

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ * SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ

İŞLETME ANABİLİM DALI

DOKTORA PROGRAMI

**OECD ÜLKELERİNİN SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK AÇISINDAN BULANIK ÇOK
KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMLERİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ**

DOKTORA TEZİ

Murat GÖK

EYLÜL-2022

TRABZON

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ * SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ

İŞLETME ANABİLİM DALI

DOKTORA PROGRAMI

**OECD ÜLKELERİNİN SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK AÇISINDAN BULANIK ÇOK
KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMLERİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ**

DOKTORA TEZİ

Murat GÖK

TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. SELÇUK PERÇİN

EYLÜL-2022

TRABZON

ONAY

Murat GÖK tarafından hazırlanan “OECD Ülkelerinin Sürdürülebilirlik Açısından Bulanık Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ile Değerlendirilmesi” adlı bu Çalışma 27.10.2022 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda oybirliği / oyçokluğu ile başarılı bulunarak jürimiz tarafından İşletme Anabilim Dalı Doktora Programı’nda **doktora tezi** olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyesi		Karar		İmza
Unvanı- Adı ve Soyadı	Görevi	Kabul	Ret	
Prof. Dr. Selçuk PERÇİN	Başkan	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Prof. Dr. Halis DEMİR	Üye	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Prof. Dr. Birdoğan BAKİ	Üye	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Doç. Dr. İskender PEKER	Üye	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Dr. Öğr. Üyesi Aykut KARAKAYA	Üye	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduklarını onaylıyorum.

Prof. Dr. Tülay İLHAN NAS
Enstitü Müdürü

BİLDİRİM

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca KTÜ- Sosyal Bilimler Enstitüsü Tez Yazım Kılavuzu'na uygun olarak hazırlanan bu Çalışmada yararlanılan kaynakların tümüne eksiksiz atıf yapıldığını, aksinin ortaya çıkması durumunda her tür yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

Murat GÖK

26.09.2022

ÖNSÖZ

Doğal kaynakların gün geçtikçe azaldığı, zarar gördüğü ve neredeyse yok olmaya başladığı günümüz dünyasında, medeniyetin önünde aşılması zor engeller bulunmaktadır. Gelecek nesillere yaşanabilir bir dünya bırakmanın yolu; küresel düzeyde yoksulluğu bitirip, kişisel hakların ve özgürlüklerin hâkim olduğu, demokrasi ve barışın egemen olduğu bir düzlemde geçmektedir. Bu amaçlara ulaşma yolunda, Birleşmiş Milletler (BM) tarafından ortaya konan sürdürülebilirlik hedeflerinin şeffaf bir şekilde değerlendirilmesi ve bunun sonucunda ülkeler arasında evrensel bir uzlaşımın ve koordinasyonun tesis edilmesi yegâne şarttır.

Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerin çevresel, ekonomik ve sosyal alanlarda gelecek nesillere aktarabilecekleri sermayenin niceliği veya niteliği, bu ülkelerin bugün ne yaptıkları, hangi politikaları izledikleri veya ortaya koydukları seçimleri ile ilgilidir. Küresel iklim değişiklikleri, büyük çaplı salgın hastalıklar, tedarik zincirinde yaşanan problemler, finans ve teknoloji savaşları gibi küresel risklerin varlığı sürdürülebilir kalkınmayı yavaşlatan başlıca faktörlerdir. Bu bakımdan, dünya üzerindeki ülkeler sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmak için ortaya koydukları aksiyon ve pratikleri bu risklere rağmen genişletip iyileştirmek zorundadır.

Dünya ülkeleri insani kalkınma, çevresel koruma ve ekonomik gelişme anlamında oldukça önemli engelleri aşmıştır. Fakat, BM'nin 2030 gündemine yönelik gerçekleştirilmesi gereken bir dizi görev mevcuttur. Sürdürülebilir kalkınma ve refahın her açıdan bir hedef halini alması ile gelecek nesillere yaşanabilir bir dünyanın bırakılması mümkün olacaktır. Dolayısıyla, ortaya konan vizyon ve hedeflere ulaşma noktasında ülkelerin gösterdikleri performansın ölçülmesi son derece önemlidir. Buradan hareketle, bu çalışmanın amacı OECD ülkelerinin sürdürülebilir kalkınma performansının objektif yöntemler ile değerlendirilmesidir. Çalışma sonuç ve çıktıların, karar vericilere ve politika yapıcılara destek sunacağı ve katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Bu çalışmanın başından sonuna kadar, bilgi birikimi ve akademik tecrübesini benden esirgemeyen, çalışmanın her adımında bakış açımı genişleten, emeği, katkısı ve sabrıyla beni her anlamda yetiştiren değerli danışman hocam Sayın Prof. Dr. Selçuk PERÇİN'e teşekkür ederim. Ayrıca, çalışma süresince kıymetli düşünce, öneri ve yönlendirmeleri için değerli hocalarım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Aykut KARAKAYA'ya ve Sayın Prof. Dr. Birdoğan BAKI'ye teşekkürlerimi sunarım.

Eylül, 2022

Murat GÖK

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	IV
İÇİNDEKİLER	V
ÖZET.....	VIII
ABSTRACT	IX
TABLolar LİSTESİ.....	X
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	XII
GRAFİKLER LİSTESİ.....	XIII
KISALTMALAR LİSTESİ.....	XIV
GİRİŞ	1-3

BİRİNCİ BÖLÜM

1. SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK KAVRAMI, KÖKENİ VE ÇEŞİTLİ DÜZEYLERDE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK ÖLÇÜMLERİ.....	4-32
1.1. Sürdürülebilirlik Kavramının Kökenleri	4
1.2. Sürdürülebilir Kalkınma ve BM çerçevesi.....	5
1.3. Sürdürülebilir Kalkınma ve AB çerçevesi.....	8
1.4. Sürdürülebilir Kalkınma Kavramı.....	10
1.5. Sürdürülebilir Kalkınma Kavramının Boyutları.....	12
1.5.1. Çevresel / Ekolojik Boyut	13
1.5.2. Ekonomik Boyut	14
1.5.3. Sosyal Boyut	14
1.6. İşletme Seviyesinde Sürdürülebilir Kalkınma.....	17
1.7. Şehir Seviyesinde Sürdürülebilir Kalkınma	19
1.8. Ülke Seviyesinde Sürdürülebilir Kalkınma.....	20
1.8.1. Sürdürülebilirlik Göstergeleri.....	20
1.8.2. Ekolojik Ayak İzi (Ecological Footprint-EF).....	22
1.8.3. Mutlu Gezegen İndeksi (Happy Planet Index-HPI)	23
1.8.4. Sürdürülebilir Ekonomik Refah İndeksi (The Index of Sustainable Economic Welfare -ISEW).....	24
1.8.5. Gerçek İlerleme Göstergesi (Genuine Progress Indicator-GPI).....	25
1.8.6. İnsani Gelişim İndeksi (Human Development Index-HDI)	26

1.8.7.	Gençlik Gelişim İndeksi (Youth Development Index-YDI)	27
1.8.8.	Yaşam Döngüsü Analizi (Life-Cycle Analysis or Assessment -LCA)	27
1.8.9.	Enerji Yatırım Getirisi (Energy Return on Investment-EROI)	28
1.8.10.	I=PAT.....	28
1.8.11.	Çevresel Sürdürülebilirlik İndeksi (Environmental Sustainability Index-ESI)....	29
1.8.12.	Çevresel Performans İndeksi (The Environmental Performance Index-EPI)	29
1.8.13.	İnsani Yoksulluk İndeksi (The Human Poverty Index-HPI) ve Çok Boyutlu Yoksulluk İndeksi (Multidimensional Poverty Index-MPI).....	30
1.8.14.	Sürdürülebilirlik Takip, Değerlendirme ve Değerlendirme Sistemi (The Sustainability Tracking, Assessment & Rating System-STARs)	30
1.8.15.	Binyıl Kalkınma Hedefleri (Millennium Development Goals-MDGs).....	31
1.8.16.	Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri (Sustainable Development Goals-SDGs).....	31

İKİNCİ BÖLÜM

2.	BULANIK MANTIK TEORİSİ VE ÇALIŞMADA ÖNERİLEN PİSAGOR BULANIK YÖNTEMLER	33-66
2.1.	Klasik/ Geleneksel Mantık	33
2.2.	Sembolik Mantık	34
2.3.	Sonsuz Değerli ve Çok Değerli Mantık	34
2.4.	Bulanık Mantık.....	34
2.4.1.	Bulanık Mantığın Temel Özellikleri	35
2.4.2.	Bulanık Mantıkta Üstünlükler ve Zayıflıklar	36
2.5.	Bulanık Kümeler Teorisi.....	37
2.5.1.	Bulanık Kümelerin Temel Özellikleri.....	39
2.5.2.	Üyelik Fonksiyonu Türleri	41
2.6.	Bulanık Aritmetik İşlemler.....	43
2.6.1.	Genişleme İlkesi (Extension Principle) Yaklaşımı.....	44
2.6.2.	Alfa- Kesim Aralık Yaklaşımı	44
2.7.	Sezgisel Bulanık Kümeler	45
2.8.	Pisagor Bulanık Kümeler (PBK).....	46
2.8.1.	Pisagor Sayılarda Temel Kavramlar.....	47
2.8.2.	Pisagor Sayılarda Aritmetik İşlemler	48
2.8.3.	Sezgisel ve Pisagor Bulanık Sayıların Karşılaştırılması	49
2.9.	Kriter Ağırlıklandırma Yöntemleri	50
2.9.1.	Shannon Entropi Tekniği	50
2.9.2.	Bulanık Shannon Entropi Yöntemi	51
2.9.3.	Pisagor Bulanık Entropi (PBE) Yöntemi	53

2.10.	Pisagor Bulanık ÇKKV Yöntemleri.....	55
2.10.1.	Pisagor Bulanık TOPSIS (PBTOPSIS) Yöntemi	55
2.10.2.	Pisagor Bulanık VIKOR (PBVIKOR) Yöntemi	57
2.10.3.	Pisagor Bulanık MOORA (PBMOORA) Yöntemi	59
2.11.	Literatür Araştırması	61
2.11.1.	PBE Yönteminin Kullanıldığı Çalışmalar	62
2.11.2.	PBTOPSIS Yönteminin Kullanıldığı Çalışmalar	63
2.11.3.	PBVIKOR Yönteminin Kullanıldığı Çalışmalar	64
2.11.4.	PBMOORA Yönteminin Kullanıldığı Çalışmalar.....	65

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

3.	UYGULAMA: PİSAGOR BULANIK ÇKKV YÖNTEMLERİ İLE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK DEĞERLENDİRMESİ	67-125
3.1.	Araştırmanın Amacı	67
3.2.	Araştırmanın Metodolojisi	68
3.3.	Araştırmanın Gerekçesi ve Özgün Değeri.....	69
3.4.	Araştırmanın Veri Seti ve Örneklemi.....	71
3.5.	Analizde Kullanılan Değişkenler	72
3.6.	PBE ile Ağırlıkların Elde Edilmesi	76
3.7.	Kullanılan Sıralama Yöntemlerinin Seçimi ve Üstünlükleri.....	80
3.8.	Pisagor Bulanık Yöntemler ile Ülkelerin Sürdürülebilirlik Sıralamaları	81
3.8.1.	PBTOPSIS ile Elde Edilen Sürdürülebilirlik Sıralamaları	82
3.8.2.	PBVIKOR ile Elde Edilen Sürdürülebilirlik Sıralamaları.....	88
3.8.3.	PBMOORA ile Elde Edilen Sürdürülebilirlik Sıralamaları.....	95
3.9.	Borda Sayım Tekniği ile Sıralama Sonuçlarının Birleştirilmesi	100
3.10.	Duyarlılık Analizi.....	108
3.11.	Uygulamaya Yönelik Yorum ve Değerlendirmeler	118
3.11.1.	Ekonomik Boyutta Yapılan Değerlendirme	119
3.11.2.	Çevresel Boyutta Yapılan Değerlendirme.....	120
3.11.3.	Sosyal Boyutta Yapılan Değerlendirme	122
3.11.4.	Nihai Sıralamalar İçin Yapılan Değerlendirme.....	123
	SONUÇ VE ÖNERİLER.....	126
	KAYNAKÇA	130
	EKLER.....	143
	ÖZGEÇMİŞ.....	150

ÖZET

Dünya üzerinde pek çok ülke sürdürülebilir kalkınma ile gelecek nesillere daha yaşanabilir bir ortam bırakabileceklerini düşünmektedirler. En basit anlamda sürdürülebilir olma durumu, elde var olan kaynak ve imkanların şimdiki sekteye uğratmadan, gelecek nesillere aktarılma potansiyelidir. Mikro ölçekte şehirlerin sürdürülebilir olması daha yaşanabilir bir çevre sunarken, makro ölçekte bu durum ülkeler için rekabet avantajı, saygınlık, kaynak verimliliği ve küresel risklerden kaçış gibi birçok avantaj sağlayabilir.

Neyin korunacağı ve neyin değişeceği konusuna kılavuzluk yapan vizyon bağlamında, ülkelerin nerede durduklarının bir çerçevesi; sürdürülebilir kalkınma ile gelecek nesillere daha yaşanabilir bir çevre bırakmak için tasarlanan gelecek vizyonuna büyük oranda açıklık ve netlik kazandıracaktır. Bu bağlamda çalışmanın amacı, OECD ülkelerine yönelik sürdürülebilir kalkınma açısından bir performans değerlendirmesi gerçekleştirmektir. Sürdürülebilirlik ölçüm literatüründe Pisagor bulanık entropi, TOPSIS, VIKOR ve MOORA yöntemlerini bütünleşik olarak kullanan bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Çalışmanın örneklemini 35 OECD üye ülkesi oluşturmaktadır. Ülkelerin 2015- 2019 yıllarına ait 24 adet sürdürülebilirlik değişkeni kullanılarak Pisagor bulanık yöntemlerin bütünleşik kullanımı ile yeni bir sürdürülebilirlik indeksi oluşturulması hedeflenmektedir.

