülkenin Doğu Akdeniz bölgesinde, 2 ülkenin Güney Doğu Asya bölgesinde ve 1 ülkenin Amerika bölgesinde yer aldığı görülmektedir.

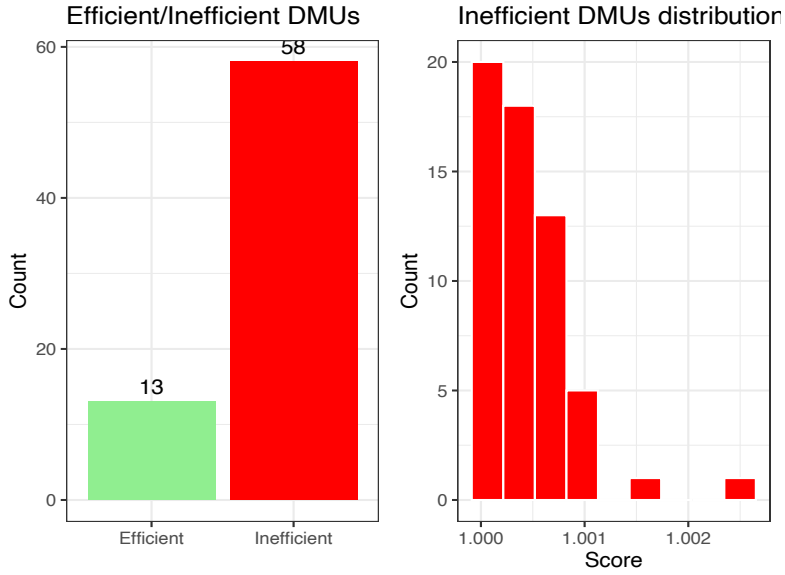
İkinci kümede yer alan ülkelerin tedavi etkinliğini hesaplamak için birinci kümenin tedavi etkinliği analizinde kullanılan girdi ve çıktı değişkenleri kullanılmıştır.

Ortalama normalizasyon işlemleri tamamlandıktan sonra analiz işlemleri için benzer süreçler izlenmiş ve ülkelerin tedavi etkinliği skorları Tablo 4.9'daki gibi elde edilmiştir.

**Tablo 4.9:** İkinci kümede yer alan ülkelerin tedavi etkinliği skorları.

| Sıra | Karar Verme Birimi | Etkinlik Skoru | Etkinlik Kodu | Sıra | Karar Verme Birimi | Etkinlik Skoru | Etkinlik Kodu |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 140 | Vietnam | 1 | 1 | 78 | Kongo | 1,000255 | 0 |
| 23 | Brunei | 1 | 1 | 39 | Fiji | 1,00028 | 0 |
| 40 | Fildişi Sahili | 1 | 1 | 74 | Kenya | 1,000317 | 0 |
| 101 | Mozambik | 1 | 1 | 9 | Azerbaycan | 1,000336 | 0 |
| 130 | Timor | 1 | 1 | 4 | Angola | 1,000338 | 0 |
| 97 | Moğolistan | 1 | 1 | 85 | Libya | 1,000339 | 0 |
| 47 | Gine | 1 | 1 | 134 | Uganda | 1,000347 | 0 |
| 90 | Madagaskar | 1 | 1 | 109 | Pakistan | 1,000376 | 0 |
| 37 | Etiyopya | 1 | 1 | 48 | Guatemala | 1,000402 | 0 |
| 93 | Mali | 1 | 1 | 144 | Zimbabve | 1,00045 | 0 |
| 70 | Kamerun | 1 | 1 | 82 | Lesotho | 1,000477 | 0 |
| 45 | Gambia | 1 | 1 | 49 | Guyana | 1,000488 | 0 |
| 46 | Gana | 1 | 1 | 59 | İran | 1,000499 | 0 |
| 104 | Nepal | 1,000011 | 0 | 69 | Kamboçya | 1,000513 | 0 |
| 128 | Tacikistan | 1,000023 | 0 | 125 | Surinam | 1,000517 | 0 |
| 25 | Cape Verde | 1,000024 | 0 | 36 | Esvatini | 1,000523 | 0 |
| 31 | Dominik Cumhuriyeti | 1,000039 | 0 | 67 | Jamaika | 1,000555 | 0 |
| 138 | Ürdün | 1,000077 | 0 | 91 | Malavi | 1,000586 | 0 |
| 116 | Ruanda | 1,000085 | 0 | 57 | Honduras | 1,000602 | 0 |
| 44 | Gabon | 1,000086 | 0 | 53 | Haiti | 1,000612 | 0 |
| 27 | Cibuti | 1,000089 | 0 | 19 | Bolivya | 1,000615 | 0 |
| 105 | Nijerya | 1,000098 | 0 | 33 | El Salvador | 1,000637 | 0 |
| 139 | Venezuela | 1,000103 | 0 | 103 | Namibya | 1,000751 | 0 |
| 16 | Beliz | 1,000109 | 0 | 26 | Cezayir | 1,000752 | 0 |
| 13 | Barbados | 1,000114 | 0 | 111 | Paraguay | 1,000756 | 0 |
| 108 | Özbekistan | 1,000115 | 0 | 10 | Bahamalar | 1,000761 | 0 |
| 21 | Botsvana | 1,000124 | 0 | 123 | Sri Lanka | 1,000774 | 0 |
| 58 | Irak | 1,000137 | 0 | 50 | Güney Afrika | 1,000805 | 0 |
| 143 | Zambiya | 1,000143 | 0 | 131 | Trinidad ve Tobago | 1,000825 | 0 |
| 106 | Nikaragua | 1,00019 | 0 | 132 | Tunus | 1,000826 | 0 |
| 12 | Bangladeş | 1,000198 | 0 | 102 | Myanmar | 1,000855 | 0 |
| 38 | Fas | 1,000201 | 0 | 1 | Afganistan | 1,00105 | 0 |
| 136 | Umman | 1,000212 | 0 | 84 | Liberya | 1,00109 | 0 |
| 87 | Lübnan | 1,000227 | 0 | 96 | Mısır | 1,001514 | 0 |
| 118 | Senegal | 1,000243 | 0 | 124 | Sudan | 1,002552 | 0 |
| 99 | Moritanya | 1,000249 | 0 | | | | |

İkinci kümenin tedavi etkinliği sonuçlarına göre Vietnam, Brunei, Fildişi Sahili, Mozambik, Timor, Moğolistan, Gine, Madagaskar, Etiyopya, Mali, Kamerun, Gambia ve Gana olmak üzere 13 ülke etkin bulunurken, 58 ülkenin etkin olmadığı görülmektedir. Karar birimi olan ülkelerin etkinlik skorlarının dağılımı Şekil 4.9'da verilmiştir.




**Şekil 4.9:** İkinci kümenin tedavi etkinliği analiz bulguları.

Şekil 4.9'da DSÖ Afrika bölgesi ülkelerinin ve DB gelir grubu sınıflandırmasına göre alt ve alt orta gelir grubu ülkelerin yer aldığı ikinci kümenin tedavi etkinliği analizine ilişkin etkin ülke sayıları ve etkinlik skorlarının dağılımları verilmiştir. Bu kümede etkin bulunan ülkeler bölgelerine ve gelir sınıflandırmasına göre incelendiğinde, 9 ülkenin Afrika bölgesinde, 3 ülkenin Batı Pasifik Bölgesinde ve 1 ülkenin Güney Doğu Asya Bölgesi'nde yer aldığı ve gelir grubuna göre ise Brunei dışındaki tüm ülkelerin alt ve alt orta gelir grubunda yer aldığı görülmektedir. Bu kapsamda analiz çıktı yönelimli olarak gerçekleştirildiği için analiz sonucu elde edilen etkinlik skorunun sıralaması ile modelde yer alan çıktı değişkeninin sıralaması karşılaştırılmıştır. Bu kapsamda analizde Gambia, Madagaskar ve Mali gibi yüksek vaka ölüm hızına sahip ülkelerin etkin olarak sınıflandırıldığı görülmektedir. Bunun en temel nedeni bu ülkelerde girdi değişkeni olarak esas alınan sağlık çalışanı, hastane sayısı ve sağlık harcaması değişkenlerinin 0'a çok yakın değerler almasıdır. Bu çerçevede ikinci kümede yer alan ülkelerin genel olarak sağlık sisteminin temel fonksiyonlarını yerine getirebilecek kadar sağlık kaynağına sahip olmaması nedeniyle bu kümede tedavi etkinliği bulguları analiz mantığına aykırı sonuçlar yansıtmaktadır. DSÖ bu bağlamda bir ülkede temel düzeyde sağlık hizmetlerinin

sunulabilmesi ve birinci basamak müdahaleleri ile yeterli kapsama sağlanabilmesi için en azından bin kişi başına 2,3 sağlık çalışanına (hekim, hemşire ve ebe) ihtiyaç olduğunu tahmin etmektedir (WHO, 2016). Buna göre birinci kümede yer alan ülkelerin tamamı bu sınırın üzerinde sağlık çalışanına sahip olmasına rağmen ikinci kümede yer alan ülkelerin yaklaşık %50'sinin (35 ülke) sağlık çalışanı sayısının tahmin edilen eşik değerin altında olduğu görülmektedir. Bu nedenle ikinci kümede yer alan ülkelerin temel düzeyde sağlık hizmetlerini sunacak kadar iş gücü ve sağlık kaynağına sahip olmaması nedeniyle bu ülkelerin tedavi etkinliğini değerlendirmek ve bunu açıklamak anlamlı olmayacaktır. Bir başka ifade ile herhangi bir sistemin etkinliğini değerlendirebilmek için o sistemi oluşturan temel unsurların varlığı gereklidir. Bu kapsamda çalışmanın ikinci kümesinde yer alan ülkelerin tedavi etkinliği bulguları bu gerçeği açıklamak için verilmiş olup, üçüncü aşamada ikinci kümenin tedavi etkinliğini açıklamak için herhangi bir alt analiz yapılmamıştır. Bir sonraki bölümde birinci ve ikinci kümenin bulaşıcılıkla mücadele etkinliği ile birinci kümenin tedavi etkinliğini açıklamaya yönelik CART ve rastgele orman algoritması kullanılarak alt analizler yapılacak ve buna göre elde edilen bulgulara yer verilecektir.

Araştırmanın bir sonraki aşamasında elde edilen bulgulara geçmeden önce ikinci aşamada belirlenen karşılaştırma grupları esas alınarak yapılan analizlerin farklı senaryolar ile karşılaştırması yapılmıştır. Buna göre ilk aşamada kullanılan k-ortalamalar algoritmasında belirlenen küme grupları esas alınarak Veri Zarflama Analizi uygulanmıştır. Bu kapsamda ilk aşamada farklı endekslerin ve göstergelerin farklı küme sayısı (k=3 ve k=4) önerileri dikkate alınarak oluşturulan farklı karşılaştırma grupları için iki kümeli yaklaşımda izlenen tüm analiz süreçleri uygulanmıştır. Bu analizler doğrultusunda farklı küme sayısı ve karşılaştırma grupları senaryolarına göre ülkelerin etkinlik skorlarının ve etkinlik sınıfının değişimi elde edilmiştir. Buna göre optimum küme sayısı için farklı senaryoların esas alındığı bulaşıcılıkla mücadele ve tedavi etkinliği analizine ilişkin bulgular Ek 2'de yer verilmiştir.

Ek 2'de verilen farklı karşılaştırma gruplarını esas alan analiz bulguları incelendiğinde, iki küme yaklaşımı esas alındığında ilk kümede yer alan ve bulaşıcılıkla mücadelede etkin olmayan ABD, Almanya, Arjantin, Avustralya, Avusturya, Belçika, Birleşik Krallık, Danimarka, Fransa, Güney Kore, Hollanda, İspanya, İsveç, Kıbrıs, Küba, Lüksemburg, Norveç Panama, Singapur, Türkiye ve Yunanistan gibi 58 ülkenin

48'inin diğer küme yaklaşımlarında da bulaşıcılıkla mücadelede etkin olmadığı görülmüştür. İki kümeli analizde ilk kümede bulaşıcılıkla mücadelede etkin bulunan Çin, Japonya, Bosna-Hersek, Endonezya, Tayland, Hindistan, Meksika, Morityus, Suudi Arabistan, Filipinler ve Kırgızistan farklı küme grupları ile yapılan göreceli analizlerde de bulaşıcı etkin bulunan ülkeler olmuştur.

Tedavi etkinliğinde ise iki kümeli yaklaşımda etkin bulunan 27 ülkeden Belarus ve Finlandiya dışındaki 25 ülke (Estonya, İzlanda, Yeni Zelenda, Avustralya, Bahreyn, Birleşik Arap Emirlikleri, Danimarka, Güney Kore, Hollanda, İsrail, İsviçre, Katar, Kıbrıs, Kosta Rika, Kuveyt, Lüksemburg, Malezya, Norveç, Portekiz, Singapur, Türkiye, Çin, Hindistan, Japonya ve Tayland) üç ve dört kümeli yaklaşımda da etkin olan ülkeler olmuştur. Ancak üç ve dört kümeli yaklaşımda Peru ve Meksika gibi yüksek vaka ölüm hızına (%5,9 ve %5,37) sahip iki ülkenin de ilave olarak etkin bulunduğu görülmüştür. Farklı senaryolar ile elde edilen etkinlik bulgularının modellerde yer alan çıktı değişkenleri ile birlikte incelenmesi, hem iki kümeli yaklaşımda elde edilen sonuçların tutarlılığını göstermesi hem de farklı küme yaklaşımlarının olası sapmalı yönlerini göstermesi bakımından önemlidir. Bu bulgular çerçevesinde optimum küme sayısı olarak iki kümenin kullanıldığı yaklaşım esas alınarak üçüncü aşamadaki analizler gerçekleştirilmiştir. Bununla birlikte birinci kümede yer alan ülkeler hem bulaşıcılıkla mücadele hem de tedavi etkinliği boyutu ile değerlendirildiği için bu ülkelerin iki ayrı etkinlik sınıfını bir bütün olarak değerlendirebilmek için Tablo 4.10'da iki farklı etkinlik türüne göre ülkelerin yer aldığı sınıfa ilişkin bilgilere yer verilmiştir.

**Tablo 4.10:** Birinci kümedeki ülkelerin etkinlik sınıfı dağılımı.

| BD-TD | | | BD-TE | | BE-TD | BE-TE |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ABD | İrlanda | Panama | Avustralya | Katar | Arnavutluk | Belarus |
| Almanya | İspanya | Peru | Bahreyn | Kıbrıs | Bosna-Hersek | Çin |
| Arjantin | İsveç | Polonya | Birleşik Arap Emirlikleri | Kosta Rika | Ekvador | Hindistan |
| Avusturya | İtalya | Romanya | Danimarka | Kuveyt | Endonezya | Japonya |
| Belçika | Kanada | Rusya | Estonya | Lüksemburg | Filipinler | Tayland |
| Birleşik Krallık | Kolombiya | Sırbistan | Finlandiya | Malezya | Kazakistan | |
| Brezilya | Küba | Slovakya | Güney Kore | Norveç | Kırgızistan | |
| Bulgaristan | Letonya | Slovenya | Hollanda | Portekiz | Meksika | |
| Çekya | Litvanya | Şili | İsrail | Singapur | Morityus | |
| Fransa | Macaristan | Ukrayna | İsviçre | Türkiye | Suudi Arabistan | |
| Gürcistan | Malta | Uruguay | İzlanda | Yeni Zelenda | | |
| Hırvatistan | Moldova | Yunanistan | | | | |

BD: Bulaşıcılıkla mücadelede etkin değil; BD: Bulaşıcılıkla mücadelede etkin; TD: Tedavi etkin değil; TE: Tedavi etkin

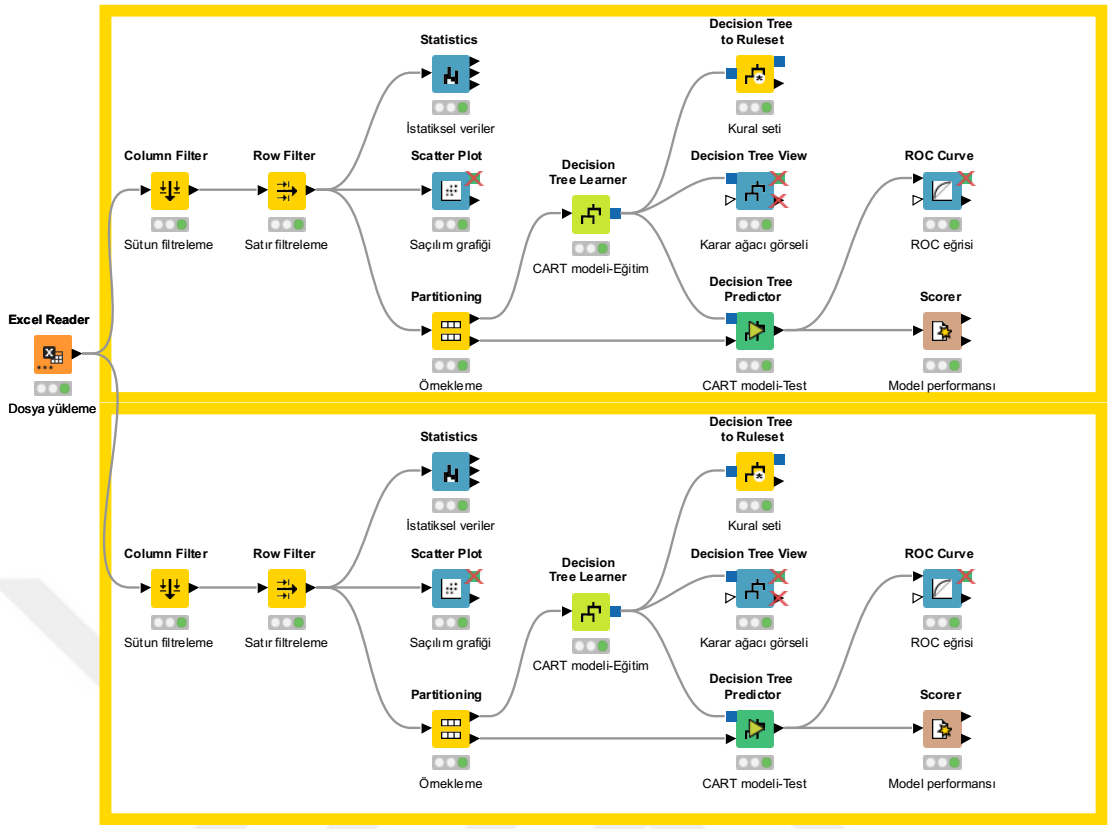
Tablo 4.10 incelendiğinde ilk kümede yer alan 73 ülkeden Belarus, Çin, Hindistan, Japonya ve Tayland tam etkin ülkeler olurken, 10 ülkenin yalnızca bulaşıcılıkla mücadelede etkin, 22 ülkenin yalnızca tedavi etkin ve 36 ülkenin ise her iki etkinlik türünde de etkin olmadığı görülmektedir. Bir sonraki aşamada ülkelerin etkinlik sınıflarını açıklayan faktörleri belirlemek için yapılan alt analizlere ilişkin bulgular verilecektir.

## 4.3. CART ve Rastgele Orman Algoritması Bulguları

Araştırmanın son aşamasında Veri Zarflama Analizi skoruna göre COVID-19 bulaşıcılıkla mücadele etkinliği ve tedavi etkinliği modellerinde "Etkin" veya "Değil" olarak kodlanan ülkelerin etkin olma durumlarını açıklayan faktörlerin belirlenmesi için denetimli makine öğrenme algoritmalarından CART algoritması ve rastgele orman algoritmasının sınıflandırma modeli kullanılmıştır. KNIME programı üzerinden yapılan uygulamaya ilişkin bulgular bulaşıcılıkla mücadele ve tedavi etkinliği olmak üzere iki alt başlık altında verilmiştir. Buna göre bulaşıcılıkla mücadele etkinliği analizlerinde her iki alt küme için CART ve rastgele orman algoritması ayrı ayrı uygulanacak şekilde toplam dört alt analiz; tedavi etkinliği analizi ise yalnızca ilk küme için CART ve rastgele orman algoritması iki alt analizi olmak üzere toplamda altı alt analize dair bulguları içermektedir. KNIME programında gerçekleştirilen bu analizlere ilave olarak rastgele orman algoritmasında açıklayıcı değişkenlerin önem düzeylerini belirlemek için ayrıca R Studio programı da kullanılmış ve elde edilen bulgulara yer verilmiştir.

### 4.3.1. Birinci Kümedeki Ülkelerin Bulaşıcılıkla Mücadele Etkinliği CART Modeli Bulguları

Çalışmada bulaşıcılıkla mücadele etkinliği sınıfının açıklayıcılarını belirleyebilmek için oluşturulan iki kümenin ayrı ayrı değerlendirilmesi ve buna göre kural setinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Buna göre birinci ve ikinci kümede yer alan ülkelerin küme içinde görece değerlendirilmesi sonucunda belirlenen VZA etkinlik puanlarına göre atanan sınıf değerleri ve bu ülkelerin etkinlik durumunu açıklayabilecek değişkenlerin yer aldığı Excel dosyası hazırlanmıştır. Daha sonra KNIME üzerinden CART yöntemine göre sınıflandırma probleminin çözümlenebilmesi için Şekil 4.10'da verilen akış hazırlanmıştır.




**Şekil 4.10:** Sınıflandırma probleminin CART algoritması ile çözümü için kullanılan KNIME programı iş akışı.

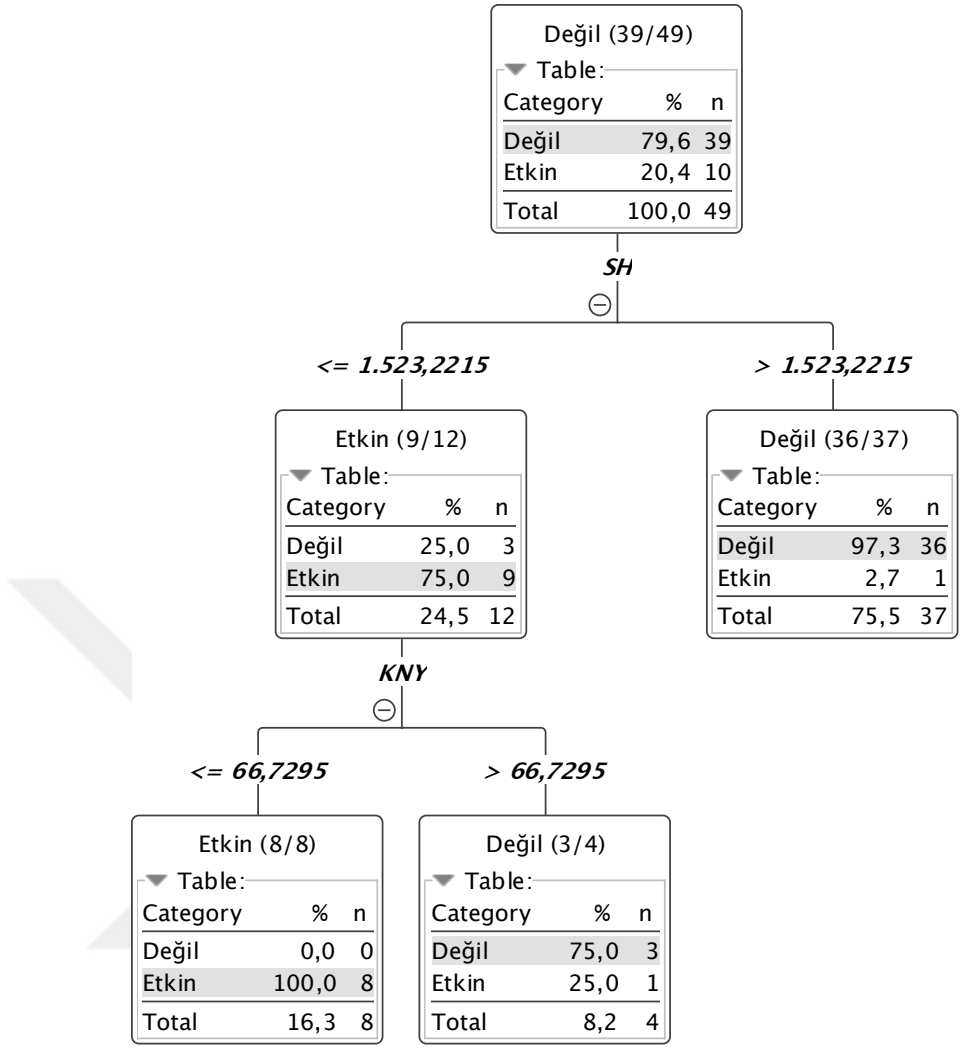
Şekil 4.10'da verilen akışta öncelikle Excel dosyasının çağrılması için dosya yükleme düğümü kullanılmıştır. Karar birimi olarak farklı etkinlik (bulaşıcılıkla mücadele etkinliği/tedavi etkinliği) durumunu gösteren hedef değişkenlere ait sütunu analiz sırasına göre filtrelemek için sütun filtreleme, aynı Excel dosyasında farklı kümede yer alan ülkeleri ayrı ayrı değerlendirebilmek için ise satır filtreleme düğümleri kullanılmıştır. Daha sonra veri setinde yer alan değişkenlere ait ortalama değer, minimum ve maksimum değer, veri değerlerinin histogram dağılımı ve diğer göstergeleri gözlemlemek için istatiksel veriler düğümü kullanılmıştır. Veri setinde yer alan hedef değişkenin kullanılan değişkenler ile açıklanabilme durumunu görsel olarak ön değerlendirmeye tabi tutmak ve bu sayede veri setini tanıyabilmek için saçılım grafiği kullanılmıştır. Denetimli öğrenme problemlerinde veri seti eğitim ve test veri seti olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Örnekleme düğümünde veri setinin hedef değişkenin niteliğini esas alan tabakalı örnekleme yöntemi kullanılarak eğitim veri seti (%70) ve test seti (%30) düzenlemeleri yapılmış ve bölünme gerçekleştirilmiştir. Ancak birinci kümede bulaşıcılıkla mücadele etkinliğinin analizine özgü olmak üzere hedef değişken sınıflarının dengesizliği göz önüne alınarak eğitim veri seti (%66,7) ve test veri seti (%33,3) olarak

düzenlenmiştir. Buna göre yapılan tabakalı örnekleme işlemi sonucunda eğitim setinde yer alan 49 ülkeye ilişkin bilgiler Tablo 4.11'de verilmiştir.

**Tablo 4–11:** Birinci kümenin bulaşıcılıkla mücadele modeli için CART algoritması eğitim seti

| Ülkeler | SH | KNY | BEK | Ülkeler | SH | KNY | BEK |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Almanya | 7.031,9 | 77,4 | Değil | Katar | 3.928,0 | 99,2 | Değil |
| ABD | 11.702,4 | 82,5 | Değil | Kıbrıs | 3.218,9 | 66,8 | Değil |
| Arjantin | 2.089,5 | 92,0 | Değil | Kırgızistan | 269,4 | 36,6 | Etkin |
| Arnavutluk | 1.010,0 | 61,2 | Etkin | Kosta Rika | 1.737,4 | 80,1 | Değil |
| Birleşik Arap Emirlikleri | 3.903,9 | 86,8 | Değil | Küba | 2.594,5 | 77,1 | Değil |
| Birleşik Krallık | 5.577,4 | 83,7 | Değil | Letonya | 2.331,2 | 68,2 | Değil |
| Bosna-Hersek | 1.517,0 | 48,6 | Etkin | Macaristan | 2.407,7 | 71,6 | Değil |
| Brezilya | 1.529,4 | 86,8 | Değil | Malezya | 1.122,8 | 76,6 | Değil |
| Bulgaristan | 2.087,8 | 75,3 | Değil | Malta | 4.694,7 | 94,7 | Değil |
| Çekya | 3.846,0 | 73,9 | Değil | Meksika | 1.192,6 | 80,4 | Etkin |
| Çin | 962,3 | 60,3 | Etkin | Morityus | 1.333,5 | 40,8 | Etkin |
| Danimarka | 6.350,5 | 88,0 | Değil | Norveç | 7.168,4 | 82,6 | Değil |
| Ekvador | 931,0 | 64,0 | Etkin | Panama | 2.600,2 | 68,1 | Değil |
| Endonezya | 414,8 | 56,0 | Etkin | Peru | 753,3 | 78,1 | Değil |
| Estonya | 2.919,4 | 69,1 | Değil | Polonya | 2.234,6 | 60,0 | Değil |
| Fransa | 5.740,4 | 80,7 | Değil | Rusya | 2.278,2 | 74,6 | Değil |
| Güney Kore | 3.782,1 | 81,4 | Değil | Sırbistan | 1.660,6 | 56,3 | Değil |
| Hindistan | 190,7 | 34,5 | Etkin | Singapur | 5.827,6 | 100,0 | Değil |
| Hollanda | 6.612,8 | 91,9 | Değil | Slovakya | 2.268,1 | 53,7 | Değil |
| İspanya | 4.047,8 | 80,6 | Değil | Şili | 2.425,6 | 87,6 | Değil |
| İsrail | 3.457,0 | 92,5 | Değil | Ukrayna | 945,3 | 69,5 | Değil |
| İsveç | 6.346,6 | 87,7 | Değil | Uruguay | 2.110,6 | 95,4 | Değil |
| İtalya | 4.032,0 | 70,7 | Değil | Yeni Zelenda | 4.510,8 | 86,6 | Değil |
| Japonya | 4.628,0 | 91,7 | Etkin | Yunanistan | 2.653,0 | 79,4 | Değil |
| Kanada | 6.049,9 | 81,5 | Değil | | | | |

Belirlenen eğitim seti ile karar ağacı modeli oluşturulurken gini indeksini esas alan CART modeli tercih edilmiş ve buna uygun düzenlemeler ilgili düğümde yapılmıştır. Eğitim setinde öğrenilen model ile ortaya çıkan karar ağacının görünümü ve bu karar ağacına ilişkin kural seti akışta belirtilen düğümler ile elde edilmiştir. Buna göre birinci kümede yer alan ülkelerin eğitim verisi uygulaması sonucunda ortaya çıkan karar ağacı modeli Şekil 4.11'de verilmiştir.




**Şekil 4.11:** Birinci kümedeki ülkelerin bulaşıcılıkla mücadele etkinlik sınıfı karar ağacı modeli.

Şekil 4.11'deki CART algoritması ile oluşturulan karar ağacı, eğitim setinde yer alan 49 ülkeden etkin olmayan 39 ülkenin 'değil' sınıfında yer alma durumunu açıklamaktadır. Buna göre birinci kümede yer alan ülkelerin bulaşıcılıkla mücadele etkinliğini açıklamada kişi başına yapılan sağlık harcamaları (SH) değişkeni kök düğüm olarak yer almıştır. Bu özniteliğe göre sağlık harcaması 1.523,22 doların üzerinde olan 37 ülkeden Japonya dışındaki 36 ülke bulaşıcılıkla mücadelede etkin olamamıştır. Bu durum birkaç nedenden kaynaklanabilir. Özellikle bulaşıcılıkla mücadele etkinliğinin değerlendirildiği ilk VZA modelinin iki girdisinden biri olan tam aşılanan kişi yüzdesi değerinin fazla olduğu ancak çıktı değişkeni olan milyon kişi başına vaka sayısının görece sınırlandırılamadığı durumlar ülkelerin etkin olmamasına yol açmaktadır. Buna göre tam aşılanan kişi yüzdesi sıralamasına göre incelendiğinde %75 üzeri tam aşılamanın yapıldığı 34 ülkeden yalnızca Çin, Japonya ve Ekvador'un etkin olması bu durumu

yansıtmaktadır. Bu nedenle kişi başına sağlık harcaması değişkeni, aşılar için yüksek düzeyde harcamaların bulaşıcılıkla mücadele etkinliğini genel olarak sağlayamadığını yansıtabilir. Bununla birlikte sağlık harcamalarının kök düğümde yer almasının bir nedeni ise sağlık harcamasının artması ile toplumda daha fazla COVID-19 vakasını tespit etmeye imkan sağlayacak test kiti gibi tanıya yönelik harcamaların artmasıdır. Bu nedenle bulaşıcılıkla mücadele etkinliğinde etkin olmamayı açıklayan sağlık harcaması değişkeninin etkisini iki yönden değerlendirmek mümkündür. Sağlık harcaması 1.523,22 doların altında yer alan eğitim setindeki 12 ülkeden ise 9'u etkin ve 3'ü değil grubundadır. Bunu açıklayan alt düğümde ise kentsel nüfus yüzdesi (KNY) yer almıştır. Buna göre sağlık harcaması belirlenen kesim değerinin altında olan ülkelerden kentsel nüfus yüzdesi 66,73 değerinin üzerinde olan ülkelerin 'değil' sınıfında olduğu görülmektedir. Bu kapsamda eğitim setinde yer alan Ukrayna, Peru ve Malezya bu karar kuralı ile "değil" sınıfında yer alan ülkeler olmuştur. Bu durum fiziksel temasın daha yoğun olduğu kentsel popülasyonu yüksek ülkelerde COVID-19'a karşı bulaşıcılıkla mücadele etkinliğini sağlamanın daha güç olabileceğini gösterebilir. Bununla birlikte birinci kümenin eğitim seti ile öğrenilen karar ağacı modelinin kural seti ($KNY$ <= 66,7295 AND $SH$ <= 1523,2215=> "Etkin"; $KNY$ > 66,7295 AND $SH$ <= 1523,2215=> "Değil"; $SH$ > 1523,2215AND TRUE => "Değil") olarak belirlenmiştir.

Eğitim setinde öğrenilen karar ağacı modeli test veri setinde yer alan ülkelerin hedef değişkenlerinin tahmin edilmesinde kullanılmıştır. Eğitim seti ile öğrenilen model ile test setinde yer alan ülkelerin hedef değişkenlerine ilişkin yapılan tahminleri, gerçek değerleri ve ülkelerin 'etkin' veya 'değil' şeklinde sınıflandırılması olasılıkları Tablo 4.12'de verilmiştir.

**Tablo 4.12:** Birinci kümenin bulaşıcılıkla mücadele etkinliği sınıfı için CART tahmin sonuçları.

| Ülkeler | SH | KNY | BEK | Tahmin (BEK) | P (BEK= Değil) | P (BEK= Etkin) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Avustralya | 5.930,0 | 86,1 | Değil | Değil | 0,973 | 0,027 |
| Avusturya | 6.400,9 | 58,5 | Değil | Değil | 0,973 | 0,027 |
| Bahreyn | 2.098,3 | 89,4 | Değil | Değil | 0,973 | 0,027 |
| Belarus | 1.285,7 | 79,0 | Etkin | Değil | 0,750 | 0,250 |
| Belçika | 5.883,1 | 98,0 | Değil | Değil | 0,973 | 0,027 |
| Filipinler | 419,0 | 47,1 | Etkin | Etkin | 0,000 | 1,000 |
| Finlandiya | 4.896,9 | 85,4 | Değil | Değil | 0,973 | 0,027 |
| Gürcistan | 1.107,5 | 59,0 | Değil | Etkin | 0,000 | 1,000 |
| Hırvatistan | 2.229,0 | 57,2 | Değil | Değil | 0,973 | 0,027 |
| İrlanda | 6.657,6 | 63,4 | Değil | Değil | 0,973 | 0,027 |
| İsviçre | 8.493,3 | 73,8 | Değil | Değil | 0,973 | 0,027 |
| İzlanda | 5.099,8 | 93,9 | Değil | Değil | 0,973 | 0,027 |
| Kazakistan | 1.001,7 | 57,5 | Etkin | Etkin | 0,000 | 1,000 |
| Kolombiya | 1.335,9 | 81,1 | Değil | Değil | 0,750 | 0,250 |
| Kuveyt | 2.922,3 | 100,0 | Değil | Değil | 0,973 | 0,027 |
| Litvanya | 2.931,8 | 67,9 | Değil | Değil | 0,973 | 0,027 |
| Lüksemburg | 6.843,5 | 91,2 | Değil | Değil | 0,973 | 0,027 |
| Moldova | 876,8 | 42,7 | Değil | Etkin | 0,000 | 1,000 |
| Portekiz | 3.605,9 | 65,8 | Değil | Değil | 0,973 | 0,027 |
| Romanya | 2.012,4 | 54,1 | Değil | Değil | 0,973 | 0,027 |
| Slovenya | 3.767,2 | 54,8 | Değil | Değil | 0,973 | 0,027 |
| Suudi Arabistan | 2.696,3 | 84,1 | Etkin | Değil | 0,973 | 0,027 |
| Tayland | 774,0 | 50,7 | Etkin | Etkin | 0,000 | 1,000 |
| Türkiye | 1.260,8 | 75,6 | Değil | Değil | 0,750 | 0,250 |

Tablo 4.12 incelendiğinde test setinde yer alan 24 ülkeden gerçekte etkin olmayan Gürcistan ve Moldova'nın 'etkin' ve gerçekte etkin olan Belarus ve Suudi Arabistan'ın 'değil' olarak tahmin edilmesi dışında tüm ülkelerin sınıf tahminleri gerçek değerleri ile tutarlı olmuştur. Test setinde yer alan Türkiye ve Kolombiya "$KNY$ > 66,7295 AND $SH$ <= 1523,2215=> "Değil"" karar kuralına göre öznitelikler açısından benzer yapıda olduğu eğitim kümesindeki ülkeler olan Peru, Ukrayna ve Malezya ile paralel olarak doğru şekilde sınıflandırılmıştır. Test setinde yapılan tahminler sonucunda modelin performansını ortaya koyan karmaşıklık parametresini elde etmek amacıyla KNIME'da 'model performansı' ve 'ROC eğrisi' düğümleri kullanılmıştır. Buna göre modelin performansını gösteren karmaşıklık parametresi ve modelin doğruluk oranına ilişkin çeşitli göstergeler Tablo 4.13'te verilmiştir.

**Tablo 4.13:** Birinci kümenin bulaşıcılıkla mücadele etkinliği sınıfı CART modeli tahmininin karmaşıklık matrisi.

| | | Tahmin Edilen Sınıf | |
|---|---|---|---|
| | | Değil | Etkin |
| **Gerçek Sınıf** | Değil | 17 | 2 |
| | Etkin | 2 | 3 |
| **Performans Göstergeleri** | Doğruluk oranı | 0,833 | |
| | Hata oranı | 0,167 | |
| | Cohen's kappa | 0,495 | |

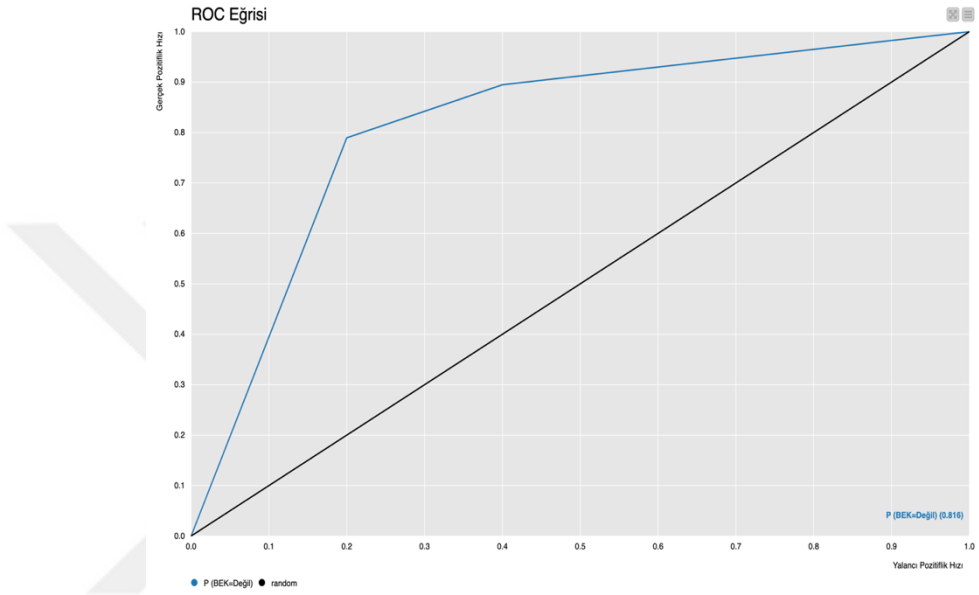
Modelde etkin olmayan ülkeler açıklandığı için 'değil' sınıfı pozitif değişken olarak modelde tanımlanmıştır. Buna göre gerçek pozitif (TP) 17 ülke ve gerçek negatif (TN) 3 ülke olmak üzere toplamda 20 ülkenin sınıfı doğru tahmin edilmiş ve modelin doğruluk oranının %83,3 gibi oldukça yüksek bir değere ulaştığı görülmektedir. İki sonuçlu tahminler arasındaki karşılaştırmalı uyuşmanın güvenilirliğini ifade Cohen'in kappa katsayısı ise 0,495 olarak elde edilmiştir. Bu da yapılan tahminlerin rastgele olmadığı ve değerlendirmenin uyumlu olduğunu göstermektedir. Birinci kümenin bulaşıcılıkla mücadele etkinliği için uygulanan CART modelinin performansını değerlendirmek üzere karmaşıklık matrisi kullanılarak elde edilen diğer performans değerlendirme ölçütleri ise Tablo 4.14'te verilmiştir.

**Tablo 4.14:** Birinci kümenin bulaşıcılıkla mücadele etkinliği sınıfı CART modeli tahmininin başarı ölçütleri.

| Sınıf | Kesinlik | Sensitivite | Spesifite | F Skoru |
|---|---|---|---|---|
| **Değil** | 0,895 | 0,895 | 0,6 | 0,895 |
| **Etkin** | 0,6 | 0,6 | 0,895 | 0,6 |

Tablo 4.14'te verilen kesinlik ölçütü sınıf değeri bazında yapılan tahminlerden, ilgili sınıf değerinin ne kadarının doğru tahmin edildiğini yansıtmaktadır. Buna göre 'değil' sınıfının yüksek doğrulukla tahmin edildiği görülmektedir. Bu kapsamda 'etkin' sınıfı değerinin 'değil' sınıfından daha az olduğu bu veri setinde 'etkin' sınıfının kesinlik değeri 0,6 olarak elde edilmiştir. Modelin ne kadar iyi ölçüm yaptığını gösteren hassasiyet (sensitivite) ve spesifite (özgüllük) ölçütleri de modelin iyi performans gösterdiğini yansıtmaktadır. Hassasiyet ve kesinlik değerlerinin sınıf düzeyinde aynı olması nedeniyle onun harmonik ortalaması olarak ifade edilen F skoru da benzer şekilde performansın aynı düzeyde olduğunu yansıtmıştır. Farklı algoritmalar ile ortaya çıkarılan modellerin performansını karşılaştırmada kullanılan performans ölçütlerinin yanı sıra, sınıflandırma

problemlerinde bunlara ilave olarak işlem karakteristik (Receiver Operating Characteristic, ROC) eğrisi ve eğri altında kalan alan (area under the curve, AUC) metrikleri sıklıkla kullanılmaktadır. Buna göre KNIME programı ile birinci kümenin bulaşıcılıkla mücadele etkinliği CART modelinde ikili sınıflandırmayı esas alarak yapılan tahminlerin performansını değerlendirmeye imkan sağlayan ROC eğrisi Şekil 4.12'deki gibi elde edilmiştir.

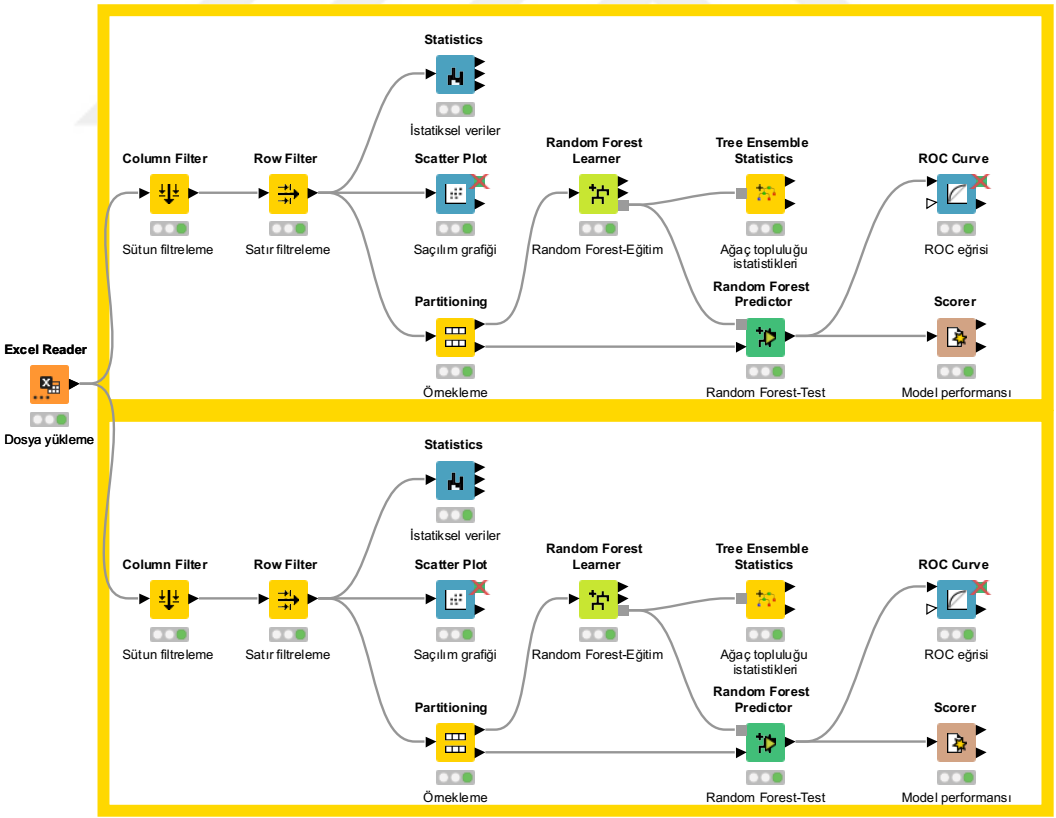



**Şekil 4.12:** Birinci kümenin bulaşıcılıkla mücadele etkinliği CART modeli tahmininin ROC eğrisi.

Şekil 4.12'de verilen ROC eğrisi, gerçek pozitiflik hızı (TP/(TP+FN)) ve yalancı pozitfilik hızı (FP/(FP+TN)) olmak üzere iki parametreyi yansıtmaktadır. Buna göre iki eksenden geçen çizgi rastgele tahmini (%50 olasılığı) ifade etmektedir. Bu metrikte çizilen ROC eğrisinin altında kalan alan ne kadar fazlaysa modelin sınıfları tahmin etme başarısı o kadar iyidir. Bu kapsamda Şekil'de verilen ROC eğrisi altındaki alan değeri 0,816 olarak hesaplanmıştır. Bu değer birinci kümenin bulaşıcılıkla mücadele etkinliği sınıfını ayırt etmede CART modelinin başarılı bir tahmin performansı gösterdiğini ifade etmektedir.

