



Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü

Sağlık Yönetimi Anabilim Dalı

DİYABETİK RETİNOPATİ TANİ YÖNTEMLERİNİN MALİYET ETKİLİLİK ANALİZİ

Gülçin ÇALIŞKAN SEYFELİ

Doktora Tezi

Ankara, 2024

DİYABETİK RETİNOPATİ TANI YÖNTEMLERİNİN MALİYET ETKİLİLİK ANALİZİ

Gülçin ÇALIŞKAN SEYFELİ

Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü
Sağlık Yönetimi Anabilim Dalı

Doktora Tezi

Ankara, 2024

KABUL VE ONAY

Gülçin ÇALIŞKAN SEYFELİ tarafından hazırlanan “Diyabetik Retinopati Tanı Yöntemlerinin Maliyet Etkililik Analizi” başlıklı bu çalışma, 16.12.2024 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda başarılı bulunarak jürimiz tarafından Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.”

Prof. Dr. İsmail AĞIRBAŞ (Başkan)

Doç. Dr. Songül ÇINAROĞLU (Danışman)

Prof. Dr. Zafer ÇALIŞKAN (Üye)

Prof. Dr. Mehmet TOP (Üye)

Doç. Dr. Özlem ÖZER (Üye)

Bu tez çalışmasında Sayın Prof. Dr. Yasemin ÖZDAMAR EROL Ortak Danışman olarak görev almıştır.

Yukarıdaki imzaların adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Uğur ÖMÜRGÖNÜLŞEN

Enstitü Müdürü

YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI

Enstitü tarafından onaylanan lisansüstü tezimin tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı (kağıt) ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda verilen koşullarla kullanıma açma iznini Hacettepe Üniversitesine verdiğimi bildiririm. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet haklarım bende kalacak, tezimin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanım hakları bana ait olacaktır.

Tezin kendi orijinal çalışmam olduğunu, başkalarının haklarını ihlal etmediğimi ve tezimin tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Tezimde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanılması zorunlu metinleri yazılı izin alınarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim.

Yükseköğretim Kurulu tarafından yayınlanan “**Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge**” kapsamında tezim aşağıda belirtilen koşullar haricince YÖK Ulusal Tez Merkezi / H.Ü. Kütüphaneleri Açık Erişim Sisteminde erişime açılır.

- Enstitü / Fakülte yönetim kurulu kararı ile tezimin erişime açılması mezuniyet tarihimden itibaren 2 yıl ertelenmiştir. ⁽¹⁾
- Enstitü / Fakülte yönetim kurulunun gerekçeli kararı ile tezimin erişime açılması mezuniyet tarihimden itibaren ay ertelenmiştir. ⁽²⁾
- Tezimle ilgili gizlilik kararı verilmiştir. ⁽³⁾

16/12/2024

Gülçin ÇALIŞKAN SEYFELİ

“**Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge**”

- (1) Madde 6. 1. Lisansüstü tezle ilgili patent başvurusu yapılması veya patent alma sürecinin devam etmesi durumunda, tez **danışmanın** önerisi ve **enstitü anabilim dalının** uygun görüşü üzerine **enstitü** veya **fakülte yönetim kurulu** iki yıl süre ile tezin erişime açılmasının ertelenmesine karar verebilir.
- (2) Madde 6. 2. Yeni teknik, materyal ve metotların kullanıldığı, henüz makaleye dönüşmemiş veya patent gibi yöntemlerle korunmamış ve internetten paylaşılması durumunda 3. şahıslara veya kurumlara haksız kazanç imkanı oluşturabilecek bilgi ve bulguları içeren tezler hakkında tez **danışmanın** önerisi ve **enstitü anabilim dalının** uygun görüşü üzerine **enstitü** veya **fakülte yönetim kurulunun** gerekçeli kararı ile altı ayı aşmamak üzere tezin erişime açılması engellenebilir.
- (3) Madde 7. 1. Ulusal çıkarları veya güvenliği ilgilendiren, emniyet, istihbarat, savunma ve güvenlik vb. konulara ilişkin lisansüstü tezlerle ilgili gizlilik kararı, **tezin yapıldığı kurum** tarafından verilir *. Kurum ve kuruluşlarla yapılan işbirliği protokolü çerçevesinde hazırlanan lisansüstü tezlere ilişkin gizlilik kararı ise **ilgili kurum ve kuruluşun önerisi** ile **enstitü** veya **fakültenin** uygun görüşü üzerine **üniversite yönetim kurulu** tarafından verilir. Gizlilik kararı verilen tezler Yükseköğretim Kuruluna bildirilir.
Madde 7.2. Gizlilik kararı verilen tezler gizlilik süresince enstitü veya fakülte tarafından gizlilik kuralları çerçevesinde muhafaza edilir, gizlilik kararının kaldırılması halinde Tez Otomasyon Sistemine yüklenir.

* Tez **danışmanın** önerisi ve **enstitü anabilim dalının** uygun görüşü üzerine **enstitü** veya **fakülte yönetim kurulu** tarafından karar verilir.

ETİK BEYAN

Bu çalışmadaki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, kullandığım verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı, yararlandığım kaynaklara bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu, tezimin kaynak gösterilen durumlar dışında zgn olduğunu, **Doç. Dr. Songül ÇINAROĞLU** danışmanlığında tarafımdan retilildiğini ve Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Tez Yazım Yönergesine göre yazıldığını beyan ederim.

Gülçin ALIşKAN SEYFELİ

CANIM BABAM MUSTAFA ÇALIŞKAN'A...

TEŞEKKÜR SAYFASI

Lisansüstü eğitimim süresince danışmanlığımı üstlenen ve eğitim sürecinin her aşamasında bana sürekli destek sağlayan ve her zaman yanımda yer alan sayın hocam Doç. Dr. Songül ÇINAROĞLU'na

Tez sürecinin her aşamasında araştırmamın derinleşmesinde sağladığı katkılar, değerli rehberlik ve destek ile bilgi ve deneyimlerinden faydalandığım Yardımcı danışmanım sayın hocam Prof. Dr. Yasemin ÖZDAMAR EROL'a

Araştırmama olan ilgileri, destekleri ve katkıları için tez izleme komitesi ve tez jürimde yer alan sayın hocam Prof. Dr. İsmail AĞIRBAŞ ve sayın hocam Doç. Dr. Özlem ÖZER'e,

Değerlendirmeleri ve yapıcı geri bildirimleri ile bu süreci daha anlamlı kılan tez jüri üyelerim sayın hocam Prof. Dr. Zafer ÇALIŞKAN ve sayın hocam Prof. Dr. MEHMET TOP'a,

Tez süreçlerinde desteklerini benden esirgemeyen sayın hocam Prof. Dr. Uğur ÖMÜRGÖNÜLŞEN'e

EyeCheckup yapay zekâ yazılımını tez kapsamında kullanmamı sağlayan Ural Telekomünikasyon şirketine ve süreçte bana destek olan şirketin kurucusu sayın Rim Khazhin Bey'e

Doktora süresince doktora burs desteği sağlayan TÜBİTAK Kurumuna

ALS hastalığıyla mücadele eden ve asla pes etmeyen canım babam Mustafa ÇALIŞKAN'a

Her zaman hayatımda destekleyici olan canım eşim Rahman Salih SEYFELİ'ye ve eşimin ailesine

Bu hayattaki en büyük şansım olan canım annem Gülnihal ÇALIŞKAN, canım ablam Burçin ÇALIŞKAN GÖK ve abim Ersin GÖK'e sonsuz teşekkürlerimi iletiyorum.

ÖZET

ÇALIŞKAN SEYFELİ, Gülçin. *Diyabetik Retinopati Tanı Yöntemlerinin Maliyet Etkililik Analizi*, Ankara, 2024.

Yapay Zekâ (YZ) uygulamaları hayatın her alanında olduğu gibi sağlık sektöründe de etkisini hızla göstermektedir. Sağlık hizmetleri alanında YZ teknolojilerinin maliyetleri düşürme, erişimi yaygınlaştırma ve kaliteyi artırma noktasında önemli etkilerinin olduğu gözlenmektedir. YZ'nin, hastalıklara daha hızlı bir şekilde tanı koyması, hastalıkları önlemesi ve erken tedavi imkanları sunması nedeniyle önemi artmaktadır. Dünyada yaklaşık 537 milyon kişide gözlemlenen önemli sağlık problemlerinden biri diyabettir. Diyabetin süresi uzadıkça diyabetik retinopatinin (DR) ortaya çıkma riski artmaktadır. Diyabet prevalansındaki ve yaşlanan popülasyondaki artış göz önüne alındığında diyabet hastaları için DR'nin erken tanısı diyabetin komplikasyonları ile mücadele ve kaynakların etkin kullanımı için temel bir gerekliliktir. Bu kapsamda araştırmanın temel amacı, DR'ye tanı koyma ve sınıflandırmada YZ tanı yöntemi ile klasik tanı yönteminin (oftalmolog tarafından tanı koyma) maliyet-etkililiğini analiz etmektir. Bu amaç doğrultusunda analiz Markov modeli ile gerçekleştirilecektir. Araştırmanın ikinci amacı ise konvolüsyonel sinir ağları kullanılarak geliştirilen YZ yazılımının DR tanı koyma ve sınıflandırma performansını değerlendirmektir. İkinci amaç doğrultusunda, Ankara Etlik Şehir Hastanesi veri tabanından 275 hastanın 547 fundus görüntüsü alınarak YZ yazılımının DR tanı koyma ve sınıflandırma performansı değerlendirilmiştir. Araştırma sonuçları, YZ tanı yönteminin ortalama %90,58 duyarlılık ve %96,07 özgüllükle yüksek bir performans sergilediğini göstermiştir. Araştırma, temel amaç doğrultusunda Ankara Etlik Şehir Hastanesi Göz Hastalıkları Polikliniği'ne başvuran 18 yaş ve üzeri 113 diyabetli hasta ile gerçekleştirilmiştir. Maliyetler, geri ödeme kurumu perspektifiyle hizmet başına ödeme yöntemi ve sağlık personelinin maliyetleri zamana dayalı faaliyet tabanlı maliyetleme yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Araştırmanın etkililik verileri ise EQ-5D-5L ölçeği aracılığıyla toplanmıştır. Araştırma bulgularına göre, YZ yöntemi 105.166 TL maliyetle 13.812 QALY değeri sağlarken oftalmolog yöntemi 106.121 TL maliyetle 13.794 QALY değeri sağlamıştır. Maliyet etkililik analizi sonucunda ICER değeri (-54.687 TL), belirlenen eşik değerlerin altında kaldığından ve ilave maliyet etkililik düzleminde güneydoğu kadranında yer aldığından DR'ye tanı koymada YZ yönteminin klasik yöntemle göre daha az maliyetli ve daha etkili olduğu bulunmuştur. Bununla birlikte INMB değerlerinin (6.388,71 TL ve 3.301,64 TL) belirlenen eşik değerlere göre pozitif olması YZ yönteminin klasik yöntemle göre maliyet etkili olduğunu göstermiştir. Araştırma, YZ uygulamalarının sağlık alanındaki potansiyelini vurgulayarak gelecekte DR'ye tanı koymada YZ yazılımlarının kullanılmasını önermektedir. Türkiye gibi gelişmekte olan ülkelerde yaşlı nüfus ve kaynak kısıtlılığı gibi sorunlarla başa çıkmak için YZ uygulamalarının sağlık sektöründeki potansiyelini artırmak, kronik hastalıkların erken tanı ve tedavisini sağlamak, dezavantajlı bölgelerde sağlık hizmetlerine erişimi kolaylaştırmak ve sağlık yönetimi ile ekonomisinde sağlık bilişim teknolojilerinin faydalarını ortaya koymak, uzun vadede sağlık hizmetlerinin kalitesini yükseltmeye yardımcı olacaktır.

Anahtar Sözcükler

Diyabetik Retinopati, Diyabetik Retinopati Tanı Yöntemleri, Yapay Zekâ, Konvolüsyonel Sinir Ağları, Maliyet Etkililik Analizi, Fundus Görüntüsü

ABSTRACT

ÇALIŞKAN SEYFELİ, Gülçin. *Cost-Effectiveness Analysis of Diabetic Retinopathy Diagnosis Methods*, Ph.D. Dissertation, Ankara, 2024

Artificial Intelligence (AI) tools are rapidly demonstrating their impact in the healthcare sector as in every part of lives. It is observed that AI technologies have significant effects in reducing costs, expanding access and improving quality in the field of health services. The importance of AI is increasing due to its faster and more accurate diagnosis of diseases, prevention of disease, and early treatment opportunities. One of the significant health problems observed in approximately 537 million people worldwide is diabetes. As the duration of diabetes increases, the risk of developing diabetic retinopathy (DR) also rises. Considering the increase in the prevalence of diabetes and the aging population, early diagnosis of DR is a fundamental requirement for diabetic patients to combat the complications of diabetes and to use resources effectively. In this context, the main purpose of the study is to analyze the cost-effectiveness of the AI diagnostic method and the classical diagnostic method (diagnosis by an ophthalmologist) in diagnosing and classifying DR. For this purpose, the analysis will be carried out with the Markov model. The second purpose of the study is to evaluate the DR diagnostic and classification performance of the AI software developed using convolutional neural networks. In line with the second purpose, 547 fundus images from 275 patients were obtained from the database of Ankara Etlik City Hospital, and the performance of the AI software in diagnosing and classifying DR was evaluated. The study results indicated that the AI diagnostic method performed a high performance with an average sensitivity of 90.58% and specificity of 96.07%. In accordance with the main purpose, the study was conducted with 113 diabetic patients aged 18 and over who accepted the study and applied to Ankara Etlik City Hospital Eye Diseases Polyclinic. Costs were determined from the perspective of the reimbursement institution using a method of payment per service and the time-driven activity-based costing method for healthcare personnel costs. The effectiveness data of the study were collected using the EQ-5D-5L scale. According to the study findings, the AI method provided 13,812 QALYs at a cost of 105.166 TL, while the ophthalmologist method provided 13,794 QALYs at a cost of 106.121 TL. As a result of the cost-effectiveness analysis, the AI method was found to be less costly and more effective than the classical method in diagnosing DR, since the ICER value (-54,687 TL) remained below the determined threshold values and was located in the south-east quadrant in the additional cost-effectiveness plane. However, the fact that the INMB values (6,388.71 TL and 3,301.64 TL) were positive according to the determined threshold values showed that the AI method was cost effective compared to the classical method. The research emphasizes the potential of AI tools in the field of healthcare and recommends the use of AI software in diagnosing DR in the future. In developing countries such as Turkey, increasing the potential of AI applications in the health sector to cope with problems such as aging population and resource constraints, providing early diagnosis and treatment of chronic diseases, facilitating access to health services in disadvantaged regions, and demonstrating the benefits of health information technologies in healthcare management and health economics will help improve the quality of health services in the long term.

Keywords

Diabetic Retinopathy, Diabetic Retinopathy Diagnostic Methods, Artificial Intelligence, Convolutional Neural Networks, Cost Effectiveness Analysis, Fundus Image

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY.....	i
YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI	ii
ETİK BEYAN.....	iii
TEŞEKKÜR SAYFASI	v
ÖZET	vi
ABSTRACT	vii
İÇİNDEKİLER.....	viii
KISALTMALAR DİZİNİ	xi
TABLolar DİZİNİ	xiii
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiv
GİRİŞ.....	1
1. BÖLÜM: DİYABETİK RETİNOPATİ	6
1.1. DİYABET.....	6
1.2. DİYABETİN GÖZ ÜZERİNDEKİ ETKİSİ.....	9
1.3. DİYABETİK RETİNOPATİ	10
1.3.1. Diyabetik Retinopatinin Evreleri.....	11
1.3.2. Diyabetik Retinopatinin Tanı ve Tedavisi.....	14
2. BÖLÜM: YAPAY ZEKÂ VE DERİN ÖĞRENME	21
2.1. YAPAY ZEKÂ VE YAPAY ZEKÂNIN UYGULAMA ALANLARI.....	21
2.2. DERİN ÖĞRENME.....	27
2.3. KONVOLÜSYONEL SİNİR AĞLARI (CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK)	31
2.3.1. Diyabetik Retinopati Sınıflandırması İçin Konvolüsyonel Sinir Ağı	34
2.4. EYECHECKUP YAPAY ZEKÂ YAZILIMI.....	39
2.4.1. Veri Kümesi ve Ön İşleme	40
2.4.2. Model Mimarisi ve Parametreleri:	40
2.4.3. Eğitim Süreci.....	40
2.4.4. Sınıflandırma	40
2.4.5. Performans Değerlendirme Metrikleri	41
2.4.6. Yazılım Geliştirme Süreci ve Tıbbi Uzmanlar:	43
3. BÖLÜM: EKONOMİK DEĞERLENDİRME YÖNTEMLERİ	45
3.1. MALİYET YARAR ANALİZİ (COST BENEFIT ANALYSIS).....	46
3.2. MALİYET FAYDA ANALİZİ (COST UTILITY ANALYSIS).....	47
3.3. MALİYET MİNİMİZASYON ANALİZİ (COST MINIMIZATION ANALYSIS).....	48

3.4. MALİYET ETKİLİLİK ANALİZİ (COST EFFECTIVENESS ANALYSIS)	48
3.4.1. Araştırma Problemi ve Perspektifin Belirlenmesi.....	49
3.4.2. Alternatif Müdahalelerin Açıklanması ve Sağlık Sonucu Ölçütünün Belirlenmesi	50
3.4.3. Maliyetlerin Belirlenmesi.....	51
3.4.4. İndirgeme.....	56
3.4.5. İlave Maliyet Etkililik Oranı.....	58
3.4.6. Duyarlılık Analizi	61
3.4.7. Bütçe Etki Analizi	63
3.4.8. Karar Analizi	63
3.5. YAPAY ZEKÂNIN MALİYET ETKİLİLİĞİ İLE İLGİLİ YAPILAN ÇALIŞMALAR	71
4. BÖLÜM: GEREÇ VE YÖNTEM	77
4.1. ARAŞTIRMANIN AMACI VE ÖNEMİ	77
4.2. ARAŞTIRMANIN HİPOTEZLERİ.....	80
4.3. ARAŞTIRMA EVRENİ	80
4.4. ARAŞTIRMANIN ETİK BOYUTU	81
4.5. ARAŞTIRMANIN VARSAYIMLARI	82
4.6. ARAŞTIRMANIN SINIRLILIKLARI.....	83
4.7. ARAŞTIRMANIN VERİ TOPLAMA SÜRECİ VE YÖNTEMİ.....	84
4.7.1. Maliyet Verilerinin Belirlenmesi.....	85
4.7.2. Etkililik Değerlerinin Tespiti.....	93
4.7.3. Maliyet Etkililiğinin Belirlenmesi.....	95
4.8. ARAŞTIRMA MODELİ.....	96
4.8.1. Markov Model Girdileri.....	99
4.9. DUYARLILIK ANALİZİ	103
4.10. TAHMİNİ BÜTÇE YÜKÜ ANALİZİ	105
5. BÖLÜM: BULGULAR	106
5.1. YAPAY ZEKÂ MODELİNİN PERFORMANS BULGULARI	106
5.2. ARAŞTIRMANIN TANIMLAYICI BULGULARI	111
5.3. YAPAY ZEKÂ VE KLASİK YÖNTEME İLİŞKİN MALİYET BULGULARI	123
5.4. ARAŞTIRMANIN ETKİLİLİK BULGULARI	128
5.5. ARAŞTIRMANIN MALİYET ETKİLİLİK ANALİZ BULGULARI	133
5.5.1. Temel Analiz Bulguları.....	133
5.5.2. İlave Maliyet Etkililik Düzlemi.....	138
5.5.3. Tek Yönlü Duyarlılık Analizi	140
5.5.4. Olasılıksal Duyarlılık Analizi.....	142
5.5.5. Tahmini Bütçe Yüğü.....	145

6. BÖLÜM: TARTIŞMA.....	148
SONUÇ VE ÖNERİLER	162
KAYNAKÇA	173
EK 1. ETİK KURUL İZİNİ	203
EK 2. EQ-5D-5L ÖLÇEĞİNİN KULLANIM İZNİ YAZISI	206
EK 3. ANKET FORMU VE EQ-5D-5L ÖLÇEĞİNİN TÜRKÇE VERSİYONU..	207
EK 4. URAL TELEKOMÜNİKASYON SANAYİ TİCARET LİMİTED ŞİRKETİNİN (EYECHECKUP YAZILIMI) BAKANLIK ONAYI YAZISI.....	213
EK 5. TEZ ORJİNALLİK RAPORU.....	215



KISALTMALAR DİZİNİ

ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
AHBS	: Aile Hekimi Bilgi Sistemi
CEAC	: Maliyet-Etkililik Kabul Edilebilirlik Eğrisi (Cost-Effectiveness Acceptability Curve)
CNN	: Konvolüsyonel Sinir Ağları (Convolutional Neural Networks)
DR	: Diyabetik Retinopati
DSÖ	: Dünya Sağlık Örgütü
EQ-5D	: European Quality of Life 5-Dimensions
EQ-5D-5L	: EuroQol-Five Dimensional-Five Level
FA	: Floresein Anjiyografi
FTM	: Faaliyet Tabanlı Maliyetleme
FN	: False Negative (Yanlış Negatif)
FP	: False Positive (Yanlış Pozitif)
GB2	: Genelleştirilmiş Beta Dağılımı (Second Kind)
GSYİH	: Gayrisafi Yurt İçi Hasıla
ICDR	: Uluslararası Klinik Diyabetik Retinopati
ICER	: Incremental Cost-Effectiveness Ratio
IDF	: Uluslararası Diyabet Federasyonu
İMEO	: İlave Maliyet Etkililik Oranı
INMB	: İlave Net Parasal Fayda (Incremental Net Monetary Benefit)
INR	: Hindistan Rupisi
MEA	: Maliyet-Etkililik Analizi
MFA	: Maliyet Fayda Analizi
MYA	: Maliyet Yarar Analizi
MHRS	: Merkezi Hekim Randevu Sistemi
MMA	: Maliyet-Minimizasyon Analizi
NNT	: Tedavi Edilmesi Gereken Kişi Sayısı (Number Needed to Treat)
NO DR	: DR yok (Diyabetik Retinopati yok)
OECD	: Ekonomik Kalkınma ve İş Birliği Örgütü (Organisation for Economic Co-operation and Development)
OCT	: Optik Koherens Tomografi
OCTA	: Optik Koherens Tomografi Anjiyografi
PSA	: Olasılıksal Duyarlılık Analizi (Probabilistic Sensitivity Analysis)
PDR	: Proliferatif Diyabetik Retinopati
QALY	: Kaliteye Ayarlı Yaşam Yılı (Quality-Adjusted Life Year)
RNN	: Tekrarlayan Sinir Ağları (Recurrent Neural Networks)
RVO	: Retinal Ven Oklüzyonu
ResNet	: Residual Neural Network
RCT	: Rastgele Kontrollü Denemeler (Randomized Controlled Trial)
TİTCK	: Türkiye İlaç ve Tıbbi Cihaz Kurumu

TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
VAS	: Görsel Analog Ölçeği (Visual Analogue Scale)
VTDR	: Görmeyi Tehdit Eden Diyabetik Retinopati (Vision Threatening Diabetic Retinopathy)
WHO	: World Health Organization
WESDR	: Wisconsin Diyabetik Retinopati Epidemiyolojik Çalışması (Wisconsin Epidemiological Study of Diabetic Retinopathy)
YBMD	: Yaşa Bağlı Maküla Dejenerasyonu
YZ	: Yapay Zekâ
ZDFTM	: Zamana Dayalı Faaliyet Tabanlı Maliyetleme



TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 1. Diyabetik Retinopati Hastalık Şiddet Ölçeği ve Uluslararası Klinik Diyabetik Retinopati (ICDR) Hastalık Şiddet Ölçeği	13
Tablo 2. EyeCheckup Yazılımın Duyarlılık ve Özgüllük Değerleri	43
Tablo 3. DR'ye Tanı Koymada ve DR Tedavisinde Gerçekleştirilen İşlemler ...	87
Tablo 4. DR Tanı Sürecinde Oftalmolog ve YZ'nin Faaliyet Merkezinde Gerçekleştirilen Faaliyetler ve Zaman Dağılımları	91
Tablo 5. Diyabetik Retinopati Geçiş Olasılıkları	99
Tablo 6. Markov Model Parametreleri	102
Tablo 7. Yapay Zekâ Modelinin Göz Düzeyinde DR Sınıflama Performansına Ait Genel Bulguları	110
Tablo 8. Diyabet Tanısı Almış Hastaların Sosyodemografik Bulguları	113
Tablo 9. Diyabetli Bireylerde Yaşam Tarzı ve Sağlık Durumuna İlişkin Bulgular	114
Tablo 10. DR Evrelerine Göre Hastaların Sosyodemografik Bulguları (Yaş) ..	116
Tablo 11. DR Evrelerine Göre Hastaların Sosyodemografik Bulguları (Cinsiyet)	117
Tablo 12. DR Evrelerine Göre Hastaların Sosyodemografik Bulguları (Eğitim Durumu)	118
Tablo 13. DR Evrelerine Göre Hastaların Sosyodemografik Bulguları (Çalışma Durumu)	119
Tablo 14. DR Evrelerine Göre Hastaların Sosyodemografik Bulguları (Gelir Düzeyi)	120
Tablo 15. DR Evrelerine Göre Hastaların Yaşam Tarzı ve Sağlık Durumuna İlişkin Bulgular	122
Tablo 16. Geri Ödeme Kurumu Perspektifinden Oftalmolog ve YZ Yöntemlerinin DR'yi Tanı ve Tedavi Etme Maliyeti	124
Tablo 17. Zamana Dayalı Faaliyet Tabanlı Maliyetleme Yöntemi ile Oftalmolog ve YZ Yöntemlerinin DR'ye Tanı Koyma Maliyeti	126
Tablo 18. DR Evrelerine Göre YZ ve Oftalmolog Tarafından Tanı Koymanın Toplam Maliyeti	127
Tablo 19. DR Sağlık Durumlarına Göre EuroQol Beş Boyutunun (EQ-5D-5L) Sıklığı ve Yüzdesi	129
Tablo 20. DR Evrelerine Göre Hastaların Yaşam Kalitesi Değerleri	130
Tablo 21. Maliyet Etkililik Analiz Sonuçları	135
Tablo 22. Tahmini Bütçe Yüğü	147

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. 20-79 Yaş Grubundaki Küresel Diyabet Prevalansına İlişkin Milyon Cinsinden Tahminleri.....	8
Şekil 2. Fundus Görüntüleri Üzerinden ICDR Seviyeleri	16
Şekil 3. Yapay Zekâ, Makine Öğrenmesi ve Derin Öğrenme Arasındaki İlişki ..	23
Şekil 4. Makine Öğrenimi ve Derin Öğrenme Yaklaşımlarının Karşılaştırılması	24
Şekil 5. Yapay Sinir Ağ Katmanları.....	28
Şekil 6. CNN Mimarisi.....	32
Şekil 7. Maliyet Etkililik Düzlemi	59
Şekil 8. Basit Karar Ağacı Örneği.....	66
Şekil 9. Basit Markov Modeli	68
Şekil 10. Araştırma Modeli.....	98
Şekil 11. Eşlik Eden Kronik Hastalıklarının Dağılımı	116
Şekil 12. No DR Evresi VAS Skoru	131
Şekil 13. Hafif NPDR Evresi VAS Skoru.....	132
Şekil 14. Orta NPDR Evresi VAS Skoru	132
Şekil 15. VTDR Evresi VAS Skoru	133
Şekil 16. Maliyet Etkililik Diyagramı (GB2)	136
Şekil 17. Maliyet Etkililik Saçılım Grafiği (GB2)	137
Şekil 18. İlave Maliyet Etkililik Düzlemi.....	140
Şekil 19. Tornado Diyagramı-İMEO.....	141
Şekil 20. İlave Maliyet Etkililik Saçılım Grafiği	143
Şekil 21. Maliyet Etkililik Kabul Edilebilirlik Eğrisi (İMEO).....	144
Şekil 22. Maliyet Etkililik Kabul Edilebilirlik Eğrisi (INMB).....	145

GİRİŞ

Diyabet, tüm dünyada artış gösteren önemli bir halk sağlığı sorunudur. Uluslararası Diyabet Federasyonu (IDF), dünya genelinde 2021 yılında 537 milyon diyabet hastalığına sahip kişi olduğunu, 2045 yılında ise bu sayının 783 milyona yükseleceğini belirtmiştir. 2011 ile 2021 yılları arasında Türkiye'deki diyabetli hasta sayısında yaklaşık %150 oranında kayda değer bir artış gözlemlenmiş olup 2021 yılı itibarıyla diyabetli hasta sayısı 9 milyona ulaşmıştır. Bununla birlikte Türkiye'de 2045 yılında diyabetli hasta sayısının yaklaşık 13 milyon olması beklenmektedir (IDF, 2021).

Diyabet vücuttaki göz, böbrek, kalp gibi birçok farklı organ sistemini etkileyebilmekte ve zamanla ciddi komplikasyonlara yol açabilmektedir. Diyabetik retinopati (DR), diyabetin neden olduğu gözdeki en ciddi komplikasyon olup görmeyi tehdit eden önemli bir durumdur (Antar vd., 2023). Diyabetin süresi uzadıkça kişilerin DR geliştirme olasılığı da önemli ölçüde artmaktadır (Gelcho & Gari, 2022). DR, dünya genelinde çalışma çağındaki bireylerde körlüğün başlıca nedeni olarak kabul edilmektedir (Kropp vd., 2023). 20 yıllık diyabet süresi sonunda, Tip 1 diyabetli bireylerin neredeyse tamamı ve Tip 2 diyabetli bireylerin %60'ından fazlası, DR'ye dair belirtiler göstermektedir (Eid vd., 2019). Son yapılan bir meta-analiz çalışması, diyabetli bireylerde DR prevalansının %22,27 civarında olduğunu göstermektedir. 2020 yılı itibarıyla dünya genelinde yaklaşık 103 milyon insanın DR'ye sahip olduğu tahmin edilmiş ve bu sayının 2045 yılına kadar yaklaşık 161 milyona çıkması beklenmektedir (Teo vd., 2021). Türkiye'de gerçekleştirilen araştırmalar ise DR'nin prevalansının %22 ile %32 arasında değiştiğini ortaya koymakta, bu durum Türkiye'deki diyabet hastalarının göz sağlığı açısından önemli bir tehdit oluşturduğunu göstermektedir (Acan vd., 2018; İdil vd., 2001; Taş, 2005).

Yüksek kan şekeri seviyelerinin kontrol altına alınmaması, retina üzerinde ilerleyici hasara yol açarak görme kaybına neden olmaktadır. Bu nedenle DR'nin erken tespiti, retina hasarını önlemek için son derece önem arz etmektedir (Elsharkawy vd., 2022). Erken tanı bireylerin yaşam kalitesini artırmak, hastada görme kaybını engellemek ve sağlık sistemine olan yükü azaltmak açısından kritik öneme sahiptir.

Göz doktorları tarafından yapılan genişletilmiş göz dibi (fundus) muayenesi, DR teşhisi ve DR geliştirme riski taşıyan hastaların takibi için altın standart yöntem olarak kabul edilmektedir. Ancak kaynakların sınırlı olduğu ortamlarda göz sağlığı uzmanlarına erişimdeki zorluklar nedeniyle yıllık muayenelerin uygulanması mümkün olmayabilir (Lin vd., 2024; Resnikoff vd., 2012). Bu nedenle yeni tanı yöntemlerinin geliştirilmesi büyük bir önem taşımaktadır. Alternatif yaklaşımlar, daha hızlı ve erişilebilir çözümler sunarak hastaların erken tanı ve tedavi süreçlerini iyileştirebilmektedir.

Diyabet ve komplikasyonlarının artışıyla birlikte, DR tanısında yenilikçi yaklaşımlar öne çıkmaktadır. Tele-oftalmoloji, göz tarama süreçlerini uzaktan sağlık hizmetleri aracılığıyla daha erişilebilir hale getirirken akıllı telefon tabanlı fotoğrafçılık retinal görüntüleme için pratik bir çözüm sunmaktadır. Özellikle yapay zekâ (YZ) ve derin öğrenme algoritmaları, retinal görüntülerin analizinde DR'nin erken evrelerini yüksek hassasiyetle tespit edebilme kapasitesine sahiptir (Kapa vd., 2024).

Son yıllarda YZ'nin hızla gelişimi, DR taraması ve tanısı için yeni fırsatlar sunmaktadır. DR tespitinde YZ tabanlı tanı sistemleri, yüksek verimlilik ve doğruluk sunmakta, insan kaynaklarına olan talebi azaltmakta ve bu nedenle sağlık hizmetlerinin kalitesini artırma potansiyeli taşımaktadır (Li vd., 2022). Derin öğrenme algoritmaları, özellikle konvolüsyonel sinir ağları (CNN), fundus görüntülerinden önemli özellikleri çıkarmada ve bunları farklı DR evrelerine göre sınıflandırmada etkili bir şekilde kullanılmaktadır. Bu derin öğrenme tabanlı teknikler, geleneksel göz muayenelerinin zaman alıcı ve maliyetli yapısını aşarak

sınırlı kaynaklara sahip ortamlarda DR taramasına erişimi artırma imkânı sunmaktadır. YZ tabanlı bu yöntemler, uzman doktorların duyarlılık ve doğruluk seviyelerine eşit veya daha iyi sonuçlar göstererek sağlık hizmetlerinin kalitesini artırma potansiyeli taşımaktadır (Sathwik vd., 2023). Bu bağlamda Amerika Birleşik Devletleri (ABD) Gıda ve İlaç Dairesi (FDA), 2018 yılında DR'yi tespit edebilen IDx-DR ve 2020 yılında EyeArt adlı iki otonom YZ sistemini onaylamıştır. IDx-DR, %87 duyarlılık ve %90 özgüllükle hafif ve daha ileri evre DR tespiti yaparken EyeArt sistemi %96 duyarlılık ve %88 özgüllükle DR'yi tespit edebilme yeteneğine sahiptir (Lim vd., 2022).

DR, sağlık sistemi üzerinde önemli bir yük oluşturarak maliyetleri artırmaktadır. Örneğin, Hindistan'da yapılan bir çalışmaya göre, 40 yaş ve üzerindeki diyabetli bireyler için yıllık tarama ve göz muayenesi maliyetlerinin yaklaşık 42.3 milyar INR (Hindistan rupisi) seviyesinde olduğu tahmin edilmiştir (Redding vd., 2023). DR'ye sahip hastalar, daha fazla uzman ziyareti, kapsamlı göz muayeneleri ve hastaneye yatış gibi hizmetlere ihtiyaç duymaktadır. Bu durum ise sağlık hizmeti tüketiminde belirgin bir artışa yol açmaktadır. Bununla birlikte DR'nin ilerlemesiyle sağlık hizmetleri maliyetleri artmakta ve ileri evre DR hastaları, hafif DR evrelerindeki hastalara göre yaklaşık 10 kat daha fazla maliyet oluşturmaktadır (Shaikh vd., 2019).

Yaşlanan nüfus, kronik hastalıkların artan yükü ve küresel olarak artan sağlık hizmetleri maliyetleri, hükümetleri, ödeyicileri, düzenleyicileri ve sunucuları sağlık hizmeti sunum modellerinde yenilik yapmaya ve dönüştürmeye zorlamaktadır (Bajwa vd., 2021). YZ, sağlık sistemi üzerindeki yükü hastalıkların tanısında önemli ölçüde azaltma potansiyeline sahiptir. YZ teknolojileri DR tanısını hızlı bir şekilde sağlayabilir ve sağlık sisteminin yükünü azaltabilir (Rajalakshmi vd., 2021).

Sağlık teknolojilerinin hızlı bir şekilde gelişmesi, sağlık sistemleri için yeni fırsatlar ve zorluklar yaratmaktadır. Ancak bu yeni teknolojilerin sağlık ekonomisi üzerindeki etkileri her zaman net değildir. Sağlık teknolojisi değerlendirmesi, bu belirsizlikleri gidermek ve sağlık müdahalelerinin değerini belirlemek için kritik bir araçtır. Sağlık teknolojisi değerlendirmesi, karar vericilere politika oluşturmak için somut veriler sunmaktadır (WHO, 2024a).

Türkiye’de DR prevalansı göz önüne alındığında DR, sağlık ekonomisi üzerinde önemli bir yük oluşturmaktadır. Bu durum, DR’nin tanı ve tedavi maliyetlerinin daha iyi anlaşılmasına yönelik araştırma ihtiyacını ortaya koymaktadır. Türkiye’de hastalık tanısında YZ teknolojilerinin maliyet etkililiğini değerlendiren çalışmalara literatürde ulaşılamamıştır. Bu durum, YZ teknolojilerinin sağlık alanındaki potansiyel faydalarının göz ardı edilmesine yol açmakta ve bu alandaki gelişmelerin hızını yavaşlatmaktadır. Ayrıca sağlık politikalarının oluşturulması ve kaynakların etkin kullanımı açısından sağlık teknolojisi değerlendirmesi büyük önem taşımaktadır.

Gelecekte sağlık politikalarının belirlenmesi ve sağlık teknolojisinin değerlendirilmesi açısından DR’ye yönelik YZ destekli tanı yöntemlerinin maliyet etkililiği üzerine yapılacak çalışmalar, yalnızca hastaların tedavi süreçlerini iyileştirmekle kalmayacak aynı zamanda sağlık sisteminin sürdürülebilirliğine de katkıda bulunacaktır. Bu nedenle Türkiye’de bu alanda yapılacak araştırmalar, sağlık politikalarının şekillendirilmesinde kritik bir rol oynayacaktır. Bu kapsamda bu tez çalışmasının amacı, Türkiye’de DR tanısında, oftalmolog (göz hekimi) tarafından yapılan değerlendirme ile YZ teknolojileri tarafından yapılan değerlendirmenin maliyet etkililiğinin incelenmesidir.

Araştırmanın birinci bölümünde diyabetin tanımı, toplumdaki yaygınlığı, göz üzerindeki etkileri ve DR’nin tanı ve tedavisi ile ilgili konular ele alınmıştır. İkinci bölümde YZ ve derin öğrenmenin temel prensipleri üzerinde durularak derin öğrenme alanındaki önemli tekniklerden biri olan konvolüsyonel sinir ağlarının nasıl çalıştığı ve görüntü işleme alanındaki uygulamaları açıklanmıştır. Bununla

birlikte ikinci bölümde bu tez kapsamında kullanılacak olan YZ tabanlı EyeCheckup yazılımı hakkında bilgi verilmiştir. Üçüncü bölümde ekonomik değerlendirme yöntemlerinden bahsedilerek bu tez kapsamında kullanılan maliyet etkililik analizi daha detaylı bir şekilde incelenmiştir. Dördüncü bölümde ise araştırmanın amacı, modeli, hipotezleri, veri toplama yöntemleri, varsayımları ve kısıtlılıkları ayrıntılı bir şekilde belirtilmiş, ardından beşinci bölümde yapılan analizler sonucunda ortaya çıkan bulgular detaylı bir şekilde aktarılmıştır. Son bölümde ise elde edilen bulgular tartışılarak konuya dair çeşitli konuya yönelik çeşitli öneriler ifade edilmiştir.



1. BÖLÜM

DIYABETİK RETİNOPATİ

Bu bölümde diyabet kavramı, diyabetin toplumda ne kadar sık görüldüğü, diyabetin göze olan etkileri, diyabetik retinopati kavramı ve evreleri, diyabetik retinopatinin nasıl tanı ve tedavi edildiği gibi konular ele alınmıştır.

1.1. DİYABET

İnsanlık tarihinin bilinen en eski hastalıklarından biri olan diabetes mellitus, şeker hastalığı ya da kısaca diyabet, kan şekeri seviyelerinin sürekli olarak yüksek olmasıyla ortaya çıkan metabolik bir hastalıktır. Pankreasın beta hücreleri, insülin adı verilen bir hormon üretir. Bu hormon, hücrelere glukozun emilimini sağlamakta ve enerji üretimine yardımcı olmaktadır. Diyabet, insülin salgılamındaki bozukluklar, insülin etkisindeki bozukluklar veya her ikisi nedeniyle ortaya çıkan hiperglisemiyle karakterize edilen metabolik bir hastalıktır (Banday vd., 2021; Gülsün & Şahin, 2017; Tan vd., 2019).

Diyabetin birçok türü olmasına rağmen en çok görülen türleri Tip 1 ve Tip 2 diyabettir (van Wilpe vd., 2023). Tip 1 diyabet, bağışıklık sisteminin vücut dokularına saldırması sonucu pankreasın insülin üretme yeteneğini kaybetmesiyle karakterize edilen bir hastalıktır. Bu durumda, vücutta insülin eksikliği ortaya çıkmaktadır. Başka bir ifadeyle insülin üreten pankreasın beta hücrelerinin otoimmün nedenlerle tahrip edilmesi mutlak insülin eksikliğine yol açmakta bu durum da Tip 1 diyabet olarak adlandırılmaktadır (American Diabetes Association, 2019). Tip 1 diyabet vakaların yaklaşık %10'unu oluşturmakta ve büyük oranda çocukları ve gençleri etkilemektedir (Skarbez vd., 2010). Tip 2 diyabet ise insülin direnci ve göreceli olarak insülin eksikliği ile ilişkilidir (Olokoba vd., 2012). Tip 2 diyabet, pankreasın beta hücrelerinin yeterince insülin üretememesi ve dokuların insüline karşı duyarlılıklarının azalması (insülin direnci) olarak tanımlanan bir hastalıktır (Roden & Shulman, 2019). Bu diyabet tipinde, ilk olarak hücrelerin insüline karşı direnç göstermesi sonucu kan şekeri

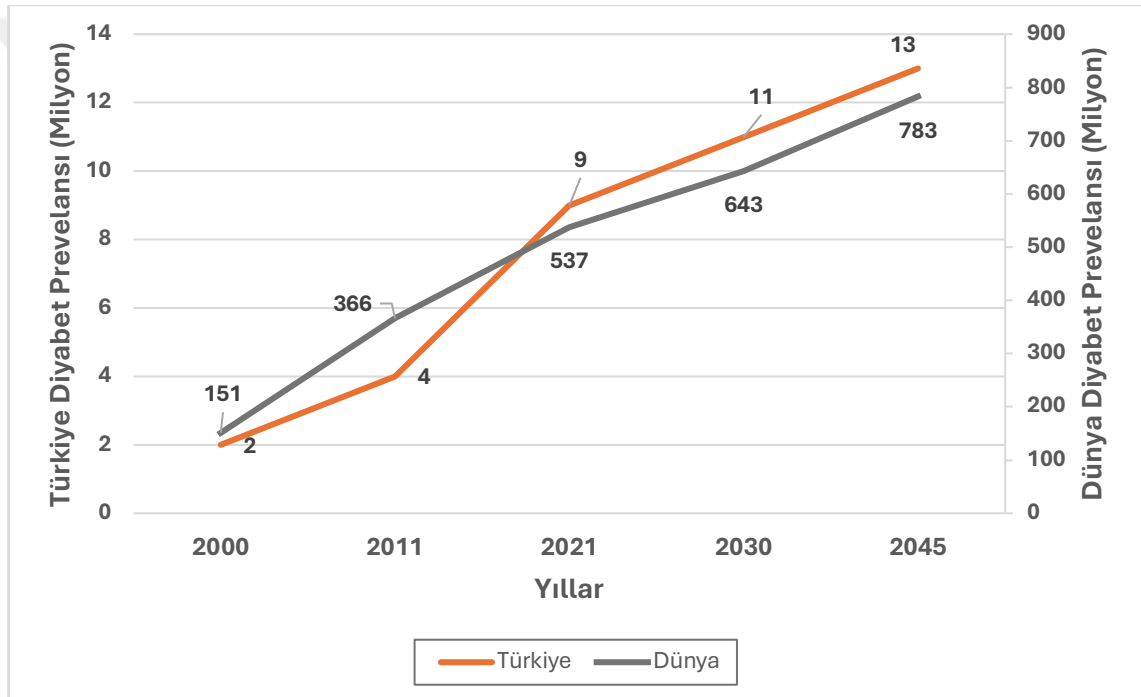
yükselmektedir. İnsülin direnci ile insülin hormonu daha az etkili hale gelmekte ve zamanla insülin seviyesini artırmaktadır. Ancak pankreasın beta hücrelerinin, artan ihtiyaca karşılık yeterli miktarda insülin üretememesi sonucu insülin eksikliği gelişebilmektedir. Kısacası Tip 2 diyabet, hücrelerin insüline karşı direnci ve bunun sonucunda ortaya çıkan yetersiz insülin üretimiyle ilişkilidir (IDF, 2021).

Tip 2 diyabet, tüm diyabet vakalarının büyük çoğunluğunu (%90-95 ve üzeri) oluşturmaktadır. Düzenli egzersiz, sağlıklı beslenme, ideal vücut ağırlığını koruma ve tütün kullanımından kaçınma gibi önlemler, Tip 2 diyabetin başlangıcını önlemekte veya geciktirmektedir (IDF, 2021; WHO, 2023a). Tip 2 diyabet, insan hayatı ve sağlık harcamaları üzerinde önemli bir etkiye sahip ciddi bir halk sağlığı sorunu olarak kabul edilmektedir. Hızlı ekonomik gelişme ve kentleşme, dünyanın birçok bölgesinde diyabet yükünün artmasına neden olmuştur (Khan vd., 2020).

Dünyada diyabetli kişi sayısı her geçen gün artmakta ve diyabet, bireylerin fonksiyonel kapasitelerini ve yaşam kalitesini etkileyerek önemli hastalıklara ve erken ölümlere yol açmaktadır. Dünya Sağlık Örgütü (2023) verilerine göre 1980 yılında diyabetli insan sayısı 108 milyon iken, 2014 yılında bu rakam 422 milyona yükselmiştir. Diyabetin yaygınlığı, yüksek gelirli ülkelerden ziyade düşük ve orta gelirli ülkelerde daha hızlı bir artış göstermektedir. 2000 ile 2019 yılları arasında, yaşa bağlı olarak diyabete bağlı ölüm oranlarında %3 seviyesinde bir artış gözlenmiştir (WHO, 2023a).

Şekil 1 Türkiye ve dünya genelinde 20-79 yaş aralığındaki bireylerin diyabet prevalansını ve gelecekteki projeksiyonlarını göstermektedir. Uluslararası Diyabet Federasyonu verileri 2021 yılında dünya genelinde 537 milyon kişinin diyabet ile yaşadığını göstermekte ve bu durum her 10 kişiden birinin diyabetli olduğu anlamına gelmektedir. Verilere göre, 2030 yılında 643 milyon kişinin, 2045 yılında ise 783 milyon kişinin diyabetli olması beklenmektedir. Diyabet hastalığı yüksek oranda düşük ve orta gelirli ülkelerde görülmektedir. Sağlık alanında önemli sonuçlar doğuran diyabet, 2021 yılında 6,7 milyon ölüme neden olmuştur.

Bu durum dünyada diyabete bağılı olarak her beş saniyede bir ölüm gerçekleştiğini göstermektedir. Ayrıca son 15 yılda sağlık harcamalarında ciddi bir artışa neden olan diyabet hastalığı, en az 966 milyar dolarlık bir maliyeti beraberinde getirmiştir. Şekil 1'e göre, Türkiye'deki diyabetli hasta sayısı 2000 yılında 2 milyon iken, 2011 yılında 4 milyona yükselmiştir. 2021 yılında ise ciddi bir artış göstererek bu rakam 9 milyona çıkmıştır. Öngörülere göre, 2030 yılında Türkiye'de diyabetli hasta sayısının 11 milyon, 2045 yılında ise 13 milyon olması beklenmektedir. Bu veriler, Türkiye'de ve dünyada diyabetin hızla arttığını ve önemli bir sağlık sorunu olduğunu göstermektedir.



Şekil 1. 20-79 Yaş Grubundaki Küresel Diyabet Prevalansına İlişkin Milyon Cinsinden Tahminleri

Kaynak: IDF Diyabet Atlası 10. Baskı

Diyabet zamanla kalp, kan damarları, gözler (körlük), böbrekler ve sinir sistemi gibi birçok organ ve dokuda ciddi hasarlara neden olabilmektedir (WHO, 2023a). Diyabetin erken teşhis edilmesi ve yönetilmesi, böbrek hastalığı, retinopati, nöropati ve kardiyovasküler hastalıklar gibi potansiyel komplikasyonları önlemek

veya geciktirmek açısından büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle diyabetin erken aşamalarında müdahale edilmesi ve etkili bir şekilde yönetilmesi gerekmektedir.

Diyabet ve özellikle diyabetin komplikasyonlarının sağlık harcamaları üzerindeki ekonomik etkisi uzun zamandır bilinmektedir. Son yapılan çalışmalarda hastane yatışlarının bu etkiyi artırdığı görülmüştür (Parker vd., 2024). Diyabetin neden olduğu komplikasyonlar ve bunların tedavisine yönelik sunulan sağlık hizmetleri, diyabet hastalarının maliyetlerini artırmaktadır. Diyabet hastalarının hastane yatışlarına bağlı olarak yapılan harcamalar, diyabetin toplam sağlık harcamalarına olan etkisini artırmaktadır. Diyabetin çeşitli komplikasyonları, önleyici tedbirlerle azaltılabilir veya etkileri minimize edilebilir. Bu durum, ekonomik yükün önemli ölçüde azaltılmasına ve kaynakların diğer sağlık politikalarına yönlendirilmesine olanak sağlayabilir. Bununla birlikte Bonilla vd. (2016) tarafından yapılan bir çalışma sosyoekonomik dezavantajın da Tip 2 diyabet gelişimindeki rolüne işaret etmiştir. Düşük sosyoekonomik statüye sahip bireyler arasında Tip 2 diyabetin görülme sıklığının sürekli olarak artması diyabetin öncelikli olarak dezavantajlı kesimleri etkilediğinin bir göstergesidir. Diyabetin önlenmesi için sosyoekonomik müdahalelere öncelik verilmesi hem bireysel hem de toplumsal sağlığı iyileştirme potansiyeline sahiptir (Bonilla vd., 2016). Sonuç olarak diyabet ve komplikasyonlarının maliyetinin azaltılması için hem tıbbi hem de sosyal faktörlerin göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

1.2. DİYABETİN GÖZ ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

Diyabet, yüksek kan şekeri seviyeleri nedeniyle göz sağlığı üzerinde ciddi etkilere sebep olan bir hastalıktır. Kısa vadede, görme kaybı riski düşüktür ancak kan şekerinin kontrolsüz kalması uzun vadede görme kaybına yol açabilmektedir (NIH, 2017). Diyabet hem ön hem de arka segment dokuları etkileyerek pek çok komplikasyona yol açma potansiyeline sahiptir. Bununla birlikte diyabet göz kuruluşuna ve kornea yapısında bozukluklara yol açmaktadır. Bu bozukluklar gözde rahatsızlık yaratabilmektedir. Diyabetli bireylerde sık görülen sorunlar

arasında, kornea epitelindeki (koruyucu hücre tabakası) hücrelerin zayıflaması ve kolayca yırtılması sonucu oluşan iltihaplanmalar ve yaralanmalar yer almaktadır. Diyabet ayrıca lens dokusunda bulanıklık ve katarakt oluşum hızını artırmaktadır. Diyabete bağlı olarak iris ve görme sinirinde yeni damar oluşumları görülebilmektedir. Görme sinirindeki hasarlar optik nöropatiye, ön göz sinir hasarı ise optik sinir iltihaplanmasına yol açmaktadır. Bu durumlar diyabetli bireylerde göz üzerinde genellikle karşılaşılan sinirsel sorunlardır. Ayrıca diyabet göz içindeki basıncı artırarak göz tansiyonu (glokom) riskini de yükseltmektedir. Diyabetin en belirgin etkilerinden biri ise retinada hasara ve retinopatinin gelişimine yol açmasıdır (Lutty, 2013; Shih vd., 2017; Skarbez vd., 2010). Kısaca diyabet, gözde pek çok komplikasyona yol açarak görme fonksiyonunu olumsuz etkilemektedir. Diyabet, retinada hasar ve retinopati gelişimine neden olarak görme kaybının en yaygın sebeplerinden birini oluşturmaktadır (CDC, 2022). Bu nedenle diyabet hastalarının düzenli göz muayeneleri yaptırması ve kan şekeri seviyelerini kontrol altında tutması önemlidir.

1.3. DİYABETİK RETİNOPATİ

Gözde diyabetin en yaygın görülen komplikasyonu Diyabetik Retinopati'dir (DR) (Wang & Lo, 2018). DR, diyabetin uzun süreli etkilerine bağlı olarak ortaya çıkan mikrovasküler (küçük kan damarları) bir hastalıktır ve her iki gözün retina tabakasında bulunan küçük kan damarlarını etkilemektedir. DR, diyabetin neden olduğu gözün sinir tabakasında (retina) meydana gelen hasarları ifade etmektedir. Bu hasarlar DR'nin erken evresinde mikroanevrizma (küçük yerel genişlemeler), mikrohemoraji (küçük kanamalar), ve eksuda (retina damarlarında sıvı ya da kan sızdırması) gibi lezyonlar şeklinde görülmektedir. Fakat hastalığın ileri evrelerinde kanama ve yeni damarların (neovaskülarizasyon) oluşması gibi durumlar meydana gelebilmekte ve bu durum körlüğe neden olabilmektedir (Amorim vd., 2021). Kısaca DR, diyabetin bir komplikasyonu sonucunda gözün arka kısmındaki ışığa duyarlı doku olan retinada bulunan küçük kan damarlarında meydana gelen hasarlara bağlı olarak gelişen bir göz rahatsızlığıdır. Retinada yer alan mikrovasküler yapının bozulması sonucu ortaya çıkan bu rahatsızlık, kişinin görme yeteneğini tehdit etmektedir (Ağca & Takcı, 2022).

DR, diyabetli tüm insanların üçte birinden fazlasını etkilemektedir. DR, 50 yaş üzerindeki kişilerde körlüğün en yaygın nedenidir (Lutty, 2013). Mevcut verilere göre, 40 yaş ve üzeri tüm diyabetli bireyler arasındaki retinopati prevalans oranı %34,6 olarak tahmin edilmektedir. Bu oran dünya genelinde yaklaşık 93 milyon kişiyi kapsamaktadır. Görmeyi tehdit eden (vision-threatening) DR'nin yaygınlık oranını %10,2 tahmin edilmekte ve dünya çapında yaklaşık 28 milyon kişiyi etkilediği düşünülmektedir (Flaxel vd., 2020). Araştırmalar, diyabet hastalarının yaklaşık %50'sinin 10 yıl sonra herhangi bir derecede retinopati geliştireceğini göstermektedir. 15 yıl sonra ise diyabet hastalarının %80'inde retinopati tespit edilmektedir ve bu hastaların yaklaşık %2'si kör olurken %10'u ciddi görme bozukluklarına sahip olmaktadır (WHO, 2017). Tip 1 diyabetli hastalarda, hastalığın başlamasından 10-15 yıl sonra hastaların %25-50'sinde retinopati belirtileri gözlenmektedir. Bu prevalans, 15 yıl sonra %75-95'e kadar yükselmekte ve 30 yıllık diyabet sürecinden sonra neredeyse %100'e ulaşmaktadır. Tip 2 diyabetli hastalarda ise hastalık süresi ile retinopati görülme sıklığı artmaktadır. 11-13 yıl sonra Tip 2 diyabetli hastaların %23'ünde, 16 yıl sonra ise %60'ında nonproliferatif diyabetik retinopati (NPDR) tespit edilmektedir (Negi & Vernon, 2003). Diyabetin en yaygın mikrovasküler komplikasyonu olan DR durumunda bütün hastalar önemli bir görme kaybına maruz kalmasa da DR görme kaybının önde gelen sebebidir. Bu sebeple DR'nin klinik bulgularının değerlendirilmesinde, retinada meydana gelen kanamalar, yeni damar oluşumları ve mikroanevrizma gibi belirtilerin varlığına bakılmaktadır (Selçuk, 2020). Belli bir aşamaya gelene kadar retina taraması olmadan fark edilemeyen DR'nin erken tanısı, hastanın görme kaybının engellenmesinde kritik bir rol oynamaktadır (Türkmen, 2021).

1.3.1. Diyabetik Retinopatinin Evreleri

DR'nin sınıflandırılması, tedavi ve takip için doğru yöntem ve zamanlamayı seçmede önemli olmaktadır. İlk olarak 1976'da Airlie House Sempozyumu'nda DR'nin sınıflandırılmasını Early Treatment Diabetic Retinopathy Study (ETDRS) grubu yapmıştır. Klinik bulgular, DR'nin sınıflandırılmasında altın standart olarak kabul görmektedir. ETDRS, DR'yi nonproliferatif (NPDR) ve proliferatif (PDR) olmak üzere iki ana kategoriye ayırmıştır. Non-proliferatif diyabetik retinopati

(NPDR) retinada yeni damar oluşumunun olmadığı evredir. Proliferatif diyabetik retinopati (PDR) ise retinada ve/veya optik disk üzerinde ve çevresinde yeni damar oluşumunun görüldüğü ileri evredir. NPDR, hafif, orta ve şiddetli şeklinde alt kategorilere; PDR ise erken ve yüksek riskli şeklinde alt kategorilere ayrılmıştır (ETDRS, 1991). ETDRS altın standart olsa da uygulama karmaşıklığı ve teknik sınırlamalar nedeniyle Uluslararası Klinik Diyabetik Retinopati (ICDR) gibi alternatif derecelendirme sistemleri de DR'nin sınıflandırılmasında kullanılmaktadır.

2002 yılında ETDRS ve Wisconsin Diyabetik Retinopati Epidemiyolojik Çalışma (WESDR) verileri ve sınıflandırma sistemlerinden yola çıkarak uluslararası bir çalıştayda ICDR şiddet ölçeği geliştirilmiştir. Bu çalıştay, 2001'de Amerikan Oftalmoloji Akademisi Yıllık Toplantısı'nda beş ülkenin temsilcilerinin katılımıyla gerçekleştirilmiştir. ICDR şiddet ölçeği, ETDRS şiddet ölçeğinin 14 seviyesini 5 seviyeye indirgeyerek kullanım kolaylığı sağlamakta ve dünya genelinde en yaygın kullanılan sınıflandırma sistemi olarak kabul edilmektedir (Yang vd., 2022). Tablo 1'de DR şiddet seviyeleri tanımlanmış ve her seviye için gözlemlenebilecek klinik bulgular ICDR şiddet ölçeğine ve ABD ölçeğine göre listelenmiştir. Tablo 1'e göre No DR evresinde herhangi bir anomali bulunmazken Hafif NPDR evresinde en az bir mikroanevrizma görülür. Orta NPDR evresi, hafif NPDR'den daha şiddetli ancak şiddetli NPDR'den daha az şiddetlidir. Şiddetli NPDR evresinde ise şiddetli retina içi kanamalar, mikroanevrizmalar, belirgin venöz damar şişkinlikleri veya orta derecede retina içi mikrovasküler anomaliler bulunmaktadır. Proliferatif Diyabetik Retinopati (PDR) evresinde ise yeni damarsal oluşumlar veya vitreöz sıvı/preretinal kanama görülebilmektedir. Tablo 1'de NPDR ve PDR evreleri ile ilgili göz dibi muayenesi yapılırken ortaya çıkabilecek durumlarla ilgili daha ayrıntılı bilgiler yer almaktadır.

Tablo 1. Diyabetik Retinopati Hastalık Şiddet Ölçeği ve Uluslararası Klinik Diyabetik Retinopati (ICDR) Hastalık Şiddet Ölçeği

DR Evreleri	Genişletilmiş Göz Dibi Muayenesi Sırasında Gözlemlenebilen Bulgular
No DR	Anomaliler yok
Hafif NPDR (Mild NPDR)	Sadece Mikroanevrizmalar (En az 1 tane)
Orta NPDR (Moderate NPDR)	Mikroanevrizmalardan ibaret olan hafif NPDR'den daha şiddetli ancak şiddetli NPDR 'den daha az şiddetli
Şiddetli NPDR (Severe NPDR)	4-2-1 kuralı dikkate alınarak aşağıdaki maddelerden herhangi birinin varlığı ve proliferatif retinopati bulgularının olmaması:
ABD tanımı	• Dört kadranda şiddetli retina içi kanamalar ve mikroanevrizmalar • İki veya daha fazla kadranda belirgin venöz damarlarda şişkinlik • Bir veya daha fazla kadranda orta derecede retina içi mikrovasküler anomaliler (IRMA)
Uluslararası tanım	4-2-1 kuralı dikkate alınarak aşağıdaki maddelerden herhangi birinin varlığı ve proliferatif retinopati bulgularının olmaması: • Her bir kadranda 20'den fazla retina içi kanama • İki veya daha fazla kadranda belirgin venöz damarlarda şişkinlik • Bir veya daha fazla kadranda belirgin retina içi mikrovasküler anomaliler (IRMA)
PDR	Aşağıdakilerden biri veya her ikisi de meydana gelebilir: • Yeni damarsal oluşum (neovaskülarizasyon) • Vitreöz sıvı (göz içindeki vitreus adı verilen jel benzeri sıvının kanla dolması) / preretinal kanama (retina tabakasının ön kısmında meydana gelen kanama)

Kaynak: (Flaxel vd., 2020)

Non-Proliferatif Diyabetik Retinopati (NPDR): DR'nin non-proliferatif evreleri, retinal damarlarla ilgili anomalilere sahiptir. Bu anomaliler mikroanevrizmalar, intraretinal (retina içi) kanamalar, venöz genişlemeler ve pamuksu lekeler (yumuşak eksuda) şeklinde görülmektedir (Columbia, 2024) DR'nin ilerlemesi durumunda, retinal damar geçirgenliğindeki artış makula ödeme yol açabilir. Klinik olarak anlamlı makula ödemi (Clinically significant macular edema-CSME), merkezi makula bölgesindeki retinal kalınlaşma (ödem) ve/veya lipid birikintilerin (sert eksudalar) varlığını tanımlamak için yaygın olarak kullanılan bir terimdir. CSME'ye sahip olan bireylerde, özellikle makula merkezi zaten etkilenmişse veya

retinal kalınlaşma ve/veya sert eksudalar merkeze çok yakın bir konumdaysa, acil tedavi gerekmektedir (Arévalo vd., 2013; Flaxel vd., 2020).

DR ilerledikçe retinal damarların kademeli olarak tıkanması ve kan akışının bozulması sonucunda retinal iskemi ortaya çıkar. Bu durumda, venöz anomaliler (damar genişlemesi, boncuklanma, döngüler), IRMA (Intraretinal mikrovasküler anomaliler) ve artan retinal kanamalar ile yaygın ve ciddi bir damar sızıntısı görülmektedir. Bu belirtiler belirli bir seviyeyi aştığında şiddetli non-proliferatif diyabetik retinopati (Severe NPDR) olarak adlandırılmaktadır (Arévalo vd., 2013).

Proliferatif diyabetik retinopati (PDR): Proliferatif diyabetik retinopati (PDR)'nin temel özelliği, retina üzerinde yeni damar oluşumudur (neovaskülarizasyon). Bu yeni damarlar kanamaya eğilimlidir. Bu kanamalar vitreöz (göz içindeki vitreus adı verilen jel benzeri sıvının kanla dolması) kanamaya yol açmakta ve kanamalar sonucu görme alanında bozulmalar oluşabilmektedir. Ayrıca fibrozis (dokuda lif/ilaç birikimi ve bunun sonucunda oluşan sertleşme ve kalınlaşma) ve daralma gibi problemlere de neden olabilmektedir. PDR' nin ileri safhası retinada yeni damar oluşumuna, bunun sonucunda görme kaybına ve komplikasyonlara yol açması nedeniyle erken tanı ve tedavi edilmesi gereken bir durumdur (Boyd, 2024).

1.3.2. Diyabetik Retinopatinin Tanı ve Tedavisi

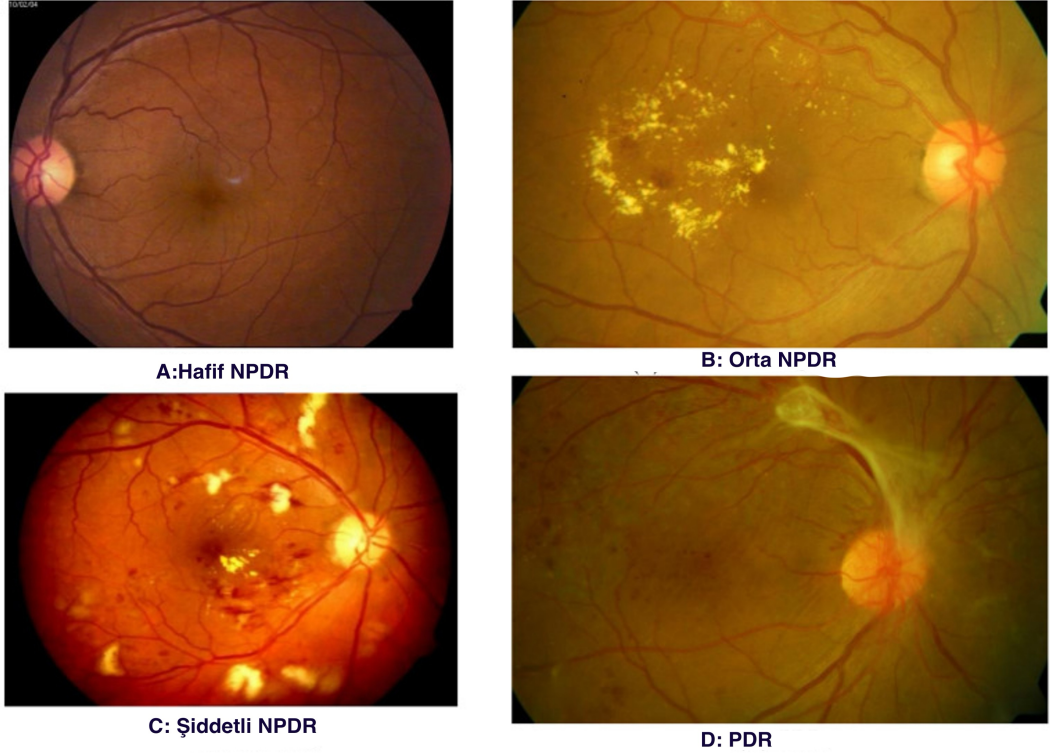
DR tanısı çeşitli görüntüleme aracılığıyla klinik olarak teşhis edilmektedir. Bu teknikler arasında klinik muayene,teşhis renkli fundus fotoğrafları, optik koherens tomografi (OCT), floresein anjiyografi (FA) ve OCT anjiyografi yer almaktadır (Flaxel vd., 2020; İRE, 2024).

- Klinik muayene, DR'nin belirtilerini ve bulgularını değerlendirmek için kullanılan temel bir yöntemdir. Göz doktoru, hastanın göz bebeğini damla ile büyüterek detaylı bir göz dibi muayenesi yapmaktadır. Bu muayene ile göz

doktoru, göz dibini detaylı bir şekilde inceleyerek retinada herhangi bir anomali veya kan damarı değişiklikleri olup olmadığını kontrol etmektedir.

- Renkli fundus fotoğrafı, DR'nin tanısında ve takibinde yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Fundus fotoğrafı, gözün optik siniri, makula, retina, kan damarları ve vitreus gibi göz dibine ait yapıların renkli olarak gösterildiği ve kaydedildiği bir görüntüleme yöntemidir. DR'nin tespit edilmesi ve derecelendirilmesi için en güvenilir yöntem, fundus fotoğraflarının çekilmesidir. Fundus fotoğrafçılığı, oftalmoskopik yöntemlere göre daha yüksek hassasiyete ve özgüllüğe sahiptir (Kumari vd., 2022). Şekil 2 DR'nin farklı evrelerinin retina fundus görüntülerini göstermektedir. Şekil 2'de Evre 2 (A): Hafif non-proliferatif DR; Evre 3 (B): Orta derecede non-proliferatif DR; Evre 4(C): Şiddetli non-proliferatif DR; (D) Evre 4: Proliferatif DR'yi göstermektedir. Hafif NPDR (Şekil 2, A) evresinde retinal kan damarlarında küçük şişlik alanları olan mikroanevrizmalar bulunmaktadır. Tıkanan retina damarlarından kan sızması durumunda hastalık hafif NPDR evresinden orta NPDR (Şekil 2, B) evresine ilerler. Bu aşamada sert eksudalar görülebilmektedir. Ayrıca retinadaki venüllerin genişlemesi ve daralması venöz boncuklanmalara neden olmaktadır. Şiddetli NPDR (Şekil 2, C) evresinde daha fazla sayıda retinal kan damarı tıkanmakta bu durum dört fundus kadranında 20'den fazla retina içi kanamaya veya ince damarların çıkıntıları şeklinde görülebilen IRMA' ya neden olmaktadır. PDR (Şekil 2, D) evresinde retinada neovaskülarizasyon adı verilen yeni kan damarları oluşmaktadır. Bu kan damarları genellikle kırılıgandır ve bunun sonucunda sıvı sızıntısı ile fibröz dokunun çoğalma riski ortaya çıkmaktadır. PDR evresinde bulanıklık, görüş alanının azalması ve hatta bazı durumlarda tam körlük gibi farklı fonksiyonel görme sorunları meydana gelmektedir (Lakshminarayanan vd., 2021).
- Optik koherens tomografi (OCT), ışık dalgalarını kullanarak retina tabakalarının kalınlığını ve yapısını görsel olarak analiz etme imkânı sağlayan

böylelikle retina ve makula bölgesindeki ödem veya diğer anomalileri yüksek çözünürlüklü görüntülerle gösteren bir görüntüleme yöntemidir.



Şekil 2. Fundus Görüntüleri Üzerinden ICDR Seviyeleri

Kaynak: (Lakshminarayanan vd., 2021)

Göz hekimi, bir hastaya tanı koymadan önce klinik muayene, renkli fundus fotoğrafı ve OCT gibi yöntemleri kullanmaktadır. Eğer gerektiğini düşünürse, hastalığın ilerleyişini değerlendirmek ve ilerleyen dönemlerde takip etmek için göz dibindeki damar yapısını incelemek amacıyla aşağıdaki teknikleri de kullanmaktadır.

- Floresein anjiyografi (FA), floresein maddesi kullanılarak retina damarlarının görüntülenmesini sağlayan bir tanı yöntemidir. Bu yöntem, floresein boyasının koldan damar içine enjekte edilmesiyle göz dibindeki damarsal yapıların siyah-beyaz fotoğrafları çekerek gözün retina ve makula bölgelerindeki kan damarlarının durumunu değerlendirmek için

kullanılmaktadır. Damar tıkanıklıkları, anormal damar oluşumları ve sızıntılar gibi sorunları tespit etmeye yardımcı olmaktadır.

- Optik koherens tomografi anjiyografi (OCTA), kan akımını hareket kontrastına dayanarak görüntüleyen, non-invaziv bir görüntüleme aracıdır. Bu yöntem hızlı, tekrarlanabilir ve yüksek çözünürlüklüdür. OCTA ile retina, koroid (göz tabakası) ve optik disk (göz sinirinin retinaya giriş yaptığı nokta) gibi yapılar üç boyutlu olarak değerlendirilebilir ve kantitatif veriler elde edilebilir. OCTA, sarı nokta ve retinanın damarlarını görüntülemek için kullanılan ve hastaya herhangi bir ilaç verilmeden yapılan bir yöntemdir. Klasik göz anjiosunda (FA) damarlara boya verilirken OCTA yönteminde atardamar veya toplardamardan ilaç verilmeyerek yapılmaktadır (de Carlo vd., 2015).