Önerilen bütünleşik model, sürdürülebilir kalkınmaya dair önemli değişkenleri tespit etmesi bakımından son derece kıymetlidir. Ayrıca çalışmada, üç farklı bulanık yöntemin hibrit kullanımı ile önerilen modelin güvenilirliği ve sağlamlığı kanıtlanmaktadır. Bunun yanında, gerçekleştirilen duyarlılık analizi ve Monte Carlo simülasyonu yardımıyla, ülkelerin değişken ağırlıklarında meydana gelebilecek değişimlere karşı ne derece hassas oldukları saptanmaya çalışılmıştır.

Yürütülen araştırma sonucunda, çevresel ve ekonomik iyileşmenin sürdürülebilir kalkınma için kritik öneme sahip olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, önerilen bulanık modelin makro düzeyde yapılan sürdürülebilirlik ölçümlerine yeni bir metodolojik çerçeve sunacağı düşünülmektedir. Bunun yanında, ÇKKV yöntemlerinin bütünleşik bir bakış açısıyla sürdürülebilirlik ölçümünde ilk defa önerilmesi de çalışmanın literatüre katkısını ortaya koymaktadır. Son olarak çalışmanın, ileriki araştırmalara ışık tutması ve politika yapıcılara yeni bir bakış açısı getirmesi beklenmektedir.

Anahtar Sözcükler: Sürdürülebilirlik, Pisagor Bulanık Yöntemler, Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri, ÇKKV.

ABSTRACT

Many countries around the world think that they can leave a livable environment for future generations with sustainable development. In the simplest sense, being sustainable is the potential of transferring existing resources and opportunities to future generations without interrupting the present. While the sustainability of cities offers a more livable environment, on a macro scale this can provide many advantages for countries such as competitive advantage, prestige, resource efficiency and escape from global risks.

A framework of where countries stand in the context of the vision that guides what to preserve and what to change; It will provide a great deal of clarity and certainty to the vision of the future, which is designed to leave a more livable environment for future generations with sustainable development. In this context, the aim of study is to perform a performance evaluation in terms of sustainable development for OECD countries. No study has been found in the sustainability measurement literature that uses integrated Pythagorean fuzzy entropy, TOPSIS, VIKOR and MOORA methods. The sample of the study consists of 35 OECD member countries. It is aimed to create a new sustainability index with the integrated use of Pythagorean fuzzy methods by using 24 sustainability variables of the countries for the years 2015-2019.

The proposed integrated model is extremely valuable in that it identifies important variables regarding sustainable development. In addition, the reliability and robustness of the proposed model are proven by the hybrid use of three different fuzzy methods. In addition, with the help of the sensitivity analysis and Monte Carlo simulation, it was tried to determine how sensitive the countries are to the changes that may occur in the variable's weights.

As a result of the research carried out, it has been determined that environmental and economic recovery have crucial for sustainable development. Also, it is thought that the proposed fuzzy model will provide a new methodological framework for sustainability measurements at macro level. In addition, the fact that MCDM methods were proposed for the first time in the measurement of sustainability in an integrated perspective reveals the contribution of the study to the literature. Finally, it is expected that the study will shed light on future researches and bring a new perspective to policy makers.

Keywords: Sustainability, Pythagorean Fuzzy Methods, Sustainable Development Goals, MCDM.

TABLolar LİSTESİ

Tablo Nr.	Tablo Adı	Sayfa Nr.
1	Sürdürülebilir Kalkınmaya Yönelik BM Eylemleri	5
2	Sürdürülebilir Kalkınmaya Yönelik AB Eylemleri	8
3	Örnek Sürdürülebilir Kalkınma Göstergeleri	21
4	Türkiye'nin Ekolojik Ayak İzi (2018).....	23
5	Yöntemin Kullanıldığı Çalışmalar	63
6	Yöntemin Kullanıldığı Çalışmalar	65
7	Yöntemin Kullanıldığı Çalışmalar	66
8	Analizde Ele Alınan Ülkeler ve Gelir Düzeyleri.....	71
9	Değişkenler ve Kullanıldıkları Çalışmalar	72
10	Karar Değişkenleri Kapsam, Birim ve Açıklamaları.....	74
11	Yüzdeler ve Pisagor Bulanık Ölçek	77
12	Örnek Pisagor Bulanık Sayı Dönüşümü.....	77
13	PBE Sonucunda Elde Edilen Ağırlıklar	78
14	Ekonomik Boyut İçin PBTOPSIS Sonuçları.....	83
15	Çevresel Boyut İçin PBTOPSIS Sonuçları.....	84
16	Sosyal Boyut İçin PBTOPSIS Sonuçları.....	85
17	Farklı Yöntemler ile Yapılan Karşılaştırmalı Analiz (PBTOPSIS).....	87
18	Ekonomik Boyut İçin PBVIKOR Sonuçları.....	90
19	Çevresel Boyut İçin PBVIKOR Sonuçları	91
20	Sosyal Boyut İçin PBVIKOR Sonuçları.....	92
21	Farklı Yöntemler ile Yapılan Karşılaştırmalı Analiz (PBVIKOR)	93
22	Ekonomik Boyut İçin PBMOORA Sonuçları	96
23	Çevresel Boyut İçin PBMOORA Sonuçları.....	97
24	Sosyal Boyut İçin PBMOORA Sonuçları	98
25	Farklı Yöntemler ile Yapılan Karşılaştırmalı Analiz (PBMOORA)	99
26	Borda Tekniği ile Birleştirilmiş Nihai Sıralamalar (PBTOPSIS).....	100
27	Borda Tekniği ile Birleştirilmiş Nihai Sıralamalar (PBVIKOR)	102
28	Borda Tekniği ile Birleştirilmiş Nihai Sıralamalar (PBMOORA)	104
29	Spearman Sıra Korelasyon Sonuçları	106
30	Duyarlılık Analizinde Kullanılan Ağırlıklar.....	109

31	PBTOPSIS Duyarlılık Analizi Sonuçları	110
32	PBVIKOR Duyarlılık Analizi Sonuçları	112
33	PBMOORA Duyarlılık Analizi Sonuçları.....	114
34	Simülasyon Sonucunda Tespit Edilen Değişkenler.....	116



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil Nr.	Şekil Adı	Sayfa Nr.
1	Küresel Çevresel ve Sosyal Farkındalığın Zaman Çizelgesi, 1960-2007.....	5
2	Sürdürülebilirliğin Üç Bileşeni.....	13
3	Çok Boyutlu Bir Kavram Olarak İyi Oluş Hali.....	16
4	3 Temel Boyut.....	17
5	Ekolojik Ayak İzinin Bileşenleri.....	22
6	İnsani Gelişim Endeksi Çerçevesi.....	26
7	Genel Yaşam Döngüsü Aşamaları.....	27
8	Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri.....	32
9	Bulanık Kümelerin Uzantıları.....	37
10	Üyelik Derecesi Örnek Gösterim.....	38
11	Üçgensel Bulanık Sayı Örnek Gösterim.....	39
12	Bulanık Kümelerin Temel Özellikleri.....	40
13	Üçgensel Bulanık Sayı.....	41
14	Yamuk Bulanık Sayı.....	43
15	Sezgisel ve Pisagor Bulanık Sayılarda Çözüm Alanı.....	47
16	Araştırmanın Temel Aşamaları.....	70
17	Karar Probleminin Hiyerarşik Gösterimi.....	80

GRAFİKLER LİSTESİ

Grafik Nr.	Grafik Adı	Sayfa Nr.
1	PBTOPSIS İçin Borda Sıralamaları	102
2	PBVIKOR İçin Borda Sıralamaları	104
3	PBMOORA İçin Borda Sıralamaları.....	106
4	PBTOPSIS ve PBVIKOR İçin Dağılım Grafiği.....	107
5	PBTOPSIS ve PBMOORA İçin Dağılım Grafiği.....	107
6	PBVIKOR ve PBMOORA İçin Dağılım Grafiği	108
7	Duyarlılık Analizi Sonuçları (PBTOPSIS).....	111
8	Duyarlılık Analizi Sonuçları (PBVIKOR)	113
9	Duyarlılık Analizi Sonuçları (PBMOORA)	115
10	Monte Carlo Simülasyonu Sonucunda Oluşan Sıralamalar (PBTOPSIS).....	117
11	Monte Carlo Simülasyonu Sonucunda Oluşan Sıralamalar (PBVIKOR)	117
12	Monte Carlo Simülasyonu Sonucunda Oluşan Sıralamalar (PBMOORA)	118
13	GSYİH ve Ülke Sürdürülebilirlik Sıralamaları	124

KISALTMALAR LİSTESİ

AASHE	: Association for the Advancement of Sustainability in Higher Education
AB	: Avrupa Birliği
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
AHP	: Analitik Hiyerarşi Prosesi
AIDS	: Acquired Immune Deficiency Syndrome
BM	: Birleşmiş Milletler
CO2	: Karbondioksit
ÇKKV	: Çok Kriterli Karar Verme
ÇPİ	: Çevresel Performans İndeksi
DB	: Dünya Bankası
DSÖ	: Dünya Sağlık Örgütü
EF	: Ecological Footprint
Eİİ	: Eko İnovasyon İndeksi
EPI	: Environmental Performance Index
EROI	: Energy Return on Investment
ESI	: Environmental Sustainability Index
FAO	: Food and Agriculture Organization
GSYİH	: Gayri Safı Yurtiçi Hasıla
HPI	: Happy Planet Index
HPI	: Human Poverty Index
IMF	: International Monetary Fund
LCA	: Life-Cycle Analysis or Assessment
MDG	: Millennium Development Goals
MOORA	: Multi-objective Optimization by Ratio Analysis
MPI	: Multidimensional Poverty Index
OECD	: Organization for Economic Co-operation and Development
PBE	: Pisagor Bulanık Entropi
PBK	: Pisagor Bulanık Küme
PBMOORA	: Pisagor Bulanık MOORA
PBS	: Pisagor Bulanık Sayılar
PBTOPSIS	: Pisagor Bulanık TOPSIS
PBVIKOR	: Pisagor Bulanık VIKOR
PFWA	: Pythagorean Fuzzy Weighting Average

SDGs	: Sustainable Development Goals
SEDA	: Sustainable Economic Development Assessment
SKH	: Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri
STARS	: The Sustainability Tracking, Assessment & Rating System
STK	: Sivil Toplum Kuruluşu
TBL	: Triple Bottom Line
TOPSIS	: Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
UÇÖ	: Uluslararası Çalışma Örgütü
UEA	: Uluslararası Enerji Ajansı
UNICEF	: United Nations International Children's Emergency Fund
VIKOR	: ViseKriterijumsa Optimizacija I Kompromisno Resenje
WCED	: World Commission on Environment and Development
YBS	: Yamuk Bulanık Sayı
YDA	: Yaşam Döngüsü Aşamaları
YDI	: Youth Development Index

GİRİŞ

1960'lı yılların başında önemi kavranan çevre kirliliği ve sürdürülebilirlik kavramı, insanın üretim ve tüketim eylemlerinin bir yan ürünüdür. Ekonomik kalkınmada sınır tanımayan geleneksel ekonomik görüş, çevre korunmasını bir lüks olarak algılamış ve ekonomik kalkınma analizlerine entegre etmemiştir. Çevreyi ihmal eden bu görüş ekonomik büyüme olayına kısa dönemli bakmıştır. Bunun sonucu olarak toplumlar ve özellikle sanayileşmiş ülkeler, çevreyi umarsızca kirletmişlerdir. Bunun gelecek nesillerin yaşamlarını tehlikeye attığının anlaşılması uzun yıllar gerektirmiştir. Tüm bu tehditlerin altında, mikro ekonomik açıdan üretim ve tüketim, makro ekonomik açıdan ise, büyüme ve kalkınma ilişkileri bulunmaktadır. Ancak çevrenin kendini temizleyemeyeceği ve ikame edilemez kaynakların tümünün sınırlı olması gerçeği, maddi üretim ile refahı özdeşleştiren insanoğlunu niteliksel ve niceliksel bir gelişme anlayışına yönlendirmiş, bir anlamda da gelecek nesillerin güvencesi açısından bu tür bir anlayışın benimsenmesi zorunluluk olmuştur. Bu anlayış sürdürülebilirliktir. Sürdürülebilirlik, gelecek nesillerin kendi gereksinmelerini tehlikeye atmaksızın bugünkü kuşakların gereksinmelerini karşılayan bir anlayıştır. Bu anlayışın temelinde tüketmeden kullanım düşüncesi yatmaktadır.

İnsanlar yaşamak için kaynak tüketmekte ve bu durum dünya üzerinde bazı olumsuz sonuçlara neden olmaktadır. Bu olumsuz sonuçlar kıt kaynakları tüketmekte, küresel bir tehdit oluşturmakta ve gelecek neslin mevcut neslin yaşadığı şartlarda yaşaması ihtimalini zayıflatmaktadır. Geniş ölçekte insanlar çevreye çeşitli zararlar vermektedir (Diesendorf, 2000: 20-21). Bu zararlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Atmosferin bileşiminde ve dolayısıyla dünya ikliminde geri dönüşü olmayan değişiklikler
- Stratosferik ozonun tahrip olması ve dolayısıyla güneş ışığında ultraviyole ışıktan canlı organizmalara artan hasar
- Üst toprağın bozulması ve çölleşmedeki artışlar, biyolojik çeşitlilik kaybı, fotosentez ve besin döngülerinde hasar, yaygın kirlilik, artezyen su stoklarının tükenmesi

Görüleceği üzere zarar diye bahsedilen unsurlar insan yaşamını tehdit edecek kadar öneme sahiptir. Günümüzde kayıtsız kalınması imkânsız hale gelen bu sonuçlar pek tabii bir anda oluşmamış geçmişten günümüze oluşumu hızlanarak devam etmiştir. Bu durum hem bireylerin hem de ülkelerin gündeminde sürdürülebilirlik kavramının ilk sırada yer almasına ve eylem planlarına geçilmesine neden olmuştur. Sürdürülebilirlik çalışmaları ile (Dunphy ve Benveniste, 2000: 6);

- Gezegeenin biyosferin yaşamını sürdürme kabiliyetini koruma ve yenileme ile tüm canlı türlerini koruma yeteneğini geliştirmek,
- Toplumun temel problemlerini çözebilme yeteneğini geliştirmek, şimdiki ve gelecekteki nesillere iyi bir refah düzeyi sağlamak,
- Organizasyonların üretken ömrünü uzatmak ve yüksek kurumsal performans seviyelerini korumak gibi faaliyetlerin gerçekleştirilebilmesi amaçlanmıştır.