### 4.3.2. Birinci Kümedeki Ülkelerin Bulaşıcılıkla Mücadele Etkinliği Rastgele Orman Modeli Bulguları

Bulaşıcılıkla mücadele etkinliği sınıfını açıklamak için araştırmada kullanılan CART algoritmasının yanı sıra topluluk öğrenme yöntemlerinden biri olan rastgele orman (random forest) algoritması kullanılmıştır. CART algoritmasında tek bir ağaç kullanılarak ortaya çıkarılan kural seti yerine birden fazla karar ağacının birlikte değerlendirme yapmasını sağlayan rastgele orman algoritmasının kullanılması pek çok çalışmada model performansını olumlu etkilemiştir. Bu kapsamda gözlemlerin etkin olma durumunu ifade eden hedef değişkeni rastgele orman algoritması ile açıklayabilmek için temelde KNIME programı kullanılmıştır. Ancak KNIME ile elde edilen bulgulara ek olarak rastgele orman algoritması ile modelde kullanılacak değişkenlerin önem düzeylerini belirleyebilmek için ek olarak aynı eğitim ve test veri setleri kullanılarak R Studio programı ile destekleyici analizler yapılmıştır. Bunun için R Studio programında 'caret', 'dplyr' ve 'randomForest' paketleri kullanılmıştır. Rastgele orman algoritmasının uygulanması için KNIME programında hazırlanan iş akışı Şekil 4.13'te verilmiştir.




**Şekil 4.13:** Sınıflandırma probleminin rastgele orman algoritması ile çözümü için kullanılan KNIME programı iş akışı.

KNIME programında rastgele orman algoritması için hazırlanan iş akışı CART algoritması ile benzer süreçleri içermektedir. Şekil 4.13'teki sıra ile örnekleme düğümüne kadar CART algoritmasında izlenen süreçler tekrar edilmiştir. Rastgele orman algoritmasında kullanılacak olan eğitim ve test veri setinde CART modelinin performansı ile karşılaştırma yapılabilmesi için örnekleme düğümünde CART algoritmasında kullanılan bölünme kodu yazılmış ve eğitim ve test setinde aynı ülkelerin yer alması sağlanmıştır. Bölünme gerçekleştikten sonra "Random Forest-Eğitim" düğümünün düzenleme işlemine geçilmiştir. Bu kısımda hedef değer (sınıf değişkeni), açıklayıcı değişkenler, bölünme kriteri ve kullanılacak ağaç sayısı tanımlanmıştır. Buna göre bulaşıcılıkla mücadele etkinlik sınıfı hedef değer olarak, gini indeksi bölünme kriteri olarak ve ağaç model sayısı 100 olarak işlenmiştir. 49 ülkenin yer aldığı eğitim setinde uzman görüşleri ile belirlenen değişkenler 100 ayrı karar ağacı modeli oluşturmak için kullanılmıştır. Bu algoritmada her bir karar ağacının eğitimi, 49 ülkeden oluşan eğitim verileri içerisinden rastgele oluşturulmuş olan azaltılmış eğitim verileri ve girdi öznitelikleri ile sınırlıdır. KNIME programı sınıflandırma problemlerinde girdi öznitelikleri alt kümesinin oluşturulması için her seçimde rastgele kullanılacak olan değişken sayısını veri setindeki açıklayıcı değişken sayısının karekökü olarak baz almaktadır. 49 ülkenin yer aldığı eğitim setinde ağaçların oluşturulması için kullanılan gözlem verileri (torba içi veriler/inbag data) ve ağaç tahminlerinin test edilmesi için kullanılan gözlem verileri (torba dışı veriler/out-of-bag data) ayrımı yapılmaktadır. Bu ayrımın yapılması eğitim setinde genelleme hatasının ve değişkenlerin göreceli öneminin tahmin edilmesini sağlamaktadır. Ağaç sayısı değerinin tanımlanmasında, eğitim setinde torba içi verilerle oluşturulan her bir karar ağacının torba dışı (out-of-bag, OOB) verileri ile hesaplanan hata oranları ile oluşturulan eğitim seti genelleme hatası dikkate alınmıştır. Bu kapsamda birinci kümedeki ülkelerin bulaşıcılıkla mücadele etkinliği sınıfını açıklayacak 100 karar ağacı modelini oluştururken yapılan sınıf tahminleri, olasılık değerleri ve ülkelerin modelde yer alma sayısına ilişkin bulgular Tablo 4.15'te verilmiştir.

**Tablo 4.15:** Birinci kümenin bulaşıcılıkla mücadele etkinliği sınıfı için eğitim setinde yapılan rastgele orman algoritması tahminleri.

| Ülkeler | BEK | BEK (OOB) | P(BEK= Etkin) | P(BEK= Değil) | BEK (OOB) (Güven) | Model Sayısı | Ülkeler | BEK | BEK (OOB) | P(BEK= Etkin) | P(BEK= Değil) | BEK (OOB) (Güven) | Model Sayısı |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Almanya | Değil | Değil | 0,000 | 1,000 | 1,000 | 38 | Katar | Değil | Değil | 0,333 | 0,667 | 0,667 | 36 |
| Amerika Birleşik Devletleri | Değil | Değil | 0,057 | 0,943 | 0,943 | 35 | Kıbrıs | Değil | Değil | 0,000 | 1,000 | 1,000 | 36 |
| Arjantin | Değil | Değil | 0,051 | 0,949 | 0,949 | 39 | Kırgızistan | Etkin | Etkin | 0,686 | 0,314 | 0,686 | 35 |
| Arnavutluk | Etkin | Etkin | 0,564 | 0,436 | 0,564 | 39 | Kosta Rika | Değil | Değil | 0,176 | 0,824 | 0,824 | 34 |
| Birleşik Arap Emirlikleri | Değil | Değil | 0,231 | 0,769 | 0,769 | 39 | Küba | Değil | Değil | 0,273 | 0,727 | 0,727 | 33 |
| Birleşik Krallık | Değil | Değil | 0,000 | 1,000 | 1,000 | 33 | Letonya | Değil | Değil | 0,024 | 0,976 | 0,976 | 41 |
| Bosna-Hersek | Etkin | Değil | 0,227 | 0,773 | 0,773 | 44 | Macaristan | Değil | Değil | 0,024 | 0,976 | 0,976 | 41 |
| Brezilya | Değil | Değil | 0,333 | 0,667 | 0,667 | 33 | Malezya | Değil | Etkin | 0,550 | 0,450 | 0,550 | 40 |
| Bulgaristan | Değil | Değil | 0,119 | 0,881 | 0,881 | 42 | Malta | Değil | Değil | 0,000 | 1,000 | 1,000 | 35 |
| Çekya | Değil | Değil | 0,000 | 1,000 | 1,000 | 45 | Meksika | Etkin | Değil | 0,304 | 0,696 | 0,696 | 46 |
| Çin | Etkin | Etkin | 0,538 | 0,462 | 0,538 | 39 | Morityus | Etkin | Değil | 0,317 | 0,683 | 0,683 | 41 |
| Danimarka | Değil | Değil | 0,000 | 1,000 | 1,000 | 35 | Norveç | Değil | Değil | 0,000 | 1,000 | 1,000 | 39 |
| Ekvador | Etkin | Etkin | 0,525 | 0,475 | 0,525 | 40 | Panama | Değil | Değil | 0,194 | 0,806 | 0,806 | 31 |
| Endonezya | Etkin | Etkin | 0,676 | 0,324 | 0,676 | 34 | Peru | Değil | Değil | 0,429 | 0,571 | 0,571 | 35 |
| Estonya | Değil | Değil | 0,074 | 0,926 | 0,926 | 27 | Polonya | Değil | Değil | 0,135 | 0,865 | 0,865 | 37 |
| Fransa | Değil | Değil | 0,000 | 1,000 | 1,000 | 26 | Rusya | Değil | Değil | 0,043 | 0,957 | 0,957 | 46 |
| Güney Kore | Değil | Değil | 0,220 | 0,780 | 0,780 | 41 | Sırbistan | Değil | Değil | 0,286 | 0,714 | 0,714 | 35 |
| Hindistan | Etkin | Etkin | 0,731 | 0,269 | 0,731 | 26 | Singapur | Değil | Değil | 0,182 | 0,818 | 0,818 | 33 |
| Hollanda | Değil | Değil | 0,000 | 1,000 | 1,000 | 28 | Slovakya | Değil | Değil | 0,212 | 0,788 | 0,788 | 33 |
| İspanya | Değil | Değil | 0,000 | 1,000 | 1,000 | 32 | Şili | Değil | Değil | 0,021 | 0,979 | 0,979 | 48 |
| İsrail | Değil | Değil | 0,000 | 1,000 | 1,000 | 34 | Ukrayna | Değil | Etkin | 0,677 | 0,323 | 0,677 | 31 |
| İsveç | Değil | Değil | 0,000 | 1,000 | 1,000 | 39 | Uruguay | Değil | Değil | 0,031 | 0,969 | 0,969 | 32 |
| İtalya | Değil | Değil | 0,049 | 0,951 | 0,951 | 41 | Yeni Zelenda | Değil | Değil | 0,111 | 0,889 | 0,889 | 36 |
| Japonya | Etkin | Değil | 0,114 | 0,886 | 0,886 | 35 | Yunanistan | Değil | Değil | 0,159 | 0,841 | 0,841 | 44 |
| Kanada | Değil | Değil | 0,000 | 1,000 | 1,000 | 37 | | | | | | | |

**BEK: bulaşıcılıkla mücadele etkinliği kodu, OOB: torba dışı veri, P: olasılık**

Tablo 4.15'te eğitim seti içerisindeki alt küme olan torba içi veriler ile oluşturulan her bir karar ağacı modelinin torba dışı verilerle tahmin sonuçları yer almaktadır. Eğitim seti içerisinde yapılan bu tahminlerin performansını değerlendirmek için önce oluşturulan her bir karar ağacının hata oranları hesaplanmakta ve bunu takiben torba dışı tahminler üzerinden genelleme hatası/ torba dışı hata oranı (OOB error rate) elde edilmektedir. Buna göre eğitim setinde yapılan tahminlerin sınıf (etkin/değil) bazında hata oranını gösteren karmaşıklık matrisi ve oluşturulan modelin bir anlamda iç testi olan torba dışı hata oranı Tablo 4.16'daki gibi elde edilmiştir.

**Tablo 4.16:** Birinci küme bulaşıcılıkla mücadele etkinliği sınıfı için rastgele orman modeli eğitim seti tahmininin karmaşıklık matrisi.

| | | **Tahmin Edilen Sınıf** | |
|---|---|---|---|
| | | Değil | Etkin |
| **Gerçek Sınıf** | Değil | 37 | 2 |
| | Etkin | 4 | 6 |
| **Performans Göstergeleri** | OOB doğruluk oranı | 0,878 | |
| | OOB hata oranı | 0,122 | |
| | Cohen's kappa | 0,593 | |

Tablo 4.16'da 100 karar ağacı kullanılması durumunda her bir karar ağacının OOB hata oranına göre yapılan ağırlıklandırma sonucunda topluluğun nihai tahmininin hesaplanan OOB doğruluk oranı (1- OOB) ve karmaşıklık matrisi sonuçları gösterilmiştir. Buna göre eğitim seti için rastgele orman modeli tahminlerinin doğruluğunun yüksek düzeyde ve uyumluluğunun ise anlamlı düzeyde olduğu görülmektedir. Bununla birlikte eğitim seti kullanılarak yapılan sınıf tahminlerin çeşitli performans ölçütleri Tablo 4.17'de verilmiştir.

**Tablo 4.17:** Birinci küme bulaşıcılıkla mücadele etkinliği sınıfı için rastgele orman modeli eğitim seti tahmininin başarı ölçütleri.

| **Sınıf** | **Kesinlik** | **Sensitivite** | **Spesifite** | **F Skoru** |
|---|---|---|---|---|
| **Değil** | 0,902 | 0,949 | 0,6 | 0,925 |
| **Etkin** | 0,750 | 0,6 | 0,949 | 0,667 |

Tablo 4.17'de verilen ölçütler eğitim setinde yapılan tahminlerin performansının sınıf düzeyinde karşılaştırılabilmesini sağlamaktadır. Buna göre değil sınıfının tahmin doğruluğunu etkin sınıfını tahmin etme başarısından daha yüksek düzeyde olduğu görülmektedir. Torba dışı veriler ile yapılan tahminlerde, bir diğer önemli gösterge olan değişkenlerin karar ağaçlarının kök düğümünde veya farklı düzey düğümlerinde yer alma

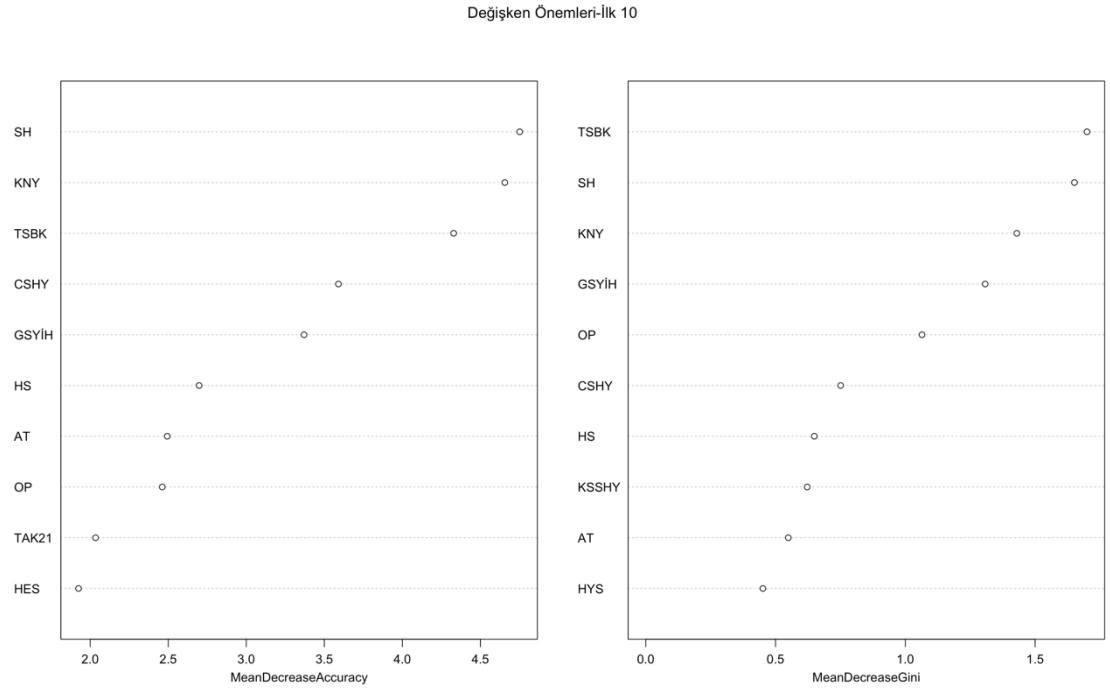
sıklığı hesaplanabilmektedir. Buna göre ikinci kümenin bulaşıcılıkla mücadele etkinliğini açıklamada eğitim seti kullanılarak oluşturulan 100 karar ağacı modelinde açıklayıcı değişkenlerin farklı düzeylerde aday gösterilme ve kullanılma sıklıkları Tablo 4.18'deki gibi hesaplanmıştır.

**Tablo 4.18:** Birinci kümenin bulaşıcılıkla mücadele etkinliği rastgele orman modelinde açıklayıcı değişkenlerin farklı düzeylerde kullanım sıklığı.

| ***Değişkenler*** | **Düzey 0** | **Düzey 1** | **Düzey 2** | **Aday-Düzey 0** | **Aday-Düzey 1** | **Aday-Düzey 2** |
|---|---|---|---|---|---|---|
| *KNY* | 14 | 9 | 5 | 21 | 30 | 58 |
| *GSYİH* | 11 | 6 | 3 | 17 | 31 | 56 |
| *SH* | 10 | 6 | 3 | 12 | 37 | 51 |
| *KSSHY* | 10 | 5 | 2 | 14 | 38 | 44 |
| *OP* | 8 | 13 | 4 | 19 | 34 | 47 |
| *TSBK* | 8 | 11 | 7 | 16 | 33 | 44 |
| *İSH* | 6 | 5 | 0 | 15 | 23 | 57 |
| *HES* | 5 | 7 | 5 | 18 | 35 | 41 |
| *CSHY* | 5 | 7 | 6 | 11 | 33 | 47 |
| *HS* | 4 | 1 | 2 | 12 | 41 | 54 |
| *N65* | 4 | 11 | 2 | 20 | 36 | 58 |
| *TAK21* | 3 | 1 | 2 | 10 | 32 | 47 |
| *KSKHY* | 3 | 4 | 1 | 11 | 28 | 48 |
| *AT* | 2 | 3 | 4 | 13 | 24 | 46 |
| *HYS* | 2 | 6 | 2 | 12 | 21 | 48 |
| *NS* | 2 | 5 | 1 | 16 | 32 | 45 |
| *BHÖY* | 2 | 2 | 4 | 17 | 29 | 52 |
| *TSH* | 1 | 1 | 3 | 23 | 26 | 41 |
| *KEH* | 0 | 3 | 5 | 19 | 20 | 59 |
| *KS* | 0 | 4 | 1 | 18 | 35 | 57 |
| *KÖH* | 0 | 3 | 2 | 15 | 19 | 36 |
| *TK* | 0 | 3 | 1 | 15 | 33 | 51 |
| *ODÇ* | 0 | 5 | 4 | 16 | 24 | 41 |
| *GK* | 0 | 6 | 3 | 17 | 30 | 46 |
| *DP* | 0 | 4 | 2 | 13 | 32 | 46 |
| *HK* | 0 | 2 | 5 | 23 | 30 | 56 |
| *KE20* | 0 | 12 | 4 | 14 | 31 | 47 |
| *KHY* | 0 | 4 | 2 | 14 | 31 | 43 |
| *SHY* | 0 | 3 | 1 | 14 | 26 | 54 |
| *İY* | 0 | 4 | 3 | 13 | 25 | 60 |
| *OO* | 0 | 4 | 3 | 12 | 33 | 59 |
| *NY* | 0 | 2 | 7 | 11 | 36 | 52 |
| *KKS* | 0 | 1 | 1 | 9 | 32 | 39 |

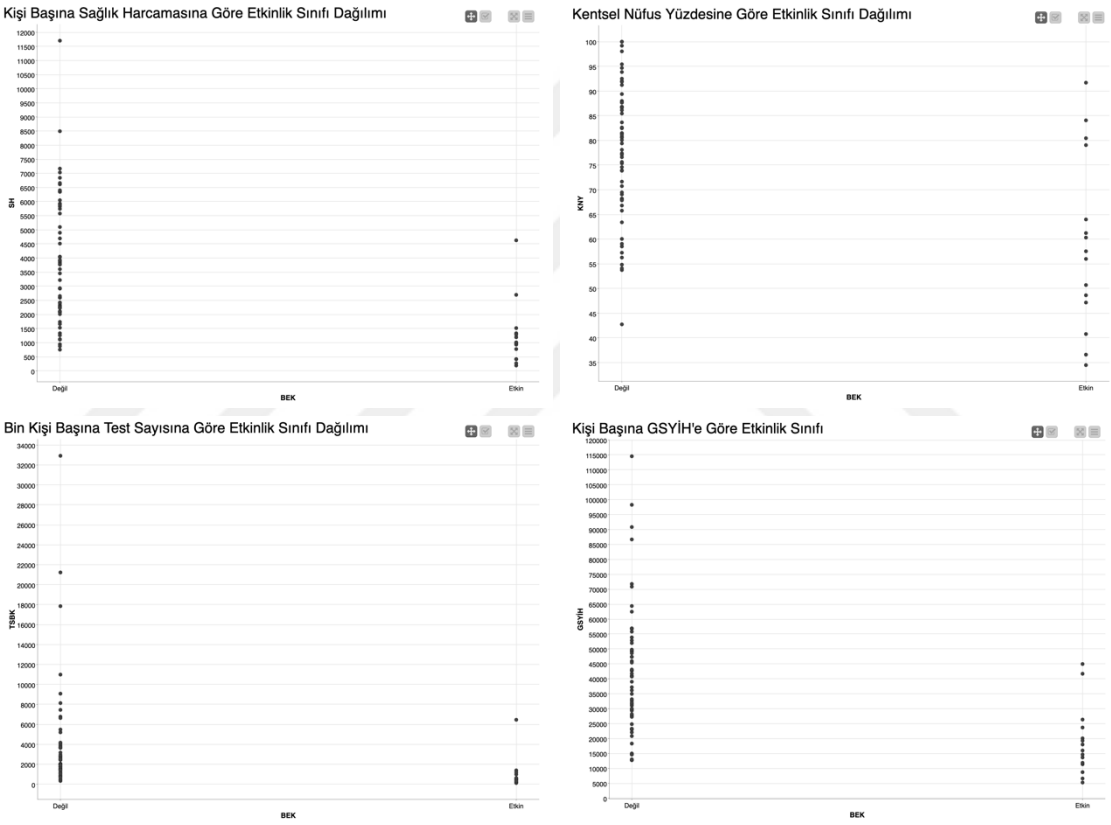
Tablo 4.18'e göre kentsel nüfus yüzdesi, kişi başına düşen gayrisafi yurt içi hasıla, kişi başına düşen sağlık harcaması ve sağlık harcamaları içerisinde kamu sağlık harcamalarının yüzdesi değişkenleri kök düğümde en çok yer alan değişkenler olmuştur. Oluşturulan modellerde obezite prevalansı ile birlikte 2020 yılı sonunda ortalama sıkılık endeksi değeri, bin kişi başına test sayısı ve 65 yaş ve üzeri nüfusun toplam nüfus içerisindeki yüzdesi değişkenleri ise alt düğümde en sık kullanılan değişkenler olmuştur.

Değişkenlerin kök düğümde yer alma durumu yüzdesel olarak değerlendirildiğinde, 12 defakök düğüm için aday gösterilen kişi başına sağlık harcaması değişkeninin 10 defa kök düğümde yer alması %83,33 ile ilk sırada yer aldığını göstermektedir. Bu sonuçlar CART algoritmasında oluşturulan karar ağacında kullanılan değişkenlerle değişkenlerin benzer şekilde önemli olduğunu yansıtmaktadır. Rastgele orman algoritmasında oluşturulan modellerde yer alan açıklayıcı değişkenlerin hedef değişkenlerin alt düzeylerini açıklamaya olan katkısını, değişkenlerin modelden çıkarılması ile doğruluk oranında meydana gelen ortalama azalışı ve gini saflığındaki ortalama azalışı da hesaplamak mümkündür. Bunun için aynı eğitim ve test veri seti temel alınarak R Studio programında analiz yapılmıştır. Burada kullanılan eğitim ve test seti aynı olsa da karar ağaçları oluşturmak için değişken seçiminde kullanılan rastgelelik değiştiği için birebir KNIME uygulamas bulgularını yansıtmamaktadır. Bu kapsamda benzer model optimizasyon süreçleri uygulandıktan sonra modelde yer alan değişkenlerin önem düzeyleri hesaplanmıştır. Buna göre doğruluk oranında meydana gelen ortalama azalış ve gini saflığındaki ortalama azalış temel alınarak yapılan hesaplama sonucunda önem düzeyi en yüksek ilk 10 değişken Şekil 4.14'teki gibi sıralanmıştır.




**Şekil 4.14:** Rastgele orman algoritmasına göre birinci kümenin bulaşıcılıkla mücadele etkinliğini açıklayan değişkenlerin önem düzeyi.

Şekil 4.14'teki sıralama KNIME programında elde edilen bulgulara paralel olarak doğruluk oranındaki ortalama azalışın en çok kişi başına sağlık harcaması, kentsel nüfus yüzdesi ve bin kişi başına test sayısı değişkenlerinin modelden çıkarılması ile olduğunu göstermektedir. Ağaç düğümlerindeki saflığa olan katkısı bakımından da bu üç değişken ilk sırada yer almaktadır. Bu değişkenlerin etkinlik sınıfını açıklamada en önemli değişkenler olduğu anlaşılmaktadır. Bu değişkenlerin sınıf tahmine katkısının yönü hakkında daha kolay yorum yapılabilmesi için birinci kümedeki ülkelerin bulaşıcılıkla mücadele etkinlik sınıfının önem düzeyi yüksek değişkenlere göre saçılım grafiği Şekil 4.15'te verilmiştir.




**Şekil 4.15:** Birinci kümedeki ülkelerin bulaşıcılıkla mücadele etkinlik sınıfının açıklayıcı değişkenlere göre saçılım grafiği.

Şekil 4.15'te verilen saçılım grafiklerine göre sağlık harcaması ve kentsel nüfus yüzdesi değişkenlerine göre sınıfların dağılımı CART algoritmasındaki yorumları desteklemektedir. Etkin sınıfında yer alan ülkelerin bu değişkenlere ait değerleri daha düşüktür. Bununla birlikte bin kişi başına test sayısı ve kişi başına gayri safi yurt içi hasıla değişkenleri de benzer yönde katkı sağlamaktadır. Bu da sağlık harcamalarının test yönü ile ilişkilendirildiği yorumlamayı desteklemektedir. Eğitim seti ile elde edilen bulguların değerlendirilmesi aşamasından sonra rastgele orman algoritması ile ortaya çıkan farklı

karar ağacı modellerindeki karar kuralları test setinde yer alan ülkelerin hedef değişken sınıflarını tahmin için kullanılmıştır. Bu kapsamda hata oranlarının ağırlığı dikkate alarak yapılan çoğunluk oyu ile sınıf tahminleri yapılmıştır. Bu tahminler için KNIME programında "Random Forest-Test" düğümü kullanılmıştır. Buna göre birinci kümenin test setinde yer alan ülkelere ilişkin tahmin sonuçları Tablo 4.19'da verilmiştir.

**Tablo 4.19:** Birinci kümenin bulaşıcılıkla mücadele etkinliği sınıfı için rastgele orman modelinin test seti tahmin sonuçları.

| Ülkeler | BEK | P(BEK) | P(BEK) (Güven) | Ülkeler | BEK | P(BEK) | P(BEK) (Güven) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Avustralya | Değil | Değil | 1,000 | Kazakistan | Etkin | Etkin | 0,530 |
| Avusturya | Değil | Değil | 0,940 | Kolombiya | Değil | Değil | 0,790 |
| Bahreyn | Değil | Değil | 0,770 | Kuveyt | Değil | Değil | 0,910 |
| Belarus | Etkin | Değil | 0,800 | Litvanya | Değil | Değil | 1,000 |
| Belçika | Değil | Değil | 1,000 | Lüksemburg | Değil | Değil | 1,000 |
| Filipinler | Etkin | Etkin | 0,850 | Moldova | Değil | Değil | 0,550 |
| Finlandiya | Değil | Değil | 0,990 | Portekiz | Değil | Değil | 0,980 |
| Gürcistan | Değil | Değil | 0,560 | Romanya | Değil | Değil | 0,920 |
| Hırvatistan | Değil | Değil | 0,960 | Slovenya | Değil | Değil | 0,920 |
| İrlanda | Değil | Değil | 0,930 | Suudi Arabistan | Etkin | Değil | 0,900 |
| İsviçre | Değil | Değil | 0,940 | Tayland | Etkin | Etkin | 0,530 |
| İzlanda | Değil | Değil | 0,990 | Türkiye | Değil | Değil | 0,790 |

Tablo 4.19'da gerçek sınıfı 'değil' olan tüm ülkeler doğru sınıfta tahmin edilirken, gerçekte 'etkin' olan ülkelerden yalnızca Belarus ve Suudi Arabistan'ın 'değil' olarak tahmin edildiği görülmektedir. Bu sonuçlara göre test setinde yapılan tahminlerin sınıf (etkin/değil) bazında hata oranını gösteren karmaşıklık matrisi ve model performans göstergeleri Tablo 4.20'deki gibi elde edilmiştir.

**Tablo 4.20:** Birinci küme bulaşıcılıkla mücadele etkinliği sınıfı için rastgele orman modeli test seti tahmininin karmaşıklık matrisi.

| | | Tahmin Edilen Sınıf | |
|---|---|---|---|
| | | Değil | Etkin |
| **Gerçek Sınıf** | Değil | 19 | 0 |
| | Etkin | 2 | 3 |
| **Performans Göstergeleri** | Doğruluk oranı | 0,917 | |
| | Hata oranı | 0,083 | |
| | Cohen's kappa | 0,704 | |

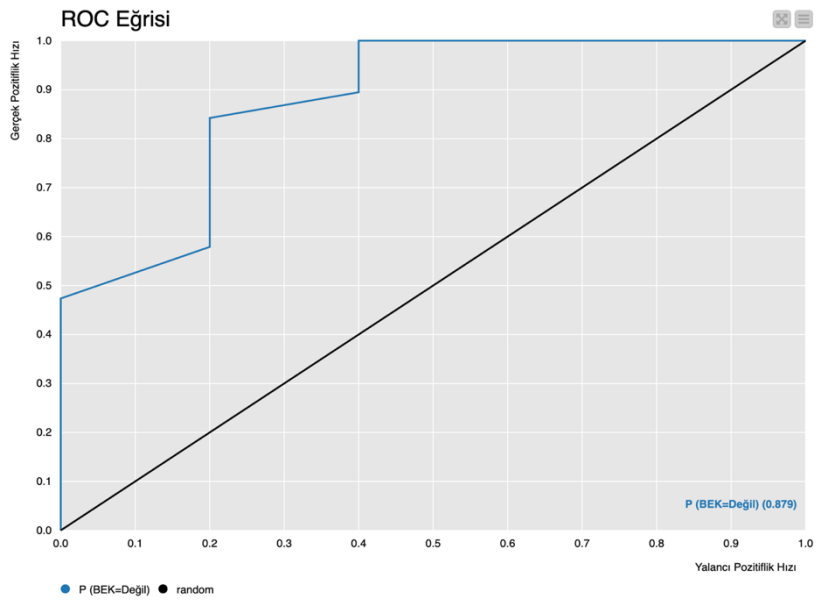
Tablo 4.20'deki veriler incelendiğinde birinci kümenin bulaşıcılıkla mücadele etkinliği sınıfını tahminde rastgele orman modeli test seti tahminlerinin doğruluğunun

eğitim seti doğruluğundan ve CART modeli doğruluğundan yüksek bir değer sahip olduğu görülmektedir. Modellerin tahmin performanslarının sınıf (etkin/değil) bazında değerlendirilmesi için karmaşıklık matrisi üzerinden diğer performans göstergeleri de hesaplanmış ve Tablo 4.21'de sonuçlar verilmiştir.

**Tablo 4.21:** Birinci kümenin bulaşıcılıkla mücadele etkinliği sınıfı için rastgele orman modeli test seti başarı ölçütleri.

| Sınıf | Kesinlik | Sensitivite | Spesifite | F Skoru |
|---|---|---|---|---|
| **Değil** | 0,905 | 1 | 0,6 | 0,95 |
| **Etkin** | 1 | 0,6 | 1 | 0,75 |

Tablo 4.21 incelendiğinde sınıf bazında dengesizliklerin söz konusu olduğu birinci kümenin bulaşıcılıkla mücadele modelinde rastgele orman algoritması tahminlerinin sayıca az gözlemin bulunduğu sınıf (etkin) tahmininde CART algoritmasına göre düşük performans gösterdiği görülmektedir. Bu noktada sınıf düzeyindeki dengesiz verilerde rastgele orman algoritmasını değişkenlerin önem düzeyini belirlemek için ön uygulama olarak kullanmak ve CART algoritması ile en uygun karar ağacı modelini belirlemek daha iyi bir yol olabilir. Bununla birlikte rastgele orman algoritması tahminin ROC eğrisi ve AUC değerleri Şekil 4.16'da verilmiştir.




**Şekil 4.16:** Birinci kümenin bulaşıcılıkla mücadele etkinliği rastgele orman modeli tahmininin ROC eğrisi.

Şekil 4.16'da verilen ROC eğrisi, birinci kümenin bulaşıcılıkla mücadele etkinliği rastgele orman modeli tahmininin genel olarak başarılı olduğunu göstermektedir. ROC eğrisi altındaki alan değeri 0,879 olarak hesaplanmıştır. Rastgele orman algoritması

modelinde elde edilen bu değerin CART modelinde hesaplanan AUC değerine yakın bir değer olması model performanslarının benzer düzeyde olduğunu göstermektedir.

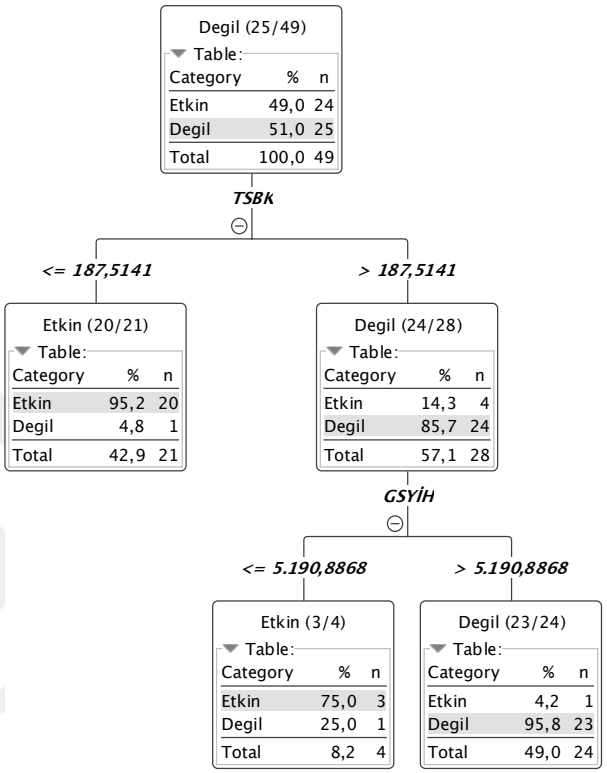
### 4.3.3. İkinci Kümedeki Ülkelerin Bulaşıcılıkla Mücadele Etkinliği CART Modeli Bulguları

Birinci kümenin bulaşıcılıkla mücadele etkinliği sınıfını açıklamak için KNIME programında izlenen CART sınıflandırma algoritması iş akışı ikinci küme içinde kullanılmıştır. Bu doğrultuda veri setini tanımaya yönelik istatistiksel veriler ve saçılım grafiği düğümleri benzer amaçla kullanılmıştır. Örnekleme düğümünde hedef değişken niteliğini esas alınarak tabakalı örnekleme yöntemi kullanılmış ve eğitim seti (%70) ve test seti (%30) bölünmesi gerçekleştirilmiştir. Buna göre ikinci kümede eğitim seti için rastgele seçilen 49 ülkeye ilişkin bilgiler Tablo 4.22'de verilmiştir.

**Tablo 4.22:** İkinci kümenin bulaşıcılıkla mücadele modeli için CART algoritması eğitim seti.

| Ülkeler | BEK | TSBK | GSYİH | Ülkeler | BEK | TSBK | GSYİH |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Angola | Etkin | 45,5 | 6602,4 | Madagaskar | Etkin | 15,3 | 1585,5 |
| Azerbeycan | Değil | 670,8 | 14442,0 | Malavi | Etkin | 28,9 | 1517,7 |
| Barbados | Değil | 2476,4 | 15954,8 | Mısır | Etkin | 107,7 | 11180,7 |
| Beliz | Değil | 1413,6 | 9028,6 | Moğolistan | Değil | 2180,1 | 12458,0 |
| Botsvana | Değil | 868,8 | 15118,0 | Mozambik | Etkin | 40,7 | 1285,2 |
| Cape Verde | Değil | 363,2 | 6835,1 | Myanmar | Etkin | 153,8 | 4829,5 |
| Cezayir | Etkin | 5,1 | 11627,3 | Namibya | Değil | 411,4 | 10009,6 |
| Cibuti | Etkin | 276,3 | 4768,1 | Nijerya | Etkin | 24,2 | 5076,4 |
| Dominik Cumhuriyeti | Değil | 306,7 | 18171,1 | Nikaragua | Etkin | 28,3 | 5349,0 |
| Esvatini | Değil | 457,4 | 8501,3 | Özbekistan | Etkin | 363,2 | 7348,1 |
| Etiyopya | Etkin | 40,7 | 2181,7 | Pakistan | Etkin | 122,5 | 5157,5 |
| Gambia | Etkin | 57,5 | 2083,3 | Ruanda | Etkin | 401,8 | 2191,4 |
| Gana | Etkin | 73,6 | 5345,9 | Sri Lanka | Değil | 352,3 | 13639,0 |
| Gine | Etkin | 51,1 | 2545,1 | Sudan | Etkin | 12,0 | 4133,1 |
| Guatemala | Değil | 228,0 | 8671,7 | Surinam | Değil | 136,2 | 18449,2 |
| Guyana | Değil | 547,4 | 12820,5 | Tacikistan | Etkin | 153,8 | 3575,3 |
| Güney Afrika | Değil | 428,1 | 13852,2 | Timor | Değil | 197,4 | 3737,8 |
| Honduras | Değil | 363,2 | 5613,7 | Trinidad ve Tobago | Değil | 501,9 | 25306,6 |
| Irak | Değil | 427,1 | 10299,3 | Tunus | Değil | 376,2 | 11100,8 |
| İran | Değil | 590,3 | 14084,4 | Uganda | Etkin | 58,2 | 2250,0 |
| Kamboçya | Etkin | 177,6 | 4464,3 | Umman | Değil | 444,0 | 33814,1 |
| Kamerun | Etkin | 97,8 | 3756,5 | Ürdün | Değil | 1488,9 | 9551,2 |
| Kenya | Etkin | 69,0 | 4601,2 | Venezuela | Değil | 313,4 | 15464,1 |
| Lesotho | Etkin | 199,4 | 2533,1 | Vietnam | Değil | 874,1 | 10252,0 |
| Lübnan | Değil | 861,9 | 17172,2 | | | | |

Tablo 4.22'de verilen eğitim seti kullanılarak CART modeline göre karar ağacı oluşturulabilmesi için ilgili düğümde gini indeksi seçilmiştir. Buna göre eğitim setindeki ülkelerin açıklayıcı değişkenleri ile etkinlik sınıfını açıklamaya yönelik ortaya çıkan karar ağacı modeline ilişkin bulgu Şekil 4.17'deki gibi elde edilmiştir.




**Şekil 4.17:** İkinci kümedeki ülkelerin bulaşıcılıkla mücadele etkinlik sınıfı karar ağacı modeli.

Şekil 4.17'de verilen karar ağacında, eğitim setinde yer alan 49 ülkeden etkin olmayan 25 ülkenin 'değil' sınıfında yer aldığı görülmektedir. Bunu açıklamak için ilk kök döğümde bin kişi başına test sayısı değişkeni kullanılmıştır. Bu özniteliğe göre bin kişi başına test sayısı 187,5 altında olan 21 ülkeden Surinam dışındaki tüm ülkelerin etkin olduğu görülmektedir. Bu kesim noktasının üzerinde değere sahip olmasına rağmen ülkelerin 'etkin' sınıfında yer alması durumunu ise kişi başına gayri safi yurt içi hasıla değişkeni açıklamaktadır. Bin kişi başına test sayısı değişkeni ile benzer şekilde kişi başına gayri safi yurt içi hasıla değeri 5.190,9 doların altında olan Timor dışındaki tüm ülkelerin etkin olduğu görülmektedir. Bu değişkenlerden özellikle bin kişi başına test sayısının kök düğümde yer almasının nedeni bulaşıcılıkla mücadele etkinliği analizinde istenmeyen çıktı niteliğinde değerlendirilen milyon kişi başına vaka sayısının toplumun yeterli düzeyde taranmadığı durumlarda düşük değerler almasından kaynaklanmaktadır. Bu nedenle toplumu COVID-19 hastalığına karşı yeterli düzeyde taramayan ülkelerde

çıktı değişkeni yanıltıcı sonuçlara yol açabilir. Test sayısı eşik değerin üzerinde olan ülkelerin kişi başına gayri safi yurt içi hasıla değerinin 5.190 dolar altında olması etkin sınıfında yer almasını açıklamaktadır. Bunun nedeni ise ikinci kümede yer alan ülkelerde genellikle sağlık sistemlerinde kamu finansmanının ve sağlık hizmetleri sunumunun yetersiz düzeyde olması ve buna bağlı olarak kişi başına gelir düzeyi düşük ülkelerdeki bireyler COVID-19'a yakalansa da bunun tanı veya tedavisi için ekonomik koşullar nedeniyle hizmet alamaması olabilir. Buna göre ikinci kümenin eğitim seti ile öğrenilen karar ağacı modelinin kural seti ($TSBK$ <= 187,51 AND TRUE => "Etkin"; $GSYİH$ <= 5190,89 AND $TSBK$ > 187,51 => "Etkin"; $GSYİH$ > 5190,89 AND $TSBK$ > 187,51 => "Değil") olarak belirlenmiştir. Eğitim seti kullanılarak öğrenilen karar ağacı modeli ve verilen karar kuralı test setinde yer alan ülkelerin hedef değişkenlerinin tahmin edilmesinde kullanılmıştır. Bunun sonucunda test setinde yer alan ülkelerin etkinlik sınıfı tahminleri, gerçek değerleri ve ülkelerin 'etkin' veya 'değil' şeklinde sınıflandırılması olasılıkları Tablo 4.23'teki gibi elde edilmiştir.

**Tablo 4.23:** İkinci kümenin bulaşıcılıkla mücadele etkinliği sınıfı için CART tahmin sonuçları.

| Ülkeler | TSBK | GSYİH | BEK | Tahmin (BEK) | P (BEK= Değil) | P (BEK= Etkin) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Afganistan | 24,2 | 2079,9 | Etkin | Etkin | 0,048 | 0,952 |
| Bahamalar | 588,3 | 35161,8 | Değil | Değil | 0,958 | 0,042 |
| Bangladeş | 80,7 | 5467,2 | Etkin | Etkin | 0,048 | 0,952 |
| Bolivya | 363,2 | 8528,7 | Değil | Değil | 0,958 | 0,042 |
| Brunei | 207,6 | 61424,4 | Değil | Değil | 0,958 | 0,042 |
| El Salvador | 303,3 | 9021,4 | Değil | Değil | 0,958 | 0,042 |
| Fas | 313,4 | 8217,6 | Değil | Değil | 0,958 | 0,042 |
| Fiji | 600,7 | 13241,4 | Değil | Değil | 0,958 | 0,042 |
| Fildişi Sahili | 54,7 | 5126,6 | Etkin | Etkin | 0,048 | 0,952 |
| Gabon | 669,7 | 14478,0 | Değil | Değil | 0,958 | 0,042 |
| Haiti | 17,8 | 3101,6 | Etkin | Etkin | 0,048 | 0,952 |
| Jamaika | 397,6 | 10244,4 | Değil | Değil | 0,958 | 0,042 |
| Kongo | 66,2 | 3695,1 | Etkin | Etkin | 0,048 | 0,952 |
| Liberya | 26,4 | 1455,6 | Etkin | Etkin | 0,048 | 0,952 |
| Libya | 427,1 | 22535,4 | Değil | Değil | 0,958 | 0,042 |
| Mali | 31,3 | 2219,0 | Etkin | Etkin | 0,048 | 0,952 |
| Moritanya | 210,8 | 5505,6 | Etkin | Değil | 0,958 | 0,042 |
| Nepal | 228,1 | 3922,1 | Değil | Etkin | 0,250 | 0,750 |
| Paraguay | 384,9 | 13609,7 | Değil | Değil | 0,958 | 0,042 |
| Senegal | 63,6 | 3430,5 | Etkin | Etkin | 0,048 | 0,952 |
| Zambiya | 175,5 | 3372,4 | Etkin | Etkin | 0,048 | 0,952 |
| Zimbabve | 181,3 | 2203,4 | Etkin | Etkin | 0,048 | 0,952 |

Tablo 4.23 incelendiğinde test setinde yer alan 22 ülkeden gerçekte etkin olmayan Nepal ve gerçekte etkin olan Moritanya dışında tüm ülkelerin sınıf tahminlerinin gerçek değerleri ile tutarlı olduğu görülmektedir. Test setinde yapılan tahminlere göre modelin performansını gösteren karmaşıklık parametresi ve modelin doğruluk oranına ilişkin çeşitli göstergeler Tablo 4.24'te verilmiştir.

**Tablo 4.24:** İkinci kümenin bulaşıcılıkla mücadele etkinliği sınıfı CART modeli tahmininin karmaşıklık matrisi.

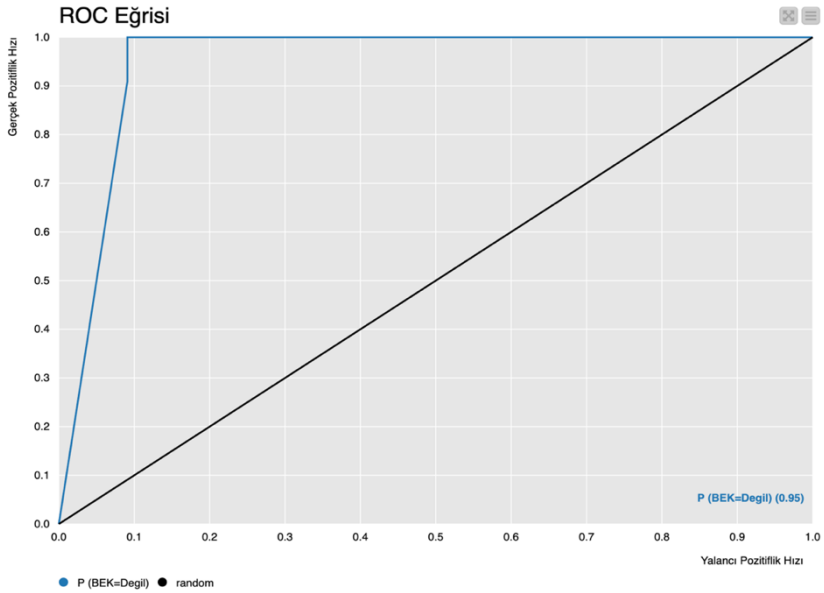
| | | **Tahmin Edilen Sınıf** | |
|---|---|---|---|
| | | Değil | Etkin |
| **Gerçek Sınıf** | Değil | 10 | 1 |
| | Etkin | 1 | 10 |
| **Performans Göstergeleri** | Doğruluk oranı | 0,909 | |
| | Hata oranı | 0,091 | |
| | Cohen's kappa | 0,818 | |

İkinci kümenin bulaşıcılıkla mücadele etkinliği 'değil' sınıfını pozitif değişken olarak açıklayan modelde, gerçek pozitif 10 ülke ve gerçek negatif 10 ülke olmak üzere toplamda 20 ülkenin sınıfının doğru tahmin edildiği ve doğruluk oranının %90,9 olarak çok yüksek bir değere sahip olduğu görülmektedir. Cohen'in kappa katsayısı ise 0,818 olarak elde edilerek değerlendirmenin yüksek düzeyde uyumlu olduğu sonucuna ulaşılmıştır. İkinci kümenin bulaşıcılıkla mücadele etkinliği için uygulanan CART modelinin performansını değerlendirmek üzere karmaşıklık matrisi kullanılarak elde edilen diğer performans değerlendirme ölçütleri ise Tablo 4.25'te verilmiştir.