Göz doktorları, DR'ye tanı koymak için geleneksel yöntemler kullanmaktadır. Göz muayenesi ve bazı görüntüleme teknikleri ile DR tanısı ve derecelendirmesi yapılmaktadır. Ancak bilgisayar teknolojilerinin hızla gelişmesi ve yapay zekanın yaygınlaşmasıyla birlikte, DR tanısında yapay zekâ tarama sistemleri de ciddi şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Görüntü işleme teknikleri ile bu sistemler, DR tanısında kullanılmaktadır. Bu yeni yöntemler sayesinde, tanı konulması daha hızlı bir şekilde gerçekleştirilebilmektedir (Lim vd., 2023). Amerika Gıda ve İlaç İdaresi (FDA), 2018 yılında DR tespiti ve sınıflandırılması için kullanılan bir yapay zekâ tabanlı yazılım programı olan IDx-DR'yi onaylamıştır. Ayrıca 2020 yılında EyeArt adlı yapay zekâ tabanlı bir cihaz, DR tespiti ve sınıflandırılmasının otomatik olarak tespiti için FDA onayı almıştır (Shukla & Tripathy, 2023).

DR'nin tedavisinde sıkı glisemik kontrol, sağlıklı yaşam tarzı benimseme, göz içi enjeksiyonlar, lazer fotokoagülasyon ve vitrektomi gibi çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Tedavi yöntemleri, hastalığın evresine ve şiddetine bağlı olarak değişiklik göstermektedir (Corcóstegui vd., 2017; Mansour vd., 2020; Shukla & Tripathy, 2023; Singh vd., 2019).

- DR'nin erken evrelerinde, kan şekerinin kontrol altında tutulması (sıkı glisemik kontrol), sağlıklı bir yaşam tarzı benimseme ve düzenli göz muayenesi gibi önlemlerle hastalığın ilerlemesi engellenmeye çalışılmaktadır. DR için hastaların evrelere göre göz takip muayene süreleri aşağıdaki gibi olmalıdır:

→ Çok hafif NPDR, yılda bir kez takip edilmelidir.

→ Hafif-orta derecede NPDR'nin takip süresi 6 ila 12 ay arasında olmalıdır.

→ Şiddetli NPDR ve PDR'nin takip süresi 2 ila 4 ay arasında olmalıdır.

- Diyabetik maküler ödem durumunda, göz içi ilaç tedavisi (intravitreal enjeksiyonlar) yaygın olarak kullanılmaktadır. Anti-VEGF ilaçları (Vasküler Endotelyal Büyüme Faktörü) ve kortikosteroidler, maküler ödemde etkili tedavi seçenekleridir.
- PDR evresinde, lazer fotokoagülasyon tedavisi uygulanabilmektedir. Bu tedavi, yeni damar büyümesini azaltmak ve retinada kanama, yırtılma riskini azaltmak amacıyla kullanılmaktadır.
- Ciddi veya ilerlemiş DR evrelerinde, vitrektomi adı verilen cerrahi bir işlem kullanılabilmektedir. Bu işlemde, göz içindeki kanama veya traksiyon nedeniyle görüşü etkileyen yapılar temizlenmekte ve retinayı düzeltme amacıyla cerrahi müdahale yapılmaktadır.

DR, hızlı ve doğru bir tanı koymayı gerektiren bir durumdur. Erken teşhis, uygun tedavi yöntemlerinin daha hızlı başlatılmasını ve hastalığın ilerlemesini engellemek veya geciktirmek için daha etkili önlemlerin alınmasını sağlamaktadır. Bu nedenle DR'ye hızlı ve doğru tanı konması, hastaların yaşam kalitesini önemli ölçüde artırabileceği ve hastaların görme kaybı riskini en aza indirebileceği için kritik öneme sahiptir.

DR'nin erken tanının sağlayacağı faydalar aşağıda detaylı bir şekilde sunulmuştur.

- Hastalığın İlerlemesini Önleme: Erken tanı, hastalığın başlangıç aşamalarında müdahale edilmesini sağlayarak retinopati ilerlemeden tedavi edilebilir ve görme kaybı riski azaltılabilir (Vashist vd., 2011a)
- Maliyet Etkililik: Erken aşamada DR tanısı konulan hastalar, lazer tedavisi ve ilaç enjeksiyonları gibi daha uygun maliyetli tedavi seçeneklerinden faydalanabilir. İleri evrede ise vitrektomi ameliyatı gibi daha pahalı tedavilere ihtiyaç duyulabilir. Bu nedenle erken tanı, maliyetli tedavi gereksinimlerini azaltarak hem sağlık sistemine hem de hastalara ekonomik fayda sağlayabilir (Hutton & Harp, 2024)
- Yaşam Kalitesinin Artırma: Erken tanı hastaların görme yetisinin koruyarak günlük yaşam aktivitelerini daha rahat gerçekleştirmesine olanak tanımakta böylelikle hastaların yaşam kalitesinin artmasına yardımcı olabilmektedir (IDF, 2024).

Kısaca DR'ye erken tanı koymak hem bireyler hem de sağlık sistemleri için birçok fayda sağlamaktadır. Görme kaybını önlemek, yaşam kalitesini artırmak ve maliyet etkili tedavi yöntemlerine olanak tanımak erken tanının sağladığı önemli avantajlardır. Bu nedenle DR'de erken tanı süreçlerini desteklenmesi önem taşımaktadır.

Son yıllarda yapay zekâ teknolojileri, DR'ye tanı koymada büyük bir ilerleme kaydetmiştir. Yapay zekâ, görüntü tanıma ve analiz yeteneklerini kullanarak DR'nin teşhisi için önemli bir araç haline gelmiştir. DR tanısında yapay zekâ teknolojilerinin kullanımı, hastalığın erken evrelerindeki belirtileri tespit etmede büyük bir potansiyele sahiptir. Yapay sinir ağları ve derin öğrenme algoritmaları, büyük miktarda retina görüntüsü verilerini analiz ederek hastalık belirtilerini tespit

etme ve tanı koyma konusunda etkili bir şekilde kullanılmaktadır. Bu sayede, diyabet hastalarının göz sağlığını korumak için düzenli göz muayenelerine erişimi olmayan bölgelerde veya sağlık sistemi sıkıntısı yaşanan durumlarda bile tanı konulabilmesi mümkün olmaktadır. Bununla birlikte diyabet ve komplikasyonlarının küresel sağlık harcamalarında önemli bir yük oluşturduğu ve son 15 yılda bu harcamalardaki büyük artışın düşük ve alt-orta gelirli ülkelerin sağlık sistemlerini olumsuz etkilediği gözlenmiştir (Afroz vd., 2018; IDF, 2021). Özellikle sağlık hizmetlerinde kullanılan yapay zekâ, uzman teşhislere daha kolay erişim sağlayarak eşitsizlikleri azaltabilecek, hastaların bakım kalitesini artıracak ve maliyetleri düşürebilecek potansiyele sahiptir (Goldstein vd., 2023). Yapılan çalışmalar, DR'den kaynaklanan görme kaybı riskini azaltmada erken teşhis ve zamanında tedavinin faydasını belirtmiştir (Hill & Makaroff, 2016; Vashist vd., 2011). DR'nin erken tespiti ve müdahalesi hasta sonuçlarında iyileşme sağlamanın yanı sıra maliyetleri ve uzun vadede sağlık sistemi üzerindeki yükü azaltmaktadır.

YZ teknolojileri DR hastalarının erken tedaviye başlamasına ve olumsuz sonuçları önlemesine yardımcı olmaktadır. Sonuç olarak yapay zekâ teknolojileri DR tanısında büyük bir rol oynamaktadır (Sheng vd., 2022). Bu ilerlemeler, hastaların göz sağlığını korumak için erken tanı ve tedaviye erişimini kolaylaştırarak olumlu sonuçlar ve maliyet avantajları elde edilmesini sağlamaktadır (Basu vd., 2020; Li vd., 2022; Lim vd., 2023; Xie vd., 2020).

2. BÖLÜM

YAPAY ZEKÂ VE DERİN ÖĞRENME

Bu bölümde, yapay zekâ kavramı ve derin öğrenmenin temel prensipleri üzerinde durulacaktır. Ayrıca derin öğrenme alanında en önemli tekniklerden biri olan konvolüsyonel sinir ağlarının nasıl çalıştığı ve görüntü işleme alanında nasıl kullanıldığı ele alınacaktır. Yapay zekanın ve derin öğrenmenin uygulama alanları hakkında ve bu tez kapsamında kullanılacak olan derin öğrenme teknikleri ile geliştirilen EyeCheckup yazılımı hakkında bilgi verilecektir.

2.1. YAPAY ZEKÂ VE YAPAY ZEKÂNIN UYGULAMA ALANLARI

"Yapay zekâ (YZ) (Artificial Intelligence-AI)" kavramı, ilk defa 1956 yılında John McCarthy tarafından Dartmouth College'da gerçekleştirilen bir konferansta "düşünen makineleri" tanımlamak için kullanılmıştır (Buchanan, 2019). Ancak 2000 yılına kadar depolama kapasitesi ve hesaplama gücü gibi teknolojik kısıtlamalar, YZ alanında ilerlemenin önünde engel oluşturmuştur. Bu nedenle 1974-1980 ve 1987-1993 yılları arasında hükümetler ve yatırımcılar YZ'ye maddi destek ve finansman sağlamadıklarından dolayı bu dönemlere "YZ kışları (AI winters)" denmiştir. Ancak son yıllarda, büyük ölçekli veri tabanlarının kullanılabilir hale gelmesi, hesaplama gücünün ve risk sermayesi yatırımlarının artmasıyla YZ teknolojilerinde önemli bir gelişme yaşanmıştır (Bahoo vd., 2024).

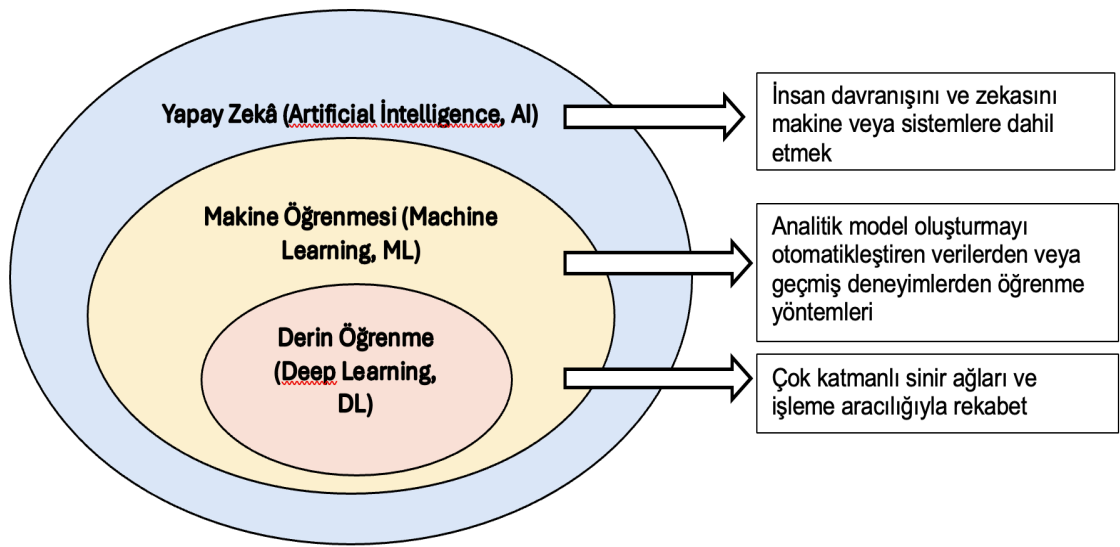
YZ, karmaşık görevleri gerçekleştirebilen robotlar, konuşma ve görüntü tanıma sistemleri, doğal dil işleme algoritmaları gibi teknolojilerle ilgilidir. Bu teknolojiler, büyük veri setlerini analiz ederek örüntüler ve ilişkiler bulmayı öğrenir ve bu bilgileri kullanarak kararlar alabilir. YZ'nin amacı, insan benzeri zekâ ve yeteneklere sahip makineler yaratmaktır. Bu teknoloji, birçok endüstriye faydalar sağlamakta ve iş süreçlerini otomatikleştirme, verimliliği artırma, yeni fırsatlar yaratma gibi avantajlar sunmaktadır (Haleem vd., 2022).

Yapay zekâ (YZ), teknolojisi, insan beyninin performansına benzer şekilde düşünebilen ve karmaşık işleri gerçekleştirebilen bir teknoloji olarak geliştirilmiştir. İnsan beyni, karmaşık bir organ olup milyarlarca nöronun birbirine bağlı olduğu bir yapıya sahiptir. Ancak YZ teknolojisi, çeşitli karmaşık algoritmalar kullanarak insan beynini dijital bir formatta geliştirmek için kullanılan bir teknolojidir (Manonmani vd., 2022). YZ insanlar gibi kendini eğitebilme, problemlerin nedenlerini ve çözümlerini bulabilme, kritik karar anlarında insan benzeri hareket edebilme gibi birçok insan beyni işlevini gerçekleştirebilme özelliğine sahiptir. (Parekh vd., 2020). Başka bir ifadeyle YZ bilgisayar sistemlerinin, insan benzeri zekaya sahipmiş gibi davranabilmesini sağlayan ve insan iletişimini ve davranışını taklit etmek için bilgisayarları eğiten bir bilgisayar bilimi teknolojisidir. Bu sistemler, verileri analiz etme, öğrenme, problem çözme gibi görevleri gerçekleştirebilmekte ve kararlar verebilmektedir (Haleem vd., 2022).

YZ tabanlı modeller geliştirmek için YZ teknikleri, makine öğrenimi, derin öğrenme veri madenciliği, sinir ağları, bilgi keşfi ve ileri analitik, kural tabanlı modelleme ve karar verme, bulanık mantık tabanlı yaklaşım, metin madenciliği ve doğal dil işleme, görsel analitik, bilgisayar görü ve desen tanıma, arama ve optimizasyon gibi çeşitli kategorilere ayrılmaktadır (Sarker, 2022). Belirtildiği gibi YZ, birçok farklı alt dalı içeren geniş bir disiplindir. Bu alt dallar arasında en yaygın olarak kullanılanlar, makine öğrenimi ve derin öğrenmedir.

YZ, makine öğrenimi ve derin öğrenme günümüzde birbirinin yerine kullanılan üç önemli terimdir ve akıllı sistemleri veya yazılımları temsil etmek için kullanılmaktadır. Şekil 3'te gösterildiği gibi YZ, makine öğrenimi ve derin öğrenme birbirini kapsayan hiyerarşik bir yapıya sahiptir. YZ, genel bir kavram olup insan davranışını ve zekasını makineler veya sistemler içine entegre etmeyi amaçlayan ve genel olarak bilgi işleme ve karar verme yeteneklerini içeren bir disiplindir. Makine öğrenimi ve derin öğrenme gibi YZ teknolojileri, büyük miktardaki verilerden öğrenerek tahminler yapma, problemleri çözme ve karar alma yeteneklerine sahiptir (Challen vd., 2019). Makine öğrenimi, YZ'nin bir alt

disiplinidir ve doğrudan örneklerden, verilerden ve deneyimden öğrenme yoluyla analitik modellerin otomatik olarak oluşturulmasını ve bu modeller aracılığıyla örüntülerin tanınmasını ve tahminlerin yapılmasını sağlamaktadır. Derin öğrenme ise makine öğreniminin bir alt kümesidir ve çok katmanlı sinir ağları ve işleme süreçlerini kullanarak veri odaklı öğrenme yaklaşımlarını ifade etmektedir. Derin öğrenme, YZ alanında daha spesifik ve ayrıntılı bir yaklaşım sunmaktadır. Sonuç olarak derin öğrenme, makine öğreniminin bir alt alanıyken makine öğrenimi de YZ'nin bir alt bileşenini oluşturmaktadır (Sarker, 2022; Tiwari vd., 2018).



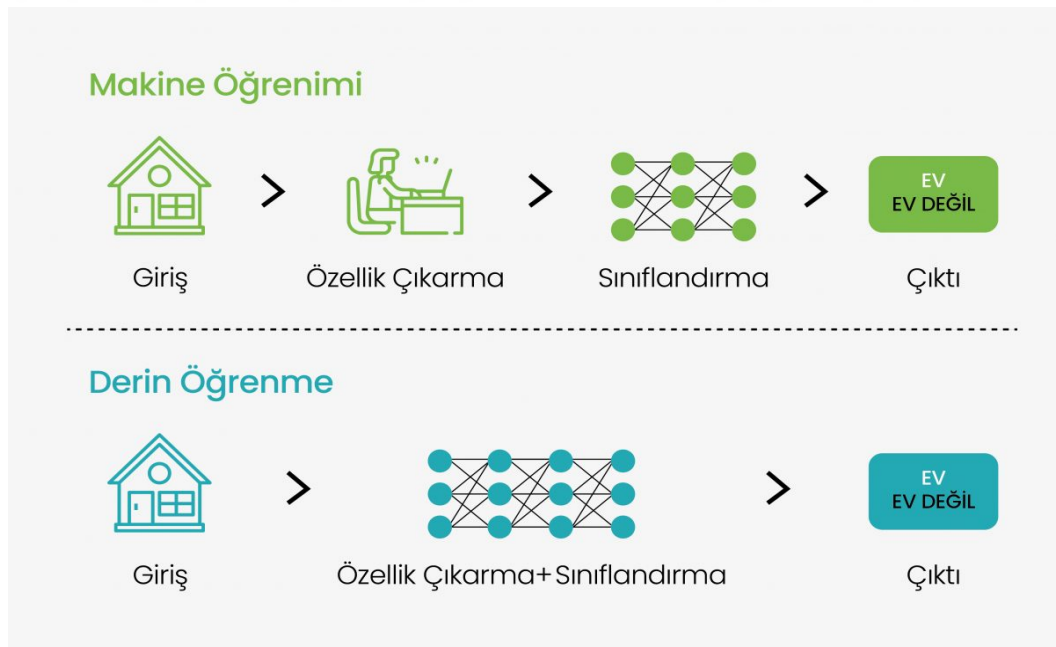
Şekil 3. Yapay Zekâ, Makine Öğrenmesi ve Derin Öğrenme Arasındaki İlişki

Kaynak: (Sarker, 2022)

Geleneksel makine öğrenimi teknikleriyle sınıflandırma yapabilmek için veri ön işleme, özellik çıkarma, özellik seçimi, öğrenme ve sınıflandırma gibi birtakım adımlar gereklidir. Özellik seçimi, makine öğrenimi tekniklerinin performansı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir ve yanlış özellik seçimi sınıflar arasında hatalı ayrıma neden olabilmektedir. Derin öğrenme yaklaşımları, geleneksel makine öğrenimi yöntemlerinden farklıdır. Şekil 4'te görüldüğü gibi derin öğrenme ile makine öğrenimi tekniği arasındaki önemli farklardan biri, problem çözme yaklaşımıdır. Derin öğrenme, özellik çıkarma ve seçim adımlarına gerek

duymadan özellik setlerini otomatik olarak öğrenebilme yeteneğine sahiptir. Derin öğrenme, öğrenme ve sınıflandırmayı tek bir adımda gerçekleştirebilir ve sınıflandırma görevini daha hızlı ve etkili bir şekilde yapabilmektedir (Alzubaidi vd., 2021). Başka bir ifade ile derin öğrenme teknikleri, genellikle problemi bütün olarak ele almakta ve sonucu doğrudan elde etmeye çalışmaktadır. Makine öğrenimi teknikleri ise problemleri adım adım çözmeyi gerektiren bir yaklaşım benimseyerek öncelikle problem ifadelerini farklı parçalara bölmekte ve ardından bu parçaların sonuçlarını son aşamada birleştirmektedir.

Derin öğrenme ile geleneksel makine öğrenimi arasındaki temel farklardan bir diğeri ise veri miktarının artması durumunda derin öğrenme modellerinin makine öğrenmesi modellerine göre daha iyi performans göstermesidir (Sarker, 2021). Derin öğrenme, büyük miktarda parametre içerdiği için eğitim süresi diğer makine öğrenme yöntemlerine göre daha uzun olabilmekte ancak test aşamasında derin öğrenme, makine öğrenmesine göre daha kısa bir sürede çalışmaktadır (Xin vd., 2018).



Şekil 4. Makine Öğrenimi ve Derin Öğrenme Yaklaşımlarının Karşılaştırılması

Kaynak: (Wolfewicz, 2024)

Belirtilen YZ teknikleri, gerçek dünyada işletme, finans, sağlık, tarım, akıllı şehirler ve siber güvenlik gibi birçok uygulama alanında, akıllı sistemlerin geliştirilmesinde ve hayatın çeşitli yönlerinde önemli bir rol oynamaktadır (Bahroun vd., 2023). YZ, finans sektöründe analizler yaparak yatırım stratejilerinin belirlenmesinde, eğitim sektöründe öğrencilere kişiselleştirilmiş öğrenme deneyimleri sunmada, ulaşım ve lojistik sektöründe otomatik sürüş sistemlerinin geliştirilmesinde, tarım sektöründe bitki hastalıklarının erken tanısında, hava durumunun tespitinde ve sağlık sektörü gibi birçok alanda kullanılmaktadır (Bahoo vd., 2024; Javaid vd., 2023; Bahroun vd., 2023; Sarker, 2022; Soori vd., 2023). Özellikle sağlık sektöründe YZ'nin kullanımı, tanı ve tedavi süreçlerinde büyük bir potansiyele sahiptir. YZ, manyetik rezonans (MR) veya röntgen gibi görüntüleri analiz ederek anormal durumları tespit edebilme yeteneğine sahiptir. Bu yetenek, hastalıkların erken tanısını sağlamada ve doğru tedavi planlarının oluşturulmasında büyük önem taşımaktadır. Ayrıca YZ destekli tıbbi cihazlar ve sistemler, hasta takibi, ilaç dozajı, genetik analiz, yönetsel iş akışları, robotik cerrahi, sanal asistanlar ve klinik karar destek gibi alanlarda da kullanılmaktadır (Bohr & Memarzadeh, 2020). Kişiselleştirilmiş tıp yaklaşımı, hastaların genetik özelliklerini dikkate alarak tedavi planlarının oluşturulmasını sağlayan bir alan olarak YZ'den büyük ölçüde faydalanmaktadır. YZ teknolojisi, sağlık alanında özellikle tanı ve tedavi süreçlerinde daha hızlı, doğru ve etkili sonuçlar elde etme potansiyeline sahiptir.

Yukarıda ifade edildiği gibi YZ'nin sağlık sektöründe birçok temel uygulama alanı bulunmaktadır. Özetle, YZ'nin sağlık sektöründeki başlıca uygulamaları şunlardır:

- YZ, X-ray, BT taraması ve MRI gibi görüntüleri analiz ederek tıbbi görüntüleme ve radyoloji alanında hastalıkların tanısında kullanılmaktadır (Dayarathna vd., 2024; Ghaffar Nia vd., 2023; Pinto-Coelho, 2023).
- YZ, hasta takibini, seçimini ve veri toplamayı geliştirerek klinik deneme ve araştırma süreçlerini optimize edebilmektedir (Bhatt, 2021).

- YZ, elektronik sağlık kayıtlarının yönetimini kolaylaştırarak tıbbi kayıtlar, laboratuvar sonuçları ve görüntüleme raporları gibi çeşitli kaynaklardan gelen hasta verilerini analiz edebilmektedir. Ayrıca doğal dil işlemeyle klinik notları ve raporları analiz ederek hastalar hakkında daha kapsamlı profil oluşturmaktadır (SoluteLabs Team, 2023).
- YZ algoritmaları, tüberküloz, hipertansiyon, felç ve beyin damar hastalıkları, kanser, Alzheimer hastalığı, karaciğer hastalıkları, cilt hastalıkları, diyabet, DR gibi çeşitli hastalıkların tanısında önemli bir katkı sağlamakta olup klinik karar verme süreçlerinde de kritik bir rol oynamaktadır (Aamir vd., 2024; Kumar vd., 2023).
- Cerrahi robotlar, sağlık sektöründe geniş bir kullanım alanına sahip olup YZ destekli uygulamalarla cerrahlara gerçek zamanlı yardım sağlamakta, derin öğrenme verileriyle hastalara en uygun cerrahi yöntemler belirlenmekte ve aynı zamanda uzmanların erişiminin sınırlı olduğu bölgelerde sağlık hizmetlerinin sunulmasına yardımcı olmaktadır (Deo & Anjankar, 2023; Stasevych & Zvarych, 2023).
- YZ, bireysel genetik bilgiler, bireyin tıbbi geçmişine, yaşam tarzına, önceki tedavilere verdiği yanıt ve hasta verilerine dayalı olarak tedavilerin kişiselleştirilmesine yardımcı olabilmektedir (Poalelungi vd., 2023; Rezayi vd., 2022; SoluteLabs Team, 2023).
- YZ, geçmiş ve gerçek zamanlı verileri analiz ederek yüksek riskli hastaları belirleyebilmekte, hastalık ilerlemesini tahmin edebilmekte ve klinik karar verme süreçlerine rehberlik edebilmektedir (Bekbolatova vd., 2024).
- YZ, teletıp uygulamaları ve sanal sağlık asistanları aracılığıyla değerlendirmeler ve temel sağlık önerileri sunarak sağlık hizmetlerine erişimi iyileştirebilmektedir (Amjad vd., 2023; Sharma vd., 2023).

- YZ, ilaç keşif sürecini hızlandırabilmekte ve büyük miktarda verinin daha verimli ve doğru bir şekilde analiz edilmesini sağlayarak ilaç bileşiklerinin etkinliğini tahmin etmede yüksek doğruluk sağlayabilmektedir (Blanco-González vd., 2023; Poalelungi vd., 2023).

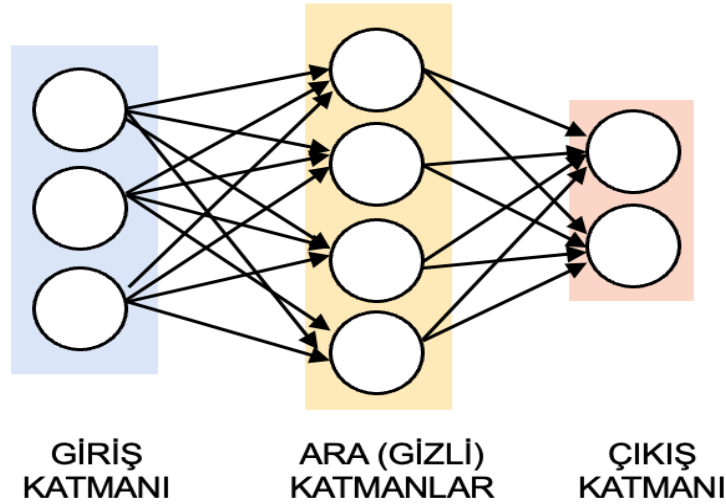
Bu uygulamalar, YZ'nin tanı, takip ve tedavi süreçlerinde sağlık hizmetlerinin verimliliğini, doğruluğunu ve hassasiyetini önemli ölçüde artırma potansiyelini vurgulamaktadır. Makine öğrenimi ve derin öğrenme gibi ileri YZ teknikleri, hastalıkların tanısında, ilaç keşfinde ve hastaların risk faktörlerini belirlemede sağlık sisteminde yaygın olarak kullanılmaktadır. Yüksek performanslı hesaplamalara sahip derin öğrenme algoritmaları, birleştirme, segmentasyon, kayıt ve sınıflandırma gibi tıbbi görüntü analizi konularında umut verici sonuçlar vermektedir. Derin öğrenme, görsel tanıma görevlerinde önceki gelişmiş algoritmalara kıyasla üstün performans sergileyerek önemli gelişmeler kaydetmiştir. Derin öğrenme özellikle sınıflandırmada önemli bir rol oynamaktadır (Nia vd., 2023).

2.2. DERİN ÖĞRENME

Derin öğrenme, YZ'nin bir alt disiplini olup büyük veri kümelerinden karmaşık desenleri çıkarmak ve doğru tahminlerde bulunmak için yapay sinir ağları adı verilen bir makine öğrenme tekniğini kullanmaktadır. Son yıllarda büyük bir hızla gelişme göstermiş olan bu alan, birçok disiplinde yaygın olarak kullanılmakta ve etkileyici sonuçlar elde etmektedir (Jin vd., 2023).

Temel olarak derin öğrenme yapay sinir ağları adı verilen matematiksel modelleri kullanarak çalışmaktadır. Yapay sinir ağları, insan beyninin işleyişini dikkate alarak nöron adı verilen bağlantılı işlem birimlerinden oluşmaktadır. Bu nöronlar, veri setindeki desenleri algılamak ve analiz etmek için bir araya gelmektedir. Tüm nöronlar birbirine bağlıdır ve nöronlar girdiyi matematiksel işlemlere tabi tutarak çıktı üretmektedir. Yapay sinir ağları, genellikle katmanlar halinde düzenlenmektedir. Derin öğrenme, girdi verilerinden (görüntüler, sayısal

değerler, kategorik değerler vb.) hem yüksek hem de düşük seviyeli bilgileri çıkarmak için çoklu katman kullanmaktadır (Ahsan vd., 2022). Şekil 5'te görüldüğü üzere nöronlar 3 farklı katmana ayrılmaktadır. Giriş katmanı, veriyi kabul etmekte, gizli katmanlar veri üzerinde çeşitli matematiksel işlemler gerçekleştirmekte, çıktı katmanı ise ağı giren verilerin bir tahminini vererek çıktıları üretmektedir. Başka bir ifade ile girdi katmanından alınan veriler, ağıın önceden tanımlanmış ağırlık değerleri kullanılarak ara katmanlarda işlenmektedir. Bu işleme sonucunda veriler, anlamlı çıktılarına dönüştürülerek çıktı katmanına aktarılmaktadır.



Şekil 5. Yapay Sinir Ağ Katmanları

Nöronlar birbirinin üstüne katmanlar halinde paralel veya seri bağlantılarla yerleştirilmektedir. Her katmandan alınan girdinin işlenmesi sonucu sonraki katmandan çıktı elde edilmekte ve birçok katmanın üst üste eklenmesi derin sinir ağlarını oluşturmaktadır (Mishra vd., 2021). Derin öğrenme, bu yapay sinir ağlarının çok katmanlı (derin: birden fazla gizli katmana sahip olmak) yapısını kullanarak daha karmaşık desenleri ve ilişkileri öğrenme yeteneğine sahiptir. Bu derin yapı, daha önceki katmanlarda öğrenilen özelliklerin kullanılmasını ve daha

yüksek seviyeli soyut kavramların elde edilmesini sağlamaktadır. Bu sayede, derin öğrenme modelleri, daha karmaşık veri analizlerini gerçekleştirebilmekte ve daha doğru tahminlerde bulunabilmektedir.

Derin öğrenme denetimli, denetimsiz ve pekiştirmeli öğrenme algoritmalarını kullanmaktadır (Rajendra Kumar & Manash, 2019).

- Denetimli öğrenme: Etiketli verilere dayanarak bir modelin eğitilmesini içermektedir. Veri setinde girişler ve bunlara karşılık gelen etiketler bulunur. Örneğin, görüntü sınıflandırma için kullanılan bir derin sinir ağı, görüntülerin girişlerini alır ve çıktı olarak görüntülerin sınıflarını verir.
- Denetimsiz öğrenme: Veri içerisindeki yapıyı keşfetmeye çalışmaktadır. Kümeleme analizi gibi yöntemlerle verideki birtakım desenleri bulmaya uğraşmaktadır.
- Pekiştirmeli öğrenme: Amaca yönelik ne yapılması gerektiğini öğrenen bir yaklaşımdır. Bu yaklaşımda, öğrenen makine veya ajan (agent), her durumda bir eylem gerçekleştirir ve bu eylemin sonucunda bir ödül sinyali almaktadır. Ödül sinyali, ajanın yaptığı eylemin ne kadar iyi veya kötü olduğunu göstermektedir. Ajan, aldığı ödül puanını maksimize etmek için deneme yanılma yöntemini kullanmaktadır.

Derin öğrenme teknikleri, denetimli öğrenme veya sınıflandırma uygulamalarında ayırt edici bir işlev sağlamak için yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu derin öğrenme modelleri, büyük veri setleri üzerinde eğitilmekte ve ardından yeni verileri analiz etmek ve sınıflandırmak için kullanılmaktadır. Derin öğrenme, görüntü sınıflandırma, nesne tanıma, doğal dil işleme, ses tanıma gibi birçok uygulama alanında başarılı sonuçlar vermekte ve YZ'nin ilerlemesinde önemli bir rol oynamaktadır. Denetimli derin öğrenme teknikleri arasında öne çıkanlar Çok Katmanlı Algılayıcı (Multilayer Perceptron-MLP), Tekrarlayan Sinir Ağları

(Recurrent Neural Networks-RNN), Konvolüsyonel Sinir Ağları (Convolutional Neural Networks-CNN) ve bunların varyasyonlarıdır (Sarker, 2021).

MLP modelleri, doğrusal ve doğrusal olmayan yapıdaki problemlerin çözümünde yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle sınıflandırma ve genelleme gibi durumlarda etkili bir şekilde kullanılabilir. MLP modelleri, farklı uygulama alanlarında yaygın olarak tercih edilmektedir. Örneğin otomotiv sektöründe yol izleme ve rehberlik gibi uygulamalarda kullanılırken bankacılık sektöründe kredi kartı dolandırıcılığı tespiti için kullanılmaktadır. Ayrıca finans sektöründe döviz kuru tahminleri; uzay sektöründe ise uçuş simülasyonu ve otomatik pilot uygulamaları için kullanılmaktadır (Işıksan, 2020; Selimoğlu & Yılmaz, 2021).

RNN, sıralı verilerin özelliklerini tanımak ve gelecekteki senaryoları tahmin etmek için kullanılan bir yapay sinir ağıdır. Bu güçlü yaklaşım, ses, zaman serisi verileri ve doğal dil gibi sıralı verileri işlemek için özel olarak tasarlanmıştır. RNN'ler, veri setinin sıralı yapısını analiz ederek önceki durumları ve kalıpları kullanarak gelecekteki durumları tahmin etme yeteneğine sahiptir. Bu modeller, özellikle görüntü, ses ve doğal dil gibi karmaşık veri türlerini işleme ve analiz etme konusunda etkilidir (Onar, 2020).

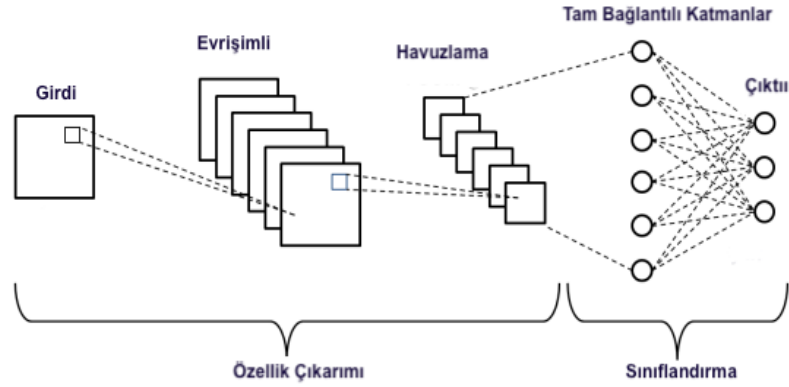
CNN, özellikle görüntü işleme, tanıma ve görüntü sınıflandırma gibi görevlerde yaygın olarak kullanılan bir derin öğrenme modelidir. Bu derin öğrenme modeli, görüntüler üzerindeki özellikleri otomatik olarak çıkararak ve karmaşık desenleri tanıyarak sınıflandırma işlemini gerçekleştirir. Görsel işleme görevlerinde yüksek performans sağlayan CNN'ler, görüntü tanıma, nesne tespiti ve yüz tanıma gibi alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır (Yamashita vd., 2018).

2.3. KONVOLÜSYONEL SİNİR AĞLARI (CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK)

Konvolüsyonel sinir ağları (Convolutional Neural Network -CNN), biyolojik sinir sistemlerinin işleyişini taklit ederek bilgi işleme ve desen tanıma görevlerini gerçekleştirmektedir. CNN, genellikle çok katmanlı yapılara sahip olan derin öğrenme modellerinin temelini oluşturmaktadır (Celeghin vd., 2023). Metin girmek için buraya tıklayın veya dokununuz.

Şekil 6'da görüldüğü gibi CNN'nin temel yapı taşlarını giriş katmanı, çıkış katmanı, evrişimli katmanlar (convolutional layer), havuzlama katmanları (pooling layer) ve tam bağlantılı katmanlar (fully connected layer) oluşturmaktadır. Giriş katmanı, sinir ağının ilk katmanıdır ve giriş verilerini içermektedir. Giriş katmanı, verileri sinir ağına almakta ve işleme için takip eden katmanlara iletmektedir. Çıkış katmanı, sinir ağının son katmanıdır ve çıktığı sinir ağından dışarıya ileten kısımdır. Evrişimli katmanlar, girdi verilerinde özellik çıkarımı yapmakta ve filtreler kullanarak farklı özellikleri tanımaktadır. Havuzlama katmanları, evrişimli katmanların çıkışlarını özetleyerek boyutunu küçültmekte ve hesaplama maliyetini azaltmaktadır. Tam bağlantılı katmanlar ise özelliklerin sınıflandırma veya tahmin için kullanıldığı son katmanı oluşturmaktadır (Fan & Truong, 2022; Yamashita vd., 2018; Yıldırım, 2024). Bu ağlar, belirtildiği üzere birden fazla katmandan oluşmakta ve geri yayılım algoritmalarıyla çalışarak görüntüleri işleme ihtiyacı duymadan desenleri tanımaktadır. Sonuç olarak CNN'ler sinir ağlarını farklı öğrenme yöntemleriyle birleştirerek görüntü teşhisi ve diğer alanlarda verileri analiz etme ve görsel desenleri tespit etmede önemli bir rol oynamaktadır (Bekbolatova vd., 2024).

CNN, görüntü işleme, nesne tanıma, doğal dil işleme gibi alanlarda başarılı sonuçlar vermektedir. Derin öğrenme modelleri olarak da bilinen CNN, büyük veri setleri üzerinde yeterli hesaplama gücüne sahip olduğunda yüksek başarı performanslarına ulaşabilmektedir (Chai vd., 2021).



Şekil 6. CNN Mimarisi

Kaynak: (Zilliz, 2024)

Derin öğrenme yöntemlerinden CNN, hastalıkların analiz ve tanısında genellikle tercih edilen bir tekniktir (Nia vd., 2023). Özellikle dünyada yaygın olarak görülen diyabet hastalığına bağlı olarak gözde görme kaybına sebep olan DR'ye tanı koymada ve sınıflandırmada CNN mimarilerinden çok sık faydalanılmaktadır. Son on yılda farklı CNN mimarileri ortaya çıkmıştır. Model mimarisi, farklı uygulamaların performansını artırmak için kritik bir faktördür. Görüntü işlemede en çok kullanılan CNN mimarileri LeNet-5, AlexNet, Vgg, Inception GoogLeNet, DenseNet, ResNet, Faster R-CNN (Bölgesel Tabanlı CNN)'dir (Fathi vd., 2022; Taye, 2023). Bu mimarilerden ResNet, Faster R-CNN mimarileri üzerinde durulacaktır.

ResNet (Residual Neural Network), derin evrişimli sinir ağı mimarilerinin bir türüdür. Geleneksel CNN'lerde, ağı derinleşmesiyle birlikte performans düşüşü yaşanabilir ancak ResNet, residual bağlantıları kullanarak bu sorunu çözmektedir. Residual bağlantılar, ağı daha derin olmasına izin vermekte ve bu durum daha iyi öğrenme ve performans elde etmeyi sağlamaktadır (Zhang vd., 2023).

Lin & Wu (2023) tarafından yapılan çalışmada, DR'nin doğru bir şekilde tahmin edilmesi için ResNet-50 modelinde görselleştirme ve ön işleme yöntemleri kullanılmıştır. Diğer CNN modelleriyle (Xception, AlexNet, VggNet-s, VggNet-16 ve ResNet-50) karşılaştırıldığında, düzenlenmiş ResNet-50'nin performansının daha iyi olduğu gözlenmiştir. Bu düzenlenmiş yapı, aşırı uyum (overfitting) sorununu önleme, kayıp değerini azaltma ve dalgalanma sorununu azaltma konusunda etkili olmuştur.

R-CNN, görüntülerdeki nesneleri tespit etmek için kullanılan bir derin öğrenme modelidir. Görüntüyü bölge tavsiyelerine (tekliflerine) ayırarak her bir bölgeye ayrı ayrı CNN uygular. Ancak eğitim ve hesaplama süreleri uzun olmaktadır. Bu süreyi kısaltmak için Fast R-CNN mimarisi geliştirilmiştir. R-CNN görüntüyü bölgelere ayırarak nesne tespiti yapmaktadır, Fast R-CNN ise tüm görüntüyü tek seferde işleyerek eğitim süresini azaltmaktadır. R-CNN'nin bir diğer çeşidi olan Faster R-CNN ise RPN (bölge teklifi ağı) ve Fast R-CNN'i birleştirerek daha hızlı ve etkili bir nesne tespiti sağlamaktadır (Olaniyi & Ganiyu, 2023).(Olaniyi & Ganiyu, 2023)

Nazir vd. (2020) tarafından yapılan çalışmada, DR hastalığının retina üzerindeki lezyonlarının tespiti için Faster-RCNN yöntemi kullanılmıştır. Performans değerlendirmesi için kamuya açık veri setleri kullanılmış ve ortalama %95 doğruluk değeri elde edilmiştir. Bu sonuçlar, Faster-RCNN yönteminin DR lezyonlarının tespiti konusunda etkili bir performans sergilediğini göstermektedir

Munna vd. (2023) tarafından yapılan çalışmada, DR'nin erken tanısı için bir otomatik sistem önerilmiştir. Çalışmada Faster R-CNN sınıflandırıcısı kullanılarak DR ve DR lezyonları tespit edilmiştir. Yapılan deneylerde yüksek doğruluk, özgüllük ve duyarlılık değerleri elde edilmiş ve bu yöntemin DR tespitinde etkili bir performans sağladığı gösterilmiştir.

Jung ve Kim (2022)'in çalışmasında Faster R-CNN tekniği kullanılarak DR patolojik belirtileri olan mikroanevrizmalar, retinal kanama ve sert eksuda gibi bulguların otomatik tespiti için bir sistem önerilmiştir. Tespit edilen özelliklerin ön

işlemesine dayanan Random Forest sınıflandırıcısıyla eğitilerek test edilen otomatik bir şiddet sınıflandırma sistemi geliştirilmiştir. 228 fundus görüntüsünün bu sınıflandırma sistemiyle sınıflandırıldığı deneyde %97,8 doğruluk elde edilmiştir.

2.3.1. Diyabetik Retinopati Sınıflandırması İçin Konvolüsyonel Sinir Ağı

YZ teknolojilerinin hızla gelişimi DR taramasında görüntüleme ve derecelendirme kalitesini iyileştirmede fırsatlar sunmaktadır (DSÖ, 2020). Derin öğrenme sistemlerini kullanan YZ, DR'nin tıbbi tanısında umut verici bir alternatif yaklaşım olarak ortaya çıkmaktadır. YZ teknolojileri DR tanısını hızlı bir şekilde sağlayabilir ve sağlık sisteminin yükünü azaltabilir (Rajalakshmi vd., 2021).

Literatürde yapılan incelemeler, göz hastalıklarıyla ilgili hazır büyük veri setlerinin kullanılarak YZ algoritmalarının performansının karşılaştırıldığı ve DR tanı yöntemlerinin geliştirildiğini göstermektedir. Buna göre Ali vd. (2023) tarafından yapılan bir çalışmada, DR'nin erken tanısı için bir CNN modeli önerilmiştir. Bu çalışmada, Resnet50 ve Inceptionv3 derin öğrenme modelleri kullanılarak fundus görüntüleri üzerinden özellik çıkarımı yapılmış ve bu özellikler sınıflandırma için birleştirilerek CNN'e girdi olarak verilmiştir. Çalışmanın sonucunda önerilen CNN modelinin diğer yöntemlere kıyasla daha yüksek doğruluk (%96,85), duyarlılık (%99,28), özgüllük (%98,92), hassasiyet (%96,46) ve F1 skoru (%98,65) elde ettiği gözlemlenmiştir (Ali vd., 2023).

Feng vd. (2022) tarafından yapılan çalışmada, fundus görüntülerine dayalı olarak ResNet-18 ve transfer öğrenmesi kullanılarak ikili sınıflandırma modeli oluşturulmuş ve modeli güçlendirmek için denetimli karşılaştırmalı öğrenme yöntemi uygulanmıştır. Yapılan testlerde, farklı öğrenme oranları ve veri artırma yöntemleriyle modelin performansı iyileştirilmiş ve standart sapmalar azaltılmıştır. Ayrıca denetimli karşılaştırmalı öğrenme yöntemi, modelin doğruluğunu artırmıştır (Feng vd., 2022).

Son vd. (2020)'nin yapmış olduğu çalışmada derin öğrenme modellerinin geliştirilmesi ve test edilmesi için 103.262 görüntü kullanılmıştır. Derin öğrenme algoritmalarını performansını değerlendirmek için iki harici veri seti (Hint DR Görüntü Veri Seti ve e-ophta) ve algoritmaların performansını uzmanlar tarafından oluşturulan raporlarla karşılaştırmak için üçüncü bir harici veri set (Messidor) kullanılmıştır. Harici veri setleri dışında Seul Ulusal Üniversitesi Bundang Hastanesinden elde edilen fundus görüntüleri ile derin öğrenme algoritmaları kullanılarak 12 ana bulgu (kanama, sert eksuda vb.) açısından algoritmaların performansı değerlendirilmiştir. Algoritmaların performansı, hastaneden elde edilen fundus görüntülerinde test edildiğinde %96,2 ile %99,9 arasında yüksek bir ROC eğrisi altında kalan alan (Area Under The ROC Curve, AUC) skoruna sahip olduğunu göstermiştir. Ayrıca lezyon ısı haritaları kullanılarak çeşitli bulgularda göze çarpan bölgeler etkili bir şekilde vurgulanmıştır. Hint DR Görüntü Veri Seti ve e-ophta veri setinde test edilen DR ile ilgili bulgular için AUC skorlarının %94,7 ile %98 olduğu tespit edilmiştir. Hazır veri setleri ve YZ teknikleri kullanılarak geliştirilen teşhis modeli, özellikle kanama, sert eksuda, zar, maküler delik, miyelinli sinir lifi ve glokomatöz disk değişikliğinin tespitinde uzman raporlarıyla rekabet eden bir performans göstermiştir.

Pratt vd. (2016), DR'yi dijital fundus görüntülerinden teşhis etmek ve şiddetini doğru bir şekilde sınıflandırmak için Kaggle veri setindeki 80.000 fundus görüntüsünün 5.000 tanesi validasyon için ayrılmıştır. Kalan fundus görüntüleri ise derin öğrenmenin özel bir mimarisi olan CNN'de eğitilmiştir. 5.000 fundus görüntüsü üzerinde yapılan sınıflandırma çalışmasında, DR Sağlıklı, Hafif, Orta ve Şiddetli NPDR ve Proliferatif DR şeklinde beş farklı sınıfa ayrılmıştır. Çalışmanın sonucunda %95 özgüllük, %75 doğruluk ve %30 duyarlılık değerleri elde edilmiştir. Bu bulgular, CNN yönteminin fundus görüntülerini sınıflandırmak için gereken özellikleri öğrenebilme, proliferatif vakaların çoğunu ve DR'si olmayan vakaları doğru bir şekilde sınıflandırabilme konusunda etkili olduğunu göstermiştir.

Doshi vd. (2016) çalışmasında renkli fundus retina görüntülerinden DR'nin tespiti ve sınıflandırılması için derin konvolüsyonel sinir ağlarının etkili olduğunu göstermek istemiştir. DR'nin beşli sınıflandırılması için EyePACs (Kaggle) veri setindeki fundus görüntüleri eğitim (72.390) ve test (5000) verisi için ayrılmıştır. Optimizasyon tekniği olarak Nesterov-Momentum seçilmiş, üç CNN modeli oluşturulmuştur. Tahmin sonuçlarını değerlendirmek için kuadratik Kappa skoru kullanılmıştır. Çalışma sonuçları, DR'yi tespit ve sınıflandırmada en iyi modelin bu üç modelin birleşimi olacağını göstermiştir.

Alban ve Gilligan (2016) tarafından yapılan çalışmada floresein anjiyografi fotoğraflarından DR şiddetinin sınıflandırılması için bir model oluşturulmuştur. Kaggle veri seti üzerinde sınıflandırma yapmak için GoogleNet ve AlexNet gibi konvolüsyonel sinir ağı modelleri kullanılmıştır. AlexNet modeli ikili sınıflandırma için %67, üçlü sınıflandırma için %57 ve beşli sınıflandırma için %41 doğruluk oranı elde etmiştir. GoogleNet modeli ise ikili sınıflandırma için %71, üçlü sınıflandırma için %58, beşli sınıflandırma için %42 doğruluk oranı elde etmiştir. Modeller arasında en iyi performansı beşli sınıflandırma için GoogLeNet göstermiştir. Çalışmada DR'yi sınıflandırarak tespit etmede oluşturulan modelin uzman değerlendirmesine kıyasla daha iyi bir performans sergilediği görülmüştür.

Ghosh vd. (2017)'nin yaptıkları çalışmada renkli fundus retina fotoğrafları kullanılarak DR tarama yöntemini otomatikleştirmek için CNN yaklaşımı önerilmiştir. DR'yi ikili ve beşli sınıflandırmak için Kaggle (EyePacs) veri setindeki 35.126 görüntü kullanılmıştır. Modelin test edildiği 3190 görüntü üzerinde, yaklaşık olarak ikili sınıflandırmada %95, beşli sınıflandırmada ise %85 doğruluk oranı elde edilmiştir. Çalışma bulguları, veri setinin heterojenliği göz önüne alındığında, tasarlanan modelin performansının DR taramasında etkili olacağını göstermiştir.

Zhang vd. (2017) DR'nin şiddetini otomatik olarak sınıflandırmak için CNN mimarisinde yer alan ResNet yaklaşımının başarısını incelemişlerdir. Kaggle veri setindeki 35.000'den fazla görüntü, beşli sınıflandırma için eğitim (%60),

validasyon (%20) ve test (%20) setleri olarak ayrılmıştır. 7000 test görüntüsü içeren veri setinden oluşturulan ağın performansı değerlendirilmiş yaklaşık %81 doğruluk oranı sağlanmıştır. Oluşturulan ağ önemli bir gelişme gösterse de hafif ve orta dereceli DR evrelerini sınıflandırırken hala sorunlarla karşılaşmaktadır. Çalışma bulguları, DR'yi tespit etmede başarılı sonuçlar ortaya koymuştur ancak renkli fundus görüntülerinin genellikle yüksek çözünürlüklü olduğu ve farklı DR sınıflarının farklı lezyonlarla yüksek oranda ilişkili olduğu düşünüldüğünde görüntü seviyesi tahminleri ve ayırt edici patch (görüntüyü küçük parçalara bölen bir işleme veya analiz tekniği) seviyesi CNN'lerini birleştiren bir yöntem, sınıflandırma performansını daha da iyileştirebileceği sonucuna varılmıştır (Zhang vd. 2017).

Gargeya ve Leng (2017) çalışmasında veriye dayalı bir derin öğrenme yöntemi kullanarak DR'yi tespit etmeye çalışmıştır. Çalışma, DR'nin var veya yok şeklinde iki kategoride sınıflandırılması amacıyla Kaggle veri setinden 75.137 fundus görüntüsü eğitim ve test veri seti şeklinde ayrılmıştır. Bununla birlikte harici doğrulama için Messidor2 ve E-Optha veri setleri kullanılmıştır. Elde edilen modelde %94 duyarlılık, %98 özgüllük ve %97 AUC skoru gözlemlenmiştir. Harici veri setlerinde ise %94 duyarlılık ve %95 AUC skoruna ulaşılmıştır. Çalışma bulguları, diyabetik hastalardan elde edilen fundus fotoğraflarının taranarak hangi vakaların değerlendirilmesi ve tedavi edilmesi için bir göz doktoruna sevk edilmesi gerektiğini tamamen veriye dayalı YZ tabanlı bir derecelendirme algoritması kullanılarak yapılabileceğini göstermektedir. Böyle bir algoritmanın küresel bazda uygulanması görme kaybı oranını büyük ölçüde azaltabilir.

Selçuk (2020) tarafından yapılan tez çalışmasında, Messidor ve DiaretDb1 veri setleri kullanılmıştır. Çalışma, DR lezyonlarının bölütlenmesi, analizi, veri düzenlemesi, retinal damar yapısının çıkarılması, mikroanevrizma, optik disk konumlandırılması, kanamaların tespiti ve eksuda gibi aşamalardan geçmiştir. Eksudalar ve kanamaların tespiti için U-Net tabanlı bir CNN yaklaşımıyla semantik bölütleme kullanılırken mikroanevrizma tespiti için karınca kolonisi optimizasyon yöntemi kullanılmıştır. Bu çalışmada, renkli fundus görüntülerinden

DR lezyonlarının tespiti konusunda yüksek bir başarı elde edilmiş ve duyarlılık ile özgüllük değerleri %90'ın üzerinde bulunmuştur. Sonuçlar, geliştirilen yazılımın uzman doktorların karar verme süreçlerine yardımcı olabilecek bir sistem olduğunu göstermiştir.

Türkmen (2021) yaptığı tez çalışmasında, DR'yi sağlıklı veya hastalığın dört evresine göre sınıflandırabilen bir model geliştirmiştir. Fundus görüntüleri, görüntü işleme aşamalarından sonra derin ileri beslemeli yapay sinir ağı olan CNN kullanılarak başarılı bir şekilde sınıflandırılmıştır. EfficientNet modeli tercih edilen çalışmada, %85 doğruluk ve %91 kappa skoru elde edilmiş ve geliştirilen modelin başarısı sunulmuştur.

Sadjadi (2021); Kuzey Amerika, Avrupa, Afrika, Asya ve Avustralya dahil olmak üzere çeşitli coğrafi bölgelerden hastaların fundus ve OCT (Optical Coherence Tomography) görüntülerine uygulanan YZ tarama yöntemlerinin performansını belgelemek için sistematik inceleme ve meta-analizi yapmıştır. Medline, Global Health ve PubMed'de sistematik bir literatür taraması yapılmış ve on sekiz çalışma meta-analize dahil edilmiştir. Değerlendirilen YZ tarama sistemlerinin DR'nin saptanmasında havuzlanmış duyarlılığı (pooled sensitivity) 0,93 (%95 GA: 0,92- 0,94) ve özgüllük 0,88 (%95 CI: 0,86-0,89) bulunmuştur. Bu çalışmanın bulguları, YZ tarama yöntemlerinin çoğunluğunun retinal fundus ve OCT fotoğraflarından yönlendirilebilir DR'yi saptamak için klinik olarak kabul edilebilir duyarlılık ve özgüllük seviyeleri gösterdiğini tespit etmiştir.

YZ, retinada görüntü işleme ve analiz yapabilme yeteneği sayesinde, DR'yi tespit etmek için konvolüsyonel sinir ağları gibi algoritmaları kullanmaktadır. Bu algoritmalar, retinal görüntülerin analiz edilerek anormal bulguların belirlenmesini sağlamakta ve tanı koymada önemli bir yardımcı haline gelmektedir. Bu sistemler, göz muayenesi yapamayan veya uzman göz hekimlerine erişimi sınırlı olan bölgelerde, DR'nin erken tanısında büyük bir yardımcı olarak kullanılabilir. YZ tabanlı DR tanı koyma sistemleri, diyabet hastalarının göz sağlığını korumak ve görme kaybını önlemek için önemli bir araç haline gelmiştir.

Literatürde yer alan çalışmalar, bu sistemlerin etkinliğini ve potansiyelini gösterirken aynı zamanda sağlık sistemi üzerindeki mali yükü azaltma potansiyeline de dikkat çekmektedir. YZ teknolojilerinin sağlık alanında kullanımının, klinik etkinliği artırırken aynı zamanda erişimi iyileştirebileceği ve DR taramalarının mali yükünü azaltabileceği belirtilmektedir (Xie, Gunasekaran, vd., 2020). DR taramasında YZ ve derin öğrenme algoritmalarının kullanılması, tarama maliyetlerinde %20'ye kadar düşüş sağlamakta ve diyabetin sağlık yükünün yönetiminde kaynakların daha verimli kullanılmasına katkıda bulunmaktadır (Lin vd., 2023; Srisubat vd., 2023). Bununla birlikte başka bir araştırma, DR taramasında YZ sistemlerini manuel değerlendirmeye göre hasta başına maliyetleri %23,3 oranında düşürdüğünü tespit etmiştir (Fuller vd., 2022). YZ teknolojileri, hastalıkların tanısında ve tedavi planlamasında kullanılarak daha hızlı ve doğru sonuçlar elde edilmesini sağlayabilir. Bu durum hastaların daha hızlı tanı ve tedaviye erişimini artırırken maliyetleri azaltabilir (Tufail vd., 2017). YZ tabanlı çözümler genel sağlık harcamalarını en aza indirirken oftalmolojik tedavileri geliştirmede daha pragmatik bir yaklaşım sunmaktadır (Senapati vd., 2024). Sonuç olarak YZ'nin oftalmolojide tıbbi kalitede önemli gelişmelere yol açması, maliyet tasarrufu sağlayan iyileştirmeler sunması ve ilerleyen dönemlerde bu teknolojinin daha da geliştirilerek DR tanısında daha yaygın bir şekilde kullanılması beklenmektedir (Ruamviboonsuk vd., 2021).

2.4. EYECHECKUP YAPAY ZEKÂ YAZILIMI

FDA, 2018 yılında IDx-DR adlı YZ tabanlı bir yazılım programını onaylayarak DR tespiti ve sınıflandırılmasında kullanılmasını kabul etmiştir. Ayrıca 2020 yılında EyeArt isimli bir YZ tabanlı cihaz da DR tespiti ve sınıflandırılmasının otomatik olarak yapılabilmesi için FDA onayını almıştır (Shukla & Tripathy, 2023). FDA tarafından onaylanmış DR cihazları bulunmaktadır. Bu tür cihazlar sürekli olarak ülkeler tarafından geliştirilmeye devam edilmektedir. Bu geliştirme çalışmalarından biri, Türkiye'de uzman mühendisler ve doktorlar tarafından geliştirilen EyeCheckup yazılımıdır. EyeCheckup yazılımının temel amacı, DR'nin erken evrelerini tespit etmek ve hastaları zamanında retina uzmanlarına

yönlendirerek görme kaybının önüne geçmektir. Yazılım, DR'nin tespitinde önemli olan özellikleri ve sorunları ele almaktadır.

2.4.1. Veri Kümesi ve Ön İşleme

EyeCheckup, kamuya açık veri setleri ve etik kurul onayı alınarak toplanan 350,000 fundus fotoğraflarından oluşan bir veri seti kullanmaktadır. Bu veri seti, DR'nin farklı seviyelerine ait ve farklı anomali varyasyonlarını içermektedir. Veri ön işleme aşamasında, fotoğraflar üzerinde sadece 16:9 oranındaki fotoğraflar kare formata dönüştürülmüştür.

2.4.2. Model Mimarisi ve Parametreleri:

EyeCheckup yazılımı, Faster R-CNN mimarisine ve Resnet omurgasına sahip bir nesne tanıma modeli kullanmaktadır. Bu model, mikroanevrizma, sert eksuda, intraretinal kanama, pamuksu lekeler (yumuşak eksudalar, cotton wool spot), neovaskülarizasyon, preretinal kanama ve vitre içi kanamaları tespit etmek için eğitilmiştir. Toplamda 42.8 milyon parametreye sahip olan model, eğitim sırasında optimize edilmekte ve retinal anomalilerin tespitinde kullanılmaktadır.

2.4.3. Eğitim Süreci

EyeCheckup modeli, işaretlenen anomalilerle eğitim verilerini kullanarak Tensorflow Object Detection API aracılığıyla eğitilmiştir. Eğitim parametreleri, farklı denemeler ve "Grid Search" yöntemiyle optimize edilmiştir. Eğitim verileri, DR seviyelerinin dengeli dağılımını sağlamak için train (eğitim) ve test setlerinde 80/20 oranında bölünmüştür.

2.4.4. Sınıflandırma

EyeCheckup yazılımı, DR'nin farklı şiddet seviyelerinde gözlemlenebilecek klinik bulguları, ICDR şiddet ölçeği ve ABD ölçeğine göre sınıflandırmıştır. Başlangıçta, EyeCheckup yazılımı DR için üç seviye olarak çıktı vermektedir. Bu seviyeler;

- No DR (DR yok) (DR yok ya da Mild NPDR),
- More than Mild DR (Orta ve üzeri DR) (Moderate NPDR),
- Vision-threatening (Görmeyi tehdit eden) DR (Severe NPDR, PDR)

Bununla birlikte tez çalışması kapsamında, EyeCheckup yazılımının her bir evresi için ayrı sonuç gösterimleri eklenmiş ve bu sayede klinik bulguların daha kapsamlı bir şekilde analiz edilmesi sağlanmıştır. Yeni eklemeler yapıldıktan sonra EyeCheckup yazılımı aşağıdaki şekilde de çıktı sunmaktadır.

- No DR (DR yok)
- Hafif NPDR
- Orta NPDR
- Görmeyi tehdit eden (Vision-threatening) DR (Severe NPDR, PDR)

EyeCheckup yazılımı çalışan popülasyonun bir numaralı körlük sebebi olan DR ile Yaşa Bağlı Maküla Dejenerasyonu (YBMD), Glokom, Retinal Ven Oklüzyonu (RVO) ve diğer retinopatiyi teşhis etmektedir. Bu yazılım, kullanıcı dostu arayüzü ve gelişmiş YZ algoritmaları sayesinde, hızlı ve doğru sonuçlar sunarak sağlık profesyonellerinin karar verme süreçlerini kolaylaştırmaktadır. Ayrıca erken tanı imkânı sağlayarak görme kaybının önlenmesine önemli katkılarda bulunmaktadır.

2.4.5. Performans Değerlendirme Metrikleri

Türkiye İlaç ve Tıbbi Cihaz Kurumu (TİTCK) onaylı (Ek 4) EyeCheckup yazılımının DR'ye tanı koymasına için doğruluğu, duyarlılığı ve özgüllüğü, Akdeniz Üniversitesi Endokrinoloji bölümünde, diyabet tanısı konmuş ancak DR tanısı konmamış 900 gönüllü hasta üzerinde yapılan prospektif klinik çalışmada doğrulanmıştır. Performans ölçümleri arasında AP, mAP, sensitivity, specificity, accuracy, FN rate, FP rate gibi metrikler bulunmaktadır. Belirtilen metriklerin anlamları aşağıda açıklanmıştır (Ahsan vd., 2022).

- *Doğruluk (Accuracy)*: Doğruluk, modelin doğru sınıflandırılan gözlemlerin ya da doğru tahmin edilenlerin toplam gözlem sayısına oranıdır. Doğruluk, genellikle sınıf dengesi olduğunda iyi çalışan bir değerlendirme metriğidir.
- *AP (Average Precision- Ortalama Hassasiyet)*: Nesne tespiti görevlerinde kullanılır. Bir nesne tespiti modeli, nesneleri doğru bir şekilde tespit edip sınıflandırdığında yüksek bir AP değerine sahip olur. AP, modelin farklı eşiklerdeki hassasiyet ve doğruluk puanlarının bir ortalamasını hesaplar.
- *mAP (Mean Average Precision - Ortalama Ortalama Hassasiyet)*: Birden fazla sınıfı olan nesne tespiti modelleri için kullanılır. mAP, her sınıf için AP değerlerinin ortalamasıdır. Modelin her sınıf için ne kadar iyi performans sergilediğini göstermektedir.
- *Sensitivity (Duyarlılık)*: modelin gerçek pozitif tahminlerinin toplam pozitif sayısına oranını ifade eder. Yüksek duyarlılık, modelin nesneleri doğru bir şekilde tespit ettiğini gösterir. Kısaca gerçek pozitiflerin ne kadarının doğru bir şekilde tahmin edildiğini belirtir.
- *Specificity (Özgüllük)*: Özgüllük, modelin gerçek negatif tahminlerinin toplam negatif sayısına oranını ifade eder. Yüksek özgüllük, modelin yanlış pozitif tahminlerin azaldığını gösterir.
- *False Positive (FP) (Yanlış Pozitif)*: Yanlış Pozitif, gerçekte olumsuz veya negatif olan bir durumun, yanlış bir şekilde pozitif veya olumlu olarak sınıflandırılmasıdır. Bu durumda, bir test veya sınıflandırma modeli, aslında olmayan bir özelliği veya durumu varmış gibi tanımlar.
- *False Negative (FN) (Yanlış Negatif)*: Yanlış Negatif, gerçekte pozitif veya olumlu olan bir durumun, yanlış bir şekilde negatif veya olumsuz olarak

sınıflandırılmasıdır. Bu durumda, bir test veya sınıflandırma modeli, aslında var olan bir özelliği veya durumu yokmuş gibi tanımlar.

Yapılan çalışmada üç farklı non-midriyatik fundus kamerası kullanılmış ve optimize edilmiştir. Tablo 2’de bağımsız bir araştırma kuruluşu tarafından kaydedilen yazılımın duyarlılık ve özgüllük değerleri sunulmuştur. Duyarlılık ve özgüllük değerleri 3 farklı kamera ve her bir evre için %90’nın üzerinde performans göstermiştir (Doğan vd., 2024).

Tablo 2. EyeCheckup Yazılımın Duyarlılık ve Özgüllük Değerleri

N= 900	Optomed Aurora			Canon CR2 AF			Topcon TRC-NW400		
	mtmDR	vtDR	DME	mtmDR	vtDR	DME	mtmDR	vtDR	DME
Duyarlılık	(114/126) %90,48	(78/82) %95,12	(75/79) %94,93	(110/115) 95.65%	(72/75) 96.00%	(69/72) 95.83%	(99/104) 95.19%	(67/68) 98.52%	(66/67) 98.50%
Özgüllük	(699/719) %97,21	(754/763) %98,82	(758/766) %98,95	(565/589) 95.92%	(606/629) 96.34%	(612/632) 96.83%	(464/481) 96.46%	(496/517) 95.93%	(499/517) 96.52%
mtmDR: More than Mild DR (Orta derece DR) (Moderate NPDR), vtDR: Vision-threatening (Görmeyi tehdit eden) DR (Severe NPDR, PDR) DME: Diyabetik Makula Ödemi N: Gözlem Sayısı									

2.4.6. Yazılım Geliştirme Süreci ve Tıbbi Uzmanlar:

EyeCheckup yazılımının geliştirilme sürecinde, tıbbi uzmanlarla yakın iş birliği yapılmıştır. Tıbbi uzmanlar, veri setinin oluşturulmasında, modelin eğitiminde ve testlerin değerlendirilmesinde aktif olarak yer almışlardır. Uzmanların geri bildirimleri ve deneyimleri, yazılımın geliştirilmesi ve iyileştirilmesine yardımcı olmuştur.

Özetle, EyeCheckup, DR’ye erken tanı koymak için geliştirilen CNN’ler kullanılarak oluşturulan YZ tabanlı bir tanı yazılımıdır. EyeCheckup yazılımının

yüksek performansı ve doğruluğu ile diyabet hastalarının göz sağlığını korumak ve görme kaybını önlemek için umut verici bir araç olarak kullanılabilir.

Bu tez kapsamında DR tanısı için URAL Telekomünikasyon (EyeCheckup projesi ana şirketi) şirketi tarafından uzman doktor danışmanlığı alınarak geliştirilmiş YZ tabanlı bir yazılım olan EyeCheckup v1.0 kullanılmıştır.



3. BÖLÜM

EKONOMİK DEĞERLENDİRME YÖNTEMLERİ

Toplumlar sürekli olarak sağlık hizmetleri kaynaklarının tahsisinde zor kararlarla karşı karşıya kaldığından, sağlık hizmetlerindeki ekonomik yük, ilgili tüm taraflar (kamu, hükümet ve endüstri) için önemli bir endişe kaynağı olmuştur (Bang & Zhao, 2014). Sağlık hizmetleri maliyetlerini kontrol altına almanın önemli bir gereklilik olduğu düşünüldüğünde, ekonomik sonuçlara dayalı olarak hangi müdahalelerin en yüksek değeri sağladığının değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu sebeple sağlık hizmetlerinde ekonomik değerlendirmeler yapılmaktadır.

Ekonomik değerlendirme, alternatif eylemlerin maliyetlerini ve sonuçlarını karşılaştırarak sağlık hizmetleri ve diğer faaliyetlerde verimli ve etkili kararlar almayı sağlayan bir analiz sürecidir. Bu süreç, kaynakların sınırlı olduğu durumlarda en iyi kullanımı belirlemek ve toplumsal değerleri açığa çıkarmak için önemli bir araçtır. Sağlık hizmetleri bağlamında ekonomik değerlendirme, sağlık hizmetlerinin maliyetlerini ve sonuçlarını belirlemek, ölçmek, değerlemek ve karşılaştırmak için kullanılmaktadır. Bu analiz süreci, sağlık hizmetlerinde hangi tedavi veya hizmetin en etkili ve verimli olduğunu belirlemeye yardımcı olmaktadır (Drummond vd., 2015).

Sağlık hizmetlerinde ekonomik değerlendirmeler, maliyet fayda analizi, maliyet değer analizi, maliyet minimizasyon analizi ve maliyet etkililik analizi gibi çeşitli yöntemler kullanılarak yapılmaktadır. Bu bölümde ekonomik değerlendirme yöntemlerinin neler olduğu kısaca ifade edilecektir. Bununla birlikte bu tez kapsamında kullanılacak olan maliyet-etkililik analizi daha detaylı bir şekilde incelenecektir.

3.1. MALİYET YARAR ANALİZİ (COST BENEFIT ANALYSIS)

Maliyet Yarar Analizi (MYA), bir sağlık müdahalesinin yararlarını maliyetleriyle karşılaştırırken yararların parasal olarak değerlendirildiği bir yöntemdir. MYA, belirli bir müdahalenin değerli olup olmadığını ve toplumun kaynaklarının ne kadarının bu belirli müdahaleye tahsis edilmesi gerektiğini belirlemeye yardımcı olabilmektedir (Edlin vd., 2015). MYA, sağlık müdahalelerinin ya da alternatif sağlık programlarının ek yararlarının maliyetlerden daha yüksek olması durumunda tercih edilmesi gerektiği ilkesine dayanmaktadır.