Sürdürülebilirlik ve sürdürülebilir kalkınma genellikle iktisatçılar tarafından birbirinin yerine kullanılmakta veya sürdürülebilirlik sürdürülebilir kalkınmanın başarısı için bir ön koşul olarak kabul edilmektedir. Dolayısıyla, sürdürülebilir kalkınma, sürdürülebilirlik koşulları karşılandığı için zaman içinde süren bir gelişme olarak görülebilir (Dalal-Clayton ve Sadler, 2014: 232). Bu bağlamda bu çalışmada da sürdürülebilirlik ile sürdürülebilir kalkınma birbirinden ayrı değil iç içe geçmiş kavramlar olarak birlikte ele alınacaktır.

Sürdürülebilirlik ölçümlerinin tüm safhalarında araştırma şemaları ve teknikleri dikkatli bir şekilde tanımlanmalı ve geliştirilmelidir. Saha çalışmaları sonucu elde edilen her veri titizlikle sınıflandırılmalı ve saklanmalıdır. Çeşitli belirsizlikler altında alınacak kararlarda farklı metodolojik yaklaşımların yaratılması bir zorunluluk halini almaktadır. Bu bakımdan, günümüz sosyal, ekonomik ve çevresel koşullarının sürdürülebilirliğe geçiş aşamasında entegre bir şekilde ele alınması ve sürekli kalkınma için organizasyonların geliştirilmesi temel şarttır. (Kates vd., 2001).

2015 yılından Birleşmiş Milletler tarafından ortaya konan ve üye ülkeler tarafından benimsenen sürdürülebilir kalkınma hedefleri (SKH), küresel kalkınma ve büyüme için bir dizi gündem ve görev tanımlamaktadır. Küresel ölçekte ortaya konan bu prensip ve görevler, hükümetleri harekete geçirmenin yanında gelişimi izlemek ve hesap verilebilirliği artırmak gibi misyonlar barındırmaktadır. Bu bakımdan dünya ülkelerinin SKH'lere ulaşma noktasında hangi konumda olduklarının tespit edilmesinin yanında, erken eylem planları için önceliklerinin belirlenmesi ve hedeflere ulaşma yolunda yol haritalarının oluşturulması gerekir (Sachs vd., 2020). Buradan hareketle, sürdürülebilirlik ölçümleri ile her ülke için özel dikkat gerektiren hedeflerin saptanması ve acil eylem gerektiren hususların tespit edilmesi amaçlanmaktadır.

Birden çok kavramı bünyesinde barındıran ve çok boyutlu bir süreç olan sürdürülebilirlik, ülkelerin ortaya koyduğu çaba ve pratikler ile doğrudan ilgilidir. Çevresel, ekonomik ve sosyal boyutlarda ele alınan sürdürülebilirlik ölçümü, etkili bir performans analizi sunmasının yanında, güçlü yönlerdeki trendin izlenmesi, tehditlerin görülmesi ve zayıf yönlerde uyarıcı bilgiler sağlaması açısından ülkeler nezdinde ihtiyaç duyulan etkili bir araçtır. Bunun yanında, politika yapıcılara alacakları stratejik kararlarda bilgi desteği sağlamak ve paydaş ülkelere başarılarında rehberlik etmek gibi avantajlara sahiptir (Singh vd., 2012).

Yukarıda bahsi geçen bilgiler ışığında bu çalışmanın temel amacı, OECD ülkelerinin sürdürülebilirlik açısından Pisagor bulanık Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemleri ile değerlendirilmesidir. Çalışmanın örneklemini oluşturan 35 OECD ülkesinin 2015-2019 yıllarını kapsayan verisi kullanılarak makro ölçekli objektif yeni bir sürdürülebilirlik indeksi oluşturulması hedeflenmektedir. Çalışmada, her bir sürdürülebilirlik boyutu için sekiz temel değişken literatür ve raporlar ışığında belirlenmiştir. Hali hazırda yayımlanan sürdürülebilirlik raporlarında, değişkenlere eşit ağırlık atanması ve yüksek korelasyon içeren değişkenlerin eşit ağırlıklar kullanılarak analize dahil edilmesi gibi çeşitli eksiklik ve kısıtlar bulunmaktadır. Buna karşın, önerilen bütünleşik modelde her bir değişken ağırlığı Pisagor bulanık entropi (PBE) tekniği ile objektif bir şekilde tespit edilmiştir. Ayrıca, her bir sürdürülebilirlik değişkeninin farklı ağırlıklar ile temsil ediliyor olması, gerçeğe daha yakın bir karar problemi modellenmesini sağlamaktadır. Sürdürülebilirlik literatüründe, Pisagor bulanık yöntemler ile objektif bir sürdürülebilirlik indeksi oluşturan benzeri bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu bakımdan hem objektif ağırlıklar önermesi hem de Pisagor bulanık ÇKKV yöntemlerini sürdürülebilirlik ölçümünde bütünleşik bir şekilde önermesi bu çalışmanın en önemli katkısıdır.

Yukarıda açıklanan amaçlar ve kapsam odağında, ortaya konan bu tez çalışması üç ana bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde öncelikle, sürdürülebilirlik ve sürdürülebilir kalkınma kavramlarından bahsedilmiştir. Devamında, bu kavramların tarihsel süreçteki evrimi ve gelişimi ele alınmıştır. Sürdürülebilir kalkınmanın boyutları birer birer açıklanmış ve sürdürülebilirliğin koşulları ve faydalarından bahsedilmiştir. Bölümün son kısmında, işletmeler, şehirler ve ülkeler için sürdürülebilirlik ölçümlerine değinilmiştir.

Çalışmanın ikinci bölümünde, geleneksel mantık teorisinden bulanık mantık teorisine kadar olan kavramsal süreç ele alınmıştır. Bulanık mantığın geleneksel mantıktan farkları, üstünlükleri ve zayıf yönlerinden bahsedilmiştir. Bunun yanında, bulanık kümeler teorisinin genel özellikleri, literatürde kullanılan üyelik fonksiyonu türleri ve bulanık kümelerin tarihsel gelişimine yönelik başlıca bilgiler verilmiştir. Son olarak ise, çalışmada önerilen Pisagor bulanık ÇKKV yöntemlerinin matematiksel adımları anlatılmış ve literatür taraması sonucu tespit edilen, bu yöntemlerin kullanıldığı başlıca çalışmalar tablolar halinde özetlenmiştir.

Çalışmanın üçüncü bölümünü oluşturan uygulama kısmında ise, araştırmanın amacı ve metodolojisi hakkında bilgiler sunulmuş, araştırmanın gerekçesi ve özgün değeri ifade edilmiştir. Daha sonra, araştırmada kullanılan temel boyut ve değişkenler hakkında bilgiler tablolar halinde sunulmuş, kullanılan yöntemlerin üstünlükleri aktarılmıştır. Son olarak, uygulama sonucunda elde edilen ampirik bulgulara ve yorumlara detaylı bir şekilde yer verilmiştir. Sonuç ve öneriler kısmında, araştırma bulgularına ilişkin genel bir değerlendirme yapıldıktan sonra politika önerileri sunulmuş, ardından çalışmanın kısıtları ve ileriki çalışmalar için beklentiler sıralanarak tez çalışması sonlandırılmıştır.

BİRİNCİ BÖLÜM

1. SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK KAVRAMI, KÖKENİ VE ÇEŞİTLİ DÜZEYLERDE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK ÖLÇÜMLERİ

Çalışmanın teorik kısmını oluşturan bu bölümün temel amacı, sürdürülebilirlik ve sürdürülebilir kalkınma kavramları hakkında bilgi verilmesi ve kavramların kökeni itibariyle açıklanmasıdır. Bunun yanında, Avrupa Birliği ve Birleşmiş Milletler'in sürdürülebilir kalkınmaya yönelik tarihsel süreçte ortaya koyduğu başlıca çabalar ve katkılara değinilmektedir. Sürdürülebilir kalkınmanın ekonomik, çevresel ve sosyal boyutları ayrı ayrı başlıklar halinde ele alınmıştır. Son olarak; ülke, şehir, işletme veya firma ölçeğinde gerçekleştirilen sürdürülebilirlik ölçümlerinden bahsedilerek, çalışmanın odağında yer alan küresel düzeyde sürdürülebilirlik ölçümleri hakkında bilgi verilmiştir.

1.1. Sürdürülebilirlik Kavramının Kökenleri

Sürdürülebilirliğe yönelik endişeler nüfus artışı üzerinde kafa yoran Maltus (1766-1834) ve kömür kıtlığı kaygısı taşıyan William Stanley Jevons (1835–1882) başta olmak üzere diğer 18. ve 19. yy. düşünürlerine kadar uzanmaktadır. Konu 1950'lerde Fairfield Osborn (1953) ve Samuel Ordway (1953) yazıları ile gündeme getirilmiş ancak 1960'lara ve 1970'lere kadar kamuoyunun önemli bir bölümünün ilgisini çekmemiştir (Baker, 2006: 18).

Belgelenen ilk sürdürülebilirlik kavramı Saksonya maden direktörü Hans Carl von Carlowitz (1645-1714) tarafından yazılan ve 1713 yılında yayımlanan Sylvicultura Oeconomica (ya da Yabani Ağaçların Doğal Büyümesi için Ekonomik Haberler ve Talimatlar) adlı kitabında yer almaktadır. Bu kitapta planlanan ağaçlandırma projeleriyle yeniden ağaçlandırılacak kadar çok odun kesilmesi gereken bir ormancılık önerilmektedir. Sürdürülebilir ormancılık endüstrisinin bir diğer öncüsü, Gladenbach, Almanya'dan maden direktörü Georg Ludwig Hartig (1764-1837) olmuştur. 1804'te Ormanların Vergilendirilmesine İlişkin Talimatında şunları yazmıştır: “Ormanlardaki kereste sürdürülebilirliğe dayanmıyorsa sürdürülebilir orman endüstrisi olmayacak. Her bilge orman otoritesi, devlet ormanının kullanımını gecikmeden ve torunlarımızın en az bugünkü nesiller kadar kazanç elde edebilecekleri şekilde değerlendirmelidir” (Spindler, 2013: 11).

Modern sürdürülebilirlik kavramı, dünya çapında bireylerin, hükümetlerin ve sivil toplum kuruluşlarının (STK'lar) çevrenin önemine ve doğal dünya üzerindeki artan etkilere karşı kademeli

bir uyanış yaşadığı 40 yıllık bir yolculuk boyunca ortaya çıkmıştır. Bu yolculuktaki bazı önemli noktalar Şekil 1'deki zaman çizelgesinde yer almaktadır (Hardisty, 2010: 17).

Şekil 1: Küresel Çevresel ve Sosyal Farkındalığın Zaman Çizelgesi, 1960-2007

	1969:US EPA ¹ oluşturuldu	1979: Aşk Kanalı ²	1989: Exxon Valdez petrol sızıntısı ³	1997: Üç boyutlu bakış açısı	
1962: Sessiz bahar ⁴	1970: İlk Dünya Günü ⁵	1984: Bhopal Felaketi ⁶	1987: Ortak Geleceğimiz	1992: Rio Dünya Zirvesi	2007: IPCC AR4 Nobel Ödülü ⁷

Kaynak: (Hardisty, 2010: 18).

Çoğu olumsuz sonuç doğurmuş bu olaylar sürdürülebilirlik konusundaki bilinçlenmeye etki etmiş uluslar üstü kuruluşların küresel çapta eylem planlarına geçmelerini sağlamıştır. Dolayısıyla, modern sürdürülebilirlik hareketine ilişkin ilk dönüşümün ipuçları ortaya çıkmıştır.

1.2. Sürdürülebilir Kalkınma ve BM çerçevesi

Her ne kadar modern sürdürülebilirlik hareketi Henry David Thoreau'dan Rachel Carson'a kadar izlenebilse de 1980'lerde gerçekleşen Birleşmiş Milletler toplantısı ve Brundtland Raporu'nun yayımlanmasına kadar ön plana çıkmamıştır. BM'lerin bu bağlamdaki eylemleri Tablo 1'de kısaca sunulmuştur (Garren ve Brinkmann, 2018: 6-10).

Tablo 1: Sürdürülebilir Kalkınmaya Yönelik BM Eylemleri

1972 Birleşmiş Milletler İnsan Çevresi Konferansı	Bu konferans Stockholm'de yapılmış ve ekonomik kalkınma ile çevresel bozulma arasındaki ilişkiyi inceleyen ilk Birleşmiş Milletler konferansı olmuştur. En önemli sonuçlarından biri Birleşmiş Milletler Çevre Programı'nın (UNEP) oluşturulmasıdır.
---	--

¹ Birleşik Devletler Çevre Koruma Ajansı (United States Environmental Protection Agency)

² Amerika Birleşik Devletleri'ndeki Aşk Kanalı Hooker kimya şirketinin, on yıllar boyunca, kuzeydoğu ABD'deki Niagara Nehri havza sistemi içinde atık kimyasalları atmak için kullandığı ve sonrasında bölgedeki insanlara zarar verdiği ortaya çıkan kanaldır.