**Tablo 4.25:** İkinci kümenin bulaşıcılıkla mücadele etkinliği sınıfı CART modeli tahmininin başarı ölçütleri.

| **Sınıf** | **Kesinlik** | **Sensitivite** | **Spesifite** | **F Skoru** |
|---|---|---|---|---|
| **Değil** | 0,909 | 0,909 | 0,909 | 0,909 |
| **Etkin** | 0,909 | 0,909 | 0,909 | 0,909 |

Tablo 4.25'te verilen sınıf değeri doğruluğunu gösteren kesinlik ölçütü, modelin ne kadar iyi ölçüm yaptığını gösteren sensitivite ve spesifite ile bu iki ölçütün harmonik ortalaması olan F skoru her iki sınıf düzeyi içinde 0,909 olarak hesaplanmıştır. Bu metriklerin tamamı model taminlerinin performansının çok yüksek düzeyde olduğunu yansıtmaktadır. Bu başarı ölçütleri ile birlikte, ikinci kümenin bulaşıcılıkla mücadele etkinliği CART modeli tahminlerinin performansını değerlendirmek için ROC eğrisi ve AUC değeri hesaplanmış ve Şekil 4.18'deki gibi elde edilmiştir.




**Şekil 4.18:** İkinci kümenin bulaşıcılıkla mücadele etkinliği CART modeli tahmininin ROC eğrisi.

Şekil 4.18'de verilen ROC eğrisi üzerinden hesaplanan AUC değerinin 0,95 olduğu görülmektedir. Buna göre ROC eğrisinin altında kalan alanın 1'e çok yakın olması modelin sınıfları tahmin etme başarısının çok iyi düzeyde olduğunu göstermektedir. Bu göstergelere göre ikinci kümenin bulaşıcılıkla mücadele etkinliği sınıfını ayırt etmede CART modelinin çok yüksek tahmin performansına ulaştığı ifade edilebilir.

### 4.3.4. İkinci Kümedeki Ülkelerin Bulaşıcılıkla Mücadele Etkinliği Rastgele Orman Modeli Bulguları

Birinci kümedeki ülkelerin bulaşıcılıkla mücadele etkinliği sınıf tahmini için uygulanan rastgele orman algoritması işlem adımları ikinci küme için de kullanılmıştır. İkinci kümenin bulaşıcılıkla mücadele etkinliği CART tahmini için kullanılan eğitim ve test setinin kullanılması için aynı bölünme kodu kullanılmıştır. Bu doğrultuda eğitim ve test setindeki ülkeler aynı olacak şekilde bölünme gerçekleştirilmiştir. Bunun ardından Random Forest-Eğitim düğümünde hedef değer, bölünme kriteri ve ağaç model sayısına ilişkin düzenlemeler birinci küme uygulamasında olduğu gibi aynı şekilde işlenmiştir. Bu düzenlemeler sonrasında 49 ülkenin yer aldığı eğitim setinde uzman görüşleri ile belirlenen değişkenler 100 ayrı karar ağacı modeli oluşturmak için kullanılmıştır. Buna göre ikinci kümedeki ülkelerin bulaşıcılıkla mücadele etkinliği sınıfın açıklayacak 100 karar ağacı modeli oluşturulurken yapılan sınıf tahminleri, olasılık değerleri ve ülkelerin modelde yer alma sayısına ilişkin bulgular Tablo 4.26'da verilmiştir.

**Tablo 4.26:** İkinci kümenin bulaşıcılıkla mücadele etkinliği sınıfı için eğitim setinde yapılan rastgele orman algoritması tahminleri.

| Ülkeler | BEK | BEK (OOB) | P(BEK= Etkin) | P(BEK= Değil) | BEK (OOB) (Güven) | Model Sayısı | Ülkeler | BEK | BEK (OOB) | P(BEK= Etkin) | P(BEK= Değil) | BEK (OOB) (Güven) | Model Sayısı |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Angola** | Etkin | Etkin | 0,805 | 0,195 | 0,805 | 41 | Madagaskar | Etkin | Etkin | 0,838 | 0,162 | 0,838 | 37 |
| **Azerbeycan** | Değil | Değil | 0,182 | 0,818 | 0,818 | 33 | Malavi | Etkin | Etkin | 0,914 | 0,086 | 0,914 | 35 |
| **Barbados** | Değil | Değil | 0,000 | 1,000 | 1,000 | 31 | Mısır | Etkin | Değil | 0,419 | 0,581 | 0,581 | 31 |
| **Beliz** | Değil | Değil | 0,098 | 0,902 | 0,902 | 41 | Moğolistan | Değil | Değil | 0,184 | 0,816 | 0,816 | 38 |
| **Botsvana** | Değil | Değil | 0,143 | 0,857 | 0,857 | 35 | Mozambik | Etkin | Etkin | 0,853 | 0,147 | 0,853 | 34 |
| **Cape Verde** | Değil | Değil | 0,129 | 0,871 | 0,871 | 31 | Myanmar | Etkin | Etkin | 0,565 | 0,435 | 0,565 | 46 |
| **Cezayir** | Etkin | Değil | 0,407 | 0,593 | 0,593 | 27 | Namibya | Değil | Değil | 0,176 | 0,824 | 0,824 | 34 |
| **Cibuti** | Etkin | Etkin | 0,656 | 0,344 | 0,656 | 32 | Nijerya | Etkin | Etkin | 0,971 | 0,029 | 0,971 | 34 |
| **Dominik Cumhuriyeti** | Değil | Değil | 0,116 | 0,884 | 0,884 | 43 | Nikaragua | Etkin | Değil | 0,452 | 0,548 | 0,548 | 42 |
| **Esvatini** | Değil | Değil | 0,412 | 0,588 | 0,588 | 34 | Özbekistan | Etkin | Değil | 0,147 | 0,853 | 0,853 | 34 |
| **Etiyopya** | Etkin | Etkin | 0,917 | 0,083 | 0,917 | 36 | Pakistan | Etkin | Etkin | 0,786 | 0,214 | 0,786 | 42 |
| **Gambia** | Etkin | Etkin | 0,875 | 0,125 | 0,875 | 40 | Ruanda | Etkin | Etkin | 0,600 | 0,400 | 0,600 | 30 |
| **Gana** | Etkin | Etkin | 0,886 | 0,114 | 0,886 | 35 | Sri Lanka | Değil | Değil | 0,172 | 0,828 | 0,828 | 29 |
| **Gine** | Etkin | Etkin | 1,000 | 0,000 | 1,000 | 32 | Sudan | Etkin | Etkin | 0,923 | 0,077 | 0,923 | 39 |
| **Guatemala** | Değil | Etkin | 0,545 | 0,455 | 0,545 | 33 | Surinam | Değil | Değil | 0,300 | 0,700 | 0,700 | 40 |
| **Guyana** | Değil | Değil | 0,054 | 0,946 | 0,946 | 37 | Tacikistan | Etkin | Etkin | 0,647 | 0,353 | 0,647 | 34 |
| **Güney Afrika** | Değil | Değil | 0,103 | 0,897 | 0,897 | 39 | Timor | Değil | Etkin | 0,667 | 0,333 | 0,667 | 30 |
| **Honduras** | Değil | Değil | 0,368 | 0,632 | 0,632 | 38 | Trinidad ve Tobago | Değil | Değil | 0,031 | 0,969 | 0,969 | 32 |
| **Irak** | Değil | Etkin | 0,513 | 0,487 | 0,513 | 39 | Tunus | Değil | Değil | 0,079 | 0,921 | 0,921 | 38 |
| **İran** | Değil | Değil | 0,176 | 0,824 | 0,824 | 34 | Uganda | Etkin | Etkin | 0,974 | 0,026 | 0,974 | 38 |
| **Kamboçya** | Etkin | Etkin | 0,649 | 0,351 | 0,649 | 37 | Umman | Değil | Değil | 0,139 | 0,861 | 0,861 | 36 |
| **Kamerun** | Etkin | Etkin | 1,000 | 0,000 | 1,000 | 34 | Ürdün | Değil | Değil | 0,079 | 0,921 | 0,921 | 38 |
| **Kenya** | Etkin | Etkin | 0,921 | 0,079 | 0,921 | 38 | Venezuela | Değil | Değil | 0,209 | 0,791 | 0,791 | 43 |
| **Lesotho** | Etkin | Etkin | 0,559 | 0,441 | 0,559 | 34 | Vietnam | Değil | Değil | 0,116 | 0,884 | 0,884 | 43 |
| **Lübnan** | Değil | Değil | 0,051 | 0,949 | 0,949 | 39 | | | | | | | |

**BEK: bulaşıcılıkla mücadele etkinliği kodu, OOB: torba dışı veri, P: olasılık**

Tablo 4.26'da eğitim seti kullanılarak karar ağacı modelleri oluşturmak için eğitim setinde yer alan ülkelerin kullanılma sıklığı ve bu ülkelerin hedef değişkenlerinin her bir sınıf tahmini için hesaplanan olasılık değerleri, bu iki değer baz alınarak hesaplanan torba dışı tahminin güven düzeyi, ülkelerin hedef değişkenlerinin gerçek ve tahmin edilen sınıf değerleri yer almaktadır. İkinci kümenin bulaşıcılıkla mücadele etkinliği sınıfı için yapılan eğitim seti tahminleri üzerinden sınıf (etkin/değil) bazında hata oranı ve bunun karmaşıklık matrisini veren torba dışı hata oranı Tablo 4.27'de verilmiştir.

**Tablo 4.27:** İkinci küme bulaşıcılıkla mücadele etkinliği sınıfı için rastgele orman modeli eğitim seti tahmininin karmaşıklık matrisi.

| | | **Tahmin Edilen Sınıf** | |
|---|---|---|---|
| | | Değil | Etkin |
| **Gerçek Sınıf** | Değil | 22 | 3 |
| | Etkin | 4 | 20 |
| **Performans Göstergeleri** | OOB doğruluk oranı | 0,857 | |
| | OOB hata oranı | 0,143 | |
| | Cohen's kappa | 0,714 | |

Tablo 4.27'de 100 karar ağacı kullanılması durumunda her bir karar ağacının OOB hata oranına göre yapılan ağırlıklandırma sonucunda topluluğun nihai tahmininin hesaplanan OOB doğruluk oranı için 0,857 gibi yüksek bir değer elde edilmiştir. Bununla birlikte eğitim seti kullanılarak yapılan bu tahminlerin çeşitli performans ölçütleri Tablo 4.28'de verilmiştir.

**Tablo 4.28:** İkinci küme bulaşıcılıkla mücadele etkinliği sınıfı için rastgele orman modeli eğitim seti başarı ölçütleri.

| **Sınıf** | **Kesinlik** | **Sensitivite** | **Spesifite** | **F Skoru** |
|---|---|---|---|---|
| **Değil** | 0,846 | 0,880 | 0,833 | 0,863 |
| **Etkin** | 0,870 | 0,833 | 0,880 | 0,851 |

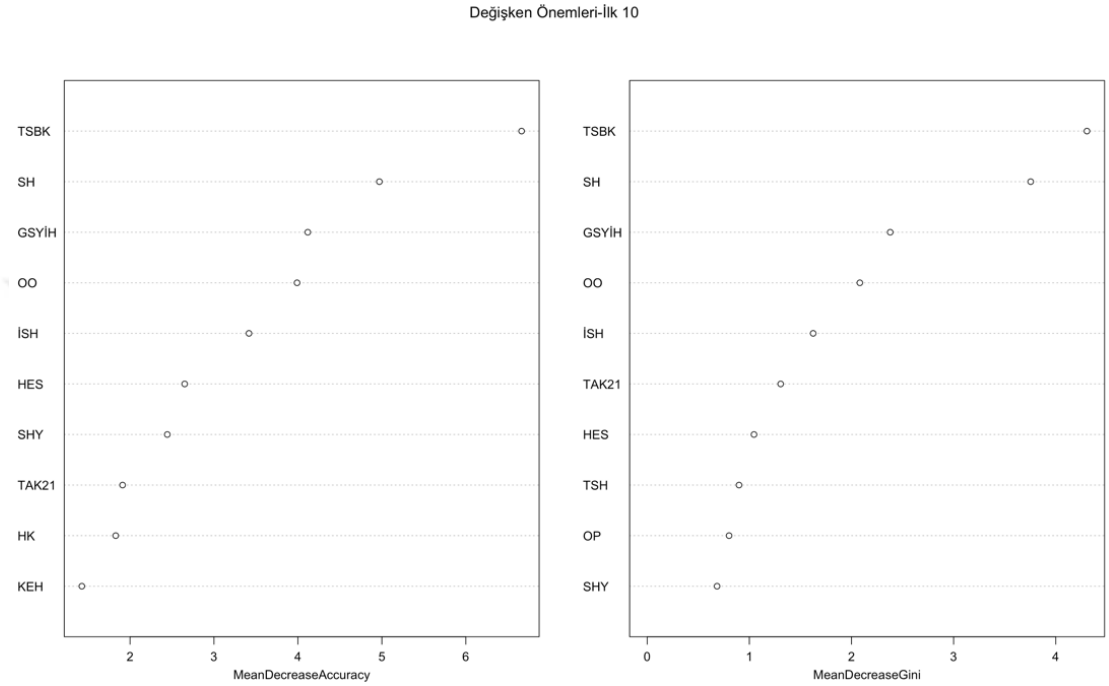
Tablo 4.28'deki hesaplanan çeşitli ölçütler dengeli sınıf dağılımının olduğu ikinci kümenin bulaşıcılıkla mücadele modeli tahmininde performans göstergelerinin her iki sınıf bazında da başarılı olduğunu yansıtmaktadır. Torba dışı veriler ile elde edilen bu metriklerin yanı sıra değişkenlerin karar ağaçlarının kök düğümünde veya farklı düzey düğümlerinde yer alma sıklığıda incelenmiştir. Buna göre ikinci kümenin bulaşıcılıkla mücadele etkinliğini açıklamada eğitim seti kullanılarak oluşturulan 100 karar ağacında açıklayıcı değişkenlerin aday gösterilme ve kullanılma sıklıkları KNIME programı ile hesaplanmış ve Tablo 4.29'da verilmiştir.

**Tablo 4.29:** İkinci kümenin bulaşıcılıkla mücadele etkinliği rastgele orman modelinde açıklayıcı değişkenlerin farklı düzeylerde kullanım sıklığı.

| ***Değişkenler*** | **Düzey 0** | **Düzey 1** | **Düzey 2** | **Aday-Düzey 0** | **Aday-Düzey 1** | **Aday-Düzey 2** |
|---|---|---|---|---|---|---|
| *TSBK* | 18 | 18 | 6 | 21 | 38 | 45 |
| *GSYİH* | 12 | 8 | 3 | 16 | 28 | 42 |
| *İSH* | 11 | 4 | 8 | 16 | 25 | 46 |
| *SH* | 10 | 9 | 5 | 11 | 29 | 47 |
| *TAK21* | 7 | 10 | 2 | 16 | 43 | 47 |
| *OO* | 6 | 11 | 12 | 15 | 33 | 51 |
| *HES* | 5 | 6 | 3 | 19 | 23 | 52 |
| *HYS* | 4 | 4 | 5 | 14 | 22 | 48 |
| *OP* | 4 | 1 | 4 | 18 | 27 | 59 |
| *HS* | 3 | 4 | 0 | 16 | 28 | 58 |
| *HK* | 3 | 7 | 5 | 17 | 27 | 50 |
| *BHÖY* | 3 | 0 | 1 | 16 | 28 | 51 |
| *TSH* | 2 | 4 | 2 | 16 | 32 | 48 |
| *SHY* | 2 | 4 | 0 | 7 | 29 | 45 |
| *İY* | 2 | 2 | 4 | 16 | 28 | 55 |
| *NS* | 2 | 8 | 2 | 11 | 29 | 42 |
| *KS* | 1 | 6 | 5 | 19 | 36 | 53 |
| *N65* | 1 | 5 | 5 | 14 | 34 | 54 |
| *DP* | 1 | 3 | 0 | 16 | 32 | 55 |
| *KHY* | 1 | 6 | 4 | 18 | 40 | 41 |
| *KSKHY* | 1 | 2 | 3 | 20 | 22 | 44 |
| *KSSHY* | 1 | 5 | 5 | 16 | 40 | 49 |
| *KEH* | 0 | 1 | 2 | 13 | 27 | 42 |
| *KÖH* | 0 | 4 | 3 | 14 | 31 | 46 |
| *TK* | 0 | 2 | 0 | 9 | 28 | 47 |
| *AT* | 0 | 2 | 1 | 10 | 30 | 46 |
| *ODÇ* | 0 | 4 | 1 | 18 | 28 | 49 |
| *GK* | 0 | 2 | 1 | 20 | 31 | 51 |
| *KE20* | 0 | 6 | 2 | 12 | 30 | 48 |
| *CSHY* | 0 | 4 | 4 | 18 | 24 | 47 |
| *NY* | 0 | 2 | 4 | 14 | 40 | 54 |
| *KNY* | 0 | 3 | 2 | 8 | 25 | 47 |
| *KKS* | 0 | 4 | 4 | 16 | 33 | 51 |

Tablo 4.29'a göre bin kişi başına test sayısı, kişi başına düşen gayrisafi yurt içi hasıla, en azından temel içme suyu hizmetleri ve kişi başına sağlık harcaması değişkenleri kök düğümde en çok yer alan değişkenler olmuştur. Oluşturulan modellerde bin kişi başına test sayısı ile birlikte okuryazarlık oranı ve yüz kişi başına tam aşılanan kişi yüzdesi (2021) değişkenleri ise birinci düzey alt düğümde en sık kullanılan değişkenler olmuştur. Değişkenlern kullanım sıklıkları yüzdesel olarak değerlendirildiğinde sırasıyla sağlık harcaması, bin kişi başına test sayısı ve kişi başına düşen gayrisafi yurt içi hasıla değişkenlerinin benzer şekilde ilk sıralarda yer aldığı görülmektedir. Değişkenlerin kullanım sıklıkları yanında birinci kümenin bulaşıcılıkla mücadele modelinde olduğu gibi bu küme içinde değişkenlerin modelden çıkarılmasıyla doğruluk oranında meydana gelen ortalama azalış ve gini saflığındaki ortalama azalış R Studio programında hesaplanmıştır.

Aynı eğitim ve test veri seti temel alınarak yapılan uygulama benzer süreçler takip edilerek gerçekleştirilmiştir. Buna göre ikinci kümenin bulaşıcılıkla mücadele etkinliği sınıf tahmini ile elde edilen değişkenlerin önem düzeyleri doğruluk oranında meydana gelen ortalama azalış ve gini saflığındaki ortalama azalış göstergeleri dikkate alınarak sıralanmış ve görsel dağılımı Şekil 4.19'da verilmiştir.




**Şekil 4.19:** Rastgele orman algoritmasına göre ikinci kümenin bulaşıcılıkla mücadele etkinliğini açıklayan değişkenlerin önem düzeyi.

Şekil 4.19'a göre değişkenlerin çıkarılması ile hem doğruluk oranında meydana gelen azalış hem de gini saflığındaki azalışa göre bin kişi başına test sayısı, kişi başına sağlık harcaması ve kişi başına düşen gayrisafi yurt içi hasıla değişkenleri sınıflandırma tahmininde açıklayıcı ilk üç değişken olarak en yüksek öneme sahip olmuştur. Bu sonuçlar hem CART modeli ile hem de KNIME programında elde edilen bulgularla benzerlik göstermektedir. Bu değişkenlerin sınıf tahminine katkısının yanı sıra değişkenlerin sınıf tahminini ne yönde etkilediği hakkında yorum yapılabilmesi için ikinci kümedeki ülkelerin bulaşıcılıkla mücadele etkinlik sınıfının önem düzeyi yüksek değişkenlere göre değişimine ilişkin saçılım grafiği Şekil 4.20'de verilmiştir.




**Şekil 4.20:** İkinci kümedeki ülkelerin bulaşıcılıkla mücadele etkinlik sınıfının açıklayıcı değişkenlere göre saçılım grafiği.

Şekil 4.20'de verilen önem düzeyi en yüksek üç değişkene göre etkinlik sınıfı dağılımı CART modelinde belirlenen karar kuralını desteklemektedir. Buna göre üç değişkeninde düşük olduğu ülkelerin genel olarak etkin sınıfında yer aldığı görülmektedir. Bu durum gelişmemiş ülkelerin olduğu küme içinde yeterli düzeyde taramanın yapılamadığı ve sağlık hizmetlerine başvuru olmamasının çıktıların yetersiz düzeyde tespit edilmesine yol açacağını gösterebilmektedir. Eğitim seti ile elde edilen bulguların değerlendirilmesi aşamasından sonra rastgele orman algoritması ile ortaya çıkan farklı karar ağacı modellerindeki karar kuralları test setinde yer alan ülkelerin hedef değişken sınıflarını tahmin için kullanılmıştır. Bu kapsamda "Random Forest-Test" düğümü kullanılarak hata oranlarının ağırlığının dikkate alındığı çoğunluk oyu sınıf tahminleri yapılmıştır. Buna göre ikinci kümenin test setinde yer alan ülkelere ilişkin tahmin sonuçları Tablo 4.30'da verilmiştir.

**Tablo 4.30:** İkinci kümenin bulaşıcılıkla mücadele etkinliği sınıfı için rastgele orman modelinin test seti tahmin sonuçları.

| Ülkeler | BEK | Tahmin (BEK) | P(BEK) (Güven) | Ülkeler | BEK | Tahmin (BEK) | P(BEK) (Güven) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Afganistan | Etkin | Etkin | 0,970 | Jamaika | Değil | Değil | 0,890 |
| Bahamalar | Değil | Değil | 0,990 | Kongo | Etkin | Etkin | 0,950 |
| Bangladeş | Etkin | Etkin | 0,870 | Liberya | Etkin | Etkin | 0,890 |
| Bolivya | Değil | Değil | 0,900 | Libya | Değil | Değil | 0,800 |
| Brunei | Değil | Değil | 0,810 | Mali | Etkin | Etkin | 1,000 |
| El Salvador | Değil | Değil | 0,960 | Moritanya | Etkin | Etkin | 0,880 |
| Fas | Değil | Değil | 0,750 | Nepal | Değil | Etkin | 0,640 |
| Fiji | Değil | Değil | 0,940 | Paraguay | Değil | Değil | 0,900 |
| Fildişi Sahili | Etkin | Etkin | 0,940 | Senegal | Etkin | Etkin | 0,930 |
| Gabon | Değil | Değil | 0,750 | Zambiya | Etkin | Etkin | 0,820 |
| Haiti | Etkin | Etkin | 0,910 | Zimbabve | Etkin | Etkin | 0,910 |

Tablo 4.30'da gerçekte 'değil' sınıfında olan Nepalin 'değil' olarak tahmin edilmesi dışında ikinci kümede bulaşıcılıkla mücadele etkinlik sınıfı tahmininde tüm ülkelerin doğru tahmin edildiği görülmektedir. Bu sonuçlara göre test setinde yapılan tahminlerin karmaşıklık matrisi ve model performans göstergeleri Tablo 4.31'deki gibi elde edilmiştir.

**Tablo 4.31:** İkinci küme bulaşıcılıkla mücadele etkinliği sınıfı için rastgele orman modeli test seti tahmininin karmaşıklık matrisi.

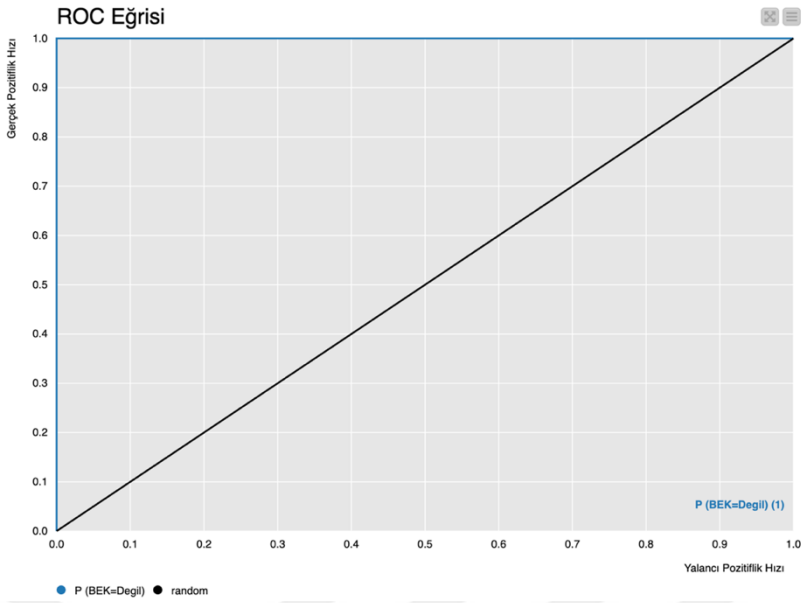
| | | **Tahmin Edilen Sınıf** | |
|---|---|---|---|
| | | Değil | Etkin |
| **Gerçek Sınıf** | Değil | 10 | 1 |
| | Etkin | 0 | 11 |
| **Performans Göstergeleri** | Doğruluk oranı | 0,955 | |
| | Hata oranı | 0,045 | |
| | Cohen's kappa | 0,909 | |

Tablo 4.31'de sınıf etkin sınıfı bazında hata olmadığı ve modelin genel doğruluk oranının %95,5 olarak hesaplandığı görülmektedir. Doğruluk oranı açısından mükemmele yakın bir tahmin elde edildiği ve Cohen kapppa katsayısı açısından da son derece uyumlu bir tahmin yapıldığı görülmektedir. Bununla birlikte performansları sınıf (etkin/değil) bazında değerlendiren diğer model performans göstergeleri hesaplanmış ve Tablo 4.32'deki gibi sonuçlar elde edilmiştir.

**Tablo 4.32:** İkinci küme bulaşıcılıkla mücadele etkinliği sınıfı için rastgele orman modeli test seti başarı ölçütleri.

| **Sınıf** | **Kesinlik** | **Sensitivite** | **Spesifite** | **F Skoru** |
|---|---|---|---|---|
| **Değil** | 1 | 0,909 | 1 | 0,952 |
| **Etkin** | 0,917 | 1 | 0,909 | 0,957 |

Modelde tek hata olması mükemmel bir tahmin yapıldığını göstermektedir. Bu metriklerin aldığı çok yüksek değerlerde bunu yansıtmaktadır. Mükemmel bir tahmin yaptığını ortaya çıkarmanın en kolay yolu ROC eğrisi ve AUC değerlerine bakmaktır. Şekil 4.21'de ikinci kümenin bulaşıcılıkla mücadele etkinliği rastgele orman modeli tahmininin ROC eğrisi ve hesaplanan AUC değeri verilmiştir.




**Şekil 4.21:** İkinci kümenin bulaşıcılıkla mücadele etkinliği rastgele orman modeli tahmininin ROC eğrisi.

Şekil 4.21'de verilen ROC eğrisi, ikinci kümenin bulaşıcılıkla mücadele etkinliği rastgele orman modeli tahmininin mükemmel olduğunu göstermektedir. ROC eğrisi altındaki alan 'değil' sınıfını esas alan ROC eğrisi için değeri maksimum değere ulaşmıştır. Rastgele orman algoritması modelinde elde edilen bu değerin ikinci kümenin bulaşıcılıkla mücadele etkinliği CART modeli ile benzer şekilde tahmin performanslarının genel olarak mükemmele yakın sonuç verdiğini göstermektedir.

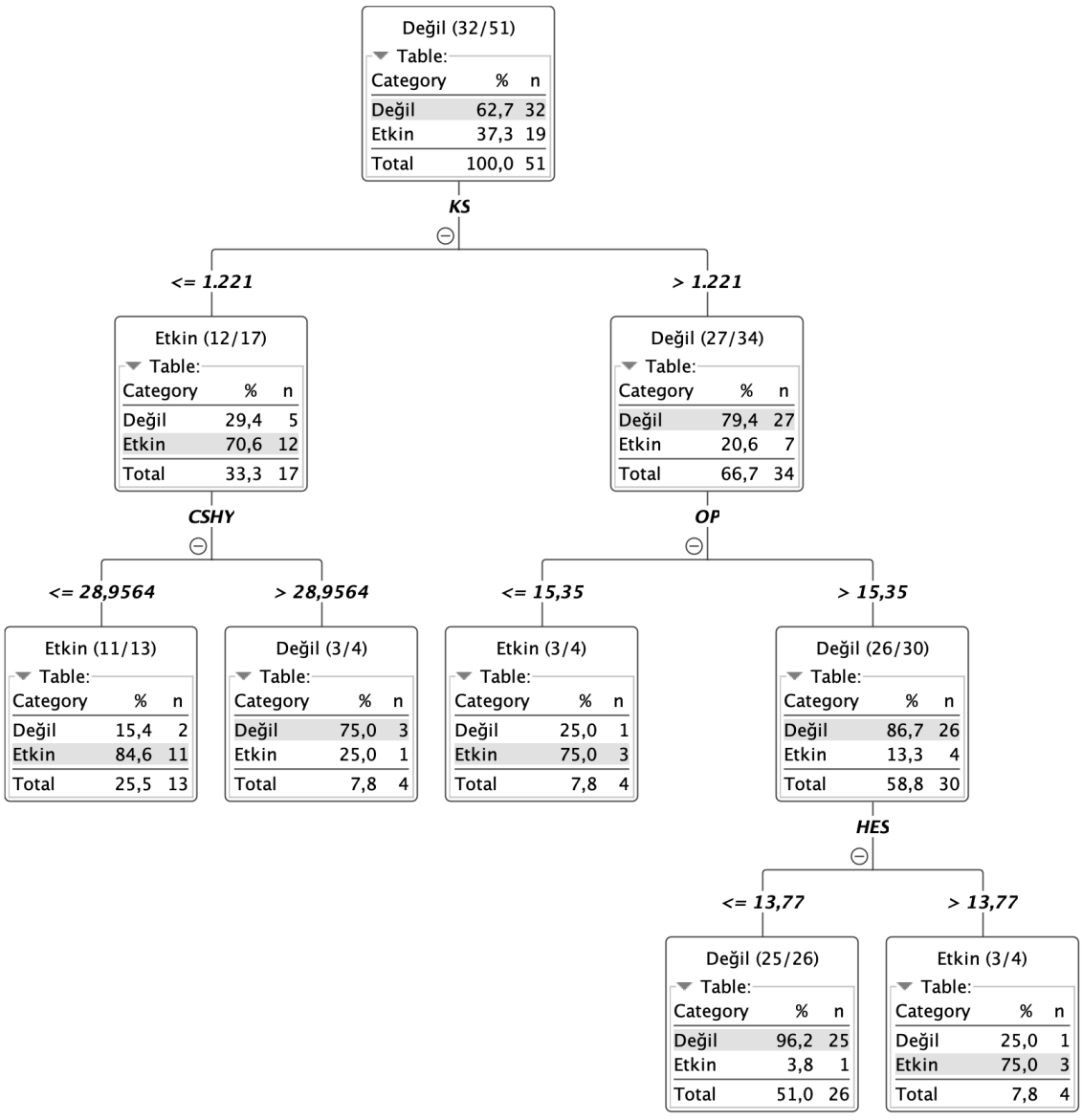
### 4.3.5. Birinci Kümedeki Ülkelerin Tedavi Etkinliği CART Modeli Bulguları

Bulaşıcılıkla mücadele etkinliği modeli kapsamında KNIME programında izlenen CART sınıflandırma algoritması iş akışı, birinci kümedeki ülkelerin tedavi etkinliği sınıfını açıklamak için de uygulanmıştır. Buna göre araştırmanın ikinci aşamasında tedavi etkinliği için yapılan VZA sonucunda elde edilen etkinlik sınıflarını (etkin/değil) açıklayacak değişkenleri belirlemek için CART modeli kullanılmıştır. Bunun için gerekli düzenlemeler yapılarak öncelikle birinci kümede yer alan ülkelerden oluşan veri setini tanımak için istatiksel veriler düğümü ve veri setinde yer alan hedef değişkenin kullanılan değişkenler ile açıklanabilme durumunu görsel olarak değerlendirebilmek için saçılım grafiği düğümü kullanılmıştır. Bunun ardından veri seti hedef değişkenin niteliğini esas alan tabakalı örnekleme yöntemine göre eğitim seti %70 ve test seti %30 olacak şekilde bölünmüştür. Eğitim setinde yer alan 51 ülkeye ilişkin bilgiler Tablo 4.33'te verilmiştir.

**Tablo 4.33:** Birinci kümenin tedavi etkinliği modeli için CART algoritması eğitim seti.

| Ülke | TEK | KS | CSHY | OP | HES | Ülke | TEK | KS | CSHY | OP | HES |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Amerika Birleşik Devletleri | Değil | 12034 | 9,9 | 37,3 | 15,7 | Kanada | Değil | 8894 | 12,4 | 31,3 | 11,4 |
| Arnavutluk | Değil | 720 | 56,5 | 22,3 | 5,1 | Kazakistan | Değil | 12012 | 27,5 | 21,3 | 7,3 |
| Avusturya | Değil | 2562 | 16,8 | 21,9 | 7,1 | Kırgızistan | Değil | 3878 | 45,9 | 15,4 | 5,6 |
| Bahreyn | Etkin | 0 | 30,1 | 28,7 | 2,5 | Kolombiya | Değil | 6004 | 13,6 | 22,1 | 1,4 |
| Belçika | Değil | 1385 | 16,0 | 24,5 | 11,7 | Kosta Rika | Etkin | 639 | 20,3 | 25,7 | 3,4 |
| Birleşik Arap Emirlikleri | Etkin | 867 | 11,6 | 29,9 | 5,7 | Küba | Değil | 0 | 8,9 | 26,7 | 7,6 |
| Birleşik Krallık | Değil | 499 | 13,6 | 29,5 | 8,6 | Malezya | Etkin | 3147 | 35,9 | 15,3 | 3,5 |
| Bosna-Hersek | Değil | 1459 | 28,9 | 19,4 | 5,7 | Malta | Değil | 0 | 30,3 | 31 | 9,5 |
| Brezilya | Değil | 14691 | 22,4 | 22,3 | 7,4 | Meksika | Değil | 4353 | 38,8 | 28,4 | 2,8 |
| Çekya | Değil | 1881 | 11,5 | 28,5 | 8,9 | Moldova | Değil | 1389 | 30,9 | 20,1 | 3,9 |
| Çin | Etkin | 22147 | 34,8 | 6,6 | 3,1 | Morityus | Değil | 0 | 41,3 | 11,5 | 3,9 |
| Danimarka | Etkin | 68 | 12,8 | 21,3 | 10,5 | Norveç | Etkin | 2551 | 13,9 | 25 | 18,3 |
| Ekvador | Değil | 2010 | 33,8 | 19,3 | 2,5 | Peru | Değil | 5536 | 22,8 | 19,1 | 3,0 |
| Endonezya | Değil | 2830 | 31,8 | 6,9 | 3,8 | Portekiz | Etkin | 1214 | 27,8 | 23,2 | 7,4 |
| Estonya | Etkin | 633 | 21,6 | 23,8 | 6,6 | Romanya | Değil | 2508 | 19,0 | 24,5 | 6,1 |
| Finlandiya | Etkin | 2690 | 16,4 | 24,9 | 22,3 | Rusya | Değil | 20017 | 27,8 | 25,7 | 8,5 |
| Güney Kore | Etkin | 238 | 27,7 | 4,9 | 8,2 | Sırbistan | Değil | 2027 | 35,9 | 23,5 | 6,1 |
| Gürcistan | Değil | 1461 | 46,8 | 23,3 | 5,2 | Singapur | Etkin | 0 | 19,0 | 6,6 | 6,2 |
| Hindistan | Etkin | 14209 | 50,6 | 3,8 | 1,7 | Slovenya | Değil | 1334 | 12,5 | 22,5 | 10,5 |
| Hollanda | Etkin | 1027 | 9,3 | 23,1 | 11,1 | Suudi Arabistan | Değil | 4431 | 15,9 | 35 | 5,8 |
| İspanya | Değil | 1918 | 19,6 | 27,1 | 6,1 | Şili | Değil | 6171 | 29,4 | 28,8 | 4,8 |
| İsveç | Değil | 2333 | 13,0 | 22,1 | 11,9 | Türkiye | Etkin | 2648 | 16,4 | 32,2 | 3,0 |
| İsviçre | Etkin | 1852 | 22,0 | 21,2 | 18,3 | Ukrayna | Değil | 4663 | 47,9 | 26,1 | 6,7 |
| İtalya | Değil | 1932 | 21,3 | 22,9 | 6,4 | Yeni Zelenda | Etkin | 0 | 11,6 | 32 | 11,2 |
| İzlanda | Etkin | 0 | 15,0 | 23,1 | 17,2 | Yunanistan | Değil | 1228 | 33,4 | 27,4 | 3,7 |
| Japonya | Etkin | 0 | 12,6 | 4,4 | 11,9 | | | | | | |

Tablo 4.33'te verilen ülkelerin hedef değişken sınıflarının özniteliklerine göre bölünmesinde gini indeksinin kullanılması için gerekli düzenlemeler yapılmıştır. Buna göre eğitim setinde yer alan ülke verilerinden hedef değişken sınıfını açıklamaya yönelik karar ağacı modeli ve bu karar ağacında belirlenen kural seti elde edilmiştir. Bu düzenlemeler sonucunda birinci kümede yer alan ülkelerin tedavi etkinliği sınıfını açıklayan CART modelinin karar ağacı görünümü Şekil 4.22'de verilmiştir.




**Şekil 4.22:** Birinci kümedeki ülkelerin tedavi etkinliği sınıfı karar ağacı modeli.

Şekil 4.22'ye göre kök düğümünde yer alan kara sınırı değişkeni karar ağacında belirlenen eşik değerin (1221) altında olan 17 ülkeden 12'sinin genel olarak tedavi hizmetlerini etkin yürütebildiği ve eşik değerin üzerinde olan 34 ülkeden ise genel olarak 27'sinin etkin yürütemediği görülmektedir. Bu durum özellikle kara sınırı görece kısa

olan ülkelerin genellikle yüz ölçümünün daha küçük ülkeler olmasından kaynaklanabilir. Buna göre kara sınırı kısa olan ve etkin sınıfında yer alan Estonya, Bahreyn, Kosta Rika, Singapur, Birleşik Arap Emirlikleri, Güney Kore, İzlanda, Hollanda ve Portekiz'in yüz ölçümlerinin karşılaştırma grubundaki ülkelere göre daha küçük olduğu görülmektedir. Bu durum ülkelerde sağlık sisteminin temel bileşenlerinden olan tedavi edici hizmetlerin sunumunda yönetsel etkinliğin daha kolay sağlanabilmesini sağlayabilir. Bununla birlikte bu durum sağlık hizmetleri talebi açısından hastaların hizmetlere coğrafi erişilebilirliğini kolaylaştıran önemli bir faktör olabilir. Bunun dışında kara sınırı yüksek olan ülkelerde komşu ülke vatandaşlarının ilgili ülkeye sağlık hizmeti talebini kolaylaştırabilir. Bu nedenle kara sınırı kısa olan ülkeler tedavi hizmetlerinin kapasitesinin daha büyük bir kısmını iç talebe yönlendirme imkanı bulabilir. Kara sınırı kök düğümünün altındaki ilk alt düğümde yer alan değişken ise cepten yapılan sağlık harcamalarının yüzdesidir. Bu değişkenin yüksek değer aldığı ülkelerde sağlık hizmetlerine finansal erişilebilirliğin sınırlandığı bilinmektedir. Buna göre kara sınırı eşik değerin altında olmasına rağmen tedavi etkin olmayan Arnavutluk, Morityus ve Malta'nın etkin olmaması cepten yapılan sağlık harcaması değikeni ile açıklanmıştır. Kara sınırı belirlenen eşik değerin üzerinde olan 34 ülkeden 27'sinin 'değil' olarak sınıflandığı görülmektedir. Burada etkin olan yedi ülkeyi açıklamak üzere kullanılan alt düğümlerde ise sırasıyla obezite prevalansı ve bin kişi başına düşen hemşire ve ebe sayısı değişkenleri yer almıştır. Buna göre Malezya, Çin ve Hindistan kara sınırı yüksek olmasına rağmen obezite prevalansı düşük olan ve tedavi etkin sınıfında yer alan ülkeler olmuştur. Kara sınırı eşik değerin üzerinde olan ve obezite prevalansının eşik değerin üzerinde olduğu Norveç, Finlandiya ve İsviçre'nin etkinlik sınıfı ise bin kişi başına hemşire ve ebe sayısı değişkeninin eşik değerin üzerinde olması ile açıklanmıştır. Bu kapsamda birinci kümenin tedavi etkinliğini açıklamada kullanılan CART algoritması ile oluşturulan karar ağacının kural seti ($CSHY$ <= 28,96 AND $KS$ <= 1221,0 => "Etkin"; $CSHY$ > 28,96 AND $KS$ <= 1221,0 => "Değil"; $OP$ <= 15,35 AND $KS$ > 1221,0 => "Etkin"; $HES$ <= 13,77 AND $OP$ > 15,35 AND $KS$ > 1221,0 => "Değil"; $HES$ > 13,77 AND $OP$ > 15,35 AND $KS$ > 1221,0 => "Etkin") olarak elde edilmiştir. Eğitim seti kullanılarak oluşturulan karar ağacının kural seti, test setinde yer alan ülkelerin hedef değişkenlerinin düzeylerini tahmin etmede kullanılmıştır. Buna göre hedef değişken düzeyleri için yapılan tahminler, gerçek değerler ve ülkelerin 'etkin' veya 'değil' şeklinde sınıflandırılması olasılıkları Tablo 4.34'teki gibi elde edilmiştir.

**Tablo 4.34:** Birinci kümenin tedavi etkinliği sınıfı için CART tahmin sonuçları.

| Ülkeler | KS | CSHY | OP | HES | TEK | Tahmin (TEK) | P (TEK= Değil) | P (TEK= Etkin) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Almanya | 3621 | 12,5 | 25,7 | 14,2 | Değil | Etkin | 0,250 | 0,750 |
| Arjantin | 9665 | 24,2 | 28,5 | 2,6 | Değil | Değil | 0,962 | 0,038 |
| Avustralya | 0 | 13,8 | 30,4 | 13,1 | Etkin | Etkin | 0,154 | 0,846 |
| Belarus | 2900 | 24,8 | 26,6 | 11,0 | Etkin | Değil | 0,962 | 0,038 |
| Bulgaristan | 1808 | 36,6 | 27,4 | 4,8 | Değil | Değil | 0,962 | 0,038 |
| Filipinler | 0 | 45,0 | 6 | 5,4 | Değil | Değil | 0,750 | 0,250 |
| Fransa | 4082 | 8,9 | 23,2 | 11,8 | Değil | Değil | 0,962 | 0,038 |
| Hırvatistan | 2197 | 10,4 | 27,1 | 6,2 | Değil | Değil | 0,962 | 0,038 |
| İrlanda | 499 | 10,5 | 26,9 | 13,0 | Değil | Etkin | 0,154 | 0,846 |
| İsrail | 1017 | 17,1 | 26,7 | 5,6 | Etkin | Etkin | 0,154 | 0,846 |
| Katar | 60 | 9,5 | 33,9 | 7,2 | Etkin | Etkin | 0,154 | 0,846 |
| Kıbrıs | 152 | 14,0 | 22,6 | 4,0 | Etkin | Etkin | 0,154 | 0,846 |
| Kuveyt | 462 | 9,1 | 37 | 7,4 | Etkin | Etkin | 0,154 | 0,846 |
| Letonya | 1150 | 32,1 | 25,7 | 4,8 | Değil | Değil | 0,750 | 0,250 |
| Litvanya | 1273 | 28,7 | 28,4 | 8,2 | Değil | Değil | 0,962 | 0,038 |
| Lüksemburg | 359 | 8,5 | 24,2 | 12,2 | Etkin | Etkin | 0,154 | 0,846 |
| Macaristan | 2171 | 25,5 | 28,6 | 6,9 | Değil | Değil | 0,962 | 0,038 |
| Panama | 555 | 32,5 | 22,5 | 3,2 | Değil | Değil | 0,750 | 0,250 |
| Polonya | 2788 | 20,0 | 25,6 | 5,7 | Değil | Değil | 0,962 | 0,038 |
| Slovakya | 1524 | 18,8 | 22,4 | 6,1 | Değil | Değil | 0,962 | 0,038 |
| Tayland | 4863 | 10,5 | 10,8 | 3,2 | Etkin | Etkin | 0,250 | 0,750 |
| Uruguay | 1564 | 16,7 | 28,9 | 7,2 | Değil | Değil | 0,962 | 0,038 |

Tablo 4.34 incelendiğinde test setinde yer alan 22 ülkeden gerçekte etkin olmayan Almanya ve İrlanda'nın 'etkin' ve gerçekte etkin olan Belarus'un ise 'değil' olarak tahmin edildiği görülmektedir. Bunun dışındaki 19 ülkelerin sınıf değerlerinin tahminleri gerçek değerleri ile tutarlı olarak yapılmıştır. Test setinde yer alan Kuveyt, İrlanda, Kıbrıs ve İsrail gibi ülkeler kara sınırı küçük olması ve cepten yapılan sağlık harcamasının eşik değerin altında olması kuralı ile doğru tahmin edilen ülkeler olmuştur. Bu ülkelerin aynı zamanda yüz ölçümleri küçük olan ülkeler olması dikkat çekicidir. Birinci kümenin tedavi etkinliği sınıfı için yapılan tahmin sonucunda modelin performansını ortaya koyan karmaşıklık parametresini elde etmek amacıyla model performansı ve ROC eğrisi düğümleri kullanılmıştır. Buna göre modelin performansını gösteren karmaşıklık parametresi Tablo 4.35'te verilmiştir.