MYA, sağlık hizmetlerinde programların veya tedavi yöntemlerinin ekonomik ömrü boyunca ortaya çıkacak yararları ve maliyetleri değerlendiren bir yöntemdir. Bu analiz, sağlık kaynaklarının etkin ve verimli bir şekilde kullanılmasını sağlamak ve sağlık hizmetlerindeki öncelikleri belirlemek amacıyla kullanılmaktadır (Mosadeghrad vd., 2022). Maliyetler ölçülürken alternatif programların sağlanması ya da tedavi yöntemlerinin uygulanması için yapılan harcamalar, üretim kaybı ve hastalığın beraberinde getirdiği rahatsızlık ve acı gibi unsurlar dikkate alınmaktadır. Yararların ölçülmesinde ise genellikle insan sermayesi yaklaşımı ve ödeme isteklilik yöntemleri kullanılmaktadır. İnsan sermayesi yaklaşımı, yarar sağlayacak kişilerin parasal olarak değerlerini ortaya koymak için kullanılan bir yöntemdir. MYA'de yararların ölçülmesi için en çok tercih edilen yöntem olan ödeme isteklilik yöntemi ise yarar sağlayacak bireylere, bu yararı elde etmek için ne kadar ödemeye razı oldukları sorularak yararın değeri ölçülmeye çalışılmaktadır. Bu şekilde, insanların ne kadar bir bedel ödemeye istekli oldukları belirlenmektedir. Son aşamada ise yarar-maliyet rasyosu, net bugünkü değer veya içsel getiri haddi gibi yöntemler kullanılarak elde edilen sonuçlar değerlendirilip karar vericilere en uygun programın seçilmesi sağlanmaktadır (Çelik, 2019; Tan-Torres Edejer vd., 2003).

MYA, sağlık hizmetlerindeki kaynakların etkin ve verimli bir şekilde kullanılmasını sağlamak için önemli bir araçtır. Karar vericilere daha rasyonel ve tutarlı bir süreç sunarak programların ve tedavi yöntemlerinin seçiminde yardımcı olmaktadır.

Ancak bu analiz yönteminde yararların parasal olarak değerlendirilmesi konusunda zorluklar yaşanabilmektedir.

3.2. MALİYET FAYDA ANALİZİ (COST UTILITY ANALYSIS)

Maliyet Fayda Analizi (MFA), sağlık hizmetlerinde farklı stratejilerin maliyetlerini ve sonuçlarını karşılaştıran bir ekonomik analiz yöntemidir. Analizin amacı, klinik ve ekonomik parametreler açısından farklı stratejileri karşılaştırarak stratejilerin maliyet etkililiğini değerlendirmektir. MFA, sağlık girişimlerinin karşılaştırılmasına olanak sağlayan, yaşam süresi ve yaşam kalitesindeki değişimleri ölçen ve tercihleri dikkate alan bir analiz yöntemidir (Drummond vd., 2015).

MFA, alternatif programların sonuçlarının tek bir "fayda (utility) temelli" ölçü birimi olarak ifade edildiği bir ekonomik değerlendirme şeklidir. Buradaki değer kavramı belirli bir sağlık statüsü düzeyinin tercih edilme durumunu ifade etmektedir. MFA'da en yaygın kullanılan fayda temelli ölçü, kaliteye ayarlı yaşam yılı (QALY, Quality-Adjusted Life Year)'dır (Çalışkan, 2009). QALY'ler, bir programdan elde edilen toplam yaşam yıllarının tahmin edilmesi ve her yıla yaşam kalitesini yansıtan bir ağırlık verilmesiyle hesaplanmaktadır. Bu sebeple QALY hesaplamalarında yaşam süresi ve yaşam kalitesi olmak üzere iki set veriye gereksinim duyulmaktadır. Yaşam kalitesi 0 ile 1 arasında bir puanla ölçülmekte ve "0" ölümü temsil ederken "1" mükemmel sağlığı temsil etmektedir. Bireylerin sağlığı QALY açısından ölçülmekte ve toplumun sağlığı QALY'lerin toplamı olarak değerlendirilmektedir. MFA sonuçları genellikle bir QALY başına düşen maliyet veya bir programın seçilmesiyle kazanılan sağlıklı yıl başına düşen maliyet olarak ifade edilmektedir (Çelik, 2019; Robinson, 1993b).

Bir kişinin yaşam kalitesini ölçmek zor olması sebebi ile son yıllarda çeşitli yaşam kalitesi ölçekleri geliştirilmiştir. Bu ölçekler, yaşam kalitesini birkaç farklı boyutta ölçmeyi amaçlamaktadır (Robinson, 1993b). Yaşam kalitesi ölçümleri, bireylerin işlevsel durumlarını, fiziksel sağlığını, akıl sağlığını ve moral düzeyini bir arada değerlendirerek genel iyilik halini tanımlamaktadır. Bu amaçla, Nottingham Sağlık

Profili, Hastalık Etki Profili, Short Form-36 ve EQ-5D (European Quality of Life 5-Dimensions) gibi ölçekler yaygın olarak bireylerin yaşam kalitesi değerlerini ve tercihlerini belirlemede kullanılan yaşam kalitesi araçlarıdır (Yalçın Balçık & Şahin, 2013).

3.3. MALİYET MİNİMİZASYON ANALİZİ (COST MINIMIZATION ANALYSIS)

Maliyet-minimizasyon analizi (MMA), benzer sonuçlar elde edildiği kabul edilen farklı programlar arasında sadece maliyetleri karşılaştıran bir değerlendirme yöntemidir. Bu analiz, sağlık hizmetlerinde bir müdahalenin durumu belirlendiğinde ve incelenen programların eş fayda vermesi beklenildiğinde kullanılmaktadır. Bu yöntemde, program çıktılarının benzer sonuçlar elde edildiği varsayıldığından maliyetler karşılaştırılarak en düşük maliyetli seçenek tercih edilmektedir (Çelik, 2019; R. Robinson, 1993a).

3.4. MALİYET ETKİLİLİK ANALİZİ (COST EFFECTIVENESS ANALYSIS)

Sağlık hizmetlerinde gerçekleşen yüksek maliyetler, sağlık hizmetlerinin verimliliği konusunda artan bir ilgiye neden olmuştur. Bu alanda yapılan maliyet-etkililik analizleri, sınırlı sağlık kaynaklarının daha etkili bir şekilde kullanılması amacıyla sağlık profesyonelleri ve ekonomistler tarafından sıkça kullanılmaktadır. Maliyet-etkililik analizi (MEA), aynı görevi yerine getiren stratejilerin maliyetlerini ve sonuçlarını karşılaştıran bir ekonomik analiz yöntemidir. Bu analiz, farklı alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır (Bang & Zhao, 2014).

MEA, bir müdahalenin maliyetini ve elde edilen sağlık sonuçlarını karşılaştırarak bir karar vericinin bu müdahalenin maliyetine değer olup olmadığını veya diğer müdahalelerle karşılaştırıldığında daha verimli olup olmadığını belirlemesine yardımcı olan bir analiz yöntemidir. Bu analiz, istenen sonuçları en az maliyetle elde etmek veya verilen bir bütçeyi kullanarak istenen sonucu maksimize etmek için nasıl hareket edileceğine dair karar vericilere yol göstermektedir (Warner, 1989). Bu analizde, maliyetler parasal birimlerle ifade edilmekte, seçeneklerin

sonuçları ise doğal birimlerle ölçülmektedir. Başka bir ifadeyle etkililik kazanılan yaşam süresi, yaşam kalitesi, azaltılan hasta gün sayısı, aşılanan çocuk sayısı, tedavi edilen kişi sayısı veya kan basıncında kaydedilen azalma gibi nicel etki birimleriyle ifade edilmektedir (Çelik, 2019; McPake vd., 2020).

Aşağıdaki Eşitlik (1)'de maliyet-etkililik oranı açıklanmaktadır. Pay, hastalığın tedavisine ilişkin tüm doğrudan ve dolaylı maliyetleri içeren toplam maliyeti ifade ederken payda ise geçici birimlerle (kazanılan yaşam yılları veya sağlıklı günler vb.) ölçülen hasta düzeyindeki fayda birimini ifade etmektedir (Rai & Goyal, 2018). Sağlık faydalarını ölçmek için en yaygın kullanılan sonuç ölçüsü QALY'dir (Feng vd., 2020).

$$\text{Maliyet-Etkililik Oranı} = \frac{\text{Maliyet}}{\text{Sonuç (Çıktı)}} \quad (1)$$

MEA, araştırma probleminin, perspektifin ve maliyetlerin belirlenmesi, ilave maliyet etkililik oranının tespit edilmesi, indirgeme işlemi ve duyarlılık analizinin yapılması ile sonuçlarının yorumlanması adımlarını içermektedir (Smith vd., 2005). MEA gerçekleştirmede izlenecek adımlar detaylı bir şekilde aşağıda açıklanmaktadır.

3.4.1. Araştırma Problemi ve Perspektifin Belirlenmesi

MEA'da ilk olarak araştırma problemi ve karşılaştırılacak alternatif müdahaleler belirlenmektedir. Daha sonra hangi perspektiften analiz yapılacağına karar verilmektedir (Smith vd., 2005). Analizler belirli bir perspektiften yapılmaktadır. Bu perspektif, analize dahil edilen maliyet ve faydaların türünü belirlemektedir. Maliyetler, toplumun, hastaların, sağlık hizmeti sunanların ve ödeme yapanların perspektiflerine göre farklı şekilde değerlendirilebilmektedir. Geri ödeme kurumu perspektifi, hastaların tedavi maliyetlerini, sağlık profesyonellerinin maliyetleri gibi sağlık hizmeti kaynaklarının kullanımında yalnızca sağlık sigortası veya ödeme kurumu tarafından karşılanan maliyetleri içermektedir. Hizmet sunucu perspektifi hastanelerin sağlık hizmeti sunarken ödemek zorunda olduğu maliyetleri,

özellikle personel ve ekipman maliyetlerini dikkate almaktadır. Hasta maliyet perspektifi, hastaların sigorta tarafından karşılanmayan maliyetleri, kısaca cepten yapılan harcamaları içermektedir. Toplumsal perspektif, sağlık teknolojileri tarafından üretilen tüm harcamaların çeşitli ödeyenler için dikkate alındığı en kapsamlı perspektiftir. Hastanın zamanı, hastanın ulaşımı ve üretkenlik kaybını içermektedir (Guillemín vd., 2020; Kim vd., 2020). MEA gerçekleştiren araştırmacılar, bir bakış açısı benimsemek zorundadır ve bu benimsenen perspektif, araştırma sürecini önemli ölçüde etkilemektedir.

3.4.2. Alternatif Müdahalelerin Açıklanması ve Sağlık Sonucu Ölçütünün Belirlenmesi

Hizmetin sunumu, uygulama yerleri ve hizmetin alınma sıklıkları gibi çeşitli yönler dikkate alınarak alternatif müdahaleler detaylı bir şekilde açıklanmaktadır. Müdahaleleri karşılaştırmak için kullanılacak temel sağlık sonucu ölçüsü (hastalık, sağlık durumu, QALY gibi) belirlenmektedir (Smith vd., 2005).

Sağlık hizmetlerinde kaynakların önceliklendirilmesi, hangi müdahalelerin daha az maliyetli ve etkili sağlık sonuçları sağladığını değerlendirerek karar vermeyi içermektedir. Sağlık çalışmaları, bir tedavinin etkisini göstermek için birçok farklı sağlık sonucu ölçümü kullanmaktadır. Sağlık bakım kaynaklarının en verimli şekilde nasıl tahsis edileceği konusunda karar almak zor olmaktadır. Farklı sağlık müdahalelerinin çeşitli sağlık sonuçları üzerindeki etkileri karşılaştırılınca bu durum daha da güçleşmektedir. Müdahaleler hayatta kalma oranları, basınç ülseri vakaları, ağrısız gün sayısı gibi farklı kriterlere göre değerlendirilebilmektedir. Sadece hayatta kalma kriteri dikkate alındığında müdahalelerin yaşam kalitesi üzerindeki etkisi göz ardı edilebilmektedir. Bu sebeple sağlık hizmetlerinin farklı alanları arasında karşılaştırma yapılabilmesi için ortak bir ölçütün olması gerekmektedir. Bu nedenle farklı alanlarda kullanılabilecek bir sonuç ölçüsü özellikle faydalıdır ve şu ana kadar en yaygın kullanılan ölçü, QALY olarak adlandırılmaktadır (Whitehead & Ali, 2010). QALY ile birlikte engelliğe göre ayarlanmış yaşam yılları da (DALY) maliyet etkililik analizlerinde kullanılacak sağlık ölçüsü olarak önemli rol oynamaktadır. DALY'ler

genellikle gelişmekte olan ülkelerde ve geniş kapsamlı analizlerde tercih edilirken QALY'ler klinik karar alma süreçlerinde, yeni klinik stratejilerin değerlendirilmesinde ve gelişmiş ülkelerde daha yaygın olarak kullanılmaktadır. Sağlık ölçüsünün seçimi, araştırmanın için kaynakların kullanılabilirliğine ve hedeflerin önceliklendirilmesine dayanmalıdır (Deshmukh vd., 2013).

Sağlık ekonomisi çalışmalarında, QALY değerini elde etmek için genellikle EQ-5D-5L adlı yaşam kalitesi ölçüm aracından faydalanılmaktadır. QALY, EQ-5D-5L ölçüm aracının değer setleri kullanılarak hesaplanabilmektedir (Devlin & Brooks, 2017). EQ-5D-5L, hareketlilik, öz bakım, olağan aktiviteler, anksiyete/depresyon ve ağrı/rahatsızlık şeklinde beş farklı boyuttan oluşmaktadır. Her bir boyut, beş seviyeden oluşmaktadır. Seviye 1, hiçbir sağlık probleminin olmadığını; seviye 2, hafif problemlerin; seviye 3, orta düzeyde problemlerin; seviye 4, ciddi problemlerin ve seviye 5; aşırı derecede sağlık problemlerinin olduğunu ifade etmektedir. Katılımcılar, her bir boyut için mevcut sağlık durumlarına karşılık gelen düzeyi belirlemek amacıyla kendilerini değerlendirmektedir. Sağlık durumu "11111" hiçbir alanda sağlık problemi olmadığını, "55555" ise tüm alanlarda aşırı problem olduğu anlamına gelmektedir. EQ-5D-5L ölçeği, ayrıca kişinin bildirdiği sağlık durumunu en iyi (100) ile en kötü (0) arasında bir değerle temsil eden görsel analog bir ölçek olan VAS'ı da içermektedir (Poteet & Craig, 2021)

3.4.3. Maliyetlerin Belirlenmesi

Maliyetler, genellikle üç temel kategoriye ayrılmaktadır: doğrudan maliyetler, dolaylı maliyetler ve maddi olmayan maliyetler. Doğrudan maliyetler, tıbbi ve tıbbi olmayan maliyetlerden oluşmaktadır. Tıbbi maliyetler, tıbbi bakım hizmetlerinin doğrudan maliyetlerini içermekte olup teşhis, tedavi ve rehabilitasyon gibi tıbbi bakım harcamalarını kapsamaktadır. Tıbbi olmayan maliyetler ise sağlık dışı kaynakların tüketimi sonucu ortaya çıkan harcamaları içermekte olup ulaşım, ev harcamaları ve konaklama gibi unsurları kapsamaktadır. Dolaylı maliyetler, doğrudan tıbbi bakım hizmetleriyle ilişkili olmayan ancak hastalıkların dolaylı etkileri sonucunda ortaya çıkan maliyetleri kapsamaktadır. Dolaylı maliyetler

kapsamında, hastalık nedeniyle çalışamayan bireylerin hastalık süresince aldıkları ücretler yer almaktadır. Örneğin; erken ölümlerden kaynaklı iş gücü kayıpları, hastalık nedeniyle iş günü kayıpları, hastalıklar sonucu işyerinde verimlilikte azalma gibi unsurlar dolaylı maliyet kapsamında değerlendirilmektedir. Son olarak maddi olmayan maliyetler, hastaların, ailelerinin ve yakınlarının yaşadığı acı, sevinç ve ıstırapın maliyetini içermektedir. Bu tür maliyetler psikolojik, duygusal ve sosyal boyutlarda ortaya çıkmaktadır ve sıklıkla hesaplanması zor olsa da sağlık hizmetlerinin maliyet analizinde önemli bir faktördür (Afkar vd., 2021; Anders vd., 2013). Tüm bu maliyet kategorileri, sağlık hizmetlerinin maliyetlerinin etkin bir şekilde değerlendirilmesi ve yönetilmesi için önem arz etmektedir.

Sağlık hizmetleri tarafından sağlanan hizmetleri ölçmek amacıyla kaynakların tahsisine yönelik farklı maliyet sistemleri kullanılmıştır (Niñerola vd., 2021). Araştırmacılar, geleneksel maliyet sistemlerinin yetersizliği ve sağlık hizmetleri maliyetlerini belirli faaliyetlere ya da ürünlere dayandırarak hesaplayabilmek amacıyla faaliyet tabanlı maliyetleme (Activity Based Costing) (ABC) ve zamana dayalı faaliyet tabanlı maliyetleme (Time-Driven Activity-Based Costing) (TDABC) gibi yöntemleri incelemeye başlamışlardır (Alves vd., 2018). Bu sayede, daha sistematik ve standardize bir maliyet analizinin gerçekleştirilmesi hedeflenmektedir.

Faaliyet Tabanlı Maliyetleme (FTM), geleneksel maliyetleme yönteminden farklı olarak giderlerin hizmetlere doğrudan yüklenmesi yerine faaliyetlere yüklenerek maliyetlerin daha doğru ve gerçeğe yakın hesaplanmasını sağlayan bir maliyetleme yaklaşımıdır. Faaliyet Tabanlı Maliyetleme (FTM), iki temel prensibe dayanmaktadır. Birincisi FTM, hizmetlerin değil faaliyetlerin tüketimine dayanmaktadır. Başka bir ifade ile maliyetlerin kaynağı hizmetler değil, bu hizmetleri gerçekleştiren faaliyetlerdir. İkincisi ise faaliyetler, hizmetleri tüketmektedir. Bu nedenle faaliyetlerin belirlenmesi ve tüketilen giderlerin hesaplanmasından sonra, bu giderler faaliyetin tüketim oranına göre hizmetlere yüklenmektedir (Agırbas, 2020). FTM sistemi, kaynaklar, faaliyetler ve maliyetler

arasındaki ilişkiyi temel almaktadır. FTM yönteminin bu ilişkisinde yer alan unsurlar aşağıda açıklanmıştır (Ağırbaş, 2020; Torun & Şenyurt, 2022).

Faaliyet ve faaliyet merkezi: FTM yönteminde, faaliyetler hizmetin üretilmesi sürecindeki etkinlikleri (poliklinik muayenesi, röntgen çekimi, hasta kabul işlemi, ameliyatların yapılması) ifade eder ve belirli birimlerde gerçekleştirilir. Faaliyetlerin yürütüldüğü birimler ise faaliyet merkezi olarak adlandırılmaktadır. Örnek olarak bir ameliyatın gerçekleştirilmesi için yapılan bir FTM’ de hasta kabul işleminden başlayarak poliklinik, klinik, anestezi, cerrahi ve yoğun bakım gibi faaliyetler faaliyet merkezi olarak gösterilebilir.

Kaynak: Sağlık hizmet üretmek için kullanılan direkt ilk madde ve malzeme (tıbbi malzeme, ilaç vb.), direkt personel giderleri ve genel üretim giderlerinin (elektrik, su vb.) toplamını ifade etmektedir.

Maliyet Havuzu: Geleneksel maliyetleme yöntemindeki gider yeri kavramının yerine kullanılmaktadır. FTM’de, her bir faaliyet için bir maliyet havuzu oluşturulur. Her faaliyetin maliyet havuzunda, o faaliyetin gerçekleştirilmesi için kullanılan kaynakların maliyeti toplanmaktadır. Ardından, üretilen hizmetin o faaliyetten ne ölçüde faydalandığına bağlı olarak maliyet havuzundan ilgili payı almaktadır.

Maliyet Etkeni/Sürücüsü: Maliyetlerin dağıtımı için sebep-sonuç ilişkisini yansıtan ve maliyetlerin neye göre tahsis edileceğini gösteren ölçüt anlamına gelmektedir. Maliyet etkeni maliyet havuzlarında toplanan maliyetlerin üretilen hizmetlerin dağıtımında kullanılan ölçülerdir. Sağlık kuruluşlarında bu rolü üstlenen örnek maliyet sürücüleri; poliklinik sayısı, yatan hasta gün sayısı, yapılan tıbbi tetkik/görüntüleme sayısı, tetkik süresi gibi faktörler olabilir.

Maliyet Nesnesi: Faaliyet veya faaliyet grubunun üretimi sonucunda ortaya çıkan ve o faaliyetin gerçekleşmesine sebep olan ürün ya da hizmeti ifade etmektedir.

FTM yöntemi için aşağıdaki adımlar takip edilebilir (Brimson, 1991).

- FTM uygulamasının yapılacağı birimlerin ve maliyeti hesaplanacak çıktıların belirlenmesi
- İş akışına uygun olarak faaliyet merkezlerinin ve bu faaliyet merkezlerinde yürütülen faaliyetlerin belirlenmesi
- Faaliyet merkezindeki faaliyetlerin maliyetlerinin belirlenmesi
- Maliyet etkenlerinin belirlenmesi
- Faaliyet merkezlerindeki faaliyet maliyetlerinin maliyet etkenleri ile hizmetlere yüklenmesi
- Çıktının maliyetinin hesaplanması

Kaplan ve Anderson (2004), FTM yönteminin yüksek maliyetli ve zaman alıcı olmasından dolayı daha basit, az maliyetli ve hızlı bir uygulama yöntemi olan Zamana Dayalı Faaliyet Tabanlı Maliyetleme (ZDFTM) yöntemini geliştirmişlerdir. ZDFTM, FTM yöntemini temel alarak geliştirilen bir yöntemdir (Keel vd., 2017). ZDFTM, faaliyetleri gerçekleştirmek için geçen süreye göre bir hizmetin maliyetini hesaplayan bir maliyetlendirme sistemidir. ZDFTM, her bir faaliyet için harcanan süreye ve bu faaliyetlerde kullanılan kaynakların (personel, ekipman ve tesisler gibi) maliyetine dayalı olarak maliyetleri belirli faaliyetlere tahsis etmektedir. Geleneksel maliyet yöntemlerinden ziyade her hasta için harcanan zaman kaynaklarına odaklanarak maliyet hesaplamalarını basitleştirmektedir.

Sağlık hizmetleri bağlamında ZDFTM, hastaların tedavisinde kullanılan kaynakları (sağlık hizmeti sağlayıcıları, ekipman ve tesisler gibi) tanımlayıp ölçerek hasta bakımının maliyetini belirlemek amacıyla kullanılan bir yöntemdir.

Sağlık hizmeti sağlayıcıları, bir hastanın tüm tedavi sürecinin haritasını çıkararak ve ilgili her faaliyetin zamanını ve maliyetini tahmin ederek bir hastanın toplam bakım maliyetini daha doğru bir şekilde hesaplayabilir. ZDFTM, her bir faaliyet için kullanılan kaynakların maliyetini ve hastanın her bir kaynakla geçirdiği süreyi tahmin etmeyi gerektirmektedir. ZDFTM, hasta bakımı için gereken kaynak saatlerini tahmin etmeye, doğru maliyet tahminleri ve bütçe oluşturmaya yardımcı olmaktadır (Kaplan & Porter, 2011).

ZDFTM, yöntemini kullanarak maliyetlendirme aşağıdaki adımlardan oluşmaktadır (Alves vd., 2018).

- Belirli bir tıbbi durumu veya hasta popülasyonunu seçmek: Analiz için odaklanılacak tıbbi durum veya hasta grubu belirlenir.
- Hasta bakımı değer zincirini tanımlamak: Bir hastanın tıbbi bir duruma yönelik bakımıyla ilgili temel faaliyetleri konumlarıyla birlikte gösteren bakım sunumu değer zinciri belirlenir.
- Her faaliyet için süreç haritaları geliştirmek: Her faaliyet için ayrı süreç haritaları oluşturularak bütün doğrudan ve dolaylı kapasite sağlayan kaynaklar (personel, tesisler, sarf malzemeleri ve ekipman vb.) detaylı şekilde gösterilir.
- Her süreç adımı için zaman tahminleri elde etmek: Her faaliyet için zaman tahminleri yaparak kaynak kullanım süreleri belirlenir.
- Her hasta bakım kaynağının maliyetini tahmin etmek: Hasta bakımında kullanılan her kaynağın maliyeti hesaplanır.

- Her kaynağın pratik kapasitesini tahmin etmek ve kapasite maliyet oranını hesaplamak: Her kaynağın ne kadar süreyle kullanılabileceğini belirleyerek maliyet oranı hesaplanır.
- Her hasta bakım döngüsü boyunca toplam maliyetleri hesaplamak: Her hasta sürecinde kullanılan her bir kaynak için kapasite maliyet oranlarını hastanın kaynakla geçirdiği süre ile çarparak bir hastayı tedavi etmenin toplam maliyeti tahmin edilir. Hastanın toplam bakım maliyetini belirlemek için hastanın bakım döngüsü boyunca kullanılan her süreçteki bütün maliyetleri toplanır.

Sağlık hizmeti sağlayıcıları bu adımları izleyerek her süreçte kullanılan kaynakları ve her faaliyet için harcanan zamanı dikkate alarak bir hastanın tedavisinin toplam maliyetini doğru bir şekilde hesaplayabilir. Bu yaklaşım, hasta bakımıyla ilgili maliyetlerin ayrıntılı ve kapsamlı bir şekilde anlaşılmasını sağlayarak sağlık hizmetlerinde kaynak tahsisi, süreç iyileştirmeleri ve maliyet yönetimi konusunda daha iyi karar alınmasını sağlamaktadır.

3.4.4. İndirgeme

Müdahalelerle ilişkili tüm maliyetler belirlenip ölçülüp ve değerlendirildikten sonra gerekirse farklı zamanlar için indirgeme ayarlaması yapılır (Smith vd., 2005). Sağlık ekonomisi değerlendirmelerinde, maliyetler ve faydalar genellikle sadece mevcut yıl için değil, gelecekte de ortaya çıkmaktadır (NICE, 2013). Ekonomik değerlendirme bağlamında maliyetlerin ve faydaların değerlendirilmesinde zamanlama önemlidir çünkü insanlar genellikle gelecekteki maliyet ve etkilere mevcut olanlardan daha az önem vermekte ve bunların değeri gelecekte meydana geldikçe azalmaktadır. Bu nedenle ekonomik değerlendirmeler maliyetlerin ve faydaların zamanına göre değerini ayarlaması gerekmekte ve bu teknik indirgeme olarak adlandırılmaktadır (Attema vd., 2018). Kısaca indirgeme, gelecekteki maliyetlerin ve faydaların bugünkü değerlerine dönüştürülmesini ifade etmektedir. Sağlık ekonomisi değerlendirmelerinde, gelecekteki sağlık

etkilerinin nasıl dikkate alınması gerektiği konusunda tartışmalar devam etmektedir. Genel görüş, faydaların ve maliyetlerin aynı oranda indirgenmesi gerektiğini savunmaktadır (Gravelle & Smith, 2001).

Gelecekteki maliyet veya faydaların bugünkü değerine ulaşmak için indirgeme oranı kullanılmaktadır. Bu hesaplama, Eşitlik (2)'de yer alan formülle gerçekleştirilmektedir (Parkinson & Lourenço, 2015):

$$\text{Bugünkü değer} = \frac{\text{Gelecekteki maliyet veya fayda}}{(1+r)^t} \quad (2)$$

Bu formülde, r indirgeme oranını temsil ederken t ilgili zaman periyodunu ($t=0,1,\dots, T$) ifade eder. Özellikle, $t=0$ cari yılı temsil eder ve bu yıl için indirgeme uygulanmamaktadır. Maliyet-etkililik analiz sonuçları, analizin zaman aralığı boyunca biriken maliyet ve faydaların bugünkü değerini yansıtmalıdır. NICE (İngiltere Ulusal Sağlık ve Klinik Mükemmellik Enstitüsü)'ın 2013 yılında yayınladığı Teknoloji Değerlendirme Yöntemleri Kılavuzu'na göre maliyetler ve faydalar için benzer yıllık indirgeme oranı kullanılmalıdır. Kılavuza göre bu oranın şu anda %3,5 olması önerilmektedir (NICE, 2013). Bununla birlikte maliyetlerin faydalardan daha yüksek indirgeme oranları gerektirdiğini savunan kişiler de bulunmaktadır (Mathes vd., 2013). Yıllık indirgeme oranları, maliyetler açısından %3 ile %5 arasında bir aralıkta belirlenirken faydalar için bu oran %1,5 ile %5 arasında değişiklik göstermektedir. (Parkinson & Lourenço, 2015). ABD tarafından yayınlanan kılavuzlara göre, maliyetler ve sağlık sonuçları için %3'lük bir indirgeme oranı önerilmektedir. Her iki kılavuz da duyarlılık analizi için alternatif indirgeme oranlarının kullanımını teşvik etmektedir. (Neumann vd., 2016). Tek değişkenli duyarlılık analizinde indirgeme oranının çeşitlendirilmesi önerilmektedir. Bu analizde %0 ve %10'luk limitler kullanılması tavsiye edilmektedir (HIQA, 2020).

3.4.5. İlave Maliyet Etkililik Oranı

Maliyetleri sonuçlarla birleştirerek her müdahale için maliyet-etkililik oranı hesaplanır. Farklı müdahalelerin oranları karşılaştırılır ve uygun maliyetli olanı belirlemek için oranlar arasındaki fark hesaplanır. Kısaca ilave maliyet etkililik oranı (İMEO) hesaplanır (Smith vd., 2005). MEA, bir müdahalenin maliyetlerini ve etkilerini bir veya daha fazla alternatif ile karşılaştırarak değerlendiren bir yöntemdir. Analizde, ilk olarak maliyet farkları ve etki farkları hesaplanmakta ve ardından bu farklar bir oran olarak ifade edilmektedir. Bu oran, birim sağlık sonucu veya etki başına düşen maliyeti hesaplamak için kullanılmaktadır (Weinstein & Stason, 1977). Analistler, iki veya daha fazla seçenek veya tedavi arasındaki farklara odaklandığından, genellikle ilave maliyetlerden, ilave etkilerden ve ilave maliyet-etkililik oranından (Incremental Cost-Effectiveness Ratio- ICER) bahsetmektedir. Dolayısıyla iki seçenek olan a ve b durumunda ilgili maliyetleri ve etkileri hesaplar ve ardından maliyet farkını etki farkına bölerek Eşitlik (3)'de gösterilen İMEO hesaplanmaktadır (Gray vd., 2011).

$$\text{İMEO} = \frac{\text{Maliyet}_a - \text{Maliyet}_b}{\text{Etki}_a - \text{Etki}_b} \quad (3)$$

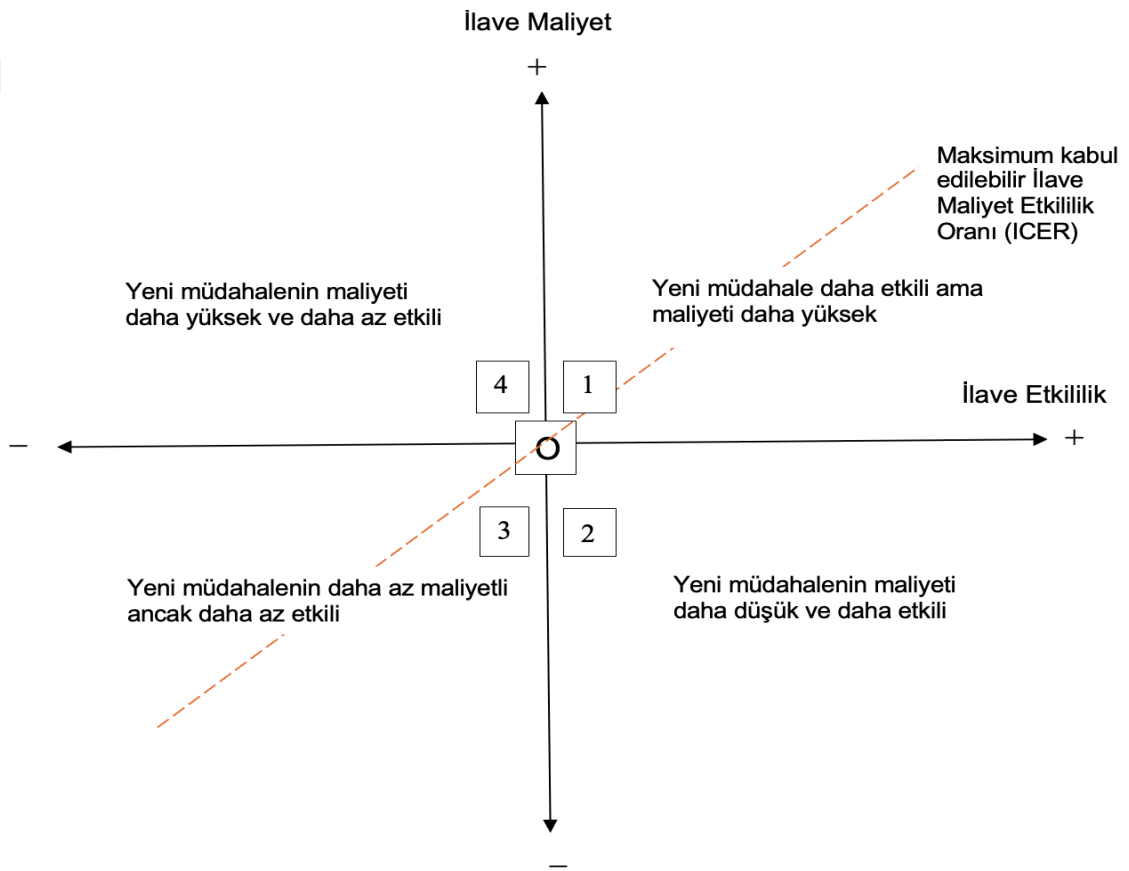
Maliyet etkililik analizi, maliyet etkililik düzlemi biçiminde grafiksel olarak temsil edilebilmektedir (Şekil 7). Şekil 7, Anderson vd. (1986) tarafından önerilmiş ve Black (1990) tarafından geliştirilmiştir. Şekil 7, dört kadrandan oluşmakta ve her biri yeni müdahalenin etkililik ve maliyet açısından dört farklı karar verme durumunu temsil etmektedir. Dört kadranın ifade ettikleri aşağıda yer almaktadır:

1. Yeni müdahalenin daha etkili olduğu, ancak daha maliyetli olduğu durumu temsil etmektedir. Bu durumda, ilave sağlık faydası daha yüksek bir maliyetle elde edilebilir.
2. Yeni müdahalenin hem daha etkili hem de daha düşük maliyetli olduğu durumu temsil etmektedir. Karar vericiler bu durumu hızlıca kabul edebilir.

3. Yeni müdahalenin daha az etkili olduğu, ancak daha düşük maliyetli olduğu durumu temsil etmektedir.

4. Yeni müdahalenin hem daha az etkili hem de daha yüksek maliyetli olduğu durumu temsil etmektedir.

Bu grafik sayesinde karar vericiler yeni müdahaleyi benimsemek veya reddetmek için hızlı bir şekilde karar verebilirler.



Şekil 7. Maliyet Etkililik Düzlemi

Kaynak: (Gray vd., 2011)

Müdahale seçiminde belirleyici bir faktör, eşik değerin belirlenmesidir. Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ), kişi başına GSYİH (Gayrisafi Yurt İçi Hasıla) 'nin belirli aralıklarda eşik değeri olarak kullanılabileceğini önermektedir. Bu öneriye göre:

- Eğer İMEO kişi başına GSYİH'nin altında bir değer ise müdahalenin maliyet etkililiği yüksek kabul edilir.
- Eğer İMEO kişi başına GSYİH'nin 1-3 katı bir değer ise müdahale maliyet etkili kabul edilir.
- Eğer İMEO kişi başına GSYİH'nin üç katından daha yüksek bir değer ise müdahale maliyet etkili kabul edilmez.

Bununla birlikte Pichon-Riviere vd.'nin 2023 yılında gerçekleştirdiği çalışmada, 174 ülke için maliyet-etkililik eşik değerleri belirlenmiştir. Bu araştırma, sağlık harcamaları ile yaşam beklentisi arasındaki ilişkiyi inceleyerek ülkelerin sağlık sistemlerine uygun maliyet-etkililik eşik değerleri sunmaktadır. Matematiksel modelleme ve elde edilen verilerle her ülkenin sağlık harcaması artışı ve yaşam beklentisi artış hedefleri doğrultusunda uygun eşik değerleri hesaplanmıştır. Maliyet-etkililik eşiklerinin tahmininde, GSYİH yerine kişi başına düşen sağlık harcamaları temel alınmıştır. Çalışmada, Türkiye için belirlenen QALY başına maliyet-etkililik eşiği 3.940 ABD doları (134.354 TL) olarak hesaplanmıştır. Bu çalışmada, Pichon-Riviere vd.'nin Türkiye için belirlediği eşik değeri ile DSÖ'nün önerdiği eşik değerler birlikte kullanılmıştır.

Son zamanlarda, İMEO yerine ilave net parasal fayda (Incremental Net Monetary Benefit-INMB) değeri de kullanılmaya başlanmıştır. İMEO'nun oran ölçüsü niteliği nedeniyle istatistiksel ve yorumlanabilirlik sorunlarına yol açabilir. Bu sebeple INMB, ICER'ın karşılaştığı sorunlarından kaçınmak için etkili bir alternatif olarak değerlendirilebilir (Santoli vd., 2023). INMB, yeni müdahale ile mevcut müdahale arasındaki net parasal fayda farkını ifade etmektedir. INMB, ilave etki (ΔE) ile eşik

değer (K) çarpımından ilave maliyetin (ΔC) çıkarılması ile elde edilir ($INMB = (\Delta E \times K) - \Delta C$). INMB'nin pozitif olması ($INMB > 0$) yeni müdahalenin belirli bir eşik değer altında mevcut müdahaleye kıyasla maliyet etkili olduğunu gösterirken negatif bir INMB, yeni müdahalenin mevcut müdahaleye göre maliyet etkili olmadığını göstermektedir (Noparatayaporn vd., 2021).

3.4.6. Duyarlılık Analizi

Maliyet-etkililik analizlerinde, bazı belirsizlikler ortaya çıkabilmektedir. Bu belirsizlikler, yapısal, metodolojik ve parametre gibi faktörlerden kaynaklanabilir. Yapısal belirsizlik, modelin parametrelerinin birleştirilme şekli üzerindeki belirsizliği ifade eder. Bu belirsizlik örneğin, sağlık durumları sayısı, model tipi ve hasta alt gruplarında etkililik ve maliyet farklılıkları gibi faktörlerden kaynaklanmaktadır. Metodolojik belirsizlik, analiz yöntemindeki tercihlerden kaynaklanmakta ve diğer metodolojik faktörlerle ilgili belirsizliği ifade etmektedir. Örneğin, indirgeme oranı seçimi, çalışmanın zaman dilimi gibi parametrelerin belirlenmesindeki farklı yaklaşımlardan kaynaklanmaktadır. Parametre belirsizliği ise modelde kullanılan parametrelerin belirsizliğini ifade etmektedir. Örneğin, hastalığın ilerleme hızı veya tedavi yönteminin etkililiği gibi girdi parametreleri hakkındaki belirsizliği içermektedir (Jain vd., 2011). Duyarlılık analizi yapılarak müdahalenin maliyet-etkililik üzerindeki etkisi değerlendirilir. Duyarlılık analizi, müdahalenin maliyet-etkililiğini etkileyebilecek belirsizlikler ve değişkenler hakkında bilgi sahibi olmayı sağlayan bir yöntemdir (Smith vd., 2005). Duyarlılık analizi, model girdi değerlerini değiştirme sürecidir ve bu analiz değişikliklerin model çıktıları üzerindeki etkilerini ortaya koymaktadır. Literatürde beş farklı duyarlılık analizi türü bulunmaktadır ve bu türler aşağıda açıklamıştır (Edlin vd., 2015).

- **Tek Yönlü Duyarlılık Analizi:** Bir parametrenin değerinin değiştirilmesi ve diğer tüm model parametrelerinin sabit tutulmasıyla, değişen parametrenin tahmin edilen maliyetler ve sonuçlar üzerindeki etkisinin gözlemlenmesini ifade etmektedir.

- **Çok Yönlü Duyarlılık Analizi:** Birden fazla parametrenin değerinin değiştirilmesi ve diğer tüm parametrelerin sabit tutulmasıyla, değişen parametrelerin tahmin edilen maliyetler ve sonuçlar üzerindeki etkisinin gözlemlenmesini ifade etmektedir.
- **Eşik Analizi:** Bir parametrenin değerinin değiştirilerek maliyetler ile sonuçların karar üzerindeki etkilerinin değiştiği eşik değerin belirlenmesini ifade etmektedir.
- **Aşırı Durum Analizi:** Bir veya daha fazla parametrenin aşırı (en yüksek ve en düşük) değerlerine ayarlanmasıyla, tahmin edilen maliyetler ve sonuçlar üzerindeki etkisinin gözlemlenmesini ifade etmektedir.
- **Olasılıksal Duyarlılık Analizi:** Olasılık dağılımlarını kullanarak parametrelerin olası değer aralığını tanımlamak ve simülasyonlar yoluyla bu belirsizliğin maliyet ve sonuç tahminlerine nasıl yansıtılacağına gözlemlenmesidir.

Maliyet etkililik analizlerinin adımları arasında sonuncusu olan duyarlılık analizinden sonra, araştırmanın tüm ilgili varsayımları ve olası etkileri sonuçlar ve tartışma kısmında açıklanmalıdır. Bu analizin sonuçları, hesaplanan sonuçların diğer ortamlara nasıl uygulanabileceğini ve ne ölçüde genelleştirilebileceğini göstermelidir (Smith vd., 2005). Bunlara ek olarak MEA sonuçlarının sağlık bütçesine ve karar alma sürecine olası etkilerinin değerlendirilmesi için bütçe etki analizi ve karar modelinin oluşturulması gerekmektedir. Bu şekilde, analizin sonuçları daha geniş bir perspektifte değerlendirilebilir ve sağlık politikalarının şekillendirilmesinde etkili olabilir.

3.4.7. Bütçe Etki Analizi

Sağlık hizmetlerinde bir teknolojinin ekonomik değerlendirmesiyle birlikte bütçe etki analizinin sunulması önem arz etmektedir. Bu analiz sayesinde, karar vericilere teknolojinin maliyet uygunluğu ve maliyet etkililiğine ilişkin daha kapsamlı bilgi sunulmaktadır. Bütçe etki analizi ve MEA birbirini tamamlayıcı yaklaşımlar olarak görülmektedir (HIQA, 2020).

Bütçe etki analizi, belirli bir sağlık bağlamında yeni bir sağlık teknolojisinin veya müdahalesinin benimsenmesinin finansal sonuçlarını tahmin etmektedir (Jamshidi vd., 2014). Başka bir ifadeyle bütçe etki analizi, bir bağlamın kaynak ve bütçe kısıtlamaları göz önüne alındığında, yeni bir sağlık teknolojisinin benimsenmesinin maliyet açısından uygun olup olmadığını değerlendirmek için kullanılmaktadır. Bütçe etki analizleri, sağlık teknolojisi değerlendirmesinin önemli ve hatta vazgeçilmez bir parçası olarak kabul edilmektedir. Bütçe etki analiz verileri, sağlık bakım sistemlerinin kaynak kısıtlamaları içinde geri ödeme politikalarının geliştirilmesi aşamasında karar vericilere yardımcı olmak için genellikle MEA verileriyle birlikte değerlendirilerek kapsamlı bir bilgi sağlamakta ve karar verme sürecine yardımcı olmaktadır (Leelahavarong, 2014).

3.4.8. Karar Analizi

Karar analizi, belirsizlik altında bulunan durumlarda karar verme sürecini sistematik bir yaklaşımla inceleyen bir yaklaşımdır. Ekonomik değerlendirme bağlamında, karar analitiği modeli, değerlendirilen alternatif seçeneklerden kaynaklanacak muhtemel sonuçların matematiksel ilişkilerle tanımlandığı modellerdir. Modele girilen verilerle her sonucun olasılığı ifade edilir ve her sonucun bir maliyeti ve sonucu vardır. Bu nedenle her bir seçenek için beklenen maliyet ve beklenen sonucu hesaplamak mümkündür. Belirli bir seçenek için beklenen maliyet (sonuç), her bir sonucun, o sonucun olasılığına göre ağırlıklandırılan maliyetlerin (sonuçların) toplamıdır (Briggs vd., 2006). Karar analizi, en az iki karar seçeneğinin ve bunların ilgili sonuçlarının, beklenen maliyetler ve beklenen sonuçlar açısından karşılaştırıldığı ve değerlendirildiği,

belirsizlik altında karar vermeye yönelik sistematik niceliksel bir yaklaşımdır. Amaç, karar vericilere sağlık hizmetleri kaynak tahsisi sorularına yönelik bir rehber sağlamaktır. Karar analizi, sağlık hizmetlerinde karar vermede yaygın olarak uygulanmaktadır ve karar analitik modellemesi, sağlık hizmetleri müdahalelerinin ekonomik değerlendirmesinde giderek daha fazla kullanılmaktadır (Gray vd., 2011).

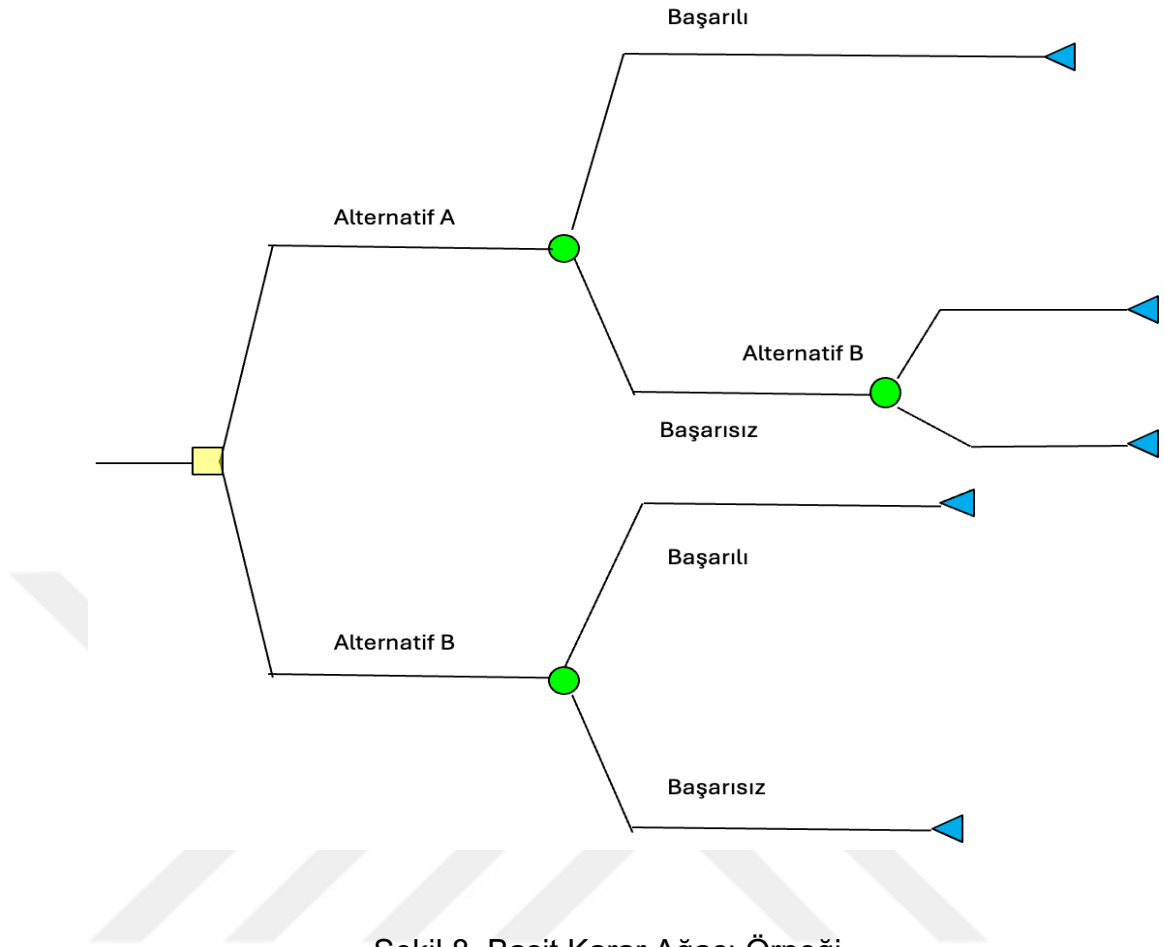
MEA’de, karar analitik modellemeler farklı modelleme stratejileri kullanarak değerlendirme yapma imkânı sağlamaktadır. Bu modeller arasında karar ağaçları ve Markov modelleri öne çıkmaktadır. Karar ağaçları ve Markov modelleri gibi yöntemler, sağlık teknolojilerinin maliyet etkililiğini değerlendirmek için kullanılan analitik araçlardır. Bu modeller, sağlık politikalarının geliştirilmesi ve kaynak tahsisinde karar vericilere rehberlik etmek için kullanılmaktadır (Edlin vd., 2015).

Karar ağaçlarında, karar düğümleri, şans düğümleri ve sonlanma düğümleri gibi unsurlardan oluşan bir yapı söz konusudur. Şekil 8’de basit bir karar ağacı örneği sunulmuştur. Bir karar ağacı yaklaşımının temel özellikleri şunlardır (Briggs vd., 2006; Tatar & Wertheimer, 2010):

- Kare şeklindeki bir karar düğümü bulunmaktadır. Bu düğüm genellikle ağacın başlangıcında alternatif seçenekler arasındaki bir karar noktasını göstermektedir.
- Yuvarlak şans düğümü, bir hastanın olası iki veya daha fazla alternatif olayının mümkün olduğu bir noktayı ifade eder. Bu olaylar, düğümden çıkan dallar şeklinde gösterilmektedir. Her dal, bir alternatifin seçimi ile ortaya çıkacak olasılığı temsil etmektedir.
- Yollar, olayların karşılıklı olarak birbirini dışlayan ardışık dizileridir ve ağaçta rotalardır. Her şans düğümünden sonra, ardışık mantıksal olayların bir dizisi belirlenir.

- Olasılıklar, bir olasılık düğümünde belirli bir olayın gerçekleşme olasılığını gösterir. Bu olasılıklar, klinik deneylerin sonuçlarından tahmin edilmektedir.
- Karar ağaçları soldan sağa doğru hareket etmekte ve ağaçtaki ilk olasılıklar bir olayın olma olasılığını göstermektedir. Sonraki olasılıklar, koşullu olasılıklardır. Bu durum, bir olayın gerçekleşip gerçekleşmediğine bağlı olarak başka bir olayın olma olasılığını ifade eder.
- Sonlanma düğümü (◄), her olayın son noktasını gösterir ve sonucu (yaşam beklentisi, QALY vb.) ifade etmektedir. Her bir alternatifin beklenen maliyeti, o seçeneğin temsil ettiği ağaçtaki tüm yolların maliyetlerinin söz konusu yollardaki olayların gerçekleşme olasılıkları ile çarpılıp toplanmasıyla elde edilmektedir.

Karar ağaçları, tedavi seçeneklerini ve her bir seçeneğin sonucunda ortaya çıkabilecek olası olayları gösteren görsel bir temsil yöntemidir. Ancak karar ağaçları, zamana bağlı olarak gerçekleşen farklı kararların sonuçlarını yeterince açıklayamaz. Bu durumlarda, uzun vadeli sonuçları açıklamak için daha uygun olan durum geçiş modelleri (Markov modelleri) kullanılmaktadır (Martikainen, 2008).



Şekil 8. Basit Karar Ağacı Örneği

Kaynak: (Tatar & Wertheimer, 2010)

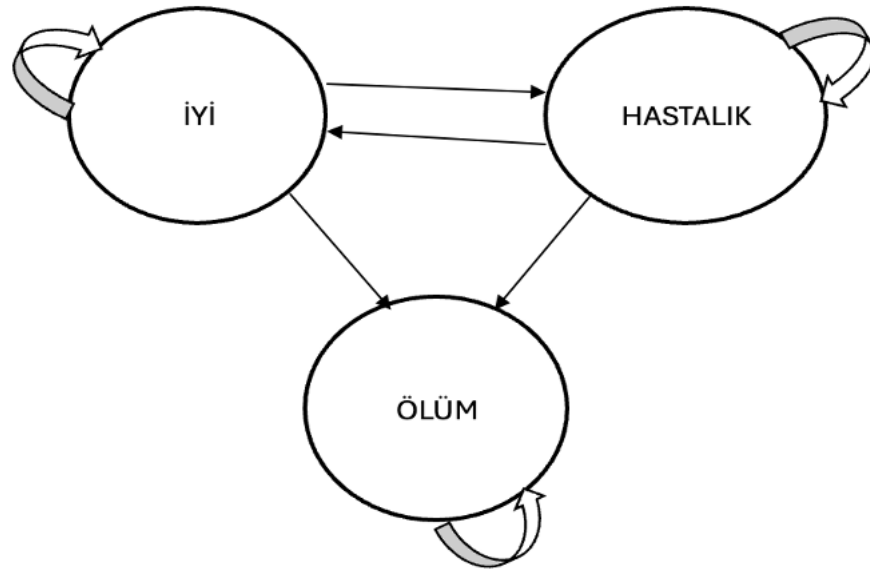
Markov modelleri, karar analizinde sıkça kullanılan bir yöntemdir ve çok sayıda olası sonucu olan seçenekleri modellemek için kullanılır. Bu tür modeller, tarama programlarının değerlendirilmesi, tanı teknolojilerinin analizi ve tedavi edici müdahalelerin değerlendirilmesi gibi alanlarda yaygın olarak kullanılmıştır (Briggs vd., 2006). Markov model, stokastik süreçleri temsil etmek için kullanılan bir modelleme yöntemidir. Özellikle sağlık alanında kronik hastalıkların modellenmesinde kullanılmaktadır. Markov modelleri, belirli durumlar arasındaki geçiş olasılıklarını ve bu geçişlerin maliyet ve sonuçlarını içermektedir (Briggs & Sculpher, 1998).

Markov modelleri zaman içindeki belirsiz süreçleri analiz etmektedir. Bu modeller, olayların zamanlamasının kritik öneme sahip olduğu ve olayların birden fazla

meydana gelebileceği kararlar için uygundur. Bu nedenle bu modeller değerlendirilen stratejilerin ardışık veya tekrarlayan bir yapıya sahip olduğu durumlarda kullanılmaktadır. Markov modelleri ve karar ağaçları bazı noktalarda farklılık göstermektedir. Karar ağaçları, belirsiz olayları şans düğümlerinde modellerken Markov modelleri belirsiz olayları sağlık durumları arasındaki geçişler şeklinde modellemektedir. Markov modelleri özellikle maliyetlerin ve etkilerin uzun bir süreye yayıldığı uzun vadeli sonuçları modellemeye uygundur. Son on yılda sağlık hizmetlerinde ekonomik değerlendirmeler yapmak için Markov modellerinin kullanımında bir artış görülmektedir (Sonnenberg & Beck, 1993).

Markov modeli, belirli sağlık durumları arasındaki geçiş olasılıklarını ve bu geçişlerin zaman içinde nasıl gerçekleşeceğini gösteren bir modeldir. Markov modeli, belirli sağlık durumlarını (bazı belirtilerin gelişmesi ya da ölüm gibi) temsil eden "durumlar" veya durumlar arasında geçişleri gösteren bir durum geçiş diyagramı kullanır. Her bir durumun belirli bir süre boyunca sabit kalacağı ve ardından belirli olasılıklarla diğer durumlara geçiş yapacağı varsayılmaktadır. Bu geçiş olasılıkları genellikle klinik çalışmalardan, epidemiyolojik verilerden veya literatürden elde edilen kanıtlara dayanmaktadır (Tatar & Wertheimer, 2010). Sağlık durumları arasındaki bu geçişler, durum geçiş diyagramı kullanılarak Şekil 9 'da gösterilmiştir.

Durum geçiş modelleri, belirli sağlık durumları arasındaki geçiş olasılıklarının modelleme sırasında nasıl ele alındığına bağlı olarak Markov zinciri ve Markov süreç modellerine ayrılmaktadır. Markov zinciri modellerinde, durumlar arasındaki geçiş olasılıkları sabitken, Markov süreci modellerinde geçiş olasılıkları başka bir model değişkenine (örneğin zaman veya farklı prognostik faktörler) göre değişebilmektedir (Martikainen, 2008).



Şekil 9. Basit Markov Modeli

Kaynak: (Edlin vd., 2015)

Markov modelleri tıbbi karar analizinde, özellikle kronik hastalığın ilerlemesini modellemek için uygundur. Söz konusu hastalık farklı durumlara ayrılır ve 'Markov döngüsü' olarak bilinen belirli bir zaman dilimi boyunca bu durumlar arasındaki hareket için geçiş olasılıkları atanmaktadır. Bir hastalık ve belirli bir sağlık müdahalesiyle ilişkili uzun vadeli maliyetleri ve sonuçları tahmin etmek, kaynak kullanımına ve sağlık sonuçlarına ilişkin tahminlerin modeldeki durumlara ve geçişlere eklenerek modelin çok sayıda döngü boyunca çalıştırılmasıyla mümkündür.

Markov modelinin uygulanma adımları şu şekildedir (Briggs & Sculpher, 1998):

- **Durumların Tanımlanması:** İlk adım, modelde temsil edilecek durumların belirlenmesidir. Bu durumlar genellikle hastalığın farklı evreleri veya sağlık durumları olabilir.

- **Durum Geçiş Diyagramının Oluşturulması:** Belirlenen sağlık durumları ve geçiş olasılıkları kullanılarak durum geçiş diyagramı oluşturulur. Bu diyagram, sağlık durumları arasındaki geçişleri oklarla ve bir durumdan diğerine geçiş olasılıkları ile görselleştirmektedir.
- **Geçiş Olasılıklarının Belirlenmesi:** Her bir durumun diğer durumlara geçiş olasılıkları belirlenir. Hastalık farklı durumlar olarak tanımlanır ve bu durumlar arasındaki geçiş olasılıkları bir geçiş matrisi kullanılarak belirlenir. Bu geçiş olasılıkları matrisi, belirli bir zaman aralığında gerçekleşme olasılıklarını ifade etmektedir (Miller & Childers, 2012).
- **Modele Ağırlık Ekleme:** Markov modelinde sağlık sonuçlarının ve maliyetlerin tahmin edilebilmesi için modelin durumlarına ağırlıklar eklenmesi gerekmektedir. Örnek olarak beklenen yaşam süresini tahmin etmek için ölüm durumuna “0” ağırlık ve hastanın hayatta olduğu her durumuna “1” ağırlık eklenir. Modelin birçok döngü boyunca çalıştırılması ortalama yaşam süresinin tahmin edilmesini sağlamaktadır. Ekonomik bir değerlendirme söz konusu olduğunda araştırmacılar QALY’yi kullanmaktadır. Yaşam kalitesini temsil eden Markov durumlarına standart 0 ile 1 ölçeğinde ağırlıklar eklenmesi, çok sayıda model döngüsü üzerinden ağırlıklar toplandığında bir QALY puanı oluşmaktadır. Benzer şekilde maliyetler hesaplanırken durumların her birinde bir döngü geçirmenin maliyetleri o duruma atanmakta ve model birçok döngü boyunca çalıştığından toplam maliyet bu döngülerin toplanmasıyla elde edilmektedir.
- **Maliyet ve Sonuç Miktarlarında Düzenlemeler Yapılması:** Markov modellerinde analizlerin doğruluğunu artırmak için maliyet ve sonuçlar üzerinde indirgeme ve yarı döngü düzeltme işlemleri yapılmaktadır. İndirgeme ile gelecekteki maliyet ve faydaların bugünkü değeri hesaplanmaktadır. Markov modelleri, hastaların durumları arasında geçişlerin döngüler arasında gerçekleştiğini ve her bir döngü boyunca

hastaların durumlarının sabit olduğunu varsaymaktadır. Yarı döngü düzeltmeler, hastaların durumlar arasında ortalama olarak döngünün yarısında hareket ettiği varsayımına dayanmaktadır. Ekonomik değerlendirme için yarı döngü düzeltmelerinin önemi belirsizdir. Analistler, maliyetlerin ve sonuçların büyüklüğünü rapor etmek veya yaşam beklentisi tahminlerini yapmak istiyorsa, yarı döngü düzeltmelerini kullanmalıdırlar. Ancak ilave maliyet etkililik analizlerinde yarı döngü düzeltmeleri kullanılması gerekli değildir.

- **Analiz ve Markov Modellerinin Sunumu:** Markov modellerinin analizi ve sunumunda iki temel simülasyon yöntemi vardır: kohort simülasyonu ve bireysel simülasyon (Monte Carlo simülasyonu). Kohort simülasyonu, bir modeli analiz etmek için bir varsayımsal kohort kullanarak hastaların deneyimini simüle eden bir yöntemdir. Bu simülasyonda, hastalar farklı durumlar arasında dolaşırken her bir dönemde uygun geçiş olasılıkları uygulanır ve hastaların her bir durumda dağılımı ayarlanır. Simülasyon analizi çok sayıda döngü boyunca çalıştırılarak zaman içinde her bir durumdaki hastaların dağılımını gösteren bir "profil" oluşturulur. Bu yöntem, Markov modellerinde hastalık ilerlemesi, tedavi etkileri veya ekonomik sonuçlar gibi çeşitli senaryoları değerlendirmek için kullanılabilir. Kohort simülasyonu, genellikle bir kohort üzerinden birden fazla bireyin prognozunu belirlemek için uygulanmaktadır. Monte Carlo simülasyonu ise çok sayıda bireysel hastanın prognozunu tahmin etmek için kullanılan bir yöntemdir. Bu süreç, her hastanın başlangıç durumunun (örneğin, sağlıklı olduğu "iyi" durumu) belirlendiği bir aşama ile başlar. Ardından her döngünün sonunda hastanın bir sonraki durumu için geçiş olasılıkları kullanılarak rastgele bir sayı üretilir. Bu rastgele sayı, hastanın bir sonraki döngüde hangi durumda başlayacağını belirler. Monte Carlo simülasyonu her hasta için ayrı ayrı sonuçlar üreterek istatistiksel ölçütleri hesaplayabilir ve daha bireyselleştirilmiş dağılıma dayalı sonuçlar elde edebilir (Sonnenberg & Beck, 1993). Kısaca kohort simülasyonu, belirli bir başlangıç durumundaki bir hasta grubunun (kohortun) sağlık durumlarını

zaman içinde takip etmekte ve bu süreçte, her döngüde geçiş olasılıklarına göre kohortun durumu güncellenerek tüm bireyler için ortak bir dağılım oluşturulmaktadır. Diğer taraftan Monte Carlo simülasyonu, her bir bireyin sağlık durumunu bağımsız olarak simüle etmekte ve çok sayıda birey için rastgele geçişler gerçekleştirmektedir.

3.5. YAPAY ZEKÂNIN MALİYET ETKİLİLİĞİ İLE İLGİLİ YAPILAN ÇALIŞMALAR

DR, hastalar için fiziksel ve duygusal bir yük oluşturmanın yanı sıra toplum için de ekonomik bir yük oluşturmaktadır (Heintz vd., 2010). Örneğin 2004 yılı için ABD'de yetişkinlerde DR'nin toplam doğrudan tıbbi maliyetinin yılda 342 milyon Euro olduğu ve DR'li hasta başına ortalama tedavi maliyetinin yılda 436 Euro (629 ABD Doları) olduğu (Rein vd., 2006), Almanya'da ise 2002 yılı için DR'nin toplumsal maliyetinin hasta başına 1433 Euro olduğu tahmin edilmiştir (Happich vd., 2008). Bu yükün boyutunu hesaplamak yeni tedavilerin uygulanmasına ilişkin kararda önemli bir rol oynamaktadır. DR, tıbbi maliyetler açısından mali bir yük oluşturarak toplumsal bir etkiye sahiptir.

Ülkeler için DR'nin toplum üzerindeki ekonomik yükünü azaltacak yöntemlerinin geliştirilmesi önem arz etmektedir. Bu bağlamda DR'nin erken tanısı, hastaların zamanında ve uygun tedavi almasını sağlayarak hastalığın ilerlemesini yavaşlatmak ve görme kaybının önüne geçmek açısından kritik önem taşımaktadır. Nitekim, hastalığın erken dönemde tespit edilmesi, daha az invaziv ve daha etkili tedavi yöntemlerinin uygulanmasına olanak tanımaktadır. Bu sebeple DR'nin erken tanısına yönelik yeni teknolojilerin geliştirilmesi ve kullanımının yaygınlaştırılması hem bireysel hem de toplumsal düzeyde önemli faydalar sağlayabilir. Yapılan çalışmalara bakıldığında YZ tarafından DR'ye tanı koyma yöntemlerinin kullanımının giderek yaygınlaşmaya başladığı görülmektedir. Böylece YZ tarafından DR'nin erken tespiti hastaların yaşam kalitesini iyileştirirken sağlık sisteminin üzerindeki mali yükü de azaltabilir. Bu noktada YZ tabanlı DR taramasının maliyet etkililiği önem kazanmış ve bu konuda literatürde çeşitli çalışmalar yapılmıştır.

Literatürde DR'nin YZ taramasının maliyet etkililiğiyle ilgili yapılan çalışmalar bakıldığında Huang vd. (2022) Çin'in kırsal bir bölgesinde DR'nin YZ taramasının maliyet etkililiğini tahmin etmiş ve bunu göz doktorları tarafından fundus görüntülerinin değerlendirildiği oftalmolog taramasıyla karşılaştırmışlardır. 35 yıllık bir döngü için YZ tarama stratejilerinin maliyetlerini, etkililiğini ve ilave maliyet-etkililik oranını (İMEO-) hiçbir tarama olmadığı ve oftalmolog taraması yapıldığı duruma göre Markov modeli tabanlı bir hibrit karar ağacı geliştirerek analiz etmişlerdir. Etkililik, kaliteye ayarlı yaşam yılları (QALY'ler) ile analiz edilmiş ve sonuçların sağlamlığı, tek yönlü duyarlılık analizi ve olasılık analizi yapılarak sunulmuştur. Analiz sonuçları, YZ tabanlı taramanın geleneksel oftalmolog taramasına kıyasla daha uygun maliyetli olduğunu göstermiştir.

Su vd. (2023) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, kırsal ve kentsel Çin'de teletıp tabanlı DR taramasının maliyet etkililiği değerlendirilmiştir. Çalışma, 50 yaş ve üzeri, yeni tanı almış Tip 2 diyabet hastalarından oluşan 10.000 kişilik varsayımsal bir kohort üzerinde gerçekleştirilmiştir. Katılımcılar, tarama yapılmayan, teletıp tabanlı oftalmolog tarafından değerlendirilen (manuel tarama) ve teletıp tabanlı YZ ile değerlendirilen gruplara ayrılmıştır. Her iki değerlendirme yöntemi de teletıp sistemini kullanarak fundus fotoğraflarının internet üzerinden iletilmesi ve analiz edilmesi sürecini içermektedir. Çalışmada, hibrit karar ağaçları ve Markov modelleri kullanılarak maliyet etkililik analizi gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonuçları, teletıp tabanlı DR tarama yöntemlerinin hem kırsal hem de kentsel alanlarda maliyet etkili olduğunu göstermektedir. Özellikle, kırsal bölgelerde teletıp ile yapılan YZ tabanlı taramanın, kişi başına düşen gayri safi yurtiçi hasılanın (GSYİH) üç katından daha düşük bir maliyetle etkili olduğu bulunmuştur. Kentsel alanlarda ise bu maliyet, kişi başına düşen GSYİH'nin bir katından daha azdır. Sonuçlar, YZ destekli taramanın oftalmologlara göre daha maliyet etkili olduğunu ve DR taramalarının Çin'in hem kırsal hem de kentsel alanlarda maliyet etkili olduğunu ortaya koymaktadır (Su vd., 2023).

Lin vd. (2023) tarafından yapılan çalışmada, toplumsal perspektiften Çin'in kentsel kısmında teletıp tabanlı DR taraması için YZ ve manuel derecelendirme

yöntemlerinin maliyet etkililik ve maliyet fayda analizleri gerçekleştirilmiştir. Araştırmada, Shanghai Dijital Göz Hastalığı Tarama Programı'ndan elde edilen gerçek dünya verileri kullanılarak 30 yıllık döngülerle karar analitik Markov modelleri oluşturulmuştur. Çalışmanın amacı, YZ tabanlı taramanın düşük ve orta gelirli ülkelerde manuel derecelendirmeye göre daha maliyet etkili olup olmadığını belirlemektir. Sonuçlar, düşük işçilik maliyetleri sebebiyle YZ tabanlı modelin manuel derecelendirmeye göre maliyet etkili olmadığını göstermiştir. Bununla birlikte YZ modelinin maliyetleri azaltılabileceğini ancak hasta uyumunun artmadığı sürece etkililiğinin sınırlı olabileceğini göstermektedir(Lin vd., 2023).

Li vd. (2023), Çin'in kırsal bölgelerindeki DR tarama yöntemlerinin maliyet-etkililiğini değerlendirmek için yaptıkları çalışmada Markov modeli kullanarak YZ tabanlı tarama ile oftalmolog taramasının sağlık ekonomisi üzerindeki etkilerini analiz etmiştir. Sonuçlar, sağlık sistemi bakış açısından YZ tabanlı taramanın oftalmolog taramasına kıyasla daha düşük maliyetli olduğu ve daha iyi sağlık sonuçları sağladığını göstermiştir. Özellikle YZ tabanlı taramanın, hiçbir tarama yapılmamasına kıyasla kişi başına GSYİH'nin 3 katından daha düşük bir ilave maliyet-etkililik oranına sahip olduğu bulunmuştur. Bu nedenle araştırmacılar, Çin'in kırsal bölgelerinde YZ tabanlı DR tarama stratejilerinin yaygınlaştırılmasının ekonomik olarak etkin ve uygulanabilir olduğunu ayrıca diyabet hastalarının yaşam kalitesini iyileştirirken maliyetleri de azaltılabileceğini göstermişlerdir (Li vd., 2023).

Hu vd. (2024) tarafından yapılan çalışmada, Avustralya'da diyabet hastaları için YZ tabanlı DR tarama sisteminin birinci basamak sağlık hizmetlerinde uygulanmasının maliyet etkililiği değerlendirilmiştir. Bir karar analitik Markov modeli kullanılarak DR ilerlemesi 40 yıl boyunca simüle edilmiş ve diyabet hastalarının yaşam kalitesi üzerinde etkileri değerlendirilmiştir. Çalışmada, mevcut tarama yöntemleri ile YZ tabanlı tarama senaryoları karşılaştırılmış ve YZ tabanlı taramanın hem yerli hem de yerli olmayan popülasyonlarda körlüğü önemli ölçüde azaltılabileceği, yaşam kalitesini artırabileceği ve sağlık sistemi için maliyet tasarrufu sağlayabileceği sonucuna varılmıştır (Hu vd., 2024).

Rossi vd. (2022)'nin yaptığı çalışmada ise dermatoloji, diş hekimliği ve oftalmolojideki hastalıkları tespit etme ve derecelendirmede klinisyenleri desteklemek için YZ'nin maliyet etkililiği Markov modeliyle değerlendirilmiştir. Çalışmada, her bir alanın senaryosunda YZ'yi dahil etmeden maliyet etkililik analizleri gerçekleştiren daha önce yayınlanmış çalışmaların verileri ve modelleri kullanılmıştır. Oftalmoloji senaryosunda Brezilya'da 40 yaşındaki diyabetli bireyler çalışma üzerinden modellenmiştir. Ömür boyu etkililiği ve maliyetleri yakalamak için Monte Carlo mikro simülasyonları ve duyarlılık analizleri yapılmıştır. Bir yıllık bir döngü uzunluğu seçilmiştir. Oftalmoloji sonuçları, ortalama maliyet YZ için 1321 R\$ (Brezilya Reali) ve YZ olmadan teşhis durumunda 1260 R\$ bulunmuştur. Her iki strateji de 8.4 (0.04) QALY'lik çok benzer bir ortalama fayda sağlanmış; ancak YZ, maliyetleri 61 R \$ (25.82 ABD \$) artırmıştır. Araştırma sonuçları, standart bakım yönteminin YZ taramasına göre daha maliyet etkili olduğunu göstermektedir. YZ taramasının maliyetleri biraz artırdığı ancak hastaların daha yüksek bir ödeme istekliliği durumunda YZ'nin maliyet etkililiğinin artabileceği belirlenmiştir.