³ Alaska'da meydana gelen ve insan kaynaklı en büyük çevresel felaketlerden biri olarak kabul edilen bir olaydır.

⁴ Sessiz Bahar, Rachel Carson'un çevre bilimi kitabıdır. Kitap, böcek zehirlerinin gelişigüzel kullanılmasının neden olduğu olumsuz çevresel etkileri belgelemekte olup 27 Eylül 1962'de yayımlanmıştır.

⁵ 1970 Dünya Günü, gezegenimizin durumu hakkında ortaya çıkan bir kamu bilincine ses veren bir organizasyondur

⁶ Bhopal gaz trajedisi olarak da adlandırılan Bhopal felaketi Hindistan'daki bir tesiste gerçekleşen gaz kaçağı olayıdır.

⁷ Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) Dördüncü Değerlendirme Raporu (AR4).

Tablo 1: (devamı)

1983 Birleşmiş Milletler Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu (WCED)	Bu konferans Norveç'te yapılmıştır ve Norveç Komiseri Gro Harlem Brundtland'ın onuruna verilen Brundtland Komisyonu aracılığıyla sürdürülebilir kalkınma kavramının geliştirilmesine yol açmıştır. Brundtland Komisyonu 1983'de kurulmuş olup ve Ortak Geleceğimiz (ya da daha popüler adıyla Brundtland Raporu) sonuç belgesi birkaç yıl sonra 1987'de yayımlanmıştır.
1992 Birleşmiş Milletler Çevre ve Kalkınma Konferansı (UNCED)	Bu konferans, sürdürülebilir kalkınmaya yönelik somut eylemler sağlamak amacıyla Brundtland Komisyonu tarafından önerilmiş olup daha çok Rio Dünya Zirvesi olarak anılmaktadır.
1994 Birleşmiş Milletler Gelişmekte Olan Küçük Ada Devletleri Konferansı (SIDS)	Barbados'ta yapılan bu konferans, küçük ada ülkelerindeki benzersiz güvenlik açıklarını ve sorunlarını vurgulamış olup küçük ada devletlerinin ilgi görmesine ve sonraki konferanslara dâhil edilmesini sağlamıştır. Örneğin, bu sorunlar 2012 İstedığımız Gelecek belgesinde vurgulanmaktadır.
1997 Birleşmiş Milletler Dünya Zirvesi	2002 yılına kadar tüm ülkeler için ulusal stratejiler geliştirmek amacıyla belirlenen hedefler bakımından önemli olmuştur.
2000 Binyıl Kalkınma Hedefleri	Yüzyılın başında dünya liderleri, öncelikli olarak yoksullukla mücadele için Binyıl Kalkınma Hedefleri olarak bilinen hedefler geliştirmek için bir araya gelmiştir. Binyıl Kalkınma Hedefleri, dünya liderlerinin belirli bir küresel soruna yönelik bir dizi kapsayıcı hedef etrafında odaklamaları bakımından önemli olmuştur.

Tablo 1: (devamı)

2002 Birleşmiş Milletler Dünya Sürdürülebilir Kalkınma Zirvesi (WSSD)	Bu konferans Güney Afrika'nın Johannesburg kentinde yapılmış olup bu nedenle Johannesburg Zirvesi olarak da anılmaktadır. Toplantı, yoksulluğun ortadan kaldırılması ve doğal kaynakların korunması gibi devam eden küresel zorlukları ele almak üzere gerçekleştirilmiştir.
2012 Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Konferansı	Bu konferansa Rio de Janeiro'daki Dünya Zirvesi'nden 20 yıl sonra yapıldığı için genellikle Rio + 20 olarak anılır. Dünya liderlerinin bu tarihi toplantısı, 17 sürdürülebilir kalkınma hedefinin geliştirilmesini sağlamıştır.

BM'lerin sürdürülebilirlik konusunda çabaları sürdürülebilir kalkınmanın bir amaç olarak ulusal ölçekten küresel ölçüğe geçişini sağlamıştır. Bu eylemlerin sonuçlarından özellikle Brundtland Raporu sürdürülebilirlik literatüründe ayrı bir öneme sahiptir.

Brundtland Raporu

Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu (WCED) olarak da bilinen Brundtland Komisyonu'nun amacı, dünya uluslarını sürdürülebilir kalkınma hedefine yönlendirmektir. Brundtland Komisyonu 1984'ten 1987'ye kadar faaliyette bulunmuş ve ortaya koydukları çalışmaların sonuçlarını 1987'de Brundtland raporunda yayımlamışlardır. Bu rapor sürdürülebilir kalkınmanın politikacılar, uygulayıcılar ve planlamacıların sözlüğünde önemli bir kavram haline gelmesine imkân tanımıştır. Brundtland Komisyonu'nun raporu, sürdürülebilir kalkınmanın en yaygın kullanılan tanımını “gelecek nesillerin ihtiyaçlarını karşılama yeteneğinden ödün vermeden mevcut nesillerin ihtiyaçlarını karşılayan kalkınma” olarak ortaya koymuştur (Michalos, 2014: 450). Bu raporda çevre, ekonomi, nüfus gibi sorunlar üzerinde durulmuştur. Ayrıca bu sorunların nedenleri araştırılmış ve gelecek kuşakların daha sağlıklı bir çevrede hayatını sürdürebilmesi için bugünkü kuşakların büyük sorumluluklarının olduğu ifade edilmiştir (Şen vd., 2018: 15).

Brundtland raporunda öne çıkan ilgili temel kavramların başında kalkınma, şimdiki zaman ve gelecek zaman kavramları gelmektedir (Munier, 2005: 10-11).

Kalkınma

“Kalkınma” kelimesinden bahsedildiğinde ilk akla gelen ekonomik kalkınmadır. Bununla birlikte, sürdürülebilirlik söz konusu olduğunda, kalkınma aşağıdakiler de dâhil olmak üzere her alanda ilerleme anlamına gelebilir.

- Ekonomik ilerlemeyi içeren *ekonomik büyüme*,
- Barınma, eğitim, sağlık, iş, vb. kazanımları elde etmek için ayrımcılık olmaksızın eşit beklentilere sahip olma, herkes için sosyal eşitliğe ve fırsat eşitliğine ulaşmayı kolaylaştıran *sosyal ilerleme*,
- Kaynakların sağlıklı bir şekilde geri kazanılabilir olmasını sağlayarak gelecek nesillere de bu kaynakları kullanma imkânı veren *çevresel koruma*.

Şimdiki zaman

Brundtland Raporunda, şimdiki zaman sadece ekonomik ilerlemeyi değil, aynı zamanda çevresel ve sosyal ilerlemeyi de içeren bir büyüme elde etmek amacıyla harekete geçme ihtiyacını ifade etmektedir. Bu ihtiyaç, gelecek nesillere yaşanabilir bir dünya bırakmak için ortaya konacak toplam çabayla doğru orantılıdır.

Gelecek zaman

Tanım, yakın geleceğe değil, torunlarımızın, yani çocuklarımızın çocuklarının yaşadığı uzun vadeli geleceğe işaret etmektedir. Bilimin ilerlemesi nedeniyle, şimdiki neslin torunlarının ihtiyaçlarını, karşılaşacakları sorunları, ihtiyaç duyacakları kaynakları öngörmesi neredeyse imkânsızdır. Bu bakımdan, geleceği yaşanabilir kılmak toplumların veya ülkelerin yegâne kaygısı olmalıdır.

1.3. Sürdürülebilir Kalkınma ve AB çerçevesi

Brundtland Raporu'na ilk Avrupa yanıtı, Avrupa Komisyonu tarafından Brüksel'de yayımlanan Kentsel Çevre Üzerine Yeşil Kitap olmuştur (Comission of The European Communities, 1990). Yeşil Kitap, günümüz şehirlerinin işlevsel, sosyal, ekonomik ve çevresel sorunlarını vurgulayıp daha sürdürülebilir bir kentsel çevreye yönelik hedefler ortaya koymaktadır. Bunun dışında AB'nin sürdürülebilir kalkınmaya yönelik eylemleri Tablo 2'de gösterilmiştir.

Tablo 2: Sürdürülebilir Kalkınmaya Yönelik AB Eylemleri

1997	Sürdürülebilir kalkınma, AB politikalarının kapsayıcı bir hedefi olarak Amsterdam Antlaşması'na dahil edildiğinde AB'nin temel hedefi haline geldi.
------	---

Tablo 2: (devamı)

1998	Avrupa Konseyi Cardiff politika entegrasyonu ile ilgili “Cardiff Süreci” ⁸ ni başlattı
2000	Lizbon Stratejisi benimsenmiştir. Bu strateji ile AB'de ekonomik, sosyal ve çevresel yenilenme sağlama taahhüdü verilmiştir. Mart 2000'de Lizbon'daki Avrupa Konseyi, AB'yi dünyanın en dinamik ve rekabetçi ekonomisi yapmak için on yıllık bir strateji belirlemiş strateji kapsamında, daha güçlü bir ekonomik sürdürülebilir kalkınma ve toplumsal kapsayıcılığı sağlayan çevresel ve sosyal politikaların yanı sıra istihdam yaratmaya yön vermesi kararlaştırılmıştır.
2001	Mayıs 2001'de kabul edilen Avrupa Birliği Sürdürülebilir Kalkınma Stratejisi (A European Union Strategy for Sustainable Development), çevre alanında iklim değişikliği, biyolojik çeşitliliğin korunması, çevre ve sağlık politikaları etkileşimi ve tehlikeli kimyasallar alanlarında somut eylemler tanımlamıştır. Haziran 2001'de Göteborg'da Daha İyi Bir Dünya için Sürdürülebilir Avrupa: Sürdürülebilir Kalkınma için Avrupa Birliği Stratejisi” başlıklı Avrupa Komisyonu önerisi Konsey tarafından onaylanmıştır.
2005	Haziran 2005'te Avrupa Konseyi, sürdürülebilir kalkınma için bir dizi yol gösterici ilke kabul etmiştir. Aralık 2005'te Komisyon, gözden geçirilmiş bir strateji ve daha fazla eylem için bir platform önerisi sundu. 15-16 Haziran 2006 tarihlerinde Avrupa Konseyi'nde Devlet ve Hükümetler Başkanları tarafından kabul edilen genişlemiş bir AB için yenilenen bir strateji sunulmuştur.
2007	Avrupa Komisyonu, Ekim 2007'de Sürdürülebilir Kalkınma Stratejisi hakkındaki ilk ilerleme raporunu kabul etti. Rapora göre, 2006'nın revize edilmiş stratejisinde tanımlanan iklim ve enerji dâhil yedi temel öncelikten bazılarında önemli politika gelişmeleri olmuştur, ancak politikadaki ilerleme henüz somut bir eyleme dönüşmemiştir. Eurostat 2007'de genişletilmiş sürdürülebilir kalkınma göstergelerine dayanan bir izleme raporu yayımladı. Bu rapor, Sürdürülebilir Kalkınma Stratejisi hakkındaki ilk ilerleme raporunun girdilerinden biriydi.
2008	Mart 2008 Avrupa Konseyi, özetlenen 10 hedefe odaklanan yenilenmiş Lizbon Stratejisinin ikinci üç yıllık döngüsünü başlattı.

⁸ Cardiff süreci, çevre konularının AB politikalarına ve faaliyetlerine entegre edilmesine yönelik antlaşma şartının ele alınmasına yardımcı olmak için AB'nin son İngiltere Başkanlığı döneminde başlatılmıştır. Süreçte çevre politikalarının diğer politika alanlarıyla özellikle enerji, ulaşım ve tarım sektörleriyle bütünleştirme kararı uygulanmıştır.

Tablo 2: (devamı)

2017	Mart 2017’de yayımlanan “Avrupa’nın Geleceği için Beyaz Kitap/White Paper on the Future of Europe’ta AB’nin sürdürülebilir kalkınma alanında küresel gündemi olumlu yönde şekillendirmekte olduğu, bu doğrultuda BM SKH’lerin gerçekleşmesinde öncü rol oynadığı vurgulanmaktadır.
2019	AB Komisyonu, Şubat 2019’da “Avrupa’nın Geleceği için Beyaz Kitap’ın çizdiği yol haritası doğrultusunda “2030’da Sürdürülebilir Bir Avrupa’ya Doğru/ Reflection Paper Towards a Sustainable Europe by 2030” başlıklı bir rapor yayımlamıştır. Sürdürülebilirlik ile ilgili olarak Avrupa’nın koymuş olduğu hedeflere en iyi şekilde nasıl ulaşabileceği konusundaki tartışmalara yön verilmesi hedeflenmektedir.

Kaynak: (Talu, 2019; EU, 2020)

Tablo incelendiğinde AB’nin sürdürülebilir kalkınmaya yönelik eylemlerinin zaman içinde genel hedeflerden daha spesifik hedeflere dönüştüğü görülebilmektedir. Dönüşüm mantığının önce gündeme almak ve farkındalık yaratmak, fikir yerleştikten sonra ise daha net hedeflerle ölçülebilir kılmak şeklinde geliştiği söylenebilir.