**Tablo 4.35:** Birinci kümedeki ülkelerin tedavi etkinliği sınıfı için CART modeli tahmininin karmaşıklık matrisi.

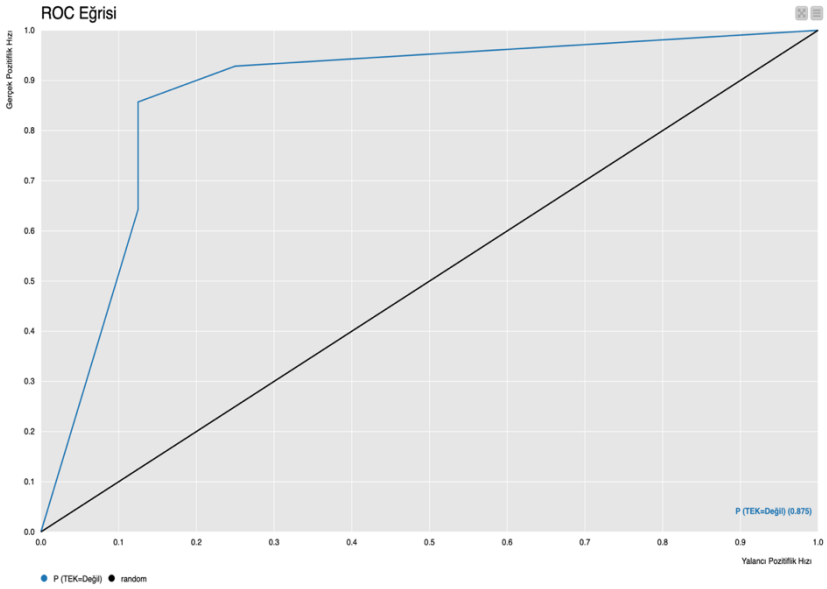
| | | Tahmin Edilen Sınıf | |
|---|---|---|---|
| | | Değil | Etkin |
| **Gerçek Sınıf** | Değil | 12 | 2 |
| | Etkin | 1 | 7 |
| **Performans Göstergeleri** | Doğruluk oranı | 0,864 | |
| | Hata oranı | 0,136 | |
| | Cohen's kappa | 0,713 | |

Tablo 4.35'e 12 ülke gerçek pozitif ve 7 ülke gerçek negatif olmak üzere toplamda 19 ülkenin etkinlik sınıfı doğru tahmin edilmiş ve modelin doğruluk oranı %86,36 olarak hesaplanmıştır. yüksek bir değere ulaştığı görülmektedir. Cohen'in kappa katsayısı ise 0,713 olarak elde edilmiştir. Bu sonuçlar yapılan tahminlerin çok yüksek doğruluğa ve uyumluluğa sahip olduğunu göstermektedir. Birinci kümenin tedavi etkinliği için uygulanan CART modelinin karmaşıklık matrisi kullanılarak hesaplanan diğer performans değerlendirme ölçütleri bulguları ise Tablo 4.36'da verilmiştir.

**Tablo 4.36:** Birinci kümedeki ülkelerin tedavi etkinliği sınıfı için CART modeli tahmininin başarı ölçütleri.

| Sınıf | Kesinlik | Sensitivite | Spesifite | F Skoru |
|---|---|---|---|---|
| **Değil** | 0,923 | 0,857 | 0,875 | 0,889 |
| **Etkin** | 0,778 | 0,875 | 0,857 | 0,824 |

Tablo 4.36'da verilen sınıf değeri doğruluğunu gösteren kesinlik ölçütü, modelin ne kadar iyi ölçüm yaptığını gösteren sensitivite ve spesifite özgüllük ölçüleri ile bu iki ölçütün harmonik ortalaması olan F skoru değerleri incelendiğinde modelin her iki sınıf/düzey tahmini için oldukça başarılı performans gösterdiği görülmektedir. Bu ölçütler ile birlikte, birinci kümenin tedavi etkinliği CART modeli tahminlerinin performansını değerlendirmek için ROC eğrisi çizilerek AUC değeri hesaplanmış ve bulgular Şekil 4.23'teki gibi elde edilmiştir.




**Şekil 4.23:** Birinci kümenin tedavi etkinliği CART modeli tahmininin ROC eğrisi.

Şekil 4.23'te birinci kümenin tedavi etkinliği CART modeli tahminleri baz alınarak çizilen ROC eğrisinin altında kalan alan (AUC) değerinin 0,875 olarak hesaplandığı görülmektedir. Bu sonuca göre ROC eğrisinin altında kalan alanın 1'e yakın bir değer olması modelin sınıfları tahmin etme başarısının iyi düzeyde olduğunu doğrulamaktadır.

### 4.3.6. Birinci Kümedeki Ülkelerin Tedavi Etkinliği Rastgele Orman Modeli Bulguları

Bulaşıcılıkla mücadele etkinliği sınıfını açıklamaya yönelik KNIME programında hazırlanan rastgele orman algoritması iş akışı tedavi etkinliği sınıfının hedef değişken olacağı modelin oluşturulması için de kullanılmıştır. Birinci kümenin tedavi etkinliği sınıf tahmininde CART algoritmasında kullanılan bölünme kodu ile eğitim seti %70 ve test seti %30 olacak şekilde bölünme gerçekleştirilmiştir. Örnekleme işlemi tamamlandıktan sonra "Random Forest-Eğitim" düğümünde hedef değer (sınıf değişkeni) olarak tedavi etkinliği sınıfı, açıklayıcı değişkenler olarak çalışmada belirlenen öznitelikler, bölünme kriteri olarak gini indeksi ve kullanılacak ağaç sayısı olarak 200 değeri tanımlanmıştır. Bu doğrultuda 200 adet karar ağacı modeli oluşturmak için 51 ülkenin yer aldığı eğitim setinden oluşturulan alt uzaylar ile yapılan sınıf tahminleri, olasılık değerleri ve ülkelerin modelde yer alma sayısına ilişkin bulgular Tablo 4.37'deki gibi elde edilmiştir.

**Tablo 4.37:** Birinci kümenin tedavi etkinliği sınıfı için eğitim setinde yapılan rastgele orman algoritması tahminleri.

| Ülkeler | TEK | TEK (OOB) | P(TEK= Değil) | P(TEK= Etkin) | TEK (OOB) (Güven) | Model Sayısı | Ülkeler | TEK | TEK (OOB) | P(TEK= Değil) | P(TEK= Etkin) | TEK (OOB) (Güven) | Model Sayısı |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Amerika Birleşik Devletleri | Değil | Değil | 0,521 | 0,479 | 0,521 | 71 | Kanada | Değil | Değil | 0,605 | 0,395 | 0,605 | 76 |
| Arnavutluk | Değil | Değil | 0,658 | 0,342 | 0,658 | 73 | Kazakistan | Değil | Değil | 0,643 | 0,357 | 0,643 | 56 |
| Avusturya | Değil | Değil | 0,587 | 0,412 | 0,587 | 80 | Kırgızistan | Değil | Değil | 0,899 | 0,101 | 0,899 | 79 |
| Bahreyn | Etkin | Etkin | 0,368 | 0,632 | 0,632 | 57 | Kolombiya | Değil | Değil | 0,899 | 0,101 | 0,899 | 69 |
| Belçika | Değil | Değil | 0,512 | 0,488 | 0,512 | 86 | Kosta Rika | Etkin | Değil | 0,784 | 0,216 | 0,784 | 74 |
| Birleşik Arap Emirlikleri | Etkin | Etkin | 0,365 | 0,635 | 0,635 | 63 | Küba | Değil | Etkin | 0,453 | 0,547 | 0,547 | 86 |
| Birleşik Krallık | Değil | Etkin | 0,400 | 0,600 | 0,600 | 75 | Malezya | Etkin | Değil | 0,740 | 0,260 | 0,740 | 73 |
| Bosna-Hersek | Değil | Değil | 0,862 | 0,138 | 0,862 | 65 | Malta | Değil | Etkin | 0,191 | 0,809 | 0,809 | 68 |
| Brezilya | Değil | Değil | 0,827 | 0,173 | 0,827 | 75 | Meksika | Değil | Değil | 0,662 | 0,338 | 0,662 | 74 |
| Çekya | Değil | Değil | 0,600 | 0,400 | 0,600 | 80 | Moldova | Değil | Değil | 0,803 | 0,197 | 0,803 | 66 |
| Çin | Etkin | Değil | 0,594 | 0,406 | 0,594 | 69 | Morityus | Değil | Etkin | 0,347 | 0,653 | 0,653 | 75 |
| Danimarka | Etkin | Etkin | 0,405 | 0,595 | 0,595 | 79 | Norveç | Etkin | Etkin | 0,435 | 0,565 | 0,565 | 85 |
| Ekvador | Değil | Değil | 0,764 | 0,236 | 0,764 | 89 | Peru | Değil | Değil | 0,703 | 0,297 | 0,703 | 64 |
| Endonezya | Değil | Değil | 0,545 | 0,455 | 0,545 | 66 | Portekiz | Etkin | Değil | 0,730 | 0,270 | 0,730 | 63 |
| Estonya | Etkin | Değil | 0,762 | 0,237 | 0,762 | 80 | Romanya | Değil | Değil | 0,726 | 0,274 | 0,726 | 62 |
| Finlandiya | Etkin | Etkin | 0,436 | 0,564 | 0,564 | 78 | Rusya | Değil | Değil | 0,796 | 0,204 | 0,796 | 93 |
| Güney Kore | Etkin | Etkin | 0,358 | 0,642 | 0,642 | 67 | Sırbistan | Değil | Değil | 0,944 | 0,056 | 0,944 | 71 |
| Gürcistan | Değil | Değil | 0,909 | 0,091 | 0,909 | 66 | Singapur | Etkin | Etkin | 0,200 | 0,800 | 0,800 | 80 |
| Hindistan | Etkin | Değil | 0,605 | 0,395 | 0,605 | 81 | Slovenya | Değil | Değil | 0,667 | 0,333 | 0,667 | 72 |
| Hollanda | Etkin | Etkin | 0,450 | 0,550 | 0,550 | 79 | Suudi Arabistan | Değil | Değil | 0,547 | 0,453 | 0,547 | 64 |
| İspanya | Değil | Değil | 0,662 | 0,338 | 0,662 | 74 | Şili | Değil | Değil | 0,667 | 0,333 | 0,667 | 78 |
| İsveç | Değil | Değil | 0,538 | 0,462 | 0,538 | 62 | Türkiye | Etkin | Değil | 0,772 | 0,228 | 0,772 | 79 |
| İsviçre | Etkin | Etkin | 0,488 | 0,512 | 0,512 | 74 | Ukrayna | Değil | Değil | 0,797 | 0,203 | 0,797 | 69 |
| İtalya | Değil | Değil | 0,625 | 0,375 | 0,625 | 72 | Yeni Zelenda | Etkin | Etkin | 0,364 | 0,636 | 0,636 | 66 |
| İzlanda | Etkin | Etkin | 0,290 | 0,710 | 0,710 | 69 | Yunanistan | Değil | Değil | 0,716 | 0,284 | 0,716 | 74 |
| Japonya | Etkin | Etkin | 0,464 | 0,536 | 0,536 | 69 | | | | | | | |

**TEK: tedavi etkinliği kodu, OOB: torba dışı veri, P: olasılık**

Tablo 4.37'de eğitim seti kullanılarak oluşturulacak karar ağacı modellerinde eğitim seti için belirlenen ülkelerin kullanılma sıklığı ve bu ülkelerin hedef değişkenlerinin her bir sınıf tahmini için hesaplanan olasılık değerleri, bu iki değer baz alınarak hesaplanan torba dışı tahminin güven düzeyi, ülkelerin hedef özniteliğinin gerçek ve tahmin edilen sınıf değerleri yer almaktadır. Bu tahminlerde gerçekte tedavi etkin olmayan Birleşik Krallık, Küba, Morityus ve Malta'nın 'etkin'; gerçekte etkin olan Türkiye, Portekiz, Malezya, Kosta Rika, Çin, Estonya ve Hindistan'ın ise 'değil' olarak sınıflandırıldığı görülmektedir. Bunun dışındaki tüm ülkelerin etkinlik sınıfı doğru tahmin edilmiştir. Buna göre modelin iç testi olan torba dışı hata oranı ve karmaşıklık matrisi, modelin performansını değerlendirebilmek için Tablo 4.38'de verilmiştir.

**Tablo 4.38:** Birinci küme tedavi etkinliği sınıfı için rastgele orman modeli eğitim seti tahmininin karmaşıklık matrisi.

| | | **Tahmin Edilen Sınıf** | |
|---|---|---|---|
| | | Değil | Etkin |
| **Gerçek Sınıf** | Değil | 28 | 4 |
| | Etkin | 7 | 12 |
| **Performans Göstergeleri** | OOB doğruluk oranı | 0,784 | |
| | OOB hata oranı | 0,216 | |
| | Cohen's kappa | 0,523 | |

Tablo 4.38'de 200 karar ağacının kullanıldığı durumda her bir karar ağacının OOB hata oranı bazında yapılan ağırlıklandırma sonucunda topluluğun nihai tahmininin doğruluk oranı %78,4 olarak elde edilmiştir. Bu doğruluk oranı modelin iyi performans gösterdiğini ve Cohen kappa katsayısı olan 0,523 değeri ise uyumlu olduğunu yansıtmaktadır. Bunlara ek olarak eğitim setinin karmaşıklık matrisi temel alınarak yapılan tahminlerin çeşitli performans ölçütleri Tablo 4.39'da verilmiştir.

**Tablo 4.39:** Birinci küme tedavi etkinliği sınıfı için rastgele orman modeli eğitim seti tahmininin başarı ölçütleri.

| **Sınıf** | **Kesinlik** | **Sensitivite** | **Spesifite** | **F Skoru** |
|---|---|---|---|---|
| **Değil** | 0,800 | 0,875 | 0,632 | 0,836 |
| **Etkin** | 0,750 | 0,632 | 0,875 | 0,686 |

Tablo 4.39'da eğitim setinde yapılan tahminlere ilişkin sınıf bazında verilen çeşitli performans göstergeleri incelendiğinde, modelin 'değil' sınıfının tahmininde görece daha yüksek performans sergilediği görülmektedir. Torba dışı veriler ile hesaplanabilen bir diğer önemli gösterge ise değişkenlerin karar ağaçlarının kök düğümünde veya farklı

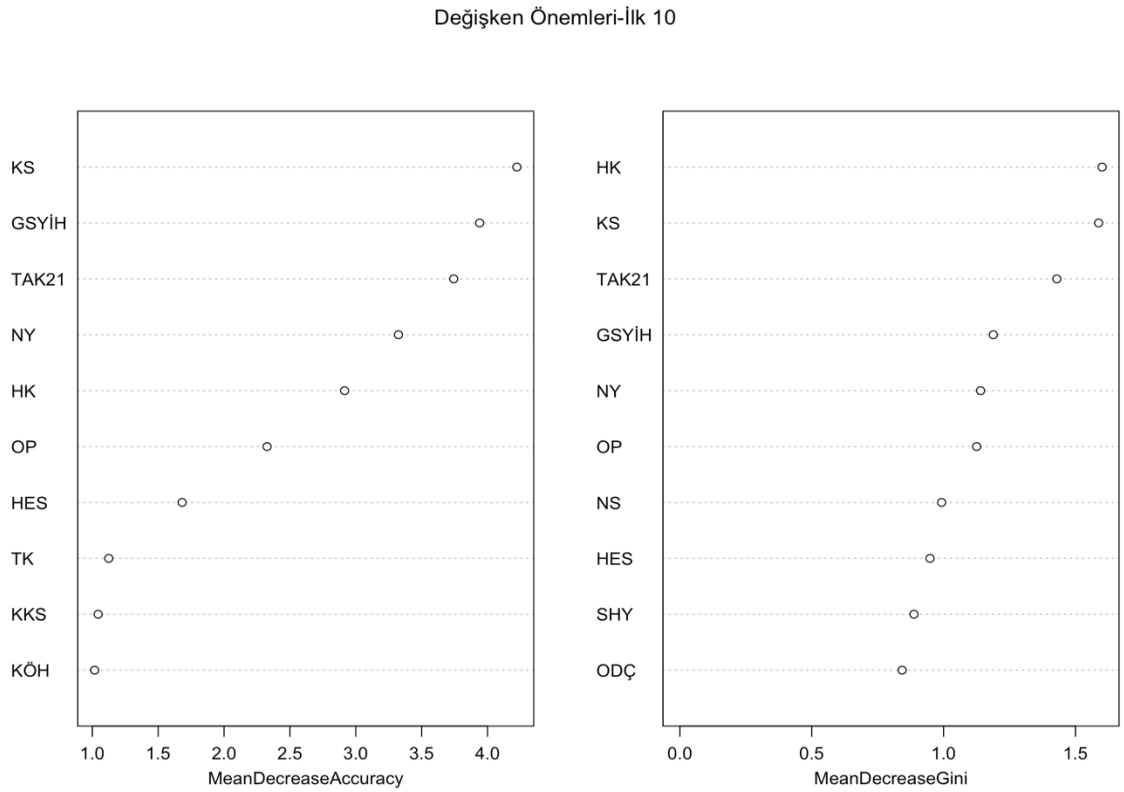
düzey düğümlerinde yer alma sıklığıdır. Buna göre birinci kümenin tedavi etkinliğini açıklamada eğitim seti kullanılarak oluşturulan 200 karar ağacının farklı düzeylerinde açıklayıcı değişkenlerin aday gösterilme ve kullanılma sıklıkları KNIME programı ile Tablo 4.40'daki gibi hesaplanmıştır.

**Tablo 4.40:** Birinci kümenin tedavi etkinliği rastgele orman modelinde açıklayıcı değişkenlerin farklı düzeylerde kullanım sıklığı.

| ***Değişkenler*** | **Düzey 0** | **Düzey 1** | **Düzey 2** | **Aday-Düzey 0** | **Aday-Düzey 1** | **Aday-Düzey 2** |
|---|---|---|---|---|---|---|
| *TAK21* | 26 | 15 | 9 | 36 | 58 | 99 |
| *KS* | 24 | 13 | 22 | 35 | 49 | 119 |
| *GSYİH* | 17 | 15 | 16 | 33 | 51 | 112 |
| *KKS* | 12 | 12 | 8 | 36 | 63 | 102 |
| *NY* | 11 | 13 | 14 | 35 | 59 | 119 |
| *HK* | 10 | 16 | 23 | 26 | 66 | 110 |
| *KNY* | 10 | 10 | 9 | 36 | 64 | 102 |
| *HES* | 9 | 19 | 14 | 33 | 71 | 103 |
| *ODÇ* | 8 | 8 | 13 | 35 | 57 | 110 |
| *OP* | 8 | 25 | 27 | 32 | 80 | 114 |
| *DP* | 7 | 15 | 22 | 32 | 64 | 124 |
| *TSH* | 7 | 7 | 10 | 38 | 78 | 117 |
| *İY* | 7 | 11 | 15 | 34 | 62 | 116 |
| *İSH* | 6 | 6 | 10 | 35 | 69 | 110 |
| *SH* | 6 | 6 | 7 | 34 | 66 | 113 |
| *KÖH* | 6 | 6 | 12 | 31 | 60 | 107 |
| *CSHY* | 5 | 8 | 9 | 31 | 71 | 104 |
| *TK* | 4 | 8 | 5 | 29 | 59 | 100 |
| *SHY* | 4 | 16 | 20 | 32 | 64 | 120 |
| *KSSHY* | 3 | 11 | 17 | 32 | 62 | 129 |
| *KEH* | 2 | 8 | 9 | 32 | 70 | 115 |
| *N65* | 2 | 8 | 7 | 27 | 71 | 109 |
| *HYS* | 2 | 9 | 8 | 34 | 62 | 98 |
| *HS* | 1 | 4 | 15 | 24 | 58 | 105 |
| *AT* | 1 | 6 | 11 | 35 | 48 | 117 |
| *KHY* | 1 | 10 | 14 | 24 | 64 | 112 |
| *NS* | 1 | 19 | 20 | 34 | 57 | 103 |
| *GK* | 0 | 5 | 8 | 29 | 59 | 115 |
| *KSKHY* | 0 | 8 | 21 | 34 | 74 | 127 |
| *OO* | 0 | 16 | 13 | 30 | 84 | 121 |
| *BHÖY* | 0 | 12 | 10 | 32 | 80 | 98 |

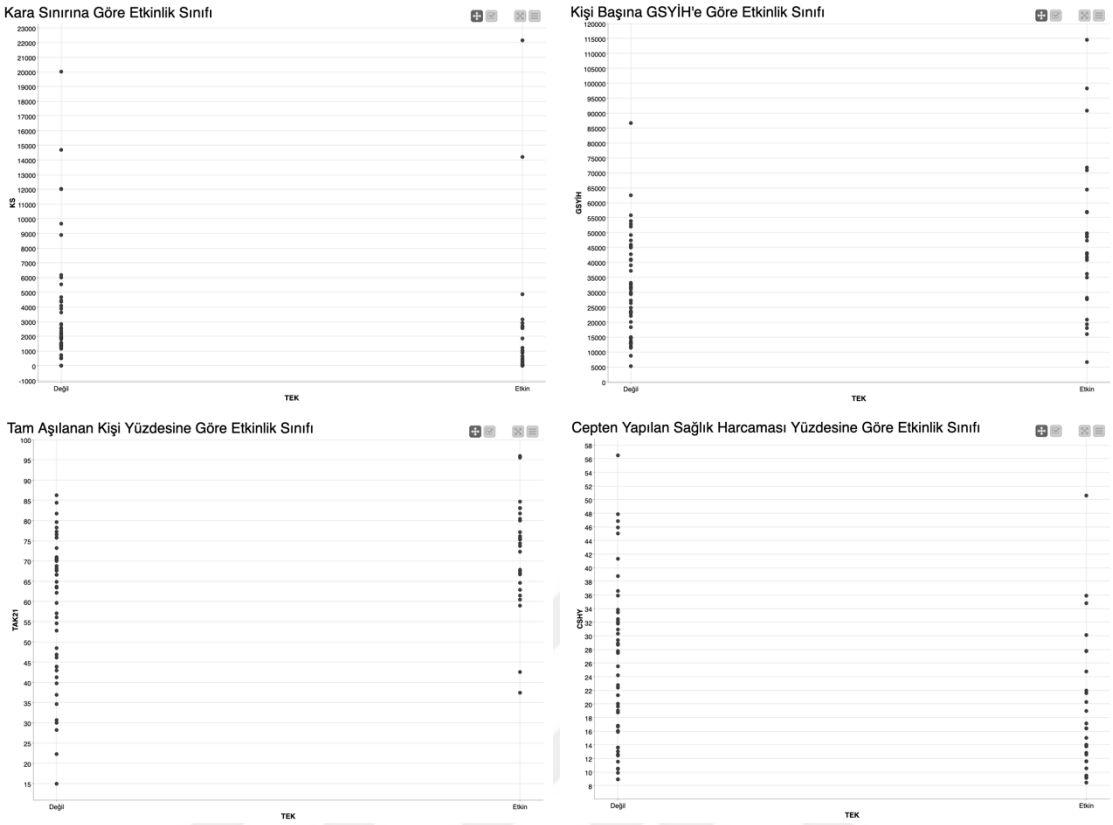
Tablo 4.40'a göre tam aşılanan kişi yüzdesi, kara sınırı ve kişi başına gayri safi yurt içi hasıla kök düğümde en çok yer alan değişkenler olmuştur. Oluşturulan modellerde obezite prevalansı, nüfus sayısı ve bin kişi başına düşen hemşire ve ebe sayısı değişkenleri ise birinci düzey alt düğümde en sık kullanılan değişkenler olmuştur. Aday gösterilme ve seçilme durumu arasındaki yüzdesel ilişkiye göre de tam aşılanan kişi yüzdesi, kara sınırı ve kişi başına gayri safi yurt içi hasıla değişkenleri kök düğümde ilk sıralarda yer alan değişkenler olmuştur. Değişkenlerin kullanım sıklıkları yanında bulaşıcılıkla mücadele etkinliği modelinde olduğu gibi değişkenlerin modelden çıkarılmasıyla doğruluk

oranında meydana gelen ortalama azalış ve gini saflığındaki ortalama azalış R Studio programında hesaplanmıştır. Buna göre KNIME programında oluşturulan eğitim ve test veri seti kullanılmış ve optimizasyon süreci benzer şekilde yürütülmüştür. Buna göre kulan model ile değişken önem düzeyleri sıralanmıştır. Bu düzenlemelere göre yapılan hesaplama sonucunda modelde yer alan değişkenlerden önem düzeyi en yüksek ilk 10 değişken Şekil 4.24'teki gibi sıralanmıştır.




**Şekil 4.24:** Rastgele orman algoritmasına göre birinci kümenin tedavi etkinliğini açıklayan değişkenlerin önem düzeyi.

Şekil 4.24'teki sıralama KNIME programında elde edilen bulgulara paralel olarak doğruluk oranındaki ortalama azalış açısından en önemli ilk üç değişkeni kara sınırı, kişi başına gayri safi yurt içi hasıla ve tam aşılanan kişi yüzdesi olarak belirlemiştir. Ağaç düğümlerindeki saflığa olan katkıyı ifade eden gini ortalamasındaki azalış açısından yapılan sıralamada ise bu üç değişkene ilave olarak hava kirliliği değişkeni yer almıştır. Bu değişkenlerin etkinlik sınıfını açıklamada en önemli değişkenler olduğu anlaşılmaktadır. Bu sonuç KNIME ile yapılan analiz bulgularını desteklemektedir. Buna ek olarak değişkenlerin sınıf tahmine katkısının yönü hakkında yorum yapılabilmesi için birinci kümedeki ülkelerin tedavi etkinlik sınıfının seçili değişkenler açısından değişimi saçılım grafiği ile Şekil 4.25'teki gibi elde edilmiştir.




**Şekil 4.25:** Birinci kümedeki ülkelerin tedavi etkinliği sınıfının açıklayıcı değişkenlere göre saçılım grafiği.

Şekil 4.25'te verilen saçılım grafiklerine göre etkin ülkelerde kara sınırı görece kısa olanların yoğunlukta olduğu, kişi başına gelir düzeyi ve tam aşılanan kişi yüzdesi açısından ise etkin olan ülkelerin görece daha yüksek değer aralığında dağılım gösterdiği görülmektedir. Özellikle bulaşıcılıkla mücadele etkinliği sınıfını açıklamada anlamlı bir etkisi görülmeyen tam aşılanan kişi yüzdesinin tedavi etkinliği sınıfını açıklamada önemli bir değişken olarak sıralanması ve yüksek değere sahip ülkelerin etkin olma olasılıklarının daha yüksek olması aşının mortaliteyi azaltmadaki etkisinin daha anlamlı olduğunu yansıtabilir. Kişi başına gayri safi yurt içi hasılanın yüksek olduğu ve cepten yapılan sağlık harcamalarının görece düşük olduğu ülkelerin de etkin sınıfında yer alma olasılıklarının daha yüksek olduğu yönünde yorum yapılabilir. Bu aşamada rastgele orman algoritması ile elde edilen bu bulgular CART algoritmasında tedavi etkinliği için oluşturulan karar ağacı modelini desteklemektedir. Esasen rastgele orman algoritmasının sağladığı en önemli bulgulardan biri önem düzeyi yüksek değişkenleri belirleyebilmektir. Bu sayede CART algoritmasında sınıf değişkenini açıklayacak anlamlı örüntüye ulaşmak daha kolay olmaktadır.

Eğitim seti ile elde edilen bulguların değerlendirilmesi aşamasından sonra rastgele orman algoritması ile ortaya çıkan farklı karar ağacı modellerindeki karar kuralları test setinde yer alan ülkelerin hedef değişken sınıflarını tahmin için kullanılmıştır. Bu kapsamda hata oranlarının ağırlığı dikkate alarak yapılan çoğunluk oyu ile tedavi etkinliği sınıfları tahmin edilmiştir. Bu tahminler için KNIME programında "Random Forest-Test" düğümü kullanılmıştır. Buna göre tedavi etkinliği sınıfını açıklamak için oluşturulan test setinde yer alan ülkelerin sınıf tahminleri Tablo 4.41'de verilmiştir.

**Tablo 4.41:** Birinci kümenin tedavi etkinliği sınıfı için rastgele orman modelinin test seti tahmin sonuçları.

| Ülkeler | TEK | Tahmin (TEK) | P(TEK) (Güven) | Ülkeler | TEK | Tahmin (TEK) | P(TEK) (Güven) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Almanya | Değil | Değil | 0,675 | Kıbrıs | Etkin | Etkin | 0,525 |
| Arjantin | Değil | Değil | 0,875 | Kuveyt | Etkin | Etkin | 0,690 |
| Avustralya | Etkin | Etkin | 0,585 | Letonya | Değil | Değil | 0,745 |
| Belarus | Etkin | Değil | 0,865 | Litvanya | Değil | Değil | 0,715 |
| Bulgaristan | Değil | Değil | 0,935 | Lüksemburg | Etkin | Etkin | 0,590 |
| Filipinler | Değil | Değil | 0,605 | Macaristan | Değil | Değil | 0,840 |
| Fransa | Değil | Değil | 0,750 | Panama | Değil | Değil | 0,645 |
| Hırvatistan | Değil | Değil | 0,870 | Polonya | Değil | Değil | 0,815 |
| İrlanda | Değil | Etkin | 0,655 | Slovakya | Değil | Değil | 0,835 |
| İsrail | Etkin | Etkin | 0,505 | Tayland | Etkin | Değil | 0,620 |
| Katar | Etkin | Etkin | 0,835 | Uruguay | Değil | Değil | 0,715 |

Tablo 4.41'e göre gerçek sınıfı 'değil' olan ülkelerden İrlanda'nın etkin ve gerçekte 'etkin' olan ülkelerden Belarus ve Tayland'ın 'değil' sınıfında tahmin edilmesi dışında tüm ülkelerin doğru sınıfta tahmin edilmiştir. Test seti için yapılan tahminlerin sınıf bazında hata düzeyini gösteren karmaşıklık matrisi değerleri ve model performans göstergeleri ayrıca hesaplanmış ve Tablo 4.42'de verilmiştir.

**Tablo 4.42:** Birinci küme tedavi etkinliği sınıfı için rastgele orman modeli test seti tahmininin karmaşıklık matrisi.

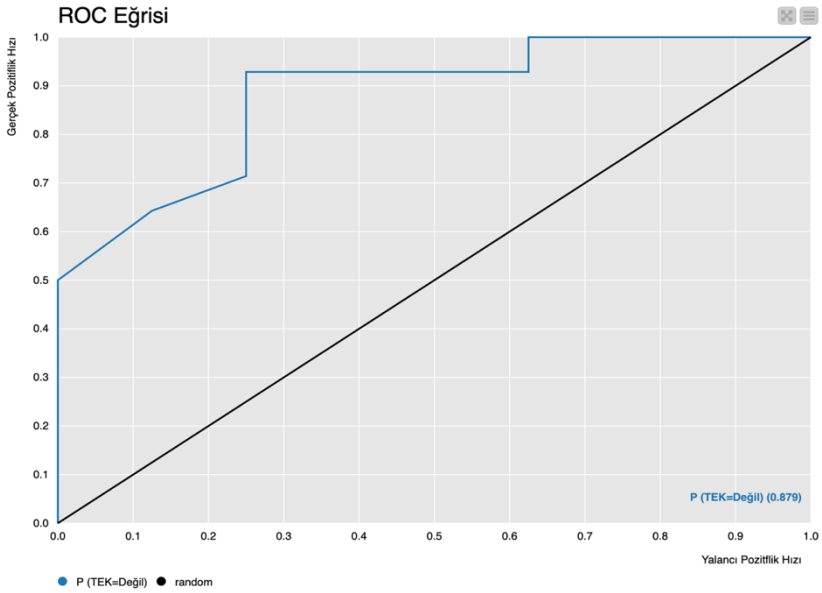
| | | **Tahmin Edilen Sınıf** | |
|---|---|---|---|
| | | Değil | Etkin |
| **Gerçek Sınıf** | Değil | 13 | 1 |
| | Etkin | 2 | 6 |
| **Performans Göstergeleri** | Doğruluk oranı | 0,864 | |
| | Hata oranı | 0,136 | |
| | Cohen's kappa | 0,697 | |

Tablo 4.42'deki veriler incelendiğinde birinci kümenin tedavi etkinliği sınıfı için yapılan rastgele orman modeli test seti tahminlerinin doğruluğunun genel olarak %86,4 gibi yüksek bir değer aldığı görülmektedir. Cohen kappa katsayısı ise tahminlerin genel olarak uyumlu olduğunu göstermektedir. Karmaşıklık matrisine göre modelin sınıf tahmini bazında diğer performans göstergeleri hesaplanmış ve Tablo 4.43'te verilmiştir.

**Tablo 4.43:** Birinci küme tedavi etkinliği sınıfı için rastgele orman modeli test seti başarı ölçütleri.

| Sınıf | Kesinlik | Sensitivite | Spesifite | F Skoru |
|---|---|---|---|---|
| **Değil** | 0,813 | 0,929 | 0,625 | 0,867 |
| **Etkin** | 0,833 | 0,625 | 0,929 | 0,714 |

Tablo 4.43'e göre incelendiğinde modelin 'değil' sınıfını tahmin etmede daha başarılı olduğu görülmektedir. Bu performans göstergeleri rastgele orman algoritması test tahmin performansının birinci kümenin tedavi etkinliği için oluşturulan CART modelinin performansı ile benzer düzeyde olduğunu göstermektedir. Bu noktada çalışmanın amacına göre bu yöntemlerin performaslarını değerlendirmenin yanı sıra bunların kullanım amacını değerlendirmekte önemlidir. Bu kapsamda çalışmada araştırma kapsamındaki ülkelerin etkinlik sınıfını açıklayan örüntünün keşfedilmesi amaçlanmaktadır. Burada daha sonra ortaya çıkabilecek bir gözlem ya da tahmin durumu söz konusu olmadığı için rastgele orman algoritmasının daha genel sonuçları yerine CART algoritması ile mevcut durumu açıklamak daha uygun olabilir. Bununla birlikte rastgele orman algoritması, önem düzeyi yüksek değişkenlerin belirlenmesi ve buna göre en uygun örüntünün daha kolay keşfedilmesi açısından oldukça önemlidir. Bu çerçevede bu araştırma gibi evreni sınırlı olan keşfedici analizlerde bu algoritmanın CART algoritmasının tamamlayan bir yol olarak görmek ve buna göre bulgularını değerlendirmek uygun olacaktır. Bu açıklamalarla birlikte bulaşıcıkla mücadele etkinliği tahmin modelleri için hesaplanan ROC eğrisi ve AUC değerleri tedavi etkinliği rastgele orman algoritması modeli tahmini içinde hesaplanmış ve Şekil 4.26'da verilmiştir.




**Şekil 4.26:** Birinci kümenin tedavi etkinliği rastgele orman modeli tahmininin ROC eğrisi.

Şekil 4.26'da verilen ROC eğrisi, birinci kümenin tedavi etkinliği rastgele orman modeli tahmininin genel olarak başarılı olduğunu göstermektedir. ROC eğrisi altındaki alan olan AUC değeri 0,879 olarak hesaplanmıştır. Bu sonuca göre birinci kümenin tedavi etkinliği sınıfını açıklamak için oluşturulan CART modeline yakın bir değere sahip olduğu anlaşılmaktadır.

# 5. TARTIŞMA

Sağlık sistemlerinin etkinliklerini değerlendirmeye yönelik literatürde pek çok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalarda bölge, ülke, eyalet, il, ilçe ve hastane gibi karar birimleri temel alınarak sağlık sistemlerinin bütünü veya bu sistemin daha özel bir unsuru (birinci basamak sağlık hizmetleri, ağız ve diş sağlığı hizmetleri, eğitim ve araştırma hizmetleri vb.) değerlendirilmiştir. Bu kapsamda yer alan çalışmalar incelendiğinde, özellikle sağlık sektöründeki karar birimleri için teorik fonksiyonun türetilmesiyle mutlak etkinlik standardının belirlenmesi güç olduğundan, etkinlik değerlendirmelerinde mevcut uygulamalar içerisinden en iyi uygulamalarla sınırın belirlenmesi ve kıyaslanması yaklaşımının tercih edildiği görülmektedir. Buna göre üretim teknolojisi için sonlu sayıda parametresi olan ve fonksiyonel formu belirlenmiş bir parametrik olmayan yaklaşım olan Veri Zarflama Analizi bu amacı gerçekleştirebilmek için en uygun yöntemlerden biri olarak değerlendirilmektedir. Sağlık sistemlerinin VZA yöntemi ile etkinliğinin değerlendirilmesinde karar birimleri temelinde sistem unsurları olarak farklı girdi ve çıktı değişkenleri kullanılabilmektedir. Buna göre 2020 yılı itibarıyla COVID-19 pandemisinin küresel olarak hızla yayılması ile bu hastalıkla mücadelenin sağlık sistemlerinin birincil önceliği haline gelmesi, literatürde sağlık sistemlerinin COVID-19 ile mücadeledeki etkinliğini değerlendirmeye yönelik çalışmaların yapılmasına zemin hazırlamıştır. Bu çalışmalarda farklı karar birimleri, girdi- çıktı bileşenleri ve yaklaşımlar ile farklı etkinlik değerlendirmeleri söz konusu olmuştur.

Bu çalışmada COVID-19 pandemisinin morbidite ve mortalite etkisine karşı mücadelede sağlık sistemlerinin etkinlik düzeylerini belirlemek için ülkeler karar birimi olarak ele alınmıştır. Bu çalışmanın kapsamı ve tasarımı, literatürde COVID-19 ile mücadeledeyi temel alarak sağlık sistemlerinin etkinliklerini değerlendirmeye çalışan diğer araştırmalardan pek çok yönden farklılaşmaktadır. Bu farklılıklar temelinde araştırmanın birçok özgün yöne sahip olduğu söylenebilir. Buna göre araştırmanın ilk özgün yönü araştırmanın tasarımı olarak ifade edilebilir. Bu çerçevede literatürde COVID-19 ile mücadelede etkinlikleri değerlendirmeye yönelik yapılan çalışmalarda genellikle yalnızca Veri Zarflama Analizi gibi bir etkinlik değerlendirme yönteminin kullanımını içeren bir araştırma tasarımı kullanılmaktadır (Shirouyehzad ve diğ., 2020; Breitenbach ve diğ., 2020; Ghasemi, 2020; Ordu ve diğ., 2021; Su ve diğ., 2021; Pereira ve diğ., 2022). Bu araştırmada ise Veri Zarflama Analizi ile yapılacak etkinlik

değerlendirmesine ek olarak denetimsiz ve denetimli makine öğrenme algoritmalarının kullanılacağı üç aşamalı bir araştırma tasarımı hazırlanmıştır. Bu yönüyle araştırma özgün bir değere sahiptir. Bununla birlikte üç aşamalı araştırma tasarımının ilk aşamasında ülkelerin etkinlik değerlendirmesi yapılmadan önce görece kıyaslamaya imkan sağlayacak homojen kümelerin oluşturulması için k-ortalamalar algoritması kullanılmıştır. Bu algoritmanın kullanılması ile özellikle Dünya Bankası'nın gelire göre yaptığı gelişmişlik sınıflandırması dışında ülkelerin gelir, eğitim ve sağlık statüsünü yansıtan İnsani Gelişme Endeksi, ülkelerin veri güvenilirliğini yansıtan İstatistiksel Performans Göstergeleri ve ülkelerin sağlık güvenliğini, yeteneklerini ve sağlık sistemlerinin pandemiye hazırlığını yansıtan Küresel Sağlık Güvenliği Endeksi gibi özniteliklerin bütüncül olarak değerlendirilmesi mümkün olmuştur. Bu yönüyle bu çalışma sağlık sistemlerinin etkinliğini değerlendirmeden önce homojen kümelerin oluşturulmasında belirlenen öznitelikleri kullanan literatürdeki ilk çalışma olduğu bilinmektedir. Etkinlik durumunun görece belirlenmesi nedeniyle bu öznitelikleri kullanarak uygun karşılaştırma grupları oluşturmak araştırma sonuçları açısından oldukça önemli ve gereklidir.

COVID-19 ile mücadele etkinliğini değerlendirmek için yapılan çalışmalarda genellikle vaka ve/veya ölümlerin çıktı olarak değerlendirildiği tek aşamalı etkinlik analizi söz konusu olmaktadır (Su ve diğ., 2021; Martínez-Córdoba ve diğ., 2021; Ordu ve diğ., 2021; Xu ve diğ., 2021). Bu kapsamda araştırmada sağlık sistemlerinin etkinlik düzeyleri bulaşıcılıkla mücadele ve tedavi etkinliği olmak üzere iki ayrı model ile belirlenecektir. Sağlık sistemlerinin COVID-19 ile mücadeledeki etkinlik düzeylerini belirlemek üzere literatürde iki yönlü değerlendirme yapılan sınırlı sayıda çalışmada ise kullanılan girdi ve çıktı değişkenlerinde farklılıklar söz konusudur. Shirouyehzad ve diğ. (2020) ve Ibrahim ve diğ. (2020) bulaşıcı hastalık kontrolü etkinliğini değerlendirdiği modelde girdi değişkenleri olarak nüfus yoğunluğu ve 13 Uluslararası Sağlık Düzenlemeleri Temel Kapasite Puanı çıktı değişkeni olarak doğrulanmış vaka sayısını kullanırken, Ghasemi (2020) bu modelde farklı olarak 13 Uluslararası Sağlık Düzenlemeleri Temel Kapasite Puanı yerine nüfus sayısını girdi değişkeni olarak kullanmıştır. Aydin ve Yurdakul (2020) ise sıkılık endeksinin girdi olarak yer aldığı 7 girdi, 5 çıktı ve 2 flexible değişkenden oluşan bir model kullanmıştır. Tedavi etkinliğinin değerlendirildiği ikinci modelde Shirouyehzad ve diğ. (2020) doğrulanmış vaka sayısını girdi, ölen vakaları ve iyileşen vakaları çıktı değişkeni olarak kullanırken ve Ibrahim ve

diğ. (2020) doğrulanmış vaka sayısı, bin kişi başına hekim sayısı, bin kişi başına hastane yatağı sayısı ve 65 yaş ve üzeri nüfus yüzdesi girdi değişkenleri olarak, COVID-19 ilişkili ölüm sayısı ve iyileşen vaka sayısını ise çıktı değişkenleri olarak kullanmıştır. Bu araştırmada ise bulaşıcılıkla mücadele etkinliği modelinde çıktı değişkeni olarak milyon kişi başına vaka sayısı, girdi değişkenleri olarak ise ilaç dışı müdahalelerin göstergesi olan sıkılık endeksi ile ilaç müdahalelerinin göstergesi olan tam aşılanan kişi yüzdesi kullanılmıştır. Buna göre etkinlik değerlendirmesinin üretim süreçlerini ifade edecek farklı girdi ve çıktı bileşenleri kullanılarak hem bulaşıcılıkla mücadele hem de tedavi etkinliği yönlerinin ele alınması çalışmanın özgün değerini oluşturan bir diğer unsurdur. Ayrıca araştırma tasarımının son aşamasında belirlenen etkinlik sınıflarını açıklamaya yönelik denetimli makine öğrenme algoritmalarının kullanılması ise oldukça sınırlı sayıda çalışmada tercih edilen bir yaklaşımdır (Aydin ve Yurdakul, 2020; Xu ve diğ., 2021). Bu nedenle buradan elde edilecek sonuçlar etkinlik değerlendirmesinde daha farklı yönlerin dikkate alınmasını sağlayabilmesi yönüyle önemli olacaktır.

COVID-19 pandemisi ile mücadelede ülkelerin etkinliğini değerlendirmeye yönelik literatürde yapılan çalışmalarda genellikle pandeminin başladığı sınırlı zaman dilimindeki sonuçlar analiz edilmiştir. Buna göre devam eden COVID-19 pandemisi ile ilgili ülkelerin mücadele süreçlerindeki etkinliğinin daha geniş zaman aralığını içeren güncel veriler ile yapılması hem süreçlerin bütüncül olarak değerlendirilmesi hem de pandemiye yanıt düzeyinin uzun vadeli sonuçlar ile değerlendirilebilmesi açısından önemli ve gereklidir. Bu çerçevede araştırmada kullanılan COVID-19 ilişkili vaka sayısı, ölüm sayısı, test sayısı, aşı sayısı ve sıkılık endeksi gibi değişkenlere ait verilerin iki yılı aşkın bir dönemi kapsaması araştırmanın ele aldığı zaman boyutuyla da özgün değere sahip olduğunu yansıtmaktadır. Bu bölümde araştırmanın özgün yönleri vurgulandıktan sonra analizlerde elde edilen bulguların literatürde yapılan diğer çalışmalarla benzer ve farklı yönleri ortaya çıkarılacaktır. Bu kapsamda araştırmada kullanılan üç aşamalı tasarım dikkate alınarak her aşamada yapılan analizlerde elde edilen bulgular diğer çalışma bulguları ile karşılaştırmalı olarak değerlendirilecek ve bu sayede elde edilen çıktıların literatüre katkısı daha açık olarak ifade edilebilecektir.