Xie vd. (2020) uzman kişilerin değerlendirmesine kıyasla iki derin öğrenme yaklaşımının potansiyel etkisini değerlendirmek için bir maliyet minimizasyon analizi kullanmıştır. Bunlardan ilki uzman değerlendirmesinden önce bir ön eleme yapmak için kullanılan yarı otomatik bir derin öğrenme modelidir. İkincisi ise uzman kişilerin değerlendirmesi olmayan tam otomatik bir derin öğrenme modelidir. Yapılan çalışmada, 2015 yılında Singapur'da ulusal bir DR tarama programında 39.006 diyabet hastası kullanılarak uzman sınıflandırıcılarla taramanın gerçek maliyetini yarı otomatik ve tam otomatik tarama modellerinin simüle edilmiş maliyetiyle karşılaştırmak için bir karar ağacı modeli kullanılmıştır. Analiz sonuçları, sağlık sistemi perspektifinden yarı otomatik tarama modelinin maliyeti, hasta başına yıllık 62 \$; tam otomatik modelin 66 \$ ve uzman değerlendirme modelinin 77 \$ olduğunu göstermiştir. Singapur sağlık sistemine yarı otomatik modele geçişle ilgili tasarrufun, mevcut yıllık tarama maliyetinin kabaca %20'si olan 489.000 \$ olduğu tahmin edilmektedir. Çalışma, Singapur'da

DR taramasında derin öğrenmenin yardımcı bir araç olarak kullanılması için güçlü ekonomik gerekçeler sunmaktadır.

Tufail vd. (2017) tarafından yapılan çalışma, otomatik DR görüntü değerlendirme yazılımlarının (Retmarker ve EyeArt sistemleri) uzmanlar tarafından değerlendirmesine kıyasla tanısal doğruluğunu ve maliyet etkililiğini incelemiştir. Araştırma, 102.856 görüntü kullanarak her bir sistemin duyarlılığını ve özgüllüğünü analiz etmiştir. Maliyet etkililik analizi için karar ağaçları kullanılarak otomatik sistemlerin maliyetlerinin insan değerlendirmeleri ile karşılaştırılması sağlanmıştır. Hem Retmarker hem de EyeArt sistemleri, uzman değerlendiricilere benzer kabul edilebilir duyarlılık ve yeterli özgüllük sunarak manuel değerlendirme ile karşılaştırıldığında maliyet etkili alternatifler olarak öne çıkmaktadır. Bu bulgular, otomatik sistemlerin gelişmiş sağlık hizmetleri sunan ülkelerde maliyetleri azaltma potansiyeline sahip olduğunu ve geliştirmekte olan veya ulaşılması zor sağlık hizmeti ortamlarında DR taramasını kolaylaştırabileceğini göstermektedir (Tufail vd., 2017).

Wolf vd. (2020) tarafından yapılan çalışmada, çocuklarda Tip 1 ve Tip 2 diyabet için otonom YZ tabanlı DR taramasının sağlık profesyonelleri tarafından gerçekleştirilen standart göz muayenesi ile karşılaştırılarak maliyet etkililiği değerlendirilmiştir. ABD'de yürütülen araştırma, YZ taraması her ek DR vakası için Tip 1 diyabette 31\$ ve Tip 2 diyabette 95\$ gibi bir ilave maliyet etkililik oranı sağlamıştır. Ayrıca %23'ten fazla hastanın tarama önerilerine uyduğu durumlarda, otonom YZ taramasının tercih edilen ve maliyet tasarrufu sağlayan bir strateji olduğu belirlenmiştir. Bu bulgular, YZ sistemlerinin çocuk diyabet hastaları için etkili ve maliyet açısından tasarruf sağladığını göstermektedir (Wolf vd., 2020).

Ruamviboonsuk vd. (2021) oftalmolojide YZ uygulamalarının ekonomik değerlendirmelerini sistematik bir şekilde inceleyen bir derleme çalışması ortaya koymuştur. Makalede, YZ'nin özellikle DR taraması gibi hastalıkların yönetimindeki ekonomik etkileri ele alınmıştır. İncelenen çalışmalar, maliyet-

etkililik analizi (CEA), maliyet-fayda analizi (CBA) ve maliyet-minimizasyon analizi (CMA) gibi çeşitli ekonomik değerlendirme yöntemlerini kullanarak YZ uygulamalarının geleneksel uzman değerlendiricilerle karşılaştırılmasını sağlamıştır. Bu yöntemler aracılığıyla YZ'nin sağlık hizmetleri üzerindeki maliyetleri ve sonuçları analiz edilmiştir. Sonuçlar, maliyet etkililiği analizlerinden elde edilen kanıtların, YZ'nin tek başına veya doktorlarla birlikte kullanılmasının manuel DR taramasından daha uygun maliyetli olduğunu ve bu alandaki araştırmaların artırılması gerektiğini vurgulamaktadır (Ruamviboonsuk vd., 2021).

Yapılan literatür incelemesi sonucunda DR taramasında YZ'nin kullanımının maliyet etkililiği ile ilgili bilgiler verilmiştir. Literatür incelendiğinde Türkiye'de dahil olmak üzere birçok ülke tarafından DR tanı koymada YZ uygulamaları geliştirilmekte ve kullanılmaktadır. Ancak DR tanı koymada YZ'nin maliyet etkililiği ile ilgili Türkiye'de herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Yapılan çalışmalar DR'ye tanı koymada YZ algoritmalarının üstün performanslar gösterdiğini ortaya koymaktadır. Ancak literatürde klinik teşhis süreçlerinde YZ teknolojilerinin sağladığı maliyet ve etkililik avantajları belirsiz bir konudur. YZ teknolojileri kullanılarak maliyet etkililik sonuçları optimize edilebilirse finansal olarak sürdürülebilir bir sağlık sistemi tasarımı mümkün olabilecektir (Sadjadi, 2021). Bunun yanı sıra diyabet daha çok düşük ve orta gelirli ülkelerde görülen bir hastalık olduğundan YZ teknolojisini içeren DR taraması, özellikle düşük ve orta gelirli ülkelerde uygun maliyetli taramayı kolaylaştırma potansiyeline sahiptir (Wonga vd., 2019). YZ'nin sağlık hizmetlerinde daha geniş bir şekilde benimsenmesi hem bireylerin sağlık sonuçlarını iyileştirebilir hem de sağlık sistemlerinin maliyetlerini düşürebilir. Bu sebeple sağlık ekonomisi açısından YZ'nin maliyet etkililiği ile ilgili daha fazla araştırmaya ihtiyaç duyulmakta ve DR'de YZ teknolojilerinin kullanımının maliyet etkililiğini ortaya koymak önem arz etmektedir.

4. BÖLÜM

GEREÇ VE YÖNTEM

Bu bölümde, çalışmanın amacı ve önemi, kullanılan araştırma modeli, hipotezler, çalışmanın evreni, örnekleme yöntemi, veri toplama ve araçları, veri analiz süreci ve çalışmanın sınırlılıklarıyla ilgili bilgilere yer verilmiştir.

4.1. ARAŞTIRMANIN AMACI VE ÖNEMİ

Diyabet sonucu oluşan DR, ciddi bir göz hastalığıdır ve en önemli görme kaybı sebeplerinin başında gelmektedir. Diyabetin artan prevalansı, DR'nin insidansında bir artışa yol açmıştır. DR'ye neden olan mikroanevrizmalar, eksüdasyonlar ve anormal kan damarı gelişimleri gibi belirtilerin erken dönemde tespit edilmesi hastalığın tedavi sürecinin etkinliğini ve başarısını önemli ölçüde etkilemektedir. DR'nin ilk evre belirtilerinin zamanında saptanması sayesinde gerekli önlemler alınarak hastalığın ilerleme riski azaltılabilir ve potansiyel görme kaybı önlenabilir.

DR'nin belirtilerini tespit etmek amacıyla sıklıkla fundus görüntüleme yöntemlerinden faydalanılmaktadır. Ancak bu yöntemlerle DR'nin erken bir göstergesi olan mikroanevrizmaları tespit etmek yıllar boyunca zorlayıcı bir süreç olmuştur. Bu sebeple fundus görüntülerinin incelenmesi ve mikroanevrizma varlığının anlaşılması uzman bir göz hekiminin değerlendirmesini gerektirmektedir. DR ile ilişkili komplikasyonları teşhis etmek için retinanın görsel muayenesi hayati öneme sahiptir. Geleneksel retinal muayene yöntemlerinin DR teşhisi için bazı dezavantajları olabilmektedir. Bu yöntemlerin teşhis sürecinin uzun olması, uzman personel gerektirmesi, subjektif değerlendirme içermesi ve her bölgede erişilebilir olmaması nedeniyle daha hızlı, daha objektif ve erişilebilir yöntemlerin geliştirilmesi önem kazanmaktadır. Son yıllarda derin öğrenme algoritmaları ile görüntü analizinin birleşimi olan YZ teknolojileri, tıbbi görüntüleme verilerinin otomatik olarak analiz edilmesine ve teşhis konulmasına

olanak sağlamaktadır. Bu nedenle DR tespiti ve derecelendirmesi için farklı algoritmalar geliştirilmiştir. Derin öğrenme tekniklerinin güçlü klinik karar verme ve teşhis süreçlerinde hızlı ve güvenilir sonuçlar vermesi bu teknikleri sağlık sonuçlarının iyileştirilmesinde etkili hale getirmiştir. Yapılan çalışmalar, YZ destekli görüntü analiz yöntemlerinin DR'nin varlığını doğru şekilde tespit etmede ve hastalığın şiddet derecesini sınıflandırmada etkili olduğunu göstermiştir.

DR'nin tanısında YZ destekli görüntü analiz yöntemleri ile klasik tanı yönteminin maliyet etkililiği konusundaki çalışmalar sınırlıdır. Bununla birlikte bu yöntemlerin uygulandığı ortamlar ile geliştirildiği bağlamlar arasındaki çeşitlilikler farklı sonuçlar doğurabilmekte ve ülkeler arasındaki ekonomik, sosyal ve politik koşulların çeşitliliği de bu yöntemlerin maliyet ve etkililiğini değiştirmektedir. Bu sebeple YZ destekli DR tanı yöntemlerinin maliyet etkililiği konusunda daha kapsamlı ve çok yönlü araştırmalara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmanın amacı, DR'ye tanı koyma ve sınıflandırmada YZ tanı yöntemi ile klasik tanı yönteminin (oftalmolog tarafından tanı konması) maliyet-etkililiğini analiz etmektir. Bu amaç doğrultusunda analiz Markov modeli ile gerçekleştirilecektir.

Araştırma temel amacına yönelik olarak aşağıdaki hedefler belirlenmiştir:

- DR'ye YZ ile tanı koyma ve klasik tanı koyma yöntemlerinin geri ödeme kurumu perspektifi ile hizmet başına ödeme yöntemi ve sağlık personelinin maliyetleri belirlenirken zamana dayalı faaliyet tabanlı maliyetleme yöntemi ile maliyetlerinin belirlenmesi.
- DR'ye YZ ile tanı koyma ve klasik tanı koyma yöntemlerinin diyabet olan hastaların yaşam kalitesi üzerindeki etkisinin belirlenmesi.
- DR'ye YZ ile tanı koyma ve klasik tanı koyma yöntemlerinin tahmini bütçe yükünün belirlenmesi.

Bununla birlikte bu çalışmanın diğer bir amacı, YZ yazılımının DR teşhis ve sınıflandırma performansının değerlendirilmesidir. Araştırmanın bu amacına yönelik olarak aşağıdaki hedefler belirlenmiştir:

- Hastaneden alınan fundus görüntülerinin YZ yazılımına yüklenmesi ve YZ'nin DR'ye tanı koyma ve sınıflandırma sonuçlarının kaydedilmesi.
- Aynı fundus görüntülerinin oftalmologlar tarafından manuel olarak DR'ye tanı koyma ve sınıflandırma sonuçlarının kaydedilmesi.
- Oftalmologlar ve YZ'nin DR'yi teşhis ve sınıflandırma sonuçlarının karşılaştırılması.
- Konvolüsyonel sinir ağları kullanılarak geliştirilen YZ'nin DR teşhis ve sınıflandırmasındaki klinik etkinliğinin doğruluk, duyarlılık ve özgüllük gibi performans metrikleri ile değerlendirilmesi.

Türkiye'de diyabet prevalansı diğer ülkelere kıyasla yüksek bir seviyededir ve diyabetin ilerleyen dönemlerde artması beklenmektedir. Bu durum diyabetin geliştirdiği komplikasyonların da artış göstermesine yol açmaktadır. Bu kronik hastalıkların artan yükü, sağlık sisteminin üzerinde büyük bir baskı oluşturmakta ve sağlık hizmetlerinin etkinliğini artırma ihtiyacını daha da belirgin hale getirmektedir. DR gibi hastalıkların erken tanısında YZ uygulamaları, sağlık hizmetlerinin etkinliğini artırma ve maliyetleri düşürme açısından önemli fırsatlar sunmaktadır. Türkiye, sağlık alanında teknoloji geliştirme potansiyeli yüksek olan bir ülkedir. Literatürde, Türkiye'de DR gibi hastalıkların tanısında YZ algoritmalarıyla geliştirilmiş çalışmaların olduğu gözlemlenmektedir. Bu bağlamda YZ teknolojileriyle hastalıklara tanı konulmasının sağladığı avantajlar, Türkiye'deki sağlık sisteminin iyileştirilmesi için kritik bir rol oynamaktadır. Bu nedenle bu araştırma, Türkiye'de DR tanı koyma amaçlı geliştirilen YZ

teknolojisinin (EyeCheckup) DR gibi hastalıklara tanı koyma süreçlerinde kullanılması ile orijinal katkılar sunmaktadır.

Bununla birlikte Türkiye’de bir hastalığı teşhis etmede kullanılan YZ teknolojilerinin maliyet etkililik analizine yönelik yapılan çalışmalara erişilememiştir. Özellikle DR’ye tanı koymada YZ’nin maliyet-etkililiğini inceleyen bir çalışmaya ulaşamamıştır. Bu durum yapılan araştırmanın önemini ve amacını vurgulamaktadır. Bu tez çalışması, klasik tanı yöntemi ile YZ teknolojilerinin maliyet-etkililik açısından karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesi yolu ile sağlık teknolojilerinin değerlendirilmesi konusunda orijinal katkılar sağlamayı hedeflemektedir. Bu çalışmanın Türkiye’de DR tanısında YZ teknolojilerinin maliyet etkililiğini araştıran ilk çalışma olması nedeniyle literatürde önemli bir boşluğu dolduracağı düşünülmektedir. Ayrıca bu araştırma, DR’nin her bir evresi için etkililik değerlerini hesaplayarak literatüre önemli katkılar sağlayacaktır.

4.2. ARAŞTIRMANIN HİPOTEZLERİ

Bu tez çalışması kapsamında, Türkiye’de DR tanısında klasik tanı koyma yöntemi ile YZ tarafından tanı koyma yönteminin maliyet-etkililiğinin karşılaştırılması amaçlanmıştır. Bu doğrultuda, aşağıda sunulan hipotez test edilmiştir.

H₁ Hipotezi (Alternatif Hipotez):

"Türkiye’de DR tanısında, YZ tarafından tanı koyma yöntemi klasik tanı koyma yöntemine göre maliyet etkilidir."

4.3. ARAŞTIRMA EVRENİ

Çalışmanın amacı doğrultusunda araştırma evreni iki farklı kısımdan oluşmaktadır. Çalışmanın temel amacı doğrultusunda araştırma evrenini Ankara Etlik Şehir Hastanesi Göz Hastalıkları Polikliniği’ne 20.12.2023- 30.08.2024

tarihleri arasında başvuran ve diyabeti olan 149 hasta oluşturmaktadır. Bu süreçte, toplamda 113 hastaya ulaşılmıştır. Bu durumun sebepleri arasında bazı hastaların ankete katılmayı istememesi ve bazı hastalara telefon aracılığıyla ulaşılamaması yer almaktadır. Çalışmaya dâhil edilme kriterleri arasında, 18 yaş üstü olmak, diyabetes mellitus tanısı almış olmak yer almaktadır. Araştırmaya katılmayı kabul eden 113 hasta, EQ-5D-5L (EuroQol-Five Dimensional-Five Level) yaşam kalitesi formunu ve kendi beyanlarıyla ankette yer alan sosyodemografik özellikler ile sağlık durum bilgilerini doldurmuştur. Anketler hastalara telefon aracılığıyla uygulanmıştır. Anket yapma süresi hasta başına yaklaşık olarak 5 dakika sürmüştür. Anketin sosyodemografik özellikler ile sağlık durum bilgileri kısmında hastaların sosyodemografik bilgileri, ilişkili hastalığı olup olmadığı, alkol, sigara kullanım durumu, diyabet süresi, uygulanan tedavi yöntemleri ve yaşam kalitesi gibi konular için gerekli veriler elde edilmiştir.

Çalışmanın diğer bir amacı YZ yazılımının DR'ye tanı koyma ve sınıflandırma performansının değerlendirilmesi olup bu doğrultuda, araştırma evreninin ikinci kısmını hastanenin veri tabanında fundus görüntüleri bulunan diyabetli hastalar oluşturmaktadır.

Bu iki farklı araştırma evreni, çalışmanın genel amacına ve hipotezlerine ulaşmak için kullanılan farklı veri kaynaklarını temsil etmektedir. Hastaneden alınan hastaların fundus görüntülerinin değerlendirilmesi tanı koyma sürecindeki YZ yazılımının performansı ile DR'ye tanı koyma ve derecelendirme süresini belirlemek için kullanılmaktadır. EQ-5D-5L yaşam kalitesi formundan yaşam kalitesi verileri ve ankette yer alan diğer sorulardan hastaların kendi beyanlarıyla sundukları sosyodemografik bilgileri değerlendirilerek maliyet etkililik analizi için gerekli bilgiler toplanmaktadır.

4.4. ARAŞTIRMANIN ETİK BOYUTU

Araştırmanın gerçekleştirilebilmesi için Ankara Etlik Şehir Hastanesinden etik kurul izni alınmıştır. İlgili izin belgesi Ek 1'de sunulmuştur.

4.5. ARAŞTIRMANIN VARSAYIMLARI

Araştırmanın temel varsayımları aşağıda sunulmuştur.

- Veri toplama sürecinde katılımcıların dış etkenlerden etkilenmeden soru formlarını bireysel ve objektif bir şekilde doldurdıkları varsayılmaktadır.
- Veri toplama aracındaki sorular, yaşam kalitesi değerlerini belirlemek için gerekli bilgileri kapsadığı varsayılmaktadır.
- Araştırma sürecindeki tüm verilerin doğru ve güvenilir bir şekilde kaydedildiği varsayılmaktadır.
- Türkiye'de yürütülen maliyet etkililik çalışmalarında, ülkeye özgü yaşam kalitesi ağırlıklarının bulunmaması nedeniyle genellikle Türkiye'ye yakın değerlere sahip ülkelerin değer seti kullanılmıştır. Maliyet etkililik çalışmalarında genellikle Almanya'ya ait ağırlıklar kullanılmaktadır (Arslan, 2020; Işıkçelik vd., 2019). Bu çalışmada, Almanya'ya ait yaşam kalitesi ağırlıklarının Türkiye'yi yansıttığı varsayılmaktadır.
- Fundus görüntülerinin doğru bir şekilde alındığı ve YZ yazılım sonuçlarının doğru bir şekilde kaydedildiği varsayılmaktadır.
- Farklı ülkelerde yaşayan hastalar için model girdisinde kullanılan verilerin (DR ile ilişkili ölümler, geçiş olasılıkları) aynı olduğu kabul edilmiştir.
- Tahmini bütçe yükü analizinde kullanılan diyabet prevalansının yıllara göre değişmediği varsayılmaktadır.
- DR evrelerinden ölüme geçiş olasılığı hesaplanırken diyabetik retinopatinin ölüm çarpanı bulunmadığı için diyabetin ölüm çarpanı

kullanılmıştır. Bu durumun DR evrelerinden ölüme geçiş olasılığını yansıttığı varsayılmıştır.

4.6. ARAŞTIRMANIN SINIRLILIKLARI

Araştırmanın sınırlılıkları aşağıda ifade edilmiştir.

- Araştırmanın sonuçları, sadece araştırma evrenindeki hastalar üzerinden elde edilmiştir. Bu nedenle farklı hastane ortamlarında veya farklı hastalık gruplarında yapılan genellemelerde sınırlılıklar olabilir.
- Bu araştırmada, Markov modeli analizinde kullanılmak üzere geçiş olasılıkları literatürden alınmıştır. Bunun nedeni, Türkiye'ye özgü geçiş olasılıklarının bulunmamasıdır. Bu durum Türkiye'deki sonuçlarla tam olarak uyumlu olmayabilir ve çalışmada belirsizliklere neden olabilir.
- Çalışmada, hastaların takip muayenesi ve lazer tedavisine tam olarak uyduğu varsayılarak hesaplamalar basitleştirilmiştir ancak gerçek hayatta bu durumun nadir olduğu dikkate alınmalıdır. Gerçek hayatta, hastaların takip muayenelerine ve önerilen tedavilere tam olarak uymamaları durumu dikkate alınmamıştır.
- Diyabetik maküler ödemin (DMÖ) tespiti ve DMÖ tedavisinin faydaları bu çalışmada dikkate alınmamıştır.
- Araştırma kapsamında maliyetler hesaplanırken genel üretim giderleri (elektrik, su, doğalgaz, temizlik vb.) ve dolaylı maliyetler (verimlilik, üretkenlik kaybı vb.) dahil edilmemiştir.

4.7. ARAŞTIRMANIN VERİ TOPLAMA SÜRECİ VE YÖNTEMİ

Araştırmanın veri toplama süreci ve yöntemi çalışmanın amacına ve araştırma evreninin yapısına bağlı olarak belirlenmiştir. İlk olarak Ankara Etlik Şehir Hastanesi Göz Hastalıkları Polikliniği'ne başvuran ve diyabeti olan hastaların tespit edilmesiyle veri toplama süreci başlamıştır. Hastaların adı-soyadı, iletişim bilgileri ve göz hastalıkları polikliniğine başvuru tarih bilgileri göz alanında uzman bir profesör doktor tarafından kaydedilmiştir. Araştırmada, iletişim bilgileri eksik veya hatalı olan hastalar araştırma dışında tutulmuştur. Araştırmada hastaların yaşam kalitesi, sosyodemografik özellik ve sağlık durumlarına ilişkin verileri anket yöntemi kullanılarak toplanmıştır. Araştırmaya katılmayı kabul eden hastalar, telefon aracılığıyla EQ-5D-5L yaşam kalitesi formunu ve ankette yer alan diğer bilgileri kendi beyanlarıyla cevaplamıştır. Anket formu hastaların ilk muayeneleri tamamlandıktan sonra uygulanmıştır.

Hastaların araştırmaya katılmak için onaylarını almak amacıyla telefon görüşmeleri sırasında öncelikle çalışma hakkında detaylı bilgilendirme yapılmıştır. Ayrıca bilgilendirilmiş gönüllü olur formunda yer alan tüm bilgiler hastalarla paylaşılmıştır. Bu sayede hastalar, araştırmaya gönüllü olarak katılmak isteyip istemediklerini net bir şekilde ifade etmiştir.

Bu çalışmada, uzman görüşler doğrultusunda DR hastalarının göz muayenesi sonrasında yaşadıkları rahatsızlıklar anketi doğru ve eksiksiz bir şekilde doldurmalarını zorlaştırdığı için telefon üzerinden anket yapılması tercih edilmiştir. Hastalara anket formu telefon aracılığıyla uygulanarak hastaların daha rahat bir ortamda soruları yanıtlamaları sağlanmıştır. Literatürdeki çeşitli çalışmalar, yaşam kalitesi ölçümlerinde EQ-5D-5L ölçeğinin telefon görüşmesi yoluyla veri toplamanın geçerli ve güvenilir olduğunu ortaya koymaktadır. Bu araştırmalar, telefon görüşmeleri aracılığıyla toplanan verilerin yüz yüze görüşmelerle elde edilen verilerle karşılaştırılabilir nitelikte olduğu sonucuna varmıştır. Bu sebeple EQ-5D-5L ölçeğinin telefon görüşmesi versiyonu kullanılmıştır (Chatterji vd., 2017; Mulhern vd., 2015).

Veri toplama aracı olarak kullanılan anket formu (Ek 3) toplamda üç bölümden oluşmaktadır. Birinci bölüm, sosyodemografik özellikleri içermektedir. Bu bölümde katılımcıların kod adı, cinsiyet, yaş, eğitim durumu, çalışma durumu, meslek, aylık gelir durumu gibi bilgileri sorulmaktadır. İkinci bölüm, sağlık durum bilgilerini içermektedir. Bu bölümde katılımcıların sigara ve alkol kullanım durumu, varsa kronik hastalığı, kronik hastalığa sahip olma süresi, göz ile ilgili başka bir hastalığı olup olmadığı ve DR tedavisi için kullanılan yöntemleri belirtmeleri istenmektedir. Üçüncü bölümde ise hastaların genel sağlık durumuna özgü yaşam kalitesini belirlemek için EQ-5D-5L anketi yer almaktadır. Türkiye için Türkçe sürümü kullanılan EQ-5D-5L anketi 5 soru ile Görsel Analog Ölçeği (Visual Analogue Scale-VAS)'nden oluşmaktadır.

Bir başka veri toplama yöntemi, YZ yazılımının DR'ye tanı koyma ve sınıflandırma performansını değerlendirmek amacıyla kullanılmıştır. Bu amaçla, hastanenin veri tabanında bulunan diyabetli hastaların fundus görüntüleri elde edilmiştir. Veri toplama sürecinde, araştırmaya katılmayı kabul eden hastaların gizlilikleri ve etik prensipler gözetilmiştir. Hastaların kişisel bilgileri gizli tutulmuş, tüm veriler anonimleştirilmiş ve sadece araştırmanın amacına uygun olarak kullanılmıştır.

Veri toplama süreci, DR'ye YZ tarafından tanı koyma yöntemi ile klasik tanı yönteminin maliyetlerinin belirlenmesi, etkililiklerinin değerlendirilmesi, maliyet etkililiklerinin ve tahmini bütçe yükünün belirlenmesi aşamalarını içermekte olup bu aşamalar alt başlıklarda sunulmaktadır.

4.7.1. Maliyet Verilerinin Belirlenmesi

Üretim maliyetinin (giderlerinin) temel bileşenlerini oluşturan üç ana unsur bulunmaktadır: direkt ilk madde ve malzeme maliyetleri, direkt işçilik maliyetleri ile üretim sürecindeki diğer tüm giderleri kapsayan genel üretim maliyetleri (Ağırbaş, 2020; Gülhan, 2018). Araştırma kapsamında direkt ilk madde ve malzeme maliyetleri ve direkt işçilik maliyetleri dahil edilmiş bununla birlikte genel üretim maliyetleri ve dolaylı maliyetler dahil edilmemiştir. Araştırmada, maliyetler

hesaplanırken geri ödeme kurumu perspektifi ile hizmet başına ödeme yöntemi ve sağlık personelinin maliyetleri belirlenirken zamana dayalı faaliyet tabanlı maliyetleme yöntemi kullanılmıştır.

Bu araştırma kapsamında sadece geri ödeme kurumu perspektifinden maliyetler hesaplanırken tanı maliyetlerinin yanında tedavi maliyetleri de göz önünde bulundurulmuştur. DR'nin erken tanısı ile tedavi arasındaki ilişki nedeniyle DR'ye tanı koyma maliyetinin yanı sıra tedavi maliyetlerinin de dikkate alınması önemlidir. Erken tanı, ileride oluşabilecek komplikasyonların önlenmesine yardımcı olabilir. Ayrıca tedavi edilmeyen hastalarda ilerleyen evrelerde ortaya çıkabilecek komplikasyonlar ciddi maliyetler doğurabilir. Bu nedenle tanı koyma sürecinde tedavi maliyetlerinin de dahil edilmesi toplam maliyetlerin daha gerçekçi bir şekilde hesaplanmasını sağlayacaktır. Bu sebeplere ek olarak hastalıkların evreleri arasındaki geçişleri simüle ederek sağlık sonuçları ile maliyetleri ortaya koyan Markov analizinde tanı ve tedavi süreçlerinin maliyetlerini bir arada değerlendirmek sağlık sistemi üzerindeki toplam maliyetin etkisinin daha da anlaşılmasına yardımcı olacaktır. Bununla birlikte literatürde yer alan DR taraması ile ilgili maliyet etkililik analizi çalışmaları DR'ye tanı koyma maliyetlerinin yanı sıra tedavi maliyetlerini de kapsamaktadır (Hu vd., 2024; Huang vd., 2022; Li vd., 2023; Su vd., 2023).

DR'ye tanı koymanın geri ödeme kurumu perspektifi ile hizmet başına ödeme yönteminde maliyetler, hastanenin faturalandırma biriminden elde edilen hastaların ayrıntılı fatura dökümleri kullanılarak hesaplanmıştır. Bu hesaplamada, Sosyal Güvenlik Kurumu (SGK) tarafından belirlenen fiyat tarifesi olan Sağlık Uygulama Tebliği (SUT) dikkate alınmıştır. DR'ye tanı koymada ve DR tedavisinde gerçekleştirilen işlemler ve SUT kodları Tablo 3'te sunulmuştur. Hastaneden temin edilen fatura dökümleri üzerinden DR'ye tanı koymada gerçekleştirilen her bir işlem için detaylı bir şekilde belirlenen gider kalemlerinin bir hasta için maliyetleri belirlenmiştir.

Tablo 3. DR'ye Tanı Koymada ve DR Tedavisinde Gerçekleştirilen İşlemler

GERÇEKLEŞTİRİLEN İŞLEMLER	SUT KODU
Normal Poliklinik Muayenesi (Göz Muayene Ücreti)	520030
Normal Poliklinik Muayenesi (Takip Muayene Ücreti)	520030
Ön ve Arka Segment Renkli Resim (Fundus Fotoğrafı)	703820
OCT (Optik Koherens Tomografi)	703800
Fluorescein Fundus Anjiyografi	703650

TEDAVİ İÇİN GERÇEKLEŞTİRİLEN İŞLEMLER	SUT KODU
Fotokoagülasyon (Lazer Tedavisi)	617630
İntravitreal Ponksiyon (Göz içine ilaç enjekte edilmesi)	617720
Vitroretinal Cerrahi, tüm işlemler (Vitrektomi ameliyatı)	617660
Gündüz yatak tarifesı	510120
Standart yatak tarifesı	510010

DR'nin evreleri "Diyabetik Retinopati Hastalık Şiddet Ölçeği ve Uluslararası Klinik Diyabetik Retinopati (ICDR) Hastalık Şiddet Ölçeği" ne göre 5 sınıfa (No DR, Hafif NPDR, Orta NPDR, Şiddetli NPDR, PDR) ayrılmıştır. Araştırmada, şiddetli NPDR (Severe NPDR) ve PDR evreleri görmeyi tehdit eden DR (VTDR) olarak ele alınmıştır. Her bir evre için ayrı maliyet hesaplamaları yapılmıştır. Her bir evre için maliyet hesaplanırken aşağıdaki durumlar dikkate alınmıştır.

- DR'nin tanı aşamasında her bir evre için maliyet hesaplanırken rutin göz muayenesi (Normal Poliklinik Muayenesi) ve renkli fundus fotoğraf (ön ve arka segment renkli resim) maliyetleri ve OCT maliyetleri dahil edilmiştir. DR tanısı için hastanede hastalara fundus görüntüleri ile birlikte OCT de çekildiği için bu tetkikin maliyetleri de dahil edilmiştir.

- Orta NPDR ve VTDR evrelerinde doktorlar genellikle hastaların retina sağlığını daha iyi değerlendirmek için Fluorescein Fundus Anjiyografisi isteyebilir. Bu tanısal yöntem, gözün arka kısmındaki damarların ve dokuların detaylı görüntülerini sağlayarak hastalığın ilerlemesini izlemeye yardımcı olur. Bu sebeple orta NPDR ve VTDR evrelerinin toplam maliyet hesaplamasına Fluorescein Fundus Anjiyografi maliyetleri dahil edilmiştir.
- DR'nin erken evrelerinde, sıkı glisemik kontrol, sağlıklı yaşam tarzı ve düzenli göz muayeneleri ile hastalığın ilerlemesi engellenmektedir. Hastalık evrelerine göre göz takip süreleri değişmektedir. Çok hafif NPDR'de yılda bir, hafif-orta NPDR'de 6-12 ayda bir, şiddetli NPDR ve PDR'de 2-4 ayda bir takip yapılmalıdır (Shukla & Tripathy, 2023). Bu sebeple maliyet verilerini hesaplarken No DR ve hafif NPDR evresinde tespit edilen hastalar yılda bir yapılacak takip muayenelerine çağırılması gerektiği için bu hastaların yıllık takip muayene ücretleri bu evrenin toplam maliyet hesaplamasına dahil edilmiştir. Orta NPDR tespit edilen hastaların takip muayeneleri altı ayda bir yapılmalıdır. Bu nedenle bu hastaların yılda iki kez gelmeleri gerektiği düşünülerek orta NPDR evresinin toplam maliyet hesaplamasında takip muayene ücretleri iki defa dahil edilmiştir. VTDR evresinde olan hastaların üç kez çağırılması gerektiği düşünülerek VTDR evresinin toplam maliyet hesaplamasında takip muayene ücretleri üç defa dahil edilmiştir. Takip muayeneleri, fundus görüntüsü çekme, doktor tarafından rutin göz muayenesi gibi işlemleri içermektedir.
- Oftalmologlar tarafından DR'ye tanı koymada, fundus görüntüsü çekmeden önce göz bebeğini büyüten damla kullanılmaktadır. Ancak YZ, bu damlaya ihtiyaç duymadan tanı koyabilmektedir. Bu nedenle YZ'nin maliyet hesaplamalarında gözbebeğini büyüten damla dahil edilmezken, oftalmologların tanı koyma maliyetlerinde bu damlanın ücreti dahil edilmiştir.

DR tanısı konulan hastalarda, hastalığın ilerleyen evrelerinde çeşitli tedavi yöntemlerinin (göz içi ilaç enjeksiyonu, lazer tedavisi ve vitrektomi ameliyatı gibi) uygulanması gerekli olmaktadır. Maliyet hesaplaması yapılırken bu tür ileri evre için gerekli olan tedavi maliyetlerinin de dikkate alınması önemlidir.

- Diyabetik maküler ödem tedavisinde genellikle göz içi ilaç tedavisi kullanılmaktadır. Bununla birlikte göz içi ilaç enjeksiyonu tedavisi orta NPDR ve VTDR evresindeki hastalarda da uygulanabilmektedir. Bu nedenle göz içi ilaç enjeksiyon maliyetleri orta NPDR ve VTDR evreleri için de hesaplamalara dahil edilmiştir. Bununla birlikte hastalar göz içi ilaç enjeksiyonu tedavisi olduğunda hastalara gündüz yatış tarifi uygulanmaktadır. Bu sebeple göz içi ilaç enjeksiyonu uygulanabilecek evrelerin maliyetleri hesaplanırken gündüz yatak tarife ücretleri de eklenmiştir.
- VTDR evresinde hastalara lazer tedavisi uygulanması gerektiğinden bu hastaların lazer tedavi maliyetleri VTDR evresinin toplam maliyet hesaplamasına eklenmiştir. Bununla birlikte VTDR evresinde olan hastalar lazer tedavisi olduğunda hastalara gündüz yatış tarifi uygulanmaktadır. Bu sebeple bu evrenin maliyetleri hesaplanırken gündüz yatak tarife ücretleri de eklenmiştir.
- Ciddi veya ilerlemiş DR evrelerinde vitrektomi adı verilen cerrahi bir işlem uygulanabilir. VTDR evresinin maliyet hesaplamasına vitrektomi ameliyatı maliyetleri de dahil edilmiştir. Bununla birlikte vitrektomi ameliyatı olan kişilere genellikle bir gün hastanede yatış verilmektedir. Bu yatış ücreti de bu evrenin maliyetlerine dahil edilmiştir. Bu sebeple hastaların ayrıntılı fatura dökümleri incelendiğinde tanı konulduktan sonra gerçekleştirilen bu çeşitli tedavi yöntemlerinin maliyetlerinin de SUT kodları detaylı olarak Tablo 3' de gösterilmiştir.

- DR tedavisi sırasında uygulanan yöntemlerde kullanılan ilaçlar ve sarf malzemelerinin maliyetleri de ilgili evrelere dahil edilmiştir.

Dolayısıyla, DR'ye tanı koymada toplam maliyetlerin hesaplanmasında hem tanı koyma sürecindeki hem de ileri evre tedavi sürecindeki tüm maliyet kalemleri dikkate alınmıştır. Bu maliyetler, geri ödeme kurumu perspektifi ile hizmet başına ödeme yöntemine göre hesaplanmıştır.

DR tanı koyma sürecinde, göz doktoru (oftalmolog) hasta muayenesi ve renkli fundus fotoğrafları kullanarak hastalığın evrelerini değerlendirmektedir. Ayrıca YZ yazılımı da aynı fundus fotoğraflarını analiz ederek hastalığa tanı koymaktadır. Her iki yöntem de hastalığın hangi evresinde olduğunu tespit etmektedir. Bu tanı koyma sürecinde, oftalmoloğun harcadığı zaman son derece önem arz etmektedir. Her bir DR vakasını değerlendirmek için oftalmolog tarafından ayrılan süre, hastalığın doğru sınıflandırılması açısından kritik bir faktördür. Hastalığa tanı koyma maliyetlerinin hesaplanmasında da bu zaman unsuru göz önünde bulundurulmalıdır. Bu bağlamda sağlık personelinin maliyetlerinin hesaplanmasında yaygın olarak kullanılan zamana dayalı faaliyet tabanlı maliyetleme yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem, personelin her bir faaliyete ayırdığı zamanı temel alarak maliyet hesaplaması yapmaktadır. Bu sebeple ilk olarak faaliyet merkezlerinin belirlenmesi ardından bu faaliyetler gerçekleştirilirken personelin harcadığı sürenin belirlenmesi gerekmektedir. Faaliyet merkezleri ve faaliyetler Ankara Etlik Şehir Hastanesi'ndeki DR tanı sürecine ilişkin faaliyet akışına göre belirlenmiştir. Araştırmada belirlenen faaliyet merkezleri ve faaliyet süreleri göz alanında uzman bir profesör doktor tarafından Tablo 4'te sunulmuştur. Yapılan araştırmada, faaliyet merkezleri ve faaliyet süreleri profesör doktor tarafından sağlanan uzman görüşleri dikkate alınarak belirlenmiştir. Çalışmada, sadece fundus görüntülerinin çekimi sırasındaki sürenin tespiti kronometre aracılığıyla gerçekleştirilmiştir. Diğer tüm faaliyet süreleri, konunun uzmanı tarafından değerlendirilerek belirlenmiştir.

Tablo 4. DR Tanı Sürecinde Oftalmolog ve YZ'nin Faaliyet Merkezinde Gerçekleştirilen Faaliyetler ve Zaman Dağılımları

	OFTALMOLOG		YAPAY ZEKÂ	
FAALİYET MERKEZLERİ	FAALİYETLER	FAALİYET SÜRELERİ	FAALİYETLER	FAALİYET SÜRELERİ
Hasta Kayıt	Bilgisayardan hastanın kaydı yapılır	1 dk	Bilgisayardan hastanın kaydı yapılır	1 dk
	Hasta görme odasına gider, hemşire tarafından görme seviyesi bakılır	3 dk	Hasta görme odasına gider, hemşire tarafından görme seviyesi bakılır	3 dk
Poliklinik Faaliyetleri	Doktor Hastanın gözüne biyomikroskop ile bakar	Profesör 3 dk	Doktor Hastanın gözüne biyomikroskop ve 90'lık mercek ile bakar	Profesör 3 dk
		Asistan 6 dk		Asistan 6 dk
	Hemşire hastanın gözüne göz bebeğini büyüten bir damla damlatır (1 damla 0.05 cc)	1 dk	YZ için göz bebeğini büyüten bir damlaya ihtiyaç bulunmamaktadır.	
Fundus Görüntü Çekim Merkezi	Hastanın fundus görüntüsü tekniker tarafından çekilir ve görüntü doktorun bilgisayarına bilgisayar ağı üzerinden iletilir.	3 dk	Hastanın fundus görüntüsü tekniker tarafından çekilir ve görüntü YZ yazılımına bilgisayar ağı üzerinden iletilir.	3 dk
Sonuç bildirimi	Doktor fundus görüntüsüne ve fundus muayenesine bakarak hastalığın evresini belirler ve yapılması gereken tedaviler ile hastanın yapması gerekenleri hastaya bildirir.	Profesör 3 dk	YZ hastalığın evresini belirler ve yapılması gerekeni rapor halinde çıktı verir.	1 dk
		Asistan 6 dk		

**Tablo 4 oluşturulurken uzman görüşü ve (Cidav vd., 2020) "A pragmatic method for costing implementation strategies using time-driven activity-based costing". Implementation Science, 15(1), 1–15. isimli makaleden esinlenilmiştir.*

Zamana dayalı faaliyet tabanlı maliyetleme yönteminde, sağlık personelinin maliyeti belirlenirken her bir faaliyetin maliyeti o faaliyeti gerçekleştiren personelin

harcadığı süreler ve personelin ücretleri kullanılarak hesaplanmaktadır (Ağırbaş, 2020). Tablo 4'te faaliyetlerin gerçekleştirildiği süreler dakika olarak sunulmuştur. Faaliyetlerin maliyetleri belirlenirken ilk olarak bir ayda 20 iş günü olduğu kabul edilmiş ve personelin aylık maaşı 20'ye bölünerek bir günlük ücret elde edilmiştir. Bu günlük ücret, personelin bir günde 8 saat çalıştığı varsayımıyla (resmi çalışma saati toplamı) personelin bir günlük ücreti 8'e bölünerek saatlik ücrete dönüştürülmüştür. Son olarak saatlik ücret 60'a bölünerek dakikalık ücret hesaplanmıştır. Daha sonra Tablo 4'te belirlenen süreler ile dakikalık ücret çarpılarak her bir faaliyetin maliyeti belirlenmiştir. Hastane akışı doğrultusunda, hastayı öncelikle profesör doktor ardından asistan doktor muayene etmekte ve hastanın fundus görüntüsünü değerlendirip tedavi planı oluşturmaktadır. Bu sebeple araştırmada profesör doktor ve asistan doktorun her birinin farklı ücretlendirmeleri dikkate alınmıştır. Profesör doktorun ücretinin 3 dakika karşılığı ve asistan doktorun ücretinin 6 dakika karşılığı hesaplanmıştır. YZ ve Oftalmolog için toplam işçilik maliyeti, Tablo 4'te yer alan her bir faaliyetin maliyetleri toplamından elde edilmiştir.

Hastanın göz muayenesi sırasında oftalmolog tarafından yapılan değerlendirmede fundus görüntüsünü daha iyi inceleyebilmek için göz büyütücü damla olarak Tropamid ve Sikloplejin kullanılmaktadır. Bu damlaların fiyatları hastanenin faturalandırma biriminden elde edilen hastaların ayrıntılı fatura dökümlerinden temin edilmiştir. Oftalmolog değerlendirmesinde bu göz damlalarının maliyeti de hesaplamalara dahil edilmiştir. Ancak YZ değerlendirmesinde, göz büyütücü damlaların kullanılmasına gerek duyulmadığı için YZ tarafından tanı koyma maliyetine bu kalem dahil edilmemiştir. Sağlık personelinin maaş (temel maaş + ek ödeme+ teşvik ödemesi) bilgileri hastanenin mutemetlik biriminden alınmış olup Eylül 2024 dönemine ait maaş verileri kullanılmıştır.

YZ'nin maliyetleri, sağlık ekonomisinde hizmet sunucu ve toplumsal bakış açılarına göre farklı şekillerde ele alınabilir. Toplumsal bakış açısı daha geniş kapsamlı olmasına rağmen, toplumsal maliyetlerin hesaplanmasının zor olması

nedeniyle sağlık ekonomisinde genellikle hizmet sunucu bakış açısı tercih edilir (Kuper vd., 2006). YZ yazılımı tıbbi cihaz olarak değerlendirildiğinde hastalık tespiti ve izleme uygulamalarında maliyetlerin ana bileşeni genellikle tıbbi cihaz maliyetidir. Ancak YZ yazılımı donanımla (örneğin, fundus kameraları, optik koherens tomografi cihazları ve biyomikroskoplar) entegre edildiğinde ana maliyet donanımdan kaynaklanabilir. Özellikle YZ yazılımının maliyeti sadece uzmanlar tarafından yapılan görüntü değerlendirmeleriyle karşılaştırıldığında dikkate alınmalıdır çünkü her iki durumda da aynı görüntüleme donanımı kullanılmaktadır. YZ'nin geliştirilmesi pahalıdır ve maliyetler hem kısa hem de uzun vadeli olarak değerlendirilmelidir. Kısa vadeli maliyetler araştırma ve geliştirme süreçlerini içerirken uzun vadeli maliyetler bakım maliyetleri, yazılım güncellemeleri ve donanım bakımını kapsamaktadır. Bununla birlikte hizmet sunucu bakış açısında YZ yazılımının maliyetlerinin sadece doğrudan ödenen maliyetleri içerdiği, teknoloji ve yazılım geliştirme maliyetlerinin hesaba katılması gerekip gerekmediği konusunda bazı tartışmalar bulunmaktadır (Ruamviboonsuk vd., 2021).

Araştırmada, DR teşhisine yönelik olarak Ural Telekomünikasyon (EyeCheckup projesi) şirketi tarafından geliştirilen YZ tabanlı yazılım kullanılmıştır. Bu yazılım DR'ye tanı koymakta ve evrelere göre sınıflandırıp hastalığın evrelerine göre hastanın yapması gerekenleri rapor halinde sunmaktadır. Yazılımın performansını değerlendirmek amacıyla hastaneden alınan fundus görüntüleri EyeCheckup yazılımına yüklenmiş ve yazılımın elde ettiği sonuçlar oftalmolog derecelendirmesiyle karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonuçları bulgular kısmında tablolastırılmıştır. Yazılımın DR 'ye hasta başına tanı koyma ve kullanım maliyeti Ural Telekomünikasyon (EyeCheckup projesi) şirketi tarafından sunulmuştur.

4.7.2. Etkililik Değerlerinin Tespiti

Araştırmada, etkililik değeri belirlenirken QALY skorlarından yararlanılmıştır. Hastaların QALY skorlarının hesaplanmasında, The EuroQol Group Association tarafından geliştirilen EQ-5D-5L ölçeği kullanılmıştır. Bu ölçek, farklı hastalık

türleri için uygulanabilmekte ve çeşitli ekonomik değerlendirme çalışmalarında kullanılmaktadır (Arslan, 2020; Işıkçelik vd., 2019; Yalçın Balçık, 2013; Yangı Tugay, 2022).

Bu çalışma kapsamında ölçeğin Türkiye için hazırlanmış Türkçe versiyonu ve telefon aracılığıyla uygulanan formu The EuroQol kurumundan temin edilerek kullanılmıştır (Ek 2, Ek 3). EQ-5D-5L ölçeği iki kısımdan oluşmaktadır. Birinci kısımda ölçek, hareketlilik, öz bakım, olağan faaliyetler, ağrı/rahatsızlık ve endişe/depresyon olmak üzere 5 boyutta değerlendirme yapmaktadır. Her bir boyutta 1 (en iyi sağlık durumu) ile 5 (en kötü sağlık durumu) arasında bir seçenek işaretlenmekte ve böylece 5 haneli bir skor elde edilmektedir. Bu skorlar, ülkelere özgü ağırlıklar kullanılarak 0 (ölüm) ile 1 (mükemmel sağlık) aralığında değerlendirilmektedir.

Türkiye'de EuroQol-5D-5L ölçeğine özgü ulusal bir değer seti bulunmaması nedeniyle Türkiye ve Almanya arasındaki coğrafi, kültürel ve sosyoekonomik benzerlikler göz önüne alınarak çalışmada Almanya'nın değer setinden faydalanılmaktadır. Türkiye'deki sağlık finansman modeli Bismarck modeline (sosyal sağlık sigortası) benzemekte (Tatar, 2011) ve Almanya'da yaşayan yaklaşık 3 milyon Türk nüfusu bulunmaktadır (Kocaman Wilutzki, 2023). Bu benzerliklerden dolayı Türkiye'de EQ-5D-5L ölçeği kullanılarak yapılan yaşam kalitesi değerlendirmelerinde ve ekonomik analizlerde Almanya'nın ağırlıklarının kullanımı yaygın bir yaklaşım olarak benimsenmiştir (Arslan, 2020; Işıkçelik vd., 2019; Yangı Tugay, 2022). Böylelikle hastaların sağlık durumlarının QALY cinsinden değeri hesaplanabilmektedir. QALY skorları hesaplanırken örneğin: anketi cevaplayan kişi yürüyerek dolaşırken çok az güçlük yaşıyorsa hareket edebilme boyutundan 2 puan, kendi kendine yıkanırken veya giyinirken orta derecede güçlük yaşıyorsa kendi kendine bakabilme boyutundan 3 puan, olağan işlerini yaparken şiddetli güçlük yaşıyorsa olağan işler boyutundan 4 puan, hafif ağrı veya rahatsızlığı yoksa ağrı/rahatsızlık boyutundan 1 puan, aşırı derecede endişeli veya morali bozuksa endişe/moral bozukluğu boyutundan 5 puan almaktadır. Yanıtlayıcının yukarıda verdiği cevaplardan 23415 skoru elde

edilmektedir. Elde edilen skor Almanya ağırlıklarına göre analiz edildiğinde 0,443 QALY değeri hesaplanmaktadır.

Ölçeğin ikinci kısmı, 0 ile 100 arasında değişen bir Görsel Analog Ölçeğinden (Visual Analogue Scale-VAS) oluşmaktadır. Bu bölümde katılımcılar, bugünkü sağlık durumlarını bu termometre benzeri ölçek üzerinde puanlamaktadırlar. Elde edilen yaşam kalitesi puanları 0-100 aralığındadır ve puanın artması sağlık algısının da iyileştiğine işaret etmektedir. DR hastalığına yönelik ölçeğin geçerlilik ve güvenilirlik çalışması henüz yapılmamıştır. Bununla birlikte uluslararası çalışmalarda, ölçeğin güvenilirliğini gösteren Cronbach alfa katsayısının 0,75'in üzerinde olduğu görülmektedir (Cheung vd., 2016; Seng vd., 2020). Türkiye'de Kahyaoğlu Süt (2009) tarafından yapılan çalışmada, ölçeğin güvenilirliği ve geçerliliği incelenmiş ve sonuçlar Cronbach's alfa katsayısının 0,86 olduğunu göstermiştir. Çalışmada, 113 kişiye ölçeğin birinci kısmı ve VAS kısmı uygulanarak Quality Adjusted Life Year (QALY) ile VAS skorları elde edilmiştir. Daha sonra katılımcıların doldurduğu anketler, DR evrelerine göre "No DR, Hafif NPDR, Orta NPDR, VTDR" şeklinde gruplandırılmıştır. Her bir DR evresindeki katılımcıların QALY skorları ayrı ayrı hesaplanmıştır. Elde edilen QALY ve VAS değerleri R yazılım programında analiz edilerek tablolastırılmıştır.

4.7.3. Maliyet Etkililiğin Belirlenmesi

Araştırmada, DR'ye YZ ve klasik tanı koyma yönteminin (oftalmolog tarafından tanı konulması) ekonomik değerlendirmesi için maliyet etkililik analizi uygulanmıştır. Araştırmada, geri ödeme kurumu perspektifi ile hizmet başına ödeme yöntemi ve personel ücretleri belirlenirken zamana dayalı faaliyet tabanlı maliyetleme yöntemiyle maliyetler belirlenmiştir. Çalışmada, DR hastalarının farklı evrelerindeki yaşam kalitesini değerlendirmek için EQ-5D-5L ölçeği kullanılmıştır. Çalışmada, her bir katılımcının EQ-5D-5L ölçeğinden elde edilen sağlık durumu katsayıları Almanya'ya özgü ağırlık değerleri kullanılarak hesaplanmıştır. Daha sonra, her bir evre için hastaların QALY değerleri elde edilmiştir.

Araştırmada iki yöntemin maliyet etkililik analizi için Markov modeli kullanılmıştır. Araştırma modelinin detayları aşağıda belirtilmiştir. Modelde altı farklı sağlık durumunun (No DR, Hafif NPDR, Orta NPDR, VTDR, Körlük ve Ölüm) geçiş olasılıkları literatürden alınmıştır. Tüm girdi parametrelerinin kullanımıyla İMEO hesaplanmıştır. İMEO'yu Dünya Sağlık Örgütü'nün önerdiği eşik değer olan kişi başına düşen GSYİH'nin 1-3 katı ile karşılaştırarak müdahalenin maliyet etkili olarak kabul edilip edilmediğine karar verilmiştir. Türkiye'nin 2023 yılı kişi başına düşen GSYİH 311.109 TL (13.243 \$) olarak hesaplanmıştır (TÜİK, 2024a). Bununla birlikte Pichon-Riviere vd.'nin 2023 yılında gerçekleştirdiği çalışmada, Türkiye için belirlenen QALY başına maliyet-etkililik eşiği ise 134.354 TL (3.940 \$) olarak bulunmuştur. Bu çalışmada, Pichon-Riviere ve arkadaşlarının Türkiye için belirlediği eşik değeri ile DSÖ'nün önerdiği eşik değerler birlikte kullanılmıştır. Çalışmada, maliyet etkililik analizi için R programlama yazılımı kullanılmıştır.

4.8. ARAŞTIRMA MODELİ

Literatürde DR'nin YZ tarafından teşhis edilmesinin ekonomik değerlendirmesine yönelik yapılan çalışmalar, genellikle sağlık hizmetlerinde en verimli ve ekonomik uygulamaları belirlemeyi amaçlayan maliyet-etkililik analizi kapsamında gerçekleştirilmektedir (Gomez Rossi vd., 2022; Hu vd., 2024; Huang vd., 2022; Li vd., 2023; S. Lin vd., 2023; Su vd., 2023).

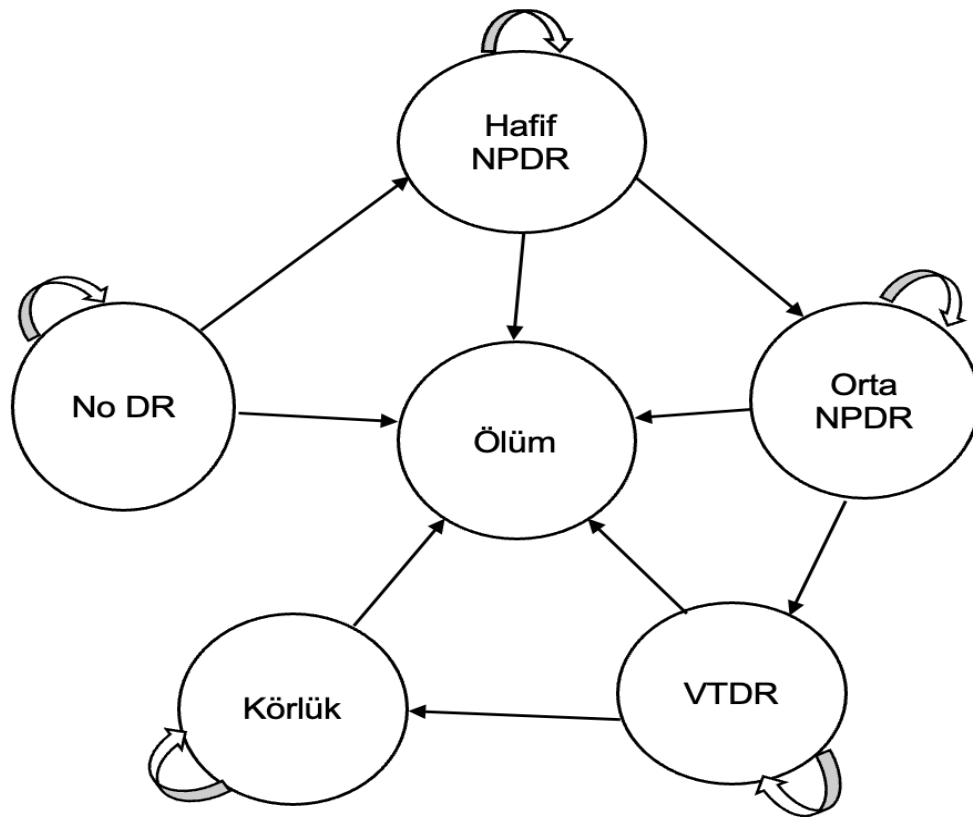
Özellikle YZ tabanlı DR taramalarının maliyet etkililiğinin analiz edildiği çalışmalarda, Markov modeli sıklıkla kullanılan bir yöntemdir. Karar analitik modellemede, Markov modelleri, belirsizlik koşulları altında hastalıkların seyrini ve tedavilerin etkilerini tanımlamak için sıklıkla tercih edilmektedir (Schaefer vd., 2005). Markov modelleri, belirli bir süreç içinde farklı durumlar arasındaki geçişleri ve bu durumların maliyet ve etkililiklerini simüle ederek uzun vadeli sonuçları modelleyebilme avantajına sahiptir (Briggs & Sculpher, 1998). Huang vd. (2022), Çin'in kırsal bölgesinde YZ tabanlı DR taramasının maliyet etkililiğini Markov modeli tabanlı bir hibrit karar ağacı kullanarak değerlendirmiştir. Benzer şekilde, Su ve arkadaşları (2023), teletıp tabanlı DR taramasının maliyet etkililiğini kırsal

ve kentsel Çin'de Markov modelleri ve hibrit karar ağaçları kullanarak analiz etmiştir. Lin vd. (2023) ile Li vd. (2023), Çin'de YZ ve manuel DR derecelendirme yöntemlerinin maliyet etkililiğini karar analitik Markov modelleri aracılığıyla incelemiştir. Yapılan çalışmalar, DR taramasının ekonomik değerlendirilmesinde Markov modelinin önemli bir rolü olduğunu ortaya koymuştur.

Bu araştırmada, Türkiye'deki DR tanısı için klasik ve YZ tabanlı yöntemlerin ekonomik değerlendirmesi maliyet etkililik analizi yaklaşımıyla gerçekleştirilmiş olup modelleme süresinde Markov modeli kullanılmıştır. Araştırmada, DR hastalığının ilerlemesini modellemek için kullanılan Markov modelinde hastalar altı sağlık durumu (No DR, Hafif NPDR, Orta NPDR, VTDR, Körlük ve Ölüm) arasında geçiş yapmaktadır. Araştırma modeli ise Şekil 10'da sunulmuştur. Araştırma modeli oluşturulurken literatürde yapılan çalışmalar dikkate alınmıştır. Şekil 10'da sağlık durumları arasındaki geçişler oklarla gösterilmektedir. Okların yönü, bir sağlık durumundan diğerine geçişin mümkün olup olmadığını belirtmektedir. Örneğin, "Hafif NPDR" durumundan "Ölüm" durumuna geçiş mümkündür ancak "Ölüm" durumundan geri dönüş yoktur. Diğer durumlar arasında da benzer geçişler bulunmaktadır; "VTDR" durumundan "Körlük" durumuna geçiş mümkündür fakat "Körlük"ten "No DR" durumuna geçiş mümkün değildir.

Araştırma modeli, 1000 hastadan oluşan varsayımsal bir kohortla gerçekleştirilmiştir. Türkiye'de Tip 2 diyabetli hastaların ortalama başlangıç yaşı 30 olarak kabul edilmiş (TÜRKDİAB, 2024) ve 40 yıllık bir döngü boyunca model çalıştırılmıştır. Tip 2 diyabetin erken tanısı yaşam süresini kısaltmaktadır. Yapılan araştırmalar, diyabet tanısı alan bireylerin ortalama 6 yıl daha erken öldüğünü göstermektedir. Bununla birlikte 30 yaşında diyabet tanısı alan bireyler diyabet tanısı almayan kişilere göre ortalama 14 yıl daha erken öldüğü sonucuna ulaşılmıştır (Kaptoge vd., 2023). Türkiye'de 30 yaşındaki bir kişinin beklenen yaşam süresi 49,1 yıl olup (TÜİK, 2024b) yaşam süresi yaklaşık 80 yıldır. Çalışma kapsamında diyabetin yaşam süresinin kısaltıcı etkisi dikkate alındığı için Markov modeli 40 yıllık bir döngü boyunca çalıştırılmıştır. Çalışmada, DR hastalığının

ilerlemesini modellemek ve simülasyonları gerçekleştirmek için 1 yıllık döngüler kullanılmıştır. Bu doğrultuda, hastaların sağlık durumları arasındaki literatürden elde edilen 1 yıllık geçiş olasılıkları temel alınmıştır. Markov modelinde, durumlar arasındaki geçiş olasılıkları sabit ve zamana bağlı olarak değişmemektedir. DR evreleri arasında geçiş olasılıklarında Türkiye'ye özgü veri bulunmamaktadır. Şiddetli NPDR ve PDR evrelerinin birleşimini oluşturan Huang vd. (2022)'nin yaptığı çalışmadan geçiş olasılıkları elde edilmiştir. Literatürden elde edilen geçiş olasılıkları Tablo 5'te sunulmuştur.



Şekil 10. Araştırma Modeli

Kaynak: Araştırma modeli oluşturulurken Huang, X. M., Yang, B. F., Zheng, W. L., Liu, Q., Xiao, F., Ouyang, P. W., Li, M. J., Li, X. Y., Meng, J., Zhang, T. T., Cui, Y. H., & Pan, H. W. (2022). Cost-effectiveness of artificial intelligence screening for diabetic retinopathy in rural China. BMC health services research, 22(1):1-12 isimli makaleden esinlenilmiştir.

Tablo 5. Diyabetik Retinopati Geçiş Olasılıkları

Parametre	Değer	Duyarlılık Analizi Aralığı
No DR-Hafif DR	0.07	0.01-0.10
Hafif DR-Orta NPDR	0.19	0.166-0.214
Orta NPDR-VTDR	0.17	0.147-0.193
VTDR-Körlük	0.09	0.07-0.11
Kaynak: Huang, X. M., Yang, B. F., Zheng, W. L., Liu, Q., Xiao, F., Ouyang, P. W., Li, M. J., Li, X. Y., Meng, J., Zhang, T. T., Cui, Y. H., & Pan, H. W. (2022). Cost-effectiveness of artificial intelligence screening for diabetic retinopathy in rural China. BMC health services research, 22(1):1-12		

Markov modelleme sürecinde her bir döngü sonunda hastalar yalnızca bir sağlık durumunda olabilmektedir. Markov modelde hastaların retinopati durumları arasında geçişi, kullanılan geçiş olasılıklarına bağlı olarak gerçekleşmektedir. Hastaların bir durumdan diğer duruma geçişi oklar ile gösterilen yönlerle doğru olabilmektedir. Her döngüde (yıl), hastalar sağlık durumları arasında aşağıdaki geçişleri yapabilmektedir:

- No DR kalabilir veya Hafif NPDR'ye ilerleyebilir.
- Hafif NPDR kalabilir veya Orta NPDR'ye ilerleyebilir.
- Orta NPDR kalabilir veya VTDR'ye ilerleyebilir.
- VTDR körlüğe ilerleyebilir.

Model diyabet tanısı konulduktan sonra DR ilerlemesini simüle etmiştir. Tüm sağlık durumlarına sahip bireyler, ölüm olasılığıyla karşı karşıya kalmaktadır.

4.8.1. Markov Model Girdileri

Araştırmada, modelde kullanılacak parametreler belirlenirken literatürde yapılan çalışmalar ve uzman görüşleri dikkate alınmıştır. Tablo 6'da Markov modelinde kullanılan girdi parametreleri ve bu parametrelerin modeldeki isimleri sunulmuştur. Bu model, araştırma verilerinden elde edilen bilgilerle

oluşturulmuştur ancak Türkiye'de mevcut olmayan geçiş olasılıkları, ölüm çarpanları ve körlüğün fayda değeri gibi bazı veriler için literatürde yer alan kaynaklardan faydalanılmıştır. Bu sayede farklı evrelerdeki DR ile ilgili kapsamlı bir analiz yapılması sağlanmıştır.

Tablo 6'da modelin maliyet parametreleri, YZ ve oftalmolog maliyetlerini içermektedir ve bu maliyetler araştırma kapsamındaki verilerden elde edilmiştir. Bu maliyetler, farklı DR evrelerinin (No DR, Hafif NPDR, Orta NPDR ve VTDR) YZ ve oftalmolog tarafından tanı koyması için gereken maliyetleri temsil etmektedir. Örneğin, "m_Hafif NPDR_YZ" kodu, YZ tarafından hafif NPDR evresinin tanı koyma maliyetini temsil ederken "m_Orta NPDR_OF" ise oftalmolog tarafından orta NPDR evresinin tanı koyma maliyetini ifade etmektedir.

Fayda değerleri, modelin etkililiğini göstermektedir. Örneğin, "u_NoDR" kodu, DR olmayan kişilerin fayda değerini belirtmektedir. DR vakalarıyla ilgili etkililik verileri No DR, Hafif NPDR, Orta NPDR ve VTDR evreleri için araştırmaya katılan hastalara uygulanan EQ-5D-5L ölçeği aracılığıyla elde edilmiştir. Ölçek skoru belirlenirken Türkiye'ye ait katsayıların bulunmaması nedeniyle Almanya'ya özgü katsayılar kullanılmıştır. Araştırma süresi boyunca araştırmaya katılan hastalarda körlük durumu oluşmadığı için körlüğün etkililik değeri literatürden elde edilmiştir (Brown vd., 2001).

Diyabet bağlı ve körlüğe bağlı ölüm riskleri hesaplanırken literatürde kullanılan metodoloji ve uzman görüşler dikkate alınarak hesaplamalar yapılmıştır (Hu vd., 2024; Huang vd., 2022; Su vd., 2023). İlk olarak Türkiye'de yaşa özgü ölüm oranları hesaplanırken Tip 2 diyabetli hastaların genellikle 30 yaş ve üzerinde olduğu göz önünde bulundurularak Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) veri tabanından elde edilen 2023 yılı verileri kullanılmıştır. Bu veriler doğrultusunda, 30 yaş ve üzerindeki ölüm sayıları, bu yaş grubundaki kişi sayısına bölünerek 30 yaş ve üstü kişilerin ölüm oranı hesaplanmıştır. Diyabet ve körlük için her bir yaş grubuna özgü ölüm çarpanlarının ayrı ayrı bulunmaması nedeniyle yaşa özgü

hesaplamalar yapılmamıştır. Son olarak diyabete bağlı ve körlüğe bağlı ölüm riskleri 30 yaş ve üstü kişilerin ölüm oranları ile bu durumların ölüm çarpan değerleri çarpılarak hesaplanmıştır.

YZ ve oftalmolog tarafından tanı koymanın duyarlılık ve özgüllük değerleri araştırma verilerinden elde edilmiştir. Modelde kullanılan “yz_duyarlilik” parametresi, YZ’nin gerçek pozitif sonuçları doğru şekilde tespit etme yeteneğini gösterirken; “of_duyarlilik” değişkeni ise oftalmoloğun gerçek pozitif sonuçları doğru şekilde tespit etme yeteneğini göstermektedir. Modelde kullanılan “yz_ozgulluk” parametresi, YZ’nin gerçek negatif sonuçları doğru şekilde tespit etme yeteneğini gösterirken; “of_ozgulluk” değişkeni ise oftalmoloğun gerçek negatif sonuçları doğru şekilde tespit etme yeteneğini göstermektedir.

Tablo 6’da DR prevalansı başlığı altında 4 farklı evrenin Türkiye’deki DR prevalansı sunulmuştur. Modelde yer alan örneğin “pNoDR” değişkeni Türkiye’de DR olmayan diyabetli kişilerin prevalansını ifade etmektedir. Türkiye’nin DR prevalansı (%) verisi literatürden alınmıştır (İdil vd., 2001). Uzman görüşle birlikte literatürde yer alan çalışma değerlendirilerek VTDR evresinin prevalansı hesaplanırken İdil vd. (2001) tarafından DR taraması konusunda yapılan çalışmada belirtildiği üzere preproliferatif DR, laser fotokoagulasyonlu, proliferatif DR ve ilerlemiş göz hastalığı evrelerinin toplamı alınmıştır.

Gelecekte ortaya çıkan maliyetler ve sağlık sonuçları bugünkü değerlere indirilmelidir. Buna göre, bir yıldan uzun süren herhangi bir maliyet veya sonuç standart yöntemler kullanılarak indirilmelidir (HIQA, 2020). Bu çalışmada, sağlık ekonomisi değerlendirmelerinde en çok tercih edilen ve maliyet ve fayda değeri için standart bir referans noktası olarak kabul edilen %3'lük indirgeme oranı kullanılmıştır (Haacker vd., 2020; Neumann vd., 2016; Robinson vd., 2019; Sanders vd., 2016).