1.4. Sürdürülebilir Kalkınma Kavramı

Kavramın tanımına geçmeden önce etimolojik açıdan incelenmesi yerinde olacaktır. Hem sürdürülebilir hem de sürdürülebilirlik Latince sustinere kelimesinden gelmekte olup sürdürmek, desteklemek, dayanmak veya dizginlemek/sınırlamak anlamına gelmektedir. Latince, kelime Eski Fransızca’ya sostenir ve sonra modern Fransızca’ya soutenir olarak geçmiştir. Fransızca’dan, kelime “sürdürmek” fiili olarak İngilizce’ye geçmiş ve Erken Modern dönemde yaygın olarak kullanılmıştır. Oxford İngilizce Sözlük, “sürdürülebilir” sıfatının 1965 yılında “sürdürülebilir büyüme” ifadesini kullanan bir ekonomi sözlüğü aracılığıyla ortak kullanıma girdiğini göstermektedir. “Sürdürülebilirlik” kelimesi 1970’lerin başında İngilizce’ye girmiştir. Almanca’daki yerine bakıldığında nachhaltig (sürdürülebilir) ve Nachhaltigkeit (sürdürülebilirlik) kelimelerinin on sekizinci yüzyılda Alman Sakson lehçesine girdiği görülmektedir (Caradonna, 2014: 7).

Sürdürülebilir kalkınma kavramının bugünkü anlamı incelendiğinde önce sürdürülebilirlik sonrasında ise kalkınma kavramına açıklık getirilmesi gerekmektedir. Sürdürülebilirlik, mevcut neslin kendi yaşam kalitelerini sağlarken aynı yaşam kalitesini gelecek nesiller için de sağlayacak şekilde kaynak tabanının yönetmesi için bir gerekliliktir. “Yaşam kalitesi” kavramı, insanların yaşadığı durumu etkileyen her şeyi kapsamaktadır. Bu nedenle, kavram malzeme tüketiminden çok daha fazlasını içerir (Asheim, 1994: 1).

Kalkınma kavramı incelendiğinde büyüme kavramı ile eş veya benzer şekilde kullanıldığı görülmektedir. Büyümek, herhangi bir şeyin doğal bir süreç içinde boyutunu büyütme demek iken, kalkınma daha iyi ve daha gelişmiş olma anlamını taşır (Hess, 2013: 313).

Sürdürülebilir kalkınma kavramına gelindiğinde ise kavramın en kesin yönünün, evrensel olarak kabul edilmiş bir tanım olmaması olduğu görülmektedir. Aslında, kalkınma ve çevresel hedefleri, yerel ve küresel uygulamaları ve neredeyse tüm olası aktörlerin çıkarlarını ve isteklerini yansıtan çok çeşitli kurumsal bağlamları kapsayan uzun bir tanım listesi vardır. Sürdürülebilir kalkınma kavramının kullanıldığı çeşitli yollar göz önüne alındığında, kavramın neye bağlı olduğu konusunda bir karışıklık olması şaşırtıcı değildir. Sürdürülebilir kalkınmanın çeşitli bileşenlerini anlamada mantıklı bir çıkış noktası, kavramın ana akım kaynağına bakmaktır. Bu noktada sürdürülebilirlik kavramının yaygınlaşmasına öncülük eden Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu'nun (WCED) tanımı önemlidir (Farley ve Smith, 2014: 6).

“Sürdürülebilir kalkınma, gelecek nesillerin kendi ihtiyaçlarını karşılama yeteneğinden ödün vermeden günümüzün ihtiyaçlarını karşılayan kalkınmadır.”

Bu tanımla beraber kavrama iki noktada açıklık getirilmiştir (WCED, 1987: 37).

- Sürdürülebilir kalkınma, mevcut teknoloji ve sosyal organizasyonun çevresel kaynaklar üzerinde oluşturduğu etki ve biyosferin insan faaliyetlerinin etkilerini azaltma kabiliyeti ile sınırlandırılmaktadır.
- Temel ihtiyaçların karşılanması sadece çoğunluğun yoksul olduğu ülkeler için yeni bir ekonomik büyüme dönemi değil, aynı zamanda yoksulların bu büyümeyi sürdürmek için gereken kaynaklardan adil paylarını aldıklarına dair bir güvence gerektirir. Bu eşitliğe, vatandaşların karar alma süreçlerine etkin katılımını sağlayan siyasi sistemler ve uluslararası karar alma süreçlerinde daha fazla demokrasi yardımcı olacaktır.

Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı'na (US EPA) göre sürdürülebilirlik basit bir ilkeye dayanmaktadır: *Hayatta kalmamız ve refahımız için ihtiyacımız olan her şey, doğrudan veya dolaylı olarak doğal çevremize bağlıdır. Sürdürülebilirliği sürdürmek, insanların ve doğanın mevcut ve gelecek nesillere destek olmak için üretken bir uyum içinde var olabileceği koşulları yaratmak ve sürdürmektir* (US EPA, 2020).

Bu temel prensibe ek olarak WCED tarafından tanımlanan sürdürülebilir kalkınma için kritik hedefler ve gerekli koşullar da detaylı ilkelerin esasını oluşturmaktadır. Bunlar (Elliott, 2006: 13):

Kritik hedefler

- Büyüme canlandırmak,
- Büyüme kalitesini değiştirmek,
- İş, yiyecek, enerji, su ve temizlik için temel ihtiyaçları karşılamak,
- Sürdürülebilir bir nüfus seviyesinin sağlamak,
- Kaynak tabanını koruma ve geliştirmek,
- Teknolojiyi yeniden yönlendirmek ve riski yönetmek,
- Karar vermede çevre ve ekonomiyi birleştirmek

Gereklilikler

- Karar vermede vatandaşların etkili katılımını sağlayan politik bir sistem
- Uyumsuz gelişimden kaynaklanan gerilimlere çözüm sağlayan ekonomik bir sistem
- Kalkınma için ekolojik temeli koruma yükümlülüğüne saygı duyan bir üretim sistemi
- Sürdürülebilir ticaret ve finans modellerini destekleyen teknolojik bir sistem
- Sürdürülebilir ticaret ve finans modellerini destekleyen uluslararası bir sistem
- Esnek ve kendi kendini düzeltme kapasitesine sahip bir idari sistem

1.5. Sürdürülebilir Kalkınma Kavramının Boyutları

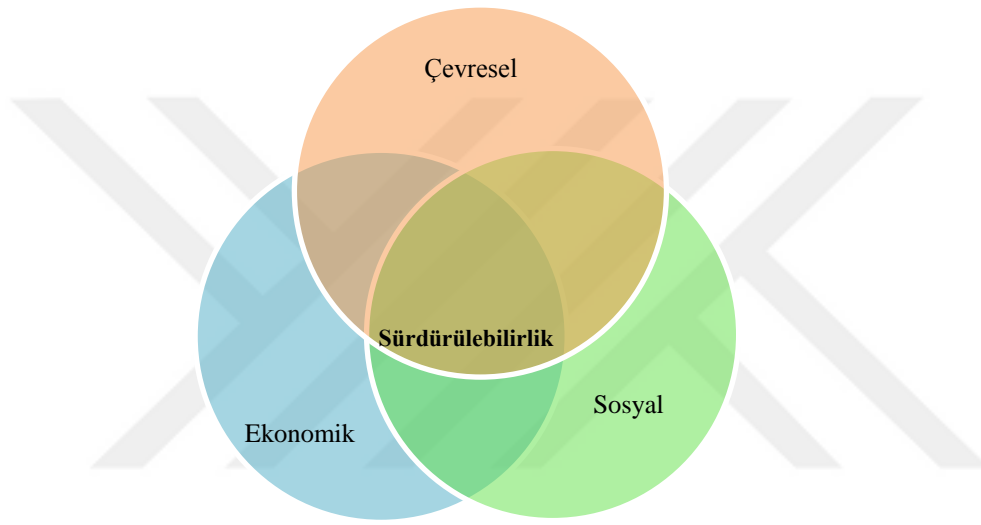
Sürdürülebilir kalkınma kavramının kökeninde üç ahlaki zorunluluk bulunmaktadır. Bunlar; insan ihtiyaçlarını karşılamak, sosyal eşitliği sağlamak ve çevresel sınırlara saygı göstermektir. Bu ahlaki zorunluluklar sürdürülebilirliğin boyutlarının çevresel, sosyal ve ekonomik boyutlar olarak sınıflandırılmasına neden olmuştur. Başka bir ifadeyle sürdürülebilir kalkınma doğal çevreyi ve sosyal eşitliği koruyan ve geliştiren ekonomik ve sosyal kalkınma türlerini kapsamaktadır. Bu tanım çevreyi ve sosyal eşitliği koruyup geliştirmesi koşuluyla her türlü sosyal veya ekonomik kalkınmanın sürdürülebilir olduğuna vurgu yapmaktadır. Burada kullanılan kalkınma ifadesi ekonomik büyümenin ötesinde sosyal ve ekonomik gelişmeyi kapsamaktadır. Odak noktası ekonomik büyümenin kendisi değil, insan refahında ve insan potansiyelinin açığa çıkarılmasında niteliksel iyileştirme (Gedik, 2020: 202).

Sürdürülebilirlik kavramının bileşenleri daha çok çevrecilik görüşü ile beslenmektedir. Ekolojik sürdürülebilirlik ekosistemin işleyişine atıfta bulunur ve genellikle ekolojik yapıya parça parça değil sistematik bir şekilde dikkat çeker. Ayrıca, ekosistemler tarafından sürdürülebilecek insan kaynaklı etkiler için uzun vadeli sınırların yanı sıra kaynak miktarına göre insan faaliyetlerinin uygun ölçeğine de odaklanmaktadır. Ekonomik sürdürülebilirlik, vatandaşlarına kaliteli yaşam sağlayan sağlıklı ekonomilerin önemine odaklanmaktadır. Ayrıca, ekonomik sürdürülebilirlik

genellikle doğal sistemlerin uzun vadeli ekolojik sürdürülebilirliğini tehlikeye atmadan daha güvenli bir gelecek sağlayan alternatif ekonomik kalkınma yollarının tanımlanmasını içerir. Sosyal sürdürülebilirlik ise sosyal uyumun ve sağlıklı şehirlerin ve toplulukların rolünün yanı sıra, kaynakların vatandaşlar arasında adil bir şekilde dağılmasına yöneliktir. Genellikle sosyal adalet konularına vurgu yapar (Batie vd., 2008: 13).

Şekil 2, bu kavramları ve kavramların kesişimi ile oluşan sürdürülebilirlik kavramını göstermektedir.

Şekil 2: Sürdürülebilirliğin Üç Bileşeni



Kaynak: (Batie vd., 2008: 14).

1.5.1. Çevresel / Ekolojik Boyut

Çevresel sürdürülebilirlik insan faaliyetlerinin ne küresel ne de bölgesel ölçekte gezegenin sınırlarını aşmadan ve aynı zamanda gelecek nesillerle paylaşılması gereken doğal sermayeyi fakirleştirmedeği sistemik koşulları ifade eder. İnsan bakış açısına göre, çevre ile ilgili önemli olan doğal sermayenin miktarı değil, sermaye stokunun bir bütün olarak insan refahına önemli katkıda bulunan çevresel işlevleri yerine getirmeye devam edebilme yeteneğidir. Bu nedenle, çevresel sürdürülebilirlik önemli çevresel işlevlerin sürdürülmesi yani sermaye stokunun bu işlevleri sağlama kapasitesinin sürdürülmesi şeklinde ele alınabilir (Ekins, 2011: 637). OECD'nin Dört Çevresel Sürdürülebilirlik İlkesi bu bağlamda aşağıdaki gibi açıklanabilir (OECD, 2001b: 6):

- Yenilenme: Yenilenebilir kaynaklar verimli kullanılmalı ve kullanımalarının uzun vadede doğal yenilenme oranlarını aşmasına izin verilmemelidir.

- Değiştirilebilirlik: Yenilenemeyen kaynaklar verimli kullanılmalı ve kullanımları yenilenebilir kaynaklar veya diğer sermaye biçimleri ile ikame edilerek dengelenebilecek düzeylerle sınırlı olmalıdır.
- Asimilasyon: Tehlikeli veya kirletici maddelerin çevreye salınımı, çevrenin özümseme kapasitesini aşmamalıdır; konsantrasyonlar insan sağlığının ve çevrenin korunması için gerekli olan kritik seviyelerin altında tutulmalıdır.
- Dönüşü olmayan etkilerden kaçınma: İnsan faaliyetlerinin ekosistemler, biyojeokimyasal ve hidrolojik döngüler üzerindeki geri dönüşü olmayan olumsuz etkilerinden kaçınılmalıdır. Ekosistemlerin bütünlüğünü koruyabilen veya yenilenebilen doğal süreçleri, insan faaliyetlerinin olumsuz etkilerinden korunmalıdır. Tehdit altındaki, tehlikede olan ve kritik türlerin popülasyonlarını korumak için ekosistemlerin farklı esneklik ve taşıma kapasitesi dikkate alınmalıdır.

1.5.2. Ekonomik Boyut

Ekonomik sürdürülebilirlik ayrılmaz bir şekilde hem çevresel hem de sosyal sürdürülebilirlikle bağlantılı olup, bir toplumun ekonomik büyümeyi destekleme yeteneği olarak tanımlanmaktadır. Sürdürülebilirliğin diğer yönlerini de göz önünde bulundurarak kararların mümkün olan en adil şekilde alınmasına odaklanır. Bu nedenle, küresel ve hatta yerel olarak ekonomik sürdürülebilirliği sağlamak için üç temel ekonomik bileşen vardır. Bunlar (Talan vd., 2020: 23):

- Sunulan ürün ve hizmetler için yeni pazarlar ve fırsatlar geliştirmek,
- Enerji kullanımını ve hammadde girdilerini en aza indirmek ve
- Verimlilik ve iyileştirmeler yoluyla maliyetlerin düşürülmesidir.

Ekonomik sürdürülebilirlik, ekonomik kaynakların en iyi potansiyel faydaları için kullanımını teşvik eden yaklaşımları karakterize etmek için kullanılır. Sürdürülebilir bir ekonomi tipi, kaynakların tarafsız bir şekilde dağıtılmasını ve etkin bir şekilde tahsis edilmesini önerir. Ayrıca bu kaynakların uzun vadeli faydalar sağlayan ve karlılığı artıran etkin ve sorumlu bir şekilde kullanılmasını teşvik eder (Pandit vd., 2020: 179).