Ülke, bölge, il veya kurumların çeşitli öznitelikleri temel alınarak homojen kümelere ayrıştırılması yaklaşımının literatürde farklı şekillerde kullanıldığı görülmektedir. Carrillo-Larco ve Castillo-Cara (2020) yaptıkları çalışmada COVID-19

pandemisi öncesinde ortak profillere göre ülkeleri kümelemek için ilişkili yaşa standardize edilmiş diyabet, KOAH, HIV/AIDS ve tüberküloz prevalansı, erkek nüfus oranı, PM2,5 hava kirliliği, kişi başına düşen GSYİH ve hizmet kapsamında herkesi kapsayan sağlık güvencesi endeksi değişkenlerini kullanmış ve k-ortalamalar algoritması ile 155 ülkeyi beş ve altı kümeye ayırmanın en uygun sonuç olduğunu bulgulamıştır. Bunun ardından COVID-19 ilişkili doğrulanmış vaka sayısı, ölüm sayısı, bin vaka başına vaka ölüm hızı ve vaka görülme sırası gibi değişkenlere göre küme grupları arasında anlamlı düzeyde farklılık olup olmadığını belirlemek üzere tek yönlü ANOVA testini kullanmışlardır. Imtyaz ve diğ. (2020) ise hükûmetlerin COVID-19 pandemisine müdahale çabalarını değerlendirdiği çalışmada ülkeleri COVID-19 vaka ölüm hızı ve 65 yaş ve üzeri nüfus yüzdesi değişkenlerine göre k-ortalamalar algoritması kullanarak 5 kümeye ayırmıştır. Bu analizde virüse atfedilen ölümlerin %50'den fazlasının yaşlı hastalarda görülmesinden yola çıkarak Avrupa ülkelerindeki yüksek vaka ölüm hızının yaş ve komorbidite ile ilişkili olduğu ve özellikle yüksek test oranının virüsün yayılmasını engelleme ve COVID-19 pozitif hastaların tedavisi için önemli olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Rizvi ve diğ. (2021b) ise COVID-19'un yayılmasını kontrol altına alacak politikaları uygulamak için hastalığın yayılmasını etkileyen sosyo ekonomik göstergeler (kişi başına GSYİH, sağlık harcaması, alkol tüketimi, sigara içme prevalansı, yaşam beklentisi), hastalık prevalansı (tüberküloz, kardiyovasküler hastalık, diyabet, solunum enfeksiyonları, astım ve besin eksikliği prevalansı), çevresel performans göstergeleri (hava kirliliği nedeniyle yüz bin kişi başına kaybedilen yaşam yılı, çevresel performans endeksi, çevresel sağlık, hava kalitesi, sanitasyon ve içme suyu, hanehalkının katı fosil yakıta atfedilen kaybedilen yaşam yılı ve güvenli olmayan içme suyu) içeren 18 değişken ile COVID-19 göstergerlerini (vaka ve ölüm sayısı) öznitelik olarak kullandığı k-ortalamalar algoritması analizinde 79 ülkeyi dört kümeye ayırmışlardır. Yapılan küme içi analizlerde hastalık prevalansının COVID-19 ile güçlü bir şekilde ilişkili olduğu, çevresel sağlık göstergelerinin ise COVID-19 ile zayıf ilişkili olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Ülkelerin COVID-19 pandemisi ile mücadelesini değerlendirirken kümeleme analizi ile Veri Zarflama Analizinin bütünleşik olarak kullanıldığı sınırlı sayıda çalışma söz konusudur. Bunlardan Aydin ve Yurdakul (2020) tarafından yapılan çalışmada ilk aşamada ülkelerin kümelenmesi için COVID-19 vaka sayısı, ölüm sayısı, kişi başına GSYİH, aşırı yoksulluk, hastane yatağı, toplam iyileşen sayısı, aktif vaka, toplam test sayısı ve nüfus sayısı değişkenleri kullanılmış ve k-ortalamalar algoritması ile yapılan

analizde 144 ülke için optimum küme sayısı üç olarak hesaplanmıştır. Bu kümeleme analizi sonucunda Arnavutluk, Bosna Hersek, Yunanistan, Macaristan, İzlanda, Norveç, İsveç, Tayland ve Uruguay gibi ülkelerden oluşan 41 ülke birinci kümede yer alırken, Angola, Barbados, Etiyopya, Kenya, Mozambik, Maldivler, Tanzanya ve Yemen gibi ülkelerden oluşan 36 ülke ikinci kümede ve son olarak Türkiye, Avustralya, Çin, Hindistan, Afganistan, Fransa, Almanya, Japonya, ABD, Hollanda ve Katar gibi ülkelerden oluşan üçüncü kümede ise 65 ülke yer almıştır. Aktas ve diğ. (2022) ise Küresel Rekabet Edebilirlik Endeksinde yer alan 12 gösterge puanını (kurumlar, altyapı, bilgi ve iletişim teknolojilerinin benimsenmesi, makroekonomik istikrar, sağlık, beceriler, ürün pazarı, işgücü piyasası, finansal sistem, pazar büyüklüğü, iş dinamizmi ve inovasyon yeteneği) baz alarak ülkeleri modele dayalı kümeleme analizi ile oldukça yüksek rekabetçi, rekabetçi ve rekabetçi olmayan olmak üzere üç kümeye ayırmıştır. Bu kümeleme analizi sonucunda Japonya, ABD, Birleşik Krallık, Avusturya, İzlanda, İsveç, Finlandiya, Almanya, Yeni Zelanda ve Belçika gibi ülkelerden oluşan yüksek rekabetçi ülkeler kümesinde 20 ülke yer alırken, rekabetçi ülkeler kümesinde Meksika, Rusya, Peru, Kore, İtalya, İspanya, Estonya, Kuveyt, Çin, Suudi Arabistan ve Malta gibi ülkelerden oluşan 33 ülke yer almış ve son olarak rekabetçi olmayan ülkeler kümesinde ise Türkiye, Brezilya, Macaristan, Yunanistan, Azerbeycan, Hindistan, Kamerun, Venezuela, Gana, Makedonya, Kırgızistan ve Bahreyn gibi ülkelerden oluşan 54 ülke yer almıştır.

Bu araştırmada literatürde ülkeleri kümelemeye yönelik yapılan çalışmalardan farklı olarak belirlenmiş üç öznitelik kullanılmıştır. Buna göre araştırmanın ana amacı COVID-19 pandemisinin morbidite ve mortalite etkisi ile mücadelede ülkelerin etkinlik düzeylerini değerlendirmek olduğu için sağlık sistemlerinin pandemiye hazırlığını yansıtan Küresel Sağlık Güvenliği, ülkelerin gelir, eğitim ve sağlık statüsünü yansıtan İnsani Gelişme Endeksi ve ülkelerin veri güvenilirliğini yansıtan önemli bir gösterge olan İstatistiksel Performans Göstergeleri endeks skoru üç ayrı öznitelik olarak değerlendirilmiş ve 144 ülke üç boyutlu olarak kümelenmiştir. Bu çerçevede yapılan k-ortalamalar kümeleme analizinde en uygun küme sayısı iki olarak belirlenmiştir. Yapılan kümeleme analizi sonucunda ABD, Almanya, Belarus, Birleşik Krallık, Çin, Finlandiya, Fransa, İsveç, İsviçre, İtalya, Japonya, Katar, Meksika, Rusya, Suudi Arabistan ve Türkiye gibi ülkelerden oluşan ilk kümede 73 ülke yer alırken, ikinci kümede Afganistan, Bangladeş, Cezayir, Haiti, Etiyopya, Fildişi Sahili, Madagaskar, Mali, Mısır, Nijerya,

Özbekistan, Pakistan, Sudan, Tacikistan ve Uganda gibi ülkelerden oluşan 71 ülke yer almıştır. Buna göre kullanılan özniteliklerdeki farklılık nedeniyle kümeleme analizi ile araştırmada oluşturulan homojen karşılaştırma grupları incelenen diğer çalışmalardan farklılaşmaktadır. Oluşturulan küme sayısı bakımından Yılmaz ve Söyük (2020) tarafından 122 ülkenin sağlık risk faktörlerine (temel içme suyu hizmetleri kullanımı, PM2,5 hava kirliliği, yetersiz beslenme prevalansı, kişi başına toplam alkol tüketimi, sigara içme prevalansı, obezite prevalansı ve yetersiz fiziksel aktivite prevalansı) kümelendiği araştırmanın bulgusu ile benzer şekilde ülkeleri iki kümeye ayırmanın en uygun durum olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Araştırmada karşılaştırma gruplarını oluşturulan küme elemanları belirlendikten sonra, ikinci aşamada bu kümelerde yer alan ülkelerin COVID-19 ile mücadeledeki etkinlik düzeylerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda elde edilen bulgular diğer çalışmaların bulguları ile karşılaştırmalı olarak yorumlanmadan önce önemli bir noktayı vurgulamak gerekmektedir. VZA ile yapılan etkinlik değerlendirmelerinden elde edilen bulgular karşılaştırma grubunda yer alan etkin ülkelere göre çizilen mutlak etkinlik standardına dayandığı için farklı karşılaştırma gruplarının ve girdi-çıktı bileşenlerinin kullanıldığı çalışmalardan elde edilen sonuçların birbirinden farklılaşabileceği mutlaka göz önünde bulundurulmalıdır. Ancak bununla birlikte ülke düzeyindeki etkinlik değerlendirmelerini farklı boyutları ve karşılaştırma grupları ile ele alan çalışmalarla kıyaslamak bulguların örtüşen ve farklılaşan yönlerini yorumlamak için önemli bir fırsat sunmaktadır. Bu kapsamda gerek kümeleme analizi ile bütünleşik olarak VZA yöntemini kullanan gerekse doğrudan VZA yöntemini kullanan çalışmalarda COVID-19 ile mücadelenin farklı yönlerini (bulaşıcılıkla mücadele ve tedavi etkinliği) yansıtan bulgular bu araştırmanın bulguları ile karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

COVID-19 ile mücadelenin birinci adımı olarak pandeminin morbidite etkisini önlemede ya da sınırlamada ülkelerin ne düzeyde başarılı olduğunun ortaya çıkarılması görülmüştür. Bu kapsamda Ibrahim ve diğ. (2020), girdi değişkenleri nüfus yoğunluğu ve 13 Uluslararası Sağlık Düzenlemeleri Temel Kapasite Puanı çıktı değişkeni doğrulanmış vaka sayısı olan bulaşıcılığı kontrol etkinliği modelinde 58 ülkenin %89,6'sının etkinsiz olduğu sonucuna ulaşmıştır. Bu analizde etkin bulunan ülkeler Afganistan, Arjantin, Avustralya, Kazakistan, Nepal ve Umman olurken, Birleşik Krallık, Çin, Almanya, İtalya, Belçika, Güney Kore ve Hollanda etkinlik skoruna göre son sıralarda yer alan

ülkeler olmuştur. Shirouyehzad ve diğ. (2020) ise ilk doğrulanmış vakadan itibaren ilk 30 günde 10 veya daha fazla vaka bulunan 29 ülkenin aynı girdi-çıktı bileşenleri ile analiz ettiği çalışmada Kanada, ABD, Singapur, Fransa ve İran'ı etkin olarak bulurken, Avustralya, Malezya, Çin Japonya Tayland gibi ülkeleri ise etkinsiz olarak bulmuştur. Taherinezhad ve Alinezhad (2022) ise aşılama, maske kullanımı ve sosyal mesafe önlemlerini girdi değişkeni, toplam vaka sayısını ve aktif vaka sayısını çıktı değişkeni olarak kullandığı ve 100 ülkenin bulaşıcılığı önleme etkinliğini değerlendirdiği modelde Çin, Karadağ, Katar, Bahreyn ve Danimarka tam etkin olarak bulunan ülkeler olmuştur. Bu çalışmada ilaç dışı müdahale göstergesi olarak sıkılık endeksi ve ilaç müdahalesi olarak tam aşılanan kişi yüzdesinin girdi olarak ve milyon kişi başına doğrulanmış vaka sayısının çıktı olarak kullanıldığı bulaşıcılıkla mücadele etkinliği modelinde birinci kümede Çin, Morityus, Belarus, Kırgızistan, Suudi Arabistan ve Bosna Hersek tam etkin bulunan ülkeler olurken, ikinci kümede Nijerya, Sudan, Mali, Haiti, Fildişi Sahili, Senegal, Kamerun ve Nikaragua tam etkin bulunan ülkeler olmuştur.

COVID-19 ile mücadelenin ikinci adımı pandeminin mortalite etkisini önlemede veya sınırlamada ülkelerin ne düzeyde başarılı olduğunun ortaya çıkarılmasıdır. Tedavi etkinliği olarak belirtilen bu modelde çıktı değişkeni olarak hastalığa yakalananların ne ölçüde kurtarılabildiğini ya da kurtarılamadığını gösteren milyon kişi başına ölüm sayısı, iyileşen hasta sayısı veya vaka ölüm hızı gibi değişkenler kullanılmaktadır. Buna göre tedavi etkinliğini değerlendiren çalışmalardan biri olan Ibrahim ve diğ. (2020) çalışmasında tedavi etkinliği modelinin girdi bileşenleri olarak doğrulanmış vaka sayısı, bin kişi başına hekim sayısı, bin kişi başına hastane yatağı sayısı ve 65 yaş ve üzeri nüfus yüzdesi, çıktı bileşenleri olarak COVID-19 ilişkili ölüm sayısı ve iyileşen vaka sayısının kullandığı modelde 58 ülkeden %79'unun tedavi etkin olmadığı sonucuna ulaşmıştır. Bu modelde Afganistan, Arjantin, Avustralya, Çin, Kazakistan, Nepal ve Peru en etkin ülkeler olarak bulunurken, Birleşik Krallık, Hollanda, Belçika, Fransa, Almanya ve İtalya gibi ülkeler etkinsiz olarak bulunmuştur. Aydin ve Yurdakul (2020) ise 144 ülkeyi k-ortalamalar yöntemi ile üç kümeye ayırdıkları çalışmada VZA etkinlik sonucuna göre birinci kümede Brunei, Gabon, İzlanda, Ürdün, Malta, Norveç, Sri Lanka, Tayvan ve Tayland'ı, ikinci kümede Benin, Burundi, Etiyopya, Maldivler ve Svaziland'ı, üçüncü kümede ise Kazakistan, Nijerya, Katar, Singapur, Özbekistan ve Venezuela'yı tam etkin ülkeler olarak bulgulamıştır. Martínez-Córdoba ve diğ. (2021) COVID-19 verisi ulaşılabilir olan 155 ülkenin etkinlik analizini yaptıkları çalışmada girdi değişkenleri

olarak bin kişi başına hekim sayısı, bin kişi başına hemşire sayısı, bin kişi başına hastane yatağı sayısı, sağlık harcaması (GSYİH%), çıktı değişkenleri olarak bin kişi başına toplam vaka sayısı ve bin kişi başına ölüm sayısını kullanmıştır. Bu analiz sonucunda Çin, Avustralya, Yeni Zelanda, Venezuela, Afganistan ve birçok Afrika ülkesi etkin olarak bulunmuştur. Ayrıca Avrupa ve Amerika kıtasında yer alan ülkelerin Asya ve Afrika bölgesindeki ülkelerden daha düşük etkinlik skoruna sahip olduğu vurgulanmıştır.

Lupu ve Tiganasu (2022) 31 Avrupa ülkesinin sağlık sistemlerinin COVID-19 tedavisindeki etkinliğini belirlemek amacıyla COVID-19 vakaları, bin kişi başına hekim sayısı, bin kişi başına hemşire sayısı, bin kişi başna hastane yatağı sayısı ve kişi başına sağlık harcaması ($) girdi değişkenleri ile COVID-19 ölümleri çıktı değişkenini kullandıkları modelde üç ayrı zaman için değerlendirme yapmıştır. Buna göre ilk dalga döneminde (1 Ocak-15 Haziran 2020) Avusturya, Bulgaristan, Hırvatistan, Kıbrıs, Danimarka, Estonya, Finlandiya, İzlanda, İrlanda, Litvanya, Norveç gibi ülkeler etkin bulunmuştur. İlk dalga (1 Ocak-15 Haziran 2020), rahatlama dönemi (15 Haziran-1 Kasım 2020) ve ikinci dalga (1 Kasım-31 Aralık 2020) dönemi olmak üzere üç farklı zaman analizinde de etkin olmayan ülkeler Belçika, Fransa, Almanya, İtalya, Hollanda, Polonya, Romanya, İspanya, İsveç ve Birleşik Krallık olarak sıralanmıştır. Bu analizler dışında üretim sistemini alt süreçlere ayrıştırarak daha yüksek ayırt edicilik sağlamak amacıyla Network VZA modelini kullanan çalışmalarda olmuştur. Pereira ve diğ. (2022), COVID-19'a karşı ülkelerin yanıtlarını kapsamlı ve güvenilir şekilde temsilini sağlayacak 55 ülkeyi karar birimi olarak belirlediği araştırmada girdi değişkenleri olarak sağlık harcamaları, COVID-19 tanısında kullanılan araçların maliyetleri, dezenfeksiyon ve sterilizasyon ürünleri ile ilgili maliyetler, oksijen terapi ekipmanı maliyetleri; istenen ara çıktı olarak kişisel koruyucu donanım kullanan nüfus; istenmeyen ara çıktı olarak KKD kullanmayan nüfus, enfekte nüfus, hastaneye yatırılması gereken vakalar, yoğun bakım gerekli olan hastaneye yatan sayısı, istenen çıktılar enfekte olmayan nüfus, evde iyileşen, hastanede iyileşen, yoğun bakımda iyileşenler; istenmeyen çıktılar ise hastaneye yatırılanlardan ölenler ve yoğun bakımda ölenler olarak belirlenmiştir. Bu analiz sonucunda Avustralya, Avusturya, Estonya, Almanya, İzlanda, Japonya, Letonya, Lüksemburg, Hollanda, Yeni Zelanda, Güney Kore, İspanya, İsveç ve Ukrayna etkinlik skoruna göre ilk çeyrekte yer alan ülkeler olmuştur. Taherinezhad ve Alinezhad (2022) ise önleme sisteminde girdiler aşılama, maske kullanımı ve sosyal mesafe çıktılar toplam ve aktif vakalar, enfeksiyon tespitinde çıktılar aynı olmak üzere, girdiler toplam test sayısı

ve Akciğer BT görüntü sayısı ve son olarak tedavi sisteminde girdi değişkenleri olarak hastane yatağı, yoğun bakım yatağı ve invaziv ventilatör ve çıktı değişkenleri olarak iyileşen vakalar ve ölümler dikkate alınmış ve buna göre ilişkisel modelde test sayısı girdi, toplam vaka ve aktif vaka ara çıktı , iyileşen ve ölenlerin çıktı olduğu bir Network VZA modeli kullanmıştır. Bu analiz sonucunda Çin, Karadağ, Katar, Bahreyn ve Danimarka tam etkin ülkeler olarak bulunurken, ABD, Fransa, Arjantin, İsveç, Belçika, Sırbistan, İsviçre, Birleşik Arap Emirlikleri, Lübnan, Panama, Kuveyt, Estonya, Slovenya ve Uruguay ise etkinlik skoru açısından ilk çeyrekte yer alan diğer ülkeler olmuştur.

Bu araştırmada tedavi etkinliği modeline göre yapılan analiz sonucunda ise Bahreyn, Güney Kore, Singapur, İzlanda, Çin, Yeni Zelenda, Tayland, Hindistan ve Katar tam etkin ülkeler olarak bulunurken, Kıbrıs, Avustralya, Birleşik Arap Emirlikleri, İsrail, Danimarka, Norveç, Hollanda, Malezya, Kuveyt, Türkiye, Japonya, Kosta Rika, Estonya, İsviçre, Portekiz, Lüksemburg, Belarus ve Finlandiya etkinlik skoru açısından üst sıralarda yer alan ve etkin olarak sınıflandırılan diğer ülkeler olmuştur. Buna göre çalışmada etkin olan ülkelerden Yeni Zelenda, Çin, Avustralya, Estonya, Katar, Norveç, İzlanda, Danimarka, İsviçre, Birleşik Arap Emirlikleri, Hollanda, Kuveyt, Güney Kore, Bahreyn, Kıbrıs, Singapur, Finlandiya ve Lüksemburg gibi ülkeler diğer çalışmalarda da büyük ölçüde etkin olan ülkeler olmuş ve bu yönüyle literatürdeki diğer çalışmalarla örtüşen bulgular olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Lupu ve Tiganasu, 2022; Martínez-Córdoba ve diğ., 2021; Taherinezhad ve Alinezhad, 2022; Pereira ve diğ., 2022; Ibrahim ve diğ., 2020).

Araştırmanın üçüncü aşamasında etkinlik skoru temelinde belirlenen bulaşıcılıkla mücadele ve tedavi etkinliği sınıflarını açıklamak üzere yapılan analizlerde küme bazlı değerlendirme yapılmıştır. Buna göre ilk kümedeki ülkelerin bulaşıcılıkla mücadele etkinliği sınıfını tahmin etmeye yönelik yapılan analizlerde kişi başına sağlık harcaması, kentsel nüfus yüzdesi ve bin kişi başına test sayısı önem düzeyi yüksek değişkenler olarak belirlenirken, ikinci kümede bin kişi başına test sayısı, kişi başına sağlık harcaması, kişi başı GSYİH önem düzeyi yüksek değişkenler olarak bulunmuştur. Bu noktada ülkelerin girdi olarak belirlenen tam aşılanan kişi yüzdesi ve bin kişi başına test sayısı ile ilişkili olarak kişi başına sağlık harcamasının fazla olması etkinlik sınıfı için önemli bir belirleyici olmaktadır. Buna göre ülkelerin COVID-19 morbiditesini ilaç müdahaleleri ile sınırlayamadığı durumlarda sağlık harcamalarının artması ülkelerin etkin

bulunamamasına neden olmaktadır. Ayrıca bin kişi başına test sayısının artması ülkede mevcut vakaların tespitini kolaylaştırdığı için istenmeyen çıktı değişkeninde artışa yol açmaktadır. Bu durum daha fazla test yapılan ülkelerin etkin olmama olasılığını artırmaktadır. Ancak sokağa çıkma yasağı veya maske kullanma zorunluluğı gibi ilaç dışı müdahalelerle birlikte yüksek test uygulanması vakaların sınırlandırılması için bir fırsat sunmaktadır. Bu nedenle bulaşıcılıkla mücadele etkinliğinde yüksek düzeyde test uygulamasına rağmen etkin olan ülkeleri vurgulamak önemli olacaktır. Buna göre bulaşıcılıkla mücadele etkinliği analizine göre kişi başına en az bir test yapmış olan ülkelerden Çin, Belarus ve Suudi Arabistan'ın etkin sınıfında yer aldığı görülmektedir. Bu ülkelerden Çin ve Belarus aynı zamanda tedavi etkin ülkeler sınıfında yer almıştır. Bu kapsamda bir hastalığın tedavi edilebilmesi için öncelikle tanı konulması gerektiğinden yeterli düzeyde test uygulamayan ülkelerin tedavi etkinliğini sağlama olasılığı da düşmektedir. Ayrıca tedavi etkinliği modelinde çıktı olarak kullanılan vaka ölüm hızı, COVID-19 hastalarından ne kadarının öldüğünü yansıtan bir ölçüt olması yönüyle hastalığın tespit edilemediği ülkelerde istenmeyen çıktı olan vaka ölüm hızının yüksek olmasına yol açacaktır. Aydin ve Yurdakul (2020) ise tek bir VZA etkinlik modeli üzerinden yaptıkları değerlendirmede hastane yatağı sayısı, diyabet prevalansı ve sıkılık endeksi değişkenlerinin etkinlik sınıfını açıklamada önem düzeyi yüksek değişkenler olduğu sonucuna ulaşmıştır.

Araştırmada tedavi etkinliği sınıfını açıklamada ikinci kümede yer alan ülkelerin genel itibarıyla temel sağlık hizmetlerini yürütecek kadar sağlık çalışanına veya diğer sağlık kaynağına sahip olmaması nedeniyle yalnızca birinci kümedeki ülkeler için değerlendirme yapılmıştır. Birinci kümenin tedavi etkinliği sınıfını açıklamak üzere yapılan rastgele orman algoritması uygulamasında kara sınırı, kişi başına gayri safi yurt içi hasıla ve tam aşılanan kişi yüzdesi önem düzeyi yüksek değişkenler olarak belirlenmiştir. Bu kapsamda eğitim ve test setinde sınıfların doğru tahminleri üzerinden elde edilen örüntü etkinlik sınıfı için önemli değişkenleri belirlemeyi sağlamıştır. Bu örüntü ile gerçek sınıfta tahmin edilen ülkelerin performans göstergelerine göre iyi düzeyde olması modelin tahmin yeteneğinin genel olarak iyi olduğunu ve değişkenlerin etkinlik sınıfı üzerinde etkili olabileceğini göstermektedir. Ülkelerin COVID-19 tedavi etkinliğini inceleyen çalışmalarda kara sınırı değişkeninin açıklayıcılığını değerlendiren bir çalışmaya rastlanmaması araştırmanının bu bulgusunun dikkate değer bir katkı sunabileceğini göstermektedir. Cheshmehzangi ve diğ. (2021), COVID-19'un

yayılmasını etkileyen faktörleri analiz etmek amacıyla yaptıkları çalışmada ülkeler arasındaki geniş kara sınırının ve gelişmiş ulaşımın COVID-19'un yayılmasını şiddetlendireceği bulgusu bu araştırmada tedavi etkinliği noktasında kara sınırının etkisini desteklemektedir.

Tedavi etkinliği modelinde önem düzeyi yüksek diğer değişkenler tam aşılanan kişi yüzdesi ve kişi başına GSYİH değişkenlerinin etkisi farklı çalışmalarda da incelenmiştir. Buna göre Xu ve diğ. (2021) Amerika'daki 50 eyaletin etkinlik analizini açıklamada kullanılan değişkenlerden fiziksel hareketsizlik, nüfus başına hastane yatağı sayısı, kentsel nüfus yüzdesi, kişi başına test sayısı, nüfus başına aşılama, evde kalma süresi, nüfus yoğunluğu ve GSYİH değişkenlerinin önem düzeyi yüksek değişkenler olduğu sonucuna ulaşmıştır. Aktas ve diğ. (2022) ise VZA ile 3 farklı küme 2 ayrı model ile elde edilen etkinlik skorlarındaki farklılığı açıklamak için üçüncü aşamada yaptıkları tobit regresyon analizi ile ülkelerin rekabetçi olmaması, hava kirliliğine atfedilen ölüm oranı, uluslararası gelen turist sayısı, kentsel nüfus, finans sektörü tarafından sağlanan yurt içi kredi, kişi başına düşen gayri safi milli gelir ve politik rejim değişkenlerinin etkisinin anlamlı olduğu sonucuna ulaşmıştır. Benzer şekilde tobit regresyon analizini kullanarak etkinliği açıklayan faktörleri inceleyen Lupu ve Tiganasu (2022) ise komorbiditeler, nüfus yaşı, nüfus yoğunluğu, eğitim, güç mesafesi ve hükûmet etkinliği değişkenlerinin farklı zaman dilimini içeren etkinlik analizlerini açıklamada anlamlı olabileceğini saptamıştır. Martínez-Córdoba ve diğ. (2021) ise 155 ülkenin mücadele etkinliğini incelediği çalışmada VZA etkinlik skoruna etki eden çevresel faktörleri belirlemek için kesikli regresyon modelini kullanmıştır. Bu analize göre ülkelerin Avrupa, Asya, Amerika ve Afrika bölgelerinde olma durumları, devlet liderinin cinsiyeti, ses çıkarabilme (ifade, örgütlenme, medya, seçime katılım vb.), toplumun hukukun üstünlüğüne riayeti, nüfusun medyan yaşı, GSYİH değişim tahmini ve işsizlik oranı gibi değişkenlerin farklı düzeylerde anlamlı etkiye sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Delis ve diğ. (2021) ise COVID-19 ile mücadelede hükûmet politikalarını COVID-19 Çevreleme ve Sağlık Endeksi değişkeni ile değerlendirdiği çalışmada küçük ve uzak ülkelerin salgınla ciddi ölçüde karşı karşıya kalmadığını, güçlü demokratik kurumlara, hukukun üstünlüğüne, mülkiyet haklarının korunmasına ve siyasi istikrara sahip ülkelerin ortalama olarak daha etkin olduğunu bulgulamıştır.

Bu araştırmada birinci kümenin tedavi etkinliği sınıfı gerçek değeri ile tutarlı tahmin edilen ülkeleri gözlemlemek yanında farklı sınıfta tahmin edilen ülkeleri gözlemlemekte oldukça önemlidir. Araştırmanın sonucunda oluşturulan modelin örüntüsü bir başka evren üzerinde test edilmeyeceği için bu araştırmanın keşfedici niteliği gereği mevcut sonuçları eğitim ve test setinde yer alan tüm ülkeler temelinde yorumlamak önem kazanmaktadır. Eğitim ve test setinde gerçek değerlerinden farklı sınıf tahminleri yapılan ülkelerden gerçekte tedavi etkin olmayan Birleşik Krallık, Küba, Morityus ve Malta'nın önem düzeyi yüksek değişkenler dikkate alınarak etkin sınıfında yer aldığı tahmin edilmiştir. Bu durum önem düzeyi yüksek değişkenler temelinde değerlendirildiğinde, bu dört ülkenin özellikle kara sınırı değişkenine ait değerlerinin düşük olmasının (0'a yakın olması) onların etkin olma olasılığının daha yüksek hesaplanmasına yol açtığı söylenebilir. Gerçekte 'etkin' olan Çin, Hindistan, Tayland, Malezya, Belarus, Türkiye, Portekiz, Kosta Rika ve Estonya'nın 'değil' sınıfında yer alması durumu önem düzeyi yüksek değişkenler temelinde değerlendirildiğinde ise kara sınırı değerleri görece yüksek olan Çin, Hindistan, Tayland, Malezya, Belarus ve Türkiye'nin 'değil' olarak tahmin edilmesinde kara sınırının belirleyici olduğu ve Kosta Rika, Portekiz ve Estonya için ise kişi başına gayri safi yurt içi hasıla ya da tam aşılanan kişi yüzdesi gibi modelde yer alan çeşitli değişkenlerin belirleyici olduğu öngörülmektedir. Bu ülkelerin etkinlik sınıfını rastgele orman algoritması yanında CART algoritması ile daha alt düzeylerde farklı değişkenlerle açıklamak mümkün olabileceğinden bu tür keşfedici analizlerde rastgele orman algoritmasını CART algoritmasının bir öncülü olarak değerlendirmek faydalı olacaktır.

Rastgele orman algoritmasında farklı sınıfta tahmin edilen ülkelerden Estonya, Kosta Rika, Portekiz, Morityus, Malta, Çin, Hindistan, Tayland ve Malezya'nın etkinlik sınıfı CART modeli ile farklı alt düzeylerde doğru sınıflarda tahmin edilmiştir. Ancak gerçekte etkin olmayan Birleşik Krallık ve Küba ile gerçekte etkin olan Türkiye ve Belarus'un her iki modelde de etkinlik sınıfı yanlış tahmin edilmiştir. Bu durum modelde yer alan değişkenler dışında farklı bir değişkenle etkinlik sınıfının açıklanabileceğini gösterebileceği gibi, bu ülkelerden özellikle Türkiye'nin pandemi ile mücadele tedavi etkin olmamasına neden olabilecek koşullarına (kara sınırı, kişi başına gelir vb.) rağmen tedavi etkinliğini sağlamada sağlık harcaması, hastane yatağı sayısı ve sağlık çalışanı sayısı açısından benzer kaynak düzeyine sahip ülkelerden (Kolombiya, Kazakistan, Sırbistan, Şili) görece daha iyi sonuca ulaştığını gösterebilmektedir. Bununla birlikte

COVID-19 ile ilgili yapılan diğer çalışmalarda 65 yaş ve üzeri nüfusun pandemiden mortalite yönüyle en çok etkilenen grup olduğu ve bu yaş grubunda vaka ölüm hızının daha yüksek olduğu bilinmektedir (Natale ve diğ., 2020; Yanez ve diğ., 2020; Imtyaz ve diğ., 2020). Bu çerçevede etkin sınıfta yer alan 27 ülkeden Bahreyn, Birleşik Arap Emirlikleri, Hindistan, Kosta Rika, Malezya, Türkiye, Katar ve Kuveyt'in 65 yaş ve üzeri nüfusunun %10'un altında olması etkinlik değerlendirmelerinde göz önünde bulundurulması gereken bir diğer husustur. CART algoritması araştırma modeli ile oluşturulan farklı karar ağaçlarında 65 yaş ve üzeri nüfus yüzdesi değişkeninin de bir alt düğüm olarak yer aldığı anlamlı bir modele ulaşılması bu değişkeninde belirli bir ölçüde etkinlik üzerinde açıklayıcı bir faktör olabileceğini göstermektedir. Bu yönüyle 65 yaş ve üzeri nüfusu %15 üzerinde olan Japonya, Finlandiya, Portekiz, Danimarka, Estonya, Hollanda, İsviçre, Norveç, Avustralya, Yeni Zelenda ve Güney Kore gibi ülkelerin tedavi etkin sınıfında yer alması ilgili ülkelerin pandemi ile mücadelede tedavi etkinliği kapsamında önemli bir başarı düzeyine ulaştığını yansıtabilir.

Bu araştırmada tedavi etkinliğinin analiz edildiği modelde çıktı değişkeni olan vaka ölüm hızı açısından ortalamanın altında değere sahip olan Birleşik Krallık ve Küba, benzer kaynak düzeyi ile daha iyi çıktı düzeyine ulaşan ülkelerin (Lüksemburg, Singapur, İzlanda) karşılaştırma grubunda yer alması nedeniyle 'değil' sınıfında yer almış ve buna bağlı olarak açıklayıcı karar ağacı modellerinde etkinlik sınıfları yanlış tahmin edilmiştir. Bu sonuçlar diğer çalışma bulguları ile karşılaştırıldığında, Ibrahim ve diğ. (2020), Martínez-Córdoba ve diğ. (2021) ve Lupu ve Tiganasu (2022) çalışmalarındaki bulgular ile paralel olarak özellikle Birleşik Krallık etkin olmayan ülkeler arasında yer almıştır. Bu sonuç Birleşik Krallık'ta yaşanan gelişmeler temelinde değerlendirildiğinde, 31 Ocak'ta ilk vakanın görülmesine rağmen sokağa çıkma kısıtlamalarının 23 Mart'ta uygulanması ve tam aşılamanın toplumun %50'sini aştığı Haziran 2021 sonrasında ilaç dışı müdahale önlemlerinin hızla artan vakalara rağmen kaldırılması tedavi etkinliğini sağlayamamasına yol açmıştır. Hükûmetin pandemiye müdahale kararlarının soruşturulması bu durumu teyit etmektedir (Kantis ve diğ., 2023). Benzer şekilde ABD'de aşılama için finansman desteği sağlanmasına yönelik politikalara rağmen, aşılamanın artmasıyla birlikte ilaç dışı müdahalelerin azaltılması ve Ocak 2022'de Omicron varyantı ile birlikte vaka sayısında görülen yeni zirveye rağmen ilaç dışı müdahale önlemlerinin uygulanmaması pandemi ile mücadelede genel itibarıyla başarısız sonuçlar alınmasına

yol açmıştır. Bu dönemlerde vaka sayılarının sağlık sisteminin tedavi kapasitesini zorlayacak şekilde artması, nüfus başına ölüm sayısında artışı beraberinde getirmiştir.

Araştırma sonucunda özellikle hem bulaşıcılıkla mücadele hem de tedavi etkinliği kapsamında tam etkin olan Çin Halk Cumhuriyeti incelendiğinde ise hastalığın ortaya çıkmasından itibaren incelenen dönem boyunca ülkede sıkı müdahale politikasının kararlıkla sürdürüldüğü görülmektedir. Özellikle pandemi öncesi hazırlık durumuna göre daha iyi durumda olan ABD ve Birleşik Krallık gibi ülkelerin uyguladıkları müdahale stratejileri onların görece başarısız bir mücadele süreci yürütmesine yol açmıştır. Bu noktada Çin'in hem ilaç müdahaleleri hem de ilaç dışı müdahaleleri uygulamadaki politik kararlılığı hem bulaşıcılıkla mücadele hem de tedavi etkinliğini sağlamada incelenen dönem için başarılı olmasına zemin hazırlamıştır. Bu durum pandemiye hazırlık yanında doğru müdahale stratejisini benimsemenin ve uygulamanın ne ölçüde önemli olduğunu yansıtmaktadır.

# 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

COVID-19 hastalığı ilk ortaya çıktığı zamandan oldukça kısa bir süre sonra dünya çapında bir pandemi haline dönüşmüş ve milyonlarca insanın hastalıktan morbidite ve mortalite yönüyle etkilenmesine yol açmıştır. Pandeminin morbidite ve mortalite etkisine karşı mücadele etmek için ülkeler sağlık sistemlerinin mevcut kaynaklarını en etkin şekilde kullanmayı amaçlamıştır. Bu çerçevede sağlık sistemlerinin dayanıklılığı/ hazırlığı ve politika yapıcıların uyguladığı müdahale stratejilerinin sonucunda ülkeler pandemi ile mücadelede değişen düzeyde başarıya ulaşmıştır. Bu kapsamda araştırmada kaynak bileşenleri açısından farklı hazırlık ve gelişmişlik düzeyindeki ülkelerin belirlenmesi, bu ülkelerin bulaşıcılıkla mücadele ve tedavi etkinlik düzeylerinin ölçülmesi ve etkinlik durumunu açıklayan faktörlerin ortaya çıkarılması için üç aşamalı bir yaklaşım kullanılmış ve buna göre elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

Araştırmanın ilk aşamasında elde edilen sonuçlar pandemiye hazırlık düzeyi ve gelişmişlik durumu açısından ülkeleri temelde iki küme altında değerlendirmenin uygun olduğunu göstermektedir. Denetimsiz makine öğrenme algoritmalarından k-ortalamalar yönteminin kullanıldığı analizde seçilen özniteliklerin literatürde yapılan çalışmalardan özgün olması karşılaştırma gruplarının belirlenmesi noktasında farklı bir bakış açısı sunmuştur. Buna göre ilk aşamada yapılan analiz sonucunda 144 ülkeden 73'ünün birinci kümede ve 71'inin ikinci kümede yer aldığı sonucuna ulaşılmıştır. Farklı küme sayısı senaryolarının etkinlik sonuçları üzerindeki etkisinin de değerlendirildiği bu çalışmada nihai olarak iki kümeyi temel alan yaklaşımın kullanılmasının en uygun durum olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Sağlık sistemlerinin pandemiye karşı mücadele etkinliklerinin değerlendirilmesi kapsamında ilaç ve ilaç dışı müdahalelerle pandeminin morbidite üzerindeki etkisini önlemeyi veya sınırlamayı temel alan bulaşıcılıkla mücadele etkinliği ve sağlık kaynakları ile pandeminin mortalite etkisini önlemeyi ve sınırlamayı temel alan tedavi etkinliği değerlendirmeleri yapılmıştır. Bu çerçevede ikinci kümede yer alan ülkelerin sağlık kaynakları genel olarak DSÖ tarafından belirtilen temel sağlık hizmetleri sunumu için gerekli olduğu tahmin edilen eşik değerin altında olduğu için iki yönlü değerlendirme yalnızca ilk küme için yapılmıştır. Buna göre birinci kümede bulaşıcılıkla mücadelede ülkelerin %91,8'inin tam etkin olmadığı ve belirlenen etkin sınıf aralığına göre ise

%79,5'inin etkin olmadığı sonucuna ulaşılmıştır. İkinci kümenin bulaşıcılıkla mücadele etkinliği değerlendirmesinde ülkelerin %88,8'inin tam etkin olmadığı ve belirlenen etkin sınıf aralığına göre ise %50,7'sinin etkin olmadığı görülmüştür. Birinci küme için yapılan tedavi etkinliği değerlendirmesi sonucunda ise ülkelerin %87,7'sinin tam etkin olmadığı ve belirlenen etkin sınıf aralığına göre ise %63'ünün etkin olmadığı sonucuna ulaşılmıştır. Birinci kümenin hem bulaşıcılıkla mücadele hem de tedavi etkinliği değerlendirmesi sonucunda her iki etkinlik skoruna göre de tam etkin bulunan tek ülke Çin Halk Cumhuriyeti olmuştur. Buna göre Avrupa ve Amerika kıtasında yer alan yüksek gelir grubundaki birçok ülkenin bulaşıcılıkla mücadele ve tedavi etkinliğini sağlamada görece başarısız olduğu saptanmıştır. Bu sonuçlar sağlık sistemlerindeki yüksek hazırlık düzeyine rağmen ABD, İtalya, İspanya, Birleşik Krallık ve Belçika gibi birçok gelişmiş ülkenin pandemi ile mücadelede görece etkin bir süreç yürütemediğini göstermektedir. Tedavi etkinliği açısından birinci kümede etkin sınıf aralığında Avrupa Bölgesi'nden İzlanda, Kıbrıs, Danimarka, Norveç, Hollanda, Türkiye, İsrail, Estonya, İsviçre, Portekiz, Lüksemburg, Belarus ve Finlandiya yer alırken, Amerika Bölgesi'nden yalnızca Kosta Rika yer almıştır. Salgının başladığı Batı Pasifik Bölgesi'nden ise Çin, Yeni Zelenda, Singapur, Avustralya, Japonya ve Malezya tedavi etkin ülkeler arasında yer almıştır.

Çalışmanın üçüncü aşamasında ülkelerin etkin sınıfta yer almasını açıklayan faktörlerin belirlenmesi amacıyla CART ve rastgele orman algoritmaları kullanılmıştır. Buna göre bulaşıcılıkla mücadele etkinliği üzerinde birinci küme için kişi başına sağlık harcaması, kentsel nüfus yüzdesi ve kişi başına GSYİH değişkenlerinin; ikinci küme için ise bin kişi başına test sayısı, kişi başına sağlık harcaması ve kişi başına GSYİH değişkenlerinin önem düzeyi yüksek değişkenler olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu sonuçlar özellikle tam aşılanan kişi yüzdesini girdi değişkeni olarak ele alan bulaşıcılıkla mücadele etkinliği modelinde en önemli sağlık harcaması olan yüksek aşılamaya rağmen morbidite etkisini sınırlayamayan ülkelerin etkinsiz olduğu, toplumun yeterli düzeyde taranmadığı durumlarda çıktı olarak ele alınan milyon kişi başına vaka sayısının daha düşük değerler almasının bulaşıcılıkla mücadele etkinliği değerlendirmesinde önemli bir faktör olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte kentsel nüfusun yüksek olduğu yerlerde vakaların artabileceği ve kişi başına gelir düzeyinin düşük olduğu ülkelerde vakaların tespitinin zor olabileceği bu nedenle etkinlik üzerinde açıklayıcılığı ve önem düzeyinin yüksek olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Son olarak bulaşıcılıkla mücadele etkinliği sınıfını açıklamada her iki kümede sıkılık endeksi değişkeninin geçmiş dönem değerinin önem

düzeyinin düşük olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu durum ilaç dışı müdahale önlemlerini kısa dönemli uygulayarak pandemi sürecinin tamamında morbiditeyi sınırlamanın mümkün olmadığını göstermektedir. Bu sonuçtan yola çıkarak ilaç dışı müdahale önlemlerinin belirlenmesi ve uygulanmasında daha kapsamlı ve sürdürülebilir değerlendirmelere ihtiyaç olduğu görülmektedir. Bu bağlamda bulaşıcılıkla mücadelede etkinliği sağlayabilmek için geliştirilecek politikalarda insanları sınırlamayı değil, virüsü sınırlamayı temel almanın oldukça önemli olduğu öngörülmektedir. Bunun için pandeminin seyrine uygun olarak ilaç dışı müdahale önlemlerini uygulama stratejileri küresel boyutta gözden geçirilmelidir.

Tedavi etkinliği sınıfını açıklamak üzere yapılan CART ve rastgele orman analizinde kara sınırı, tam aşılanan kişi yüzdesi ve kişi başına GSYİH değişkenlerinin önem düzeyi yüksek değişkenler olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Buna göre tedavi etkinliğini açıklamada yüksek kara sınırının önemli olması bu çalışma ile ortaya çıkarılan özgün sonuçlardan biridir. Bu durum kara sınırı uzun olan ülkelerde genel olarak yüz ölçümünün daha büyük olması nedeniyle tedavi edici hizmetlerin sunumunda yönetsel etkinliğin zor olması veya hizmetlere coğrafi erişilebilirliğin sınırlanmasından kaynaklanabileceği gibi, kara sınırı ile birlikte komşu ülke sayısının artmasının sağlık hizmetleri sektöründe hizmet talebi ve iş gücü yönlü dış etkileşimlerin artmasına ve bunun da iç talebi karşılamada sorunlara yol açması gibi çeşitli faktörlerin etkisinden kaynaklanabileceği öngörülmektedir. Bununla birlikte tam aşılanan kişi yüzdesinin tedavi etkinliği sınıfını açıklamada önem düzeyinin yüksek çıkması ele alınan aşılama sonrası yaklaşık iki yıllık periyotta aşılamanın mortaliteyi önleme üzerinde olumlu bir etkiye sahip olabileceğini yansıtmaktadır. Kişi başına GSYİH'nin artması ise tedavi edici sağlık hizmetlerine olan talebi kolaylaştıracağı için etkinliği sağlamada açıklayıcı bir faktör olarak yer almış olabilir. Özellikle CART modelinde etkin sınıf tahmininde düşük cepten yapılan sağlık harcamasının bir alt düğüm olarak yer alması bunu desteklemektedir. Bu modellerin performans değerlendirmeleri bu sonuçlara yüksek düzeyde tahmin başarısı ile ulaşıldığını göstermektedir.

Araştırmanın sonucunda oluşturulan model örüntüleri bir başka evren üzerinde test edilmeyeceğinden bu araştırmanın keşfedici niteliği gereği mevcut sonuçlara kapsama alınan ülkeler temelinde ulaşıldığına dikkat edilmelidir. Bu kapsamda araştırma sonuçlarının değerlendirilen ülkeler, seçilen göstergeler ve değerlendirme dönemi ile

sınırlı olduğunu vurgulamak önemlidir. Bununla birlikte pandemi başlangıcından itibaren yaklaşık üç yıllık mücadele sürecini küresel olarak değerlendirmeyi kapsayan bu araştırma, pandemi ile mücadelenin uzun vadeli sonuçlarını ortaya çıkarması yönüyle de oldukça önem arz etmektedir. Buna ilave olarak sonuçların arka planında etkili olan faktörlerin makine öğrenme algoritmaları ile öne çıkarılması politika yapıcılara yol haritası sunması yönüyle faydalı olacaktır. Bu kapsamda araştırmada elde edilen sonuçların pandemilere hazırlık süreçlerini sağlamada ve gelecek pandemiler için müdahale stratejilerini belirlemede politika yapıcılar için önemli bir gösterge olarak değerlendirilmesi ve ülkelerin arka planda etkili olan bu faktörleri gözeterek uygun bir mücadele süreci yürütmesi önerilmektedir. Bunun için benzer koşullarda benzer kaynaklar ile başarıya ulaşan ülkelerin pandemi ile mücadele uygulamaları yakından izlenmelidir.