Tablo 6. Markov Model Parametreleri

Model Parametreleri	Değişkenlerin Modeldeki İsmi	Değer	Duyarlılık Analiz Aralıkları	Kaynak
1. Maliyetler			±10%	
Yapay Zekâ Maliyetleri				
No DR evresinin YZ maliyeti	m_NoDR_YZ			Araştırma Verisi
Hafif NPDR evresinin YZ maliyeti	m_Hafif NPDR_YZ			
Orta NPDR evresinin YZ maliyeti	m_Orta NPDR_YZ			
VTDR evresinin YZ maliyeti	m_VTDR_YZ			
Oftalmolog Maliyeti (OF)				
No DR evresinin OF maliyeti	m_NoDR_YZ			Araştırma Verisi
Hafif NPDR evresinin OF maliyeti	m_Hafif NPDR_YZ			
Orta NPDR evresinin OF maliyeti	m_Orta NPDR_YZ			
VTDR evresinin OF maliyeti	m_VTDR_YZ			
2. Fayda Değerleri (Etkililik Değerleri)			±10%	
No DR	u_No DR			Araştırma Verisi
Hafif NPDR	u_HafifNPDR			
Orta NPDR	u_OrtaNPDR			
VTDR	u_VTDR			
Körlük	u_Körlük	0.47	(0.42-0.52)	(Brown vd., 2001)
4. Ölüm Çarpanları (Mortality Multipliers)			%95 güven aralığı	
Körlük	k_olum	2.34	(2.22-2.46)	(Huang vd., 2022)
Diyabet	d_olum	1.90	(1.04-2.70)	
5. Duyarlılık (%)			%95 güven aralığı	
YZ	yz_duyarlılık			Araştırma Verisi
Oftalmolog	of_duyarlılık			
6. Özgüllük (%)			%95 güven aralığı	
YZ	yz_ozgulluk			Araştırma Verisi
Oftalmolog	of_ozgulluk			
7. İndirgeme (%)	indirgeme	3	0-6	(Haacker vd., 2020)
8. Diyabetik Retinopati Prevalansı (%)			±10%	
No DR	pNoDR	77.70	69.93-85.47	(İdil vd., 2001) ve Uzman Görüşü
Hafif NPDR	pHafifNPDR	9.26	8.33-10.19	
Orta NPDR	pOrtaNPDR	4.5	4.05-4.95	
VTDR	pVTDR	8.54	7.69-9.39	
9. Geçiş Olasılıkları			%95 güven aralığı	
No DR evresinden Hafif NPDR evresine geçiş	p_NoDR_ HafifNPDR	0.07	0.01-0.10	(Huang vd., 2022)
Hafif NPDR evresinden Orta NPDR evresine geçiş	p_HafifNPDR_OrtaNPDR	0.19	0.166-0.214	
Orta NPDR evresinden VTDR evresine geçiş	p_OrtaNPDR_ VTDR	0.17	0.147-0.193	
VTDR evresinden Körlük evresine geçiş	p_VTDR_Korluk	0.09	0.07-0.11	

4.9. DUYARLILIK ANALİZİ

Araştırmada, tek yönlü duyarlılık analizi ve olasılıksal duyarlılık analizi (Probabilistic Sensitivity Analysis, PSA) gerçekleştirilmiştir. Duyarlılık analizini gerçekleştirmeden önce tek yönlü duyarlılık analizi için model değişkenlerinin olasılık değer aralığının belirlenmesi gerekmektedir. DR prevalansı, fayda değerleri ve maliyetler için ise $\pm\%10$ değer aralığı belirlenmiştir. Mortalite çarpanları ve geçiş olasılıkları literatürden elde edildiği için literatürle benzer şekilde minimum ve maksimum değerler %95 güven aralıklarında tahmin edilmiştir (Huang vd., 2022). Benzer şekilde oftalmolog ve YZ'nin duyarlılığı ve özgüllüğü gibi parametreler için de minimum ve maksimum değerler, %95 güven aralıklarında tahmin edilmiştir. Dünya Sağlık Örgütü (WHO) önerilerine dayanarak indirgeme oranı %0-6 arasında belirlenmiştir (Tan-Torres Edejer vd., 2003). Tek yönlü duyarlılık analizi ile belirsiz parametreler tek tek incelenmiş ve sonuçlar parametrelerin değişim aralığını gösteren tornada diyagramları ile görselleştirilmiştir.

Bunun yanı sıra birden fazla parametrenin aynı anda değişiminin sonuçlar üzerindeki etkisini değerlendirmek için olasılıksal duyarlılık analizi yapılmıştır. Duyarlılık analizini gerçekleştirmeden önce, olasılıksal duyarlılık analizinde modeldeki her parametrenin önce belirli bir dağılıma uyması gerekmektedir. Duyarlılık analizi gerçekleştirilmeden önce modeldeki parametrelerin hangi dağılımlara uyduğuna karar vermek için sistematik bir yaklaşım benimsenmiştir. İlk olarak literatürde yapılan benzer çalışmalar incelenerek daha önce hangi dağılımların kullanıldığı ve bu dağılımların geçerliliği değerlendirilmiştir (Ben, Neyeloff, vd., 2020; Li vd., 2023; S. Lin vd., 2023; Scotland vd., 2007). Verilerin doğası ve özellikleri dikkate alınmış, incelenecek değişkenlerin dağılımını görselleştirmek amacıyla histogramlar oluşturulmuş ve dağılımın uygunluğunu değerlendirmek için Kolmogorov-Smirnov testi gibi istatistiksel analizler gerçekleştirilmiştir. Bu test sonuçları doğrultusunda parametreler için en uygun dağılımlar belirlenmiştir. Bu çalışmada, DR prevalansı, sağlık fayda değerleri, geçiş olasılıkları, YZ ve oftalmoloğun duyarlılık ve özgüllük değerleri beta dağılımına, ölüm çarpanları logaritmik normal dağılıma ve maliyetler gamma

dağılımına dayanmaktadır. Bununla birlikte ikinci türdeki genelleştirilmiş beta dağılımı (Generalized Beta Distribution of the Second Kind- GB2), çok esnek dört parametrelili bir dağılımdır. GB2 ailesi, lognormal, gamma, Weibull, Burr ve genelleştirilmiş gamma gibi yaygın olarak kullanılan birçok dağılımı içeren esnek bir dağılıma sahiptir (Cummins vd., 1990). GB2, sağlık ekonomisi alanında maliyet etkililik analizleri için değerli bir araç haline gelmektedir. GB2'nin esnek yapısı sağlık maliyetlerini modellemede daha az yanlılık ve benzer doğruluk sağlama yeteneği sunarak farklı veri setlerine uyum sağlama imkânı tanımaktadır (Jones vd., 2011). GB2 dağılımı, gamma dağılımına göre daha fazla parametreye sahip olduğundan verilerin dağılımını daha iyi yakalayabilir. Bu nedenle bu çalışmada maliyet parametreleri için daha etkili bir modelleme aracı olarak GB2 dağılımı değerlendirilmiş ve maliyet parametreleri GB2 dağılımı kullanılarak da analiz edilmiştir.

Olasılıksal Duyarlılık Analizi için Monte Carlo simülasyonu ile 1.000 tekrar örnek alınarak belirsiz parametrelerin model üzerindeki etkisi gözlemlenmiştir. Her simülasyonda, parametrelerin olasılık dağılımlarından rastgele bir değer seçilmiştir. Simülasyon sürecinde, bireyler modeldeki geçiş olasılık dağılımına göre farklı durumlara rastgele geçiş yapmışlardır. Sonuç olarak farklı müdahale stratejilerinin maliyet, etki ve ilave maliyet-etkililik oranı analiz edilmiştir. Bu yöntem, karar verme sürecinde belirsizlik altında daha iyi kararlar alınabilmesi için tüm olası sonuçların gözlemlenmesine ve sonuçlardaki değişkenliğin tahmin edilmesine olanak tanımaktadır. Elde edilen sonuçlar, maliyet-etkililik dağılım grafiği, ilave maliyet-etkililik dağılım grafiği ve maliyet-etkililik kabul edilebilirlik eğrisi (Cost-Effectiveness Acceptability Curve-CEAC) gibi görsellerle sunulmuştur.

4.10. TAHMİNİ BÜTÇE YÜKÜ ANALİZİ

DR tanısında YZ ile oftalmolog tarafından tanı koyma yöntemlerinin ülke bütçesi üzerindeki yükünü tespit etmek amacıyla bir tahmini bütçe yükü hesaplanmıştır. Bu analiz için Türkiye'nin diyabet prevalans verileri ve nüfus projeksiyon verileri kullanılmıştır. Türkiye'nin diyabet prevalans (%) verileri, IDF Diyabet Atlası'nın 2045 yılına yönelik diyabet prevalans projeksiyonu dikkate alınarak yıllara göre hesaplanmıştır (IDF, 2021). Türkiye'de yaş gruplarına göre nüfus projeksiyon verileri ise TÜİK'ten alınmıştır (TÜİK, 2018). 2024-2030 yılları arası yıl bazında yaş grubuna göre nüfus verisi bulunmaktadır. 2030 yılı sonrasında ise TÜİK'in nüfus projeksiyonundaki artış oranına göre nüfus projekte edilmiştir.

Tahmini bütçe yükü analizi sırasında öncelikle diyabet prevalans verisi kullanılarak 2045 yılına kadar diyabet hastalığına sahip olan kişi sayısı belirlenmiştir. Kişi sayısı belirlenirken çalışma kapsamında Türkiye'de Tip 2 diyabetli hastaların ortalama başlangıç yaşı 30 olarak kabul edildiğinden (TÜRKDİAB, 2024) nüfus projeksiyon verileri 30 yaş ve üzerindeki bireyler üzerinden hesaplanmıştır.

Ardından, belirlenen tahmini diyabet hasta sayıları ile tanı maliyetleri çarpılarak 2024-2045 yılları arasında ülke bütçesine olan etkisi hesaplanmıştır. Tahmini bütçe yükü analizi, Markov modeli kullanılarak elde edilen maliyet ve etkililik değerleri üzerinden gerçekleştirilmiştir.

5. BÖLÜM

BULGULAR

Araştırmada, maliyetler hesaplanırken geri ödeme kurumu perspektifi ile hizmet başına ödeme yöntemi ve sağlık personelinin maliyetleri belirlenirken zamana dayalı faaliyet tabanlı maliyetleme yöntemi dikkate alınarak maliyet etkililik analizi gerçekleştirilmiştir. Araştırma kapsamında EyeCheckup yazılımının DR'ye tanı koyma ve sınıflandırma performansı değerlendirilmiştir. Bu nedenle araştırmanın bu kısmında öncelikle YZ modelinin performans bulguları sunulmuş ardından maliyet etkililik analizleri sonucunda elde edilen bulgulara yer verilmiştir.

5.1. YAPAY ZEKÂ MODELİNİN PERFORMANS BULGULARI

Araştırmanın bu bölümünde, CNN kullanılarak geliştirilen EyeCheckUp YZ yazılımının DR'ye tanı koyma ve sınıflandırmadaki performansları sunulmuştur. Araştırmada 275 hastanın 547 fundus görüntüsü üzerinden ve R programlama diliyle analizler yapılmıştır. Bununla birlikte her hastaya ait fundus görüntülerinin her iki göz için de mevcut olmadığı gözlemlenmiştir. Bazı hastaların sadece tek gözüne ait fundus görüntüleri bulunmaktadır. Bu durum toplam görüntü sayısının hastaların göz sayısına tam olarak karşılık gelmediğini göstermektedir. EyeCheckup yazılımının DR tanı koyma performansı ölçülürken doğruluk, duyarlılık, özgüllük, pozitif tahmin değeri, negatif tahmin değeri gibi performans metriklerinden yararlanılmıştır. Seçilen bu metrikler literatürde benzer konulu çalışmalarda sınıflama performanslarının değerlendirilmesinde en fazla kullanılan ölçütler olması nedeniyle tercih edilmiştir (Munna vd., 2023; Nazir vd., 2020).

İlk olarak karışıklık matrisi (confusion matrix) elde edilmiştir. Tablo 7'nin birinci kısmı sınıflandırma modelinin performansını değerlendirmek için kullanılan karışıklık matrisini göstermektedir. Bu matris, modelin tahminleri ile gerçek değerler arasındaki ilişkiyi her bir hastanın sağ ve sol gözü için ayrı ayrı değerlendirerek göz düzeyinde sonuçları sunmaktadır. Tablo 7, dört farklı sınıfı

(No DR, Hafif NPDR, Orta NPDR ve VTDR) içermekte ve her bir sınıf için YZ modelinin doğru ve yanlış tahminlerini göstermektedir. "No DR" evresinde model, 54 gözlemi doğru bir şekilde tahmin ederken 2 gözlemi "Hafif NPDR" olarak yanlış sınıflandırmıştır. Modelin "Hafif NPDR" evresinde ise 80 gözlemi doğru tahmin ettiği ancak 7 gözlemi "Orta NPDR" olarak hatalı tahmin ettiği gözlemlenmiştir. "Orta NPDR" sınıfında 268 doğru tahmin yapılırken 7 gözlem "Hafif NPDR" ve 5 gözlem "VTDR" olarak hatalı bir şekilde sınıflandırılmıştır. Son olarak "VTDR" sınıfında ise model, 97 doğru tahmin yaparken 1 gözlemi "Hafif NPDR" ve 26 gözlemi "Orta NPDR" olarak yanlış tahmin etmiştir. Karışıklık matrisi, modelin doğru ve yanlış tahminlerini analiz ederek YZ modelinin doğruluk, duyarlılık, özgüllük gibi önemli performans metriklerini hesaplamaya yardımcı olmaktadır.

Tablo 7'nin genel istatistikler kısmında sunulan performans ölçüm değerlerine bakıldığında modelin genel doğruluğu %91,22 olarak tespit edilmiştir. Bu sonuç YZ tabanlı yazılım tarafından doğru tahmin yapma yeteneğinin yüksek olduğunu göstermektedir. Model sonuçlarının doğruluğu, %95 güven aralığında 0,8853 ile 0,9346 aralığında gerçekleşmektedir. Bilgi Olmadan Oran (No Information Rate, NIR), tahmin edilmek istenen sınıfın veri setindeki yaygınlığını ifade eden bir metriktir ve genellikle en büyük sınıfın yüzdesi olarak tanımlanır. Başka bir ifadeyle NIR, pozitif olarak değerlendirilen sınıfın toplam tahminler içindeki yüzdesini göstermektedir (Çınar, 2019). Bu modelde "Orta NPDR" sınıfı pozitif sınıf olarak kabul edilmiştir. Tablo 7'de NIR değeri 0,5119 olarak tespit edilmiştir. Etkili bir modelin, yalnızca en yaygın sınıfı sürekli tahmin etmekten daha iyi performans göstermesi beklenmektedir. Daha yüksek bir NIR değeri, modelin karşılaştığı sınıf dengesizliğinin arttığını göstermektedir. Bu bağlamda modelin doğruluğunun NIR değerinden yüksek olması modelin tahminlerinin anlamlı kabul edilebilmesi için kritik öneme sahiptir (Narasimhan & Rajendran, 2021). Tablo 7'de doğruluk oranının NIR değerinden ($0,9122 > 0,5119$) daha yüksek olması modelin tahminlerinin anlamlı ve etkili olduğunu göstermektedir. Ayrıca p değerinin ($2.2e-16$) 0.05'ten küçük olması da modelin doğruluğu ile NIR arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olduğunu, bu durum da modelin güvenilir olduğunu göstermektedir. Kappa, iki değerlendirici arasında gözlemlenen

uyumun derecesini ölçen bir istatistiksel araçtır. Kappa katsayısı, -1 ile +1 arasında değişmektedir. Kappa katsayısı, “0”dan küçükse, rastgele seviyesinden daha kötü bir uyumu, “0”, rastgele bir uyumu, “+1” ise mükemmel bir uyumu temsil eder. Kappa değerine göre, 0,00- 0,20 zayıf uyumu, 0,21- 0,40 orta düzeyde uyumu, 0,41- 0,60 iyi uyumu, 0,61- 0,80 çok iyi uyumu ve 0,8- 1,00 mükemmel uyumu ifade etmektedir (McHugh, 2012). Tablo 7’de sunulan Kappa değeri 0.8628, modelin tahminlerinin gerçek sınıflarla ne kadar uyumlu olduğunu gösterir. 0.8628’lik bir Kappa değeri, modelin mükemmel bir uyum sağladığını ve tahminlerin rastgele tahminlerden belirgin şekilde daha iyi olduğunu ifade etmektedir. Bu sonuç, modelin güvenilir ve etkili olduğunu ortaya koymaktadır.

Tablo 7’nin üçüncü kısmında yer alan sınıflara göre istatistikler, DR hastalığının farklı seviyelerini belirlemede kullanılan bir YZ modelinin performansını değerlendirmek için önemli bilgiler sağlamaktadır. Gerçek pozitiflerin, kısaca hastalığı olan bireylerin doğru bir şekilde tespit edilme oranını ifade eden duyarlılığa bakıldığında, No DR evresi en yüksek değere (0,9643) sahipken, VTDR evresi en düşük (0,7823) değeri göstermektedir. Hastalığın evreleri ilerledikçe, hastalığa sahip bireylerin doğru bir şekilde tespit edilme oranı belirgin bir düşüş göstermektedir. VTDR evresinde duyarlılığın azalması bu evredeki hastaların tanısında karşılaşılan zorlukları ortaya koymaktadır. Bu durum hastalığın ilerlemesiyle birlikte tanı süreçlerinin karmaşıklaştığını ve doğru teşhis için daha fazla iyileştirme yapılması gerektiğini göstermektedir. Dolayısıyla, erken evrelerde yapılan müdahalelerin önemi tedavi başarısını artırmak açısından kritik bir rol oynayacaktır. Gerçek negatiflerin, kısaca hastalığı olmayan bireylerin doğru bir şekilde tespit edilme oranını ifade eden özgüllük değerinde, No DR sınıfı en yüksek özgüllüğe (1,00) sahipken, evreler arasında orta NPDR evresi en düşük özgüllük değerini (0,8764) sunmaktadır. Modelin ortalama duyarlılığına bakıldığında %90,58 ile pozitif durumları iyi bir şekilde tespit ettiğini, ortalama özgüllüğü ise %96,07 ile negatif durumları yüksek doğrulukla tanımladığını göstererek genel olarak güvenilir bir tanı aracı olduğunu ortaya koymaktadır.

Duyarlılık ve özgüllük, bir tanı testinin performansını değerlendirmek için oldukça önemli istatistiksel parametrelerdir. Ancak gerçek uygulamalarda belirli bir kişinin gerçekten hastalığa sahip olup olmayacağını pozitif veya negatif bir test sonucuna dayanarak tahmin etmek genellikle daha anlamlıdır (Monaghan vd., 2021). Pozitif tahmin değeri, pozitif bir test sonucundan sonra hastalığa yakalanma olasılığını gösterirken negatif tahmin değeri, ise negatif bir test sonucundan sonra hastalığa yakalanmama olasılığını ifade eder (Van Stralen vd., 2009). Bu çalışmada, No DR evresi için pozitif tahmin değeri 1,0000, Hafif NPDR için 0,8889, Orta NPDR için 0,8904 ve VTDR için 0,9510 olarak bulunmuştur. Bu sonuçlar, test pozitif çıktığında hastaların büyük oranda gerçekten hasta olduğu anlamına gelir ve modelin klinik uygulamalarda güvenle kullanılabileceğini destekler. Diğer taraftan, negatif tahmin değeri, No DR için 0,9959, Hafif NPDR için 0,9847, Orta NPDR için 0,9512 ve VTDR için 0,9393 olarak hesaplanmıştır. Bu değerler, modelin negatif test sonuçları verdiğinde sağlıklı bireylerin büyük oranda doğru bir şekilde ayırt edilebildiğini ve yanlış tanı olasılığının düşük olduğunu ortaya koymaktadır. Genel olarak hem pozitif hem de negatif tahmin değerleri, modelin klinik uygulamalarda güvenilir bir tanı aracı olduğunu desteklemektedir.

Prevalans, belirli bir sınıfın toplam veri kümesindeki oranını ifade eder ve orta NPDR sınıfı en yüksek prevalansa (0,5119) sahiptir. Algılama oranı modelin gerçek pozitif tahmin değerinin toplam tahmin değerleri içindeki oranını gösterirken algılama yaygınlığı, modelin pozitif tahminlerinin (gerçek pozitif +yanlış pozitif) toplam tahminlere oranını ifade etmektedir. Her iki performans metriğinde de orta NPDR sınıfı en yüksek değerlere ulaşmaktadır. Son olarak dengeli doğruluk, duyarlılık ve özgüllüğün ortalamasını alarak modelin her iki sınıftaki performansının dengeli bir değerlendirmesini sağlamaktadır. Tablo 7’de, No DR sınıfı 0,9821, hafif NPDR 0,9489, orta NPDR 0,9168 ve VTDR 0,8852 dengeli doğruluk değerine sahiptir. Bu sonuçlar modelin dengeli bir şekilde başarılı olduğunu göstermektedir. Genel olarak YZ tabanlı modelin DR tanısındaki performansı oldukça yüksek bulunmuş olup bu bulgular, YZ

sistemlerinin klinik uygulamalarda DR tanısında potansiyel bir yardımcı olarak kullanılabileceğini göstermektedir.

Tablo 7. Yapay Zekâ Modelinin Göz Düzeyinde DR Sınıflama Performansına Ait Genel Bulguları

1. Karışıklık Matrisi ve İstatistikler (Confusion Matrix and Statistics)				
YZ Model Tahmini	Gerçek, Referans (Oftalmolog)			
	No DR	Hafif NPDR	Orta NPDR	VTDR
No DR	54	0	0	0
Hafif NPDR	2	80	7	1
Orta NPDR	0	7	268	26
VTDR	0	0	5	97
2. Genel İstatistikler (Overall Statistics)				
Doğruluk (Accuracy, Acc)	0,9122			
Güven Aralığı 95% (Confidence Interval, CI)	(0,8853-0,9346)			
Bilgi Olmadan Oran (No Information Rate, NIR)	0,5119			
P-Değeri [Acc > NIR] :	< 2.2e-16			
Kappa	0,8628			
McNemar's Test P-Value :	NA			
3. Sınıfa Göre İstatistikler (Statistics by Class)				
	No DR	Hafif NPDR	Orta NPDR	VTDR
Duyarlılık (Sensitivity)	0,9643	0,9195	0,9571	0,7823
Özgüllük (Specificity)	1,0000	0,9783	0,8764	0,9882
Pozitif Tahmin Değeri (Pos Pred Value)	1,0000	0,8889	0,8904	0,9510
Negatif Tahmin Değeri (Neg Pred Value)	0,9959	0,9847	0,9512	0,9393
Prevalans (Prevalence)	0,1024	0,1590	0,5119	0,2267
Algılama Oranı (Detection Rate)	0,0987	0,1463	0,4899	0,1773
Algılama Yaygınlığı (Detection Prevalence)	0,0987	0,1645	0,5503	0,1865
Dengeli Doğruluk (Balanced Accuracy)	0,9821	0,9489	0,9168	0,8852
Ortalama Duyarlılık	0,9058			
Ortalama Özgüllük	0,9607			

5.2. ARAŞTIRMANIN TANIMLAYICI BULGULARI

Araştırmaya dahil edilen hastaların tanımlayıcı verileri hastaların yaşam kalitesini ölçen EQ-5D-5L anketini cevaplayan hastalar aracılığıyla toplanmıştır. Araştırma, dahil edilme ve dışlanma kriterlerine uygun 113 diyabet tanısı almış hastanın gönüllü katılımı ile gerçekleştirilmiştir. Araştırmaya katılan hastalar arasında 25 kişi No DR, 25 kişi Hafif NPDR, 32 kişi Orta NPDR ve 31 kişi VTDR evresinde yer almaktadır. Toplanan veriler arasında hastaların sosyodemografik bilgileri (yaş, cinsiyet, medeni durum, eğitim seviyesi, gelir düzeyi, çalışma durumu), alkol ve sigara kullanım durumu, diyabet süresi, diyabet dışında mevcut kronik hastalıkları olup olmadığı yer almakla birlikte yaşam kalitesi anketinden (EQ-5D-5L ve EQ VAS ölçeği) elde edilen veriler de bulunmaktadır. İlgili verilerden elde edilen bulgular aşağıdaki tablolarda sunulmuş ve detaylı olarak açıklanmıştır.

Tablo 8'de diyabet tanısı almış hastaların sosyodemografik bilgileri yer almaktadır. Hastaların sosyodemografik profilini daha kapsamlı bir şekilde anlamak için her bir değişken kategorilerine ait yaş ortalamaları Tablo 8'in son iki sütununda gösterilmiştir. Araştırmaya katılan 113 kişinin yaş ortalaması yaklaşık 60 olarak belirlenmiştir. Diyabet tanısı almış bireylerin yaş dağılımı incelendiğinde 51-64 yaş aralığındaki bireylerin %46,90 ile en yüksek grubu oluşturduğu görülmektedir. 65-80 yaş aralığındaki bireyler de diyabet tanısı alma durumu %36,28 ile dikkate değer bir payı temsil etmektedir. 18-50 yaş grubundaki bireyler ise %16,81 ile en düşük paya sahiptir. Bu durum, yaş ilerledikçe diyabet riski ve prevalansının arttığını göstermektedir.

Araştırma kapsamında, diyabet tanısı almış erkek ve kadınların yaş ortalamasının yaklaşık aynı olduğu gözlemlenmektedir. Bununla birlikte erkeklerin %56,64 ile kadınlardan (%43,36) daha fazla diyabet hastası olduğu görülmektedir. Bu sonuç, erkeklerin diyabet hastalığına daha yatkın olduğunu ya da DR'nin tanı süreçlerinde daha fazla yer aldıklarını düşündürebilir. Ancak cinsiyetin diyabet üzerindeki etkisi karmaşık bir yapıya sahiptir ve biyolojik ve davranışsal faktörler de rol oynamaktadır.

Eğitim durumu açısından katılımcıların %53,98'inin ilkokul mezunu olduğu dikkat çekmektedir. Okuryazar olmayan bireyler %5,31, yükseköğrenim görenler ise %10,61'dir. Bu duruma bakıldığında, düşük eğitim seviyesinin sağlık bilgisi ve diyabet yönetimi üzerinde olumsuz etkiler yaratabileceği düşünülmektedir.

Çalışma durumu verilerine göre, katılımcıların %77,88'inin çalışmadığı, %22,12'sinin ise çalıştığı görülmektedir. Çalışan kişilerin yaş ortalaması yaklaşık 53 iken çalışmayan kişilerin yaş ortalaması yaklaşık 62'dir. Çalışmayan bireylerin büyük kısmı emeklilerden oluşmaktadır.

Gelir düzeyi (aylık) açısından katılımcıların %44,25'inin 5.501-10.000 TL aralığında gelir elde ettiği görülmektedir. Diğer gelir gruplarının yüzdesi ise daha düşüktür. 0-5.500 TL ve 20.001-25.000 TL gelire sahip bireylerin payı benzer şekilde %8,85, 10.001-15.000 TL arasında olanların %11,50, 15.001-20.000 TL aralığında olanların %10,62 ve 25.000 TL üstü olanların %15,93 olduğu gözlemlenmiştir. Gelir düzeyi gruplarına göre katılımcıların yaş ortalaması 56 ile 64 arasında değişmekte ve birbirine yakın olduğu gözlemlenmektedir. Gelir düzeyinin bireylerin sağlık hizmetlerine erişimini etkileyebileceği ve dolayısıyla yaşam kalitesini belirleyici bir faktör olduğu söylenebilir.

Tablo 8. Diyabet Tanısı Almış Hastaların Sosyodemografik Bulguları

Değişkenler	Kategoriler	Gözlem Sayısı (n)	Yüzde (%)	Ortalama /StandartSapma (Yaş)	Minimum/ Maksimum (Yaş)
Yaş	18-50	19	16,81	42,74 (7,31)	20/50
	51-64	53	46,90	58,08 (3,51)	51/64
	65-80	41	36,28	70,07 (4,28)	65/80
Toplam	18-80	113	100	59,85 (10,5)	20/80
Cinsiyet	Erkek	64	56,64	59,67 (11)	31/80
	Kadın	49	43,36	60,08 (10)	20/80
Eğitim Durumu	Okuryazar değil	6	5,31	69,17 (8,68)	58/80
	İlkokul	61	53,98	60,90 (8,25)	43/78
	Ortaokul	10	8,85	59,70 (10,51)	38/72
	Lise	19	16,81	55,52 (10,6)	35/71
	Ön Lisans	5	4,42	60,80 (4,97)	55/68
	Lisans	9	7,96	53,22 (17,48)	20/72
	Lisansüstü	3	2,65	66 (20,88)	42/80
Çalışma Durumu	Evet	25	22,12	52,92 (10,21)	31/68
	Hayır	88	77,88	61,81 (9,77)	20/80
Gelir Düzeyi	0-5.500	10	8,85	58,2 (18,61)	20/80
	5.501-10.000	50	44,25	60 (8,98)	38/78
	10.001-15.000	13	11,50	64,38 (7,58)	53/80
	15.001-20.000	12	10,62	64,41 (7,61)	46/74
	20.001-25.000	10	8,85	56,60 (7,17)	45/68
	25.000-üstü	18	15,93	55,83 (12,25)	31/72

*Gelir düzeyi aylık ve TL cinsinden ifade edilmiştir.

Tablo 9, diyabetli hastaların sigara kullanma durumu, alkol tüketimi, diyabet süresi ve eşlik eden kronik hastalıkların varlığı gibi önemli sağlık durumlarını yansıtan verileri sunmaktadır. Tablo 9'daki verilere göre katılımcıların %25,66'sı

sigara kullanırken %74,34'ü sigara içmemektedir, bu durum katılımcıların büyük bir kısmının sigara içmediğini göstermektedir. Alkol kullanımında ise katılımcıların %8,85'i alkol tüketirken %91,15'i alkol kullanmamaktadır. Alkolün sürekli olarak tüketilmesi, kan şekeri seviyelerini yükselterek diyabet hastaları için komplikasyon riskini artırmaktadır (Akpınar & Salış, 2012). Bu nedenle katılımcıların büyük bir kısmının alkol tüketmemesi sağlık açısından olumlu bir gösterge olarak değerlendirilebilir. Sigara ve alkol kullanımı, yaş ortalamaları açısından benzer sonuçlar göstermektedir. Sigara içenlerin ortalama yaşı 53 ($\pm 31/72$), içmeyenlerin ise 62 ($\pm 20/80$) olarak belirlenmiştir. Alkol kullananların yaşı ortalama 54 ($\pm 38/72$) iken, kullanmayanların yaşı ise 60 ($\pm 20/80$)'tır. Diyabet süresine göre dağılım ise 1-10 yıl (%36,28), 11-22 yıl (%39,82), 23-34 yıl (%23,01) ve 35-40 yıl (%0,88) şeklindedir. Diyabet süresinin 11-22 yıl arasında en yaygın olduğu gözlemlenmiştir. Diyabet süresinin uzun olması diyabetin etkilerinin zamanla artabileceği ve diyabet komplikasyonlarına karşı riskin de artabileceğine işaret etmektedir.

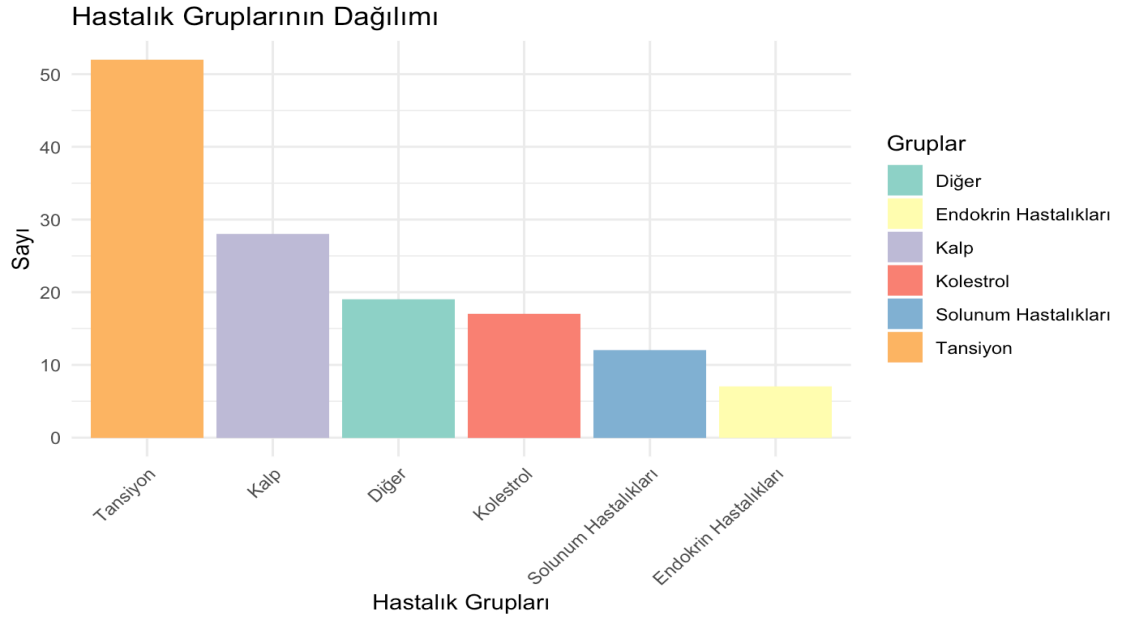
Tablo 9. Diyabetli Bireylerde Yaşam Tarzı ve Sağlık Durumuna İlişkin Bulgular

Değişkenler	Kategoriler	Gözlem Sayısı (n)	Yüzde (%)	Ortalama /StandartSapma (Yaş)	Minimum/ Maksimum (Yaş)
Sigara Kullanım Durumu	Evet	29	25,66	53,31 (10,45)	31/72
	Hayır	84	74,34	62,11 (9,59)	20/80
Alkol	Evet	10	8,85	53,80 (10,11)	38/72
	Hayır	103	91,15	60,44 (10,40)	20/80
Diyabetli Yaşam Süresi	1-10 Yıl	41	36,28	59,02 (10,21)	35/76
	11-22 Yıl	45	39,82	57,24 (11,21)	20/80
	23-34 Yıl	26	23,01	64,88 (7,07)	46/77
	35-40 Yıl	1	0,88	80	80/80
Eşlik Eden Kronik Hastalık Durumu	Var	82	72,57	61,30 (9,57)	20/80
	Yok	31	27,43	56 (12)	31/80

Katılımcıların %72,57'si diyabet ile birlikte başka kronik hastalığa sahipken, %27,43'ünün diyabet dışında başka bir kronik hastalığı bulunmamaktadır. Katılımcıların kendi beyanlarıyla belirttikleri diyabetle birlikte katılımcılarda görülen diğer hastalıklar, çeşitli gruplar halinde Şekil 11'de sunulmaktadır. Eşlik eden hastalıklar kardiyovasküler hastalıklar, solunum hastalıkları, endokrin ve metabolizma hastalıkları ve diğer hastalıklar şeklinde gruplandırılmıştır. Diğer hastalıklar kategorisinde Behçet hastalığı, romatizma, huzursuz bacak sendromu, tümör, sedef, siroz, kemik erimesi, prostat, böbrek ve karaciğer hastalıkları bulunmaktadır.

Kardiyovasküler hastalıklar grubunda tansiyon, kalp hastalıkları ve kolesterol gibi durumlar ayrıntılı bir şekilde sunulmuştur. Tansiyon ve kolesterol, kardiyovasküler hastalıklar için önemli risk faktörleri olup kalp ve damar sağlığı üzerinde olumsuz etkilere yol açabilmektedir. Bu nedenle bu durumlar kardiyovasküler hastalıklar grubunda yer almaktadır.

Katılımcıların çoğunda bu hastalıklar gözlemlendiği için Şekil 11 üzerinde bu hastalıklar daha ayrıntılı bir şekilde sunulmuştur. Katılımcılar arasında diyabetle birlikte en sık karşılaşılan sağlık sorunları olarak tansiyon (52 kişi), kalp hastalıkları (28 kişi) ve kolesterol yüksekliği (17 kişi) öne çıkmaktadır. Bununla birlikte solunum ve endokrin hastalıkları daha az kişide görülmektedir. Solunum hastalıkları arasında ise astım, bronşit ve koah gibi durumlar yer almaktadır. Endokrin ve metabolizma hastalıkları arasında tiroid hastalıkları bulunmaktadır.



Şekil 11. Eşlik Eden Kronik Hastalıklarının Dağılımı

Tablo 10, Tablo 11, Tablo 12, Tablo 13, Tablo 14 sırasıyla hastaların DR evrelerine göre sosyodemografik bulgularını yaş, cinsiyet, eğitim durumu, çalışma durumu ve gelir düzeyi gibi değişkenler açısından sunmaktadır. Tablolar, DR evrelerinde yer alan hasta gruplarına göre sosyodemografik bulguları açısından genel olarak benzer dağılımlar göstermektedir. Tablo 10'a bakıldığında genel olarak ilerleyen yaş ile diyabetik retinopati evrelerinin şiddetinin arttığı gözlemlenmektedir. Hafif ve orta NPDR evrelerinde yaş ortalaması daha yüksektir bu durum yaşın DR riskini artırabileceğini göstermektedir. Dolayısıyla yaş, bu hastalığın yönetiminde kritik bir risk faktörü olarak değerlendirilebilir.

Tablo 10. DR Evrelerine Göre Hastaların Sosyodemografik Bulguları (Yaş)

Evre	Ortalama	Gözlem Sayısı (n)	Yüzde (%)	Minimum/ Maksimum
No DR	55,44	25	22,12	20/74
Hafif NPDR	62,16	25	22,12	42/80
Orta NPDR	62,16	32	28,32	43/80
VTDR	59,16	31	27,43	31/72

DR evrelerine göre hastaların cinsiyet dağılımında (Tablo 11) genel olarak No DR evresinde erkeklerin sayısı belirgin bir şekilde fazla iken, ileri evrelerde cinsiyet dağılımı daha dengeli hale gelmekte özellikle VTDR evresinde kadınların sayısının arttığı gözlemlenmektedir. Bu durum kadınların yaşam süresinin uzun olması ile ilgili olabilir.

Tablo 11. DR Evrelerine Göre Hastaların Sosyodemografik Bulguları (Cinsiyet)

Evre	Cinsiyet	Gözlem Sayısı (n)	Yüzde (%)
No DR	Erkek	20	80
	Kadın	5	20
Hafif NPDR	Erkek	13	52
	Kadın	12	48
Orta NPDR	Erkek	17	53,13
	Kadın	15	46,88
VTDR	Erkek	14	45,16
	Kadın	17	54,84

DR evrelerine göre hastaların eğitim durumuna (Tablo 12) göre dağılımı incelendiğinde en fazla hastanın ilkokul mezunu olduğu görülmektedir. İlkokul mezunlarının No DR evresinde %44, Hafif NPDR evresinde %48, orta NPDR evresinde %62,50, VTDR evresinde ise %58,06 olduğu tespit edilmiştir. Diğer eğitim seviyelerinde ise daha düşük yüzdelere sahip hastalar bulunmaktadır. Hafif NPDR evresinde (%16) lisans ve lisansüstü eğitim düzeyine sahip hastaların toplam payı diğer evrelere göre daha yüksektir. Diğer evrelerde ise lisans ve lisansüstü eğitim seviyesine sahip hastaların payı %8 ile %10 arasında değişmektedir. Genel olarak DR evresi ilerledikçe lise ve üstü toplam eğitim seviyesinin düştüğü gözlemlenmektedir.

Tablo 12. DR Evrelerine Göre Hastaların Sosyodemografik Bulguları (Eğitim Durumu)

Evre	Eğitim Durumu	Gözlem Sayısı (n)	Yüzde (%)
No DR	Okuryazar değil	0	0
	İlkokul	11	44
	Ortaokul	2	8
	Lise	7	28
	Ön Lisans	3	12
	Lisans	2	8
	Lisansüstü	0	0
Hafif NPDR	Okuryazar değil	2	8
	İlkokul	12	48
	Ortaokul	3	12
	Lise	4	16
	Ön Lisans	0	0
	Lisans	2	8
	Lisansüstü	2	8
Orta NPDR	Okuryazar değil	2	6,25
	İlkokul	20	62,50
	Ortaokul	3	9,38
	Lise	3	9,38
	Ön Lisans	1	3,13
	Lisans	2	6,25
	Lisansüstü	1	3,13
VTDR	Okuryazar değil	2	6,45
	İlkokul	18	58,06
	Ortaokul	2	6,45
	Lise	5	16,13
	Ön Lisans	1	3,23
	Lisans	3	9,68
	Lisansüstü	0	0

DR evrelerine göre hastaların çalışma durumuna ait bilgileri veren Tablo 13'e bakıldığında genel olarak tüm evrelerde çalışmayan bireylerin sayısı belirgin şekilde fazla olup No DR evresine göre ilerleyen evrelerde çalışma durumunun daha az olduğu görülmektedir.

Tablo 13. DR Evrelerine Göre Hastaların Sosyodemografik Bulguları (Çalışma Durumu)

Evre	Çalışma Durumu	Gözlem Sayısı (n)	Yüzde (%)
No DR	Evet	10	40
	Hayır	15	60
Hafif NPDR	Evet	3	12
	Hayır	22	88
Orta NPDR	Evet	5	15,63
	Hayır	27	84,38
VTDR	Evet	7	22,58
	Hayır	24	77,42

DR evrelerine göre hastaların gelir düzeyi dağılımı (Tablo 14) incelendiğinde özellikle Hafif NPDR (%60), Orta NPDR (%50) ve VTDR (%48,39) evrelerinde hastaların çoğunluğu 5.501 TL ile 10.000 TL aralığında gelir düzeyine sahip olduğu gözlemlenmektedir. Düşük gelir düzeyine sahip bireylerin DR'nin ileri evrelerinde daha fazla temsil edildiği görülmektedir. Düşük gelir düzeyinin sağlık hizmetlerine erişim, tedaviye uyum ve genel yaşam kalitesi üzerinde olumsuz etkileri olabilir. No DR evresinde kişilerin geneli 15.001 ve üstü gelire sahiptir.

Tablo 14. DR Evrelerine Göre Hastaların Sosyodemografik Bulguları (Gelir Düzeyi)

Evre	Gelir Düzeyi (TL)	Gözlem Sayısı (n)	Yüzde (%)
No DR	0-5.500	2	8
	5.501-10.000	4	16
	10.001-15.000	2	8
	15.001-20.000	6	24
	20.001-25.000	5	20
	25.000-üstü	6	24
Hafif NPDR	0-5.500	1	4
	5.501-10.000	15	60
	10.001-15.000	3	12
	15.001-20.000	0	0
	20.001-25.000	0	0
	25.000-üstü	6	24
Orta NPDR	0-5.500	4	12,50
	5.501-10.000	16	50
	10.001-15.000	6	18,75
	15.001-20.000	2	6,25
	20.001-25.000	1	3,13
	25.000-üstü	3	9,38
VTDR	0-5.500	3	9,68
	5.501-10.000	15	48,39
	10.001-15.000	2	6,45
	15.001-20.000	4	12,90
	20.001-25.000	4	12,90
	25.000-üstü	3	9,68

Tablo 15'te, hastaların DR evrelerine göre yaşam tarzı ve sağlık durumlarına ilişkin bilgiler yer almaktadır. Sigara kullanımında "No DR" evresindeki kişilerin sigara içme payı %32 ile diğer evrelere göre daha yüksektir. Genel olarak her evrede sigara içmeyenlerin payı %68'in üzerindedir ve bu pay orta NPDR evresinde %81,25 ile en yüksek seviyededir. Hastaların evrelere göre alkol kullanımına bakıldığında, alkol kullananların payı "VTDR" evresinde %12,90 ile en yüksek seviyedeysen, orta NPDR evresinde alkol kullanmayanların payı (%96,88) en yüksek seviyeye sahiptir.

Tablo 15'e göre, eşlik eden kronik hastalık durumunda belirgin farklılıklar gözlemlenmektedir. "No DR" evresinde, katılımcıların %56'sı kronik hastalığa sahipken, bu durum hafif NPDR evresinde %88'e yükselmektedir. Diyabetle birlikte başka bir kronik hastalığın olma durumu Orta NPDR evresinde %65,63'e düşerken VTDR evresinde tekrar artarak %80,65'e ulaşmaktadır.

Diyabet süresi uzadıkça hastaların daha ileri DR evrelerinde bulunduğu gözlemlenmiştir. "No DR" evresinde 1-10 yıl arası diyabet süresine sahip katılımcıların payı yüksekken (%76) diğer evrelerde 1-10 yıl arası diyabet süresine sahip olan katılımcıların payı düşmektedir. Özellikle 11-22 yılları arasında diyabet süresine sahip katılımcıların payı orta NPDR (%43,75) ve VTDR (%54,84) evrelerinde oldukça yüksektir.

Tablo 15. DR Evrelerine Göre Hastaların Yaşam Tarzı ve Sağlık Durumuna İlişkin Bulgular

Değişkenler	Evre	Kategoriler	Gözlem Sayısı (n)	Yüzde (%)
Sigara Kullanım Durumu	No DR	Evet	8	32
		Hayır	17	68
	Hafif NPDR	Evet	7	28
		Hayır	18	72
	Orta NPDR	Evet	6	18,75
		Hayır	26	81,25
	VTDR	Evet	8	25,81
		Hayır	23	74,19
Alkol Kullanım Durumu	No DR	Evet	3	12
		Hayır	22	88
	Hafif NPDR	Evet	2	8
		Hayır	23	92
	Orta NPDR	Evet	1	3,13
		Hayır	31	96,88
	VTDR	Evet	4	12,90
		Hayır	27	87,10
Eşlik Eden Kronik Hastalık Durumu	No DR	Var	14	56
		Yok	11	44
	Hafif NPDR	Var	22	88
		Yok	3	12
	Orta NPDR	Var	21	65,63
		Yok	11	34,38
	VTDR	Var	25	80,65
		Yok	6	19,35
Diyabetli Yaşam Süresi	No DR	1-10 Yıl	19	76
		11-22 Yıl	4	16
		23-34 Yıl	2	8
		35-40 Yıl	0	0
	Hafif NPDR	1-10 Yıl	11	44
		11-22 Yıl	10	40
		23-34 Yıl	3	12
		35-40 Yıl	1	4
	Orta NPDR	1-10 Yıl	7	21,88
		11-22 Yıl	14	43,75
		23-34 Yıl	11	34,38
		35-40 Yıl	0	0
	VTDR	1-10 Yıl	4	12,90
		11-22 Yıl	17	54,84
		23-34 Yıl	10	32,26
		35-40 Yıl	0	0

5.3. YAPAY ZEKÂ VE KLASİK YÖNTEME İLİŞKİN MALİYET BULGULARI

DR'nin tanı koyma sürecinde her hasta için standart prosedürlerin uygulanması nedeniyle uygulanan işlemlerin ve tanı aldıktan sonra uygulanan tedavi yöntemlerinin maliyetleri tek bir hasta üzerinden dikkate alınmıştır. DR maliyetlerinin hesaplanmasında en güncel (Ağustos 2024) SUT fiyatları kullanılmıştır. Araştırmada, maliyetler hesaplanırken geri ödeme kurumu perspektifi ile hizmet başına ödeme yöntemi ve sağlık personelinin maliyetleri belirlenirken zamana dayalı faaliyet tabanlı maliyetleme yöntemi dikkate alınmıştır.

Araştırmada geri ödeme kurumu perspektifi ile hizmet başına ödeme yöntemi ile maliyetler hesaplanırken YZ'nin ve oftalmoloğun DR'ye tanı koyma sürecinde ve tanı sonrası tedavi uygulamalarında benzer işlemler gerçekleştirilmektedir. Örneğin, hasta hastaneye geldiğinde hem YZ hem de doktor tarafından hastaya tanı konulmadan önce göz muayenesi, fundus fotoğrafı çekimi ve OCT işlemleri uygulanacaktır. Her iki yöntemin geri ödeme kurumu perspektifinden maliyetleri Tablo 16'da sunulmuştur.

Tablo 16, DR tanısında oftalmolog ve YZ kullanmanın maliyetlerini evrelere ve bu evrelerde gerçekleştirilen işlemlere göre detaylı bir şekilde sınıflandırmaktadır. Genel olarak maliyetlerin toplam içindeki yüzdeleri incelendiğinde her iki yöntem için de VTDR evresi, yaklaşık olarak %89 ile en yüksek payı temsil etmektedir. Bunu yaklaşık %7 ile orta NPDR evresi izlemektedir. YZ ve oftalmolog maliyetleri birbirine yakın olmakla birlikte bu iki yöntem arasındaki tek fark oftalmoloğun tanı koyarken göz bebeğini büyütmek için damla kullanmasıdır.

Tablo 16. Geri Ödeme Kurumu Perspektifinden Oftalmolog ve YZ Yöntemlerinin DR'yi Tanı ve Tedavi Etme Maliyeti

Evre	Maliyet Kalemi	Oftalmolog Maliyetleri* (OM)	Toplam Maliyet İçindeki OM Payı (%)	YZ Maliyetleri* (YZM)	Toplam Maliyet İçindeki YZM Payı (%)
No DR	Göz muayenesi	216	0,5	216	0,5
	Fundus fotoğrafı	84,96	0,2	78,74	0,2
	Optik koherens tomografi	118,11	0,3	118,11	0,3
	Takip muayenesi	300,96	0,7	294,74	0,7
	No DR Toplam	720,02	1,7	707,59	1,6
Hafif NPDR	Göz muayenesi	216	0,5	216	0,5
	Fundus fotoğrafı	84,96	0,2	78,74	0,2
	Optik koherens tomografi	118,11	0,3	118,11	0,3
	Takip muayenesi	300,96	0,7	294,74	0,7
	Hafif NPDR Toplam	720,02	1,7	707,59	1,6
Orta NPDR	Göz muayenesi	216	0,5	216	0,5
	Fundus fotoğrafı	84,96	0,2	78,74	0,2
	Optik koherens tomografi	118,11	0,3	118,11	0,3
	Takip muayenesi	601,91	1,4	589,48	1,4
	Fluorescein Fundus Anjiyografi	747,34	1,7	747,34	1,7
	Intravitreal ponksiyon	137,56	0,3	137,56	0,3
	İlaç	1151,96	2,7	1151,96	2,7
	Sarf	94,15	0,2	94,15	0,2
	Gündüz Yatak Tarifesi	37,04	0,1	37,04	0,1
	Orta NPDR Toplam	3.189,03	7,4	3.170,38	7,3
VTDR	Göz muayenesi	216	0,5	216	0,5
	Fundus fotoğrafı	84,96	0,2	78,74	0,2
	Optik koherens tomografi	118,11	0,3	118,11	0,3
	Takip muayenesi	902,87	2,1	884,22	2,0
	Fluorescein Fundus Anjiyografi	747,34	1,7	747,34	1,7
	Intravitreal ponksiyon	137,56	0,3	137,56	0,3
	Fotokoagülasyon	412,24	1,0	412,24	1,0
	Vitrektomi	31434,55	72,5	31434,55	72,6
	İlaç	1476,61	3,4	1476,61	3,4
	Sarf	2927,68	6,8	2927,68	6,8
	Gündüz Yatak Tarifesi	74,08	0,2	74,08	0,2
	Standart Yatak Tarifesi	185,30	0,4	185,30	0,4
	VTDR Toplam	38.717,30	89,3	38.692,43	89,4
GENEL TOPLAM		43.346,37		43.277,99	

Açıklama: Göz bebeğini büyüten damlanın ücretleri fundus fotoğraf çekim ücretlerinin içine dahil edilmiştir. Takip muayenesi ücretinin içerisinde muayene ücreti ve fundus fotoğraf çekim ücreti de yer almaktadır. *Tüm maliyetler 2024 yılı ağustos ayı esas alınarak SUT fiyatları üzerinden ve TL değeri üzerinden sunulmuştur.

Tablo 16'ya göre, en yüksek maliyetler her iki yöntem için de VTDR evresinde görülmektedir. Bu evrede, toplam maliyet oftalmolog için 38.717,30 TL iken YZ için 38.692,43TL olarak hesaplanmıştır. VTDR evresinin maliyetlerinin yüksek olmasının en temel sebebi, vitrektomi ameliyatının maliyetinin yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. VTDR evresinde, vitrektomi ameliyatından sonra sarf, ilaç, takip muayenesi, fotokoagülasyon ve fluorescein fundus anjiyografi gibi maliyet kalemleri önemli bir paya sahiptir. Orta NPDR evresinde de maliyetler No DR ve Hafif NPDR evrelerine göre yüksektir. Orta NPDR evresinde toplam maliyet oftalmolog için 3189,03 TL, YZ için 3170,38 TL'dir. Bu evrede de ilaç ve fluorescein fundus anjiyografi gibi maliyetli işlemler bulunmaktadır. No DR ve Hafif NPDR evrelerinde ise maliyetler daha düşük olup her iki evrede toplam maliyet oftalmolog için 720,02 TL iken YZ için toplam maliyet 707,59 TL'dir. Bu evrelerde göz muayenesi, fundus fotoğrafı, OCT ve takip muayenesi gibi temel kalemler yer almaktadır.

DR'ye tanı koymada YZ ile klasik tanı koyma yöntemi arasındaki maliyet farklılıklarının temel kaynağı, sağlık personelinin bu hastalığa tanı koymak için harcadığı zamanın maliyeti ile YZ'nin faaliyetler için harcadığı zamanın maliyetinden kaynaklanmaktadır. Bu bağlamda her iki yöntem için sağlık personelinin maliyetleri zamana dayalı faaliyet tabanlı maliyetleme yöntemi kullanılarak bu maliyetlerin daha net bir şekilde Tablo 17'de analiz edilmesi sağlanmıştır. Araştırmada, sağlık personelinin maliyetlerini belirlerken yalnızca tanı aşamasında gerçekleştirilen işlemler dikkate alınmış, tedavi süreçlerine ilişkin maliyetler dahil edilmemiştir.

Tablo 17 incelendiğinde DR'ye tanı koymada klasik yöntem olan oftalmolog yöntemiyle yapılan işlemlerin toplam personel maliyeti 291,71 TL iken, YZ ile yapılan işlemlerin toplam personel maliyeti 237,67 TL'dir. Bu sonuç, YZ kullanımının maliyet açısından daha avantajlı olduğunu göstermektedir. Bilgisayardan hastanın kaydı ve görme seviyesi kontrolü ve doktor tarafından göz muayenesinin yapılması gibi işlemler her iki yöntemde de eşit maliyete sahiptir. Ancak göz bebeğini büyütmek için klasik yöntemde hemşirenin damla

uygulaması için gereken zaman maliyeti 5,95 TL iken, YZ ile tanı koymada bu aşamaya ihtiyaç duyulmamaktadır. Tekniker tarafından fundus görüntüsünün çekilmesi aşamasında iki yöntem için de maliyetler değişmemektedir. Hastalığın evresinin belirlenmesi sürecinde, klasik yöntemin personel maliyeti 124,36 TL olarak tespit edilmiştir. Bununla birlikte YZ yönteminin personel maliyeti ise daha düşük bir maliyetle, 76,27 TL olarak belirlenmiştir.

Tablo 17. Zamana Dayalı Faaliyet Tabanlı Maliyetleme Yöntemi ile Oftalmolog ve YZ Yöntemlerinin DR'ye Tanı Koyma Maliyeti

OFTALMOLOG		YAPAY ZEKÂ	
Faaliyet	OM Maliyeti (TL)	Faaliyet	YZ Maliyeti (TL)
Bilgisayardan hastanın kaydı yapılır.	1,77	Bilgisayardan hastanın kaydı yapılır	1,77
Hasta görme odasına gider, görme seviyesine hemşire tarafından bakılır.	17,86	Hasta görme odasına gider, görme seviyesine hemşire tarafından bakılır.	17,86
Doktor hastanın gözüne biyomikroskop ve 90'lık mercek ile bakar.	P.D 56,88 A.D 67,48	Doktor hastanın gözüne biyomikroskop ve 90'lık mercek ile bakar.	P.D 56,88 A.D 67,48
Hemşire hastanın gözüne göz bebeğini büyüten bir damla damlatır.	5,95	YZ için göz bebeğini büyüten bir damlaya ihtiyaç bulunmamaktadır.	0
Hastanın fundus görüntüsü tekniker tarafından çekilir ve görüntü doktorun bilgisayarına bilgisayar ağı üzerinden iletilir.	17,42	Hastanın fundus görüntüsü tekniker tarafından çekilir ve görüntü YZ yazılımına bilgisayar ağı üzerinden iletilir.	17,42
Doktor fundus görüntüsüne bakarak hastalığın evresini belirler ve yapılması gereken tedaviler ile hastanın yapması gerekenleri hastaya bildirir.	P.D 56,88 A.D 67,48	YZ hastalığın evresini belirler ve yapılması gerekeni rapor halinde çıktı verir.	76,27
Toplam	291,71	Toplam	237,67

YZ'nin maliyeti 2 € (Euro) olarak belirlenmiştir. 30 Eylül 2024 kur fiyatı (1 Euro=38,13 TL) dikkate alınmıştır (TCMB,2024- <https://www.tcmb.gov.tr/kurlar/202409/30092024.xml>) Profesör Doktor (P.D), Asistan Doktor (A.D) olarak belirtilmiştir. TL: (Türk lirası), OM: (Oftalmolog Maliyeti)

Tablo 18, DR evrelerine göre YZ ve oftalmolog tarafından tanı koymanın kişi başı toplam maliyetlerini göstermektedir. Toplam maliyet, geri ödeme kurumu perspektifinden hizmet başına ödeme yöntemi ile hesaplanan direkt tıbbi maliyetler ve zamana dayalı faaliyet tabanlı maliyetleme yöntemi kullanılarak belirlenen direkt işçilik maliyetlerinin (sağlık personeli maliyetleri) toplamı şeklinde elde edilmiştir. Tablo 18 incelendiğinde No DR ve hafif NPDR evrelerinde hem oftalmolog (1011,73 TL) hem de YZ (945,26 TL) tarafından tanı koyma maliyeti değişmemektedir. No DR ve hafif NPDR evrelerinde oftalmolog ve YZ tarafından tanı koyma maliyetleri arasında 66.47 TL'lik bir fark bulunmaktadır. Orta NPDR evresinde oftalmolog tarafından tanı koyma maliyeti 3480,74 TL iken, YZ tarafından tanı koyma maliyeti ise 3408,05 TL olarak tespit edilmiş olup bu iki maliyet arasındaki fark 72,68 TL olarak hesaplanmıştır. En yüksek maliyet VTDR evresinde olmakla birlikte oftalmolog tarafından tanı koyma maliyeti bu evrede 39.009 TL iken YZ tarafından tanı koyma maliyeti 38930,10 TL olarak belirlenmiştir. Maliyet farkının en yüksek olduğu evre VTDR olup bu evredeki maliyet farkı 78,90 TL olarak tespit edilmiştir.

Tablo 18. DR Evrelerine Göre YZ ve Oftalmolog Tarafından Tanı Koymanın Toplam Maliyeti

Evre	Oftalmolog Maliyeti (TL)	YZ Maliyeti (TL)	Maliyet Farkı (TL)
No DR	1011,73	945,26	66,47
Hafif NPDR	1011,73	945,26	66,47
Orta NPDR	3480,74	3408,05	72,68
VTDR	39.009	38930,10	78,90
Toplam	44.513,20	44.228,68	284,52

5.4. ARAŞTIRMANIN ETKİLİLİK BULGULARI

Araştırma kapsamında, DR hastalarının sağlık durumlarına yönelik sağlık faydalarının belirlenmesi amacıyla kaliteye ayarlı yaşam yılları (QALY) her bir evre için hesaplanmıştır. Aralık 2023 ile Eylül 2024 tarihleri arasındaki diyabet tanısı almış hastalar, göz doktoruna muayene olduktan sonra hastaların EQ-5D-5L ölçeği aracılığıyla sağlık durumları değerlendirilmiştir. Bu ölçek, hareketlilik, öz bakım, olağan aktiviteler, ağrı/rahatsızlık ve anksiyete/depresyon olmak üzere beş boyuttan oluşmaktadır. Tablo 19, bu beş boyutun her birinde evrelere göre hastaların verdiği cevapların frekans ve yüzdelerini göstermektedir.

Genel olarak her bir boyut için DR evreleri ilerledikçe hastaların yaşam kalitelerini olumsuz etkileyen sağlık problemlerinin seviyesinin arttığı gözlemlenmektedir. Örneğin, hareketlilikte No DR (%88) ve Hafif NPDR evrelerinde sorun yaşamayanlar yüksek bir paya (%84) sahipken Orta NPDR ve VTDR evrelerinde hareketlilik problemleri belirgin şekilde artmaktadır. Öz bakımda da benzer şekilde No DR ve Hafif NPDR grubunda öz bakımda sorun yaşamayanlar yüksekken, hastalık ilerledikçe bu sayı düşmekte ve problemler artmaktadır. Olağan aktiviteler, ağrı/rahatsızlık ve anksiyete/depresyon boyutlarında da hastaların sağlık durumları kötüleştikçe problemlerinin sıklığı ve şiddeti artmakta, bu durum hastaların yaşam kalitesini olumsuz etkilemektedir.

Tablo 19. DR Sağlık Durumlarına Göre EuroQol Beş Boyutunun (EQ-5D-5L) Sıklığı ve Yüzdesi

	No DR (%)	Hafif NPDR (%)	Orta NPDR (%)	VTDR (%)
	n=25	n=25	n=32	n=31
Hareketlilik				
Problemi yok	22 (0,88)	21 (0,84)	21 (0,66)	11 (0,35)
Hafif problemler	0 (0)	3 (0,12)	2 (0,06)	3 (0,1)
Orta derecede problemler	2 (0,08)	0	6 (0,19)	13 (0,42)
Ciddi problemler	1 (0,04)	1 (0,04)	1 (0,03)	1 (0,03)
Aşırı derecede problemler	0 (0)	0	2 (0,06)	3 (0,1)
Öz bakım				
Problemi yok	25 (1)	24 (0,96)	27 (0,84)	22 (0,71)
Hafif problemler	0 (0)	0	3 (0,09)	3 (0,1)
Orta derecede problemler	0 (0)	0	1 (0,03)	4 (0,13)
Ciddi problemler	0 (0)	1 (0,04)	0	1 (0,03)
Aşırı derecede problemler	0 (0)	0	1 (0,03)	1 (0,03)
Olağan aktiviteler				
Problemi yok	23 (0,92)	16 (0,64)	19 (0,59)	7 (0,23)
Hafif problemler	2 (0,08)	2 (0,08)	5 (0,16)	5 (0,16)
Orta derecede problemler	0 (0)	6 (0,24)	5 (0,16)	12 (0,39)
Ciddi problemler	0 (0)	1(0,04)	1 (0,03)	1 (0,03)
Aşırı derecede problemler	0 (0)		2 (0,06)	6 (0,19)
Ağrı / rahatsızlık				
Problemi yok	13 (0,52)	13(0,52)	14 (0,44)	11 (0,35)
Hafif problemler	8 (0,32)	6(0,24)	9 (0,28)	4 (0,13)
Orta derecede problemler	3 (0,12)	4(0,16)	6 (0,19)	7 (0,23)
Ciddi problemler	1 (0,04)	1(0,04)	2 (0,06)	5 (0,16)
Aşırı derecede problemler	0 (0)	1(0,04)	1 (0,03)	4 (0,13)
Anksiyete / depresyon				
Problemi yok	12 (0,48)	11(0,44)	6 (0,19)	3 (0,1)
Hafif problemler	7 (0,28)	2(0,08)	8 (0,25)	3 (0,1)
Orta derecede problemler	4 (0,16)	8(0,32)	8 (0,25)	10 (0,32)
Ciddi problemler	1 (0,04)	2(0,08)	6 (0,19)	4 (0,13)
Aşırı derecede problemler	1 (0,04)	2(0,08)	4 (0,13)	11 (0,35)

Yukarıda elde edilen bulgular doğrultusunda, hastaların evrelere göre yaşam kalitesindeki değişimler detaylı bir şekilde analiz edilmiştir. Bu analiz sonuçları, Tablo 20'de sunulmuştur. Türkiye'ye özgü yaşam kalitesi ağırlıkları mevcut olmadığından Almanya'ya ait yaşam kalitesi ağırlıkları kullanılarak QALY değerleri hesaplanmıştır. Araştırmanın QALY değerleri incelendiğinde No DR evresindeki hastaların ortalama QALY değeri 0,91 olduğu gözlenmiştir. Hafif NPDR evresindeki hastaların QALY değerleri 0,85 olarak belirlenmiştir. Orta NPDR evresinde bu ortalama 0,77'ye düşerken VTDR evresinde ise ortalama QALY değeri 0,60'a gerilemektedir. Bu sonuçlar, hastalık ilerledikçe yaşam kalitesinin belirgin bir şekilde azaldığını ve özellikle VTDR evresinde yaşam kalitesinin negatif değerlere ulaştığını ortaya koymaktadır.

Tablo 20. DR Evrelerine Göre Hastaların Yaşam Kalitesi Değerleri

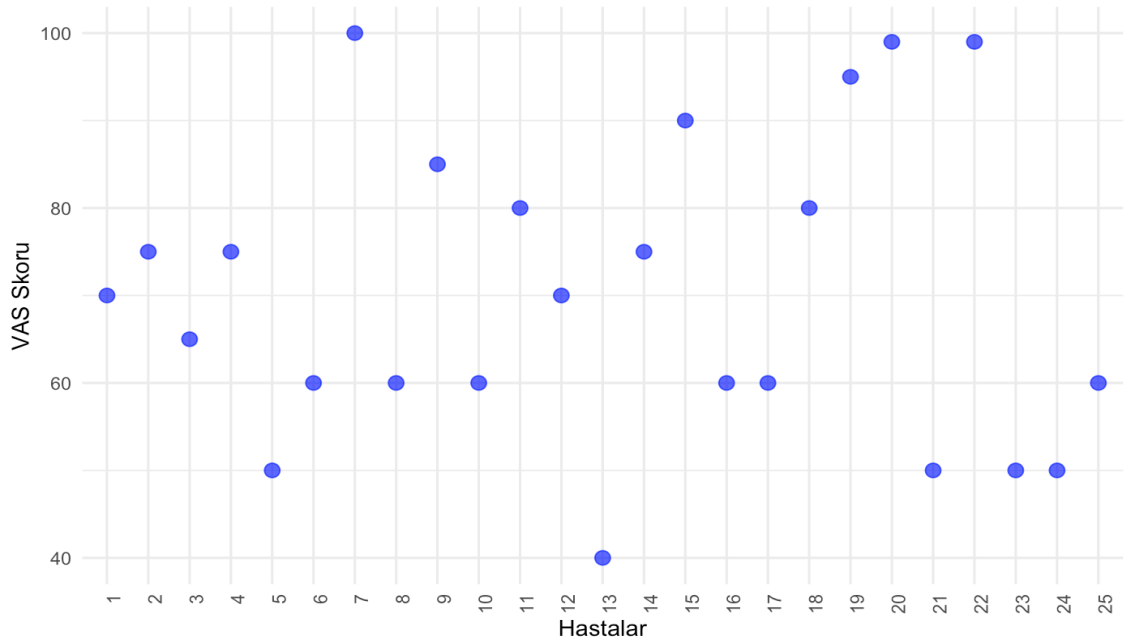
QALY/VAS	Evre	Ortalama	Standart Sapma
QALY	No DR	0,91	0,14
	Hafif NPDR	0,85	0,18
	Orta NPDR	0,77	0,28
	VTDR	0,60	0,33
VAS	No DR	70,32	17,36
	Hafif NPDR	66,00	16,27
	Orta NPDR	59,81	20,93
	VTDR	54,84	19,77

Kısaltmalar: QALY: Kaliteye Ayrılmış Yaşam Yılları; VAS: Görsel Analog Ölçeği; DR evreleri ile ilgili detaylı açıklamalar için Tablo 1'i inceleyiniz.

Hastaların sağlık durumlarını 0 ile 100 arasında bir ölçekle değerlendiren VAS skorlarına bakıldığında, No DR evresindeki hastaların VAS skoru ortalaması 70,32, hafif NPDR evresinde ise 66 olarak belirlenmiştir. Orta NPDR evresinde bu değer 59,81 ve VTDR evresinde ise 54,84 olarak bulunmuştur. Bununla birlikte Şekil 12 No DR, Şekil 13 Hafif NPDR, Şekil 14 Orta NPDR ve Şekil 15'te VTDR evresindeki hastaların "Bugün sağlığınızın ne kadar iyi ne kadar kötü olduğunuzu

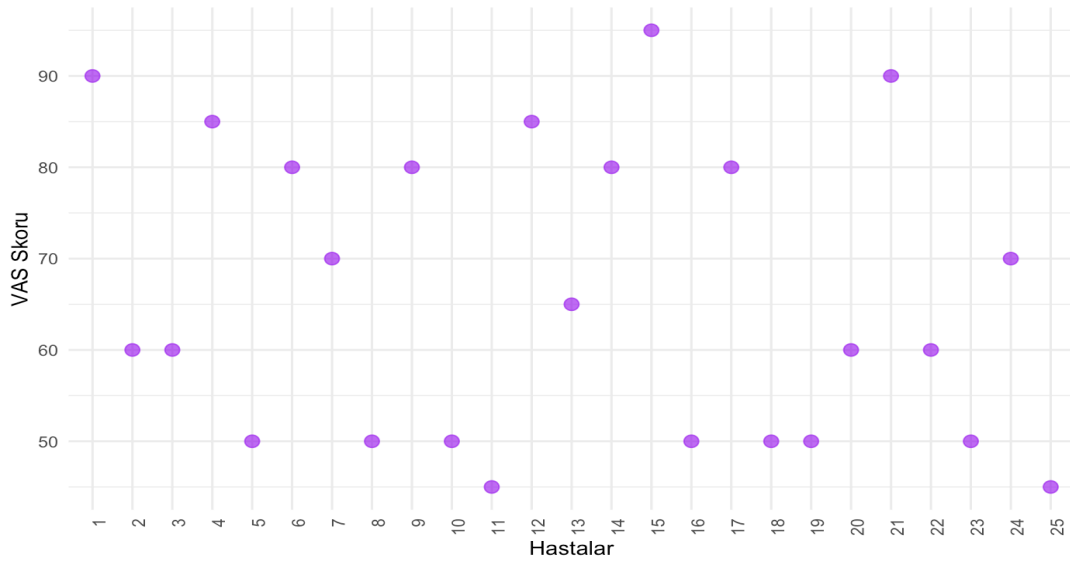
söyler misiniz?” sorusuna verdikleri yanıtlar esas alınarak elde edilen VAS skoru değerleri gösterilmektedir.

No DR evresinde VAS skorlarının dağılımı incelendiğinde, skorların 60 ile 80 arasında yoğunlaştığı görülmektedir. En düşük VAS skoru 40 iken, en yüksek VAS skoru 100'dür. Hastaların genel olarak %80'inin bugünkü sağlık durumuna ilişkin değerlendirmelerinde 60 ve üzerinde puan aldığı görülmektedir.



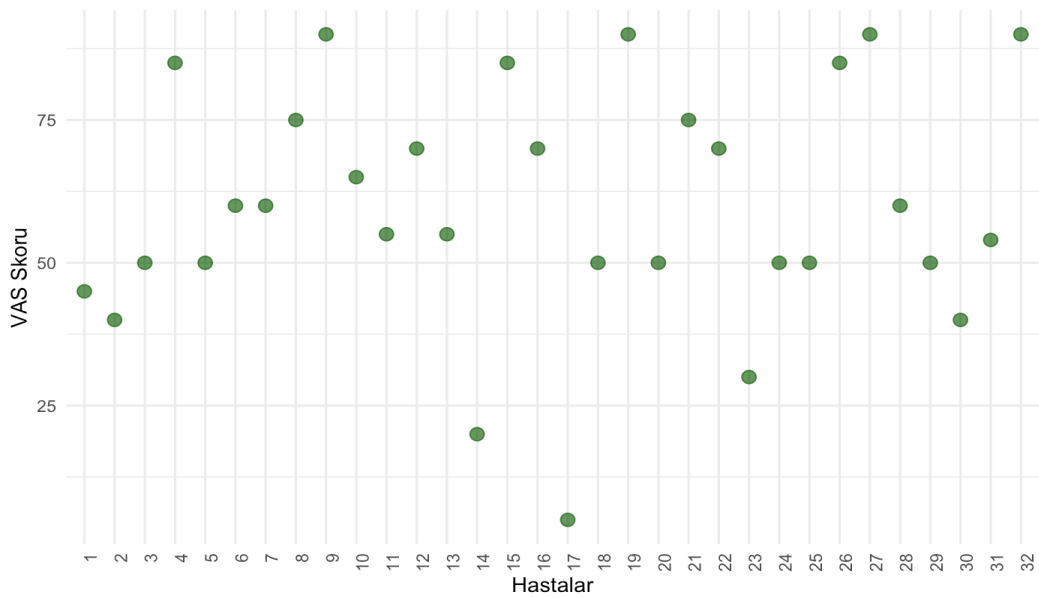
Şekil 12. No DR Evresi VAS Skoru

Hafif NPDR evresinde VAS skorlarının dağılımına bakıldığında skorların 50 ile 80 arasında yoğunlaştığı görülmektedir. En düşük VAS skoru 45 iken, en yüksek VAS skoru 95'tir. Genel olarak hastaların çoğunluğunun (%65) bugünkü sağlık durumlarına ilişkin değerlendirmelere 60 ve üzerinde puan verdikleri anlaşılmaktadır.