1.5.3. Sosyal Boyut

Sosyal sürdürülebilirlik insan haklarını, çalışma haklarını ve kurumsal yönetişimi kapsar. Çevresel sürdürülebilirlik ile ortak olarak, sosyal sürdürülebilirlik mevcut neslin sosyal kaynaklara eşit erişiminin olmasını sağlarken (kuşak içi eşitlik) gelecek nesillerin de sosyal kaynaklara aynı veya daha fazla erişime sahip olması gerektiğine (kuşaklararası eşitlik) odaklanır (Zhang, 2013: 8). Sosyal

sürdürülebilirlik kavramının birtakım prensipleri vardır ki bu prensipler alt boyut gibi düşünülebilirler. Çünkü sosyal sürdürülebilirlik ancak bu ilkeler çerçevesinde hayata geçirilebilir.

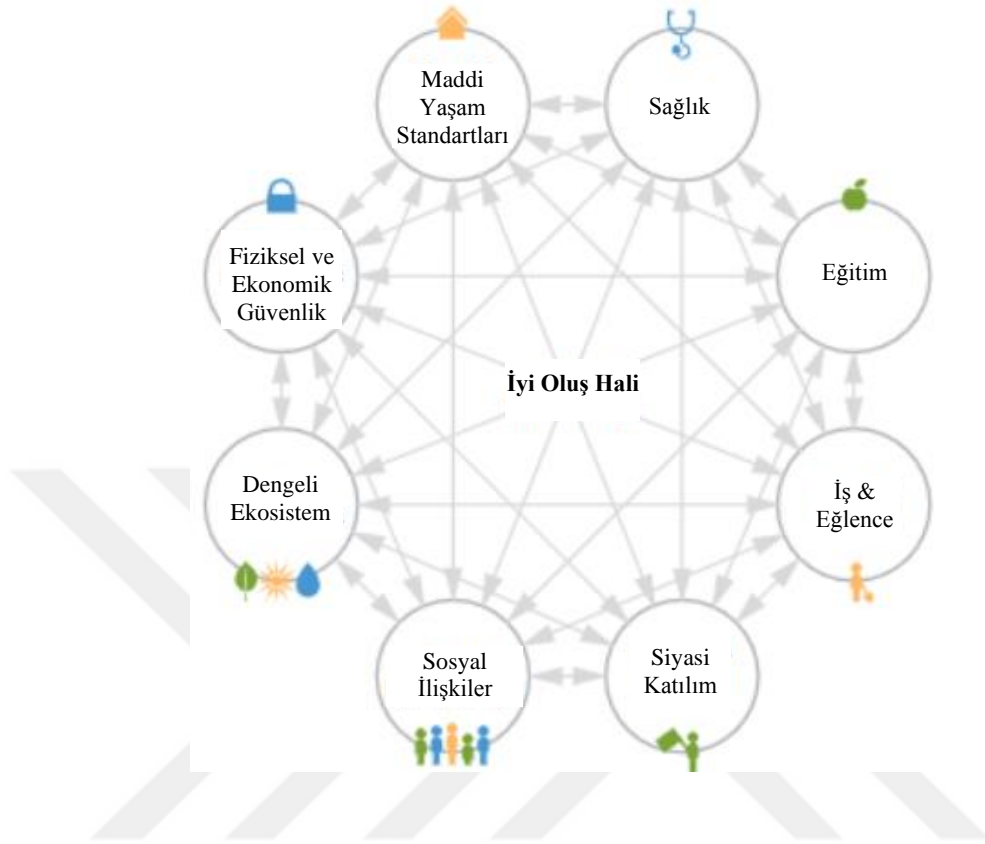
Eşitlik: Eşitlik, sürdürülebilir kalkınma söyleminde kilit bir sosyal kavramdır. Politika terimleriyle, kişilere refah sağlayacak ürünlerin ve yaşam şanslarının adalet temelinde dağıtılmasını ifade eder ve ulusal, uluslararası hatta kuşaklararası bağlamlar için geçerlidir. Eşitlik, tüm vatandaşların hayatta kalmak ve gelişmek için eşit bir fırsata sahip olmaları anlamına gelir. Eşitlik anlayışı temiz su, beslenme, istihdam, eğitim, barınma, temel sağlık ve kirlenmemiş bir ortamın sağlanmasından sosyal ağlara erişime kadar geniş bir yelpazedeki politika alanlarını ifade eder (Murphy, 2012: 20).

Sosyal uyum: Sosyal uyum, aile ve toplum refahı da dâhil olmak üzere sosyal bağlılığı tanımlar. İnsanlar arasındaki ilişkilerin niteliği ve kalitesi ile gelişir. Topluluk duygusu içinde tezahür ettiği söylenebilir. Bireyler kendilerini topluluğa dâhil hissetmezlerse toplum uyumunu kaybedebilir. Eğer bireylerde topluma dâhil olma hissi varsa topluluğun bir parçası gibi hissediler ve sosyal uyum daha büyük olur (Washington, 2015: 100).

İyi oluş hali: İyi oluş kavramı, kalkınma ve gelişme, yaşam ortamı, sağlık, barınma, boş vakit, gelir, sosyalleşme, aile hayatı gibi faktörleri kapsayan son derece geniş bir kavramdır. Bazı çalışmalar iyi oluş halini dörde ayırır. İlk görüşe göre iyi oluş, sistemin içerdiği fırsatlar sonucu ortaya çıkmaktadır. Diğerinde iyi oluş, sistemin insanlara hissettirdiği bir esenlik halidir. Bir diğeri içsel perspektiften iyi olma halidir ki sistemin iç işleyişine odaklanır. Burada iyi ve düzgün işleyen bir sistem iyi olma halini getirir. Sonuncusu ise dışsal fırsatlar ve getiriler ile ilgilidir. Dışsal fırsatlarla yaşanabilir ve beklentilere uygun bir ortam sağlanırsa bunun getirisi, sistemin yarattığı hoşnutluk ve esenlik ile iyi oluş halidir (Gökdemir ve Veenhoven, 2014: 339).

İyi olma hali çok boyutlu bir kavramdır. İyi olmanın hem nesnel (örneğin maddi zenginlik, iş ve fiziksel sağlık) hem de öznel (sosyal ilişkilerin kalitesi veya mutluluk duyguları gibi) birçok bileşeni vardır (Rogers vd., 2012: 68). Çok boyutlu bir kavram olarak karşımıza çıkan iyi olma halinin nesnel ve öznel bileşenleri aşağıda Şekil 3'de sunulmaktadır.

Şekil 3: Çok Boyutlu Bir Kavram Olarak İyi Oluş Hali



2005 Dünya Zirvesinde bu üç boyutun tek tek ve birlikte birey, gezegen ve karlılık üzerinde etkisi olduğunu gösteren bir çerçeve sunulmuştur. Dolayısıyla, çevresel, ekonomik ve sosyal boyutlarda meydana gelebilecek herhangi bir ilerleyişin insan, gezegen ve karlılığa doğrudan etkisi olduğu tartışılmaz bir gerçektir. Bunun yanında, bu zirvede yönetişimin sağlanması, yolsuzluğun bitirilmesi, ekonomik büyümenin teşvik edilmesi, uluslararası kalkınma stratejilerinin belirlenmesi ve yoksulluğun bir sorun olmaktan çıkarılması gibi temel görevler tanımlanmıştır. Çevresel, ekonomik ve sosyal boyutlara ilişkin bazı ölçüm araçları ve bu araçların BM sürdürülebilir kalkınma hedefleri ile bağlantısı Şekil 4’te sunulmaktadır.

Şekil 4: Üç Temel Boyut

Üçlü Boyut	İnsan Sosyal Boyut	Gezegen Çevresel Boyut	Kar Ekonomik Boyut
Bazı tipik ölçütler	Sağlık ve güvenlik performansı, Çalışan memnuniyeti, Cinsiyet eşitliği	Kaynak tüketimi Küresel ısınma potansiyeli Enerji kullanımı Üretilen atık	Maliyet Kâr, Teslimat güvenilirliği Kalitesizliğin maliyeti
BM Sürdürülebilir kalkınma amaçları ile bağlantısı	Yoksulluk yok, sıfır açlık, sağlık ve esenlik, kaliteli eğitim, cinsiyet eşitliği, eşitsizliklerin azaltılması, barış, adalet ve güçlü kurum	Temiz su ve sanitasyon, uygun fiyatlı ve temiz enerji, sürdürülebilir şehirler ve topluluklar, iklim eylemi, su altında yaşam	İnsana yakışır iş ve ekonomik büyüme, endüstri yeniliği ve altyapı, sorumlu tüketim ve üretim

Kaynak: (Inghels, 2020: 9).

1.6. İşletme Seviyesinde Sürdürülebilir Kalkınma

İşletme seviyesindeki sürdürülebilirlik yine sürdürülebilir kalkınma çerçevesinde incelenecek olursa, bir işletme için sürdürülebilirlik aşağıda açıklanan temel boyutlar ile ölçülmektedir (Blackburn, 2007: 24-25):

Ekonomik Boyut: Bu boyutta işletmenin ana hedefi finansal kaynakların akıllıca ve en etkin biçimde kullanımını sağlamaktır. İşletme seviyesinde sürdürülebilirlik değerlendirilmesi yapılırken, işletmeler için esas olarak iki ekonomik amaç söz konusudur.

- İşletmenin ekonomik olarak ayakta kalması ve gelişmesi için gereken kaynağı elde etmek
- Toplumunun devamlılığını sürdürmesine ve ekonomik açıdan gelişmesine yardım etmek

Sosyal Boyut: Bu boyutun esas noktası insanlara saygı duyulmasıdır. Bunun yanında, ortak karar alma mekanizmasını çalıştırmak, etik ve adalet kurallarına işletme içinde riayet etmek ve

organizasyonun her bileşeninde güvenli ve etkili adımlar atmak gibi hususlar oldukça önemlidir. Bu boyut altında, sürdürülebilirliği artıracak temel ilke ve öneriler şu şekilde sıralanabilir;

- Çalışanlara ücret, terfi eğitim ve sunulan diğer imkânlar konusunda adil davranmak, çalışan-yönetim arasında açık ve yapıcı bir iletişim kurulmasını sağlamak, kararlara katılıma imkân vermek, güvenli ve sağlıklı çalışma ortamı sunmak, sendikaya üye olma ve toplu pazarlık haklarına saygı göstermek, mahremiyetlerini korumak ve iş-yaşam dengesine dikkat etmek,
- Çalışanlar, yönetim kurulu üyeleri ve tedarikçiler için adil, sorumlu, ayrımcı olmayan ve sömürücü olmayan işe alım uygulamaları kullanmak,
- Riskleri uygun şekilde yönetmek, ekonomik gücü sorumlu bir şekilde kullanmak ve işi etik ve yasal bir şekilde yürütmek,
- Yatırımcılara, tedarikçilere ve işletmenin kuruluş dışındaki operasyonlarından etkilenebilecek diğer paydaşlara karşı adil davranmak,
- Müşterilere dürüst ve adil muamele etmek, işte adil bir şekilde rekabet edip, gizliliklerine saygı duymak ve söz verilen koşullar altında onlara güvenli ve etkili ürün ve hizmetler sunmak.

Çevresel boyut: Bu boyutun özünü yaşama saygı ve doğal kaynakların akıllıca yönetimi ve kullanımı oluşturmaktadır. Bu bağlamda;

- Doğal kaynakları mümkün olduğunca korumak,
- İşletme faaliyetlerinden doğan atıkların miktarını ve tehlike derecesini uygulanabilir ölçüde azaltmak ve çevresel etkilerini en aza indirmek için güvenli, yasal ve sorumlu bir şekilde ele almak,
- Zararlı çevresel olayların riskini en aza indirmek, zarar verilen çevreyi onarmak ve biyolojik çeşitliliği desteklemek,
- İşletmenin sunduğu ürün ve hizmetlerle ilgili olumsuz çevresel etkilerin ve risklerin azaltılmasını ve uygun şekilde kontrol edilmesini ve çevresel faydaların optimize edilmesini sağlamak için tedarik zincirindeki diğer kişilerle birlikte çalışmak önemli faktörlerdir.

İşletmeler için sürdürülebilirlik çeşitli amaçlar çerçevesinde şekillenir (Brinkmann, 2016: 266-268):

- **Kâr:** Sürdürülebilirlik uygulamaları para tasarrufu sağladığı için birçok işletme sürdürülebilirliğe ilgi duymaktadır. Enerji ve su tasarrufu genellikle İşletme karına

olumlu katkı yapar. Bazı sürdürülebilirlik girişimlerinin yüksek bir ilk yatırımı olmasına rağmen, yatırımın geri dönüş oranı yüksektir.