Çalışmada ülke bazında hem kesitsel hem de zaman grafiğinde yapılan değerlendirmelerde ise ülkelerin pandemiye hazırlıklarında planlama süreçlerinin önemi yanında, uygulamada yönetsel kararlılık, toplumsal katılım ve uzlaşı, zamanında ve etkili kriz iletişimi, çok sektörlü eylem koordinasyonu ve hızlı yanıt verebilme gibi mücadele sürecinin birçok önemli dinamiğinin başarılı bir müdahale için kritik öneme sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bununla birlikte pandemi ile mücadele sürecinde yaygın olarak tercih edilen hafifletme stratejisi ile eliminasyon stratejisinin farklı durumlar için avantajlı ya da dezavantajlı olabildiği görülmüştür. İlaç ve ilaç dışı müdahalelerin farklı düzeyde uygulanmasını içeren bu stratejilerin kullanımı ülkelerin kendine özgü çeşitli dinamiklerine göre başarı veya başarısızlıkla sonuçlanmıştır. Ayrıca yapılan değerlendirmede küresel olarak görülen yüksek vaka ve ölüm sayıları ile analizler sonucunda ülkelerin yüksek düzeyde etkinsizliği, pandemi gibi krizlere küresel olarak henüz yeterli düzeyde hazır olunmadığını göstermektedir. Bu çerçevede gelecekte halk sağlığı acil durumlarına hazırlık yapılabilmesi için COVID-19 pandemisi ile mücadele sürecinde elde edilen farklı deneyimler temelinde gerek küresel gerekse ülkeler düzeyinde değerlendirmelerin ve bu değerlendirmeleri temel alan çıkarımların yapılması gereklidir. Bu sayede halk sağlığı mücadelesinin sorumlusu olan kamu otoritelerinin müdahalelerde reaktif yönetim yerine proaktif bir yönetime yatırım yapması mümkün hale gelecektir. Bu noktada proaktif yönetim ile başarıya ulaşmanın en önemli gereklerinden birinin mücadele süreçlerinin tüm aktörlerinin proaktif katılımını sağlayacak bir dönüşüm gerçekleştirmek olduğunu vurgulamak önemlidir.

Araştırmada COVID-19 ile küresel mücadelenin uzun vadeli sonuçları kesitsel ve keşfedici olarak ortaya çıkarılmıştır. Bununla birlikte COVID-19 pandemisinde ülkelerin mücadele süreçlerinin bir çalışma kapsamında sınırlanamayacak birçok farklı gösterge veya süreçten etkilendiği öngörülmektedir. Bu çerçevede gelecek çalışmalarda COVID-19 mücadele süreçlerindeki başarı veya başarısızlığı izlenen politikalar temelinde değerlendirebilmek ve hangi önlemlerin buna ulaştırdığını ortaya çıkarmak için ülke veya bölge özelinde çalışmaların yapılması ve mücadele süreçlerinin ülkelere özgü dinamiklerle değerlendirilmesi önerilmektedir.

# KAYNAKLAR


Abd-Elsalam, S., Noor, R.A., Badawi, R., Khalaf, M., Esmail, E.S., Soliman, S., ... & Esmat, G., 2021, Clinical study evaluating the efficacy of ivermectin in COVID-19 treatment: a randomized controlled study, *Journal of medical virology*, 93(10), 5833-5838.

Açar, T.S. & Öz, N.A., 2020, The determination of optimal cluster number by Silhouette index at clustering of the European Union member countries and candidate Turkey by waste indicators, *Pamukkale üniversitesi mühendislik bilimleri dergisi*, 26(3), 481-487.

Aghamirza, H. Aliabadi, M., Eivazzadeh-Keihan, R., Beig Parikhani, A., Fattahi Mehraban, S., Maleki, A., ... & Mozafari, M., 2022, COVID-19: A systematic review and update on prevention, diagnosis, and treatment, *MedComm*, 3(1), e115.

Ahmed, N., Michelin, R.A., Xue, W., Ruj, S., Malaney, R., Kanhere, S.S., ... & Jha, S.K., 2020, A survey of COVID-19 contact tracing apps, *IEEE access*, 8, 134577-134601.

Ahn, D.G., Shin, H.J., Kim, M.H., Lee, S., Kim, H.S., Myoung, J., ... & Kim, S.J., 2020, Current status of epidemiology, diagnosis, therapeutics, and vaccines for novel coronavirus disease 2019 (COVID-19), *J microbiol biotechnol*, 30, 313-324.

Akdere, M., 2018, Bizans tarihi kaynaklarına göre VI. ve X. yüzyıllarda İstanbul'da görülen veba salgınları, *Tarih okulu dergisi*, 11(XXXV), 314-343.

Akin, L. & Gözel, M.G., 2020, Understanding dynamics of pandemics, *Turkish journal of medical sciences*, 50, 515-519.

Aktas, E., Ülengin, F., Topcu, I. & Gundes, E. H., 2022, *The efficiency of nations in the struggle against the COVID-19 pandemic*, Handbook of research on healthcare standards, policies, and reform, In: Comite, U. (ed.), IGI Global, ISBN: 978-1799888680, 282-319.

Albrecht, D., 2022, Vaccination, politics and COVID-19 impacts, *BMC public health*, 22(1), 1-12.

Ali, N., 2020, Role of vitamin D in preventing of COVID-19 infection, progression and severity, *Journal of infection and public health*, 13(10), 1373-1380.

Alpaydin, E., 2020, *Introduction to machine learning*, 4th ed., The MIT Press, Cambridge, ISBN: 9780262358064.

Altunkaynak, B., 2022, *Veri madenciliği yöntemleri ve R uygulamaları kavramlar-modeller-algoritmalar*, Seçkin Yayıncılık, Ankara, ISBN: 978-975-02-7518-0.

Alzubi, J., Nayyar, A. & Kumar, A., 2018, Machine learning from theory to algorithms: An overview, *Journal of physics: conference series,* 1142(1), p. 012012.

Ansari, I., Grier, G. & Byers, M., 2020, Deliberate release: Plague–A review, *Journal of biosafety and biosecurity*, 2(1), 10-22.

Arbelaitz, O., Gurrutxaga, I., Muguerza, J., Pérez, J.M. & Perona, I., 2013, An extensive comparative study of cluster validity indices, *Pattern recognition*, 46(1), 243-256.

Asian Development Bank, 2021, *ADB briefs: Economic recovery from COVID-19: Experience from the People's Republic of China*, http://dx.doi.org/10.22617/BRF210397-2, [Ziyaret tarihi: 20 Ocak 2023].

Asian Development Bank, 2022, *COVID-19 (coronavirus): ADB's response*, https://www.adb.org/what-we-do/covid19-coronavirus, [Ziyaret tarihi: 20 Ocak 2023].

Aspinall, E., 2022, *COVID-19 timeline,* https://bfpg.co.uk/2020/04/covid-19-timeline/, [Ziyaret tarihi: 21 Ocak 2023].

Aum, S., Lee, S. Y.T. & Shin, Y., 2021, COVID-19 doesn't need lockdowns to destroy jobs: The effect of local outbreaks in Korea, *Labour economics*, 70, 101993.

Aydemir, Z.C., 2002, *Bölgesel rekabet edebilirlik kapsamında illerin kaynak kullanım görece verimlilikleri: veri zarflama analizi uygulaması*, DPT uzmanlık tezi, İktisadi Sektörler ve Koordinasyon Genel Müdürlüğü, Ankara.

Aydin, N. & Yurdakul, G., 2020, Assessing countries' performances against COVID-19 via WSIDEA and machine learning algorithms, *Applied soft computing*, 97, 106792.

Balaban, M.E. & Kartal, E., 2015, *Veri madenciliği ve makine öğrenmesi temel algoritmaları ve R dili ile uygulamaları*, Çağlayan Kitabevi, İstanbul.

Balli, S., Sağbaş, E.A. & Peker, M., 2019, Human activity recognition from smart watch sensor data using a hybrid of principal component analysis and random forest algorithm, *Measurement and control*, 52(1-2), 37-45.

Banker, R.D., Charnes, A. & Cooper, W.W., 1984, Some models for estimating technical and scale ınefficiencies in data envelopment analysis, *Management science,* 30(9), 1078-1092.

Banker, R.D., Cooper, W.W., Seiford, L.M. & Zhu, J., 2011, *Returns to scale in DEA*, Handbook on data envelopment analysis, In: Cooper, W.W., Seiford, L.M., & Zhu, J. (eds.), Springer, New York, ISBN 978-1-4419-6150-1, 41-70.

Barros, R.C., De Carvalho, A.C. & Freitas, A.A., 2015, *Automatic design of decision-tree induction algorithms*, Springer, Cham, ISBN: 978-3-319-14230-2.

Baseler, L., Chertow, D.S., Johnson, K.M., Feldmann, H. & Morens, D.M., 2017, The pathogenesis of Ebola virus disease, *Annual review of pathology: Mechanisms of disease*, 12(472), 387-418.

Belek, İ., 2016, *Sağlığın politik ekonomisi: Sosyal devletin çöküşü*, 4. ed., Yazılama Yayınevi, İstanbul, ISBN: 978-605-5892-13-5.

Bell, B.P., 2016, Overview, control strategies, and lessons learned in the CDC response to the 2014–2016 Ebola epidemic, *MMWR supplements*, 65(3), 4-11.

Bell, J., 2022, *What is machine learning?*, Machine learning and the city: Applications in architecture and urban design, In: Carta S. (ed.), Chapter 9, John Wiley & Sons Ltd., Hoboken, NJ, ISBN: 9781119749639, 207-216.

Benedictow, O.J., 2021, *The complete history of the black death*, The Boydell Press, New York, ISBN: 978-1-78327-516-8.

Benli, Y.K., 2006, *İstanbul Menkul Kıymet Borsası İmalat Sanayi için etkinlik ve toplam faktör verimliliği analizi*, Seçkin Yayınları, Ankara.

Berche, P., 2022, The enigma of the 1889 Russian flu pandemic: A coronavirus?, *La presse médicale*, 51(3), 104111.

Berman, P. & Bitran, R., 2011, Health systems analysis for better health system strengthening, *World Bank HNP discussion paper*, Washington, DC.

Bhagat, R.K., Wykes, M.D., Dalziel, S.B. & Linden, P.F., 2020, Effects of ventilation on the indoor spread of COVID-19, *Journal of fluid mechanics*, 903.

Bhat, R., Verma, B.B. & Reuben, E., 2001, Data envelopment analysis (DEA), *Journal of health management,* 3(2), 309-328.

Bou-Karroum, L., Khabsa, J., Jabbour, M., Hilal, N., Haidar, Z., Abi Khalil, P., ... & El Bcheraoui, C., 2021, Public health effects of travel-related policies on the COVID-19 pandemic: A mixed-methods systematic review, *Journal of infection*, 83(4), 413-423.

Bowlin, W.F., 1998, Measuring performance: An introduction to data envelopment analysis (DEA), *Journal of cost analysis, 7*, 3-27.

Bramanti, B., Dean, K.R., Walloe, L. & Chr Stenseth N., 2019, The third plague pandemic in Europe, *Proc biol sci.*, 286, 20182429.

Breiman L., Friedman, J.H., Olshen, R.A. & Stone, C.J., 1984, *Classification and regression trees*, Wadsworth, Belmont.

Breiman, L., 2001, Random forests, *Machine learning*, 45, 5-32.

Breiman, L., 1996, Bagging predictors, *Machine learning*, 24(2), 123-140.

Breitenbach, M.C., Ngobeni, V. & Aye, G.C., 2021, Global healthcare resource efficiency in the management of COVID-19 death and infection prevalence rates, *Frontiers in public health*, 9, 638481.

Breitenbach, M.C., Ngobeni, V. & Ayte, G., 2020, The first 100 days of COVID-19 coronavirus–How efficient did country health systems perform to flatten the curve in the first wave?, *MPRA,* Munich, Germany.

Brüssow, H., 2021, What we can learn from the dynamics of the 1889 ‘Russian flu’pandemic for the future trajectory of COVID-19, *Microbial biotechnology*, 14(6), 2244-2253.

Byrne, J., 2012, *Encyclopedia of the black death*, ABC-CLIO, Santa Barbara, California, ISBN: 978-1-59884-253-1.

Byrnes, P. & Valdmanis, V., 1994, *Analyzing technical and allocative efficiency of hospitals*, Data envelopment analysis: Theory, methodology, and applications, In: Charnes, A., Cooper, W.W., Lewin A.Y. & Seiford L.M. (eds.), Springer Science and Business Media, New York, 129-144.

Calina, D., Docea, A.O., Petrakis, D., Egorov, A.M., Ishmukhametov, A.A., Gabibov, A. G., ... & Tsatsakis, A., 2020, Towards effective COVID-19 vaccines: Updates, perspectives and challenges, *International journal of molecular medicine*, 46(1), 3-16.

Cameron, E.E., Nuzz, J. R. & Bell, J.A., 2019, GHS Index building. global health security index, *Collective action and accountability*, Washington, Johns' Hopkins University.

Carraturo, F., Del Giudice, C., Morelli, M., Cerullo, V., Libralato, G., Galdiero, E. & Guida, M., 2020, Persistence of SARS-CoV-2 in the environment and COVID-19 transmission risk from environmental matrices and surfaces, *Environ Pollut*, 265,115010.

Carrillo-Larco, R.M. & Castillo-Cara, M., 2020, Using country-level variables to classify countries according to the number of confirmed COVID-19 cases: An unsupervised machine learning approach, *Wellcome open research*, 5.

Carvalho, T., Krammer, F. & Iwasaki, A., 2021, The first 12 months of COVID-19: a timeline of immunological insights, *Nature reviews immunology*, 21(4), 245-256.

Casanova, L.M., Jeon, S., Rutala, W.A., Weber, D.J. & Sobsey, M.D., 2010, Efects of air temperature and relative humidity on coronavirus survival on surfaces, *Appl environ microbiol*, 76, 2712–2717.

Cascella, M., Rajnik, M., Cuomo, A., Dulebohn, S.C. & Di Napoli, R., 2022, *Features, evaluation and treatment coronavirus (COVID-19)*, StatPearls Publishing, In Press, Erişim Adresi: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/ NBK554776/

Castex, G., Dechter, E. & Lorca, M., 2021, COVID-19: The impact of social distancing policies, cross-country analysis, *Economics of disasters and climate change*, 5(1), 135-159.

CDC, 2015, *Epidemiology glossary*, https://www.cdc.gov/reproductivehealth/ data_stats/glossary.html, [Ziyaret tarihi: 10 Aralık 2022].

CDC, 2019, *2009 H1N1 pandemic (H1N1pdm09 virus)*, https://www.cdc.gov/flu/pandemic-resources/2009-h1n1-pandemic.html, [Ziyaret tarihi: 24 Haziran 2022].

CDC, 2020a, *Past pandemics*, https://www.cdc.gov/flu/pandemic-resources/basics/past-pandemics.html, [Ziyaret tarihi: 24 Haziran 2022].

CDC, 2020b, *Implementation of mitigation strategies for communities with local COVID-19 transmission*, https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/downloads/community-mitigation-strategy.pdf, [Ziyaret tarihi: 28 Ocak 2023].

CDC, 2021, *Nucleic acid amplification tests (NAATs)*, https://www.cdc.gov/ coronavirus/2019-ncov/lab/naats.html, [Ziyaret tarihi: 6 Ocak 2023].

CDC, 2022a, *Science brief: COVID-19 vaccines and vaccination, CDC COVID-19 science briefs*, https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK570435/, [Ziyaret tarihi: 15 Ocak 2023].

CDC, 2022b, *COVID-19 timeline*, https://www.cdc.gov/museum/timeline/ covid19.html, [Ziyaret tarihi: 17 Aralık 2022].

CDC, 2022c, *Science brief: Evidence used to update the list of underlying medical conditions associated with higher risk for severe COVID-19. CDC COVID-19 science briefs*, https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK570436/, [Ziyaret tarihi: 9 Ocak 2023].

CDC, 2022d, *Nonpharmaceutical interventions (NPIs)*, https://www.cdc.gov/ nonpharmaceutical-interventions/personal/index.html, [Ziyaret tarihi: 9 Ocak 2023].

CDC, 2022e, *SARS-CoV-2 variant classifications and definitions*, https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/variants/variant-classifications.html, [Ziyaret tarihi: 10 Aralık 2022].

CDC, 2022f, *A-Z health topics*, https://www.cdc.gov/health-topics.html, [Ziyaret tarihi: 12 Aralık 2022].

Chan-Yeung, M. & Xu, R.H., 2003, SARS: epidemiology, *Respirology*, 8(1), 9-14.

Chang, M.C., Kahn, R., Li, Y.A., Lee, C.S., Buckee, C.O. & Chang, H.H., 2021, Variation in human mobility and its impact on the risk of future COVID-19 outbreaks in Taiwan, *BMC public health*, 21(1), 1-10.

Charnes, A., Cooper, W.W. & Rhodes, E.L., 1978, Measuring the efficiency of decision making units, *European journal of operational research,* 2(6), 429-444.

Charnes, A., Cooper, W.W., Lewin, A.Y. & Seiford, L.M., 2013, *Data envelopment analysis: Theory, methodology and applications*, Kluwer Academic Publishers, Boston MA.

Chen, G., Wu, D.I., Guo, W., Cao, Y., Huang, D., Wang, H., ... & Ning, Q., 2020, Clinical and immunological features of severe and moderate coronavirus disease 2019, *The journal of clinical investigation*, 130(5), 2620-2629.

Chen, J., 2020, Pathogenicity and transmissibility of 2019-nCoV—A quick overview and comparison with other emerging viruses, *Microbes and infection*, 22(2), 69-71.

Cheshmehzangi, A., Sedrez, M., Ren, J., Kong, D., Shen, Y., Bao, S., ... & Dawodu, A., 2021, The effect of mobility on the spread of COVID-19 in light of regional differences in the European Union, *Sustainability*, 13(10), 5395.

Chinese Center for Disease Control and Prevention, 2023, *Health topics*, https://en.chinacdc.cn/, [Ziyaret tarihi: 20 Ocak 2023].

Chisholm, D. & Evans, D.B., 2010, Improving health system efficiency as a means of moving towards universal coverage, *World health report*, 28, 33.

Choi, J., Ki, M., Kwon, H.J., Park, B., Bae, S., Oh, C.M., ... Cheong, H.K., 2019, Health indicators related to disease, death, and reproduction, *Journal of preventive medicine and public health*, 52(1), 14.

Chu, D.K., Akl, E. A., Duda, S., Solo, K., Yaacoub, S., Schünemann, H.J., ... & Reinap, M., 2020, Physical distancing, face masks, and eye protection to prevent person-to-person transmission of SARS-CoV-2 and COVID-19: a systematic review and meta-analysis, *The lancet*, 395(10242), 1973-1987.

Chung, H., He, S., Nasreen, S., Sundaram, M.E., Buchan, S.A., Wilson, S.E., ... & Kwong, J.C., 2021, Effectiveness of BNT162b2 and mRNA-1273 covid-19 vaccines against symptomatic SARS-CoV-2 infection and severe covid-19 outcomes in Ontario, Canada: test negative design study, *BMJ*, 374.

Chung, M., Bernheim, A., Mei, X., Zhang, N., Huang, M., Zeng, X., ... & Shan, H., 2020, CT imaging features of 2019 novel coronavirus (2019-nCoV), *Radiology*, 295(1), 202-207.

Codecademy Team, 2022, *Feature importance*, https://www.codecademy.com/article/fe-feature-importance-final, [Ziyaret tarihi: 15 Ocak 2023].

Coelli, T.J., Rao, D.S.P., O'Donnell, C.J. & Battese, G.E., 2005, *An introduction to efficiency and productivity analysis*, Springer Science and Business Media, New York.

Cook, W. D. & Zhu, J., 2005, *Modeling performance measurement: applications and ımplementation ıssues in DEA*, Springer, New York, ISBN: 0-387-24138-8.

Cooper, K., 2019, *Computer programming for beginners - 3 books in 1 - step by step beginners' guide to learn programming, python for beginners, python machine learning*, Independently published, ISBN: 978-1672052665.

Cooper, W.W., Li, S., Seiford, L.M., Tone, K., Thrall, R.M. & Zhu, J., 2001, Sensitivity and stability analysis in DEA: Some recent developments, *Journal of productivity analysis,* 15(3), 217-246.

Cooper, W. W., Seiford, L. M. & Tone, K., 2006, *Introduction to data envelopment analysis and ıts uses: With DEA-Solver software and references*, Springer Science and Business Media, New York.

Cooper, W.W., Seiford, L.M., & Zhu, J., 2011, *Handbook on data envelopment analysis*, (2. ed.), Springer, New York, ISBN 978-1-4419-6150-1.

Cortes, C. & Vapnik, V., 1995, Support-vector networks, *Machine learning*, 20, 273–297.

COVID-19 Vaccine Tracker, 2023, *Vaccines candidates in clinical trials,* https://covid19.trackvaccines.org/vaccines/, [Ziyaret tarihi: 15 Ocak 2023].

Cubbin, J. & Tzanidakis, G., 1998, Regression versus data envelopment analysis for efficiency measurement: An application to the England and Wales regulated water industry, *Utilities policy*, 7(2), 75-85.

Cutler, A., Cutler, D.R. & Stevens, J.R., 2012, *Random forests*, Ensemble machine learning: Methods and applications, In: Cha Zhang, Yunqian (eds.) Ma Chapter 5, Springer, New York, ISBN: 978-1-4419-9326-7, 157-175.

Cylus, J., Papanicolas, I. & Smith, P.C., 2016, A framework for thinking about health system efficiency, *Health system efficiency*, 1.

Cylus, J., Papanicolas, I. & Smith, P.C., 2017, Identifying the causes of inefficiencies in health systems, *Eurohealth*, 23(2), 3-7.

Debreu, G., 1951, The coefficient of resource utilization, *Econometrica,* 19(3), 273-292.

Delis, M. D., Iosifidi, M. & Tasiou, M., 2021, Efficiency of government policy during the COVID-19 pandemic, *MPRA*, Munich, Germany.

Department of Health and Social Care, 2020, *Policy paper UK pandemic preparedness*, https://www.gov.uk/government/publications/uk-pandemic-preparedness/uk-pandemic-preparedness, [Ziyaret tarihi: 28 Şubat 2023].

Dicker, R.C., Coronado, F., Koo, D. & Parrish, R.G., 2012, *Principles of epidemiology in public health practice; an introduction to applied epidemiology and biostatistics*, 3. ed., Self-Study Course SS1978, USA, Atlanta: Centers for Disease Control and Prevention.

Doshi, R., Hiran, K.K., Jain, R.K. & Lakhwani, K., 2022, *Machine learning master supervised and unsupervised learning algorithms with real examples*, BPB publications, India, ISBN: 978-93-91392-352.

Drucker, P.F., 1998, The discipline of innovation, *Harvard business review*, 76(6), 149-157.

Duan, K., Liu, B., Li, C., Zhang, H., Yu, T., Qu, J., ... & Yang, X., 2020, Effectiveness of convalescent plasma therapy in severe COVID-19 patients, *Proceedings of the national academy of sciences*, 117(17), 9490-9496.

Dyckhoff, H. & Allen, K., 2001, Measuring ecological efficiency with data envelopment analysis (DEA), *European journal of operational research*, 132(2), 312-325.

Dyson, R.G., Allen, R., Camanho, A.S., Podinovski, V.V., Sarrico, C.S. & Shale, E.A., 2001, Pitfalls and protocols in DEA, *European journal of operational research,* 132, 245-259.

ECDC, 2020, *Guidelines for the implementation of non-pharmaceutical interventions against COVID-19*, https://www.ecdc.europa.eu/en/publications-data/covid-19-guidelines-non-pharmaceutical-interventions, [Ziyaret tarihi: 18 Ocak 2023].

El Bouchefry, K. & de Souza, R.S., 2020, *Learning in big data: Introduction to machine learning*, Knowledge discovery in big data from astronomy and earth observation, In: Škoda P. & Adam, F., (eds.), Chapter 12, Elsevier, St. Louis, Missouri, ISBN: 978-0-12-819154-5, 225-249.

El Naqa, I. & Murphy, M.J., 2015, *What is machine learning?*, Machine learning in radiation oncology theory and applications, In: El Naqa I., Li R. & Murphy M.J. (eds.), Chapter 1, Springer, Cham, ISBN 978-3-319-18304-6, 3-11.

Erkoreka, A., Hernando-Pérez, J. & Ayllon, J., 2022, Coronavirus as the possible causative agent of the 1889–1894 pandemic, *Infectious disease reports*, 14(3), 453-469.

Erpolat, S., 2011, *Veri zarflama analizi (ağırlık kısıtlamasız, ağırlık kısıtlamalı, şans kısıtlı, bulanık) Türkiye'deki özel bütçeli idarelerin etkinlik analizi*. Evrim Yayınevi ve Bilgisayar San.Tic. Ltd. Şti., İstanbul.

Färe, R. & Grosskopf, S., 2004, Modeling undesirable factors in efficiency evaluation: Comment. *European journal of operational research*, 157, 242-245.

Färe, R., Grosskopf, S., Lovell, C.A.K. & Pasurka, C., 1989, Multilateral productivity comparisons when some outputs are undesirable: A nonparametric approach, *Review of economics and statistics*, 71, 90-98.

Farrell, M.J., 1957, The measurement of productive efficiency, *Journal of the royal stntistical society series,* 120(3), 253-290.

Fernández-Delgado, M., Cernadas, E., Barro, S. & Amorim, D., 2014, Do we need hundreds of classifiers to solve real world classification problems?. *The journal of machine learning research*, 15(1), 3133-3181.

Finelli L., Gupta V., Petigara T., Yu K., Bauer K.A. & Puzniak L.A., 2021, Mortality among US patients hospitalized with SARS-CoV-2 infection in 2020, *JAMA netw open*, 4(4), e216556.

Fiorino, S., Gallo, C., Zippi, M., Sabbatani, S., Manfredi, R., Moretti, R., ... & de Biase, D., 2020, Cytokine storm in aged people with CoV-2: possible role of vitamins as

therapy or preventive strategy, *Aging clinical and experimental research*, 32(10), 2115-2131.

Flanagan, E.W., Beyl, R.A., Fearnbach, S.N., Altazan, A.D., Martin, C.K. & Redman, L.M., 2021, The impact of COVID-19 stay-at-home orders on health behaviors in adults, *Obesity*, 29(2), 438-445.

Fong, M.W., Gao, H., Wong, J.Y., Xiao, J., Shiu, E.Y., Ryu, S. & Cowling, B.J. 2020, Nonpharmaceutical measures for pandemic influenza in nonhealthcare settings—social distancing measures, *Emerging infectious diseases*, 26(5), 976.

Gates, B., 2018, *Foreword*, Plotkin's vaccines, In: Plotkin, S.A, Orenstein, W.A., Offit, P.A., Edwards, K.M. (eds.), 7.ed., Elsevier, Philadelphia, ISBN: 978-0-323-35761-6.

Ghasemi, A., Boroumand, Y. & Shirazi, M., 2020, How do governments perform in facing COVID-19?, *MPRA*, Munich, Germany.

GISAID, 2023, *VOC/VOI/VUM relative frequencies over time*, https://gisaid.org/hcov-19-variants-dashboard/, [Ziyaret tarihi: 2 Şubat 2023].

Glatter, K.A. & Finkelman, P., 2021, History of the plague: An ancient pandemic for the age of COVID-19, *Am j med.*, 134(2), 176-181.

Glezen, W.P., 1996, Emerging infections: pandemic influenza, *Epidemiol rev.*, 18(1), 64-76.

Golany, B. & Roll, Y., 1989, An application procedure for DEA, *Omega*, 17(3), 237-250.

Gottlieb, R. L., Vaca, C. E., Paredes, R., Mera, J., Webb, B. J., Perez, G., ... & Hill, J.A., 2022, Early remdesivir to prevent progression to severe COVID-19 in outpatients, *New England journal of medicine*, 386(4), 305-315.

Government of India, 2021, *Action plan for prevention, control & containment of avian influenza*, https://dahd.nic.in/sites/default/filess/Revised20AI%20Action%20Plan%202021_1.pdf, [Ziyaret tarihi: 28 Şubat 2023].

Gregg, M.B., Hinman, A.R. & Craven, R.B., 1978, The Russian flu. Its history and implications for this year's influenza season, *Jama*, 240(21), 2260-2263.

Güner, H. R., Hasanoğlu, İ. & Aktaş, F., 2020, COVID-19: Prevention and control measures in community, *Turkish journal of medical sciences*, 50(9), 571-577.

Gürsakal, N., 2018, *Makine öğrenmesi*, Dora Basım Yayın Dağıtım, Bursa, ISBN: 978-605-247-063-3.

Haas, E.J., Angulo, F.J., McLaughlin, J.M., Anis, E., Singer, S.R., Khan, F., ... & Alroy-Preis, S., 2021, Impact and effectiveness of mRNA BNT162b2 vaccine against SARS-CoV-2 infections and COVID-19 cases, hospitalisations, and deaths following a nationwide vaccination campaign in Israel: an observational study using national surveillance data, *The lancet*, 397(10287), 1819-1829.

Hahné, S., Bollaerts, K. & Farrington, P., 2021, *Vaccination programmes: epidemiology, monitoring, evaluation*, Routledge, New York, ISBN:978-1-315-16641-4.

Hale, T., Angrist, N., Goldszmidt, R., Kira, B., Petherick, A., Phillips, T., & Tatlow, 2021a, A global panel database of pandemic policies (Oxford COVID-19 Government Response Tracker), *Nature human behaviour,* 5(4), 529-538.

Hale, T., Angrist, N., Hale, A.J., Kira, B., Majumdar, S., Petherick, A., ... & Zhang, Y., 2021b, Government responses and COVID-19 deaths: Global evidence across multiple pandemic waves, *PLoS one*, 16(7), e0253116.

Han, J., Pei, J. & Kamber, M., 2011, *Data mining: Concepts and techniques*, 3.ed., Morgan Kaufmann, Boston.

Hartshorn, S., 2016, *Machine learning with random forests and decision trees: A Visual guide for beginners*, Amazon, Seattle, WA.

HDI, 2020, *Human development index*, https://hdr.undp.org/data-center/human-development-index#/indicies/HDI, [Ziyaret tarihi: 8 Şubat 2023].

Hjerpe, A., 2016, *Computing random forests variable importance measures (vim) on mixed numerical and categorical data*, School of Computer Science and Communication (CSC), Stockholm, Sweden.

Hobernik, D. & Bros, M., 2018, DNA vaccines—how far from clinical use?, *International journal of molecular sciences*, 19(11), 3605.

Honigsbaum, M., 2020, Revisiting the 1957 and 1968 influenza pandemics, *The lancet*, 395(10240), 1824-1826.

Hsiao, W.C., 2003, What is a health system? Why should we care, *Harvard School of public health*, 33.

Hu, B., Guo, H., Zhou, P. & Shi, Z.L., 2021, Characteristics of SARS-CoV-2 and COVID-19, *Nature reviews microbiology*, 19(3), 141-154.

Hua, Z. & Bian, Y., 2007, *DEA with undesirable factors*, Modeling data ırregularities and structural complexities in data envelopment analysis, In: Zhu, J., Cook, W.D. (eds.), Springer Science, Boston, MA, 103-121.

Huang, D., Yu, H., Wang, T., Yang, H., Yao, R., & Liang, Z., 2020, Efficacy and safety of umifenovir for coronavirus disease 2019 (COVID-19): A systematic review and meta-analysis, *J Med Virol*, 93(1), 481-490.

Huremović, D., 2019, *Brief history of pandemics (pandemics throughout history)*, Psychiatry of pandemics: A mental health response to ınfection outbreak, In: Huremović D. (ed.), Chapter 2, Springer, Cham, 7-35.

Ibrahim, M.D., Binofai, F.A. & Mm Alshamsi, R., 2020, Pandemic response management framework based on efficiency of COVID-19 control and treatment, *Future virology*, 15(12), 801-816.

Imtyaz, A., Haleem, A. & Javaid, M., 2020, Analysing governmental response to the COVID-19 pandemic, *Journal of oral biology and craniofacial research*, 10(4), 504-513.

Institute for Government, 2022, *Timeline of UK government coronavirus lockdowns and restrictions,* https://www.instituteforgovernment.org.uk/data-visualisation/timeline-coronavirus-lockdowns, [Ziyaret tarihi: 8 Şubat 2023].

International Labour Organization, 2020, *A policy framework for tackling the economic and social impact of the COVID-19 crisis*, International Labour Organization Policy Brief Report.

International Labour Organization, 2023, *Country policy responses*, https://www.ilo.org/global/topics/coronavirus/regional-country/country-responses, [Ziyaret tarihi: 20 Şubat 2023].

Islam, N., Sharp, S.J., Chowell, G., Shabnam, S., Kawachi, I., Lacey, B., ... & White, M., 2020, Physical distancing interventions and incidence of coronavirus disease 2019: natural experiment in 149 countries, *BMJ*, 370.

Jacobs, R., Smith, P.C. & Street, A., 2006, *Measuring efficiency in health care: Analytical techniques and health policy*, Cambridge: Cambridge University Press.

Jafarzadeh, H., Mahdianpari, M., Gill, E., Mohammadimanesh, F. & Homayouni, S., 2021, Bagging and boosting ensemble classifiers for classification of multispectral, hyperspectral and PolSAR data: a comparative evaluation, *Remote sensing*, 13(21), 4405.

Jahanshahloo, G.R., Lotfi, F.H., Shoja, N., Tohidi, G. & Razavyan, S., 2005, Undesirable inputs and outputs in DEA models, *Applied mathematics and computation*, 169(2), 917-925.

Jake Bernal, A., Gomes da Silva, M.M., Musungaie, D.B., Kovalchuk, E., Gonzalez, A., Delos Reyes, V., ... & De Anda, C., 2022, Molnupiravir for oral treatment of Covid-19 in nonhospitalized patients, *New England journal of medicine*, 386(6), 509-520.

Jecker, N.S. & Au, D.K., 2022, Does Zero-COVID neglect health disparities?, *Journal of medical ethics*, 48(3), 169-172.

Jester, B., Uyeki, T.M., Jernigan, D.B. & Tumpey, T.M., 2019, Historical and clinical aspects of the 1918 H1N1 pandemic in the United States, *Virology*, 527, 32-37.

Jiang, C., Li, X., Ge, C., Ding, Y., Zhang, T., Cao, S., ... & Lu, S., 2021, Molecular detection of SARS-CoV-2 being challenged by virus variation and asymptomatic infection, *J pharm anal*, 11(3), 257-264.

Jo, T., 2021, *Machine learning foundations supervised, unsupervised, and advanced learning*, Springer, Cham, ISBN: 978-3-030-65899-1.

Joseph, V.R., 2022, Optimal ratio for data splitting, *Statistical analysis and data mining: The ASA data science journal*, 15(4), 531-538.

Joshi, Y., 2020, Applications of principal component analysis (PCA), https://iq.opengenus.org/applications-of-pca/, [Ziyaret tarihi: 8 Şubat 2023].

Jung, F., Krieger, V., Hufert, F.T. & Küpper, J.H., 2020, Herd immunity or suppression strategy to combat COVID-19, *Clinical hemorheology and microcirculation*, 75(1), 13-17.

Kaiser Family Foundation, 2022, *Coronavirus (COVID-19) outbreak glossary*, https://www.kff.org/glossary/covid-19-outbreak-glossary/#glossary-p, [Ziyaret tarihi: 10 Aralık 2022].

Kalaiselvi, K. & Deepika, M., 2020, *Machine learning for healthcare diagnostics*, Machine learning with health care perspective, In: Jain V. & Chatterjee J.M., (eds.), Chapter 5, Springer, Cham, ISBN: 978-3-030-40849-7, 91-105.

Kale, S., 2009, *Veri zarflama analizi ile banka şubelerinin performansının ölçülmesi,* Doktora Tezi, Kadir Has Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.

Kantis, C., Kiernan, S., Bardi J. S., Posner, L. & Turilli, I., 2023, *Timeline of the coronavirus*, https://www.thinkglobalhealth.org/article/updated-timeline-coronavirus, [Ziyaret tarihi: 21 Ocak 2023].

Karaca-Mandic, P., Georgiou, A. & Sen, S., 2021, Assessment of COVID-19 hospitalizations by race/ethnicity in 12 states, *JAMA internal medicine*, 181(1), 131-134.

Kassambara, A., 2017, *Practical guide to cluster analysis in R: Unsupervised machine learning*, STHDA, 1.

Kaur, S. P. & Gupta, V., 2020, COVID-19 vaccine: A comprehensive status report, *Virus research*, 288, 198114.

Kavuncubaşı, Ş., 2022, *Hastane ve sağlık kurumlarında stratejik yönetim*, Siyasal Kitabevi, Ankara, ISBN: 978-625-7424-54-7.

Kelleher, J.D., Mac Namee, B. & D'arcy, A., 2020, *Fundamentals of machine learning for predictive data analytics: algorithms, worked examples, and case studies*, 2nd ed., The MIT Press, Cambridge, ISBN: 9780262044691.

Kelly, H., 2011, The classical definition of a pandemic is not elusive, *Bulletin of the World Health Organization*, 89, 540-541.

Khan, W.H., Hashmi, Z., Goel, A., Ahmad, R., Gupta, K., Khan, N., ... & Ansari, M.A., 2021, COVID-19 pandemic and vaccines update on challenges and resolutions, *Frontiers in cellular and infection microbiology*, 11.

Kis, Z., Shattock, R., Shah, N. & Kontoravdi, C., 2019, Emerging technologies for low-cost, rapid vaccine manufacture, *Biotechnology journal*, 14(1), 1800376.

Kodinariya, T.M. & Makwana, P.R., 2013, Review on determining number of cluster in k-means clustering, *International journal*, 1(6), 90-95.

Koh, W.C., Naing, L. & Wong, J., 2020, Estimating the impact of physical distancing measures in containing COVID-19: an empirical analysis, *International journal of infectious diseases*, 100, 42-49.

Kohad, P., 2021, *K-means clustering and its real world use case*, Erişim Tarihi: 20.01.2023, Erişim Adresi: https://www.linkedin.com/pulse/k-means-clustering-its-real-world-use-case-pratik-kohad-1c.

Koopmans, T.C., 1951, *Analysis of production as an efficient combination of activities, activity analysis of production and allocation*, Wiley, New York.

Kozak, J., 2019, *Decision tree and ensemble learning based on ant colony optimization*, Springer International Publishing, Germany.

Kretowski, M., 2019, *Evolutionary decision trees in large-scale data mining*, Springer International Publishing, Basel.

Kucharski, A.J., Russell, T.W., Diamond, C., Liu, Y., Edmunds, J., Funk, S., ... & Flasche, S., 2020, Early dynamics of transmission and control of COVID-19: A mathematical modelling study, *The lancet infectious diseases*, 20(5), 553-558.

Kumar, A. & Nayar, K.R., 2021, COVID 19 and its mental health consequences, *Journal of mental health*, 30(1), 1-2.

Kumar, D., Malviya, R. & Sharma, P.K., 2020, Corona virus: A review of COVID-19, *EJMO*, 4(1), 8-25.

Kumar, S.V.K. & Kiruthika, P., 2015, An overview of classification algorithm in data mining, *International journal of advanced research in computer and communication engineering*, 4(12), 255-257.

Kyriakidis, N.C., López-Cortés, A., González, E.V., Grimaldos, A.B. & Prado, E.O., 2021, SARS-CoV-2 vaccines strategies: A comprehensive review of phase 3 candidates, *npj Vaccines*, 6(1), 1-17.

Lai, M.Y.Y., Cheng, P.K.C. & Lim W.W.L., 2005, Survival of severe acute respiratory syndrome coronavirus. *Clin Infect Dis*, 41, e67–e71.

Lam, T.T.Y., Shum, M.H.H., Zhu, H.C., Tong, Y.G., Ni, X.B., Liao, Y.S., ... & Guan, Y., 2020, Identifying SARS-CoV-2-related coronaviruses in Malayan pangolins, *Nature*, 583, 282–285.

Lau, S.K., Luk, H.K., Wong, A.C., Li, K.S., Zhu, L., He, Z., ... & Woo, P.C., 2020, Possible bat origin of severe acute respiratory syndrome coronavirus 2, *Emerg infect dis,* 26, 1542–1547.

Lauer, S.A., Grantz, K.H., Bi, Q., Jones, F.K., Zheng, Q., Meredith, H.R., ... & Lessler, J., 2020, The incubation period of coronavirus disease 2019 (COVID-19) from publicly reported confirmed cases: estimation and application, *Annals of internal medicine*, 172(9), 577-582.

Lavanya, D. & Rani, K.U., 2011, Performance evaluation of decision tree classifiers on medical datasets, *International journal of computer applications*, 26(4), 1-4.

Law, E., 2021, *Timeline: Covid-19 in China*, https://www.straitstimes.com/asia/east-asia/chinas-covid-19-outbreak-timeline, [Ziyaret tarihi: 20 Ocak 2023].

LePan, N., 2020, *Visualizing the history of pandemics*, https://www.visualcapitalist.com/history-of-pandemics-deadliest/, [Ziyaret tarihi: 20 Ocak 2023].

Lewis, H.F. & Sexton T.R., 1999, Data envelopment analysis with reverse inputs, *North America productivity workshop*, Union College, Schenectady.

Li, T., Liu, Y., Li, M., Qian, X. & Dai, S.Y., 2020, Mask or no mask for COVID-19: A public health and market study, *PloS one*, 15(8), e0237691.

Lim, B.H. & Mahmood, T.A., 2011, Influenza A H1N1 2009 (swine flu) and pregnancy, *The journal of obstetrics and gynecology of India*, 61(4), 386-393.

Loh, W.Y., 2011, Classification and regression trees, *Wiley interdisciplinary reviews: data mining and knowledge discovery,* 1(1), 14-23.

Lotfi, F.H., Ebrahimnejad, A., Vaez-Ghasemi, M. & Moghaddas, Z., 2020b, *Data envelopment analysis with R*, Springer, Switzerland, ISBN: 978-3-030-24276-3.

Lotfi, M., Hamblin, M.R. & Rezaei, N., 2020a, COVID-19: Transmission, prevention, and potential therapeutic opportunities, *Clinica chimica acta*, 508, 254-266.

Lu, G., Razum, O., Jahn, A., Zhang, Y., Sutton, B., Sridhar, D., ... & Müller, O., 2021, COVID-19 in Germany and China: mitigation versus elimination strategy, *Global health action*, 14(1), 1875601.

Lundstrom, K., 2020, The current status of COVID-19 vaccines, *Frontiers in genome editing*, 2, 579297.

Luptacik, M., 2010, *Mathematical optimization and economic analysis*, Springer, New York.

Lupu, D. & Tiganasu, R., 2022, COVID-19 and the efficiency of health systems in Europe, *Health economics review*, 12(1), 1-15.

Mackowiak, P.A., 2021, Prior pandemics. looking to the past for insight into the COVID-19 pandemic, *Journal of community hospital internal medicine perspectives*, 11(2), 163-170.

MacQueen, J., 1967, Some methods for classification and analysis of multivariate observations, *Proceedings of the fifth berkeley symposium on mathematical statistics and probability*, 1, 281– 297.

Malvy, D., McElroy, A.K., de Clerck, H., Günther, S. & van Griensven, J., 2019, Ebola virus disease, *The lancet*, 393(10174), 936-948.

Maniadakis, N., Kotsopoulos, N., Prezerakos, P. & Yfantopoulos, J., 2009, Health care services performance measurement: Theory, methods and empirical evidence, *European research studies*, 12(3), 151-170.

Maringe, C., Spicer, J., Morris, M., Purushotham, A., Nolte, E., Sullivan, R., ... & Aggarwal, A., 2020, The impact of the COVID-19 pandemic on cancer deaths due to delays in diagnosis in England, UK: a national, population-based, modelling study, *The lancet oncology*, 21(8), 1023-1034.

Martínez-Córdoba, P.J., Benito, B. & García-Sánchez, I.M., 2021, Efficiency in the governance of the COVID-19 pandemic: political and territorial factors, *Globalization and health*, 17, 1-13.

Mathieu, E., Ritchie, H., Rodés-Guirao, L., Appel, C., Giattino, C., Hasell, J. & Macdonald, B., 2020, *Coronavirus pandemic (COVID-19), our world data 2020*, https://ourworldindata.org/coronavirus, [Ziyaret tarihi: 22 Ocak 2023].

Mbunge, E., 2020, Integrating emerging technologies into COVID-19 contact tracing: Opportunities, challenges and pitfalls, *Diabetes & metabolic syndrome: Clinical research & reviews*, 14(6), 1631-1636.

Mehne, S.H.H. & Mirjalili, S., 2020, *Support vector machine: Applications and improvements using evolutionary algorithms*, Evolutionary machine learning techniques, In: Mirjalili S., Faris H. & Aljarah I., (eds.), Chapter 3, Springer, Singapore, ISBN: 978-981-32-9989-4.

Merrill, R.M., 2017, *Introduction to epidemiology*, 7. ed., Jones & Bartlett Publishers, MA, ISBN 978-1-284-09435-0.

Meşe, S. & Ağaçfidan, A., 2020, Coronavirus: Genel özellikler ve güncel yaklaşım, *Sağlık bilimlerinde ileri araştırmalar dergisi*, 3(1), 14-23.

Ministério da Saúde, 2010, *Plano Brasileiro de preparação para enfrentamento de uma pandemia de ınfluenza*, https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/plano_brasileiro_pandemia_influenza_IV.pdf, [Ziyaret tarihi: 28 Şubat 2023].

Ministério da Saúde, 2023, *Ministry of health*, https://www.gov.br/saude/pt-br, [Ziyaret tarihi: 21 Ocak 2023].

Ministry of Health and Family Welfare, 2023, *About the ministry*, https://main.mohfw.gov.in/, [Ziyaret tarihi: 21 Ocak 2023].