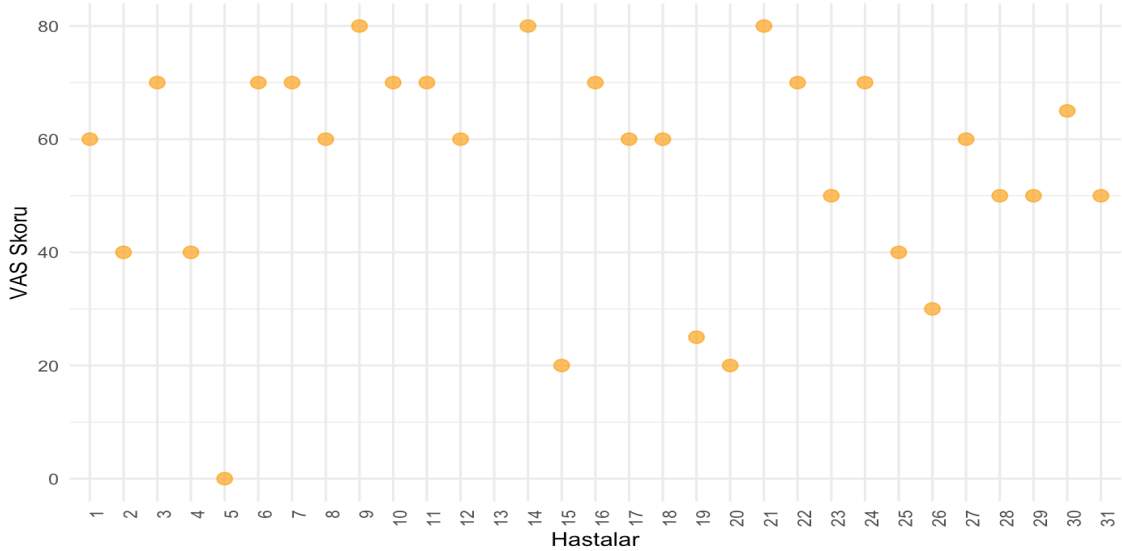
Şekil 13. Hafif NPDR Evresi VAS Skoru

Orta NPDR evresindeki hastaların VAS skorları incelendiğinde hastaların %81'i 50 ve üzerinde puanlama yapmıştır. En düşük VAS skoru 5 iken, en yüksek VAS skoru ise 90'dır. Sadece 14. (20) ve 17. (5) hastanın VAS skorları 25'in altında kalmıştır.



Şekil 14. Orta NPDR Evresi VAS Skoru

VTDR evresindeki hastaların VAS skorları, hastaların genel olarak bugünkü sağlık durumlarını 60 ile 80 arasında puanladığını göstermektedir. Hastaların yaklaşık %40'ı 50 ve altında puan vermiştir. Bir hasta bugünkü sağlık durumuna 0 puan vererek hayal edilebilecek en kötü sağlık durumunda olduğunu ifade etmiştir.



Şekil 15. VTDR Evresi VAS Skoru

5.5. ARAŞTIRMANIN MALİYET ETKİLİLİK ANALİZ BULGULARI

Araştırmanın maliyet etkililik analiz bulguları çerçevesinde, maliyet etkililik analiz sonuçlarına, ilave maliyet etkililik düzlemine, tek yönlü duyarlılık analizine, olasılıksal duyarlılık analizine ve tahmini bütçe yüküne dair aşağıda detaylı bilgiler sunulmaktadır.

5.5.1. Temel Analiz Bulguları

Araştırmada Markov karar modeli kullanılarak DR tanısında oftalmolog ve YZ'nin yöntemlerinin maliyet etkililiği analiz edilmiştir. Sonuçlar, her bir yöntem için toplam maliyet ve kaliteye ayarlı yaşam yılları (QALY) açısından değerlendirilmiştir. Maliyet etkililik analiz bulguları R yazılım programlama dili kullanılarak elde edilmiştir. Araştırma, Markov modeli kullanarak diyabet hastası

olan varsayımsal bir kohort grubunun QALY ve maliyet sonuçlarını elde etmek amacıyla 40 yıllık bir döngü boyunca yıllık döngüler kullanılarak simüle edilmiştir.

Markov modeli kullanılarak yapılan simülasyonda girdi parametreleri olarak oftalmolog ve YZ maliyetleri, fayda değerleri, ölüm çarpanları, duyarlılık, özgüllük, indirgeme, DR prevalansı ve geçiş olasılıkları kullanılmıştır. Ayrıca elde edilen faydalar ve maliyetler DSÖ'nün önerileri doğrultusunda yıllık %3 oranında indirgeme uygulanarak hesaplanmıştır.

Diyabetik retinopatinin evrelerine göre fayda değerleri ile hasta başı maliyetler belirlendikten sonra araştırmaya katılan hastalardan elde edilen QALY değerleri kullanılarak oftalmolog ve YZ tarafından DR'ye tanı koyma yöntemleri için İMEO değeri hesaplanmıştır. Geri ödeme kurumu perspektifi ile hizmet başına ödeme yöntemine ve zamana dayalı faaliyet tabanlı maliyetleme yöntemine dayalı bir maliyet etkililik analizi gerçekleştirilmiştir.

Tablo 21, maliyet etkililik analizinin sonuçlarını sunmaktadır. Modeldeki parametrelerin dağılımları incelendiğinde DR prevalansı, sağlık fayda değerleri, geçiş olasılıkları, YZ ve oftalmoloğun duyarlılık ve özgüllük değerleri beta dağılımına; ölüm çarpanları logaritmik normal dağılıma dayanmaktadır. Bu parametreler analizde sabit kalırken maliyet parametrelerinin MEA modeline dahil edilme sürecinde maliyetler için en uygun dağılım türü olduğu belirtilen iki farklı dağılım türü kullanılarak iki ayrı model oluşturulmuştur (Jones vd., 2014; Manning vd., 2005). Birinci modelde maliyetler için gamma dağılımı, ikinci modelde ise genelleştirilmiş beta dağılımı (GB2) kullanılmıştır. Bu yaklaşım, maliyetlerin esnekliğini artırarak daha doğru sonuçlar elde edilmesine olanak tanır. Her iki dağılım türü için oftalmolog ve YZ tanı yöntemlerinin maliyet, etkililik, ilave maliyet ve ilave etkililik değerleri ile İMEO yer almaktadır. Gamma dağılımından elde edilen model için YZ tanı yöntemi, 105.604 TL maliyetle 13,812 birim etkililik sağlamaktadır. Oftalmolog tanı yöntemi 107.642 TL maliyetle 13,796 birim etkililik sunmaktadır. Bu durumda oftalmolog tanı yönteminin maliyeti 2038 TL daha fazla iken etkililikte 0.0154 birimlik bir azalma yaşanmaktadır. GB2 dağılımından elde

edilen modelde ise YZ yöntemi 105.166 TL maliyetle 13,812 birim etkililik sağlarken oftalmolog yöntemi 106.121 TL maliyetle 13,794 birim etkililik göstermektedir. Bu durum, YZ tanı yönteminin 955 TL'lik bir maliyet azalışı sağlamakla birlikte 0,0175 birimlik bir etkililik kazandığı anlamına gelmektedir. İlave maliyet etkililik oranı, bir sağlık müdahalesinin sağladığı ilave etkililik için yapılan ilave maliyetin ne kadar olduğunu göstermektedir. DR'ye YZ tarafından tanı koyma yönteminin oftalmolog tarafından tanı koyma yöntemine kıyasla maliyet değişkeninde Gamma dağılımı kullanılarak oluşturulan modelde ilave maliyet etkililik oranı -131.880 TL iken GB2 dağılımı kullanılarak oluşturulan modelde -54.687 TL olarak tespit edilmiştir. Tüm değişkenler için en uygun parametrik olasılık dağılımları kullanılan ve maliyet değişkeninde Gamma ve GB2 dağılımlarından faydalanılarak oluşturulan Markov modeli simülasyonlarından elde edilen sonuçlar YZ tanı yönteminin hem daha etkili hem daha az maliyetli bir seçenek olduğunu ortaya koymaktadır.

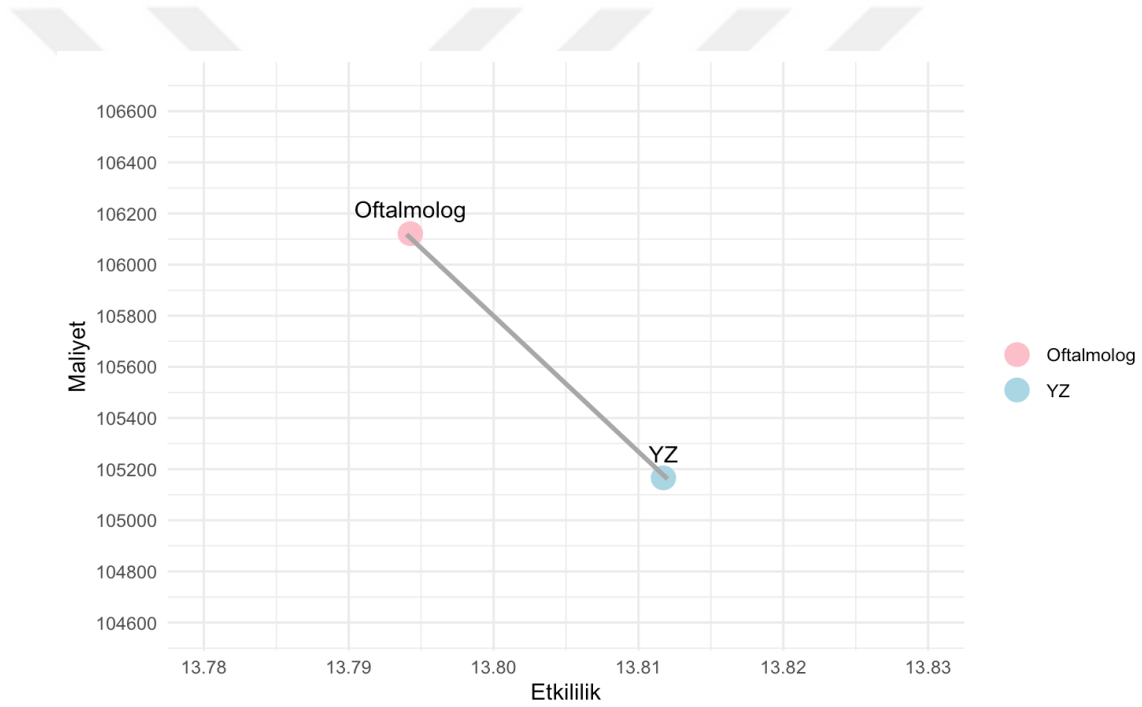
Gamma dağılımında, 311.109 TL eşik değeri için INMB değeri 6.847,48 TL iken, 134.354 TL eşik değeri için INMB değeri 4.115,30 TL'dir. GB2 dağılımında ise, 311.109 TL eşik değeri için INMB değeri 6.388,71 TL iken, 134.354 TL eşik değeri için INMB değeri 3.301,64 TL'dir. Tablo 21, INMB değerinin her iki dağılım türü ve her iki eşik değeri için pozitif olması YZ yönteminin oftalmolog yöntemine göre maliyet etkili olduğunu göstermektedir.

Tablo 21. Maliyet Etkililik Analiz Sonuçları

Dağılım Türü	Tanı Yöntemi	Maliyet	İlave Maliyet	Etkililik (QALY)	İlave Etkililik (QALY)	İMEO (ICER)	INMB E.D 311.109 TL	INMB E.D 134.354 TL
Gamma	Oftalmolog	107.642		13,796				
	YZ	105.604	-2.038	13,812	0.0154	-131.88	6.847,48	4.115,30
GB2	Oftalmolog	106.121		13,794				
	YZ	105.166	-955	13,812	0.0175	-54.687	6.388,71	3.301,64

*Maliyet değerleri TL olarak ifade edilmektedir. "E.D" eşik değeri ifade etmektedir.

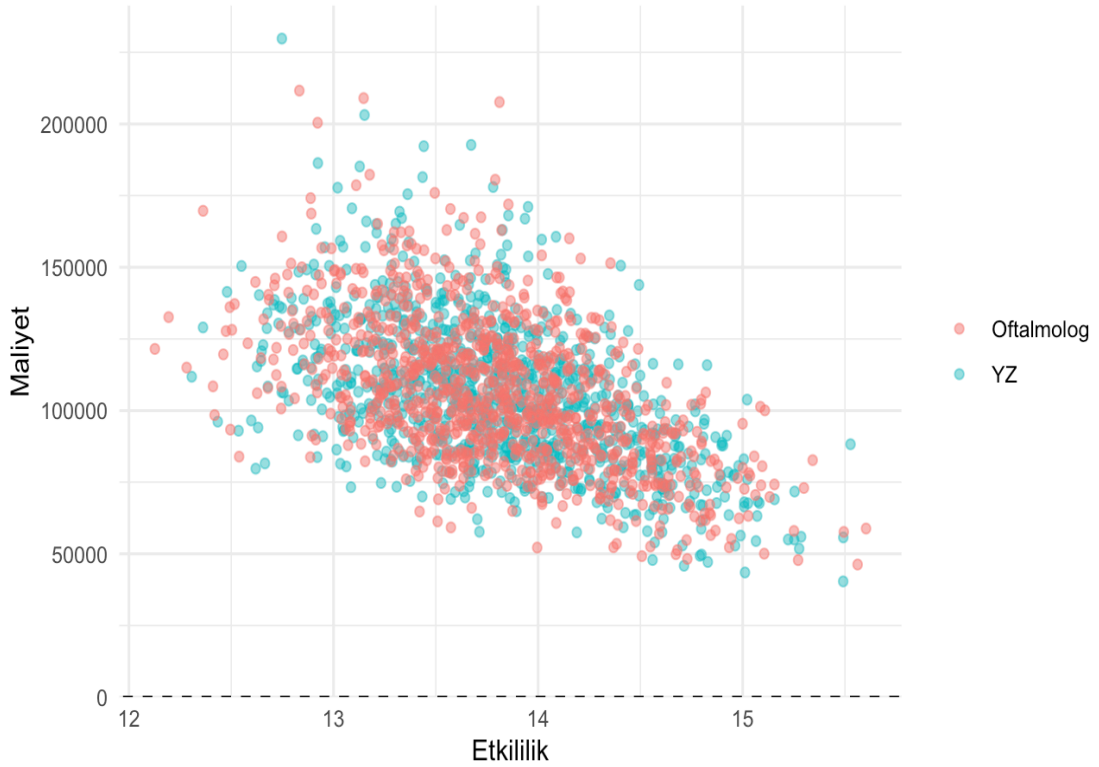
Bununla birlikte Şekil 16'da maliyet-etkililik analiz sonuçları maliyet-etkililik diyagramında gösterilmektedir. Temel analiz bulguları, maliyet değişkenleri için parametrik olasılık dağılım türlerinden Gamma ve GB2 dağılımlarına göre sunulmuştur. Ancak grafiklerin oluşturulmasında yalnızca GB2 dağılımından elde edilen modelin sonuçları dikkate alınmıştır. Diyagramda, yatay eksen etkililiği (QALY) temsil ederken dikey eksen maliyeti (TL) temsil etmektedir. Tüm yöntemlerin maliyet etkisi, maliyet-etki sınır eğrisi olarak tanımlanan doğru parçalarıyla birbirine bağlanmaktadır. İki noktayı birleştiren doğru parçasının eğimi İMEO değerini vermektedir. Şekil 16 incelendiğinde YZ yöntemi oftalmolog yöntemine göre daha düşük maliyet ile daha yüksek bir etkililik sunmaktadır.



Şekil 16. Maliyet Etkililik Diyagramı (GB2)

Araştırmada maliyet ve etkililik arasındaki ilişkiyi analiz etmek amacıyla her iki yöntemin birlikte saçılım grafiği Şekil 17'de sunulmuştur. Grafikte, "Maliyet" değişkeni Y ekseninde, "Etkililik" değişkeni ise X ekseninde yer almaktadır. Maliyetler, yaklaşık 50.000 TL ile 250.000 TL arasında değişirken etkililik değerleri 12 ile 16 arasında dağılmaktadır. Maliyetler genellikle 75.000 TL ile

150.000 TL arasında yoğunlaşırken 150.000 TL'nin üzerinde maliyet dağılımlarının yoğunluğu azalmaktadır. Etkililik değerleri ise genellikle 13 ile 15 birim arasında yoğunlaşmaktadır. Oftalmolog yöntemi ve YZ yöntemi maliyet ve etkililik açısından benzer bir dağılıma sahip görünse de oftalmolog yöntemi genellikle daha yüksek maliyetlerle ilişkilendirilirken YZ yöntemi daha düşük maliyetlerle ilişkilendirilmektedir.



Şekil 17. Maliyet Etkililik Saçılım Grafiği (GB2)

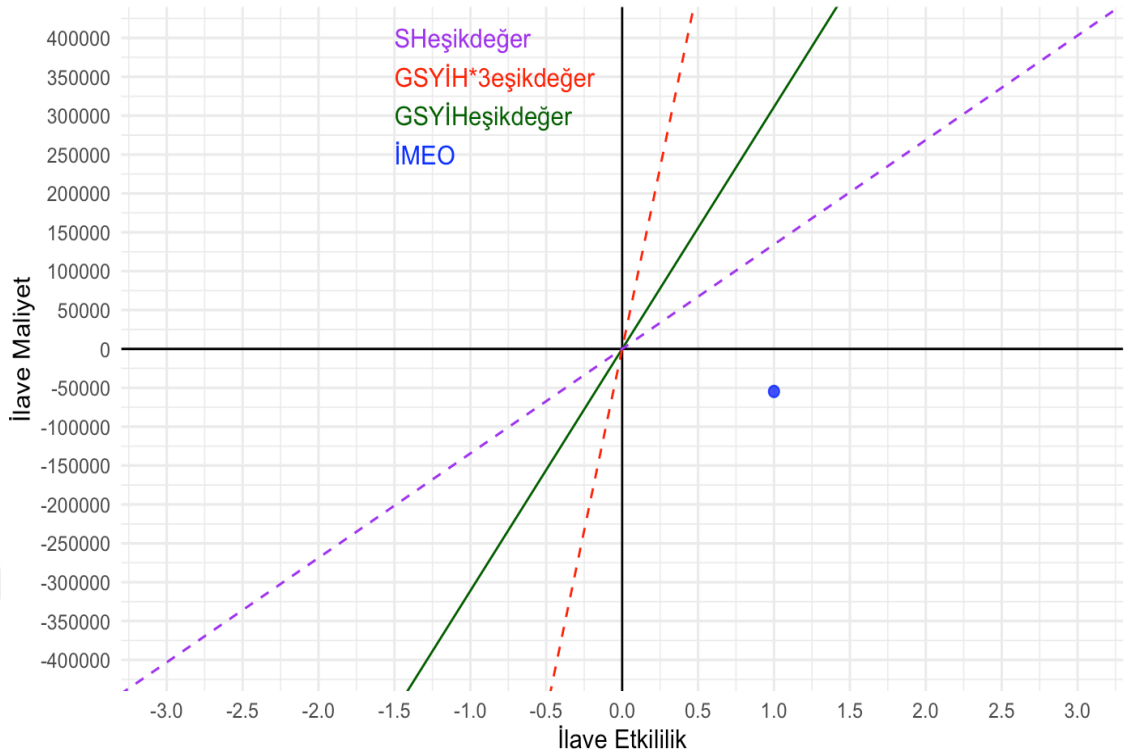
5.5.2. İlave Maliyet Etkililik Düzlemi

Yeni bir müdahale hem klinik olarak daha etkili hem de maliyet açısından tasarruf sağlıyorsa "ekonomik olarak baskın (dominant)" bir strateji olarak adlandırılır. Bunun zıttı ise "dominant olmayan" bir stratejidir. Ancak çoğu yeni teknoloji bu iki kategoriye girmemektedir. En yaygın senaryo, yeni bir yöntemin klinik sonuçları iyileştirirken maliyetin arttığı durumlardır. Bu tür durumlarda, yeni yöntemin değerini belirlemek için "ilave maliyet-etkililik oranı" hesaplanır. İMEO, elde edilen sağlık faydalarının maliyetle karşılaştırılmasına yardımcı olmaktadır. İMEO, daha iyi sonuçlar elde etmek için ne kadar ek maliyet gerektiğini göstermektedir. Bu hesaplama, sağlık hizmetlerinin ne kadar etkili ve verimli olduğunu değerlendirmede önemli bir araçtır (Cohen & Reynolds, 2008). Bununla birlikte yeni bir müdahale ya da sağlık teknolojisi yatırımları değerlendirilirken yalnızca elde edilen İMEO değeri yeterli olmamaktadır. Bu değerin, belirlenen bir eşik değeriyle karşılaştırılması gerekmektedir. Yapılan birçok çalışma DSÖ tarafından önerilen, kişi başına düşen GSYİH'yi eşik değer olarak kullanmıştır (Griffiths vd., 2015; Huang vd., 2022; Li vd., 2023; S. Lin vd., 2023). Bu eşik değere göre eğer bir sağlık teknolojisinin İMEO değeri kişi başına düşen GSYİH'den düşükse, maliyet etkililiği çok yüksek kabul edilir. İMEO değeri kişi başına düşen GSYİH'nin 1-3 katı arasında ise maliyet etkili olduğu, 3 katından fazla olduğunda ise maliyet etkili olmadığı anlaşılmaktadır. DSÖ tarafından önerilen eşik değeri, çeşitli eleştirilere maruz kalmaktadır. Bu eleştirilerin başlıca nedenleri arasında, bu eşik değerin yerel sağlık fırsat maliyetleri ve bütçe kısıtlamaları ile yeterince ilişkilendirilmemesi yer almaktadır. Bununla birlikte kolayca elde edilebilir olması nedeniyle sıklıkla kullanılmaktadır (Kazibwe vd., 2022).

Pichon-Riviere vd.'nin 2023 yılında yapmış oldukları bir çalışmada, 174 ülke için maliyet etkililik eşik değerleri belirlenmiştir. Çalışmada geliştirilen yöntem, sağlık harcamaları ve yaşam beklentisi arasındaki ilişkiyi analiz ederek ülkelerin sağlık sistemleri için daha uygun ve uygulanabilir maliyet-etkililik eşik değerleri sağlamaktadır. Elde edilen veriler ve matematiksel modelleme ile her ülke için belirli bir sağlık harcaması artışı ve yaşam beklentisi artış hedefleri doğrultusunda, uygun eşik değerler hesaplanmıştır. Yapılan çalışmada, maliyet-

etkililik eşiklerinin tahmini GSYİH'ye değil kişi başına düşen sağlık harcamalarına dayanmaktadır. Çalışmada, Türkiye için QALY başına maliyet etkililik eşiği 3940 ABD doları (134.354 TL) olarak belirlenmiştir (30 Eylül 2024 1 \$=34,10 TL) (Pichon-Riviere vd., 2023). Araştırma kapsamında Pichon-Riviere ve arkadaşlarının Türkiye için belirlediği eşik değeri ile DSÖ'nün önerdiği eşik değerinin her ikisi de dikkate alınmıştır.

İlave maliyet etkililik düzlemi, ekonomik analizde önemli bir araçtır. İMEO değeri, Şekil 18'de maliyet etkililik düzlemi üzerinde gösterilmiştir. 2023 yılında Türkiye'de kişi başına düşen GSYİH, cari fiyatlarla 311.109 TL olarak belirlenmiş (TÜİK, 2023) ve bu değer grafikteki yeşil çizgi ile temsil edilmiştir. GSYİH'nin 3 katı olan eşik değeri (933.327 TL) ise kırmızı kesik çizgi ile gösterilmektedir. İMEO değeri ise -54.687 TL olarak belirlenmiş ve mavi nokta ile gösterilmiştir. Bu verilere dayanarak eğer İMEO değeri 311.109 TL'den düşükse, yeni yöntemin maliyet etkililiği çok yüksektir. İMEO değeri 311.109 TL ile 933.327 TL arasında ise maliyet etkilidir ancak 933.327 TL'den fazla ise maliyet etkili olmadığı sonucuna ulaşılmaktadır. Pichon-Riviere vd. (2023)'nin belirlediği eşik değeri mor kesik çizgi ile gösterilmiştir. Belirlenen İMEO değeri eşik değeri olan 134.354 TL'nin altında olduğundan YZ yöntemi klasik yöntemle göre maliyet etkilidir. Geri ödeme kurumu perspektifiyle yapılan maliyet etkililik analizi sonucunda elde edilen -54.687 TL'lik İMEO değerinin belirlenen maliyet etkililiği eşiklerinin çok altında olduğunu ortaya koymaktadır. Negatif İMEO'ya sahip bir strateji güneydoğu kadranda yer alıyorsa maliyet etkili olabilmekte, ancak kuzeybatı kadranda yer alıyorsa maliyet etkili olmamaktadır (Paulden, 2020). Bununla birlikte maliyet etkililik düzleminde İMEO'nun konumu göz önünde bulundurulduğunda İMEO'nun ikinci kadranda (güneydoğu kadranda) yer alması YZ tarafından DR'ye tanı koymanın oftalmolog tarafından tanı koymaya göre hem daha az maliyetli hem daha etkili kısaca dominant bir strateji olduğunu göstermektedir.



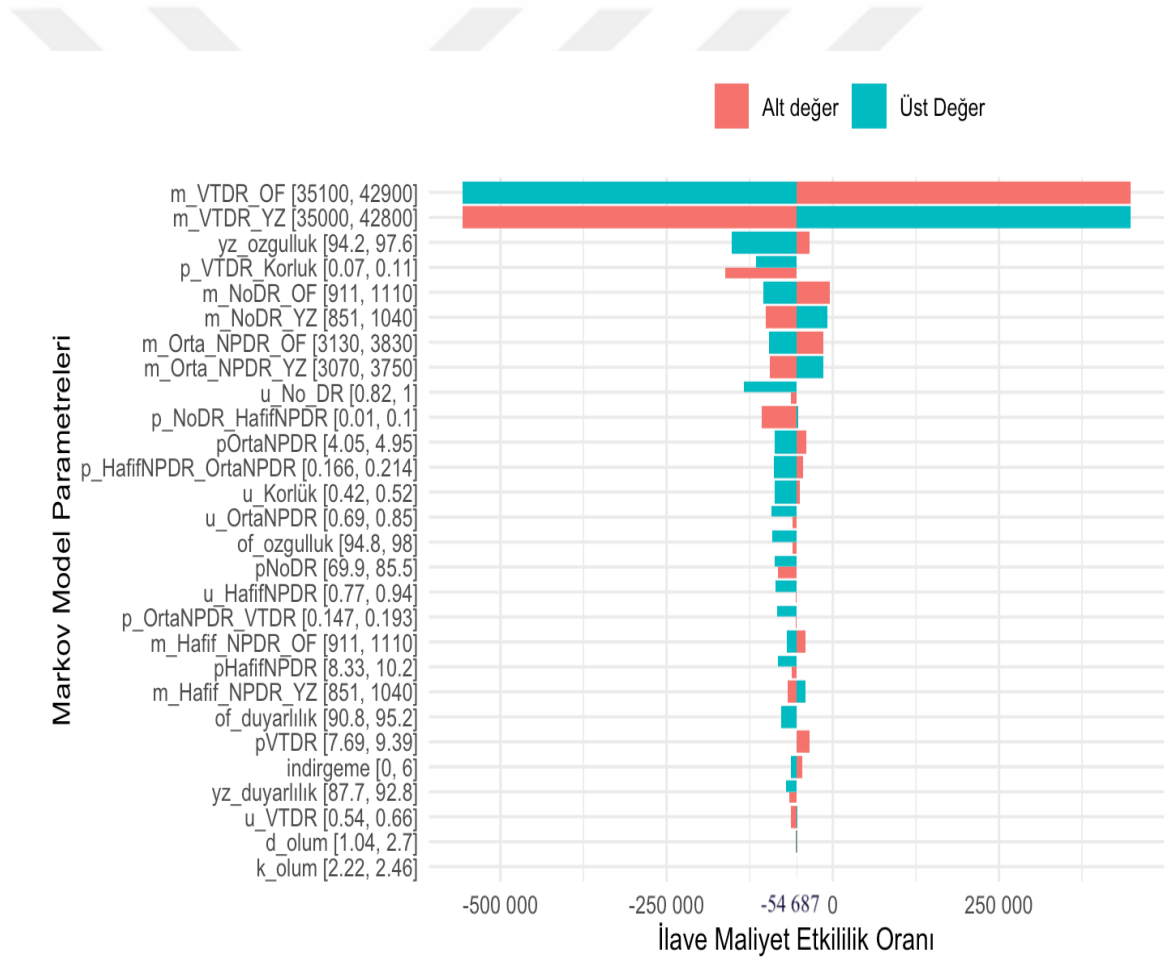
Şekil 18. İlave Maliyet Etkililik Düzlemi

5.5.3. Tek Yönlü Duyarlılık Analizi

Markov modeldeki her bir girdi parametresindeki değişimin modelin çıktıları üzerindeki etkisini incelemek amacıyla tek yönlü duyarlılık analizi gerçekleştirilmiştir. Bu analiz, hangi değişkenlerin sonuçlar üzerinde daha fazla etkisi olduğunu belirleyerek risklerin daha etkin bir şekilde yönetilmesine yardımcı olmaktadır. Literatür araştırması sonucunda tek yönlü duyarlılık analizi için alt ve üst değerler belirlenmiştir. DR prevalansı, fayda değerleri ve maliyetler için $\pm\%10$ değer aralığı belirlenirken mortalite çarpanları, geçiş olasılıkları, oftalmolog ile YZ'nin duyarlılığı ve özgüllük değerleri için %95 güven aralıklarıyla alt ve üst değerler hesaplanmıştır. Tek yönlü duyarlılık analizi sonucu Şekil 19'da Tornado diyagramı ile gösterilmiştir.

Tornado diyagramı, VTDR evresinin YZ ve oftalmolog maliyet değişkenlerinin maliyet etkililiği üzerindeki etkilerini belirgin bir şekilde ortaya koymaktadır. Bu iki

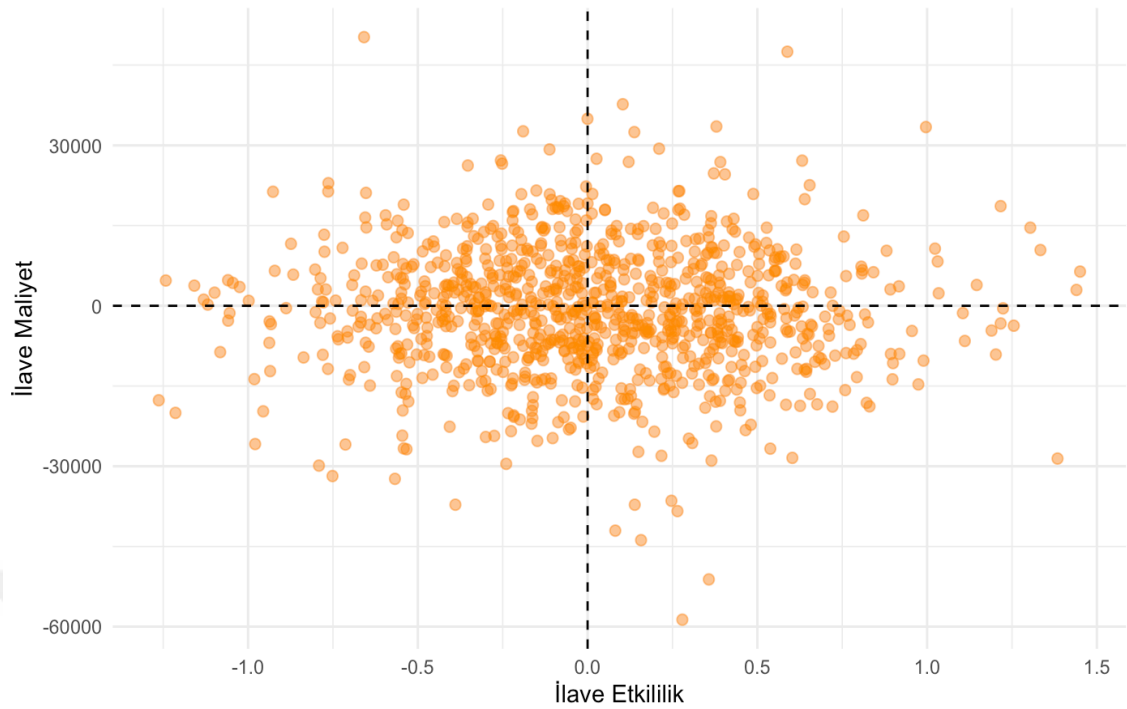
parametre, modelin çıktıları üzerinde en büyük etkiye sahip olan faktörler olarak öne çıkmaktadır. Şekil 19'dan elde edilen verilere göre VTDR evresinin oftalmolog maliyetinin azaldığı durumlarda İMEO'nun arttığı gözlemlenmektedir. Ancak oftalmolog maliyetleri arttığında ilave maliyet etkililik oranında bir azalma meydana gelmektedir. Bununla birlikte VTDR evresinin YZ maliyetinin azaldığı durumlarda ilave maliyet etkililik oranı azalmakta, arttığı durumlarda ise İMEO'da bir artış gözlemlenmektedir. Tornado diyagramına göre, ilk iki değişken dışında en fazla etkiyi yaratan parametreler arasında YZ'nin özgüllük değeri, VTDR evresinden körlüğe geçiş olasılığı, No DR ve Orta NPDR evrelerinin YZ ve oftalmolog maliyeti bulunmaktadır.



Şekil 19. Tornado Diyagramı-İMEO

5.5.4. Olasılıksal Duyarlılık Analizi

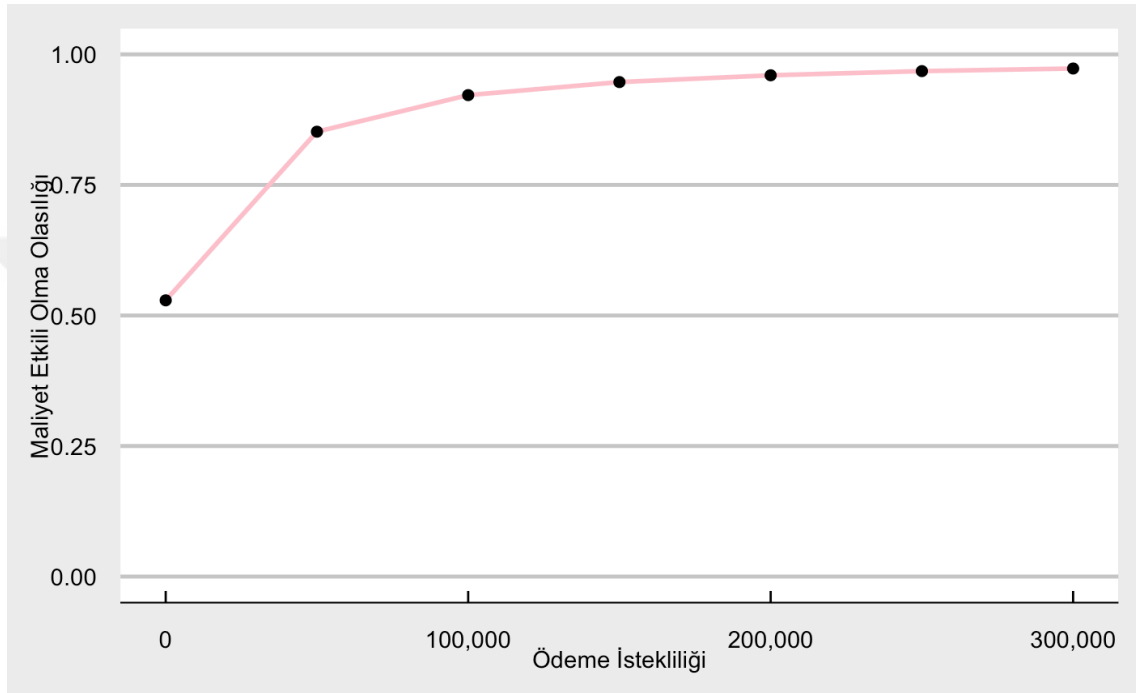
Çalışmada, girdi parametrelerindeki belirsizliklerin çıktı sonuçları üzerindeki etkisini değerlendirmek amacıyla olasılıksal duyarlılık analizi uygulanmıştır. Olasılıksal duyarlılık analizinde her parametreye belirsizliği yansıtan bir dağılım atanarak parametreler arasındaki olası korelasyonlar dikkate alınır. Ardından bu dağılımlardan tekrar tekrar örnekler alınarak model girdileri oluşturulur. Bu süreç, farklı simülasyonlar aracılığıyla beklenen model çıktıların ve bu çıktılardaki belirsizliğin daha iyi anlaşılmasını sağlamaktadır (Hatswell vd., 2018). Bu çalışmada olasılıksal duyarlılık analizi için 1000 kişilik varsayımsal bir hasta kohortu üzerinden Monte Carlo Simülasyonu kullanılarak sonuçlar analiz edilmiştir. Monte Carlo Simülasyon sonuçları doğrultusunda elde edilen ilave maliyet ile ilave etkililik arasındaki ilişkiyi gösteren bir saçılım grafiği Şekil 20'de yer almaktadır. X eksenini ilave etkililiği, Y eksenini ise ilave maliyeti temsil etmektedir. İlave maliyetlerin -30.000 ile 30.000 arasında yoğunlaştığı gözlemlenirken ilave etkililiğin -0.75 ile +0.75 arasında yoğunlaştığı gözlemlenmektedir. Grafik, maliyet-etkililik noktalarının maliyet-etkililik düzleminin dört bölgesini kapsayan önemli bir değişkenlik gösterdiğini ortaya koymuştur. Bu durum araştırmada kullanılan tanı yöntemlerinin maliyet etkililik açısından önemli bir değişkenlik gösterdiğini ortaya koymaktadır. Bununla birlikte olasılıksal duyarlılık analizi sonucunda YZ tarafından DR'ye tanı koymanın maliyetlerdeki ortalama azalışının 955 TL olduğu ve kazanılan QALY değerinin 0.0175 olduğu hesaplanmıştır. Buna göre maliyet etkililik analizinde YZ'nin İMEO değeri -54.687 TL olarak belirlenmiştir. Sonuç olarak YZ ile oftalmolog yöntemleri kıyaslandığında, YZ'nin maliyet etkili olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 20. İlave Maliyet Etkililik Saçılım Grafiği

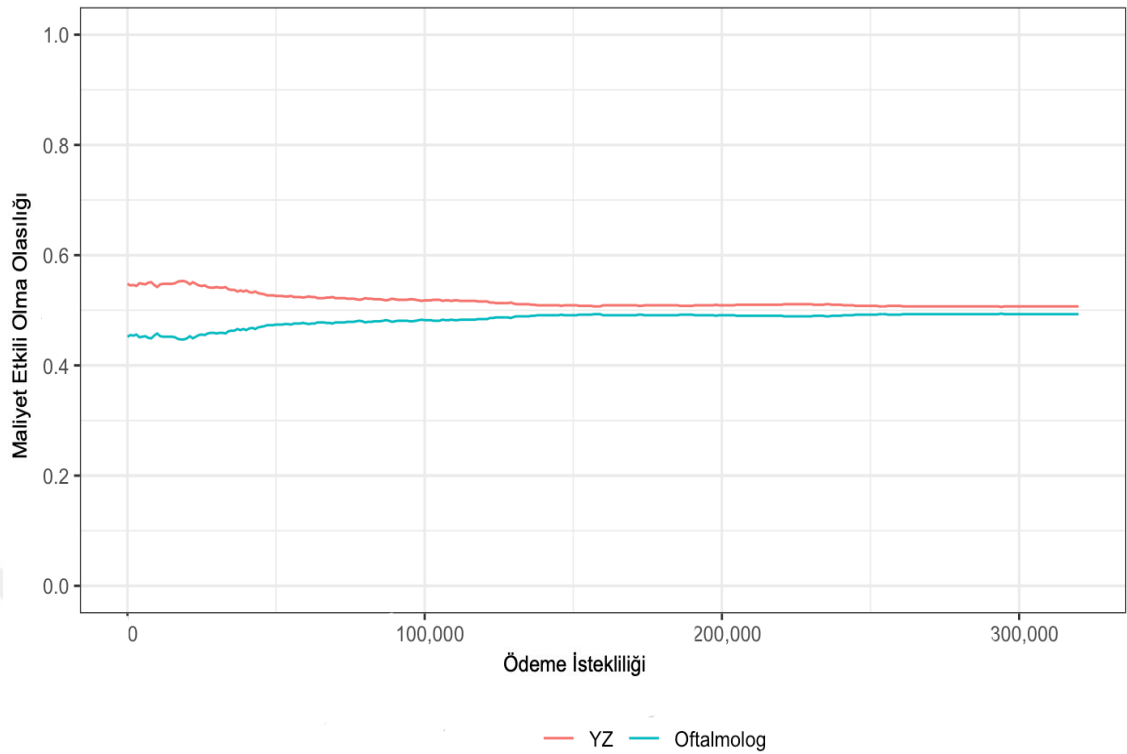
Belirli maliyet-etkililik eşik değerleri için pozitif fayda olasılığını özetlemek amacıyla Maliyet Etkililik Kabul edilebilirlik Eğrisi (CEAC) kullanılmıştır. CEAC, karar vericilere belirli bir eşik değeri için bir müdahalenin maliyet etkili olma olasılığını görsel olarak sunarak belirsizlikleri daha iyi anlamalarına yardımcı olmaktadır. CEAC oluşturma süreci, model tabanlı maliyet-etkililik analizleri ve rastgele kontrollü denemeler (Randomized Controlled Trial-RCT) bağlamında iki farklı yaklaşım içermektedir. Model tabanlı CEA'da olasılıksal duyarlılık analizi kullanılarak her bir ilave maliyet ve ilave etki için İMEO oranı belirli bir eşik değer ile karşılaştırılmaktadır. İlave etki pozitifken İMEO'nun eşik değerden küçük olup olmadığı ilave etki negatifken eşik değerden büyük olup olmadığı kontrol edilmektedir. RCT ile CEAC oluşturulurken INMB (eşik değer*ilave etki-ilave maliyet) kullanılarak CEAC oluşturulmaktadır. Bu yöntemde belirli bir eşik değeri için INMB'nin pozitif olma olasılığı hesaplanmaktadır. Kısaca CEAC oluşturulmasında hem İMEO hem INMB yöntemleri kullanılabilir. Her iki yöntem de benzer sonuçlara ulaşmasına rağmen, INMB yaklaşımının önemli bir avantajı, INMB kullanarak birden fazla müdahalenin maliyet etkililiğini

değerlendirmektedir (Al, 2013). Şekil 21 İMEO değeri ile oluşturulan CEAC grafiğini gösterirken Şekil 22 INMB değeri ile oluşturulan CEAC grafiğini göstermektedir. Şekil 21'e göre 50.000 TL'lik bir ödeme istekliliğinde YZ'nin maliyet etkili olma olasılığı %85 iken 300.000 TL'lik bir ödeme istekliliğinde ise YZ'nin maliyet etkili olma olasılığının %97 olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 21. Maliyet Etkililik Kabul Edilebilirlik Eğrisi (İMEO)

Şekil 22'de sunulan kabul edilebilirlik eğrisinde YZ için gözlemlenen fayda olasılığı, seçilen QALY başına maliyet eşiğine bağlı olarak %50 ile %53 arasında değişmekte olup bu durumda maliyet eşiği 0 ile 300.000 TL arasında belirlenmiştir. Maliyet Etkililik Kabul Edilebilirlik Eğrisi INMB'nin 0 olduğu noktada YZ tarafından tanı konulan yöntemin en yüksek INMB'ye sahip olma olasılığını göstermektedir. Şekil 22'de gösterilen kabul edilebilirlik eğrisi, YZ'nin daha düşük ödeme istekliliği eşiğinde daha maliyet etkili olma olasılığının yüksek olduğunu göstermektedir. Ancak "ödeme istekliliği eşiği arttıkça, YZ'nin maliyet etkililiği ile ilgili belirsizliğin de arttığı görülmektedir. Belirli bir eşik değerden sonra ise her iki yöntemin de maliyet etkili olma olasılığının benzer ve yaklaşık 0,5 olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 22. Maliyet Etkililik Kabul Edilebilirlik Eğrisi (INMB)

5.5.5. Tahmini Bütçe Yüğü

DR'ye tanı koymada YZ ve oftalmolog tarafından tanı koymanın maliyet etkililiğinin değerlendirilmesi amacıyla olması beklenen bütçe yükü hesaplanmıştır. Bu analiz, öncelikle Markov modelinden elde edilen etkililik verileri ile maliyet etkili olduğu tespit edilen GB2 dağılımına dayanan analiz sonuçları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçlarına göre, DR'ye YZ ile tanı konulan hastaların yaşam yılı kişi başı indirgenmiş maliyeti 105.166 TL, oftalmolog tarafından tanı konulan hastaların maliyeti ise 106.121 TL olarak hesaplanmıştır.

Tahmini bütçe yükünü hesaplamak için Türkiye'nin diyabet prevalansı, IDF Diyabet Atlası'na göre 2021 yılı için %14,5, 2030 yılı için %16,2 ve 2045 yılı için %17 olarak belirlenmiştir. Bu prevalans yüzdeleri, 2024-2045 yılları arasındaki

dönem için projekte edilmiştir. Tahmini bütçe yükü analizi sonuçları, 2024-2045 yılları arasındaki maliyet projeksiyonunda diyabetli kişi sayısındaki artışa paralel olarak YZ ve oftalmolog maliyetlerinin ülke bütçesine etkisini göstermektedir. Tahmini bütçe yükünün sunulduğu Tablo 22'ye göre, diyabetli kişi sayısı 2024 yılında 7.305.625 iken, 2045 yılına gelindiğinde bu sayı 10.839.756'ya ulaşmaktadır. DR'ye YZ ile tanı koymanın maliyeti 2024 yılında 768.303.350.757 TL olan iken, 2045 yılında 1.139.973.825.832 TL'ye yükselmektedir. Bu dönemdeki artış miktarı 371.670.475.075 TL'dir.

Benzer şekilde, DR'ye oftalmolog ile tanı koymanın maliyeti de 2024 yılında 775.280.222.560 TL'den başlayarak 2045 yılına kadar 1.150.325.793.233 TL'ye ulaşmaktadır. Oftalmolog tanı maliyetindeki 2024-2045 yılları arasındaki artış ise 375.045.530.673 TL'dir. YZ ve oftalmolog tarafından DR'ye tanı koyma yöntemleri arasındaki maliyet farkı 2024 yılında 6.976.871.802 TL iken 2045 yılında 10.351.967.401 TL olarak bulunmuştur. Bu veriler, her iki tanı yönteminin maliyetlerinin önemli ölçüde arttığını ve bu artışın sağlık bütçesi üzerinde önemli bir etki yaratabileceğini göstermektedir.

Tablo 22. Tahmini Bütçe Yüğü

Yıl	Diyabetli Kişı Sayısı	YZ Maliyeti (TL)	Oftalmolog Maliyeti (TL)
2024	7305625	768.303.350.757	775.280.222.560
2025	7518668	790.708.197.196	797.888.524.757
2026	7735150	813.474.751.831	820.861.819.781
2027	7959974	837.118.674.376	844.720.449.988
2028	8187928	861.091.653.622	868.911.125.022
2029	8418951	885.387.358.402	893.427.456.222
2030	8650015	909.687.472.021	917.948.236.297
2031	8755227	920.752.174.569	929.113.416.099
2032	8858380	931.600.359.639	940.060.112.253
2033	9082807	955.202.499.275	963.876.580.126
2034	9183029	965.742.420.778	974.512.213.409
2035	9281029	976.048.715.703	984.912.098.579
2036	9538467	1.003.122.412.733	1.012.231.648.647
2037	9633619	1.013.129.146.678	1.022.329.252.559
2038	9726495	1.022.896.521.511	1.032.185.323.767
2039	9983473	1.049.921.889.320	1.059.456.105.743
2040	10204607	1.073.177.661.552	1.082.923.060.890
2041	10293395	1.082.515.148.106	1.092.345.340.055
2042	10380025	1.091.625.748.236	1.101.538.672.466
2043	10464494	1.100.509.011.560	1.110.502.603.653
2044	10546787	1.109.163.365.478	1.119.235.546.735
2045	10839756	1.139.973.825.832	1.150.325.793.233

6. BÖLÜM

TARTIŞMA

DR'ye YZ ve klasik yöntemle tanı koymanın maliyet etkililiği analiz edilirken ilk olarak her iki yöntemin maliyet hesaplamaları yapılmıştır. Herhangi bir modelleme olmadan DR tanısında ve bu tanıya dayalı tedavi maliyetlerinin hesaplanmasında YZ yönteminin oftalmolog yöntemine göre daha düşük maliyetler sunduğu gözlemlenmiştir. YZ ve oftalmolog yöntemlerinin toplam maliyetleri, geri ödeme kurumu perspektifinden hizmet başına ödeme yöntemiyle hesaplanan maliyetler ile zamana dayalı faaliyet tabanlı maliyetleme yöntemiyle belirlenen sağlık personeli maliyetlerinin toplamından oluşmaktadır. DR evrelerine göre hesaplanan maliyet bulgularında, oftalmolog ve YZ yöntemleri arasında farklılıklar gözlemlenmiştir. Yapılan incelemelerde, oftalmolog tarafından hesaplanan toplam maliyet 44.513,20 TL iken YZ tarafından hesaplanan maliyet ise 44.228,68 TL olarak tespit edilmiştir. Bu bulgular, YZ yönteminin DR tanı koyma süreçlerinde klasik yöntemle göre hasta başına 284,52 TL daha düşük maliyet sunduğunu göstermektedir. Araştırma sonuçları, herhangi bir modelleme yapılmadan DR tanı koyma süreçlerinde YZ yönteminin oftalmolog yöntemine göre maliyet açısından daha avantajlı olduğunu ortaya koymaktadır.

Araştırmanın maliyet etkililik analiz bulguları, DR tanısında YZ yönteminin oftalmolog yöntemine göre daha maliyet etkili olduğunu ortaya koymaktadır. Gamma ve GB2 dağılımları, maliyet parametrelerinin analizinde sağlık ekonomisi alanında öncü araştırmacılar tarafından maliyet verilerinin modellenmesinde özellikle önerilen (Jones vd., 2014; Manning vd., 2005) dağılım türleridir. Bu sebeple araştırmada, diğer girdi parametrelerinde kullanılan dağılım türleri sabit tutulurken yalnızca maliyet parametreleri için parametrik olasılık dağılım türü olan Gamma ve GB2 dağılımları kullanılarak iki ayrı model oluşturulmuştur. Gamma dağılımı kullanılarak elde edilen modelleme sonuçlarına göre, YZ tanı yönteminin maliyeti 105.604 TL, oftalmolog tarafından tanı koyma yönteminin maliyeti ise 107.642 TL olarak tespit edilmiştir. GB2 dağılımı kullanılarak elde edilen modelleme sonuçlarına göre YZ yönteminin maliyeti 105.166 TL, oftalmolog

tarafından tanı koyma yönteminin maliyeti ise 106.121 TL olarak tespit edilmiştir. Her iki dağılım türüne göre yapılan analizler, YZ yönteminin DR tanısında oftalmolog yöntemine kıyasla daha düşük maliyetli olduğunu göstermektedir. Her iki dağılım türünde de QALY değerlerinin birbirine oldukça yakın olduğu gözlemlenmiştir. Gamma dağılımı verilerine göre, YZ yönteminde QALY değeri 13,812 QALY, oftalmolog yönteminde ise 13,796 QALY değeri bulunmuştur. GB2 dağılımında ise YZ yöntemi yine 13,812 QALY değeri sağlarken oftalmolog yönteminde 13,794 QALY değeri sağlamıştır. Bu bulgular, her iki dağılımda da YZ yönteminin daha yüksek QALY değeri gösterdiğini ortaya koymaktadır.

Bu araştırmada, DR' ye tanı koymada YZ ve oftalmolog yöntemlerinin maliyet etkililiği incelenmiştir. Literatürde yer alan araştırmalar, genellikle DR taramasına odaklanmaktadır. Bu çalışma ise bir hastane ortamında DR tanısında iki yöntemin maliyet etkililiğini değerlendirmektedir.

DR taramasında YZ'nin maliyet etkililik analizine ilişkin literatürdeki çalışmalar incelendiğinde araştırma bulgularını destekleyecek şekilde YZ tabanlı tarama yöntemlerinin daha maliyet etkili olduğu anlaşılmaktadır. Huang vd. (2022) tarafından gerçekleştirilen Çin'deki çalışmada, hizmet sunucu perspektifinden YZ tabanlı taramanın maliyeti 180 \$, oftalmolog taramasının maliyeti ise 215 \$ olarak belirlenmiş; YZ taraması 16,76 QALY değeri sağlarken oftalmolog taraması 16,71 QALY değeri göstermiştir. Yapılan çalışma, YZ yönteminin oftalmolog yöntemine göre araştırma bulgularıyla benzer şekilde daha uygun maliyetli ve daha etkili olduğunu göstermiştir.

Li vd. (2023) tarafından gerçekleştirilen bir başka çalışmada, Markov modeli kullanılarak Çin'in kırsal bölgelerinde farklı DR tarama stratejilerinin maliyet etkililiği incelenmiştir. YZ tabanlı tarama, sağlık sistemi perspektifinden en maliyet etkin strateji olarak belirlenmiştir. Göz doktoru taramasına kıyasla YZ tabanlı tarama her diyabet hastası için yaklaşık 2.070,63 ABD doları tasarruf sağlarken 0,31 birim daha fazla QALY kazanımı elde etmiştir.

Xie vd. (2020) tarafından Singapur'da YZ destekli tam otomatik ve yarı otomatik yaklaşımlarının DR taramasında yıllık birim maliyetinin oftalmolog değerlendirmesinden daha az maliyetli olduğunu göstermek için bir maliyet minimizasyon analizi yürütülmüştür. Çalışma sonuçları, yarı otomatik tarama modelinin üç alternatif model arasında en düşük maliyete sahip olduğunu göstermektedir. Diyabetli bir hasta için göz doktoru değerlendirmesinde yarı otomatik ve tam otomatik tarama modellerinin yıllık maliyetleri sırasıyla 77 ABD doları, 62 ABD doları ve 66 ABD doları olarak belirlenmiştir. Bu veriler ışığında, yarı otomatik modelin maliyeti oftalmolog değerlendirmesi modeline göre hasta başına yaklaşık %19,5 tasarruf sağlarken tam otomatik model ise yaklaşık %14,3 tasarruf sunmaktadır. Ayrıca yarı otomatik modele geçişin Singapur sağlık sistemine yıllık 489.000 ABD doları tasarruf sağlaması beklenmektedir. Bu tasarruf mevcut yıllık tarama maliyetinin yaklaşık %20'sine tekabül etmektedir. Bu bulgular, yarı otomatik tarama modelinin maliyet etkililik açısından önemli bir avantaj sunduğunu ortaya koymaktadır.

Tufail vd. (2017)'nin çalışmasında, Birleşik Krallık'ta YZ tabanlı bir teknoloji kullanılarak yapılan DR taramasında oftalmolog değerlendirmesine kıyasla %12 ila %21 oranında maliyet tasarrufu sağlandığı bildirilmiştir. Scotland vd. (2007)'nin İskoçya'da gerçekleştirdikleri bir çalışma, ulusal DR tarama programında birinci seviye manuel değerlendirmenin otomatik derecelendirme ile değiştirilmesiyle %46,7 oranında maliyet düşüşü sağlandığını göstermiştir.

Fuller vd. (2022)'nin sunduğu maliyet etkililik analiz sonuçları, düşük gelirli diyabet hastaları üzerinde gerçekleştirilen diyabetik retinopati taramasında Otomatik Retinal Görüntü Analiz Sistemi (ARIAS) kullanıldığında bu sistemin manuel derecelendirmeye göre maliyetleri %23,3 oranında azalttığını ortaya koymuştur.

ABD'de Tip 1 ve Tip 2 diyabetli çocuklarda DR tespitinde otonom YZ ile yapılan taramanın maliyet etkililiğini inceleyen bir çalışmada, her bir DR vakasının tespitinin ilave maliyet etkililik oranı Tip 1 diyabetli çocuklar için 31 dolar, Tip 2

diyabetli çocuklar için ise 95 dolar olarak bulunmuştur. Sonuçlar, hastaların %23'ünden fazlası taramaya uyum sağladığında otonom yapay zekanın maliyet etkili bir strateji olduğunu göstermektedir (Wolf vd., 2020).

Hu vd. (2024) Avustralya'daki hem yerli hem de yerli olmayan diyabet hastaları için bir YZ tabanlı DR tarama sisteminin maliyet etkililiğini inceledikleri çalışmalarında, mevcut manuel derecelendirmenin YZ ile değiştirilmesi, hasta kabul seviyesine göre YZ tabanlı taramanın ölçeklendirilmesi ve evrensel tarama sağlanması gibi üç farklı senaryo üzerinde değerlendirme yapmışlardır. Sonuçlar, üç farklı müdahale senaryosunun maliyet etkili olduğunu göstermiştir. Bununla birlikte sonuçlar, evrensel tarama programının uygulanması durumunda 38.347 körlük vakasının önleneyeceği, 172,090 QALY kazanılacağını ve 595,8 milyon Avustralya doları tasarruf sağlanacağını ortaya koymaktadır.

Su vd. (2023) yaptıkları bir çalışmada Çin'in kırsal ve kentsel bölgelerinde teletıp tabanlı DR taramasını YZ ile sınıflandırmanın maliyet etkililiğini değerlendirmiştir. Çalışma sonuçları, her iki bölgede de YZ tabanlı taramanın manuel derecelendirmeye göre daha maliyet etkili olduğunu göstermiştir. YZ tabanlı tarama ile manuel tarama arasındaki etkililikler her iki bölge için benzerlik göstermekte ancak kentsel bölgede elde edilen etkililik değeri kırsal bölgeye kıyasla daha yüksektir.

Literatürde yer alan çalışmalar incelendiğinde YZ oftalmolojide önemli bir uygulama alanı olmasına rağmen bu alandaki ekonomik değerlendirmelerin sayısı oldukça sınırlı kalmıştır (Ruamviboonsuk vd., 2021). YZ'nin DR taraması ile ilgili yapılan ekonomik değerlendirme çalışmaların birçoğu YZ tabanlı tarama sistemlerinin sağlık hizmetlerinde maliyetleri düşürme potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte literatürde yapılan YZ'nin DR taramasının maliyet etkililik analizi ile ilgili çalışmalarda ülkelere ve koşullara bağlı olarak farklı sonuçların ortaya çıkabileceği görülmektedir. Araştırma bulgularından farklı olarak Rossi vd. (2022)'nin Brezilya'da YZ destekli ve YZ olmadan yapılan DR tarama stratejilerinin maliyet etkililiğini inceleyen bir

çalışmada, YZ ile ortalama maliyet 559\$, YZ olmadan ise 533\$ bulunmuştur. Her iki strateji benzer fayda sağlamış (8,4 QALY) ancak YZ kullanımının maliyetleri 25,82\$ artırdığı tespit edilmiştir. Çalışmanın sonuçları, ilave maliyetin QALY başına 16,809\$ olduğunu göstermiştir. Lin vd. (2023) Çin'in kentsel bölgelerinde DR'ye tanı koymada toplum tabanlı tele-tıp tarama yöntemlerinde YZ modelinin, geleneksel manuel derecelendirme yöntemine göre daha değerli olup olmadığını toplumsal perspektiften maliyet etkililik ve maliyet fayda analizleriyle değerlendirmiştir. Çalışma sonuçları, YZ tabanlı sistemlerin potansiyel maliyet tasarrufları sağladığını ancak bu tasarrufların gerçekleşmesinin görmeyi tehdit eden DR şüphesi taşıyan hastaların yönlendirilme uyumuna büyük ölçüde bağlı olduğunu göstermektedir. Eğer bu uyum artmaz ise YZ tabanlı tarama manuel derecelendirme ile karşılaştırıldığında maliyet etkili olmayacaktır. Özellikle YZ tabanlı sistemlerin maliyetleri işgücü maliyetlerinin yüksek olduğu yerlerde daha düşük olabilmektedir. Ancak düşük işgücü maliyetlerinin olduğu ülkelerde YZ'nin maliyet etkililiği sınırlı kalabilmektedir.

Literatür çalışmaları, YZ'nin maliyet etkililiğinin uygulandığı bağlama ve mevcut sağlık hizmetleri sistemine bağlı olduğunu ortaya koymaktadır. Bununla birlikte literatürde Türkiye'de YZ uygulamalarının maliyet etkililiği hakkında yeterli veri bulunmamaktadır. Bu nedenle Türkiye'de YZ tabanlı DR tanı yöntemlerinin ekonomik değerlendirilmesi, sağlık sisteminin sürdürülebilirliği açısından önem arz etmektedir. YZ tabanlı tanı yöntemleri hem maliyet etkililik hem de sağlık sonuçları açısından önemli avantajlar sunabilmektedir. Bu araştırma YZ teknolojilerinin sağlık hizmetlerinde daha geniş bir şekilde benimsenmesini sağlamak ve bu teknolojilerin maliyet etkililiğini daha da ortaya koymak için kritik öneme sahiptir. YZ'nin sağlık sistemlerinde entegrasyonu, bireylerin sağlık sonuçlarını iyileştirirken sağlık sistemlerinin maliyetlerini de azaltma potansiyeline sahip olacaktır.

Kronik hastalıklar dünya genelinde özellikle düşük ve orta gelirli ülkelerde artış göstermektedir. Her yıl yaklaşık 41 milyon insanın ölümüne neden olan kronik hastalıklar, küresel ölümlerin %74'ünü temsil etmekte ve en yaygın olanlar

arasında kardiyovasküler hastalıklar, kanserler, kronik solunum yolu hastalıkları ve diyabet yer almaktadır (WHO, 2023b). Ayrıca kronik hastalıkların 2010 yılından 2030 yılına kadar küresel ekonomide 47 trilyon ABD doları tutarında bir kayba neden olacağı öngörülmektedir (NCD Alliance, 2024). Bu durum kronik hastalıkların küresel bir sağlık sorunu haline gelerek toplumda ciddi bir ekonomik yük oluşturduğu anlamına gelmektedir.

Kronik hastalıklardan biri olan diyabet, özellikle Tip 2 diyabet, insan sağlığı ve sağlık harcamaları üzerinde ciddi bir etkiye sahip önemli bir halk sağlığı sorunudur (IDF, 2021). Son yıllarda obezite ve hareketsiz yaşam tarzının artmasıyla birlikte diyabetin görülme sıklığının hem gelişmiş hem de gelişmekte olan ülkelerde hızla yükseldiği görülmektedir (IDF, 2019). Diyabet, yüksek komplikasyon oranları, tedavi ve takip harcamaları nedeniyle maliyetli bir hastalıktır. Bu hastalık, yaşam kalitesini ve yaşam beklentisini olumsuz etkilerken 2021'de küresel sağlık harcamalarında yaklaşık 966 milyar ABD doları tutarında bir maliyete yol açmıştır (IDF, 2021).

Türkiye'de diğer ülkelere göre diyabet prevalansı hızlı bir şekilde artmakta ve gelecekte de bu artışın devam etmesi beklenmektedir. Türkiye'de 2018 yılında yaklaşık 630 bin Tip 1 ve 7 milyon 700 binden fazla Tip 2 diyabet hastası olmak üzere toplamda 8 milyon 330 binden fazla kişi SGK tarafından diyabet tedavisi için desteklenmiştir (SGK, 2022). Bu durum, diyabet tedavisine yönelik sağlık sigortacılığı hizmetlerinin maliyetinin yaklaşık 4,4 milyar liraya ulaşmasına neden olmuştur. 2021 yılında ise SGK tarafından tedavi edilen 12 milyon diyabet tanılı hasta için toplamda 8,6 milyar TL harcanmıştır. Bu durum Türkiye'de diyabetin sağlık sistemi üzerinde önemli bir ekonomik yük oluşturduğunu göstermektedir (SGK, 2022).

Sağlık Bakanlığı, diyabetin erken tanısı ve yönetimi için çeşitli stratejiler geliştirmekte ve bu da sağlık sisteminin etkinliğini artırmak adına kritik bir adım teşkil etmektedir. Türkiye'de diyabet ile mücadelede çeşitli çalışmalar yürütülmektedir. Türkiye'de diyabetle mücadele için 1994 yılında Sağlık Bakanlığı

öncülüğünde başlatılan 'Ulusal Diyabet Programı' 2003'te 'Ulusal Diyabet-Obezite-Hipertansiyon Kontrol Programı' olarak yenilenmiştir. 2010-2014 yılları arasında uygulanan 'Türkiye Diyabet Önleme ve Kontrol Programı', toplumda diyabet farkındalığını artırmayı ve hastalara sunulan bakım kalitesini yükseltmeyi hedeflemiştir. 2015-2020 döneminde güncellenen program, diyabetin etkin yönetimi için politika geliştirme, önleme ve erken tanı sağlama, komplikasyonların tedavisi, çocukluk çağında bakımın iyileştirilmesi ve obezite ile mücadele gibi amaçlar belirlemiştir. 2023-2027 Türkiye Diyabet Programı ise önceki diyabet programlarının iyileştirilmesi, güncellenmesi ve uygulanabilirliğinin artırılması amacıyla tasarlanmıştır. Bu program, mevcut stratejilerin geliştirilmesini, daha etkili hale getirilmesini ve tarama programlarının oluşturulmasını hedeflemektedir (Sağlık Bakanlığı, 2023). Bu programların etkinliği sadece erişim ve farkındalık ile değil aynı zamanda sağlık teknolojilerinin entegrasyonu ile de doğrudan ilişkilidir.

Tıptaki ilerlemeler yaşam beklentisini artırmakta ancak sağlık hizmetlerine erişimde eşitsizlikler devam etmektedir (WHO, 2016). DSÖ, geneli düşük ve alt-orta gelirli ülkelerde olmak üzere 2030 yılına kadar 10 milyon sağlık çalışanı açığının oluşacağını öngörmektedir (WHO, 2024b). Dünya Sağlık Asamblesi, üye devletleri e-sağlık (eHealth) hizmetleri için uzun vadeli stratejik planlar oluşturmaya ve bu hizmetlere evrensel erişimi teşvik etmeye çağırmıştır. 2013 ve 2018 yıllarında kabul edilen kararlarla e-sağlık standartları ve dijital sağlık stratejileri geliştirilmesi yönünde adımlar atılmıştır. Sonuç olarak 2020-2025 dönemi için küresel bir dijital sağlık stratejisi oluşturulmuş ve onaylanmıştır (WHO, 2021). DSÖ, bireylerin sağlıklarını izlemelerini sağlayacak dijital sağlık sistemlerini teşvik etmektedir. Bu nedenle DSÖ ve Türkiye de dahil birçok ülke, bireylerin sağlıklarını korumak için harekete geçmelerini sağlayacak bir sistem geliştirmeyi acil bir ihtiyaç olarak görmüştür. Dünya Sağlık Asamblesi'nin bu yöndeki çağrıları sağlık hizmetlerine erişimdeki eşitsizlikleri azaltmak ve dijital sağlık sistemlerinin yaygınlaşmasını sağlamak için önemli bir adım olmuştur. Nitekim, bu çağrılar doğrultusunda DSÖ ve birçok ülke bireylerin sağlıklarını

izleyebilecekleri ve koruyabilecekleri dijital sistemler geliştirme yönünde çalışmalar başlatmıştır.

Türkiye, sağlık teknolojileri konusunda önemli bir potansiyele sahip olmakla birlikte sağlıkta dijitalleşme konusunda çeşitli uygulamalarla önemli adımlar atmıştır. Örneğin, E-Nabız, bireylerin sağlık verilerine erişimini sağlayarak sağlık kurumlarında geçirilen süreyi azaltmakta ve gereksiz tahlil istemini önlemektedir (E-Nabız, 2024). Elektronik sağlık kayıt sistemleri, hasta sağlık sonuçlarını iyileştirme, bakım sürekliliğini sağlama ve daha fazla gelişim fırsatları sunma açısından diyabet gibi kronik hastalıkların yönetiminde etkili bir araçtır (Lessing & Hayman, 2018). E-Nabız sistemi, diyabetli hastaların izlenmesini ve diyabet riski taşıyan bireylerin tespit edilmesini sağlayarak sağlık yönetimini kolaylaştırmaktadır. Aile Hekimi Bilgi Sistemi (AHBS), birinci basamak sağlık hizmetlerini merkezi bir ortamda kayıt altına alarak karar destek sistemi işlevi görmektedir (Bal vd., 2012). Aile hekimliği sistemi aracılığıyla düzenli tarama programları uygulanabilir, bu sayede diyabet ve diğer kronik hastalıklarda risk altındaki bireylerin tespit edilmesi sağlanabilir. Ayrıca Merkezi Hekim Randevu Sistemi (MHRS) hastanelerdeki randevu süreçlerini düzenleyerek yoğunluğu azaltmayı hedefleyen bir sistemdir (Akalın & Veranyurt, 2020). MEDULA sistemi ise bireylerin eczanelerden temin ettiği ilaçların reçete bilgilerini online olarak denetleyip kaydederek faturalandırma işlemlerini yürüten bir uygulamadır (SGK, 2024). Bu uygulamalar, sağlık hizmetlerinin daha etkin ve verimli bir şekilde sunulmasına katkıda bulunmaktadır.

Dijital dönüşüm süreciyle birlikte YZ uygulamaları sağlık sektörüne hızla entegre olmuştur. YZ uygulamalarının hem yönetsel hem de klinik alanlarda çeşitli uygulama örnekleri bulunmaktadır. Dijital sağlık hizmetlerinde yönetsel açıdan YZ, sağlık kurumlarında veri analizi ve raporlama süreçlerini optimize ederek demografik raporların oluşturulmasına ve kaynakların daha verimli kullanılmasına olanak tanımaktadır (Akalın & Veranyurt, 2020). Klinik alanlarda ise YZ, hastalıkların teşhis edilmesi ve tedavi süreçlerinin hızlandırılması gibi kritik işlevler üstlenmektedir. Bu bağlamda erken teşhis ve izleme süreçlerinde YZ

klirik uygulamalara entegre edilerek hastaların sağlık durumlarını takip etmekte ve insan hatalarını minimize ederek hizmet kalitesini artırmayı hedeflemektedir (Alowais vd., 2023). Bununla birlikte tanı ve tedavide YZ araçlarının kullanılmasıyla sağlık hizmetlerinde ciddi şekilde maliyet tasarrufu sağlanmaktadır (Khanna vd., 2022).

Diyabet gibi kronik hastalıkların yarattığı ekonomik yük ile birlikte diyabetin komplikasyonları da sağlık sistemi üzerinde ciddi bir mali yük oluşturmaktadır. Diyabetik retinopati, diyabetin gözdeki en ciddi komplikasyonlarından biri olup zamanla görme kaybına neden olabilmektedir (Shukla & Tripathy, 2023). YZ teknolojileri bu hastalığın erken tanısında büyük bir potansiyele sahiptir. Türkiye'de diyabetin artmasıyla birlikte DR geliştirme riski de artmaktadır. Gerçekleştirilen araştırmalar, Türkiye'deki DR prevalansının %22 ile %32 arasında olduğunu göstermektedir (Acan vd., 2018; İdil vd., 2001; Taş, 2005). Bu durum ilerleyen yıllarda diyabetin yaygınlaşmasıyla birlikte DR riskinin daha da artacağına işaret etmektedir.