- **Halkla ilişkiler:** Toplum işletmelerin sürdürülebilirlik anlayışı ile faaliyetlerini sürdürmesini takdir etmektedir. Bu yüzden bazı şirketler, belirli bir şirket imajını oluşturmak için kendi sektörlerinde sürdürülebilirliği geliştirmekle ilgilenmektedir.
- **Özgecilik/fedakârlık:** Birçok şirket sürdürülebilirliği yalnızca özgecil nedenlerle geliştirir. “Doğru şeyi yapmak” için kişisel veya kurumsal bir istekleri vardır. Artan kâr ve halkla ilişkiler, sürdürülebilirliği benimseme kararının bir sonucu olabilirken, sürdürülebilirlik hedeflerini desteklemenin temel nedeni iyi bir şey yapma isteğidir. İyilik yapma arzusunun kaynağı dini inançlar, sosyal sorumluluk bilinci veya çevre etiği gibi birçok motive edici kaynaktan gelebilir.
- **Endüstrinin uzun vadeli sürdürülebilirliği konusunda endişe duyma:** İşletmelerin sürdürülebilirliğe ilgi duymasının bir başka nedeni içinde yer aldıkları endüstride uzun dönemli mal ve hizmet sunma yeteneklerini kaybetmek istememeleridir. Sundukları mal ve hizmet için gereken kaynakların varlığını garanti altına almak için bir başka ifade ile sürdürülebilirliği sadece işletmelerinin uzun vadede yaşamını sürdürmesi için teşvik edeceklerdir.
- **Mesleki standartlar ve normlar:** Bazı işletmeler sürdürülebilirliği kendi alanlarındaki profesyonel iş standardı bu olduğu için benimsemektedirler. “Yeşil” bir işi yürütmenin standart bir uygulama olduğu bir sektörde, işletmelerin faaliyetlerini yürütüyor olmaları mümkündür. Örneğin, bir işletme organik gıda işinde ise, sürdürülebilirliğin işletmenin tüm faaliyetlerine entegre edilmesi beklenecektir.

1.7. Şehir Seviyesinde Sürdürülebilir Kalkınma

Sürdürülebilir şehirler ekonomik olarak üretken, sosyal ve politik olarak kapsayıcı ve çevresel olarak sürdürülebilirdir. Başka bir deyişle sürdürülebilir şehirler ekonomik faaliyetleri teşvik etmeli tüm vatandaşların bunlardan faydalanabilmesini sağlamalı ve bunu biyolojik çeşitliliği, temiz havayı ve suyu, vatandaşların fiziksel sağlık ve güvenliğini koruyacak şekilde yapmalıdırlar. Sürdürülebilir şehirlerin temel özellikleri şunlardır (Sachs, 2015: 366):

Kentsel verimlilik: Şehirler, bireylerin iyi, üretken işler bulabildikleri ve işletmelerin verimli bir şekilde üretip ticaret yapabileceği yerler olmalıdır. Bu noktada önemli olan kentin alt yapısıdır. Karayolu ağları, toplu taşıma, bağlantılı olabilme, su ve kanalizasyon, atık akışları ve internet gibi diğer alt yapı özellikleri kentsel ekonominin düşük işlem maliyetleri ile çalışmasını sağlar.

Sosyal kapsayıcılık: Şehirler, yüksek sosyal hareketlilik yaratan yerler veya zenginler ile yoksullar arasındaki ayrımları genişleten yerler olabilir. Toplumdaki sosyal istikrar, güven ve uyum

(politik istikrar ve şiddet düzeyi dâhil) sosyal hareketlilik boyutundan etkilenecektir. Sosyal hareketlilik düştüğünde protestolar, huzursuzluk ve hatta çatışmanın ortaya çıkması daha olasıdır. Etkili kentsel planlama ve politika, farklı ırklardan, sınıflardan ve etnik kökenlerden insanların verimli, barışçıl bir şekilde ve yüksek derecede sosyal hareketlilik ve güven ile etkileşime girdiği şehirlere yol açabilir.

Çevresel sürdürülebilirlik: Şehirler yüksek nüfus yoğunluğuna sahip yerlerdir. Bu nedenle hava ve su kirliliği, toprağın bozulması, bulaşıcı hastalıkların hızla yayılması, kuraklık, sel, fırtınalar, volkanik patlamalar ve depremler gibi çevresel sorunlara karşı daha savunmasızdır. Şehirler iki tür çevresel çaba sarf etmelidir. Birincisi bu sorunların etkilerini bir nevi hafifletmek, kendi “ekolojik ayak izlerini”, örneğin kentsel faaliyetlerin neden olduğu sera gazı (GHG) emisyonlarını azaltmaktır. İkincisi, geniş anlamda, adaptasyon sağlamaktır. Yani değişen çevresel koşullara, örneğin artan sıcaklıklara ve deniz seviyelerine (kıyı şehirleri için) hazırlıklı ve dayanıklı olma anlamına gelir.

1.8. Ülke Seviyesinde Sürdürülebilir Kalkınma

Bu başlık altında, ülke seviyesinde ele alınan sürdürülebilirlik ölçümlerinden bahsedilmiştir. Küresel düzeyde ortaya konan pek çok gösterge setinde benzerlikler olsa da tercih edilen değişken veya göstergelerin açıklanması gerekmektedir. Bu bakımdan, sürdürülebilirlik yolculuğunda ülkesel düzeyde sunulan başlıca değerlendirme ve ölçümler aşağıdaki kısımda özetlenmeye çalışılmıştır.

1.8.1. Sürdürülebilirlik Göstergeleri

Genellikle makro indeksler olarak anılan çeşitli göstergeler sürdürülebilirlik ölçümlerinde kullanılmaktadır. Sürdürülebilirliğin çok boyutlu yapısına uygun olarak kavramın farklı yönlerini ele alan göstergeler bazı ortak özellikler taşımaktadır (Mesjasz, 2016: 428).

- Geleneksel ekonomik göstergelerin ötesine geçerek sosyal, çevresel, insani ve bazen de politik olmak üzere başka özellikler de eklerler.
- Ekonomik olmayan göstergelere daha fazla dikkat edilir ve bazı durumlarda (ekolojik ayak izi ve cinsiyete dayalı göstergeler gibi) diğer özellikler sosyopolitik ve ekonomik kalkınma için çok önemli olarak kabul edilir.
- Ölçekleri geliştirenler oran veya aralık ölçekleriyle göstergeleri ölçülebilir ve objektif yapmaya çalışırlar.
- Hassasiyet eksiklikleri veya içlerinde bulunan bazı ölçülemez göstergelerin olması politika odaklı söylemlerde karışıklığa neden olabilir.

- Sürdürülebilirlik ve sürdürülebilir kalkınma göstergelerinin sayısının artması ve detaylandırılması bazen çok geniş kapsamlı ve çok evrensel hale gelmesine ve daha sonra da teorik ve pratik yararlılığını kaybetmesine neden olabilir.
- Sürdürülebilirlik ve sürdürülebilir kalkınma kavramlarının göstergelerinin ve indekslerinin örtüşmesinin yanı sıra göstergelerin esneklik ve sağlamlık (robustness) gibi diğer özellikleri de örtüşebilir ve bundan kaynaklanan sorunlar görülebilir.

OECD sürdürülebilir kalkınmayı ölçmeye yönelik çeşitli göstergeler önermiştir. Bunlar Tablo 3'de gösterilmektedir.

Tablo 3: Örnek Sürdürülebilir Kalkınma Göstergeleri

Tema	Mevcut Gösterge
Kaynak göstergeleri: Varlık tabanımızı koruyor muyuz?	
Çevresel varlıklar	
Hava kalitesi	Sera gazı emisyon indeksi ve CO ₂ emisyonu NO _x ve SO _x emisyonları
Su kaynakları	Su kullanım yoğunluğu
Enerji kaynakları	Enerji kaynaklarının tüketimi
Biyo-çeşitlilik	Toplam alanın payı olarak korunan alanların büyüklüğü
Ekonomik varlıklar	
Üretilen varlıklar	Net sermaye stokunun hacmi
Teknolojik değişim	Çok faktörlü verimlilik büyüme oranı
Finansal varlıklar	Net yabancı varlıklar ve Cari işlemler dengesi
Beşerî sermaye	
Beşerî sermaye stoku	Lise / Lise sonrası eğitim niteliklere sahip nüfusun oranı
Beşerî sermayeye yatırım	Eğitim harcamaları
Beşerî sermayenin amortismanı	İşsizlik oranı
Sonuç göstergeleri: Mevcut ihtiyaçları karşılıyor muyuz?	
Tüketim	Hane halkı nihai tüketim harcamaları Belediye atık üretim yoğunlukları
Gelir Dağılımı	Gini katsayıları
Sağlık	Yaşam beklenti süresi Şehirlerin hava kalitesi
İş durumu/ İstihdam	İstihdam / nüfus oranı
Eğitim	Katılım oranı

Kaynak: (OECD, 2001b: 72)

1.8.2. Ekolojik Ayak İzi (Ecological Footprint-EF)

İnsanlar yaşama ilişkin temel gereksinimlerin istikrarlı bir şekilde sağlanması için biyosfere bağımlıdır (Wackernagel ve Yount, 1997: 513). Bu bağımlılık sonucu doğan ekolojik ayak izi, çevre üzerindeki insan etkisini ölçmeye çalışan araçlardan biri olup sürdürülebilirlik değerlendirmelerinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Syrovátka, 2019: 1). Kavram William Rees ve Mathis Wackernagel tarafından geliştirilmiştir. İnsanın ekolojik kaynaklara olan talebini ve gezegenin bu talebi sağlama ve yenilenme yeteneğini hesaplamaya ve karşılaştırmaya çalışır. Gelişmekte olan ekonomilerin hedefi, büyümeye ve insani gelişme indeksini iyileştirmeye devam ettikçe ekolojik ayak izindeki artışı önlemektir (Head ve Lam, 2011: 19-20). Rees ve Wackernagel'in çalışmaları temel denklemlerin formüle edilmesinde ekolojik ayak izinin matematiksel olarak anlaşılması için temelleri atmıştır. Ekolojik ayak izi kavramı popülerleştikçe, birçok araştırmacı (Rees ve Wackernagel dâhil), ayak izi hesaplamalarının arkasındaki metodolojiyi geliştirmeye başlamışlardır (Chin ve Li, 2011: 225). Ekolojik ayak izi kavramının temel bileşenleri Şekil 5'te sunulduğu gibidir.

Şekil 5: Ekolojik Ayak İzinin Bileşenleri



Ekolojik ayak izi analizi, iki varsayıma dayanmaktadır. Birincisi, bir insan nüfusunun tükettiği kaynakların çoğunu ve nüfusun ürettiği atıkların çoğunu takip etmenin mümkün olmasıdır. İkincisi, bu kaynak ve atıkların, kaynakları sağlamak ve atıkları özümsemek için gerekli olan biyolojik olarak verimli bir alana dönüştürülebilmesidir. Bu işlevleri yerine getiren biyolojik olarak üretken alan, insan nüfusunun “ekolojik ayak izi” olarak adlandırılır. Böylece, ekolojik ayak izleri, bir popülasyonun kullandığı biyolojik olarak üretken alanı belirler (Wackernagel ve Yount, 1997: 512).

Ekolojik Ayak İzi mevcut teknoloji ve kaynak yönetimiyle bir bireyin, topluluğun ya da faaliyetin tükettiği kaynakları üretmek ve yarattığı atığı bertaraf edebilmek için gereken biyolojik olarak verimli toprak ve su alanı (biyolojik kapasite) miktarını ölçer. Ekolojik Ayak İzi “küresel hektar” (kha) ile ifade edilir. Buna altyapı ile atık karbondioksitin (CO₂) emilimini sağlayacak bitki örtüsü için gerekli alanlar da dâhildir. Küresel Hektar (kha), dünyanın ortalama verimliliği üzerinden 1 hektar arazinin üretim kapasitesini temsil eder (WWF Türkiye, 2012: 6).

Her yıl, ulusal Ekolojik Ayak İzi ve biyolojik kapasite değerleri, Global Ayak İzi Ağı tarafından yaklaşık 200 ülke için hesaplanmaktadır. Türkiye’ye ait kişi başına ekolojik ayak izi verileri Tablo 4’te görüldüğü şekildedir:

Tablo 4:Türkiye’nin 2018 yılı Ekolojik Ayak İzi

	Yapılaşmış Alan Ayak İzi ⁹	Karbon Tutma Ayak İzi ¹⁰	Tarım Arazisi Ayak İzi ¹¹	Balıkçılık Alanı Ayak İzi ¹²	Orman Ayak İzi ¹³	Otlak Ayak İzi ¹⁴	Toplam
2018	0,03	2,02	0,77	0,03	0,32	0,17	3,35

Kaynak: (Global Footprint Network, 2020).

Yine 2018 verilerine göre kişi başına en yüksek ekolojik ayak izi Katar, Lüksemburg ve Bahreyn ülkeleri tarafından oluşturulmaktadır. En az ayak izi bırakan ülkeler ise Yemen, Doğu Timor ve Haiti ülkeleridir (Global Footprint Network, 2020).

1.8.3. Mutlu Gezegen İndeksi (Happy Planet Index-HPI)

Uzun ve mutlu bir insan yaşamını etkileyen çok sayıda etken söz konusudur. Bunlardan bazıları; ekonomi, eğitim, sağlık, teknoloji, iletişim, yönetim, aile, değerler, istihdam ve tüketim faktörleri olarak sıralanabilir. Mutlu Gezegen İndeksi (HPI), bütün bu faktörler dikkate alınarak ülke düzeyinde hesaplanan bir indekstir. Başka bir ifadeyle HPI, farklı ülkelerde yaşayan insanların uzun ve mutlu bir yaşam sürmek için çevresel kaynakları ne derece verimli kullandıklarını göstermek için

⁹ İnsan altyapısının kapsadığı arazi alanına (ulaşım, konut, endüstriyel yapılar ve hidroelektrik rezervuarları) göre hesaplanır.

¹⁰ Fosil yakıt kullanımıyla ilişkili CO₂ emisyonlarını ölçer. Ekolojik Ayak İzi hesaplarında, bu miktarlar bu CO₂'nin absorbe edilmesi için gerekli biyolojik olarak verimli alanlara dönüştürülür.

¹¹ İnsan tüketimi için gerekli gıda ve lif, hayvan yemi, yağ bitkileri ve kauçuk üretimi için kullanılan alanın hesaplanmasıdır.

¹² Çeşitli balık türleri için maksimum sürdürülebilir avlama tahminlerine göre hesaplanır. Bu sürdürülebilir yakalama tahminleri, çeşitli türlerin besleyici seviyelerine göre eşdeğer bir birincil üretim kitlesine dönüştürülür.