Ministry of Health Press Office, 2005, *Ministry of health's influenza pandemic preparedness plan and contingency plan (trial),* http://www.nhc.gov.cn/wsb/pzcjd/200804/20996.shtml. [Ziyaret tarihi: 28 Şubat 2023].

Mitchell, T.M., 1997, *Machine learning*, McGraw-Hill, New York.

Mohammed, M., Khan, M.B. & Bashier, E.B.M., 2017, *Machine learning: algorithms and applications*, CRC press, Boca Raton, ISBN: 978-1-4987-0538-7.

Mohri, M., Rostamizadeh, A. & Talwalkar, A., 2018, *Foundations of machine learning*, 2nd ed., The MIT Press, Cambridge, ISBN: 9780262039406.

Moreland, A., Herlihy, C., Tynan, M.A., Sunshine, G., McCord, R.F., Hilton, C., ... & Popoola, A., 2020, Timing of state and territorial COVID-19 stay-at-home orders and changes in population movement—United States, March 1–May 31, 2020. *Morbidity and mortality weekly report*, 69(35), 1198.

Morens, D.M., Folkers, G.K., & Fauci, A.S., 2022, The concept of classical herd immunity may not apply to COVID-19, *The journal of infectious diseases*, 226(2), 195-198.

Morens, D.M., Folkers, G.K. & Fauci, A.S., 2009, What is a pandemic?, *The journal of infectious diseases*, 200(7), 1018-1021.

Mortimer, D., 2002, *Competing methods for efficiency measurement. a systematic review of direct DEA vs SFA/DFA comparisons*, West Heidelberg, Australia.

Mubarak, A., Alturaiki, W. & Hemida, M.G., 2019, Middle East respiratory syndrome coronavirus (MERS-CoV): Infection, immunological response, and vaccine development, *Journal of immunology research*, 2019, 1-11.

Murphy, K.P., 2012, *Machine learning: A probabilistic perspective*, The MIT Press, Cambridge, ISBN: 9780262018029.

Müller, A.C. & Guido, S., 2016, *Introduction to machine learning with Python: A guide for data scientists*, O'Reilly Media, Sebastopol, CA, ISBN: 978-1-449-36941-5.

Nanda, M. & Sharma, R., 2021, Review of COVID-19 epidemiology and public health response in Europe in 2020, *Clinical epidemiology and global health*, 12, 100882.

Natale, F., Ghio, D., Tarchi, D., Goujon, A. & Conte, A., 2020, COVID-19 cases and case fatality rate by age, *European commission*, 52(2), 154-164.

Nataraja, N.R. & Johnson, A.L., 2011, Guidelines for using variable selection techniques in data envelopment analysis, *European journal of operational research*, 215(3), 662-669.

National Institutes of Health, 2022, *COVID-19 treatment guidelines panel. coronavirus disease 2019 (COVID-19) treatment guidelines*, https://www.covid19treatmentguidelines.nih.gov/, [Ziyaret tarihi: 12 Aralık 2022].

Nelson, N., 2020, *Coronavirus: 8,000 private hospital beds rented to NHS for £2.4million per day*, https://www.mirror.co.uk/news/politics/coronavirus-nhs-steps-up-fight-21694418, [Ziyaret tarihi: 28 Şubat 2023].

Nussbaumer-Streit, B., Mayr, V., Dobrescu, A.I., Chapman, A., Persad, E., Klerings, I., ... & Gartlehner, G., 2020, Quarantine alone or in combination with other public health measures to control COVID-19: a rapid review, *Cochrane database of systematic reviews*, (9).

Obulesu, O., Mahendra, M. & Thrilok Reddy, M., 2018, Machine learning techniques and tools: A survey, *International conference on inventive research in computing applications (ICIRCA)*, 605-611.

OECD, 2017, *Classification of health care functions (ICHA-HC)*, https://doi.org/10.1787/9789264270985-7-en, [Ziyaret tarihi: 28 Ocak 2023].

OECD, 2022, *Key policy responses from the OECD*, https://www.oecd.org/coronavirus/en/policy-responses, [Ziyaret tarihi: 10 Ocak 2023].

OECD, 2023a, *Ready for the next crisis? investing in health system resilience,* https://www.oecd.org/publications/ready-for-the-next-crisis-investing-in-health-system-resilience-1e53cf80-en.htm, [Ziyaret tarihi: 28 Şubat 2023].

OECD, 2023b, *Health care resources: Hospital beds by sector*, https://stats.oecd.org/, [Ziyaret tarihi: 21 Ocak 2023].

Okyay, P., 2020, *COVID-19 aşı çalışmaları*. *Türk Tabipler Birliği COVID-19 pandemisi altıncı ay değerlendirme raporu*, https://www.ttb.org.tr/kutuphane/covid19-rapor_6/covid19-rapor_6_Part24.pdf, [Ziyaret tarihi: 12 Aralık 2022].

Oliu-Barton, M., Pradelski, B.S., Aghion, P., Artus, P., Kickbusch, I., Lazarus, J. V., ... & Vanderslott, S., 2021, SARS-CoV-2 elimination, not mitigation, creates best outcomes for health, the economy, and civil liberties, *The lancet*, 397(10291), 2234-2236.

Onder, G., Rezza, G. & Brusaferro, S., 2020, Case-fatality rate and characteristics of patients dying in relation to COVID-19 in Italy, *Jama*, 323(18), 1775-1776.

Ordu, M., Kirli Akin, H. & Demir, E., 2021, Healthcare systems and Covid19: lessons to be learnt from efficient countries, *The international journal of health planning and management*, 36(5), 1476-1485.

Our World in Data, 2023, *COVID-19 Data*, https://github.com/owid/covid-19-data/tree/master/public/data, [Ziyaret tarihi: 28 Ocak 2023].

Ozcan, Y.A., 2014, *Health care benchmarking and performance evaluation an assessment using Data Envelopment Analysis (DEA),* 2. ed., Springer, New York, ISBN: 978-1-4899-7471-6.

Öner, M. & Yılmazer, M., 2021, *İstenmeyen çıktılara sahip VZA ile Avrupa Birliği ülkelerinin ekonomi-çevre etkileşimli etkinlik değerlendirmesi*, Sosyal bilimlerde güncel ve seçme yazılar, In: Tunçsiper, B. (ed.), Ekin Basım Yayın Dağıtım, Bursa, ISBN: 625-7210-84-3, 33-56 .

Özden, Ü.H., 2008, Veri zarflama analizi (VZA) ile Türkiye'deki vakıf üniversitelerinin etkinliğinin ölçülmesi, *İstanbul üniversitesi işletme fakültesi dergisi,* 37(2), 167-185.

PAHO, 2020, *Non-pharmaceutical interventions (NPIs): Actions to limit the spread of the pandemic in your municipality*, https://www.paho.org/disasters/dmdocuments/RespToolKit_11_Tool%2004_NonPharmaceuticalInterventions(NPIs).pdf, [Ziyaret tarihi: 24 Haziran 2022].

Pan, A., Liu, L., Wang, C., Guo, H., Hao, X., Wang, Q., ... & Wu, T., 2020, Association of public health interventions with the epidemiology of the COVID-19 outbreak in Wuhan, China, *Jama*, 323(19), 1915-1923.

Pan, L., Wang, J., Wang, X., Ji, J. S., Ye, D., Shen, J., ... & Wang, L., 2022, Prevention and control of coronavirus disease 2019 (COVID-19) in public places. *Environmental pollution*, 292, 118273.

Patil, C. & Baidari, I., 2019, Estimating the optimal number of clusters k in a dataset using data depth, *Data science and engineering*, 4(2), 132-140.

Pereira, M.A., Dinis, D.C., Ferreira, D.C., Figueira, J.R., & Marques, R.C., 2022, A network Data Envelopment Analysis to estimate nations' efficiency in the fight against SARS-CoV-2, *Expert systems with applications*, 210, 118362.

Perra, N., 2021, Non-pharmaceutical interventions during the COVID-19 pandemic: A review, *Physics Reports*, 913, 1-52.

Peters, S.T., 2005, *Epidemic! Smallpox in the new world*, Benchmark books Marshall Cavendish Publishing, Tarytown, USA, ISBN: 0-7614-1637-4.

Piret, J. & Boivin, G., 2021, Pandemics throughout history, *Frontiers in microbiology*, 11, 631736.

Pishgar-Komleh, S.H., Zylowski, T., Rozakis, S. & Kozyra, J., 2020, Efficiency under different methods for incorporating undesirable outputs in an LCA+ DEA framework: A case study of winter wheat production in Poland, *Journal of environmental management*, 260, 110138.

Pitlik, S.D., 2020, COVID-19 compared to other pandemic diseases, *Rambam Maimonides medical journal*, 11(3), e0027.

Porcelli, F., 2009, Measurement of technical efficiency. A brief survey on parametric and non-parametric techniques. *University of Warwick,* 11, 1-27.

Prabhu, M. & Gergen J., 2021, *History's seven deadliest plagues*, https://www.gavi.org/vaccineswork/historys-seven-deadliest-plagues, [Ziyaret tarihi: 22 Aralık 2021].

Qi, Y., 2012, *Random forest for bioinformatics. Ensemble machine learning: Methods and applications*, In: Cha Zhang, Yunqian (eds.), Chapter 5, Springer, New York, ISBN: 978-1-4419-9326-7, 307-323.

Quilty, B.J., Clifford, S., Flasche, S. & Eggo, R.M., 2020, Effectiveness of airport screening at detecting travellers infected with novel coronavirus (2019-nCoV). *Eurosurveillance*, 25(5), 2000080.

Quinlan, J.R., 1986, Induction of decision trees, *Machine learning*, 1, 81–106.

Quinlan, J.R., 1987, Simplifying decision trees, *International journal of man-machine studies*, 27(3), 221–234.

Quinlan, J.R., 1993, *C4.5: Programs for machine learning*, Morgan Kaufmann, San Francisco, ISBN: 1-55860-238-0.

Ramanathan, R., 2003, *An introduction to data envelopment analysis: A tool for performance measurement*, Sage Publications, New Delhi.

Rana, S., Jasola, S. & Kumar, R., 2011, A review on particle swarm optimization algorithms and their applications to data clustering, *Artificial intelligence review*, 35, 211-222.

Raschka, S. & Mirjalili, V., 2017, *Python machine learning: Machine learning and deep learning with python*, 2nd ed., Packt, Birmingham, ISBN: 978-1-78712-593-3.

Rashedi, J., Mahdavi Poor, B., Asgharzadeh, V., Pourostadi, M., Samadi Kafil, H., Vegari, A., ... & Asgharzadeh, M., 2020, Risk factors for COVID-19, *Infez med,* 28(4), 469-474.

Ray, S.C., 2004, *Data envelopment analysis: Theory and techniques for economics and operations*, Cambridge University Press, USA.

RECOVERY Collaborative Group, 2021, Dexamethasone in hospitalized patients with Covid-19, *New England journal of medicine*, 384(8), 693-704.

Rémy, V., Largeron, N., Quilici, S. & Carroll, S., 2015, The economic value of vaccination: why prevention is wealth, *Journal of market access & health policy*, 3(1), 29284.

Rizvi, R.F., Craig, K.J.T., Hekmat, R., Reyes, F., South, B., Rosario, B., Kassler, W.J. & Jackson, G.P., 2021a, Effectiveness of non-pharmaceutical interventions related to social distancing on respiratory viral infectious disease outcomes: A rapid evidence-based review and meta-analysis, *SAGE open medicine* 9, 1-13.

Rizvi, S.A., Umair, M., & Cheema, M.A., 2021b, Clustering of countries for COVID-19 cases based on disease prevalence, health systems and environmental indicators, *Chaos, Solitons & Fractals*, 151, 111240.

Roberts M., Hsiao, W. Berman, P. & Reich. M., 2003, *Getting health reform right: A guide to improving performance and equity*, Oxford university press, Oxford, New York, ISBN: 13 978-0-19-516232-5.

Rodriguez-Galiano, V.F., Sanchez-Castillo, M., Dash, J., Atkinson, P.M. & Ojeda-Zujar, J., 2016, Modelling interannual variation in the spring and autumn land surface phenology of the European forest, *Biogeosciences*, 13(11), 3305-3317.

Rodriguez, M.Z., Comin, C.H., Casanova, D., Bruno, O.M., Amancio, D.R., Costa, L.D.F. & Rodrigues, F.A., 2019, Clustering algorithms: A comparative approach, *PloS one,* 14(1), e0210236.

Roemer, M., 1993, National health systems of the world, *Oxford University Press*,2.

Rokach, L. & Maimon, O., 2014, *Data mining with decision trees: Theory and applications*, 2nd ed., World Scientific, New Jersey, ISBN: 978-9814590075.

Rokach, L., 2016, Decision forest: Twenty years of research, *Information fusion*, 27, 111-125.

Romano, S.D., Blackstock, A.J., Taylor, E.V., El Burai Felix, S., Adjei, S., Singleton, C.M., Fuld, J., Bruce, B.B. & Boehmer, T.K., 2021, Trends in racial and ethnic disparities in COVID-19 hospitalizations, by region, *MMWR morb mortal wkly rep*, 70(15), 560-565.

Rousseeuw, P.J., 1987, Silhouettes: a graphical aid to the interpretation and validation of cluster analysis, *Journal of computational and applied mathematics*, 20, 53-65.

Rundle, C.W., Presley, C.L., Militello, M., Barber, C., Powell, D.L., Jacob, S.E., ... & Dunnick, C.A., 2020, Hand hygiene during COVID-19: recommendations from the American Contact Dermatitis Society, *Journal of the american academy of dermatology*, 83(6), 1730-1737.

Ryu, S., Gao, H., Wong, J. Y., Shiu, E. Y., Xiao, J., Fong, M. W. & Cowling, B. J., 2020, Nonpharmaceutical measures for pandemic influenza in nonhealthcare settings—international travel-related measures, *Emerging infectious diseases*, 26(5), 961.

Sagala, N. & Gunawan, A.A., 2022, Discovering the optimal number of crime cluster using elbow, silhoutte, gap statistcs and NBClust, *ComTech: computer, mathematics and engineering applications*, 13(1), 1-10.

Sagan, A., Greer, S.L., Webb, E., McKee, M., Muscat, N.A., Lessof, S., ... & Figueras, J., 2022, Strengthening health system resilience in the COVID-19 era, *Eurohealth*, 28, 4-8.

Sakarkar, G., Patil, G. & Dutta, P., 2021, *Internet of things and machine learning machine learning algorithms using python programming,* Nova Science Publishers, New York, ISBN: 978-1-53619-615-3.

Sampath, S., Khedr, A., Qamar, S., Tekin, A., Singh, R., Green, R. & Kashyap, R., 2021, Pandemics throughout the history, *Cureus*, 13(9), e18136.

Samuel, A.L., 1959, Some studies in machine learning using the game of checkers, *IBM journal of research and development*, 3(3), 210–229.

Saracci, R. & Vineis, P., 2007, Disease proportions attributable to environment, *Environmental health*, 6(1), 1-4.

Sarker, I.H., 2021, Machine learning: Algorithms, real-world applications and research directions, *SN computer science*, 2(3), 1-21.

Sarkis, J., 2007, *Preparing your data for DEA*, Modeling data irregularities and structural complexities in data envelopment analysis, In: Zhu, J.& Cook, W.D. (eds.), Springer, USA.

Saunders-Hastings, P.R. & Krewski, D., 2016, Reviewing the history of pandemic influenza: understanding patterns of emergence and transmission, *Pathogens*, 5(4), 66.

Scheel, H., 2001, Undesirable outputs in efficiency valuations, *European journal of operational research*, 132(2), 400-410.

Seiford, L.M. & Zhu, J., 2002, Modeling undesirable factors in efficiency evaluation, *European journal of operational research*, 142(1), 16-20.

Sekine, L., Arns, B., Fabro, B.R., Cipolatt, M.M., Machado, R.R., Durigon, E.L., ... & Zavascki, A.P., 2022, Convalescent plasma for COVID-19 in hospitalised patients: an open-label, randomised clinical trial, *European respiratory journal*, 59(2).

Seto, W.H., Tsang, D., Yung, R.W.H., Ching, T.Y., Ng, T.K., Ho, M., Ho, L.M., Peiris, J.S.M. & Advisors of Expert SARS group of Hospital Authority, 2003, Effectiveness of precautions against droplets and contact in prevention of nosocomial

transmission of severe acute respiratory syndrome (SARS), *The lancet*, 361(9368), 1519-1520.

Shalev-Shwartz, S. & Ben-David, S., 2014, *Understanding machine learning: From theory to algorithms*, Cambridge University Press, New York, ISBN: 978-1-107-05713-5.

Shamrat, F.J.M., Ranjan, R., Md, K., Hasib, A.Y. & Siddique, A.H., 2021, Performance evaluation among ID3, C4. 5, and CART decision tree algorithms, *Pervasive computing and social networking: Proceedings of ICPCSN 2021*, 317, 127-142.

Sherman, H.D. & Zhu, J., 2006, *Service productivity management: ımproving service performance using data envelopment analysis (DEA)*, Springer Science and Business Media, New York.

Shirouyehzad, H., Jouzdani, J. & Khodadadi Karimvand, M., 2020, Fight against COVID-19: a global efficiency evaluation based on contagion control and medical treatment, *Journal of applied research on industrial engineering*, 7(2), 109-120.

Siddiqi, S., Peters, D.H. & Mataria, A., 2022, Introduction to health systems. making health systems work in low and middle income countries, *Textbook for public health practitioners*, 1.

Singh, S. & Gupta, P., 2014, Comparative study ID3, cart and C4. 5 decision tree algorithm: A survey, *International journal of advanced information science and technology*, 27(27), 97-103.

Singhal, T., 2020, A review of coronavirus disease-2019 (COVID-19), *The indian journal of pediatrics*, 87(4), 281-286.

Song, Q., Sun, X., Dai, Z., Gao, Y., Gong, X., Zhou, B., ... & Wen, W., 2021, Point-of-care testing detection methods for COVID-19, *Lab on a Chip*, 21(9), 1634-1660.

Sorhun, E., 2021, *Python ile makine öğrenmesi ekonomi, finans, işletme, algoritmik işlem uygulamaları*, Abaküs Kitap, İstanbul, ISBN: 978-625-7407-00-7.

Steering committee for the review of commonwealth, 1997, *Data envelopment analysis: A technique for measuring the efficiency of government service delivery,* AGPS, Canberra: ISBN: 0-646-33533-2.

Stewart, A., 2022, *Basic statistics and epidemiology: A practical guide*, 5. ed., UK, CRC Press, London, ISBN: 9781003148111.

Stokes, E.K., Zambrano, L.D., Anderson, K.N., Marder, E.P., Raz, K.M., El Burai Felix S., Tie, Y., Fullerton, K.E., 2020, Coronavirus disease 2019 case surveillance - United States, *MMWR morb mortal wkly rep*, 69(24), 759-765.

Su, E.C.Y., Hsiao, C.H., Chen, Y.T. & Yu, S.H., 2021, An examination of COVID-19 mitigation efficiency among 23 countries, *Healthcare*, 9(6), 755.

Su, Z., Cheshmehzangi, A., McDonnell, D., Ahmad, J., Šegalo, S., Xiang, Y. T. & da Veiga, C.P., 2022, The advantages of the zero-COVID-19 strategy, *International journal of environmental research and public health*, 19(14), 8767.

Sullivan, W., 2017, *Machine learning for beginners guide algorithms: supervised & unsupervsied learning. decision tree & random forest introduction*, Healthy pragmatic solutions Inc, USA.

Sutton, R.S. & Barto, A.G., 2018, *Reinforcement learning: An introduction*, 2nd ed., The MIT Press, Cambridge, ISBN: 9780262039246.

T.C. İçişleri Bakanlığı, 2022, *Koronavirüs*, https://www.icisleri.gov.tr/arama/ara/Koronavir%C3%BCs, [Ziyaret tarihi: 29 Aralık 2022].

T.C. Sağlık Bakanlığı, 2019, *Pandemik influenza ulusal hazırlık planı*, Halk Sağlığı Genel Müdürlüğü, Ankara.

T.C. Sağlık Bakanlığı, 2021a, *COVID-19 sözlüğü*, https://covid19.saglik.gov.tr/TR-66436/b.html, [Ziyaret tarihi: 10 Aralık 2022].

T.C. Sağlık Bakanlığı, 2021b, *COVID-19 (SARS-CoV-2 enfeksiyonu) temaslı takibi, salgın yönetimi, evde hasta izlemi ve filyasyon*, Halk Sağlığı Genel Müdürlüğü, Ankara.

T.C. Sağlık Bakanlığı, 2022a, *Sağlık istatistikleri yıllığı 2020*, Sağlık Bilgi Sistemleri Genel Müdürlüğü, Ankara.

T.C. Sağlık Bakanlığı, 2022b, *COVID-19 (SARS-COV-2 enfeksiyonu) güncel dönemde COVID-19 ilişkili izolasyon ve karantina uygulamaları*, Halk Sağlığı Genel Müdürlüğü, Ankara.

T.C. Sağlık Bakanlığı, 2023a, *Birimlerimiz*, https://www.saglik.gov.tr/, [Ziyaret tarihi: 20 Ocak 2023].

T.C. Sağlık Bakanlığı, 2023b, *COVID-19 bilgilendirme platformu*, https://covid19.saglik.gov.tr/, [Ziyaret tarihi: 20 Ocak 2023].

Taherinezhad, A. & Alinezhad, A., 2022, COVID-19 crisis management: Global appraisal using two-stage DEA and ensemble learning algorithms, *Scientia Iranica*.

Tang, P., Hasan, M.R., Chemaitelly, H., Yassine, H.M., Benslimane, F.M., Al Khatib, H.A., ... & Abu-Raddad, L. J., 2021, BNT162b2 and mRNA-1273 COVID-19 vaccine effectiveness against the SARS-CoV-2 Delta variant in Qatar, *Nature medicine*, 27(12), 2136-2143.

Tarım, A., 2001, *Veri zarflama analizi: Matematiksel programlama tabanlı göreli etkinlik ölçüm yaklaşımı*, Sayıştay Yayınları, Ankara.

Taubenberger, J.K. & Morens, D.M., 2010, Influenza: The once and future pandemic, *Public health reports*, 125(3), 16–26.

The Indian Express, 2021, *Covid-19 India timeline: Looking back at pandemic-induced lockdown and how the country is coping with the crisis*, https://indianexpress.com/article/india/covid-19-india-timeline-looking-back-at-pandemic-induced-lockdown-7241583/, [Ziyaret tarihi: 21 Ocak 2023].

The Wire, 2020, *Half a million COVID-19 cases in India: How we got to where we are*, https://thewire.in/covid-19-india-timeline, [Ziyaret tarihi: 21 Ocak 2023].

Tu, H., Tu, S., Gao, S., Shao, A. & Sheng, J., 2020, Current epidemiological and clinical features of COVID-19; a global perspective from China, *J Infect*, 81, 1-9.

Tulchinsky, T.H., 2018, John Snow, Cholera, the broad street pump; waterborne diseases then and now, *Case studies in public health*, 77-99.

Türkiye İlaç ve Tıbbi Cihaz Kurumu, 2021, *Kamuoyunun dikkatine*, https://www.titck.gov.tr/haber/kamuoyunun-dikkatine-22122021142222, [Ziyaret tarihi: 15 Ocak 2023].

U.S. Department of Defense, 2023, *Coronavirus: Timeline*, https://www.defense.gov/Spotlights/Coronavirus-DOD-Response/Timeline/, [Ziyaret tarihi: 20 Ocak 2023].

U.S. Department of Health and Human Services, 2017, *Pandemic ınfluenza plan 2017 update*, https://www3.paho.org/hq/index.php?option=com_docman&view=download&alias=46453-united-states-pandemic-influenza-plan&category_slug=national-influenza-plans., [Ziyaret tarihi: 28 Şubat 2023].

U.S. Department of the Treasury, 2022, *COVID-19 economic relief*, https://home.treasury.gov/policy-issues/coronavirus, [Ziyaret tarihi: 20 Ocak 2023].

UK Government, 2023, *Departments, agencies and public bodies*, https://www.gov.uk/government/organisations, [Ziyaret tarihi: 21 Ocak 2023].

UNAIDS, 2022, *Global HIV & AIDS statistics — Fact sheet*, https://www.unaids.org/en/resources/fact-sheet, [Ziyaret tarihi: 22 Haziran 2022].

Upham, B., 2020, *Coronavirus glossary: Key terms about the pandemic explained*, https://www.everydayhealth.com/coronavirus/coronavirus-glossary-key-terms-about-the-pandemic-explained/, [Ziyaret tarihi: 10 Aralık 2022].

van Doremalen, N., Bushmaker, T., Morris, D.H., Holbrook, M.G., Gamble, A., Williamson, B.N., … & Munster, V.J., 2020, Aerosol and surface stability of SARS-CoV-2 as compared with SARS-CoV-1. *New England journal of medicine*, 382(16), 1564-1567.

Viboud, C., Grais, R., Lafont, B., Miller, M. & Simonsen, L., 2005, Multinational impact of Hong Kong influenza pandemic: Evidence for a smoldering pandemic, *The journal of infectious diseases*, 192, 233–249.

Victor, G.S. & Ahmed, S., 2019, *The importance of culture in managing mental health response to pandemics*, Psychiatry of pandemics, In: Huremović D. (ed.), Chapter 5, Springer, Cham, 55-64.

Viner, R.M., Russell, S.J., Croker, H., Packer, J., Ward, J., Stansfield, C., ... & Booy, R., 2020, School closure and management practices during coronavirus outbreaks including COVID-19: a rapid systematic review, *The lancet child & adolescent health,* 4(5), 397-404.

VOA, 2022, *Kronoloji: 2022'de corona virüsü salgını*, https://www.voaturkce.com/a/kronoloji-2022-de-corona-virusu-salgini/6397662.html, [Ziyaret tarihi: 20 Ocak 2023].

Vrugt, M.T., Bickmann, J. & Wittkowski, R., 2020, Effects of social distancing and isolation on epidemic spreading modeled via dynamical density functional theory, *Nature communications*, 11(1), 1-11.

WHO, 2000, *The World health report: 2000: health systems: improving performance*, https://apps.who.int/iris/handle/10665/42281,[Ziyaret tarihi: 8 Ocak 2023].

WHO, 2009, *Pandemic influenza preparedness and response: a WHO guidance document*, https://apps.who.int/iris/handle/10665/44123, [Ziyaret tarihi: 28 Şubat 2023].

WHO, 2010, *Monitoring the building blocks of health systems: a handbook of indicators and their measurement strategies*, World Health Organization, Geneva, ISBN: 978-92-4-156405-2.

WHO, 2016, Health workforce requirements for universal health coverage and the sustainable development goals, *Human resources for health observer series*, 17, Geneva.

WHO, 2017a, *Pandemic influenza risk management: a WHO guide to inform and harmonize national and international pandemic preparedness and response*, World Health Organization, https://apps.who.int/iris/handle/10665/259893, [Ziyaret tarihi: 28 Şubat 2023].

WHO, 2017b, *A strategic framework for emergency preparedness*, https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/254883/9789241511827-eng.pdf, [Ziyaret tarihi: 28 Şubat 2023].

WHO, 2018, *2018 Global reference list of 100 core health indicators (plus health-related SDGs)*, World Health Organization, Geneva.

WHO, 2019, *Non-pharmaceutical public health measures for mitigating the risk and impact of epidemic and pandemic influenza*, ISBN: 978-92-4-151683-9.

WHO, 2020a, *WHO Director-General's opening remarks at the media briefing on COVID-19 - 11 March 2020*, https://www.who.int/director-general/speeches/detail/who-director-general-s-opening-remarks-at-the-media-briefing-on-covid-19---11-march-2020, [Ziyaret tarihi: 28 Haziran 2022].

WHO, 2020b, *Criteria for releasing COVID-19 patients from isolation*, https://www.who.int/news-room/commentaries/detail/criteria-for-releasing-covid-19-patients-from-isolation, [Ziyaret tarihi: 23 Eylül 2022].

WHO, 2020c, *Criteria for releasing COVID-19 patients from isolation: Scientific brief*, https://apps.who.int/iris/handle/10665/332451, [Ziyaret tarihi: 15 Ocak 2023].

WHO, 2020d, *Considerations for quarantine of ındividuals in the context of containment for coronavirus disease (Covid-19): Interim guidance*, *19 March 2020,* https://apps.who.int/iris/ handle/10665/331497, [Ziyaret tarihi: 15 Ocak 2023].

WHO, 2021a, *Coronavirus disease (COVID-19): How is it transmitted?*, https://www.who.int/news-room/questions-and-answers/item/coronavirus-disease-covid-19-how-is-it-transmitted, [Ziyaret tarihi: 23 Eylül 2022].

WHO, 2021b, *Global research on coronavirus disease (COVID-19)*, https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/global-research-on-novel-coronavirus-2019-ncov, [Ziyaret tarihi: 23 Eylül 2022].

WHO, 2022a, *Coronavirus disease (COVID-19) pandemic*, https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019, [Ziyaret tarihi: 8 Aralık 2022].

WHO, 2022b, *Tracking SARS-CoV-2 variants*, https://www.who.int/activities/tracking-SARS-CoV-2-variants, [Ziyaret tarihi: 9 Aralık 2022].

WHO, 2022c, *Therapeutics and COVID-19: Living guideline*, *16 September 2022,* https://www.who.int/publications/i/item/WHO-2019-nCoV-therapeutics-2022.5, [Ziyaret tarihi: 12 Ocak 2023].

WHO, 2022d, *Global vaccine market report 2022 a shared understanding for equitable access to vaccines*, https://www.who.int/publications/m/item/global-vaccine-market-report-2022, [Ziyaret tarihi: 12 Ocak 2023].

WHO, 2022e, *Q&As on COVID-19 and related health topics*, https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/question-and-answers-hub, [Ziyaret tarihi: 12 Ocak 2023].

WHO, 2022f, *Strategic preparedness, readiness and response plan to end the global COVID-19 emergency in 2022*, No. WHO/WHE/SPP/2022.1.

WHO, 2022g, *Global COVID-19 vaccination strategy in a changing world: July 2022 update*, https://www.who.int/publications/m/item/global-covid-19-159vaccination-strategy-in-a-changing-world—july-2022-update, [Ziyaret tarihi: 13 Ocak 2023].

WHO, 2023a, *The access to COVID-19 tools (ACT) accelerator*, https://www.who.int/initiatives/act-accelerator, [Ziyaret tarihi: 12 Ocak 2023].

WHO, 2023b, *COVID-19 vaccine tracker and landscape*, https://www.who.int/publications/m/item/draft-landscape-of-covid-19-candidate-vaccines, [Ziyaret tarihi: 12 Ocak 2023].

WHO, 2023c, *Vaccines*, https://extranet.who.int/pqweb/vaccines, [Ziyaret tarihi: 15 Ocak 2023].

WHO, 2023d, *WHO coronavirus (COVID-19) dashboard*, https://covid19.who.int/, [Ziyaret tarihi: 20 Ocak 2023].

WHO, 2023e, *Global health expenditure database*, https://apps.who.int/nha/database, [Ziyaret tarihi: 20 Ocak 2023].

WHO, 2023f, *Average of 13 International Health Regulations core capacity scores, SPAR version*, https://www.who.int/data/gho/data/indicators/indicator-details/GHO/-average-of-13-international-health-regulations-core-capacity-scores-spar-version, [Ziyaret tarihi: 18 Şubat 2023].

WHO, 2023g, *Global health observatory*, https://www.who.int/data/gho/data/indicators/indicators-index, [Ziyaret tarihi: 20 Şubat 2023].

WHO Regional Office for Europe, 2020a, COVID-19 health system response, *Eurohealth*, 26 (2).

WHO Regional Office for Europe, 2020b, *A systematic approach to monitoring and analysing public health and social measures (PHSM) in the context of the COVID-19 pandemic: underlying methodology and application of the PHSM database and PHSM Severity Index*, https://apps.who.int/iris/handle/10665/337686, [Ziyaret tarihi: 30 Aralık 2022].

WHO Regional Office for the Eastern Mediterrian, 2022, *MERS situation update*, http://www.emro.who.int/health-topics/mers-cov/mers-outbreaks.html, [Ziyaret tarihi: 30 Aralık 2022].

Wiersinga, W.J., Rhodes, A., Cheng, A.C., Peacock, S.J. & Prescott, H.C., 2020, Pathophysiology, transmission, diagnosis, and treatment of coronavirus disease 2019 (COVID-19): A review, *Jama*, 324(8), 782-793.

Wikipedia, 2022a, *Timeline of the COVID-19 pandemic*, https://en.wikipedia.org/wiki/Timeline_of_the_COVID-19_pandemic, [Ziyaret tarihi: 17 Aralık 2022].

Wikipedia, 2022b, *Timeline of the COVID-19 pandemic in Turkey*, https://en.wikipedia.org/wiki/Timeline_of_the_COVID-19_pandemic_in_Turkey, [Ziyaret tarihi: 20 Ocak 2023].

Wikipedia, 2023a, *Chinese government response to COVID-19*, https://en.wikipedia.org/wiki/Chinese_government_response_to_COVID-19, [Ziyaret tarihi: 20 Ocak 2023].

Wikipedia, 2023b, *COVID-19 pandemic in mainland China*, https://en.wikipedia.org/wiki/COVID-19_pandemic_in_mainland_China, [Ziyaret tarihi: 20 Ocak 2023].

Wikipedia, 2023c, *Timeline of the COVID-19 pandemic in the United Kingdom*, https://en.wikipedia.org/wiki/Timeline_of_the_COVID-19_pandemic_in_the_United_Kingdom, [Ziyaret tarihi: 25 Ocak 2023].

Wikipedia, 2023d, *Timeline of the COVID-19 pandemic in Brazil*, https://en.wikipedia.org/wiki/Timeline_of_the_COVID-19_pandemic_in_Brazil, [Ziyaret tarihi: 25 Ocak 2023].

Wikipedia, 2023e, *List of countries and territories by number of land borders*, https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_countries_and_territories_by_number_of_land_borders, [Ziyaret tarihi: 20 Şubat 2023].

World Bank, 2020a, *World Bank COVID-19 response*, https://www.worldbank.org/en/news/factsheet/2020/10/14/world-bank-covid-19-response, [Ziyaret tarihi: 13 Şubat 2023].

World Bank, 2020b, *Saving lives, scaling-up impact and getting back on track World Bank group COVID-19 crisis response approach paper*, https://www.worldbank.org/en/news/infographic/2020/11/17/world-bank-group-covid-19-crisis-response, [Ziyaret tarihi: 13 Şubat 2023].

World Bank, 2022a, *The World bank group responding to the COVID-19 Pandemic and rebuilding better*, https://thedocs.worldbank.org/en/doc/bb1b191f6b1bd1f932d0ddc5492987ec-0090012021/world-bank-group-responding-to-the-covid-19-pandemic-and-rebuilding-better, [Ziyaret tarihi: 13 Şubat 2023].

World Bank, 2022b, *World Bank approves $500 million in additional financing for Turkey's COVID-19 pandemic response*, https://www.worldbank.org/en/news/press-release/2022/05/26/world-bank-approves-500-million-in-additional-financing-for-turkey-s-covid-19-pandemic-response, [Ziyaret tarihi: 13 Şubat 2023].

World Bank, 2023a, *World Bank Support for Country Access to COVID-19 Vaccines*, https://www.worldbank.org/en/who-we-are/news/coronavirus-covid19, [Ziyaret tarihi: 13 Şubat 2023].

World Bank, 2023b, *World Bank open data*, https://data.worldbank.org, [Ziyaret tarihi: 18 Ocak 2023].

Worldometers, 2022, *COVID-19 coronavirus pandemic*, https://www.worldometers.info/coronavirus/, [Ziyaret tarihi: 19 Aralık 2022].

Wu, J., 2012, *Advances in k-means clustering: a data mining thinking*, Springer Science & Business Media, Heidelberg.

Wu, M.Y., Carr, E.J., Harvey, R., Mears, H.V., Kjaer, S., Townsley, H., ... & Bauer, D.L., 2022, WHO's therapeutics and COVID-19 living guideline on mabs needs to be reassessed, *The lancet*, 400(10369), 2193-2196.

Xinhua, 2021, *A brief timeline of Chinese president's COVID-19 responses*, https://www.chinadaily.com.cn/a/202212/09/WS6392fbfaa31057c47eba3a55.html, [Ziyaret tarihi: 20 Ocak 2023].

Xu, Y., Park, Y.S., & Park, J.D., 2021, Measuring the response performance of US States against COVID-19 using an integrated DEA, CART, and logistic regression approach, *Healthcare,* 9(3), 268.

Yanez, N.D., Weiss, N.S., Romand, J.A. & Treggiari, M.M., 2020, COVID-19 mortality risk for older men and women, *BMC public health*, 20(1), 1-7.

Yılmaz, F., 2018, *Sağlık kurumlarının performanslarının veri zarflama analizi ile değerlendirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü.

Yılmaz, F. & Söyük, S., 2020, Sağlık risk faktörlerine göre ülkelerin kümelenmesi ve çok kriterli karar verme teknikleriyle sağlık durumu göstergelerinin analizi, *Sosyal güvence*, (17), 283-320.

Yip, W. & Hafez, R., 2015, *Reforms for improving the efficiency of health systems: lessons from 10 country cases*, World Health Organization, Geneva.

Yolalan, R., 1993, *İşletmeler arası göreli etkinlik ölçümü*, MPM Yayınları, Ankara.

You, S. & Yan, H., 2011, A new approach in modelling undesirable output in DEA model, *Journal of the operational research society*, 62, 2146-2156.

Zaki, A.M., Boheemen, S.V., Bestebroer, T.M., Osterhaus, A.D.M.E. & Fouchier R.A.N., 2012, Isolation of a novel coronavirus from a man with pneumonia in Saudi Arabia, *The New England journal of medicine*, 367(19), 1814-1820.

Zhou, F., Yu, T., Du, R., Fan, G., Liu, Y., Liu, Z., ... & Cao, B., 2020, Clinical course and risk factors for mortality of adult inpatients with COVID-19 in Wuhan, China: a retrospective cohort study, *The lancet*, 395(10229), 1054-1062.

Zhou, Z.H., 2021, *Machine learning*, Springer, Singapore, ISBN: 978-981-15-1966-6, 315-341.

Zhu, J., 2014, *Quantitative models for performance evaluation and benchmarking: Data envelopment analysis with spreadsheets*, 3. ed., Springer, New York, ISBN 978-3-319-06646-2.

Zhu, Q., Zhou, X. & Liu, S., 2022, A multi-stage super DEA efficiency evaluation model of COVID-19 pandemic transmission performance, *WHICEB 2022 Proceedings*, 73.

# EKLER

**Ek-1:** Analiz kapsamındaki ülkeler

| Sıra | Kod | DSÖ Bölgesi | DB Gelir Grubu | Ülkeler | Nüfus |
|---|---|---|---|---|---|
| **1** | AFG | Doğu Akdeniz Bölgesi | Alt gelir grubu | Afganistan | 41.128.772 |
| **2** | DEU | Avrupa Bölgesi | Yüksek gelir grubu | Almanya | 83.369.840 |
| **3** | USA | Amerika Bölgesi | Yüksek gelir grubu | Amerika Birleşik Devletleri | 338.289.856 |
| **4** | AGO | Afrika Bölgesi | Alt orta gelir grubu | Angola | 35.588.996 |
| **5** | ARG | Amerika Bölgesi | Üst orta gelir grubu | Arjantin | 45.510.324 |
| **6** | ALB | Avrupa Bölgesi | Üst orta gelir grubu | Arnavutluk | 2.842.318 |
| **7** | AUS | Batı Pasifik Bölgesi | Yüksek gelir grubu | Avustralya | 26.177.410 |
| **8** | AUT | Avrupa Bölgesi | Yüksek gelir grubu | Avusturya | 8.939.617 |
| **9** | AZE | Avrupa Bölgesi | Üst orta gelir grubu | Azerbaycan | 10.358.078 |
| **10** | BHS | Amerika Bölgesi | Yüksek gelir grubu | Bahamalar | 409.989 |
| **11** | BHR | Doğu Akdeniz Bölgesi | Yüksek gelir grubu | Bahreyn | 1.472.237 |
| **12** | BGD | Güney Doğu Asya Bölgesi | Alt orta gelir grubu | Bangladeş | 171.186.368 |
| **13** | BRB | Amerika Bölgesi | Yüksek gelir grubu | Barbados | 281.646 |
| **14** | BLR | Avrupa Bölgesi | Üst orta gelir grubu | Belarus | 9.534.956 |
| **15** | BEL | Avrupa Bölgesi | Yüksek gelir grubu | Belçika | 11.655.923 |
| **16** | BLZ | Amerika Bölgesi | Alt orta gelir grubu | Beliz | 405.285 |
| **17** | ARE | Doğu Akdeniz Bölgesi | Yüksek gelir grubu | Birleşik Arap Emirlikleri | 9.441.138 |
| **18** | GBR | Avrupa Bölgesi | Yüksek gelir grubu | Birleşik Krallık | 67.508.936 |
| **19** | BOL | Amerika Bölgesi | Alt orta gelir grubu | Bolivya | 12.224.114 |
| **20** | BIH | Avrupa Bölgesi | Üst orta gelir grubu | Bosna-Hersek | 3.233.530 |
| **21** | BWA | Afrika Bölgesi | Üst orta gelir grubu | Botsvana | 2.630.300 |
| **22** | BRA | Amerika Bölgesi | Üst orta gelir grubu | Brezilya | 215.313.504 |
| **23** | BRN | Batı Pasifik Bölgesi | Yüksek gelir grubu | Brunei | 449.002 |
| **24** | BGR | Avrupa Bölgesi | Üst orta gelir grubu | Bulgaristan | 6.781.955 |
| **25** | CPV | Afrika Bölgesi | Alt orta gelir grubu | Cape Verde | 593.162 |
| **26** | DZA | Afrika Bölgesi | Alt orta gelir grubu | Cezayir | 44.903.228 |
| **27** | DJI | Doğu Akdeniz Bölgesi | Alt orta gelir grubu | Cibuti | 1.120.851 |
| **28** | CZE | Avrupa Bölgesi | Yüksek gelir grubu | Çekya | 10.493.990 |
| **29** | CHN | Batı Pasifik Bölgesi | Üst orta gelir grubu | Çin | 1.425.887.360 |
| **30** | DNK | Avrupa Bölgesi | Yüksek gelir grubu | Danimarka | 5.882.259 |
| **31** | DOM | Amerika Bölgesi | Üst orta gelir grubu | Dominik Cumhuriyeti | 11.228.821 |
| **32** | ECU | Amerika Bölgesi | Üst orta gelir grubu | Ekvador | 18.001.002 |
| **33** | SLV | Amerika Bölgesi | Alt orta gelir grubu | El Salvador | 6.336.393 |
| **34** | IDN | Güney Doğu Asya Bölgesi | Alt orta gelir grubu | Endonezya | 275.501.344 |
| **35** | EST | Avrupa Bölgesi | Yüksek gelir grubu | Estonya | 1.326.064 |
| **36** | SWZ | Afrika Bölgesi | Alt orta gelir grubu | Esvatini | 1.201.680 |
| **37** | ETH | Afrika Bölgesi | Alt gelir grubu | Etiyopya | 123.379.928 |

**Ek-1 (devam):** Analiz kapsamındaki ülkeler

| Sıra | Kod | DSÖ Bölgesi | DB Gelir Grubu | Ülkeler | Nüfus |
|---|---|---|---|---|---|
| **38** | MAR | Doğu Akdeniz Bölgesi | Alt orta gelir grubu | Fas | 37.457.976 |
| **39** | FJI | Batı Pasifik Bölgesi | Üst orta gelir grubu | Fiji | 929.769 |
| **40** | CIV | Afrika Bölgesi | Alt orta gelir grubu | Fildişi Sahili | 28.160.548 |
| **41** | PHL | Batı Pasifik Bölgesi | Alt orta gelir grubu | Filipinler | 115.559.008 |
| **42** | FIN | Avrupa Bölgesi | Yüksek gelir grubu | Finlandiya | 5.540.745 |
| **43** | FRA | Avrupa Bölgesi | Yüksek gelir grubu | Fransa | 67.813.000 |
| **44** | GAB | Afrika Bölgesi | Üst orta gelir grubu | Gabon | 2.388.997 |
| **45** | GMB | Afrika Bölgesi | Alt gelir grubu | Gambia | 2.705.995 |
| **46** | GHA | Afrika Bölgesi | Alt orta gelir grubu | Gana | 33.475.870 |
| **47** | GIN | Afrika Bölgesi | Alt gelir grubu | Gine | 13.859.349 |
| **48** | GTM | Amerika Bölgesi | Üst orta gelir grubu | Guatemala | 17.843.914 |
| **49** | GUY | Amerika Bölgesi | Üst orta gelir grubu | Guyana | 808.727 |
| **50** | ZAF | Afrika Bölgesi | Üst orta gelir grubu | Güney Afrika | 59.893.884 |
| **51** | KOR | Batı Pasifik Bölgesi | Yüksek gelir grubu | Güney Kore | 51.815.808 |
| **52** | GEO | Avrupa Bölgesi | Üst orta gelir grubu | Gürcistan | 3.744.385 |
| **53** | HTI | Amerika Bölgesi | Alt orta gelir grubu | Haiti | 11.585.003 |
| **54** | HRV | Avrupa Bölgesi | Yüksek gelir grubu | Hırvatistan | 4.030.361 |
| **55** | IND | Güney Doğu Asya Bölgesi | Alt orta gelir grubu | Hindistan | 1.417.173.120 |
| **56** | NLD | Avrupa Bölgesi | Yüksek gelir grubu | Hollanda | 17.564.020 |
| **57** | HND | Amerika Bölgesi | Alt orta gelir grubu | Honduras | 10.432.858 |
| **58** | IRQ | Doğu Akdeniz Bölgesi | Üst orta gelir grubu | Irak | 44.496.124 |
| **59** | IRN | Doğu Akdeniz Bölgesi | Alt orta gelir grubu | İran | 88.550.568 |
| **60** | IRL | Avrupa Bölgesi | Yüksek gelir grubu | İrlanda | 5.023.108 |
| **61** | ESP | Avrupa Bölgesi | Yüksek gelir grubu | İspanya | 47.558.632 |
| **62** | ISR | Avrupa Bölgesi | Yüksek gelir grubu | İsrail | 9.449.000 |
| **63** | SWE | Avrupa Bölgesi | Yüksek gelir grubu | İsveç | 10.549.349 |
| **64** | CHE | Avrupa Bölgesi | Yüksek gelir grubu | İsviçre | 8.740.471 |
| **65** | ITA | Avrupa Bölgesi | Yüksek gelir grubu | İtalya | 59.037.472 |
| **66** | ISL | Avrupa Bölgesi | Yüksek gelir grubu | İzlanda | 372.903 |
| **67** | JAM | Amerika Bölgesi | Üst orta gelir grubu | Jamaika | 2.827.382 |
| **68** | JPN | Batı Pasifik Bölgesi | Yüksek gelir grubu | Japonya | 123.951.696 |
| **69** | KHM | Batı Pasifik Bölgesi | Alt orta gelir grubu | Kamboçya | 16.767.851 |
| **70** | CMR | Afrika Bölgesi | Alt orta gelir grubu | Kamerun | 27.914.542 |
| **71** | CAN | Amerika Bölgesi | Yüksek gelir grubu | Kanada | 38.454.328 |
| **72** | QAT | Doğu Akdeniz Bölgesi | Yüksek gelir grubu | Katar | 2.695.131 |
| **73** | KAZ | Avrupa Bölgesi | Üst orta gelir grubu | Kazakistan | 19.397.998 |
| **74** | KEN | Afrika Bölgesi | Alt orta gelir grubu | Kenya | 54.027.484 |