Türkiye'nin sağlık teknolojileri alanındaki gelişimi YZ uygulamaları ile desteklenerek daha da ileri taşınabilir. Bu bağlamda kaynakların bu alanlara yönlendirilmesi sağlık hizmetlerinin kalitesini yükseltmekle kalmayacak aynı zamanda ekonomik yük üzerindeki baskıyı da azaltacaktır. Özellikle YZ uygulamaları, doktor sayısının az olduğu kırsal bölgelerde ya da sağlık hizmetlerine erişimin zor olduğu bölgelerde hastalıkların daha erken tanı almasını sağlayarak ekonomik yükü azaltma potansiyeline sahiptir. Türkiye, Ekonomik Kalkınma ve İş Birliği Örgütü (OECD) ülkeleriyle karşılaştırıldığında hekim açığına sahip bir ülkedir. Türkiye, 2021 yılı için 1.000 kişi başına düşen toplam hekim sayısının uluslararası karşılaştırmasına göre en son sırada yer almaktadır (OECD, 2024). Ayrıca Eurostat 2021 verilerine göre Avrupa Birliği ülkeleri arasında 100.000 kişi başına düşen hekim sayısında Türkiye, en düşük hekim sayısına sahip ülke olarak dikkat çekmektedir (Eurostat, 2024). Bu veriler doğrultusunda kişi başına düşen doktor sayısının düşük olduğu Türkiye'de sağlık hizmetlerinin erişilebilirliğini artırmak ve hastalıkların erken tanısını sağlamak

amacıyla YZ uygulamalarının önemi daha da artmaktadır. DR'nin erken tanısı görme kayıplarını önemli ölçüde azaltmaktadır. Bu bağlamda YZ destekli tanı sistemleri, doktorların karar verme süreçlerini destekleyen önemli araçlar haline gelmiştir. Bu sistemler, özellikle hastalığın erken evrelerinde (Hafif-Orta NPDR gibi) etkili bir şekilde çalışarak doktorların DR'ye tanı koymasında ve hastalığın hızlı bir şekilde tedavi edilmesinde doktorlara destek sağlamaktadır. Sonuç olarak YZ destekli tanı sistemleri, DR gibi karmaşık hastalıkların yönetiminde doktorlara önemli bir destek sunmakta ve erken tedavi fırsatları sağlayarak hastaların sağlığını korumada kritik bir rol oynamaktadır.

Türkiye, YZ teknolojilerinin sağlık alanında uygulanması konusunda yüksek potansiyele sahip bir ülkedir. Özellikle DR gibi kronik hastalıkların tanısında yapılan çalışmalar, bu potansiyeli somut bir şekilde ortaya koymaktadır. Örneğin, Türkiye'de uzman mühendisler ve doktorlar tarafından geliştirilen EyeCheckup yazılımı DR'yi yüksek doğruluk, duyarlılık ve özgüllükle tespit etmektedir (Doğan vd., 2024). Bu yazılım, sadece DR değil aynı zamanda Yaşa Bağlı Maküla Dejenerasyonu (YBMD), glokom ve diğer retinopati türlerini de tanımlama yeteneğine sahiptir. Bu yazılım gelişmiş YZ algoritmaları sayesinde sağlık profesyonellerinin karar verme süreçlerini kolaylaştırarak erken tanı imkânı sunmakta ve görme kaybını önlemeye yardımcı olmaktadır. Bu projeler, sağlık hizmetlerine erişimin sınırlı olduğu özellikle kırsal bölgelerde tarama imkanları sunulmasını sağlamakta, erken tanı ve tedavi sayesinde sağlık sorunlarının erken tespiti ve kaynaklarının etkin kullanımına imkân tanımaktadır.

Ayrıca Türkiye'de YZ teknolojilerinin geliştirilmesi sağlık hizmetlerinde maliyet tasarrufu sağlama potansiyelini de beraberinde getirmektedir. YZ uygulamaları, tanı süreçlerini hızlandırarak gereksiz test ve tedavi maliyetlerini azaltabilir. Bu nedenle YZ teknolojilerinin sağlık hizmetlerinde ne ölçüde maliyet tasarrufu sağladığının araştırılması büyük bir önem taşımaktadır. Türkiye'nin bu alandaki yatırımları sadece sağlık hizmetlerinin kalitesini artırmakla kalmayacak aynı zamanda ekonomik sürdürülebilirliğe de katkıda bulunacaktır. Bu bağlamda YZ'nin sağlık alanındaki etkilerinin kapsamlı bir şekilde değerlendirilmesi

gelecekteki stratejilerin belirlenmesi açısından kritik bir adım olacaktır. Bu sebeple bu araştırma, DR hastalığını teşhis etmede YZ yönteminin maliyet etkililiğini ortaya koyarak sağlık hizmetlerinin daha verimli kullanılmasına, kaynakların daha etkili bir şekilde dağıtılmasına, hastaların daha hızlı ve doğru bir şekilde yönetilmesine, göz doktoru olmayan bölgelerde kullanılmasına ve hastalıkların erken tanısı ile önlenmesine önemli bir katkı sağlayacaktır.

Bu araştırmada elde edilen bir diğer önemli bulgu, kullanılan YZ tabanlı EyeCheckUp yazılımının DR'ye tanı koyma ve DR'yi sınıflandırma konusundaki performans değerleridir. YZ modelinin göz düzeyindeki performansı evrelere göre değerlendirdiğinde, tüm evrelerin duyarlılık değerleri %78'in üzerinde yer almaktadır. Özgüllük sonuçları incelendiğinde, tüm evrelerin özgüllük değerlerinin %88'in üstünde olduğu görülmektedir. Genel olarak modelin ortalama duyarlılık performansı %90,58, özgüllüğü ise %96,07 olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlar, YZ modelinin DR'ye tanı koymada yüksek performans sergilediğini göstermektedir.

Literatürde DR'ye tanı koymak ve sınıflandırmak amacıyla geliştirilen YZ sistemlerine dair yapılan incelemelerde, FDA tarafından onaylanan IDx-DR ve EyeArt gibi cihazların kullanıldığı görülmektedir (Lim vd., 2022). IDx-DR sistemi hafif DR ve ileri DR (more than mild DR-mtmDR) evresi için %87 duyarlılık ve %90 özgüllük sunarken EyeArt sistemi %96 duyarlılık ve %88 özgüllük performansı göstermektedir. Bunun yanı sıra EyeArt, %97 duyarlılık ve %90 özgüllük ile görmeyi tehdit eden diyabetik retinopatiyi (VTDR) tespit etme kapasitesine de sahiptir. Genel olarak EyeArt sistemi, göz bebeğini genişletmek için daha az göz damlası gereksinimi ile daha yüksek bir duyarlılık sağlarken IDx-DR özgüllük açısından biraz daha üstünlük göstermektedir (Lim vd., 2022). Diğer taraftan EyeCheckup sistemi, IDx-DR'dan daha yüksek bir performans sunarken EyeArt'a kıyasla daha düşük duyarlılık ve daha yüksek özgüllük sunmaktadır. Ayrıca EyeCheckup sistemi, göz bebeğini büyütme için göz damlası kullanımını gerektirmemektedir.

FDA tarafından onaylanan bir diğer cihaz olan AEYE Health taşınabilir bir kamerayla yakalanan retina görüntülerinden DR'yi teşhis eden tamamen otonom bir YZ sistemidir. AEYE Health'in AEYE-DS ürünü, diyabet tanısı almış ve daha önce DR tanısı almamış yetişkinlerde Topcon NW400 kamerası ile %93 duyarlılık ve %91'in üzerinde özgüllük değeri gösterirken Optomed Aurora kamerası ile %92-93 duyarlılık ve %89-94 özgüllük değeri göstermektedir (AEYE Health, 2024).

FDA onaylı YZ sistemleri dışında DR tarama algoritmaları arasında VoxelCloud Retina ve AIDRSscreening gibi önemli modeller de bulunmaktadır. VoxelCloud Retina algoritması, %83,3 duyarlılık ve %92,5 özgüllük değerleri ile referans standartlara göre değerlendirildiğinde oldukça etkili bir sonuç sunmaktadır (Y. Zhang vd., 2020) AIDRSscreening sistemi, Çin Gıda ve İlaç Kontrol Ulusal Enstitüleri'nden sertifika almış olan ilk YZ tabanlı DR tarama sistemidir. AIDRSscreening sistemi ise %86,72 duyarlılık ve %96,09 özgüllük değerleri ile dikkat çekmektedir. Bu algoritmalar, farklı hasta popülasyonları ve veri setleri üzerinde test edilerek klinik uygulamalarda güvenilirliklerini kanıtlamışlardır. Genel olarak bu algoritmaların çoğu, oftalmolog değerlendirmeleri ile karşılaştırıldığında %85'in üzerinde duyarlılık ve özgüllük değerleri sunarak DR teşhis ve sınıflandırmasında etkili bir alternatif oluşturmaktadır (Y. Zhang vd., 2020).

Araştırma kapsamında, Türkiye'de DR fayda değerlerinin evrelere göre belirlenmiş olması, araştırmada elde edilen önemli bulgulardan bir diğeri olarak öne çıkmaktadır. Araştırmanın EQ-5D-5L ölçme aracı ile elde edilen fayda değerleri incelendiğinde No DR evresindeki hastaların ortalama QALY değeri 0,91, hafif NPDR evresindeki hastaların ortalama QALY değeri 0,85, orta NPDR evresindekilerin ortalama QALY değeri 0,77 ve VTDR evresindeki hastaların ortalama QALY değeri ise 0,60 olarak belirlenmiştir.

Literatürde EQ-5D-5L ölçme aracı ile elde edilen DR fayda değerleri incelendiğinde araştırma sonuçları ile benzer şekilde DR ilerledikçe fayda

değerlerinin azaldığı görülmektedir. Pongsachareonnont vd. (2024)'nin yaptıkları çalışmada, No DR evresi 0,76, hafif NPDR evresi 0,70, orta NPDR evresi 0,70, şiddetli (severe) evre ise 0,66 fayda değeri sağlamıştır (Pongsachareonnont vd., 2024). Polack vd. (2015)'nin Hindistan'daki DR hastalarının yaşam kalitesini değerlendirmek amacıyla gerçekleştirdikleri çalışmada, bu hastalığın farklı evrelerine yönelik fayda değerlerini belirlemek için EQ-5D ölçme aracı kullanılmıştır. Elde edilen bulgulara göre, DR olmayan bireylerin ortalama fayda değeri 0,80 iken, hafif/orta NPDR evresindeki hastalar için bu değer 0,74, görmeyi tehdit eden DR için 0,66 olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlar, DR'nin ilerlemesiyle birlikte yaşam kalitesinin önemli ölçüde azaldığını göstermekte ve erken tarama programlarının önemini vurgulamaktadır (Polack vd., 2015). Brezilya'daki DR ile ilişkili sağlık fayda değerlerini evrelere göre belirlemek amacıyla gerçekleştirilen çalışmada, Tip 2 diyabetli hastalar üzerinde EQ-5D ölçme aracı kullanılmıştır. Ayarlanmış ortalama fayda değeri DR olmayan hastalarda 0,748, görmeyi tehdit etmeyen evrede 0,752, görmeyi tehdit eden evrede 0,628 ve iki gözde körlüğü olan hastalarda 0,355 olarak tespit edilmiştir (Ben, vd., 2020). DR'nin farklı evrelerindeki fayda değerlerini inceleyen bir diğer çalışmada, DR'si olmayan hastalar için fayda değeri 0,94 olarak belirlenmiştir. Hafif NPDR evresindeki hastaların fayda değeri 0,87, orta NPDR evresindeki hastaların fayda değeri de 0,87 olarak tespit edilirken görmeyi tehdit eden DR (VTDR) evresindeki hastaların fayda değeri ise 0,83 olarak saptanmıştır. Bu bulgular, araştırma sonuçları ile benzer şekilde DR'nin ilerleyen evrelerinde hastaların yaşam kalitesinde azalma olduğunu göstermektedir (Rachapelle vd., 2013).

Bu araştırma kapsamında, DR hastalarının yaşam kalitesini değerlendirmek amacıyla fayda değerleri sunulmuştur. Çalışma, aynı zamanda Türkiye'de geliştirilen bir YZ sisteminin DR tanısındaki performansını da değerlendirmiştir. Bu kapsamda söz konusu YZ sisteminin DR tespitindeki başarısı göz doktorları tarafından yapılan değerlendirmeler temel alınarak incelenmiştir. YZ sisteminin sağladığı yüksek duyarlılık ve özgüllük ile teknolojilerinde YZ uygulamalarının sağlık hizmetleri kullanılabileceğini göstermektedir. Bununla birlikte bu araştırma, EyeCheckup YZ yöntemi ile klasik yöntemin Markov modeline dayalı bir maliyet

etkililik analizini gerçekleştirerek sağlık hizmetlerinde YZ teknolojilerinin kullanımının ekonomik değerlendirmesini bilindiği kadarıyla ilk kez ortaya koymaktadır. Bu güçlü yönler, DR tanısında YZ uygulamalarının hem klinik hem de ekonomik açıdan sağladığı faydaları vurgulamakta ve sağlık teknolojilerinin ekonomide ciddi bir yük oluşturan kronik hastalıkların yarattığı komplikasyonların erken tanı ve tedavisine yönelik sağlık hizmetleri stratejilerinin geliştirilmesine katkıda bulunmaktadır. Bu çalışma sonuçlarının, gelecekte DR tespit etmede YZ teknolojilerinin kullanılması yönünde sağlık yöneticileri ve sağlıkta politika belirleyiciler için farkındalık artışı sağlaması arzu edilmektedir. Bu çalışma sonucunda elde edilen deneysel bulgulardan yola çıkılarak YZ teknolojilerinin DR tanı ve tedavi süreçlerine daha etkin entegrasyonu sayesinde başta diyabet olmak üzere kronik hastalıklarla daha etkin mücadele etmek mümkün olabilecektir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

YZ teknolojilerinin sağlık hizmetlerinde kullanımı, sağlık ekonomisinin etkinliğini artırma potansiyeli taşıırken bu teknolojilerin ekonomik değerlendirmesi sağlık sistemlerinin sürdürülebilirliği ve verimliliği açısından kritik bir öneme sahiptir. Bu araştırmada, DR'ye tanı koymada ve DR'yi sınıflandırmada YZ yöntemi ile klasik yöntemin maliyet etkililik açısından karşılaştırılması amaçlanmıştır. YZ yazılımının DR tanı ve sınıflandırma konusundaki performansını değerlendirmek de bu araştırmanın önemli bir boyutunu teşkil etmektedir.

Araştırma, Ankara Etlik Şehir Hastanesi Göz Hastalıkları Polikliniği'nde gerçekleştirilmiştir. Veri toplama işlemi, üç temel yaklaşım ile yürütülmüştür. İlk olarak hastaların yaşam kalitesi, sosyodemografik özellikleri ve sağlık durumları ile ilgili bilgiler Ek 3'te yer alan anket soru formu kullanılarak elde edilmiştir. Anket formu, araştırmaya katılmayı kabul eden hastalara telefonla uygulanmıştır. İkinci olarak doğrudan maliyet verilerini hesaplamak için geri ödeme kurumu perspektifinden hasta maliyet verileri ile doğrudan işçilik maliyetleri bir arada değerlendirilmiştir. Geri ödeme kurumu perspektifinden hasta maliyet verileri, hastaların faturalama biriminden elde edilen ayrıntılı fatura dökümleri kullanılarak Sağlık Uygulama Tebliği (SUT) çerçevesinde hesaplanmıştır. Doğrudan işçilik maliyetlerini oluşturan sağlık personeli maliyetleri ise zamana dayalı faaliyet tabanlı maliyetleme yöntemi ile hesaplanmıştır. Üçüncü olarak YZ'nin DR'ye tanı koyma ve sınıflandırma performansını değerlendirmek amacıyla hastanenin veri tabanından fundus görüntü verileri elde edilmiştir.

Araştırmaya katılan toplam 113 diyabet hastası, dört farklı evrede yer almaktadır: 25 kişi No DR, 25 kişi Hafif NPDR, 32 kişi Orta NPDR ve 31 kişi VTDR evresindedir. Araştırmaya katılan kişilerin sosyodemografik bulguları değerlendirildiğinde, katılımcıların yaş ortalaması yaklaşık 60 olup bu bireyler arasında 51-64 yaş aralığındaki kişilerin %46,90 ile en yüksek grubu oluşturduğu görülmüştür. Araştırmada, cinsiyet dağılımında erkeklerin payının (%56,64) daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Eğitim durumu açısından katılımcıların %53,98'i

ilkokul mezunu, %5,31'i okuryazar değil ve %7,96'sı yükseköğrenim görmüştür. Gelir düzeyi açısından incelendiğinde katılımcıların %44,25'inin gelirinin 5.501-10.000 TL aralığında olduğu tespit edilmiştir. Çalışma durumu verilerine göre, katılımcıların %77,88'inin çalışmadığı gözlemlenmiştir. Katılımcıların %25,66'sı sigara kullanırken %8,85'i alkol tüketmektedir. Bunun yanı sıra katılımcıların %39,82'sinin diyabetle geçirdiği sürenin 11-22 yıl aralığında olduğu belirlenmiştir. Katılımcıların %72,57'si diyabet ile birlikte başka bir kronik hastalığa sahiptir. Diyabetle birlikte en sık görülen hastalıkların kardiyovasküler hastalıklar olduğu saptanmıştır. Bu grupta tansiyon, kalp hastalıkları ve kolesterol yüksekliğinin öne çıktığı gözlemlenmiştir.

Araştırmanın dört farklı evresinde yer alan katılımcılara EQ-5D-5L anketi uygulanarak etkililik değerleri elde edilmiştir. Türkiye'ye özgü yaşam kalitesi ağırlıkları olmadığından, Almanya'ya ait ağırlıklar kullanılarak QALY değerleri hesaplanmıştır. Araştırmanın QALY değerlerine göre, No DR evresindeki hastaların ortalama QALY değeri 0,91 olarak bulunmuştur. Hafif NPDR evresindeki hastaların ortalama yaşam kalitesi 0,85 olarak belirlenmiştir. Orta NPDR evresinde bu değer 0,77'ye düşerken VTDR evresinde ortalama QALY değeri 0,60'a gerilediği gözlemlenmiştir. Bu bulgular, hastalığın ilerlemesiyle yaşam kalitesinin azaldığını göstermektedir. Bu çalışma, diyabetik retinopatinin evrelerine göre fayda değerlerini hesaplayan bilindiği kadarıyla Türkiye'deki ilk çalışma olma özelliğiyle literatüre önemli ve değerli bir katkı sunmaktadır.

Araştırmada geri ödeme kurumu perspektifiyle hizmet başına ödeme yöntemi kullanılarak oftalmolog ve YZ yöntemleri için tanı ve tedavi maliyetleri hesaplanmıştır. Her evre için maliyetler ayrı ayrı hesaplanmış ve VTDR evresinin toplam maliyetler içerisinde en yüksek payı (%89) oluşturduğu gözlemlenmiştir. Bu evrede, vitrektomi ameliyatının maliyetinin yüksek olması belirleyici bir faktördür. VTDR için toplam maliyet oftalmolog yönteminde 38.717,30 TL iken YZ yönteminde 38.692,43 TL olarak hesaplanmıştır. Orta NPDR evresinde maliyetler, No DR ve Hafif NPDR evrelerine göre daha yüksek olmakla birlikte oftalmolog yöntemi için 3.189,03 TL, YZ yöntemi için 3.170,38 TL olarak tespit

edilmiştir. Bu evrede ilaç ve fluorescein fundus anjiografi gibi maliyetli işlemler ön plana çıkmaktadır. No DR ve Hafif NPDR evrelerinde ise maliyetler daha düşüktür. Her iki evrede toplam maliyet oftalmolog için 720,02 TL, YZ için 707,59 TL olarak bulunmuştur. Bu evrelerde göz muayenesi, fundus fotoğrafı, OCT ve takip muayenesi gibi temel işlemler yer almaktadır. Araştırma kapsamında, geri ödeme kurumu perspektifinden doğrudan toplam maliyetler oftalmolog için 43.346,37 TL, YZ için ise 43.277,99 TL olarak hesaplanmıştır. Bu sonuç, YZ'nin maliyetinin oftalmolog maliyetinden daha az olduğunu göstermektedir.

Direkt işçilik maliyetlerini oluşturan sağlık personeli maliyetleri, zamana dayalı faaliyet tabanlı maliyetleme yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. Oftalmolog yönteminin toplam personel maliyeti 291,71 TL iken, YZ ile yapılan işlemlerin toplam personel maliyeti 237,67 TL olarak belirlenmiştir. Bu durumda, YZ kullanımının maliyet açısından daha avantajlı olduğu görülmektedir. Oftalmolog yönteminde göz bebeğini büyütmek için hemşirenin damla uygulaması nedeniyle ek bir maliyet oluşurken YZ yönteminde bu aşamaya ihtiyaç duyulmamıştır. DR'ye tanı koymada, iki yöntem arasında oluşan personel maliyeti farkı 54,04 TL'dir. Bu durum, YZ yönteminin, oftalmolog yöntemine göre daha düşük personel maliyetlerine sahip olduğunu göstermektedir.

YZ ve oftalmolog yöntemlerinin toplam maliyetleri geri ödeme kurumu perspektifinden hizmet başına ödeme yöntemiyle hesaplanan doğrudan maliyetler ve zamana dayalı faaliyet tabanlı maliyetleme yöntemi kullanılarak belirlenen sağlık personeli maliyetlerinin toplamından oluşmaktadır. No DR ve hafif NPDR evrelerinde, oftalmolog yönteminin maliyeti 1011,73 TL, YZ yönteminin maliyeti ise 945,26 TL olarak belirlenmiştir. Orta NPDR evresinde, oftalmolog yöntemin maliyeti 3480,74 TL iken YZ'nin yönteminin maliyeti 3408,05 TL bulunmuştur. En yüksek maliyet, VTDR evresinde ortaya çıkmakta olup oftalmolog yönteminin maliyeti 39.009 TL, YZ'nin yönteminin maliyeti ise 38.930,10 TL olarak tespit edilmiştir. DR evrelerine göre yapılan maliyet bulgularında, oftalmolog ve YZ yöntemleri arasında belirgin farklılıklar gözlemlenmiştir. Toplam maliyetler incelendiğinde, oftalmolog tarafından

belirlenen maliyet 44.513,20 TL iken YZ tarafından hesaplanan maliyet 44.228,68 TL olarak tespit edilmiştir. Bu iki yöntem arasındaki maliyet farkı ise 284,52 TL olarak belirlenmiştir. Bu araştırma, DR tanı koyma süreçlerinde YZ yönteminin oftalmolog yöntemine göre daha düşük toplam maliyetlere sahip olduğunu göstermektedir. Ayrıca bu çalışma, DR tanı koyma ve gelecekte oluşabilecek tedavi durumlarına göre maliyetleri belirleyen ilk çalışma olma özelliğini taşımaktadır.

Araştırmada, EyeCheckup YZ yazılımının DR tanı ve sınıflandırma konusundaki performansı detaylı bir şekilde ele alınmıştır. Toplamda 275 hastadan elde edilen 547 fundus görüntüsü üzerinden gerçekleştirilen değerlendirmelerde modelin performansına dair bulgular göz düzeyinde sunulmuştur. Göz düzeyindeki analizler sonucunda modelin genel doğruluğu %91,22 olarak belirlenmiştir. Ayrıca Kappa değeri 0,8628 olarak hesaplanmış, bu da modelin tahminlerinin gerçek sınıflarla mükemmel bir uyum sağladığını göstermektedir. Evrelere göre duyarlılık ve özgüllük açısından bakıldığında duyarlılık %78 ve üzerinde, özgüllük ise %88 ve üzerinde bir performans sergilemiştir. Modelin ortalama duyarlılığı %90,58 ile pozitif durumları iyi bir şekilde tespit ettiğini ortaya koyarken ortalama özgüllüğü %96,07 ile negatif durumları yüksek doğrulukla tanımladığını göstermiştir. Bu durum, modelin genel olarak güvenilir bir tanı aracı olduğunu vurgulamaktadır. Tahmin değer sonuçları incelendiğinde No DR evresi için pozitif tahmin değeri 1,0000, Hafif NPDR için 0,8889, Orta NPDR için 0,8904 ve VTDR için 0,9510 olarak bulunmuştur. Negatif tahmin değerleri ise No DR için 0,9959, Hafif NPDR için 0,9847, Orta NPDR için 0,9512 ve VTDR için 0,9393 olarak hesaplanmıştır. Genel olarak araştırma sonuçları, EyeCheckup YZ yazılımının göz düzeyinde DR'ye tanı koymada başarılı bir performans sunduğunu göstermektedir.

Markov modeli kullanılarak DR tanısının maliyet etkililiğine ilişkin yapılan bu araştırmada, DR hastalığının ilerleyişini modellemek ve simülasyonları gerçekleştirmek amacıyla yıllık döngüler kullanılmış ve 40 yıllık döngü boyunca model simüle edilmiştir. Bu çalışmada, modelleme aşamasında Markov

modelinin sunumu Monte Carlo simülasyon yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada Markov model, hastaların hipotetik bir kohort grubundan geldiği varsayımına dayanırken olasılıksal duyarlılık analizi için Monte Carlo simülasyonu ile 1000 tekrar örnek alınarak belirsiz parametrelerin model üzerindeki etkisi gözlemlenmiştir. Duyarlılık analizi öncesinde belirlenen Markov model girdi parametrelerinin dağılımları sabit kalırken maliyet parametreleri için Gamma ve GB2 dağılım olmak üzere iki farklı dağılım türü kullanılarak iki farklı model oluşturulmuştur. Gamma dağılımında, YZ tanı yönteminin maliyeti 105.604 TL iken, oftalmolog yönteminin maliyeti 107.642 TL'dir. YZ tanı yönteminin etkililiği (QALY) 13,812 olarak belirlenirken oftalmolog yönteminin etkililiği (QALY) 13,796 olarak tespit edilmiştir. GB2 dağılımında, YZ tanı yönteminin maliyeti 105.166 TL iken oftalmolog yönteminin maliyeti 106.121 TL'dir. YZ tanı yönteminin etkililiği (QALY) 13,812 olarak belirlenirken oftalmolog yönteminin etkililiği (QALY) 13,794 olarak tespit edilmiştir.

Araştırmanın temel analiz sonuçları YZ tanı yönteminin QALY başına maliyetleri azalttığını göstermiştir. Gamma dağılımı için belirlenen -131.880 TL ve GB2 dağılımı için -54.687 TL'lik İMEO değerleri, YZ yönteminin oftalmolog yöntemine kıyasla QALY başına maliyetleri ne kadar azalttığını açıkça ortaya koymaktadır. Bu negatif İMEO değerleri, YZ tanı yönteminin daha az maliyetle daha fazla sağlık yararı sağladığını ve dolayısıyla sağlık hizmetleri sunumunda daha maliyet etkili bir alternatif olduğunu göstermiştir. İMEO değeri, Türkiye'de kişi başına düşen Gayri Safi Yurtiçi Hasıla (GSYİH) olan 311.109 TL'den düşük olduğu için maliyet etkili bir strateji olarak belirlenmiştir. Ayrıca modelden elde edilen İMEO değeri, Pichon-Riviere vd. (2023)'nin Türkiye için belirlediği eşik değerin (134.354 TL) altında kalmıştır. Bu durum da YZ yönteminin maliyet etkili olduğunu göstermektedir. Araştırma sonucunda elde edilen INMB değerlerinin GSYİH ve sağlık harcamalarına göre belirlenen eşik değerler için pozitif sonuçlar göstermesi YZ yönteminin maliyet etkililiğini desteklemektedir. Bu sonuçlar, sağlık politikaları ve uygulamaları açısından YZ yönteminin benimsenmesini destekleyen önemli bir bulgudur.

Tek yönlü duyarlılık analizi ile araştırmada kullanılan girdi parametrelerindeki sapmaların sonuçlar üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir. Modelin çıktıları üzerinde en fazla etkiye sahip olan parametrelerden biri VTDR evresinde YZ'nin tanı koyma maliyeti, diğeri ise aynı evrede oftalmolog tarafından tanı koyma maliyeti olduğu gözlemlenmiştir.

Girdi parametrelerindeki belirsizliklerin çıktı sonuçları üzerindeki etkisini incelemek amacıyla gerçekleştirilen olasılıksal duyarlılık analizi, Monte Carlo Simülasyonu kullanılarak yapılmıştır. Bu analiz, ilave maliyet ile ilave etkililik arasındaki ilişkiyi ortaya koyan grafiklerle desteklenmiştir. Grafikler sunulurken GB2 dağılım modelinin sonuçlarına göre oluşturulmuştur. Elde edilen sonuçlar, YZ ile tanı koymanın maliyetlerde hasta başına ortalama 955 TL azalma sağladığını ve kazanılan QALY değerinin 0,0175 olduğunu göstermiştir. Bu bulgular, YZ'nin maliyet etkililiği açısından oftalmolog yöntemine kıyasla daha avantajlı olduğunu ortaya koymaktadır.

YZ'nin maliyet etkili olma olasılığını görsel olarak sunan Maliyet Etkililik Kabul Edilebilirlik Eğrisi (CEAC) iki farklı yaklaşım kullanılarak oluşturulmuştur: İMEO ile oluşturulan CEAC grafiğinde 50.000 TL ödeme istekliliğinde YZ'nin maliyet etkili olma olasılığı %85, 300.000 TL'de ise %97'dir. Bu durum YZ'nin düşük maliyet eşiklerinde bile etkililiği sağlama potansiyelini göstermektedir. INMB ile oluşturulan CEAC grafiğinde ise YZ, düşük ödeme istekliliği eşğinde yüksek maliyet etkililik gösterirken ödeme istekliliği arttıkça belirsizlik de artmaktadır. Belirli bir eşik sonrası YZ ve diğer yöntemlerin maliyet etkili olma olasılıkları benzer şekilde yaklaşık 0.5'e düşmektedir.

YZ ve oftalmolog yöntemlerinin maliyet ve etkilerinin bütçe üzerindeki etkisini değerlendirmek amacıyla yapılan tahmini bütçe yükü analiz sonuçları, Türkiye'deki diyabet prevalansının gelecekte de artış göstermesi durumunda bu artışın sağlık bütçesi üzerinde önemli bir yük oluşturacağını ortaya koymaktadır. YZ yöntemi oftalmolog yöntemine göre 2024 yılında bütçe üzerinde 6.976.871.802 TL maliyet avantajı sunarken 2045 yılında bu avantaj

10.351.967.401 artış göstererek önemli bir tasarruf sağlamaktadır. Araştırma sonuçları, YZ yönteminin oftalmolog yöntemine kıyasla daha düşük maliyetlerle daha etkili sonuçlar sunduğunu ve dolayısıyla maliyet etkililik açısından üstün olduğunu ortaya koymaktadır.

YZ yöntemi hastalıklara tanı koyma sürecinde ve sağlık hizmetlerinin kullanımında önemli bir alternatif olarak öne çıkmaktadır. YZ ile tanı koyma yönteminin maliyetlerin düşürülmesi ve sağlık hizmetlerinin etkinliğinin artırılması açısından sağladığı avantajlar sağlık politikalarının şekillendirilmesinde dikkate alınmalıdır.

YZ'nin sağlayacağı avantajlar ile gelecekteki çalışmalar ve sağlıkta politika belirleyicileri için aşağıda bazı öneriler sunulmuştur.

Yapay Zekânın Diyabetik Retinopatiye Tanı Koymada Sağlayacağı Avantajlar:

- YZ, erken tanı ve tedavi ile ilerleyen aşamalarda ortaya çıkabilecek yüksek maliyetli tedavi süreçlerini önleyerek sağlık sisteminin maliyetlerini düşürebilir. Bu durum hem bireyler hem de sağlık sigortası sistemleri için ekonomik fayda sağlayacaktır.
- YZ'nin patoloji tespit etmediği hastaların daha basit muayenelerle değerlendirilmesi, klinik yoğunluğun azalmasına yardımcı olabilir. Normal bireyler ile hasta bireyler arasındaki farkı başarılı bir şekilde tespit eden YZ poliklinik hizmetlerindeki yükü azaltarak göz hekimlerinin daha fazla hastaya hizmet vermesine olanak tanıyacaktır.
- Dilatasyon, göz bebeğinin genişletilmesi işlemidir. YZ teknolojisi sayesinde dilatasyona gerek kalmadan geniş açılı fundus fotoğrafları ile retina

muayenesi yapılması hastaların konforunu artırarak sağlık hizmetlerinin etkililiğini ve verimliliğini yükseltecektir.

- Göz hekimleri, tetkik raporları ve geniş açılı fundus fotoğraflarını inceleyerek retina muayenesini daha hızlı tamamlayabilecektir. Bu durum hasta memnuniyetini artırırken bekleme sürelerini azaltarak sağlık kuruluşlarının verimliliğini etkileyecektir.
- Retina hastalıklarının triyajı, YZ desteği ile poliklinikte yapılacak ve yalnızca müdahale gerektiren hastalar retina kliniğine sevk edilecektir. Trijaj uygulamaları sayesinde retina kliniğindeki randevu doluluk oranı azaltılacaktır.
- YZ temelli DR tarama programlarının yaygınlaşması sayesinde toplumda diyabet ve DR hakkında farkındalık artacaktır. Bu durum, bireylerin kronik hastalıklar ve bu hastalıkların komplikasyonları konusunda bilgi sahibi olmalarını sağlayarak hastalıklarını daha iyi yönetmelerine ve düzenli kontroller yaptırmalarına teşvik edebilecektir.
- Geniş çaplı tarama programları, toplumda hastaların DR geliştirme riskini azaltabilir. Bu durum hem bireylerin yaşam kalitesini artırır hem de sağlık sistemine olan yükü azaltır.
- Erken evre DR ve Yaşa Bağlı Makula Dejenerasyonu (YBMD) hastalarının takip kararları YZ ile göz muayene randevusu almadan belirlenebilir.
- Fundus fotoğrafları ile takip edilen hastaların gelişimi izlenerek YZ destekli analizler sayesinde otomatik ölçümler yapılarak tedavi zamanı gelen hastalar zamanında göz doktoruna yönlendirilebilir.

- Göz doktorunun olmadığı bölgelerde taşınabilir fundus fotoğraf cihazları ile YZ destekli göz taramaları yapılabilir. Bu sayede uzak ve kırsal alanlardaki hastalar da taranarak daha nitelikli sağlık hizmetlerine erişimin sınırlı olduğu dezavantajlı bölgelerde DR prevalansı azaltılabilir.

Gelecek Çalışmalar İçin Öneriler

- Türkiye için DR'nin evrelere göre geçiş olasılığı hesaplanabilir. Türkiye'deki DR durumu üzerine kapsamlı bir çalışma yürütülerek farklı evreler arasındaki geçiş olasılıklarının belirlenmesi sağlık ekonomisi açısından önem taşımaktadır. Bu veriler, maliyet etkililik analizlerinde kritik bir rol oynayarak tedavi stratejilerinin etkinliğini değerlendirmeye ve daha gerçekçi sonuçlar üretmeye yardımcı olacaktır.
- Türkiye'deki DR prevalansına dair güncel ve kapsamlı çalışmalar yapılabilir. Bu çalışmalar sağlık politikalarının geliştirilmesi ve maliyet etkililik analizlerinin güvenilirliği açısından büyük önem taşımaktadır.
- Türkiye'de körlük için fayda değeri hesaplanabilir. Türkiye'de körlük ve görme kaybı ile ilgili fayda değerleri sağlık ekonomisi değerlendirmelerinde önemli bir bileşen olarak öne çıkmaktadır
- EQ-5D-5L ölçme aracında Türkiye için sağlık durumu katsayıları hesaplanabilir. Başka ülkelerin katsayılarının kullanılması sonuçlar üzerinde sapmalara neden olabileceğinden Türkiye için bu katsayıların belirlenmesi önem arz etmektedir.
- YZ uygulamalarının sağlık yönetimi ve ekonomisi açısından uzun vadeli etkilerini değerlendiren çalışmalar yapılabilir. Bu çalışmalar, YZ teknolojilerinin sağlık yönetimi ve ekonomisi perspektifinden sağladığı yararları anlamak, sağlık sonuçları üzerindeki etkilerini görmek ve sağlık

bilişimi uygulamalarının sağlık yönetimi ve ekonomisi perspektifinden değerlendirmek için vazgeçilmezdir.

- YZ tanı yöntemlerinin farklı sosyodemografik gruplar üzerindeki etkilerini inceleyen çalışmalar yapılabilir. Özellikle yaş, cinsiyet, sosyoekonomik durum gibi sosyodemografik faktörlerin yanı sıra kırsal ve kentsel bölgelerdeki farklılıkların etkileri de incelenebilir.
- YZ teknolojilerinin diğer kronik hastalıkların tanı ve tedavisindeki maliyet etkililiği üzerine de çalışmalar yapılabilir.
- YZ tanı yöntemlerinin klinik ortamlarda uygulanabilirliğini test eden pilot projeler geliştirilmesi sağlanabilir.
- Tedavi edilmesi gereken kişi sayısı (Number Needed to Treat -NNT), bir hastalığın veya olumsuz bir sonucun bir kez gerçekleşmesini önlemek amacıyla tedavi edilmesi gereken kişi sayısını ifade etmektedir (Mt-İsa vd., 2011). Gelecek araştırmalarda NNT değeri hesaplanabilir.

Sağlıkta Politika Yapıcılar İçin Öneriler:

- YZ sistemlerinin, hastaların ön tanı ve triyaj süreçlerinde hastanelerde etkin bir şekilde kullanılması teşvik edilebilir.
- Sağlık sisteminde YZ uygulamalarının yaygınlaştırılması ve entegrasyonunu teşvik etmek için finansal destek ve teşvikler sağlanabilir. Sağlık sistemleri, YZ tabanlı tarama ve teşhis sistemlerine yatırım yaparak sağlık hizmetlerinin kalitesini artırabilir.
- Sağlık profesyonelleri için YZ teknolojileri hakkında eğitim programları düzenlenebilir ve bu teknolojilerin faydaları konusunda farkındalık artırılabilir.

- DR, YBMD ve Glokom hastalıklarının aile hekimleri veya hastanelerde randevusuz ve dilatasyonsuz olarak taranması için YZ uygulamaları önerilmektedir. Bu durum erken tanı ve tedavi süreçlerini hızlandırarak görme kaybını önleyecektir.
- Politika geliştiriciler DR için ulusal tarama programları başlatarak risk altındaki bireylerin düzenli olarak taranmasını teşvik edebilir.
- YZ uygulamalarının güvenli ve etkili bir şekilde kullanılabilmesi için gerekli regülasyonlar ve standartlar oluşturulması sağlanabilir. Sağlık kurumları arasında veri paylaşımını teşvik eden iş birlikleri kurularak YZ uygulamalarının etkinliği artırılabilir.
- YZ uygulamalarının sağlık sonuçları üzerindeki etkilerini izlemek için sistematik bir değerlendirme mekanizması kurulabilir.

Yukarıda bahsedilen bu öneriler, Türkiye gibi sağlık teknolojilerinin kullanımı konusunda son yıllarda ciddi gelişmeler kaydeden ancak artan yaşlı nüfus ve kaynak kısıtlılığı gibi sorunlarla karşılaşan gelişmekte olan ülkelerde; YZ uygulamalarının sağlık sektöründeki potansiyelini en üst düzeye çıkarmak, ekonomik olarak ciddi bir yük oluşturan kronik hastalıkların neden olduğu komplikasyonların erken tanı ve tedavisini sağlamak, dezavantajlı kırsal bölgelerde nitelikli sağlık hizmetlerine erişim sorunları yaşayan hastaların erken tanı ve sağlığa erişim imkanlarını kolaylaştırmak, sağlıkta bilişim teknolojilerinin kullanımının sağlık yönetimi ve ekonomisi açısından sağlayacağı faydaları rasyonel şekilde ortaya koymak ve uzun vadede sağlık hizmetlerinin kalitesini yükseltmek için vazgeçilmezdir.

KAYNAKÇA

- Aamir, A., Iqbal, A., Jawed, F., Ashfaq, F., Hafsa, H., Anas, Z., Oduoye, M. O., Basit, A., Ahmed, S., Rauf, S. A., Khan, M., & Mansoor, T. (2024). Exploring the current and prospective role of artificial intelligence in disease diagnosis. *Annals of Medicine and Surgery*, 86(2), 949. <https://doi.org/10.1097/MS9.0000000000001700>
- Acan, D., Calan, M., Er, D., Arkan, T., Kocak, N., Bayraktar, F., & Kaynak, S. (2018). The prevalence and systemic risk factors of diabetic macular edema: a cross-sectional study from Turkey. *BMC ophthalmology*, 18(1), 1-8. <https://doi.org/10.1186/S12886-018-0753-Y>
- AEYE Health. (2024). *AEYE Diagnostic Screening* | AYE Health. <https://www.aeyehealth.com/aeye-diagnostic-screening>
- Afkar, A., Jalilian, H., Pourreza, A., Mir, H., Sigaroudi, A. E., & Heydari, S. (2021). Cost analysis of breast cancer: a comparison between private and public hospitals in Iran. *BMC Health Services Research*, 21(1), 21-219. <https://doi.org/10.1186/S12913-021-06136-6>
- Afroz, A., Alramadan, M. J., Hossain, M. N., Romero, L., Alam, K., Magliano, D. J., & Billah, B. (2018). Cost-of-illness of type 2 diabetes mellitus in low and lower-middle income countries: A systematic review. *BMC Health Services Research*, 18(1), 1-10. <https://doi.org/10.1186/S12913-018-3772-8/FIGURES/2>
- Agırbaş, I. (2020). *Sağlık Kurumlarında Maliyet Yönetimi ve Maliyetleme*. Siyasal Kitapevi.
- Ağca, K., & Takcı, H. (2022). Hibrit Bir Model Oluşturarak Diyabetik Retinopati Sınıflandırılması. *European Journal of Science and Technology Special Issue*, 36, 227-236. <https://doi.org/10.31590/ejosat.1112980>
- Ahsan, M. M., Luna, S. A., & Siddique, Z. (2022). Machine-Learning-Based Disease Diagnosis: A Comprehensive Review. *Healthcare*, 10(3), 541. <https://doi.org/10.3390/HEALTHCARE10030541>
- Akalın, B., & Veranyurt, Ü. (2020). Sağlıkta Dijitalleşme ve Yapay Zekâ. *SDÜ Sağlık Yönetimi Dergisi*, 2(2), 128-137. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/sdusyd/issue/60581/842035>

- Akpınar, A., & Salış, O. (2012). Alkol Bağımlılığında Glukoz Düzeyi Değerlendirmesi Önemli midir? *Süleyman Demirel Üniversitesi Tıp Fakültesi Dergisi*, 19(2), 51-54. <https://doi.org/10.17343/SDUTFD.91124>
- Al, M. J. (2013). Cost-effectiveness acceptability curves revisited. *PharmacoEconomics*, 31(2), 93-100. <https://doi.org/10.1007/S40273-012-0011-8/FIGURES/4>
- Ali, G., Dastgir, A., Iqbal, M. W., Anwar, M., & Faheem, M. (2023). A Hybrid Convolutional Neural Network Model for Automatic Diabetic Retinopathy Classification From Fundus Images. *IEEE Journal of Translational Engineering in Health and Medicine*, 11, 341-350. <https://doi.org/10.1109/JTEHM.2023.3282104>
- Alowais, S. A., Alghamdi, S. S., Alsuhebany, N., Alqahtani, T., Alshaya, A. I., Almohareb, S. N., Aldairem, A., Alrashed, M., Bin Saleh, K., Badreldin, H. A., Al Yami, M. S., Al Harbi, S., & Albekairy, A. M. (2023). Revolutionizing healthcare: the role of artificial intelligence in clinical practice. *BMC Medical Education* 2023 23:1, 23(1), 1-15. <https://doi.org/10.1186/S12909-023-04698-Z>
- Alves, R. J. V., Etges, A. P. B. da S., Neto, G. B., & Polanczyk, C. A. (2018). Activity-Based Costing and Time-Driven Activity-Based Costing for Assessing the Costs of Cancer Prevention, Diagnosis, and Treatment: A Systematic Review of the Literature. *Value in Health Regional Issues*, 17, 142-147. <https://doi.org/10.1016/J.VHRI.2018.06.001>
- Alzubaidi, L., Zhang, J., Humaidi, A. J., Al-Dujaili, A., Duan, Y., Al-Shamma, O., Santamaría, J., Fadhel, M. A., Al-Amidie, M., & Farhan, L. (2021). Review of deep learning: concepts, CNN architectures, challenges, applications, future directions. *Journal of Big Data* 2021 8:1, 8(1), 1-74. <https://doi.org/10.1186/S40537-021-00444-8>
- American Diabetes Association. (2019). 2. Classification and Diagnosis of Diabetes: Standards of Medical Care in Diabetes—2019. *Diabetes Care*, 42(Supplement_1), S13-S28. <https://doi.org/10.2337/DC19-S002>

- Amjad, A., Kordel, P., & Fernandes, G. (2023). A Review on Innovation in Healthcare Sector (Telehealth) through Artificial Intelligence. *Sustainability* 2023, Vol. 15, Page 6655, 15(8), 6655. <https://doi.org/10.3390/SU15086655>
- Amorim, M. S., Sobrinho, S. C., Cavalcanti, M. C. S. M., Motta, A. L., Gadelha, D. N. B., Brandt, C. T., Amorim, M. S., Sobrinho, S. C., Cavalcanti, M. C. S. M., Motta, A. L., Gadelha, D. N. B., & Brandt, C. T. (2021). Screening of Diabetic Retinopathy in Patients with Type 2 Diabetes in a Community of the Paraíba Semi-Arid Using Original Score. *Open Journal of Ophthalmology*, 11(1), 1-17. <https://doi.org/10.4236/OJOPH.2020.111001>
- Anders, B., Ommen, O., Pfaff, H., Lungen, M., Lefering, R., Thüm, S., & Janssen, C. (2013). Direct, indirect, and intangible costs after severe trauma up to occupational reintegration – an empirical analysis of 113 seriously injured patients. *GMS Psycho-Social-Medicine*, 10, 1-15. <https://doi.org/10.3205/PSM000092>
- Antar, S. A., Ashour, N. A., Sharaky, M., Khattab, M., Ashour, N. A., Zaid, R. T., Roh, E. J., Elkamhawy, A., & Al-Karmalawy, A. A. (2023). Diabetes mellitus: Classification, mediators, and complications; A gate to identify potential targets for the development of new effective treatments. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 168, 115734. <https://doi.org/10.1016/J.BIOPHA.2023.115734>
- Arévalo, J. F., Lasave, A. F., Zeballos, D. G., & Bonafonte-Roy, S. (2013). Diabetic Retinopathy. İçinde *Retinal and Choroidal Manifestations of Selected Systemic Diseases*. (ss. 387-416). Springer, New York, NY. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-3646-1_21
- Arslan, D. T. (2020). *Prostat Kanseri Tedavisinde Robotik Ve Açık Radikal Prostatektomi Yöntemlerinin Maliyet Etkililik Analizi* [Doktora Tezi]. Ankara Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü.
- Attema, A. E., Brouwer, W. B. F., & Claxton, K. (2018). Discounting in Economic Evaluations. *Pharmacoeconomics*, 36(7), 758. <https://doi.org/10.1007/S40273-018-0672-Z>
- Bahoo, S., Cucculelli, M., Goga, · Xhoana, & Mondolo, · Jasmine. (2024). Artificial intelligence in Finance: a comprehensive review through bibliometric and

- content analysis. *SN Business & Economics* 2024 4:2, 4(2), 1-46. <https://doi.org/10.1007/S43546-023-00618-X>
- Bahroun, Z., Anane, C., Ahmed, V., & Zacca, A. (2023). Transforming Education: A Comprehensive Review of Generative Artificial Intelligence in Educational Settings through Bibliometric and Content Analysis. *Sustainability* 2023, Vol. 15, Page 12983, 15(17), 12983. <https://doi.org/10.3390/SU151712983>
- Bajwa, J., Munir, U., Nori, A., & Williams, B. (2021). Artificial intelligence in healthcare: transforming the practice of medicine. *Future Healthcare Journal*, 8(2), e188-e194. <https://doi.org/10.7861/FHJ.2021-0095>
- Bal, C. G., Ada, S., & Çelik, A. (2012). Bilişim Sistemleri Başarı Modeli ve Aile Hekimliği Bilişim Sistemleri. *Yönetim ve Ekonomi Dergisi*, 19(1), 35-46. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/yonveek/issue/13696/165757>
- Banday, M. Z., Sameer, A. S., & Nissar, S. (2021). *Pathophysiology of diabetes: An overview*. 174-188. https://doi.org/10.4103/ajm.ajm_53_20
- Bang, H., & Zhao, H. (2014). Cost-Effectiveness Analysis: a proposal of new reporting standards in statistical analysis. *Journal of biopharmaceutical statistics*, 24(2), 460. <https://doi.org/10.1080/10543406.2013.860157>
- Basu, K., Sinha, R., Ong, A., & Basu, T. (2020). Artificial Intelligence: How is It Changing Medical Sciences and Its Future? *Indian Journal of Dermatology*, 65(5), 370. https://doi.org/10.4103/IJD.IJD_421_20
- Bekbolatova, M., Mayer, J., Ong, C. W., & Toma, M. (2024). Transformative Potential of AI in Healthcare: Definitions, Applications, and Navigating the Ethical Landscape and Public Perspectives. *Healthcare* 2024, Vol. 12, Page 125, 12(2), 125. <https://doi.org/10.3390/HEALTHCARE12020125>
- Ben, Â. J., de Souza, C. F., Locatelli, F., Rosses, A. P. O., Szortika, A., de Araujo, A. L., de Carvalho, G., Lavinsky, D., Neyeloff, J. L., & Neumann, C. R. (2020). Health-related quality of life associated with diabetic retinopathy in patients at a public primary care service in southern Brazil. *Archives of Endocrinology and Metabolism*, 64(5), 575. <https://doi.org/10.20945/2359-3997000000223>
- Ben, Â. J., Neyeloff, J. L., de Souza, C. F., Rosses, A. P. O., de Araujo, A. L., Szortika, A., Locatelli, F., de Carvalho, G., & Neumann, C. R. (2020). Cost-utility Analysis of Opportunistic and Systematic Diabetic Retinopathy

- Screening Strategies from the Perspective of the Brazilian Public Healthcare System. *Applied Health Economics and Health Policy*, 18(1), 57-68. <https://doi.org/10.1007/S40258-019-00528-W/FIGURES/4>
- Bhatt, A. (2021). Artificial intelligence in managing clinical trial design and conduct: Man and machine still on the learning curve? *Perspectives in Clinical Research*, 12(1), 3. https://doi.org/10.4103/PICR.PICR_312_20
- Blanco-González, A., Cabezón, A., Seco-González, A., Conde-Torres, D., Antelo-Riveiro, P., Piñeiro, Á., & Garcia-Fandino, R. (2023). The Role of AI in Drug Discovery: Challenges, Opportunities, and Strategies. *Pharmaceuticals*, 16(6), 891. <https://doi.org/10.3390/PH16060891/S1>
- Bohr, A., & Memarzadeh, K. (2020). The rise of artificial intelligence in healthcare applications. *Artificial Intelligence in Healthcare*, 60. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818438-7.00002-2>
- Bonilla, G. S., Rodriguez-Gutierrez, R., & Montori, V. M. (2016). What We Don't Talk About When We Talk About Preventing Type 2 Diabetes-Addressing Socioeconomic Disadvantage. *JAMA internal medicine*, 176(8), 1053-1054. <https://doi.org/10.1001/JAMAINTERNMED.2016.2952>
- Boyd, K. (2024). *Diabetic Retinopathy: Causes, Symptoms, Treatment*. American Academy of Ophthalmology. <https://www.aao.org/eye-health/diseases/what-is-diabetic-retinopathy>
- Briggs, A., Claxton, K., & Sculpher, M. (2006). *Decision modelling for health economic evaluation* (A. Gray & A. Briggs, Ed.). Oxford University Press.
- Briggs, A., & Sculpher, M. (1998). An Introduction to Markov Modelling for Economic Evaluation. *Pharmacoeconomics*, 13(4), 397-409.
- Brimson, J. A. . (1991). *Activity accounting : an activity-based costing approach*. John Wiley and Sons. <https://www.wiley.com/en-ae/Activity+Accounting%3A+An+Activity-Based+Costing+Approach-p-9780471196280>
- Brown, M. M., Brown, G. C., Sharma, S., Kistler, J., & Brown, H. (2001). Utility values associated with blindness in an adult population. *The British journal of ophthalmology*, 85(3), 327-331. <https://doi.org/10.1136/BJO.85.3.327>

- Buchanan, B. G. (2019). *Artificial intelligence in finance*.
<https://doi.org/10.5281/zenodo.2612537>
- CDC, C. for D. C. and P. (2022, Aralık 19). *Diabetes and Vision Loss | Diabetes | CDC*. <https://www.cdc.gov/diabetes/managing/diabetes-vision-loss.html>
- Celeghin, A., Borriero, A., Orsenigo, D., Diano, M., Méndez Guerrero, C. A., Perotti, A., Petri, G., & Tamietto, M. (2023). Convolutional neural networks for vision neuroscience: significance, developments, and outstanding issues. *Frontiers in Computational Neuroscience*, 17, 1153572.
<https://doi.org/10.3389/FNCOM.2023.1153572>
- Chai, J., Zeng, H., Li, A., & Ngai, E. W. T. (2021). Deep learning in computer vision: A critical review of emerging techniques and application scenarios. *Machine Learning with Applications*, 6, 100134.
<https://doi.org/10.1016/J.MLWA.2021.100134>
- Challen, R., Denny, J., Pitt, M., Gompels, L., Edwards, T., & Tsaneva-Atanasova, K. (2019). Artificial intelligence, bias and clinical safety. *BMJ quality & safety*, 28(3), 231-237. <https://doi.org/10.1136/BMJQS-2018-008370>
- Chatterji, R., Naylor, J. M., Harris, I. A., Armstrong, E., Davidson, E., Ekmejian, R., & Descallar, J. (2017). An equivalence study: Are patient-completed and telephone interview equivalent modes of administration for the EuroQol survey? *Health and quality of life outcomes*, 15(1), 18.
<https://doi.org/10.1186/S12955-017-0596-X>
- Cheung, P. W. H., Wong, C. K. H., Samartzis, D., Luk, K. D. K., Lam, C. L. K., Cheung, K. M. C., & Cheung, J. P. Y. (2016). Psychometric validation of the EuroQoL 5-Dimension 5-Level (EQ-5D-5L) in Chinese patients with adolescent idiopathic scoliosis. *Scoliosis and Spinal Disorders*, 11(19), 1-12.
<https://doi.org/10.1186/S13013-016-0083-X>
- Cidav, Z., Mandell, D., Pyne, J., Beidas, R., Curran, G., & Marcus, S. (2020). A pragmatic method for costing implementation strategies using time-driven activity-based costing. *Implementation Science* 2020 15:1, 15(1), 1-15.
<https://doi.org/10.1186/S13012-020-00993-1>

- Cohen, D. J., & Reynolds, M. R. (2008). Interpreting the Results of Cost-Effectiveness Studies. *Journal of the American College of Cardiology*, 52(25), 2119-2126. <https://doi.org/10.1016/J.JACC.2008.09.018>
- Columbia, C. U. I. M. C. (2024). *Nonproliferative Diabetic Retinopathy (NPDR)*. <https://www.vagelos.columbia.edu/departments-centers/ophthalmology/education/digital-reference-ophthalmology/vitreous-and-retina/retinal-vascular-diseases/nonproliferative-diabetic-retinopathy-npdr>
- Corcóstegui, B., Durán, S., González-Albarrán, M. O., Hernández, C., Ruiz-Moreno, J. M., Salvador, J., Udaondo, P., & Simó, R. (2017). Update on Diagnosis and Treatment of Diabetic Retinopathy: A Consensus Guideline of the Working Group of Ocular Health (Spanish Society of Diabetes and Spanish Vitreous and Retina Society). *Journal of Ophthalmology*, 2017, 1-9. <https://doi.org/10.1155/2017/8234186>
- Cummins, J. D., Dionne, G., McDonald, J. B., & Pritchett, B. M. (1990). Applications of the GB2 family of distributions in modeling insurance loss processes. *Insurance: Mathematics and Economics*, 9(4), 257-272. [https://doi.org/10.1016/0167-6687\(90\)90003-V](https://doi.org/10.1016/0167-6687(90)90003-V)
- Çalışkan, Z. (2009). Sağlık Hizmetlerinde Önceliklerin Belirlenmesinde Ekonomik Değerlendirme Yöntemi Olarak Maliyet-Etkililik Analizi. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 14(2), 311-332. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/sduibfd/issue/20830/223121>
- Çelik, Y. (2019). *Sağlık Ekonomisi* (4. Baskı). Siyasal Kitabevi.
- Çınar, A. (2019). Veri Madenciliğinde Sınıflandırma Algoritmalarının Performans Değerlendirmesi Ve R Dili İle Bir Uygulama. *Öneri Dergisi*, 14(51), 90-111. <https://doi.org/10.14783/MARUONERI.VI.522168>
- Dayarathna, S., Islam, K. T., Uribe, S., Yang, G., Hayat, M., & Chen, Z. (2024). Deep learning based synthesis of MRI, CT and PET: Review and analysis. *Medical Image Analysis*, 92, 103046. <https://doi.org/10.1016/J.MEDIA.2023.103046>
- de Carlo, T. E., Romano, A., Waheed, N. K., & Duker, J. S. (2015). A review of optical coherence tomography angiography (OCTA). *International Journal of*

- Retina and Vitreous*, 1(1), 1-15. <https://doi.org/10.1186/S40942-015-0005-8/FIGURES/14>
- Deo, N., & Anjankar, A. (2023). Artificial Intelligence With Robotics in Healthcare: A Narrative Review of Its Viability in India. *Cureus*, 15(5), e39416. <https://doi.org/10.7759/CUREUS.39416>
- Deshmukh, A., Chen, A., Sonawane, K. B., & Cantor, S. (2013). The Use Of Dalys And Qalys In Cost-Effectiveness Analysis. *Value in Health*, 16(3), A270. <https://doi.org/10.1016/j.jval.2013.03.1389>
- Doğan, M. E., Bilgin, A. B., Sari, R., Bulut, M., Akar, Y., & Aydemir, M. (2024). Head to head comparison of diagnostic performance of three non-mydratic cameras for diabetic retinopathy screening with artificial intelligence. *Eye*, 38(9), 1694-1701. <https://doi.org/10.1038/s41433-024-03000-9>
- Drummond, M. F., Sculpher, M., Claxton, J. K., Stoddart, G. L., & Torrance, G. W. (2015). *Methods for the Economic Evaluation of Health Care Programmes* (Fourth). Oxford Press.
- Edlin, R., McCabe Claire Hulme, C., & Hall Judy Wright, P. (2015). *Cost Effectiveness Modelling for Health Technology Assessment: C. 1st ed.*
- Eid, S., Sas, K. M., Abcouwer, S. F., Feldman, E. L., Gardner, T. W., Pennathur, S., & Fort, P. E. (2019). New insights into the mechanisms of diabetic complications: role of lipids and lipid metabolism. *Diabetologia*, 62(9), 1539. <https://doi.org/10.1007/S00125-019-4959-1>
- Elsharkawy, M., Sharafeldein, A., Soliman, A., Khalifa, F., Ghazal, M., El-Daydamony, E., Atwan, A., Sandhu, H. S., & El-Baz, A. (2022). A Novel Computer-Aided Diagnostic System for Early Detection of Diabetic Retinopathy Using 3D-OCT Higher-Order Spatial Appearance Model. *Diagnostics* 2022, Vol. 12, Page 461, 12(2), 461. <https://doi.org/10.3390/DIAGNOSTICS12020461>
- E-Nabiz. (2024). *E-Nabız Hakkında*. <https://enabiz.gov.tr/Yardim/Index>
- ETDRS, E. T. D. R. S. R. G. (1991). Grading Diabetic Retinopathy from Stereoscopic Color Fundus Photographs — An Extension of the Modified Airlie House Classification: ETDRS Report Number 10. *Ophthalmology*, 98(5), 786-806. <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2020.01.030>

- Eurostat. (2024). *Healthcare personnel statistics - physicians*.
https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Healthcare_personnel_statistics_-_physicians#Healthcare_personnel
- Fan, X., & Truong, P. (2022). *An Introduction to Convolutional Neural Network (CNN)*. Medium. <https://medium.com/sfu-csmpmp/an-introduction-to-convolutional-neural-network-cnn-207cdb53db97>
- Fathi, S., Ahmadi, M., & Dehnad, A. (2022). Early diagnosis of Alzheimer's disease based on deep learning: A systematic review. *Computers in Biology and Medicine*, 146, 105634. <https://doi.org/10.1016/J.COMPBIOMED.2022.105634>
- Feng, X., Kim, D. D., Cohen, J. T., Neumann, P. J., & Ollendorf, D. A. (2020). Using QALYs versus DALYs to measure cost-effectiveness: How much does it matter? *International journal of technology assessment in health care*, 36(2), 96-103. <https://doi.org/10.1017/S0266462320000124>
- Feng, X., Zhang, S., Xu, L., Huang, X., & Chen, Y. (2022). Robust Classification Model for Diabetic Retinopathy Based on the Contrastive Learning Method with a Convolutional Neural Network. *Applied Sciences* 2022, Vol. 12, Page 12071, 12(23), 12071. <https://doi.org/10.3390/APP122312071>
- Flaxel, C. J., Adelman, R. A., Bailey, S. T., Fawzi, A., Lim, J. I., Vemulakonda, G. A., & Ying, G. shuang. (2020). Diabetic Retinopathy Preferred Practice Pattern®. *American Academy of Ophthalmology*, 127(1), P66-P145. <https://doi.org/10.1016/j.opthta.2019.09.025>
- Fuller, S. D., Hu, J., Liu, J. C., Gibson, E., Gregory, M., Kuo, J., & Rajagopal, R. (2022). Five-Year Cost-Effectiveness Modeling of Primary Care-Based, Nonmydriatic Automated Retinal Image Analysis Screening Among Low-Income Patients With Diabetes. *Journal of diabetes science and technology*, 16(2), 415-427. <https://doi.org/10.1177/1932296820967011>
- Gelcho, G. N., & Gari, F. S. (2022). Time to Diabetic Retinopathy and Its Risk Factors among Diabetes Mellitus Patients in Jimma University Medical Center, Jimma, Southwest Ethiopia. *Ethiopian Journal of Health Sciences*, 32(5), 937. <https://doi.org/10.4314/EJHS.V32I5.9>

- Ghaffar Nia, N., Kaplanoglu, E., & Nasab, A. (2023). Evaluation of artificial intelligence techniques in disease diagnosis and prediction. *Discover Artificial Intelligence* 2023 3:1, 3(1), 1-14. <https://doi.org/10.1007/S44163-023-00049-5>
- Goldstein, J., Weitzman, D., Lemerond, M., & Jones, A. (2023). Determinants for scalable adoption of autonomous AI in the detection of diabetic eye disease in diverse practice types: key best practices learned through collection of real-world data. *Frontiers in digital health*, 5, 1-6. <https://doi.org/10.3389/FDGTH.2023.1004130>
- Gomez Rossi, J., Rojas-Perilla, N., Krois, J., & Schwendicke, F. (2022). Cost-effectiveness of Artificial Intelligence as a Decision-Support System Applied to the Detection and Grading of Melanoma, Dental Caries, and Diabetic Retinopathy. *JAMA network open*, 5(3). <https://doi.org/10.1001/JAMANETWORKOPEN.2022.0269>
- Gravelle, H., & Smith, D. (2001). Discounting for health effects in cost-benefit and cost-effectiveness analysis. *Health economics*, 10(7), 587-599. <https://doi.org/10.1002/HEC.618>
- Gray, A. M., Clarke, P. M., Wolstenholme, J. L., & Wordsworth, S. (2011). *Applied Methods of Cost-effectiveness Analysis in Health Care* (A. M. Gray & A. Briggs, Ed.; First). Oxford University Press.
- Griffiths, M., Maruszczak, M., & Kusel, J. (2015). The who-choice cost-effectiveness Threshold: a Country-level analysis of changes over time. *Value in Health*, 18(3), A88. <https://doi.org/10.1016/j.jval.2015.03.517>
- Guillemin, F., De Wit, M., Fautrel, B., Grimm, S., Joore, M., & Boonen, A. (2020). Steps in implementing a health economic evaluation. *RMD Open*, 6(3), 1-3. <https://doi.org/10.1136/RMDOPEN-2020-001288>
- Gülhan, Ü. (2018). Genel Üretim Maliyetleri. İçinde *Maliyet Muhasebesi I*. Atatürk Üniversitesi Açıköğretim Fakültesi.
- Gülsün, T., & Şahin, S. (2017). Diyabet ve Diyabete Bağlı Fizyolojik ve Farmakokinetik Değişiklikler. *Hacettepe University Journal of the Faculty of Pharmacy*, 37, 105-123.

- Haacker, M., Hallett, T. B., & Atun, R. (2020). On discount rates for economic evaluations in global health. *Health Policy and Planning*, 35(1), 107-114. <https://doi.org/10.1093/HEAPOL/CZZ127>
- Haleem, A., Javaid, M., Asim Qadri, M., Pratap Singh, R., & Suman, R. (2022). Artificial intelligence (AI) applications for marketing: A literature-based study. *International Journal of Intelligent Networks*, 3, 119-132. <https://doi.org/10.1016/J.IJIN.2022.08.005>
- Happich, M., Reitberger, U., Breitscheidel, L., Ulbig, M., & Watkins, J. (2008). The economic burden of diabetic retinopathy in Germany in 2002. *Graefe's archive for clinical and experimental ophthalmology = Albrecht von Graefes Archiv fur klinische und experimentelle Ophthalmologie*, 246(1), 151-159. <https://doi.org/10.1007/S00417-007-0573-X>
- Hatswell, A. J., Bullement, A., Briggs, A., Paulden, M., & Stevenson, M. D. (2018). Probabilistic Sensitivity Analysis in Cost-Effectiveness Models: Determining Model Convergence in Cohort Models. *Pharmacoeconomics*, 36(12), 1421-1426. <https://doi.org/10.1007/S40273-018-0697-3/TABLES/2>
- Heintz, E., Wirehn, A. B., Peebo, B. B., Rosenqvist, U., & Levin, L. Å. (2010). Prevalence and healthcare costs of diabetic retinopathy: A population-based register study in Sweden. *Diabetologia*, 53(10), 2147-2154. <https://doi.org/10.1007/S00125-010-1836-3/TABLES/3>
- HIQA, H. I. and Q. A. (2020). *Guidelines for the Economic Evaluation of Health Technologies in Ireland 2020*.
- Hill, L., & Makaroff, L. E. (2016). Early detection and timely treatment can prevent or delay diabetic retinopathy. *Diabetes Research and Clinical Practice*, 120, 241-243. <https://doi.org/10.1016/J.DIABRES.2016.09.004>
- Hu, W., Joseph, S., Li, R., Woods, E., Sun, J., Shen, M., Jan, C. L., Zhu, Z., He, M., & Zhang, L. (2024). Population impact and cost-effectiveness of artificial intelligence-based diabetic retinopathy screening in people living with diabetes in Australia: a cost effectiveness analysis. *eClinicalMedicine*, 67, 1-24. <https://doi.org/10.1016/j.eclinm.2023.102387>
- Huang, X. M., Yang, B. F., Zheng, W. L., Liu, Q., Xiao, F., Ouyang, P. W., Li, M. J., Li, X. Y., Meng, J., Zhang, T. T., Cui, Y. H., & Pan, H. W. (2022). Cost-

- effectiveness of artificial intelligence screening for diabetic retinopathy in rural China. *BMC health services research*, 22(1).
<https://doi.org/10.1186/S12913-022-07655-6>
- Hutton, D., & Harp, M. D. (2024). *Importance of early screening for diabetic retinopathy and other diagnostic options*. Ophthalmology Times.
<https://www.ophtalmologytimes.com/view/importance-of-early-screening-for-diabetic-retinopathy-and-other-diagnostic-options>
- IDF, International Diabetes Federation. (2019). *IDF Diabetes Atlas*.
- IDF, International Diabetes Federation. (2021). *IDF Diabetes Atlas 10th edition*.
www.diabetesatlas.org
- IDF, International Diabetes Federation (2024). IDF and IAPB release joint policy brief for the early diagnosis, treatment and prevention of diabetic retinopathy. İçinde *Diabetes Research and Clinical Practice* (C. 211). Elsevier Ireland Ltd.
<https://doi.org/10.1016/j.diabres.2024.111686>
- Işıkçelik, F., Ağırbaş, İ., & Kaya, C. T. (2019). An Analysis of Cost-Effectiveness of Stents Used in the Treatment of Coronary Artery Disease. *Balkan Med J*, 36(5), 276-282.
<https://doi.org/10.4274/balkanmedj.galenos.2019.2018.12.28>
- Işıkhan, E. (2020). *Multi Layer Perceptron (MLP) Nedir?* Medium.
<https://isikhanelif.medium.com/multi-layer-perceptron-mlp-nedir-4758285a7f15>
- İdil, A., Çalışkan, D., Erdoğan, G., Erdoğan, M., Tunçbilek, A., Başkal, N., Işık, A., Çorapçıoğlu, D., & Keklik, A. (2001). Abidinpaşa Sağlık Grup Başkanlığı bölgesinde diabetik retinopati taraması I.ara rapor sonuçları. *MN Oftalmoloji*, 8(3), 282-286. /en/yayin/detay/15137/abidinpasa-saglik-grup-baskanligi-bolgesinde-diabetik-retinopati-taramasi-iara-rapor-sonuclari
- İRE, İstanbul Retina Enstitüsü. (2024). *Diyabetik Retinopati, Belirtileri, Tedavisi | İstanbul Retina Enstitüsü*. <https://www.istanbulretina.com/diyabetik-retinopati-hastalik-belirtisi-tedavisi.php>
- Jain, R., Grabner, M., & Onukwugha, E. (2011). Sensitivity analysis in cost-effectiveness studies: From guidelines to practice. *PharmacoEconomics*,

29(4), 297-314. <https://doi.org/10.2165/11584630-000000000-00000/FIGURES/3>

- Jamshidi, H. R., Foroutan, N., & Salamzadeh, J. (2014). "Budget Impact Analyses": A Practical Policy Making Tool for Drug Reimbursement Decisions. *Iranian Journal of Pharmaceutical Research : IJPR*, 13(3), 1109. [/pmc/articles/PMC4177634/](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/4177634/)
- Javaid, M., Haleem, A., Khan, I. H., & Suman, R. (2023). Understanding the potential applications of Artificial Intelligence in Agriculture Sector. *Advanced Agrochem*, 2(1), 15-30. <https://doi.org/10.1016/J.AAC.2022.10.001>
- Jin, S., Liu, G., & Bai, Q. (2023). Deep Learning in COVID-19 Diagnosis, Prognosis and Treatment Selection. *Mathematics 2023*, Vol. 11, Page 1279, 11(6), 1279. <https://doi.org/10.3390/MATH11061279>
- Jones, A., Lomas, J., & Rice, N. (2014). Applying Beta-type Size Distributions to Healthcare Cost Regressions. *Journal of Applied Econometrics*, 29, 649-670. [https://doi.org/https://doi.org/10.1002/jae.2334](https://doi.org/10.1002/jae.2334)
- Kapa, M., Koryciarz, I., Kustosik, N., Jurowski, P., & Pniakowska, Z. (2024). Modern Approach to Diabetic Retinopathy Diagnostics. *Diagnostics 2024*, Vol. 14, Page 1846, 14(17), 1846. <https://doi.org/10.3390/DIAGNOSTICS14171846>
- Kaplan, R. S., & Porter, M. E. (2011). How to Solve The Cost Crisis In Health Care. *Harvard Business Review*, 89(9), 46-65.
- Kaptoge, S., Seshasai, S. R. K., Sun, L., Walker, M., Bolton, T., Spackman, S., Ataklte, F., Willeit, P., Bell, S., Burgess, S., Pennells, L., Altay, S., Assmann, G., Ben-Shlomo, Y., Best, L. G., Björkelund, C., Blazer, D. G., Brenner, H., Brunner, E. J., ... Geleijnse, M. (2023). Life expectancy associated with different ages at diagnosis of type 2 diabetes in high-income countries: 23 million person-years of observation. *The Lancet Diabetes and Endocrinology*, 11(10), 731-742. [https://doi.org/10.1016/S2213-8587\(23\)00223-1](https://doi.org/10.1016/S2213-8587(23)00223-1)
- Kazibwe, J., Gheorghe, A., Wilson, D., Ruiz, F., Chalkidou, K., & Chi, Y. L. (2022). The Use of Cost-Effectiveness Thresholds for Evaluating Health Interventions in Low- and Middle-Income Countries From 2015 to 2020: A

- Review. *Value in Health*, 25(3), 385-389.
<https://doi.org/10.1016/J.JVAL.2021.08.014>
- Keel, G., Savage, C., Rafiq, M., & Mazzocato, P. (2017). Time-driven activity-based costing in health care: A systematic review of the literature. *Health Policy*, 121(7), 755-763.
<https://doi.org/10.1016/J.HEALTHPOL.2017.04.013>
- Khan, M. A. B., Hashim, M. J., King, J. K., Govender, R. D., Mustafa, H., & Kaabi, J. Al. (2020). Epidemiology of Type 2 Diabetes – Global Burden of Disease and Forecasted Trends. *Journal of Epidemiology and Global Health*, 10(1), 111. <https://doi.org/10.2991/JEGH.K.191028.001>
- Khanna, N. N., Maindarkar, M. A., Viswanathan, V., Fernandes, J. F. E., Paul, S., Bhagawati, M., Ahluwalia, P., Ruzsa, Z., Sharma, A., Kolluri, R., Singh, I. M., Laird, J. R., Fatemi, M., Alizad, A., Saba, L., Agarwal, V., Sharma, A., Teji, J. S., Al-Maini, M., ... Suri, J. S. (2022). Economics of Artificial Intelligence in Healthcare: Diagnosis vs. Treatment. *Healthcare*, 10(12), 2493. <https://doi.org/10.3390/HEALTHCARE10122493>
- Kim, D. D., Silver, M. C., Kunst, N., Cohen, J. T., Ollendorf, D. A., & Neumann, P. J. (2020). Perspective and Costing in Cost-Effectiveness Analysis, 1974–2018. *Pharmacoeconomics*, 38(10), 1145. <https://doi.org/10.1007/S40273-020-00942-2>
- Kocaman Wilutzki, S. (2023). The First Generation of Turks in Germany in the 60 Years of Immigration. *Senectus*, 1(1), 67-90.
<https://doi.org/10.26650/SENECTUS.2023.1.1.0006>
- Kropp, M., Golubnitschaja, O., Mazurakova, A., Koklesova, L., Sargheini, N., Vo, T. T. K. S., de Clerck, E., Polivka, J., Potuznik, P., Polivka, J., Stetkarova, I., Kubatka, P., & Thumann, G. (2023). Diabetic retinopathy as the leading cause of blindness and early predictor of cascading complications—risks and mitigation. *EPMA Journal* 2023 14:1, 14(1), 21-42.
<https://doi.org/10.1007/S13167-023-00314-8>
- Kumar, Y., Koul, A., Singla, R., & Ijaz, M. F. (2023). Artificial intelligence in disease diagnosis: a systematic literature review, synthesizing framework

- and future research agenda. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 14(7), 8486. <https://doi.org/10.1007/S12652-021-03612-Z>
- Kumari, S., Venkatesh, P., Tandon, N., Chawla, R., Takkar, B., & Kumar, A. (2022). Selfie fundus imaging for diabetic retinopathy screening. *Eye*, 36(10), 1993. <https://doi.org/10.1038/S41433-021-01804-7>
- Kuper, H., Jofre-Bonet, M., & Gilbert, C. (2006). Economic Evaluation for Ophthalmologists. *Ophthalmic Epidemiology*, 13(6), 393-401. <https://doi.org/10.1080/09286580600760539>
- Lakshminarayanan, V., Kheradfallah, H., Sarkar, A., & Balaji, J. J. (2021). Automated Detection and Diagnosis of Diabetic Retinopathy: A Comprehensive Survey. *Journal of Imaging*, 7(9), 165. <https://doi.org/10.3390/JIMAGING7090165>
- Leelahavarong, P. (2014). Budget Impact Analysis. *J Med Assoc Thai*, 97, S65-S71.
- Lessing, S. E., & Hayman, L. L. (2018). Diabetes Care and Management Using Electronic Medical Records: A Systematic Review. *Journal of Diabetes Science and Technology*, 13(4), 774. <https://doi.org/10.1177/1932296818815507>
- Li, H., Li, G., Li, N., Liu, C., Yuan, Z., Gao, Q., Hao, S., Fan, S., & Yang, J. (2023). Cost-effectiveness analysis of artificial intelligence-based diabetic retinopathy screening in rural China based on the Markov model. *PLOS ONE*, 18(11), e0291390. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0291390>
- Li, S., Zhao, R., Zou, H., & Guo, L. (2022). Artificial intelligence for diabetic retinopathy. *Chinese Medical Journal*, 135(3), 253-260. <https://doi.org/10.1097/CM9.0000000000001816>
- Lim, J. I., Regillo, C. D., Sadda, S. V. R., Ipp, E., Bhaskaranand, M., Ramachandra, C., & Solanki, K. (2022). Artificial Intelligence Detection of Diabetic Retinopathy: Subgroup Comparison of the EyeArt System with Ophthalmologists' Dilated Examinations. *Ophthalmology Science*, 3(1), 100228. <https://doi.org/10.1016/J.XOPS.2022.100228>
- Lim, J. I., Regillo, C. D., Sadda, S. V. R., Ipp, E., Bhaskaranand, M., Ramachandra, C., & Solanki, K. (2023). Artificial Intelligence Detection of

- Diabetic Retinopathy: Subgroup Comparison of the EyeArt System with Ophthalmologists' Dilated Examinations. *Ophthalmology Science*, 3(1), 100228. <https://doi.org/10.1016/J.XOPS.2022.100228>
- Lin, C. L., & Wu, K. C. (2023). Development of revised ResNet-50 for diabetic retinopathy detection. *BMC Bioinformatics*, 24(1), 24-157. <https://doi.org/10.1186/S12859-023-05293-1>
- Lin, G., Pfister, T., Kim, L. A., Lee, S. Y. (Sunny), Law, J. C., & Jung, E. E. (2024). *Diabetic Retinopathy Screening - EyeWiki*. American Academy Of Ophthalmology. https://eyewiki.org/Diabetic_Retinopathy_Screening
- Lin, S., Ma, Y., Xu, Y., Lu, L., He, J., Zhu, J., Peng, Y., Yu, T., Congdon, N., & Zou, H. (2023). Artificial Intelligence in Community-Based Diabetic Retinopathy Telemedicine Screening in Urban China: Cost-effectiveness and Cost-Utility Analyses With Real-world Data. *JMIR Public Health and Surveillance*, 9(1), e41624. <https://doi.org/10.2196/41624>
- Lutty, G. A. (2013). Effects of Diabetes on the Eye. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 54(14), ORSF81. <https://doi.org/10.1167/IOVS.13-12979>
- Manning, W. G., Basu, A., & Mullahy, J. (2005). Generalized modeling approaches to risk adjustment of skewed outcomes data. *Journal of health economics*, 24(3), 465-488. <https://doi.org/10.1016/J.JHEALECO.2004.09.011>
- Manonmani, S., Senthilkumar, S., Govind, U. S. A., & Manivannan, S. (2022). Application of Artificial Intelligence in Fruit Production: A Review. *Agricultural Science Digest - A Research Journal*, Of, 1-5. <https://doi.org/10.18805/AG.D-5482>
- Mansour, S. E., Browning, D. J., Wong, K., Flynn, H. W., & Bhavsar, A. R. (2020). The evolving treatment of diabetic retinopathy. *Clinical Ophthalmology*, 14, 653-678. <https://doi.org/10.2147/OPTH.S236637>
- Martikainen, J. (2008). *Application of Decision-Analytic Modelling in Health Economic Evaluations* [Doctoral dissertation, Kuopio University]. <http://www.uku.fi/kirjasto/julkaisutoiminta/julkmyyn.html>
- Mathes, T., Jacobs, E., Morfeld, J. C., & Pieper, D. (2013). Methods of international health technology assessment agencies for economic

- evaluations- a comparative analysis. *BMC Health Services Research*, 13(1), 371. <https://doi.org/10.1186/1472-6963-13-371>
- McHugh, M. L. (2012). Interrater reliability: the kappa statistic. *Biochemia Medica*, 22(3), 282. <https://doi.org/10.11613/bm.2012.031>
- McPake, B., Normand, C., Smith, S., & Nolan, A. (2020). *Health Economics; An International Perspective; Fourth edition* (Fourth edition). Routledge.
- Miller, S. L., & Childers, D. (2012). Markov Processes. *Probability and Random Processes*, 383-428. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-386981-4.50012-6>
- Mishra, R. K., Reddy, G. Y. S., & Pathak, H. (2021). The Understanding of Deep Learning: A Comprehensive Review. *Mathematical Problems in Engineering*, 2021, 1-15. <https://doi.org/10.1155/2021/5548884>
- Monaghan, T. F., Rahman, S. N., Agudelo, C. W., Wein, A. J., Lazar, J. M., Everaert, K., & Dmochowski, R. R. (2021). Foundational Statistical Principles in Medical Research: Sensitivity, Specificity, Positive Predictive Value, and Negative Predictive Value. *Medicina*, 57(5). <https://doi.org/10.3390/MEDICINA57050503>
- Mosadeghrad, A. M., Jaafaripooyan, E., & Zamandi, M. (2022). Economic Evaluation of Health Interventions: A Critical Review. *Iranian Journal of Public Health*, 51(10), 2159-2170. <https://doi.org/10.18502/IJPH.V51I10.10975>
- Mt-Isa, S., Tzoulaki, I., Callréus, T., Micallef, A., & Ashby, D. (2011). Weighing benefit–risk of medicines: concepts and approaches. *Drug Discovery Today: Technologies*, 8(1), e29-e35. <https://doi.org/10.1016/J.DDTEC.2011.04.002>
- Mulhern, B., O’Gorman, H., Rotherham, N., & Brazier, J. (2015). Comparing the measurement equivalence of EQ-5D-5L across different modes of administration. *Health and Quality of Life Outcomes*, 13(1), 1-9. <https://doi.org/10.1186/S12955-015-0382-6/TABLES/4>
- Munna, N.-A.-A., Nasir, M. M. K., Ahsan, M., Based, M. A., Haider, J., & Palani, S. (2023). A Faster RCNN-Based Diabetic Retinopathy Detection Method Using Fused Features From Retina Images. *IEEE Access*, 11, 124331-124349. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3330104>

- Narasimhan, S., & Rajendran, V. (2021). Decision Trees for Nuclear Power Plant Performance Optimization. *IOSR Journal of Computer Engineering (IOSR-JCE)*, 23(2), 51-62. <https://doi.org/10.9790/0661-2302025162>
- Nazir, T., Irtaza, A., Rashid, J., Nawaz, M., & Mehmood, T. (2020). Diabetic Retinopathy Lesions Detection using Faster-RCNN from retinal images. *Proceedings - 2020 1st International Conference of Smart Systems and Emerging Technologies, SMART-TECH 2020*, 38-42. <https://doi.org/10.1109/SMART-TECH49988.2020.00025>
- NCD Alliance. (2024). *The Financial Burden of NCDs*. <https://ncdalliance.org/why-ncds/financing-ncds>
- Negi, A., & Vernon, S. A. (2003). An overview of the eye in diabetes. *Journal of the Royal Society of Medicine*, 96(6), 272. <https://doi.org/10.1258/JRSM.96.6.266>
- Neumann, P. J., Ganiats, T. G., Russell, L. B., Sanders, G. D., & Siegel, J. E. (2016). *Cost-Effectiveness in Health and Medicine*. Oxford University Press.
- NICE. (2013). *Guide to the methods of technology appraisal 2013 Process and methods*. <https://www.nice.org.uk/process/pmg9/resources/guide-to-the-methods-of-technology-appraisal-2013-pdf-2007975843781>
- NIH, N. I. of D. and D. and K. D. (2017, May15). *Diabetic Eye Disease - NIDDK*. <https://www.niddk.nih.gov/health-information/diabetes/overview/preventing-problems/diabetic-eye-disease>
- Nia, N. G., Kaplanoglu, E., & Nasab, A. (2023). Evaluation of artificial intelligence techniques in disease diagnosis and prediction. *Discover Artificial Intelligence*, 3(1), 5. <https://doi.org/10.1007/S44163-023-00049-5>
- Noparatayaporn, P., Thavorncharoensap, M., Chaikledkaew, U., Bagepally, B. S., & Thakkestian, A. (2021). Incremental Net Monetary Benefit of Bariatric Surgery: Systematic Review and Meta-Analysis of Cost-Effectiveness Evidences. *Obesity Surgery*, 31(7), 3290. <https://doi.org/10.1007/S11695-021-05415-9>
- OECD, Organisation for Economic Co-operation and Development. (2024). *OECD Data Explorer • OECD Data Archive*. <https://data-explorer.oecd.org/?lc=en>

- Olaniyi, O., & Ganiyu, S. (2023). Intelligent Video Surveillance System Using Faster Regional Convolutional Neural Networks. *Balkan Journal of Electrical and Computer Engineering*, 11(4), 346-351. <https://doi.org/10.17694/BAJECE.1223050>
- Olokoba, A. B., Obateru, O. A., & Olokoba, L. B. (2012). Type 2 Diabetes Mellitus: A Review of Current Trends. *Oman Medical Journal*, 27(4), 273. <https://doi.org/10.5001/OMJ.2012.68>
- Onar, A. (2020). *Derin Öğrenme Yöntemleri ve Uygulamaları*. Medium. <https://alitunacanonar.medium.com/derin-%C3%B6%C4%9Frenme-y%C3%B6ntemleri-ve-uygulamalar%C4%B1-1ce215de40e8>
- Parekh, V., Shah, D., & Shah, M. (2020). Fatigue Detection Using Artificial Intelligence Framework. *Augmented Human Research*, 5(1). <https://doi.org/10.1007/S41133-019-0023-4>
- Parker, E. D., Lin, J., Mahoney, T., Ume, N., Yang, G., Gabbay, R. A., ElSayed, N. A., & Bannuru, R. R. (2024). Economic Costs of Diabetes in the U.S. in 2022. *Diabetes care*, 47(1), 26-43. <https://doi.org/10.2337/DCI23-0085>
- Parkinson, B., & Lourenço, R. D. A. (2015). *Discounting in Economic Evaluations in Health Care: A Brief Review*. 1-8. <https://www.uts.edu.au/sites/default/files/2019-04/crest-factsheet-discounting.pdf>
- Paulden, M. (2020). Why it's Time to Abandon the ICER. *PharmacoEconomics*, 38(8), 781-784. <https://doi.org/10.1007/S40273-020-00915-5/FIGURES/1>
- Pichon-Riviere, A., Drummond, M., Palacios, A., Garcia-Marti, S., & Augustovski, F. (2023). Determining the efficiency path to universal health coverage: cost-effectiveness thresholds for 174 countries based on growth in life expectancy and health expenditures. *The Lancet Global Health*, 11(6), e833-e842. [https://doi.org/10.1016/S2214-109X\(23\)00162-6](https://doi.org/10.1016/S2214-109X(23)00162-6)
- Pinto-Coelho, L. (2023). How Artificial Intelligence Is Shaping Medical Imaging Technology: A Survey of Innovations and Applications. *Bioengineering*, 10(12), 1435. <https://doi.org/10.3390/BIOENGINEERING10121435>
- Poalelungi, D. G., Musat, C. L., Fulga, A., Neagu, M., Neagu, A. I., Piraianu, A. I., & Fulga, I. (2023). Advancing Patient Care: How Artificial Intelligence Is

- Transforming Healthcare. *Journal of Personalized Medicine* 2023, Vol. 13, Page 1214, 13(8), 1214. <https://doi.org/10.3390/JPM13081214>
- Polack, S., Alavi, Y., Reddi, S. R., Kulothungan, V., & Kuper, H. (2015). Utility values associated with diabetic retinopathy in Chennai, India. *Ophthalmic Epidemiology*, 22(1), 20-27. <https://doi.org/10.3109/09286586.2014.885057>
- Pongsachareonnont, P. F., Sakthong, P., Chaikitmongkol, V., Tsutsumi, W. D., Bhoomibunchoo, C., Hurst, C. P., Teerawattananon, Y., & Kulvichit, K. (2024). Health Utility Values Among Patients With Diabetic Retinopathy, Wet Age-Related Macular Degeneration, and Cataract in Thailand: A Multicenter Survey Using Time Trade-Off, EQ-5D-5L, and Health Utility Index 3. *Value in Health Regional Issues*, 44, 101030. <https://doi.org/10.1016/J.VHRI.2024.101030>
- Poteet, S., & Craig, B. M. (2021). QALYs for COVID-19: A Comparison of US EQ-5D-5L Value Sets. *The Patient - Patient-Centered Outcomes Research*, 14, 339-345. <https://doi.org/10.1007/s40271-021-00509-z>
- Rachapelle, S., Legood, R., Alavi, Y., Lindfield, R., Sharma, T., Kuper, H., & Polack, S. (2013). The cost-utility of telemedicine to screen for diabetic retinopathy in India. *Ophthalmology*, 120(3), 566-573. <https://doi.org/10.1016/J.OPHTHA.2012.09.002>
- Rai, M., & Goyal, R. (2018). *Pharmacoeconomics in Healthcare*. Academic Press.
- Rajendra Kumar, P., & Manash, E. B. K. (2019). Deep learning: a branch of machine learning. *J. Phys.: Conf. Ser*, 1-9. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1228/1/012045>
- Redding, S., Anderson, R., Raman, R., Sivaprasad, S., & Wittenberg, R. (2023). Estimating the costs of blindness and moderate to severe visual impairment among people with diabetes in India. *BMJ open*, 13(6). <https://doi.org/10.1136/BMJOPEN-2022-063390>
- Rein, D. B., Zhang, P., Wirth, K. E., Lee, P. P., Hoerger, T. J., McCall, N., Klein, R., Tielsch, J. M., Vijan, S., & Saaddine, J. (2006). The Economic Burden of Major Adult Visual Disorders in the United States. *Archives of Ophthalmology*, 124(12), 1754-1760. <https://doi.org/10.1001/ARCHOPHT.124.12.1754>

- Resnikoff, S., Felch, W., Gauthier, T. M., & Spivey, B. (2012). The number of ophthalmologists in practice and training worldwide: a growing gap despite more than 200,000 practitioners. *The British journal of ophthalmology*, 96(6), 783-787. <https://doi.org/10.1136/BJOPHTHALMOL-2011-301378>
- Rezayi, S., R Niakan Kalhori, S., & Saeedi, S. (2022). Effectiveness of Artificial Intelligence for Personalized Medicine in Neoplasms: A Systematic Review. *BioMed Research International*, 2022, 7842566. <https://doi.org/10.1155/2022/7842566>
- Robinson, L. A., Hammitt, J. K., Cecchini, M., Chalkidou, K., Claxton, K., Cropper, M., Eozenou, P. H.-V., de Ferranti, D., Deolalikar, A. B., Campos Guanais de Aguiar, F., Jamison, D. T., Kwon, S., Lauer, J. A., O’Keeffe, L., Walker, D., Whittington, D., Wilkinson, T., Wilson, D., & Wong, B. (2019). Reference Case Guidelines for Benefit-Cost Analysis in Global Health and Development. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/SSRN.4015886>
- Robinson, R. (1993a). Costs and cost-minimisation analysis. *BMJ*, 307, 726-728.
- Robinson, R. (1993b). Cost-utility analysis. *BMJ*, 307(6908), 859-862. <https://doi.org/10.1136/bmj.307.6908.859>
- Roden, M., & Shulman, G. I. (2019). The integrative biology of type 2 diabetes. *Nature* 2019 576:7785, 576(7785), 51-60. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1797-8>
- Ruamviboonsuk, P., Chantra, S., Seresirikachorn, K., Ruamviboonsuk, V., & Sangroongruangsri, S. (2021). Economic Evaluations of Artificial Intelligence in Ophthalmology. *Asia-Pacific Journal of Ophthalmology*, 10(3), 307-316. <https://doi.org/10.1097/APO.0000000000000403>
- Sağlık Bakanlığı. (2023). *Türkiye Diyabet Programı 2023-2027*.
- Sanders, G. D., Neumann, P. J., Basu, A., Brock, D. W., Feeny, D., Krahm, M., Kuntz, K. M., Meltzer, D. O., Owens, D. K., Prosser, L. A., Salomon, J. A., Sculpher, M. J., Trikalinos, T. A., Russell, L. B., Siegel, J. E., & Ganiats, T. G. (2016). Recommendations for Conduct, Methodological Practices, and Reporting of Cost-effectiveness Analyses: Second Panel on Cost-

- Effectiveness in Health and Medicine. *JAMA*, 316(10), 1093-1103. <https://doi.org/10.1001/JAMA.2016.12195>
- Santoli, G., Nurchis, M. C., Calabrò, G. E., & Damiani, G. (2023). Incremental Net Benefit and Incremental Cost-Effectiveness Ratio of COVID-19 Vaccination Campaigns: Systematic Review of Cost-Effectiveness Evidence. *Vaccines* 2023, Vol. 11, Page 347, 11(2), 347. <https://doi.org/10.3390/VACCINES11020347>
- Sarker, I. H. (2021). Deep Learning: A Comprehensive Overview on Techniques, Taxonomy, Applications and Research Directions. *SN Computer Science*, 2(6), 1-20. <https://doi.org/10.1007/S42979-021-00815-1/FIGURES/11>
- Sarker, I. H. (2022). AI-Based Modeling: Techniques, Applications and Research Issues Towards Automation, Intelligent and Smart Systems. *SN computer science*, 3(2), 158. <https://doi.org/10.1007/S42979-022-01043-X>
- Sathwik, A. S., Agarwal, R., Ajith Jubilson, E., & Basa, S. S. (2023). Diabetic Retinopathy Classification Using Deep Learning. *EAI Endorsed Transactions on Pervasive Health and Technology*, 9. <https://doi.org/10.4108/EETPHT.9.4335>
- Schaefer, A. J., Bailey, M. D., Shechter, S. M., & Roberts, M. S. (2005). Modeling Medical Treatment Using Markov Decision Processes. İçinde *Springer* (ss. 593-612). Springer, Boston, MA. https://doi.org/10.1007/1-4020-8066-2_23
- Scotland, G. S., McNamee, P., Philip, S., Fleming, A. D., Goatman, K. A., Prescott, G. J., Fonseca, S., Sharp, P. F., & Olson, J. A. (2007). Cost-effectiveness of implementing automated grading within the national screening programme for diabetic retinopathy in Scotland. *British Journal of Ophthalmology*, 91(11), 1518-1523. <https://doi.org/10.1136/BJO.2007.120972>
- Selçuk, T. (2020). *Diyabetik Retinopatinin Erken Teşhisine Yönelik Derin Öğrenme Temelli Lezyon Tespit Sistemi*. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Selimoğlu, M., & Yılmaz, A. (2021). Kredi Kartı Dolandırıcılık Tespitinin Makine Öğrenmesi Yöntemleri ile Tahmin Edilmesi. *Beykent Üniversitesi Fen ve*

Mühendislik Bilimleri Dergisi, 13(2), 28-33.
<https://doi.org/10.20854/bujse.873804>

Senapati, A., Tripathy, H. K., Sharma, V., & Gandomi, A. H. (2024). Artificial intelligence for diabetic retinopathy detection: A systematic review. *Informatics in Medicine Unlocked*, 45, 101445.
<https://doi.org/10.1016/J.IMU.2024.101445>

Seng, J. J. B., Kwan, Y. H., Fong, W., Phang, J. K., Lui, N. L., Thumboo, J., & Leung, Y. Y. (2020). Validity and reliability of EQ-5D-5L among patients with axial spondyloarthritis in Singapore. *European Journal of Rheumatology*, 7(2), 78. <https://doi.org/10.5152/EURJRHEUM.2020.19043>

SGK, Sosyal Güvenlik Kurumu. (2022). *Diyabet Parlamentosu SGK'da yapıldı*.
<https://www.sgk.gov.tr/Haber/Detay/Diyabet-Parlamentosu-SGKda-yapildi-2022-11-15-09-06-30>

SGK, Sosyal Güvenlik Kurumu. (2024). *MEDULA Eczane Uygulaması*.
<https://e.sgk.gov.tr/Uygulamalar/Detay/Medula-Eczane-Uygulaması-2022-10-31-10-10-16>

Shaikh, J., Chiva-Razavi, S., & Manchanda, P. (2019). PDB52 Economic Burden Associated With Diabetic Retinopathy: Evidence From A Literature Review. *Value in Health*, 22, S582. <https://doi.org/10.1016/j.jval.2019.09.934>

Sharma, S., Rawal, R., & Shah, D. (2023). Addressing the challenges of AI-based telemedicine: Best practices and lessons learned. *Journal of Education and Health Promotion*, 12(1). https://doi.org/10.4103/JEHP.JEHP_402_23

Sheng, B., Chen, X., Li, T., Ma, T., Yang, Y., Bi, L., & Zhang, X. (2022). An overview of artificial intelligence in diabetic retinopathy and other ocular diseases. *Frontiers in Public Health*, 10, 1-15.
<https://doi.org/10.3389/FPUBH.2022.971943>

Shih, K. C., Lam, K. L., & Tong, L. (2017). A systematic review on the impact of diabetes mellitus on the ocular surface. *Nutrition & Diabetes* 2017 7:3, 7, 1-10. <https://doi.org/10.1038/nutd.2017.4>

Shukla, U. V., & Tripathy, K. (2023). Diabetic Retinopathy. *StatPearls*.
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK560805/>

- Singh, R. P., Elman, M. J., Singh, S. K., Fung, A. E., & Stoilov, I. (2019). Advances in the treatment of diabetic retinopathy. *Journal of Diabetes and its Complications*, 33(12), 107417. <https://doi.org/10.1016/J.JDIACOMP.2019.107417>
- Skarbez, K., Priestley, Y., Hoepf, M., & Koevary, S. B. (2010). Comprehensive Review of the Effects of Diabetes on Ocular Health. *Expert review of ophthalmology*, 5(4), 577. <https://doi.org/10.1586/EOP.10.44>
- Smith, S., Sinclair Rosalind Raine, D., & Reeves, B. (2005). *Health Care Evaluation*. Open University Press, McGraw-Hill Education,. www.openup.co.uk
- SoluteLabs Team. (2023). *How AI is Transforming Electronic Health Records (EHRs)?* <https://www.solutelabs.com/blog/ai-in-ehr>
- Sonnenberg, F. A., & Beck, J. R. (1993). Markov models in medical decision making: a practical guide. *Medical decision making : an international journal of the Society for Medical Decision Making*, 13(4), 322-338. <https://doi.org/10.1177/0272989X9301300409>
- Soori, M., Arezoo, B., & Dastres, R. (2023). Artificial intelligence, machine learning and deep learning in advanced robotics, a review. *Cognitive Robotics*, 3, 54-70. <https://doi.org/10.1016/J.COGR.2023.04.001>
- Srisubat, A., Kittrongsiri, K., Sangroongruangsri, S., Khemvaranan, C., Shreibati, J. B., Ching, J., Hernandez, J., Tiwari, R., Hersch, F., Liu, Y., Hanutsaha, P., Ruamviboonsuk, V., Turongkaravee, S., Raman, R., & Ruamviboonsuk, P. (2023). Cost-Utility Analysis of Deep Learning and Trained Human Graders for Diabetic Retinopathy Screening in a Nationwide Program. *Ophthalmology and therapy*, 12(2), 1339-1357. <https://doi.org/10.1007/S40123-023-00688-Y>
- Stasevych, M., & Zvarych, V. (2023). Innovative Robotic Technologies and Artificial Intelligence in Pharmacy and Medicine: Paving the Way for the Future of Health Care—A Review. *Big Data and Cognitive Computing* 2023, Vol. 7, Page 147, 7(3), 147. <https://doi.org/10.3390/BDCC7030147>
- Su, Z., Li, H., Zheng, Y., Xie, P., Ng, T. K., Qiu, K., & Zhang, G. (2023). *Cost-effectiveness analysis of telemedicine and artificial intelligence-based*

- diabetic retinopathy screening in urban and rural China.* 1-22.
<https://doi.org/10.21203/RS.3.RS-3584831/V1>
- Tan, S. Y., Mei Wong, J. L., Sim, Y. J., Wong, S. S., Mohamed Elhassan, S. A., Tan, S. H., Ling Lim, G. P., Rong Tay, N. W., Annan, N. C., Bhattamisra, S. K., & Candasamy, M. (2019). Type 1 and 2 diabetes mellitus: A review on current treatment approach and gene therapy as potential intervention. *Diabetes & Metabolic Syndrome: Clinical Research & Reviews*, 13(1), 364-372. <https://doi.org/10.1016/j.dsx.2018.10.008>
- Tan-Torres Edejer, T., Baltussen, R., Adam, T., Hutubessy, R., & Acharya, A. (2003). *Making choices in health: WHO guide to cost- effectiveness analysis*. World Health Organization.
- Taş, A. B. M. Z. E. Ü. S. G. U. M. (2005). *Diyabetik hastalarda retinopati sıklığı ve risk faktörleri*. 47(3), 164-174. [/tr/yayin/detay/57936/diyabetik-hastalarda-retinopati-sikligi-ve-risk-faktorleri](http://tr.yayin/detay/57936/diyabetik-hastalarda-retinopati-sikligi-ve-risk-faktorleri)
- Tatar, M. (2011). Sağlık Hizmetlerinin Finansman Modelleri: Sosyal Sağlık Sigortasının Türkiye’de Gelişimi. *Sosyal Güvenlik Dergisi*, 1(1), 103-133. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/sgd/issue/28018/297504>
- Tatar, M., & Wertheimer, A. I. (2010). *Sağlık Teknolojilerinin Değerlendirilmesi İlaç Geri Ödeme Kararları için Bir Model Önerisi*. MN Medical & Nobel,. www.mnnobeltip.com
- Taye, M. M. (2023). Theoretical Understanding of Convolutional Neural Network: Concepts, Architectures, Applications, Future Directions. *Computation 2023*, Vol. 11, Page 52, 11(3), 52. <https://doi.org/10.3390/COMPUTATION11030052>
- Teo, Z. L., Tham, Y. C., Yu, M., Chee, M. L., Rim, T. H., Cheung, N., Bikbov, M. M., Wang, Y. X., Tang, Y., Lu, Y., Wong, I. Y., Ting, D. S. W., Tan, G. S. W., Jonas, J. B., Sabanayagam, C., Wong, T. Y., & Cheng, C. Y. (2021). Global Prevalence of Diabetic Retinopathy and Projection of Burden through 2045: Systematic Review and Meta-analysis. *Ophthalmology*, 128(11), 1580-1591. <https://doi.org/10.1016/J.OPHTHA.2021.04.027/ATTACHMENT/C7C88077-3930-4296-B857-DE72749AEE29/MMC26.PDF>

- Tiwari, T., Tiwari, T., & Tiwari, S. (2018). How Artificial Intelligence, Machine Learning and Deep Learning are Radically Different? *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering*, 8(2), 9. <https://doi.org/10.23956/IJARCSSE.V8I2.569>
- Torun, N., & Şenyurt, U. (2022). Sağlık Hizmetlerinde Faaliyet Tabanlı Maliyetleme. *Türkiye Sağlık Bilimleri ve Araştırmaları Dergisi*, 5(2), 45-59.
- Tufail, A., Rudisill, C., Egan, C., Kapetanakis, V. V., Salas-Vega, S., Owen, C. G., Lee, A., Louw, V., Anderson, J., Liew, G., Bolter, L., Srinivas, S., Nittala, M., Sadda, S. V., Taylor, P., & Rudnicka, A. R. (2017). Automated Diabetic Retinopathy Image Assessment Software: Diagnostic Accuracy and Cost-Effectiveness Compared with Human Graders. *Ophthalmology*, 124(3), 343-351. <https://doi.org/10.1016/J.OPHTHA.2016.11.014>
- TÜİK, Türkiye İstatistik Kurumu. (2018). *Nüfus Projeksiyonları, 2018-2080*. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Nufus-Projeksiyonlari-2018-2080-30567>
- TÜİK, Türkiye İstatistik Kurumu. (2023). *Yıllık Gayrisafi Yurt İçi Hasıla, 2023*. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Yillik-Gayrisafi-Yurt-Ici-Hasila-2023-53450>.
- TÜİK, Türkiye İstatistik Kurumu. (2024a). *TÜİK Veri Portalı*. <https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=Ulusal-Hesaplar-113>
- TÜİK, Türkiye İstatistik Kurumu (2024b). *TÜİK Kurumsal*. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Hayat-Tablolari-2021-2023-53678>
- TÜRKDİAB, T. D. V. (2024). *Diyabet Tanı ve Tedavi Rehberi 2024*.
- Türkmen, A. (2021). *Konvolüsyonel Yapay Sinir Ağları ve Görüntü İşleme Teknikleri ile Biyomedikal Görüntülerden Diyabetik Retinopati Teşhisi*. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Van Stralen, K. J., Stel, V. S., Reitsma, J. B., Dekker, F. W., Zoccali, C., & Jager, K. J. (2009). Diagnostic methods I: sensitivity, specificity, and other measures of accuracy. *Kidney International*, 75(12), 1257-1263. <https://doi.org/10.1038/KI.2009.92>
- van Wilpe, R., Hulst, A. H., Siegelaar, S. E., DeVries, J. H., Preckel, B., & Hermanides, J. (2023). Type 1 and other types of diabetes mellitus in the

- perioperative period. What the anaesthetist should know. *Journal of Clinical Anesthesia*, 84, 1-9. <https://doi.org/10.1016/J.JCLINANE.2022.111012>
- Vashist, P., Singh, S., Gupta, N., & Saxena, R. (2011a). Role of Early Screening for Diabetic Retinopathy in Patients with Diabetes Mellitus: An Overview. *Indian Journal of Community Medicine: Official Publication of Indian Association of Preventive & Social Medicine*, 36(4), 252. <https://doi.org/10.4103/0970-0218.91324>
- Vashist, P., Singh, S., Gupta, N., & Saxena, R. (2011b). Role of Early Screening for Diabetic Retinopathy in Patients with Diabetes Mellitus: An Overview. *Indian Journal of Community Medicine: Official Publication of Indian Association of Preventive & Social Medicine*, 36(4), 252. <https://doi.org/10.4103/0970-0218.91324>
- Wang, W., & Lo, A. C. Y. (2018). Diabetic Retinopathy: Pathophysiology and Treatments. *International Journal of Molecular Sciences*, 19(6), 1-14. <https://doi.org/10.3390/IJMS19061816>
- Warner, K. E. (1989). Issues in Cost Effectiveness in Health Care. *Journal of Public Health Dentistry*, 49(5), 272-278.
- Weinstein, M. C., & Stason, W. B. (1977). Foundations of cost-effectiveness analysis for health and medical practices. *The New England journal of medicine*, 296(13), 716-721. <https://doi.org/10.1056/NEJM197703312961304>
- Whitehead, S. J., & Ali, S. (2010). Health outcomes in economic evaluation: The QALY and utilities. *British Medical Bulletin*, 96(1), 5-21. <https://doi.org/10.1093/BMB/LDQ033>
- WHO, World Health Organization. (2016). *Life expectancy increased by 5 years since 2000, but health inequalities persist*. <https://www.who.int/news/item/19-05-2016-life-expectancy-increased-by-5-years-since-2000-but-health-inequalities-persist>
- WHO, World Health Organization. (2017). *WHO EMRO Eyes on diabetes Highlights NCDs*. <https://www.emro.who.int/noncommunicable-diseases/highlights/eyes-on-diabetes.html>

- WHO, World Health Organization. (2021). *Global strategy on digital health 2020-2025*. <https://www.who.int/docs/default-source/documents/g4dhdaa2a9f352b0445bafbc79ca799dce4d.pdf>
- WHO, World Health Organization. (2023a). *Diabetes*. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/diabetes>
- WHO, World Health Organization. (2023b). *Noncommunicable Diseases*. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/noncommunicable-diseases>
- WHO, World Health Organization. (2024a). *Health technology assessment*. https://www.who.int/health-topics/health-technology-assessment#tab=tab_1
- WHO, World Health Organization. (2024b). *Health workforce*. https://www.who.int/health-topics/health-workforce#tab=tab_1
- Wolf, R. M., Channa, R., Abramoff, M. D., & Lehmann, H. P. (2020). Cost-effectiveness of Autonomous Point-of-Care Diabetic Retinopathy Screening for Pediatric Patients With Diabetes. *JAMA Ophthalmology*, 138(10), 1063-1069. <https://doi.org/10.1001/JAMAOPHTHALMOL.2020.3190>
- Wolfewicz, A. (2024). *Deep Learning vs. Machine Learning – What's The Difference?* Levity. <https://levity.ai/blog/difference-machine-learning-deep-learning>
- Xie, Y., Gunasekeran, D. V., Balaskas, K., Keane, P. A., Sim, D. A., Bachmann, L. M., Macrae, C., & Ting, D. S. W. (2020). Health Economic and Safety Considerations for Artificial Intelligence Applications in Diabetic Retinopathy Screening. *Translational Vision Science & Technology*, 9(2), 1-12. <https://doi.org/10.1167/TVST.9.2.22>
- Xie, Y., Nguyen, Q. D., Hamzah, H., Lim, G., Bellemo, V., Gunasekeran, D. V., Yip, M. Y. T., Qi Lee, X., Hsu, W., Li Lee, M., Tan, C. S., Tym Wong, H., Lamoureux, E. L., Tan, G. S. W., Wong, T. Y., Finkelstein, E. A., & Ting, D. S. W. (2020). Artificial intelligence for teleophthalmology-based diabetic retinopathy screening in a national programme: an economic analysis modelling study. *The Lancet. Digital health*, 2(5), e240-e249. [https://doi.org/10.1016/S2589-7500\(20\)30060-1](https://doi.org/10.1016/S2589-7500(20)30060-1)

- Xin, Y., Kong, L., Liu, Z., Chen, Y., Li, Y., Zhu, H., Gao, M., Hou, H., & Wang, C. (2018). Machine Learning and Deep Learning Methods for Cybersecurity. *IEEE Access*, 6, 35365-35381. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2836950>
- Yalçın Balçık, P. (2013). *Türkiye’de ileri evre küçük hücreli dışı akciğer kanserinde pemetrexed ve gemcitabine tedavilerinin maliyet etkililik analizi*. Hacettepe Üniversitesi / Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Yalçın Balçık, P., & Şahin, B. (2013). Sağlık Hizmetlerinde Maliyet Etkililik Analizi ve Karar Analizi. *Hacettepe Sağlık İdaresi Dergisi*, 16(2), 121-134.
- Yamashita, R., Nishio, M., Do, R. K. G., & Togashi, K. (2018). Convolutional neural networks: an overview and application in radiology. *Insights into Imaging*, 9(4), 611-629. <https://doi.org/10.1007/S13244-018-0639-9/FIGURES/15>
- Yang, Z., Tan, T. E., Shao, Y., Wong, T. Y., & Li, X. (2022). Classification of diabetic retinopathy: Past, present and future. *Frontiers in Endocrinology*, 13, 1079217. <https://doi.org/10.3389/FENDO.2022.1079217/FULL>
- Yangı Tugay, D. (2022). *Ankara ilinde dört farklı hastanede astımlı erişkin hastaların tedavisinde standart kombine tedavi ile kombine tedaviye ek omalizumab kullanımının maliyet etkililiğinin değerlendirilmesi*. Hacettepe Üniversitesi/Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Yıldırım, Ö. (2024). *Derin Öğrenme Teknikleri ile Fundus Görüntülerinden Glokom Hastalığı Tespiti* [Yüksek Lisans Tezi]. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Zhang, X., Zhai, D., Li, T., Zhou, Y., & Lin, Y. (2023). Image inpainting based on deep learning: A review. *Information Fusion*, 90, 74-94. <https://doi.org/10.1016/J.INFFUS.2022.08.033>
- Zhang, Y., Shi, J., Peng, Y., Zhao, Z., Zheng, Q., Wang, Z., Liu, K., Jiao, S., Qiu, K., Zhou, Z., Yan, L., Zhao, D., Jiang, H., Dai, Y., Su, B., Gu, P., Su, H., Wan, Q., Peng, Y., ... Wang, W. (2020). Artificial intelligence-enabled screening for diabetic retinopathy: a real-world, multicenter and prospective study. *BMJ Open Diabetes Research & Care*, 8(1). <https://doi.org/10.1136/BMJDRC-2020-001596>

Zilliz. (2024). *What is a Convolutional Neural Network? An Engineer's Guide.*

Zilliz. <https://zilliz.com/glossary/convolutional-neural-network>



EK 1. ETİK KURUL İZİNİ

KLİNİK ARAŞTIRMALAR ETİK KURULU KARAR FORMU

ARAŞTIRMANIN AÇIK ADI	Türkiye'de Diyabetik Retinopatide Yapay Zekâ Taramasının Maliyet Etkililik Analizi
ÇALIŞMAYA ETİK KURUL TARAFINDAN VERİLEN NUMARA/KOD	AEŞH-EK1-2023-659

ETİK KURUL BİLGİLERİ	ETİK KURULUN ADI	Ankara Etik Şehir Hastanesi 1 Nolu Klinik Araştırmalar Etik Kurulu
	AÇIK ADRESİ:	Etik Kurul Sekreterliği Varlık Mh. Halil Sezai Erkut Cc. No:5 Etik/ANKARA
	TELEFON	0312 797 00 00/ 750274
	FAKS	-
	E-POSTA	etiksh.etikkurul@saglik.gov.tr

BAŞVURU BİLGİLERİ

KOORDİNATÖR/SORUMLU ARAŞTIRMACI UNVANI/ADI/SOYADI	Doç. Dr. Songül ÇINAROĞLU			
KOORDİNATÖR/SORUMLU ARAŞTIRMACININ UZMANLIK ALANI	Göz Hastalıkları			
KOORDİNATÖR/SORUMLU ARAŞTIRMACININ BULUNDUĞU MERKEZ	Ankara Etik Şehir Hastanesi			
VARSA İDARİ SORUMLU UNVANI/ADI/SOYADI	-			
DESTEKLEYİCİ	-			
PROJE YÜRÜTÜCÜSÜ UNVANI/ADI/SOYADI (TÜBİTAK vb. gibi kaynaklardan destek alanlar için)	-			
DESTEKLEYİCİNİN YASAL TEMSİLCİSİ	-			
ARAŞTIRMANIN FAZİ VE TÜRÜ	FAZ 1	☐		
	FAZ 2	☐		
	FAZ 3	☐		
	FAZ 4	☐		
	Gözlemsel ilaç çalışması	☐		
	Tıbbi cihaz klinik araştırması	☐		
	İn vitro tıbbi tanı cihazları ile yapılan performans değerlendirme çalışmaları	☐		
	İlaç dışı klinik araştırma	☒		
	Diğer ise belirtiniz :Gülçin ÇALIŞKAN SEYFELİ' nin Tez Araştırması			
ARAŞTIRMAYA KATILAN MERKEZLER	TEK MERKEZ ☒	ÇOK MERKEZLİ ☐	ULUSAL ☒	ULUSLARARASI ☐

Etik Kurul Başkanı
Prof. Dr. Hüseyin Levent KESKİ
İmza:

Not: Etik kurul başkanı, imzasının yer almadığı her sayfaya imza atmalıdır.

KLİNİK ARAŞTIRMALAR ETİK KURULU KARAR FORMU

ARAŞTIRMANIN AÇIK ADI		Türkiye'de Diyabetik Retinopatide Yapay Zekâ Taramasının Maliyet Etkililik Analizi	
ÇALIŞMAYA ETİK KURUL TARAFINDAN VERİLEN NUMARA/KOD		AEŞH-EK1-2023-659	

DEĞERLENDİRİLEN BELGELER	Belge Adı	Tarihi	Versiyon Numarası	Dili
	ARAŞTIRMA PROTOKOLÜ	26/10/2023	1.0	Türkçe ☒ İngilizce ☐ Diğer ☐
	BİLGİLENDİRİLMİŞ GÖNÜLLÜ OLUR FORMU	26/10/2023	0	Türkçe ☒ İngilizce ☐ Diğer ☐
	OLGU RAPOR FORMU	26/10/2023	0	Türkçe ☒ İngilizce ☐ Diğer ☐
	ARAŞTIRMA BROŞÜRÜ			Türkçe ☐ İngilizce ☐ Diğer ☐

DEĞERLENDİRİLEN DİĞER BELGELER	Belge Adı	Açıklama
	SİGORTA	☐
	ARAŞTIRMA BÜTÇESİ	☐
	BİYOLOJİK MATERYEL TRANSFER FORMU	☐
	İLAN	☐
	YILLIK BİLDİRİM	☐
	SONUÇ RAPORU	☐
	GÜVENLİLİK BİLDİRİMLERİ	☐
	DİĞER:	☐

KARAR BİLGİLERİ	Karar No:AEŞH-EK1-2023-659	Tarih: 20/12/2023
	Yukarıda bilgileri verilen başvuru dosyası ile ilgili belgeler araştırmanın/çalışmanın gerekçe, amaç, yaklaşım ve yöntemleri dikkate alınarak incelenmiş ve uygun bulunmuş olup araştırmanın/çalışmanın başvuru dosyasında belirtilen merkezlerde gerçekleştirilmesinde etik ve bilimsel sakınca bulunmadığına toplantıya katılan etik kurul üyelerinin oy birliği ile karar verilmiştir.	

KLİNİK ARAŞTIRMALAR ETİK KURULU

Etik Kurul Başkanı
 Prof. Dr. Hüseyin Levent 
 İmza:

Not: Etik kurul başkanı, imzasının yer almadığı her sayfaya imza atmalıdır.

KLİNİK ARAŞTIRMALAR ETİK KURULU KARAR FORMU

ARAŞTIRMANIN AÇIK ADI		Türkiye'de Diyabetik Retinopatide Yapay Zekâ Taramasının Maliyet Etkililik Analizi
ÇALIŞMAYA ETİK KURUL TARAFINDAN VERİLEN NUMARA/KOD		AEŞH-EK1-2023-659
ETİK KURULUN ÇALIŞMA ESASI	Beşeri Tıbbi Ürünlerin Klinik Araştırmaları Hakkında Yönetmelik, İyi Klinik Uygulamaları Kılavuzu	
BAŞKANIN UNVANI / ADI / SOYADI:	Prof. Dr. Hüseyin Levent KESKİN	

Unvanı/Adı/Soyadı	Uzmanlık Alanı	Kurumu	Cinsiyet		Araştırma ile ilişki		Katılım		İmza
Prof. Dr. Hüseyin Levent KESKİN (KURUL BAŞKANI)	Kadın Hastalıkları ve Doğum	Ankara Etik Şehir Hastanesi	E ☒	K ☐	E ☐	H ☒	E ☐	H ☐	Katılmadı
Prof. Dr. Güleser SAYLAM (KURUL BAŞKAN YARDIMCISI)	KBB Hastalıkları	Ankara Etik Şehir Hastanesi	E ☐	K ☒	E ☐	H ☒	E ☐	H ☒	
Prof. Dr. Sibel ÖRSEL	Psikiyatri	Ankara Etik Şehir Hastanesi	E ☐	K ☒	E ☐	H ☒	E ☐	H ☒	İZİNLİ
Prof. Dr. Ece ÜNLÜ AKYÜZ	Fizik Tedavi-Rehabilitasyon	Ankara Etik Şehir Hastanesi	E ☐	K ☒	E ☐	H ☒	E ☐	H ☐	
Prof. Dr. Ebru GÖK OĞUZ	Nefroloji	Ankara Etik Şehir Hastanesi	E ☐	K ☒	E ☐	H ☒	E ☐	H ☐	
Doç.Dr. Emin GEMCİOĞLU	Dahiliye	Ankara Etik Şehir Hastanesi	E ☒	K ☐	E ☐	H ☒	E ☐	H ☐	
Doç.Dr. Rasime Pelin KAVAK (BİLDİRİMDEN SORUMLU ÜYE)	Radyoloji	Ankara Etik Şehir Hastanesi	E ☐	K ☒	E ☐	H ☒	E ☐	H ☐	İZİNLİ
Doç. Dr. Ayşen Sumru KAVURT	Neonatoloji	Ankara Etik Şehir Hastanesi	E ☐	K ☒	E ☐	H ☒	E ☐	H ☒	
Doç.Dr.Ahmet Burak ERDEM	Acil Tıp Kliniği	Ankara Etik Şehir Hastanesi	E ☒	K ☐	E ☐	H ☒	E ☐	H ☐	
Doç.Dr. Emine ARIK	Anestezi ve Reanimasyon	Ankara Etik Şehir Hastanesi	E ☐	K ☒	E ☐	H ☒	E ☐	H ☐	İZİNLİ
Dr. Öğ.Ü.Burcu KÜÇÜK BİÇER	Halk Sağlığı	Gazi Üni. Tıp Fak. Tıp Eğitimi ve Bilişimi AD	E ☐	K ☒	E ☐	H ☒	E ☐	H ☐	
Uzm.Dr. Hürriyet Ekmel OLCAY	Farmakoloji	Ankara Bilkent Şehir Hastanesi	E ☒	K ☐	E ☐	H ☒	E ☐	H ☐	
Yüksek Mühendis Burcu DEMİR	Biyomedikal	S.B.Ü Dışkapı Yıldırım Beyazıt E.A.H	E ☐	K ☒	E ☐	H ☒	E ☐	H ☒	
Avukat Çiğdem GÜNERİ AYDIN	Hukukçu	S.B. Halk Sağlığı Genel Mdr.	E ☐	K ☒	E ☐	H ☒	E ☐	H ☐	
Serdar YILMAZ	Sağlık Mensubu Olmayan	Emekli Bürokrat	E ☒	K ☐	E ☐	H ☒	E ☐	H ☐	

20/12/2023

*:Toplantıda Bulunma

Etik Kurul Başkanı

Prof. Dr. Hüseyin Levent KESKİN

İmza:

Not: Etik kurul başkanı, imzasının yer almadığı her sayfaya imza atmalıdır.

EK 2. EQ-5D-5L ÖLÇEĞİNİN KULLANIM İZNİ YAZISI

Terms of Use Non-Commercial for the registration ID: 50885

EuroQol - Registration

20 Temmuz 2022 11:51



Dear Ms. Gülçin Çal??kan ,

Thank you for your registration.

The study / project titled "Cost-Effectiveness Analysis of Artificial Intelligence Screening for Diabetic Retinopathy in Turkey".you registered fulfills the conditions for you to use the requested version(s) free of charge.

Below you find our Terms of Use Non-Commercial. We will provide you with the requested versions free of charge once we have received your agreement with our Terms of Use. You can indicate your agreement by pressing the green "Agree" button below. If you do not agree, please press "Disagree".

If you have any questions please contact us by sending an email to userinformationservice@euroqol.org.

Thank you in advance.

Kind regards,

EK 3. ANKET FORMU VE EQ-5D-5L ÖLÇEĞİNİN TÜRKÇE VERSİYONU

DİYABETİK RETİNOPATİ TANİ YÖNTEMLERİNİN MALİYET ETKİLİLİK ANALİZİ DOKTORA TEZ ÇALIŞMASI İÇİN ANKET FORMU

Sevgili Katılımcı

Diyabetik Retinopati Tanı Yöntemlerinin Maliyet Etkililik Analizi başlıklı bu araştırma, Hacettepe Üniversitesi Sağlık Yönetimi AD tarafından doktora tez çalışması kapsamında hazırlanmıştır. Araştırma, Diyabetik Retinopatiyi tespit etme ve derecelendirmede klinisyenleri desteklemek ve Diyabetik Retinopati’de yapay zekanın teşhis sonuçlarını ne derecede iyileştirdiğini ve tanı koymanın kaynak kullanımında etkinlik üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla planlanmıştır.

Araştırma sonucunda elde edilecek tüm bilgiler yalnızca bilimsel amaçlı olarak kullanılacak ve toplanan bilgiler gizli tutulacaktır. Bilimsel bir çalışmaya katkıda bulunmak maksadıyla, kıymetli zamanınızı ayırdığınız için teşekkürlerimizi sunuyoruz.

Tezi Hazırlayan
Gülçin ÇALIŞKAN

Tez Danışmanı
Doç. Dr. Songül ÇINAROĞLU

BİRİNCİ BÖLÜM DEMOGRAFİK ÖZELLİKLER

1. Kod Adı:
2. Cinsiyetiniz: ☐Kadın ☐Erkek
3. Yaşınız:
4. Eğitim durumunuz: ☐Okuryazar değilim ☐İlkokul ☐Ortaokul
☐Lise ☐Ön lisans ☐Lisans
☐Lisansüstü
5. Çalışma durumunuzu belirtiniz:
☐Çalışıyorum ☐Emekliyim ☐Çalışmıyorum
6. Meslek adınızı belirtiniz:
7. Aylık gelir durumunuzun hangi aralıkta yer alıyorsa kutucuğu işaretleyiniz.
☐0-5.500 TL ☐5.501 TL-10.000 TL ☐10.001 TL- 15.000 TL
☐15.001 TL- 20.000 TL ☐20.001 TL- 25.000 TL ☐25.000 TL ve üstü

İKİNCİ BÖLÜM SAĞLIK DURUM BİLGİSİ

1. Sigara kullanım durumunuzu belirtiniz:

☐ Hiçbir zaman ☐ Nadiren ☐ Bazen ☐ Sıklıkla ☐ Her zaman

2. Alkol kullanım durumunuzu belirtiniz:

☐ Hiçbir zaman ☐ Nadiren ☐ Bazen ☐ Sıklıkla ☐ Her zaman

3. Kronik hastalığınız var mı? Varsa hangi hastalık olduğunu belirtiniz.

☐ Evet ☐ Hayır

4. Ne kadar süredir bir kronik hastalığa sahip olduğunuzu belirtiniz.
Şeker süresi

☐ 1-3 yıl ☐ 4-6 yıl ☐ 7-10 yıl ☐ 11-14 yıl
☐ 15-18 yıl ☐ 19-22 yıl ☐ 23-26 yıl ☐ 27-30 yıl
☐ 31-34 yıl ☐ 30 yıl ve üzeri

5. Göz ile ilgili Diyabetik Retinopati dışında başka bir hastalığınız var mı?

☐ Evet ☐ Hayır

6. Diyabetik Retinopati tedavisi için hangi yöntem ya da yöntemleri kullandınız?

☐ Düzenli şeker kontrolü ☐ Göz içi iğne tedavisi
☐ Lazer tedavisi ☐ Vitrektomi ameliyatı

7. Göz muayenenizi ne sıklıkla yaptırıyorsunuz?

☐ 3 ayda bir ☐ 6 ayda bir ☐ Yılda bir ☐ 2 yılda bir
☐ 3 yılda bir ☐ Görüşümde eksiklik hissettiğimde

ÜÇÜNCÜCÜ BÖLÜM
EQ-5D-5L SAĞLIK ANKETİ TÜRKİYE İÇİN TÜRKÇE SÜRÜMÜ (TELEFON
GÖRÜŞMESİ İÇİN TALİMATNAME)

GİRİŞ

(Görüşmeçiye not: lütfen aşağıdakileri yanıtlayana okuyun.)

Sağlığınız hakkında ne düşündüğünüzü öğrenmeye çalışıyoruz. Devam ederken ne yapılması gerektiğini açıklayacağım, ancak bir şey anlamadıysanız veya bir şeyler sizin için net değilse lütfen sözümü kesin. Doğru veya yanlış cevap yoktur. Sadece sizin kişisel görüşünüzle ilgileniyoruz.

İlk olarak, bazı soruları okuyacağım. Her sorunun beş cevap seçeneği vardır. Lütfen hangi cevabın BUGÜNKÜ sağık durumunuzu en iyi ifade ettiğini söyleyin.

Her soru grubunda birden fazla cevap seçmeyin.

(Görüşmeçiye not: önce her soru için beş seçeneğin hepsini okuyun. Ardından yanıtlayıcıdan hangisinin kendisi için geçerli olduğunu seçmesini isteyin. Gerekirse soruyu ve seçenekleri tekrarlayın. Her başlık altında uygun kutuyu işaretleyin. Yanıtlayana zaman çerçevesinin BUGÜN olduğunu düzenli olarak hatırlatmanız gerekebilir.)

EQ-5D DESCRIPTIVE SYSTEM

Öncelikle HAREKET EDEBİLME hakkında sormak istiyorum. Şunları söyler misiniz:

1. Yürüyerek dolaşırken bir güçlük yaşamıyor musunuz? ☐ ☐
2. Yürüyerek dolaşırken çok az güçlük mü yaşıyorsunuz? ☐ ☐
3. Yürüyerek dolaşırken orta derecede güçlük mü yaşıyorsunuz? ☐ ☐
4. Yürüyerek dolaşırken şiddetli güçlük mü yaşıyorsunuz? ☐ ☐
5. Yürüyerek dolaşamıyor musunuz? ☐ ☐

Şimdi size KENDİ KENDİNE BAKABİLME hakkında sormak istiyorum. Şunları söyler misiniz:

1. Kendi kendinize yıkanırken veya giyinirken bir güçlük yaşamıyor musunuz? ☐ ☐
2. Kendi kendinize yıkanırken veya giyinirken çok az güçlüğüňüz mü oluyor? ☐ ☐
3. Kendi kendinize yıkanırken veya giyinirken orta derecede güçlükleriniz mi oluyor? ☐ ☐
4. Kendi kendinize yıkanırken veya giyinirken şiddetli güçlükleriniz mi oluyor? ☐ ☐
5. Kendi kendinize yıkanacak veya giyinebilecek durumda değil misiniz? ☐ ☐

Şimdi size, örneğin iş, ders çalışma, ev işleri, aile içi veya boş zaman faaliyetleri gibi OLAĞAN İŞLER hakkında soru sormak istiyorum. Şunları söyler misiniz:

1. Olağan işlerinizi yaparken herhangi bir güçlük çekmiyor musunuz? ☐ ☐
2. Olağan işlerinizi yaparken çok az güçlüğüňüz mü oluyor? ☐ ☐
3. Olağan işlerinizi yaparken orta derecede güçlükleriniz mi oluyor? ☐ ☐
4. Olağan işlerinizi yaparken şiddetli güçlükleriniz mi oluyor? ☐ ☐
5. Olağan işlerinizi yapabilecek durumda değil misiniz? ☐ ☐

Şimdi size, AĞRI VEYA RAHATSIZLIK hakkında soru sormak istiyorum. Şunları söyler misiniz:

1. Ağrı veya rahatsızlığınız yok mu? ☐ ☐
2. Hafif ağrı veya rahatsızlığınız mı var? ☐ ☐
3. Orta derecede ağrı veya rahatsızlığınız mı var? ☐ ☐
4. Şiddetli ağrı veya rahatsızlığınız mı var? ☐ ☐
5. Aşırı derecede ağrı veya rahatsızlığınız mı var? ☐ ☐

Son olarak size ENDİŞE VEYA MORAL BOZUKLUĞU hakkında soru sormak istiyorum.

Şunları söyler misiniz:

1. Endişeli veya moral bozukluğu içinde değil misiniz? ☐ ☐
 2. Hafif derecede endişeli veya moral bozukluğu içinde misiniz? ☐ ☐
 3. Orta derecede endişeli veya moral bozukluğu içinde misiniz? ☐ ☐
 4. Şiddetli derecede endişeli veya moral bozukluğu içinde misiniz? ☐ ☐
 5. Aşırı derecede endişeli veya moral bozukluğu içinde misiniz? ☐ ☐
-

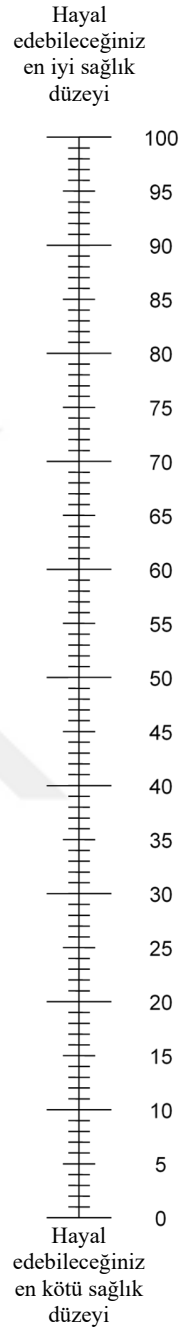


EQ-5D VAS

- Şimdi sizden sağlığınızın BUGÜN ne kadar iyi veya kötü olduğunu söylemenizi istiyorum.
 - 0'dan 100'e kadar numaralandırılmış dikey bir çizgiyi zihninizde canlandırmanızı istiyorum.
(Görüşmeciye not: yüz yüze görüşüyorsanız lütfen yanıtlayana VAS çizgisini gösterin.)
 - Satırın üst kısmındaki 100, hayal edebileceğiniz en iyi sağlık düzeyi anlamına gelir.
- Satırın alt kısmındaki 0, hayal edebileceğiniz en kötü sağlık düzeyi anlamına gelir.
- Şimdi bu satırda BUGÜNKÜ sağlığınızı koyacağınız noktayı söylemenizi istiyorum.
(Görüşmeciye not: yanıtlayıcının bugünkü sağlığını gösteren noktadaki çizgiyi işaretleyin. Şimdi lütfen satırda işaretlediğiniz sayıyı aşağıdaki kutuya yazın.)

YANITLAYICININ BUGÜNKÜ SAĞLIK DURUMU =

Bu soruları cevaplamak için zaman ayırdığınız için teşekkür ederiz.



EK 4. URAL TELEKOMÜNİKASYON SANAYİ TİCARET LİMİTED ŞİRKETİNİN (EYECHECKUP YAZILIMI) BAKANLIK ONAYI YAZISI



T.C.
SAĞLIK BAKANLIĞI
Türkiye İlaç ve Tıbbi Cihaz Kurumu

Sayı :
Konu : 2021-087(Onay)

URAL TELEKOMÜNİKASYON SANAYİ TİCARET LİMİTED ŞİRKETİ
Pınarbaşı Mah. Hürriyet Cad. Akdeniz Üniversitesi
Antalya Teknokent Ar-Ge 2 Ulugbey Binası No:3A/Z 14
Konyaaltı / ANTALYA

İlgi : Kurum evrak kayıt 08.12.2021 tarihli ve E-68869993-511.06-1300108 sayılı başvurunuz.

Destekleyicisi olduğunuz, aşağıdaki tabloda bilgileri verilen ilgi klinik araştırma başvuru dosyası ve belgeler; araştırmanın gerekçe, amaç, yaklaşım ve yöntemleri dikkate alınarak 06.09.2014 tarihli ve 29111 sayılı Resmi Gazete 'de yayımlanan Tıbbi Cihaz Klinik Araştırmaları Yönetmeliği gereğince incelenmiş olup Tıbbi Cihaz Klinik Araştırmaları Başvuru Formunda belirtilen merkezde araştırmanın başlaması uygun bulunmuştur.

Araştırmanın Adı	Derin Öğrenme Modeli ile Arka Kutup Fotoğraflarından Diyabetik Retinopati Tespit Ve Sınıflandırması
Koordinatör Merkez	Akdeniz Üniversitesi Tıp Fakültesi
Koordinatör / Sorumlu Araştırmacı	Doç. Dr. Ahmet Burak BİLGİN
Protokol tarihi / versiyon no	05.10.2021/1,0
BGOF tarihi / versiyon no	05.10.2021/1,0
ORF tarihi / versiyon no	05.10.2021/1,0
Araştırma Broşürü tarihi / versiyon no	-
Proje Yürütücüsü	-

Bu kapsamda yukarıda ayrıntıları verilen çalışma ile ilgili olarak;

- İthal edilecek araştırma cihazının ithalat izni için Kurumumuza müracaat edilmesi,
- CE işareti taşımayan klinik araştırma amaçlı cihazın araştırma haricinde kullanılmaması,
- Gönüllülerden alınan ve ülke dışına çıkarılacak olan numuneler için biyolojik materyal transfer formunda belirtilen şartların yerine getirilmesi,
- Araştırmanın başlamaması, iptali veya sonlandırılması halinde tarafımıza bilgi verilmesi,
- Araştırma süresince ortaya çıkan advers olayların/etkilerin tarafımıza bildirilmesi,





T.C.
SAĞLIK BAKANLIĞI
Türkiye İlaç ve Tıbbi Cihaz Kurumu

- Araştırmanın Helsinki Bildirgesi'nin son metni, İyi Klinik Uygulamalar İlkeleri ve ilgili mevzuata uygun olarak yürütülmesi,
- Araştırmada kullanılan her türlü araştırma ürününün ve ürünlerin kullanılmasına mahsus her türlü malzeme ile muayene, tetkik, tahlil ve tedavilerin bedeli için gönüllüden herhangi bir ücret talep edilmemesi,
- Araştırmaya ait yıllık bildirim formunun düzenli olarak Kurumumuza gönderilmesi,
- Araştırmanın Destekleyicisi olarak yazımızın bir örneğinin ilgili etik kurula iletilmesi hususlarında bilgilerini ve gereğini rica ederim.

Fatih TOPUZ
Kurum Başkanı a.
Daire Başkanı



EK 5. TEZ ORJİNALLİK RAPORU

	HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ	Doküman Kodu Form No.	FRM-DR-21
		Yayın Tarihi Date of Pub.	04.01.2023
	FRM-DR-21 Doktora Tezi Orijinallik Raporu <i>PhD Thesis Dissertation Originality Report</i>	Revizyon No Rev. No.	02
		Revizyon Tarihi Rev.Date	25.01.2024

HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ SAĞLIK YÖNETİMİ ANABİLİM DALI BAŞKANLIĞINA
Tarih: 24/12/2024
Tez Başlığı "Diyabetik Retinopati Tanı Yöntemlerinin Maliyet Etkililik Analizi" Tez Başlığı (Almanca/Fransızca)*:.....
Yukarıda başlığı verilen tezin a) Kapak sayfası, b) Giriş, c) Ana bölümler ve d) Sonuç kısımlarından oluşan toplam 180 sayfalık kısmına ilişkin, 24/12/2024 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından Turnitin adlı intihal tespit programından aşağıda işaretlenmiş filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezin benzerlik oranı % 5 'dir.
Uygulanan filtrelemeler**: 1. ☒ Kabul/Onay ve Bildirim sayfaları hariç 2. ☒ Kaynakça hariç 3. ☒ Alıntılar hariç 4. ☐ Alıntılar dâhil 5. ☒ 5 kelimedenden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç
Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Tez Çalışması Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılması Uygulama Esasları'nı inceledim ve bu Uygulama Esasları'nda belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tezin herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumlarda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.
Gereğini saygılarımla arz ederim.
Gülçin ÇALIŞKAN SEYFELİ/

Öğrenci Bilgileri	Ad-Soyad	GÜLÇİN ÇALIŞKAN SEYFELİ
	Öğrenci No	N19147562
	Enstitü Anabilim Dalı	SAĞLIK YÖNETİMİ ANABİLİM DALI
	Programı	SAĞLIK YÖNETİMİ PROGRAMI
	Statüsü	Doktora ☒ Lisans Derecesi ile (Bütünleşik) Dr ☐

DANIŞMAN ONAYI

UYGUNDUR.
DOÇ. DR. SONGÜL ÇINAROĞLU

*Tez Almanca veya Fransızca yazılıyor ise bu kısımda tez başlığı **Tez Yazım Dilinde** yazılmalıdır.

**Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Tez Çalışması Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılması Uygulama Esasları İkinci bölüm madde (4)/3'te de belirtildiği üzere: Kaynakça hariç, Alıntılar hariç/dahil, 5 kelimedenden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç (Limit match size to 5 words) filtreleme yapılmalıdır.

	HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ	Doküman Kodu Form No.	FRM-DR-21
		Yayın Tarihi Date of Pub.	04.01.2023
	FRM-DR-21 Doktora Tezi Orijinallik Raporu <i>PhD Thesis Dissertation Originality Report</i>	Revizyon No Rev. No.	02
		Revizyon Tarihi Rev.Date	25.01.2024

TO HACETTEPE UNIVERSITY GRADUATE SCHOOL OF SOCIAL SCIENCES DEPARTMENT OF HEALTH CARE MANAGEMENT	
Date: 24/12/2024	
Thesis Title (In English): Cost-Effectiveness Analysis of Diabetic Retinopathy Diagnosis Methods	
According to the originality report obtained by myself/my thesis advisor by using the Turnitin plagiarism detection software and by applying the filtering options checked below on 24/12/2024 for the total of 180 pages including the a) Title Page, b) Introduction, c) Main Chapters, and d) Conclusion sections of my thesis entitled above, the similarity index of my thesis is 5%.	
Filtering options applied**:	
1. ☒ Approval and Declaration sections excluded 2. ☒ References cited excluded 3. ☒ Quotes excluded 4. ☐ Quotes included 5. ☒ Match size up to 5 words excluded	
I hereby declare that I have carefully read Hacettepe University Graduate School of Social Sciences Guidelines for Obtaining and Using Thesis Originality Reports that according to the maximum similarity index values specified in the Guidelines, my thesis does not include any form of plagiarism; that in any future detection of possible infringement of the regulations I accept all legal responsibility; and that all the information I have provided is correct to the best of my knowledge.	
I respectfully submit this for approval.	
Gülçin ÇALIŞKAN SEYFELİ/	

Student Information	Name-Surname	GÜLÇİN ÇALIŞKAN SEYFELİ	
	Student Number	N19147562	
	Department	DEPARTMENT OF HEALTH CARE MANAGEMENT	
	Programme	HEALTH CARE MANAGEMENT	
	Status	PhD ☒	Combined MA/MSc-PhD ☐

SUPERVISOR'S APPROVAL

APPROVED
Assoc. Prof. Dr. Songül ÇINAROĞLU

**As mentioned in the second part [article (4)/3] of the Thesis Dissertation Originality Report's Codes of Practice of Hacettepe University Graduate School of Social Sciences, filtering should be done as following: excluding reference, quotation excluded/included, Match size up to 5 words excluded.