**Ek-1 (devam):** Analiz kapsamındaki ülkeler

| Sıra | Kod | DSÖ Bölgesi | DB Gelir Grubu | Ülkeler | Nüfus |
|---|---|---|---|---|---|
| **75** | CYP | Avrupa Bölgesi | Yüksek gelir grubu | Kıbrıs | 896.007 |
| **76** | KGZ | Avrupa Bölgesi | Alt orta gelir grubu | Kırgızistan | 6.630.621 |
| **77** | COL | Amerika Bölgesi | Üst orta gelir grubu | Kolombiya | 51.874.028 |
| **78** | COG | Afrika Bölgesi | Alt orta gelir grubu | Kongo | 5.970.430 |
| **79** | CRI | Amerika Bölgesi | Üst orta gelir grubu | Kosta Rika | 5.180.836 |
| **80** | KWT | Doğu Akdeniz Bölgesi | Yüksek gelir grubu | Kuveyt | 4.268.886 |
| **81** | CUB | Amerika Bölgesi | Üst orta gelir grubu | Küba | 11.212.198 |
| **82** | LSO | Afrika Bölgesi | Alt orta gelir grubu | Lesotho | 2.305.826 |
| **83** | LVA | Avrupa Bölgesi | Yüksek gelir grubu | Letonya | 1.850.654 |
| **84** | LBR | Afrika Bölgesi | Alt gelir grubu | Liberya | 5.302.690 |
| **85** | LBY | Doğu Akdeniz Bölgesi | Üst orta gelir grubu | Libya | 6.812.344 |
| **86** | LTU | Avrupa Bölgesi | Yüksek gelir grubu | Litvanya | 2.750.058 |
| **87** | LBN | Doğu Akdeniz Bölgesi | Üst orta gelir grubu | Lübnan | 5.489.744 |
| **88** | LUX | Avrupa Bölgesi | Yüksek gelir grubu | Lüksemburg | 647.601 |
| **89** | HUN | Avrupa Bölgesi | Yüksek gelir grubu | Macaristan | 9.967.304 |
| **90** | MDG | Afrika Bölgesi | Alt gelir grubu | Madagaskar | 29.611.718 |
| **91** | MWI | Afrika Bölgesi | Alt gelir grubu | Malavi | 20.405.318 |
| **92** | MYS | Batı Pasifik Bölgesi | Üst orta gelir grubu | Malezya | 33.938.216 |
| **93** | MLI | Afrika Bölgesi | Alt gelir grubu | Mali | 22.593.598 |
| **94** | MLT | Avrupa Bölgesi | Yüksek gelir grubu | Malta | 533.293 |
| **95** | MEX | Amerika Bölgesi | Üst orta gelir grubu | Meksika | 127.504.120 |
| **96** | EGY | Doğu Akdeniz Bölgesi | Alt orta gelir grubu | Mısır | 110.990.096 |
| **97** | MNG | Batı Pasifik Bölgesi | Alt orta gelir grubu | Moğolistan | 3.398.373 |
| **98** | MDA | Avrupa Bölgesi | Üst orta gelir grubu | Moldova | 3.272.993 |
| **99** | MRT | Afrika Bölgesi | Alt orta gelir grubu | Moritanya | 4.736.146 |
| **100** | MUS | Afrika Bölgesi | Üst orta gelir grubu | Morityus | 1.299.478 |
| **101** | MOZ | Afrika Bölgesi | Alt gelir grubu | Mozambik | 32.969.520 |
| **102** | MMR | Güney Doğu Asya Bölgesi | Alt orta gelir grubu | Myanmar | 54.179.312 |
| **103** | NAM | Afrika Bölgesi | Üst orta gelir grubu | Namibya | 2.567.024 |
| **104** | NPL | Güney Doğu Asya Bölgesi | Alt orta gelir grubu | Nepal | 30.547.586 |
| **105** | NGA | Afrika Bölgesi | Alt orta gelir grubu | Nijerya | 218.541.216 |
| **106** | NIC | Amerika Bölgesi | Alt orta gelir grubu | Nikaragua | 6.948.395 |
| **107** | NOR | Avrupa Bölgesi | Yüksek gelir grubu | Norveç | 5.434.324 |
| **108** | UZB | Avrupa Bölgesi | Alt orta gelir grubu | Özbekistan | 34.627.648 |
| **109** | PAK | Doğu Akdeniz Bölgesi | Alt orta gelir grubu | Pakistan | 235.824.864 |
| **110** | PAN | Amerika Bölgesi | Üst orta gelir grubu | Panama | 4.408.582 |
| **111** | PRY | Amerika Bölgesi | Üst orta gelir grubu | Paraguay | 6.780.745 |

**Ek-1 (devam):** Analiz kapsamındaki ülkeler

| Sıra | Kod | DSÖ Bölgesi | DB Gelir Grubu | Ülkeler | Nüfus |
|---|---|---|---|---|---|
| **112** | PER | Amerika Bölgesi | Üst orta gelir grubu | Peru | 34.049.588 |
| **113** | POL | Avrupa Bölgesi | Yüksek gelir grubu | Polonya | 39.857.144 |
| **114** | PRT | Avrupa Bölgesi | Yüksek gelir grubu | Portekiz | 10.270.857 |
| **115** | ROU | Avrupa Bölgesi | Üst orta gelir grubu | Romanya | 19.659.270 |
| **116** | RWA | Afrika Bölgesi | Alt gelir grubu | Ruanda | 13.776.702 |
| **117** | RUS | Avrupa Bölgesi | Üst orta gelir grubu | Rusya | 144.713.312 |
| **118** | SEN | Afrika Bölgesi | Alt orta gelir grubu | Senegal | 17.316.452 |
| **119** | SRB | Avrupa Bölgesi | Üst orta gelir grubu | Sırbistan | 6.871.547 |
| **120** | SGP | Batı Pasifik Bölgesi | Yüksek gelir grubu | Singapur | 5.637.022 |
| **121** | SVK | Avrupa Bölgesi | Yüksek gelir grubu | Slovakya | 5.643.455 |
| **122** | SVN | Avrupa Bölgesi | Yüksek gelir grubu | Slovenya | 2.119.843 |
| **123** | LKA | Güney Doğu Asya Bölgesi | Alt orta gelir grubu | Sri Lanka | 21.832.150 |
| **124** | SDN | Doğu Akdeniz Bölgesi | Alt gelir grubu | Sudan | 46.874.200 |
| **125** | SUR | Amerika Bölgesi | Üst orta gelir grubu | Surinam | 618.046 |
| **126** | SAU | Doğu Akdeniz Bölgesi | Yüksek gelir grubu | Suudi Arabistan | 36.408.824 |
| **127** | CHL | Amerika Bölgesi | Yüksek gelir grubu | Şili | 19.603.736 |
| **128** | TJK | Avrupa Bölgesi | Alt orta gelir grubu | Tacikistan | 9.952.789 |
| **129** | THA | Güney Doğu Asya Bölgesi | Üst orta gelir grubu | Tayland | 71.697.024 |
| **130** | TLS | Güney Doğu Asya Bölgesi | Alt orta gelir grubu | Timor | 1.341.298 |
| **131** | TTO | Amerika Bölgesi | Yüksek gelir grubu | Trinidad ve Tobago | 1.531.043 |
| **132** | TUN | Doğu Akdeniz Bölgesi | Alt orta gelir grubu | Tunus | 12.356.116 |
| **133** | TUR | Avrupa Bölgesi | Üst orta gelir grubu | Türkiye | 85.341.248 |
| **134** | UGA | Afrika Bölgesi | Alt gelir grubu | Uganda | 47.249.588 |
| **135** | UKR | Avrupa Bölgesi | Alt orta gelir grubu | Ukrayna | 39.701.744 |
| **136** | OMN | Doğu Akdeniz Bölgesi | Yüksek gelir grubu | Umman | 4.576.300 |
| **137** | URY | Amerika Bölgesi | Yüksek gelir grubu | Uruguay | 3.422.796 |
| **138** | JOR | Doğu Akdeniz Bölgesi | Üst orta gelir grubu | Ürdün | 11.285.875 |
| **139** | VEN | Amerika Bölgesi | Üst orta gelir grubu | Venezuela | 28.301.700 |
| **140** | VNM | Batı Pasifik Bölgesi | Alt orta gelir grubu | Vietnam | 98.186.856 |
| **141** | NZL | Batı Pasifik Bölgesi | Yüksek gelir grubu | Yeni Zelenda | 5.185.289 |
| **142** | GRC | Avrupa Bölgesi | Yüksek gelir grubu | Yunanistan | 10.384.972 |
| **143** | ZMB | Afrika Bölgesi | Alt orta gelir grubu | Zambiya | 20.017.670 |
| **144** | ZWE | Afrika Bölgesi | Alt orta gelir grubu | Zimbabve | 16.320.539 |

**Ek-2:** Farklı küme senaryolarına göre ülkelerin bulaşıcılıkla mücadele ve tedavi etkinliği

| Ülkeler | 2K | 3K | 4K | 2KBES | 3KBES | 4KBES | 2KTES | 3KTES | 4KTES | 2KBEK | 3KBEK | 4KBEK | 2KTEK | 3KTEK | 4KTEK | MKBV | VÖH |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ABD | 1 | 1 | 3 | 1,0006 | 1,00046 | 1,0005 | 1,0006 | 1,0007 | 1,0007 | Değil | Değil | Değil | Değil | Değil | Değil | 255136 | 1,17% |
| Almanya | 1 | 2 | 3 | 1,0009 | 1,00064 | 1,0006 | 1,0002 | 1,0003 | 1,0003 | Değil | Değil | Değil | Değil | Değil | Değil | 338942 | 0,51% |
| Arjantin | 1 | 2 | 3 | 1,0005 | 1,00035 | 1,0003 | 1,0007 | 1,0006 | 1,0006 | Değil | Değil | Değil | Değil | Değil | Değil | 205825 | 1,38% |
| Arnavutluk | 1 | 1 | 2 | 1,0002 | 1,00044 | 1,0003 | 1,0004 | 1,0005 | 1,0003 | Etkin | Değil | Değil | Değil | Değil | Değil | 98218 | 1,25% |
| Avustralya | 1 | 2 | 3 | 1,0008 | 1,00057 | 1,0006 | 1 | 1 | 1 | Değil | Değil | Değil | Etkin | Etkin | Etkin | 309196 | 0,13% |
| Avusturya | 1 | 2 | 4 | 1,0013 | 1,00099 | 1,001 | 1,0002 | 1,0002 | 1,0002 | Değil | Değil | Değil | Değil | Değil | Değil | 496088 | 0,45% |
| Bahreyn | 1 | 2 | 4 | 1,0011 | 1,00198 | 1,0019 | 1 | 1 | 1 | Değil | Değil | Değil | Etkin | Etkin | Etkin | 424028 | 0,24% |
| Belarus | 1 | 3 | 1 | 1 | 1,00047 | 1,0004 | 1,0002 | 1,0003 | 1,0002 | Etkin | Değil | Değil | Etkin | Değil | Değil | 103080 | 0,71% |
| Belçika | 1 | 2 | 3 | 1,0009 | 1,00066 | 1,0007 | 1,0004 | 1,0004 | 1,0004 | Değil | Değil | Değil | Değil | Değil | Değil | 363861 | 0,75% |
| Birleşik Arap Emirl. | 1 | 1 | 2 | 1,0002 | 1,00046 | 1,0004 | 1 | 1 | 1 | Değil | Değil | Değil | Etkin | Etkin | Etkin | 99990 | 0,25% |
| Birleşik Krallık | 1 | 2 | 3 | 1,0009 | 1,00063 | 1,0006 | 1,0004 | 1,0004 | 1,0004 | Değil | Değil | Değil | Değil | Değil | Değil | 336599 | 0,79% |
| Bosna-Hersek | 1 | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1,0022 | 1,0019 | 1,0018 | Etkin | Etkin | Etkin | Değil | Değil | Değil | 117095 | 4,17% |
| Brezilya | 1 | 1 | 2 | 1,0004 | 1,00069 | 1,0006 | 1,001 | 1,0008 | 1,0008 | Değil | Değil | Değil | Değil | Değil | Değil | 149582 | 2,08% |
| Bulgaristan | 1 | 1 | 2 | 1,0002 | 1 | 1 | 1,0017 | 1,0018 | 1,0018 | Değil | Etkin | Etkin | Değil | Değil | Değil | 172777 | 3,18% |
| Çekya | 1 | 2 | 4 | 1,001 | 1,00072 | 1,0007 | 1,0005 | 1,0005 | 1,0005 | Değil | Değil | Değil | Değil | Değil | Değil | 401759 | 0,96% |
| Çin | 1 | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1,0001 | 1 | Etkin | Etkin | Etkin | Etkin | Etkin | Etkin | 3317 | 0,45% |
| Danimarka | 1 | 2 | 4 | 1,0014 | 1,0009 | 1,0009 | 1,0001 | 1,0001 | 1,0001 | Değil | Değil | Değil | Etkin | Etkin | Etkin | 538841 | 0,20% |
| Ekvador | 1 | 3 | 1 | 1,0001 | 1,00022 | 1,0002 | 1,0018 | 1,0015 | 1,0015 | Etkin | Değil | Değil | Değil | Değil | Değil | 50372 | 3,94% |
| Endonezya | 1 | 3 | 1 | 1 | 1,00009 | 1 | 1,0009 | 1,0007 | 1,0007 | Etkin | Etkin | Etkin | Değil | Değil | Değil | 22100 | 2,57% |
| Estonya | 1 | 2 | 4 | 1,001 | 1 | 1 | 1,0001 | 1,0001 | 1,0001 | Değil | Etkin | Etkin | Etkin | Etkin | Etkin | 439979 | 0,44% |
| Filipinler | 1 | 3 | 1 | 1 | 1,00013 | 1,0001 | 1,0003 | 1,0003 | 1,0003 | Etkin | Etkin | Etkin | Değil | Değil | Değil | 32045 | 1,63% |
| Finlandiya | 1 | 1 | 2 | 1,0005 | 1 | 1 | 1,0002 | 1,0002 | 1,0002 | Değil | Etkin | Etkin | Etkin | Değil | Değil | 208138 | 0,44% |
| Fransa | 1 | 2 | 4 | 1,0012 | 1,00086 | 1,0009 | 1,0002 | 1,0003 | 1,0003 | Değil | Değil | Değil | Değil | Değil | Değil | 442774 | 0,49% |
| Güney Kore | 1 | 2 | 3 | 1,0009 | 1,00065 | 1,0007 | 1 | 1 | 1 | Değil | Değil | Değil | Etkin | Etkin | Etkin | 354319 | 0,13% |
| Gürcistan | 1 | 2 | 4 | 1,0011 | 1,00206 | 1,0018 | 1,0003 | 1,0004 | 1,0002 | Değil | Değil | Değil | Değil | Değil | Değil | 443445 | 1,01% |
| Hırvatistan | 1 | 2 | 3 | 1,0006 | 1,00132 | 1,0012 | 1,0007 | 1,0006 | 1,0006 | Değil | Değil | Değil | Değil | Değil | Değil | 284684 | 1,40% |
| Hindistan | 1 | 3 | 1 | 1 | 1,00013 | 1,0001 | 1 | 1 | 1 | Etkin | Etkin | Etkin | Etkin | Etkin | Etkin | 30661 | 1,21% |

**Ek-2 (devam):** Farklı küme senaryolarına göre ülkelerin bulaşıcılıkla mücadele ve tedavi etkinliği

| Ülkeler | 2K | 3K | 4K | 2KBES | 3KBES | 4KBES | 2KTES | 3KTES | 4KTES | 2KBEK | 3KBEK | 4KBEK | 2KTEK | 3KTEK | 4KTEK | MKBV | VÖH |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Hollanda | 1 | 2 | 4 | 1,0012 | 1,00092 | 1,0009 | 1,0001 | 1,0001 | 1,0001 | Değil | Değil | Değil | Etkin | Etkin | Etkin | 465590 | 0,27% |
| İrlanda | 1 | 2 | 3 | 1,0008 | 1,00059 | 1,0006 | 1,0002 | 1,0002 | 1,0002 | Değil | Değil | Değil | Değil | Değil | Değil | 318206 | 0,48% |
| İspanya | 1 | 2 | 3 | 1,0007 | 1,00048 | 1,0005 | 1,0004 | 1,0004 | 1,0004 | Değil | Değil | Değil | Değil | Değil | Değil | 267755 | 0,86% |
| İsrail | 1 | 2 | 4 | 1,0012 | 1,00091 | 1,0009 | 1 | 1 | 1 | Değil | Değil | Değil | Etkin | Etkin | Etkin | 459861 | 0,25% |
| İsveç | 1 | 1 | 3 | 1,0006 | 1,00032 | 1,0003 | 1,0004 | 1,0001 | 1,0001 | Değil | Değil | Değil | Değil | Etkin | Etkin | 238819 | 0,76% |
| İsviçre | 1 | 2 | 4 | 1,0011 | 1,00064 | 1,0006 | 1,0002 | 1,0002 | 1,0002 | Değil | Değil | Değil | Etkin | Etkin | Etkin | 430124 | 0,35% |
| İtalya | 1 | 2 | 3 | 1,0008 | 1,00058 | 1,0006 | 1,0004 | 1,0005 | 1,0005 | Değil | Değil | Değil | Değil | Değil | Değil | 312325 | 0,91% |
| İzlanda | 1 | 2 | 4 | 1,0013 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | Değil | Etkin | Etkin | Etkin | Etkin | Etkin | 520524 | 0,09% |
| Japonya | 1 | 3 | 1 | 1,0001 | 1 | 1 | 1,0001 | 1,0001 | 1,0001 | Etkin | Etkin | Etkin | Etkin | Etkin | Etkin | 74893 | 0,34% |
| Kanada | 1 | 1 | 2 | 1,0002 | 1,00012 | 1,0001 | 1,0006 | 1,0006 | 1,0006 | Değil | Etkin | Etkin | Değil | Değil | Değil | 102048 | 1,07% |
| Katar | 1 | 1 | 2 | 1,0003 | 1,00065 | 1,0006 | 1 | 1 | 1 | Değil | Değil | Değil | Etkin | Etkin | Etkin | 141728 | 0,18% |
| Kazakistan | 1 | 1 | 2 | 1,0001 | 1,00032 | 1,0002 | 1,0005 | 1,0005 | 1,0005 | Etkin | Değil | Değil | Değil | Değil | Değil | 71958 | 1,36% |
| Kıbrıs | 1 | 2 | 4 | 1,0015 | 1,00263 | 1,0025 | 1 | 1 | 1 | Değil | Değil | Değil | Etkin | Etkin | Etkin | 563296 | 0,21% |
| Kırgızistan | 1 | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1,0002 | 1,0002 | 1,0002 | Etkin | Etkin | Etkin | Değil | Değil | Değil | 30322 | 1,49% |
| Kolombiya | 1 | 1 | 2 | 1,0003 | 1,00054 | 1,0005 | 1,001 | 1,0008 | 1,0008 | Değil | Değil | Değil | Değil | Değil | Değil | 118583 | 2,28% |
| Kosta Rika | 1 | 1 | 2 | 1,0005 | 1,00087 | 1,0008 | 1,0001 | 1,0001 | 1,0001 | Değil | Değil | Değil | Etkin | Etkin | Etkin | 187568 | 0,88% |
| Kuveyt | 1 | 1 | 2 | 1,0004 | 1,0007 | 1,0006 | 1,0001 | 1,0001 | 1,0001 | Değil | Değil | Değil | Etkin | Etkin | Etkin | 150857 | 0,40% |
| Küba | 1 | 1 | 2 | 1,0002 | 1,00045 | 1,0004 | 1,0003 | 1,0003 | 1,0003 | Değil | Değil | Değil | Değil | Değil | Değil | 98642 | 0,77% |
| Letonya | 1 | 2 | 4 | 1,0012 | 1,00075 | 1,0008 | 1,0003 | 1,0002 | 1,0002 | Değil | Değil | Değil | Değil | Etkin | Etkin | 451274 | 0,70% |
| Litvanya | 1 | 2 | 4 | 1,0011 | 1,00067 | 1,0007 | 1,0003 | 1,0003 | 1,0003 | Değil | Değil | Değil | Değil | Değil | Değil | 422234 | 0,79% |
| Lüksemburg | 1 | 2 | 4 | 1,001 | 1,0019 | 1,0018 | 1,0002 | 1,0001 | 1,0001 | Değil | Değil | Değil | Etkin | Etkin | Etkin | 406738 | 0,42% |
| Macaristan | 1 | 1 | 2 | 1,0004 | 1,00018 | 1,0002 | 1,0013 | 1,0013 | 1,0013 | Değil | Etkin | Etkin | Değil | Değil | Değil | 193445 | 2,42% |
| Malezya | 1 | 1 | 2 | 1,0003 | 1,00062 | 1,0006 | 1,0001 | 1,0001 | 1,0001 | Değil | Değil | Değil | Etkin | Etkin | Etkin | 134456 | 0,78% |
| Malta | 1 | 1 | 2 | 1,0005 | 1,0009 | 1,0008 | 1,0003 | 1,0003 | 1,0003 | Değil | Değil | Değil | Değil | Değil | Değil | 193387 | 0,72% |
| Meksika | 1 | 3 | 1 | 1,0001 | 1 | 1 | 1,0026 | 1 | 1 | Etkin | Etkin | Etkin | Değil | Etkin | Etkin | 47676 | 5,37% |
| Moldova | 1 | 1 | 2 | 1,0003 | 1,00069 | 1,0006 | 1,001 | 1,0009 | 1,0009 | Değil | Değil | Değil | Değil | Değil | Değil | 158927 | 2,22% |
| Morityus | 1 | 3 | 1 | 1 | 1,00014 | 1,0001 | 1,0012 | 1,0011 | 1,001 | Etkin | Etkin | Etkin | Değil | Değil | Değil | 32072 | 2,50% |
| Norveç | 1 | 1 | 3 | 1,0006 | 1,00032 | 1,0003 | 1,0001 | 1,0001 | 1,0001 | Değil | Değil | Değil | Etkin | Etkin | Etkin | 266341 | 0,23% |

**Ek-2 (devam):** Farklı küme senaryolarına göre ülkelerin bulaşıcılıkla mücadele ve tedavi etkinliği

| Ülkeler | 2K | 3K | 4K | 2KBES | 3KBES | 4KBES | 2KTES | 3KTES | 4KTES | 2KBEK | 3KBEK | 4KBEK | 2KTEK | 3KTEK | 4KTEK | MKBV | VÖH |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Panama | 1 | 1 | 2 | 1,0005 | 1,00096 | 1,0009 | 1,0004 | 1,0003 | 1,0003 | Değil | Değil | Değil | Değil | Değil | Değil | 208210 | 0,91% |
| Peru | 1 | 1 | 2 | 1,0003 | 1,00013 | 1,0001 | 1,0029 | 1 | 1 | Değil | Etkin | Etkin | Değil | Etkin | Etkin | 106339 | 5,90% |
| Polonya | 1 | 1 | 2 | 1,0003 | 1,00014 | 1,0001 | 1,001 | 1,001 | 1,001 | Değil | Etkin | Etkin | Değil | Değil | Değil | 150904 | 1,94% |
| Portekiz | 1 | 2 | 4 | 1,0013 | 1,001 | 1,001 | 1,0002 | 1,0002 | 1,0002 | Değil | Değil | Değil | Etkin | Etkin | Etkin | 501435 | 0,47% |
| Romanya | 1 | 1 | 2 | 1,0003 | 1,00068 | 1,0006 | 1,0011 | 1,001 | 1,001 | Değil | Değil | Değil | Değil | Değil | Değil | 148503 | 2,25% |
| Rusya | 1 | 1 | 2 | 1,0003 | 1,00005 | 1 | 1,0011 | 1,0011 | 1,0011 | Değil | Etkin | Etkin | Değil | Değil | Değil | 127357 | 2,07% |
| Sırbistan | 1 | 2 | 3 | 1,0007 | 1,00137 | 1,0012 | 1,0003 | 1,0003 | 1,0003 | Değil | Değil | Değil | Değil | Değil | Değil | 295200 | 0,79% |
| Singapur | 1 | 2 | 3 | 1,0006 | 1,00044 | 1,0004 | 1 | 1 | 1 | Değil | Değil | Değil | Etkin | Etkin | Etkin | 254490 | 0,10% |
| Slovakya | 1 | 1 | 3 | 1,0008 | 1,00044 | 1,0004 | 1,0005 | 1,0005 | 1,0005 | Değil | Değil | Değil | Değil | Değil | Değil | 318248 | 1,12% |
| Slovenya | 1 | 2 | 4 | 1,0013 | 1,00091 | 1,0009 | 1,0003 | 1,0004 | 1,0004 | Değil | Değil | Değil | Değil | Değil | Değil | 490027 | 0,75% |
| Suudi Arabistan | 1 | 3 | 1 | 1 | 1,00009 | 1,0001 | 1,0005 | 1,0005 | 1,0004 | Etkin | Etkin | Etkin | Değil | Değil | Değil | 21821 | 1,16% |
| Şili | 1 | 1 | 2 | 1,0005 | 1,00034 | 1,0003 | 1,0007 | 1,0004 | 1,0004 | Değil | Değil | Değil | Değil | Değil | Değil | 203012 | 1,47% |
| Tayland | 1 | 3 | 1 | 1,0001 | 1,00003 | 1 | 1 | 1 | 1 | Etkin | Etkin | Etkin | Etkin | Etkin | Etkin | 63084 | 0,68% |
| Türkiye | 1 | 1 | 2 | 1,0004 | 1,00028 | 1,0003 | 1,0001 | 1 | 1 | Değil | Değil | Değil | Etkin | Etkin | Etkin | 177200 | 0,66% |
| Ukrayna | 1 | 1 | 2 | 1,0003 | 1,00057 | 1,0005 | 1,001 | 1,0009 | 1,0009 | Değil | Değil | Değil | Değil | Değil | Değil | 126393 | 2,17% |
| Uruguay | 1 | 2 | 3 | 1,0007 | 1,0013 | 1,0012 | 1,0003 | 1,0003 | 1,0003 | Değil | Değil | Değil | Değil | Değil | Değil | 279780 | 0,77% |
| Yeni Zelenda | 1 | 2 | 3 | 1,0006 | 1,0002 | 1,0002 | 1 | 1 | 1 | Değil | Etkin | Etkin | Etkin | Etkin | Etkin | 256736 | 0,11% |
| Yunanistan | 1 | 1 | 3 | 1,001 | 1,00071 | 1,0007 | 1,0003 | 1,0003 | 1,0003 | Değil | Değil | Değil | Değil | Değil | Değil | 370098 | 0,79% |
| Afganistan | 2 | 3 | 1 | 1 | 1,00004 | 1,0002 | 1,001 | 1,001 | 1,0009 | Etkin | Etkin | Etkin | Değil | Değil | Değil | 4436 | 4,23% |
| Angola | 2 | 3 | 1 | 1 | 1,00003 | 1,0001 | 1,0003 | 1,0003 | 1,0003 | Etkin | Etkin | Etkin | Değil | Değil | Değil | 2847 | 1,88% |
| Azerbeycan | 2 | 2 | 3 | 1,001 | 1,00034 | 1,0006 | 1,0003 | 1,0004 | 1,0004 | Değil | Değil | Değil | Değil | Değil | Değil | 76580 | 1,23% |
| Bahamalar | 2 | 2 | 4 | 1,0011 | 1,00146 | 1,0006 | 1,0008 | 1,0006 | 1,0009 | Değil | Değil | Değil | Değil | Değil | Değil | 87671 | 2,27% |
| Bangladeş | 2 | 1 | 2 | 1,0001 | 1,00017 | 1,0007 | 1,0002 | 1,0002 | 1,0002 | Etkin | Etkin | Değil | Değil | Etkin | Etkin | 11530 | 1,48% |
| Barbados | 2 | 2 | 4 | 1,0038 | 1,00504 | 1,0023 | 1,0001 | 1 | 1,0001 | Değil | Değil | Değil | Değil | Etkin | Etkin | 298158 | 0,56% |
| Beliz | 2 | 2 | 4 | 1,002 | 1,00263 | 1,0012 | 1,0001 | 1,0001 | 1 | Değil | Değil | Değil | Değil | Etkin | Etkin | 156858 | 1,07% |
| Bolivya | 2 | 2 | 3 | 1,001 | 1,00126 | 1,0006 | 1,0006 | 1,0006 | 1,0006 | Değil | Değil | Değil | Değil | Değil | Değil | 75549 | 2,38% |
| Botsvana | 2 | 2 | 4 | 1,0016 | 1,00206 | 1,0009 | 1,0001 | 1 | 1,0001 | Değil | Değil | Değil | Değil | Etkin | Etkin | 122924 | 0,85% |
| Brunei | 2 | 2 | 4 | 1,0047 | 1,0017 | 1,0028 | 1 | 1 | 1 | Değil | Değil | Değil | Etkin | Etkin | Etkin | 364201 | 0,14% |

**Ek-2 (devam):** Farklı küme senaryolarına göre ülkelerin bulaşıcılıkla mücadele ve tedavi etkinliği

| Ülkeler | 2K | 3K | 4K | 2KBES | 3KBES | 4KBES | 2KTES | 3KTES | 4KTES | 2KBEK | 3KBEK | 4KBEK | 2KTEK | 3KTEK | 4KTEK | MKBV | VÖH |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Cape Verde | 2 | 2 | 4 | 1,0013 | 1,00171 | 1,0008 | 1 | 1 | 1 | Değil | Değil | Değil | Değil | Etkin | Etkin | 102067 | 0,67% |
| Cezayir | 2 | 3 | 1 | 1,0001 | 1,00008 | 1 | 1,0008 | 1,0007 | 1,0009 | Etkin | Etkin | Etkin | Değil | Değil | Değil | 5925 | 2,58% |
| Cibuti | 2 | 1 | 2 | 1,0002 | 1,00022 | 1,0008 | 1,0001 | 1,0001 | 1,0001 | Etkin | Değil | Değil | Değil | Etkin | Etkin | 13998 | 1,20% |
| Dominik Cumhuriyeti | 2 | 2 | 3 | 1,0007 | 1,00024 | 1,0004 | 1 | 1 | 1 | Değil | Değil | Değil | Değil | Etkin | Etkin | 53949 | 0,72% |
| El Salvador | 2 | 1 | 2 | 1,0003 | 1,00011 | 1,0001 | 1,0006 | 1,0008 | 1,0008 | Değil | Etkin | Etkin | Değil | Değil | Değil | 26773 | 2,44% |
| Esvatini | 2 | 2 | 3 | 1,0008 | 1,00101 | 1,004 | 1,0005 | 1,0004 | 1,0004 | Değil | Değil | Değil | Değil | Değil | Değil | 60830 | 1,94% |
| Etiyopya | 2 | 3 | 1 | 1 | 1,00005 | 1,0002 | 1 | 1 | 1 | Etkin | Etkin | Etkin | Etkin | Etkin | Etkin | 3959 | 1,54% |
| Fas | 2 | 1 | 2 | 1,0004 | 1,00014 | 1,0002 | 1,0002 | 1 | 1 | Değil | Etkin | Değil | Değil | Etkin | Etkin | 32380 | 1,33% |
| Fiji | 2 | 2 | 3 | 1,0009 | 1,00117 | 1,0005 | 1,0003 | 1,0002 | 1,0003 | Değil | Değil | Değil | Değil | Değil | Değil | 70507 | 1,32% |
| Fildişi Sahili | 2 | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | Etkin | Etkin | Etkin | Etkin | Etkin | Etkin | 2958 | 0,97% |
| Gabon | 2 | 1 | 2 | 1,0002 | 1,00032 | 1 | 1,0001 | 1 | 1,0001 | Değil | Değil | Etkin | Değil | Etkin | Etkin | 20067 | 0,64% |
| Gambia | 2 | 3 | 1 | 1 | 1,00005 | 1,0002 | 1 | 1 | 1 | Etkin | Etkin | Değil | Etkin | Etkin | Etkin | 4438 | 3,04% |
| Gana | 2 | 3 | 1 | 1 | 1,00006 | 1,0003 | 1 | 1 | 1 | Etkin | Etkin | Değil | Etkin | Etkin | Etkin | 4975 | 0,87% |
| Gine | 2 | 3 | 1 | 1 | 1,00003 | 1,0001 | 1 | 1 | 1 | Etkin | Etkin | Etkin | Etkin | Etkin | Etkin | 2689 | 1,19% |
| Guatemala | 2 | 1 | 3 | 1,0006 | 1,00083 | 1,0004 | 1,0004 | 1,0004 | 1 | Değil | Değil | Değil | Değil | Değil | Etkin | 50510 | 2,05% |
| Guyana | 2 | 2 | 4 | 1,0011 | 1,00139 | 1,0006 | 1,0005 | 1,0004 | 1,0005 | Değil | Değil | Değil | Değil | Değil | Değil | 83120 | 1,86% |
| Güney Afrika | 2 | 2 | 3 | 1,0008 | 1,00028 | 1,0002 | 1,0008 | 1,001 | 1,0009 | Değil | Değil | Etkin | Değil | Değil | Değil | 66682 | 2,55% |
| Haiti | 2 | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1,0006 | 1,0006 | 1,0005 | Etkin | Etkin | Etkin | Değil | Değil | Değil | 2734 | 2,64% |
| Honduras | 2 | 1 | 2 | 1,0005 | 1,00067 | 1,0026 | 1,0006 | 1,0006 | 1,0005 | Değil | Değil | Değil | Değil | Değil | Değil | 40962 | 2,55% |
| Irak | 2 | 2 | 3 | 1,0007 | 1,00087 | 1,0004 | 1,0001 | 1,0001 | 1 | Değil | Değil | Değil | Değil | Etkin | Etkin | 52721 | 1,08% |
| İran | 2 | 2 | 4 | 1,001 | 1,00037 | 1,0003 | 1,0005 | 1,0006 | 1,0005 | Değil | Değil | Değil | Değil | Değil | Değil | 81734 | 1,95% |
| Jamaika | 2 | 2 | 3 | 1,0006 | 1,00083 | 1,0003 | 1,0006 | 1,0005 | 1 | Değil | Değil | Değil | Değil | Değil | Etkin | 50465 | 2,19% |
| Kamboçya | 2 | 3 | 1 | 1,0001 | 1,00012 | 1,0005 | 1,0005 | 1,0005 | 1,0004 | Etkin | Etkin | Değil | Değil | Değil | Değil | 8127 | 2,24% |
| Kamerun | 2 | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | Etkin | Etkin | Etkin | Etkin | Etkin | Etkin | 4306 | 1,61% |
| Kenya | 2 | 3 | 1 | 1,0001 | 1,00008 | 1,0003 | 1,0003 | 1,0003 | 1,0003 | Etkin | Etkin | Değil | Değil | Değil | Değil | 6169 | 1,70% |
| Kongo | 2 | 3 | 1 | 1 | 1,00005 | 1,0002 | 1,0003 | 1,0002 | 1,0002 | Etkin | Etkin | Etkin | Değil | Değil | Değil | 4090 | 1,58% |
| Lesotho | 2 | 1 | 2 | 1,0002 | 1,00023 | 1,0009 | 1,0005 | 1,0004 | 1,0004 | Etkin | Değil | Değil | Değil | Değil | Değil | 14770 | 2,06% |
| Liberya | 2 | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1,0011 | 1,0011 | 1,0009 | Etkin | Etkin | Etkin | Değil | Değil | Değil | 1414 | 3,92% |

**Ek-2 (devam):** Farklı küme senaryolarına göre ülkelerin bulaşıcılıkla mücadele ve tedavi etkinliği

| Ülkeler | 2K | 3K | 4K | 2KBES | 3KBES | 4KBES | 2KTES | 3KTES | 4KTES | 2KBEK | 3KBEK | 4KBEK | 2KTEK | 3KTEK | 4KTEK | MKBV | VÖH |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Libya | 2 | 1 | 3 | 1,0009 | 1,00123 | 1,0005 | 1,0003 | 1,0002 | 1,0004 | Değil | Değil | Değil | Değil | Değil | Değil | 73710 | 1,28% |
| Lübnan | 2 | 2 | 4 | 1,0026 | 1,00341 | 1,0015 | 1,0002 | 1,0001 | 1,0003 | Değil | Değil | Değil | Değil | Etkin | Değil | 202345 | 0,94% |
| Madagaskar | 2 | 3 | 1 | 1 | 1,00001 | 1 | 1 | 1 | 1 | Etkin | Etkin | Etkin | Etkin | Etkin | Etkin | 2208 | 2,14% |
| Malavi | 2 | 3 | 1 | 1 | 1,00005 | 1,0002 | 1,0006 | 1,0006 | 1,0005 | Etkin | Etkin | Etkin | Değil | Değil | Değil | 4238 | 3,06% |
| Mali | 2 | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | Etkin | Etkin | Etkin | Etkin | Etkin | Etkin | 1379 | 2,36% |
| Mısır | 2 | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1,0015 | 1,0019 | 1,0017 | Etkin | Etkin | Etkin | Değil | Değil | Değil | 4632 | 4,81% |
| Moğolistan | 2 | 2 | 4 | 1,0035 | 1,00127 | 1,0012 | 1 | 1 | 1 | Değil | Değil | Değil | Etkin | Etkin | Etkin | 273244 | 0,23% |
| Moritanya | 2 | 1 | 2 | 1,0001 | 1,00019 | 1,0008 | 1,0002 | 1,0002 | 1,0002 | Etkin | Etkin | Değil | Değil | Değil | Değil | 12578 | 1,65% |
| Mozambik | 2 | 3 | 1 | 1,0001 | 1,0001 | 1,0004 | 1 | 1 | 1 | Etkin | Etkin | Değil | Etkin | Etkin | Etkin | 6910 | 0,97% |
| Myanmar | 2 | 1 | 2 | 1,0001 | 1,00017 | 1,0007 | 1,0009 | 1,0008 | 1,0007 | Etkin | Etkin | Değil | Değil | Değil | Değil | 11325 | 3,17% |
| Namibya | 2 | 1 | 3 | 1,0008 | 1,00107 | 1 | 1,0008 | 1,0006 | 1,0009 | Değil | Değil | Etkin | Değil | Değil | Değil | 64729 | 2,45% |
| Nepal | 2 | 1 | 2 | 1,0004 | 1,00052 | 1,0021 | 1 | 1 | 1 | Değil | Değil | Değil | Değil | Etkin | Etkin | 32071 | 1,22% |
| Nijerya | 2 | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1,0001 | 1,0001 | 1,0001 | Etkin | Etkin | Etkin | Değil | Etkin | Etkin | 1177 | 1,22% |
| Nikaragua | 2 | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1,0002 | 1,0001 | 1,0001 | Etkin | Etkin | Etkin | Değil | Etkin | Etkin | 2661 | 1,31% |
| Özbekistan | 2 | 3 | 1 | 1,0001 | 1,0001 | 1 | 1,0001 | 1 | 1,0001 | Etkin | Etkin | Etkin | Değil | Etkin | Etkin | 6953 | 0,68% |
| Pakistan | 2 | 3 | 1 | 1,0001 | 1,00009 | 1,0004 | 1,0004 | 1,0004 | 1,0003 | Etkin | Etkin | Değil | Değil | Değil | Değil | 6510 | 1,98% |
| Paraguay | 2 | 2 | 4 | 1,0012 | 1,00044 | 1,0004 | 1,0008 | 1 | 1 | Değil | Değil | Değil | Değil | Etkin | Etkin | 96676 | 2,89% |
| Ruanda | 2 | 3 | 1 | 1,0001 | 1,00014 | 1,0006 | 1,0001 | 1,0001 | 1,0001 | Etkin | Etkin | Değil | Değil | Etkin | Etkin | 9508 | 1,11% |
| Senegal | 2 | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1,0002 | 1,0002 | 1,0002 | Etkin | Etkin | Etkin | Değil | Değil | Değil | 4984 | 2,28% |
| Sri Lanka | 2 | 1 | 2 | 1,0004 | 1,00013 | 1,0002 | 1,0008 | 1,001 | 1,0009 | Değil | Etkin | Değil | Değil | Değil | Değil | 30419 | 2,49% |
| Sudan | 2 | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1,0026 | 1,0025 | 1,0022 | Etkin | Etkin | Etkin | Değil | Değil | Değil | 1336 | 7,91% |
| Surinam | 2 | 2 | 4 | 1,0017 | 1,00219 | 1,001 | 1,0005 | 1,0004 | 1,0006 | Değil | Değil | Değil | Değil | Değil | Değil | 130838 | 1,69% |
| Tacikistan | 2 | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | Etkin | Etkin | Etkin | Değil | Etkin | Etkin | 1787 | 0,70% |
| Timor | 2 | 1 | 2 | 1,0002 | 1,00027 | 1,0011 | 1 | 1 | 1 | Değil | Değil | Değil | Etkin | Etkin | Etkin | 17116 | 0,58% |
| Trinidad ve Tobago | 2 | 2 | 4 | 1,0014 | 1,00182 | 1,0008 | 1,0008 | 1,0006 | 1,001 | Değil | Değil | Değil | Değil | Değil | Değil | 109011 | 2,40% |
| Tunus | 2 | 2 | 4 | 1,0011 | 1,00142 | 1,0006 | 1,0008 | 1,0007 | 1,001 | Değil | Değil | Değil | Değil | Değil | Değil | 85155 | 2,73% |
| Uganda | 2 | 3 | 1 | 1 | 1,00004 | 1,0002 | 1,0003 | 1,0003 | 1,0003 | Etkin | Etkin | Etkin | Değil | Değil | Değil | 3531 | 2,17% |
| Umman | 2 | 2 | 4 | 1,0011 | 1,00039 | 1,0006 | 1,0002 | 1,0003 | 1,0002 | Değil | Değil | Değil | Değil | Değil | Etkin | 85381 | 1,18% |
| Ürdün | 2 | 2 | 4 | 1,0019 | 1,00069 | 1,0006 | 1,0001 | 1 | 1 | Değil | Değil | Değil | Değil | Etkin | Etkin | 150560 | 0,83% |
| Venezuela | 2 | 1 | 2 | 1,0002 | 1,00029 | 1,0001 | 1,0001 | 1,0001 | 1 | Değil | Değil | Etkin | Değil | Etkin | Etkin | 18583 | 1,09% |
| Vietnam | 2 | 2 | 4 | 1,0014 | 1,0005 | 1,0008 | 1 | 1 | 1 | Değil | Değil | Değil | Etkin | Etkin | Etkin | 109441 | 0,40% |
| Zambiya | 2 | 1 | 2 | 1,0002 | 1,00025 | 1,001 | 1,0001 | 1,0001 | 1,0001 | Etkin | Değil | Değil | Değil | Etkin | Etkin | 16253 | 1,23% |
| Zimbabve | 2 | 1 | 2 | 1,0002 | 1,00024 | 1,001 | 1,0004 | 1,0004 | 1,0004 | Etkin | Değil | Değil | Değil | Değil | Değil | 15660 | 2,17% |

# İNTİHAL RAPORU İLK SAYFASI

COVID-19 ile MÜCADELEDE ÜLKELERİN ETKİNLİĞİNİN VERİ ZARFLAMA ANALİZİ ve MAKİNE ÖĞRENMESİ ile DEĞERLENDİRİLMESİ

ORİJİNALLİK RAPORU

| %7 | %6 | %1 | %2 |
|---|---|---|---|
| BENZERLİK ENDEKSİ | İNTERNET KAYNAKLARI | YAYINLAR | ÖĞRENCİ ÖDEVLERİ |

BİRİNCİL KAYNAKLAR

| | | |
|---|---|---|
| 1 | acikbilim.yok.gov.tr<br>İnternet Kaynağı | %1 |
| 2 | dergipark.org.tr<br>İnternet Kaynağı | %1 |
| 3 | Submitted to The Scientific & Technological Research Council of Turkey (TUBITAK)<br>Öğrenci Ödevi | %1 |
| 4 | www.researchgate.net<br>İnternet Kaynağı | <%1 |
| 5 | hdl.handle.net<br>İnternet Kaynağı | <%1 |
| 6 | www.gecekitapligi.com<br>İnternet Kaynağı | <%1 |
| 7 | github.com<br>İnternet Kaynağı | <%1 |
| 8 | Submitted to Saglik Bilimleri Universitesi<br>Öğrenci Ödevi | <%1 |

# ETİK KURUL İZİN YAZISI

**Uyarı:** Canlı denekler üzerinde yapılan tüm araştırmalar için Etik Kurul Belgesi alınması zorunludur.

☐ **Etik Kurul izni gerekmektedir.**

☒ **Etik Kurul izni gerekmemektedir.**

Faruk YILMAZ

# KURUM İZNİ YAZILARI

**Uyarı:** Canlı ve cansız deneklerle yapılan tüm çalışmalar için kurum izin belgelerinin eklenmesi zorunludur. Gizlilik ve mahremiyet içeren durumlarda kurum adı kapatılmalıdır.

☐ **Kurum izni gerekmektedir.**

☒ **Kurum izni gerekmemektedir.**

Faruk YILMAZ

**ÖZGEÇMİŞ**