¹³ Bir ülke tarafından yıllık olarak tüketilen kereste, küspe, kereste ürünleri ve yakıt odunu miktarına göre hesaplanır. Ayrıca yanar fosil yakıtlardan kaynaklanan karbondioksit emisyonlarını temsil eden Karbon Ayak İzini de barındırır.

¹⁴ Et, süt, deri ve yün ürünleri için hayvancılık yapılan alanın hesaplanmasıdır.

hesaplanan bir indekstir (Çevik vd., 2019: 189-190). HPI ilk kez 2006'da yapılan anketle ölçülmüş ve ardından 2009, 2012 ve 2016 yıllarında güncellenerek raporlanmıştır. Bu indeks mutluluğun ve ilerlemenin ölçümünün yalnız finansal odaklı olmasının bir yanılgı olduğu temeline dayanmaktadır. Bu bağlamda mutluluğu Gayri Safi Yurt İçi Hasıla ve diğer gelişme indekslerinden farklı olarak sürdürülebilirliğe verdiği öneme göre ölçmektedir. Nitekim çeşitli araştırmalar sosyal adalet, sürdürülebilirlik ve genel iyiliğin yüksek olduğu ülkelerde, mutluluk düzeyinin de yüksek olduğunu göstermektedir (Özdemir, 2019: 6605).

HPI, uluslar için bir rehber olarak herkes için sürdürülebilir refah seviyesini ölçmekte ve ulusların nasıl daha uzun, mutlu ve sürdürülebilir yaşama sahip olacağını göstermektedir. İndeks, farklı ülkelerin sakinlerinin çevre kaynaklarını uzun ve mutlu yaşamlar sağlamak için ne kadar verimli kullandıklarını göstermek için dört öğeyi birleştirmektedir (HPI, 2016).

- Refah: Her ülkenin sakinleri, sıfırdan on ölçeğe kadar genel olarak yaşamdan ne kadar memnun olduklarını,
- Yaşam beklentisi: Bir kişinin yaşaması beklenen ortalama yıl sayısı,
- Sonuç eşitsizliği: Bir ülke içindeki insanların ne kadar süre yaşadıkları ve ne kadar mutlu hissettikleri açısından ortaya çıkan eşitsizlikler
- Ekolojik Ayak İzi: Bir ülkenin her sakininin çevre üzerindeki ortalama etki

$$\text{Mutlu Gezegen İndeksi} = \frac{\text{Refah} \times \text{Yaşam Beklentisi} \times \text{Sonuç Eşitsizliği}}{\text{Ekolojik Ayak İzi}}$$

152 ülkenin sıralandığı 2019 yılındaki verilere göre listenin başında Kosta Rika, sonunda ise Katar vardır. Bu listede Türkiye 102. sıradadır.

1.8.4. Sürdürülebilir Ekonomik Refah İndeksi (The Index of Sustainable Economic Welfare -ISEW)

Ekonomik refah ölçümlerine bir seçenek olarak doğan bu indeks, sürdürülebilir ekonomik refah ve iyileşmedeki değişimi ölçmeyi hedeflemektedir. Çevresel açıdan sürdürülebilir bir ekonomik kalkınma fikrini ortaya koyarken, sosyal adaletin sağlanması noktasında da dengeyi gözetmektedir. İndeksin metodolojik adımları uzun yıllar eleştiri almış, spesifik noktalarda iyileştirmeler yapılan farklı analizler yardımıyla indeksin dönüşümü sağlanmıştır (Bleys, 2008).

Kısaca, ISEW toplumun refahını sadece Gayri Safi Yurtiçi Hasılaya bağlamaz. İndeks geleneksel ölçütlere geleneksel olmayan ölçütler de ekler. Eklediği ölçütlerden bazıları kişisel tüketim, sağlık ve eğitime yönelik kamu harcamaları, gönüllü çalışma, çevresel misyon maliyetleri, işe gidip gelme giderleri, trafik kazaları ve kişisel kirlilik kontrolü, sosyal maliyetler (örneğin aile

çöküşü veya suç), arazi kaybı ve uzun vadeli iklim değişiklikleridir (Chelli vd., 2013: 444). ISEW, ortalama tüketimi, bölüşümü ve çevre tahribatını içeren kapsamlı bir refah göstergesidir. Hesaplama şu şekildedir (Gökdemir ve Veenhoven, 2014: 348):

$$\text{ISEW} = \text{Milli Gelir} - \text{Hane halkının Korunma Harcamaları} - \text{Kirlenme Kalıntısının Parasal Değeri} - \text{Doğal ve Çevresel Varlıkların Amortismanı (Yenilenebilir + Yenilenemez + Ekosistem)}$$

Ekonomik, sosyal ve çevresel karar almanın entegrasyonuna katkı sağlanması amacıyla, GSYİH hesaplaması baz alınarak insan refahının ölçülmesini hedefleyen bu indeksin ana fonksiyonu ekonomik, sosyal ve çevresel karar almanın entegrasyonudur (Yıkılmaz, 2011: 169).

1.8.5. Gerçek İlerleme Göstergesi (Genuine Progress Indicator-GPI)

Yerleşik ekonomik sistemin daha büyük sosyal ve çevresel sistemler üzerindeki net faydalarının miktarını ve dağılımını tahmin eden çok boyutlu bir bileşik göstergedir. ISEW'in başka bir alternatifidir. GPI ve ISEW özünde, piyasa kaynaklı tüketimi, bir ülkenin veya bölgenin refahına bir katkı olarak kabul eder ve kişisel tüketim harcamalarını (GSYİH'nın en büyük bileşeni), ekonomik faaliyetlerin faydaları ve maliyetlerini hesaba katmak için yapılacak ayarlamaların başlangıç noktası olarak ekler. Gelir hesabından gelir eşitsizliği, suçların maliyeti, çevresel bozulma ve boş zaman gibi hesapların sebep olduğu kaybın çıkarılıp, dayanıklı tüketim malları ve kamu altyapılarından sağlanan hizmetler ile gönüllü hizmetler ve ev işlerinin faydalarının eklenmesiyle hesaplanır. Hem doğal hem de sosyal sermayeyi azaltan ekonomik faaliyetler ile bu sermayeyi artıran faaliyetler arasında ayırım yaparak, yalnızca ekonomik faaliyetten ziyade sürdürülebilir ekonomik refahı ölçmek için tasarlanmıştır (Talberth vd., 2007: 1-2).

1950'den 1995'e kadar ABD'de bu göstergenin hesaplanmasında kullanılan arttıran (+) ve azaltan (-) bileşenler aşağıdaki gibidir (Gökdemir ve Veenhoven, 2014: 348-349):

<p>GPI =KATKILAR (+) Kişisel tüketim harcaması (+) Ağırlıklandırılmış kişisel tüketim değeri (+) Yüksek öğretimin değeri (+) Gönüllü çalışmanın değeri (+) Dayanıklı tüketim mallarının kullanımı (+) Otoyol ve caddelerin kullanımı (+) Ücretsiz ev içi emeğinin değeri</p> <p>KESİNTİLER (-) Suçun maliyeti (-) Boş zaman kaybı (-) Dayanıklı tüketim mallarının maliyeti (-) Düşük istihdamın maliyeti (-) Ev iş arası gidiş geliş maliyeti (-) Hane halkı kirlilik azaltma maliyeti (-)Trafik kazalarının maliyeti (-) Su kirliliğinin maliyeti (-) Hava kirliliğinin maliyeti (-) Gürültü kirliliğinin maliyeti (-) Sulak alan kaybı (-) Tarım arazileri kaybı (-)Birincil ormanların</p>
--

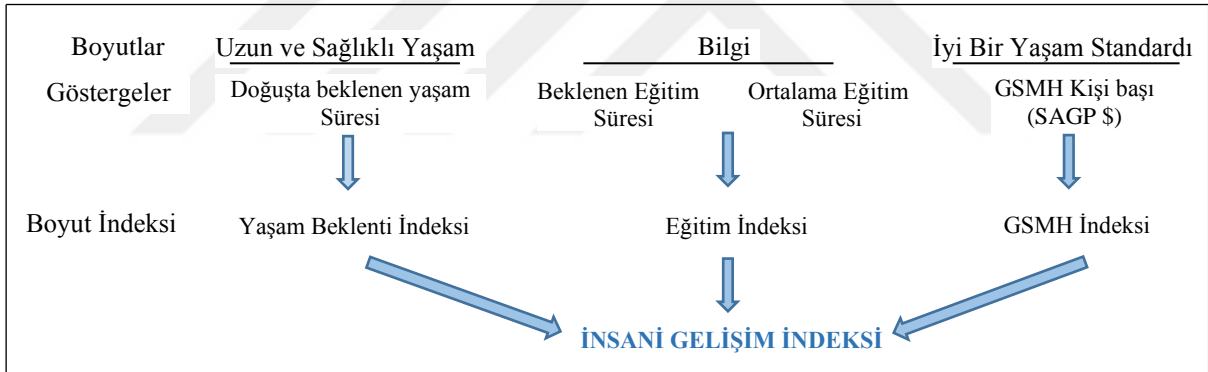
kayı (-) Yenilenebilir olmayan enerji kaynaklarının tükenmesi (-) Karbon emisyonunun maliyeti (-) Ozon tükenmesinin maliyeti

KATKILAR / KESİNTİLER (+/-) Net sermaye yatırımı (+/-) Net dış borçlanma (+/-) Eşitsiz dağılım endeksi

1.8.6. İnsani Gelişim İndeksi (Human Development Index-HDI)

1990 yılında UNDP (United Nations Development Programme- Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı) yeni geliştirilen İnsani Gelişim İndeksi (HDI-Human Development Index) ile ilk İnsani Gelişim Raporunu yayımlamıştır. HDI'nın önceliği ulusların kalkınmışlığının sadece gelirle değil yaşam beklentisi, eğitim alma fırsatına sahip olma, bilgi ve yeteneklerini kullanmaktaki özgürlük ve okuryazarlık gibi faktörlerle ölçülmesi gerekliliği olmuştur (UNDP, 2010: 4). HDI, üç boyutun her biri için normalize edilmiş, indekslerin geometrik ortalamasıdır. Şekil 6'da indeksin ana çerçevesi görülmektedir:

Şekil 6: İnsani Gelişim İndeksi Çerçevesi



Kaynak: (HDR, 2020)

İlk olarak 1990 yılı HDI hesaplanmasında doğumda beklenen yaşam süresi, yetişkin okuryazarlık oranı ve GSYİH değeri esas alınmıştır. 1991'de ise eğitim indeksinin hesaplanmasında aynı zamanda bireylerin okula devam süreleri de dikkate alınmıştır. Aynı sene gelir indeksi hesaplanmasında da değişiklikler yapılmıştır. 1994 yılına gelindiğinde indeksin hesaplanmasında maksimum ve minimum değerler sabitlenmiştir. 1995 yılında eğitim indeksinde ilk, orta ve lise eğitimlerine katılma oranları kullanılmaya başlanmıştır. Aynı zamanda, belirlenen minimum değerler güncelleştirilmiştir. 1999 yılında gelindiğinde tüm ülkeler için kişi başına GSYİH değerinin logaritması alınmaya başlanmıştır.

2010 yılına kadar 1999 yılındaki hesaplama yöntemi ile devam edilmiş, insani gelişimi ölçmek için doğumda beklenen ortalama ömür, yetişkinlerde okur-yazarlık oranı, brüt okullaşma oranı ve

satın alma gücü paritesine göre uyarlanmış gelir düzeyi kullanılmıştır. 2010 yılı itibariyle üç boyut (eğitim, sağlık ve gelir) aynı kalmış fakat ölçümlerde farklılığa gidilmiştir (Gökdemir ve Veenhoven, 2014: 350). Sonuç olarak 2020 yılında Şekil 6'daki nihai haliyle ölçülmeye başlanmıştır.

1.8.7. Gençlik Gelişim İndeksi (Youth Development Index-YDI)

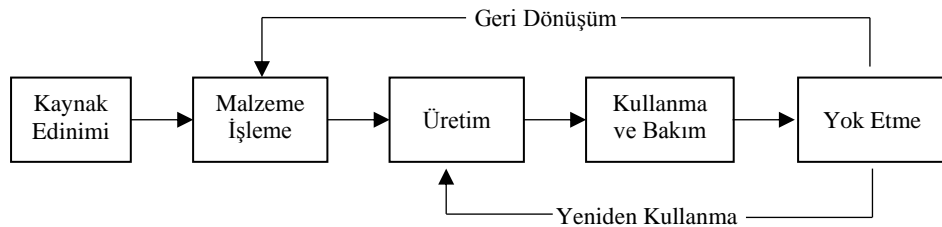
Sürdürülebilir kalkınma aynı zamanda her kuşağın sağlıklı, tatmin edici ve üretken yaşam kapasitesinde bir gelişme olarak tanımlanabilir. İngiliz Milletler Topluluğu Sekreterliği tarafından geliştirilen Gençlik Gelişim İndeksi (YDI), dünyanın 183 ülkesindeki gençlerin durumunu ölçer.

İndeks, gençlik gelişimi için kritik öneme sahip 6 alanda (eğitim, istihdam ve fırsatlar, sağlık ve esenlik, eşitlik ve içerme, siyasi ve sivil katılım ve barış ve güvenlik) kapsamlı bir ölçüt geliştirir. Politika yapımcılar için gençlerin ihtiyaçlarını anlamada yatırım ve dikkatin nereye yönlendirilmesi konusunda bir rehber görevi görmektedir. İndeks en son 2016 yılına dair veri sağlamaktadır (YDI, 2020).

1.8.8. Yaşam Döngüsü Analizi (Life-Cycle Analysis or Assessment -LCA)

Yaşam döngüsü değerlendirmesi veya LCA, bir endüstriyel sistemle ilişkili kaynak kullanımının ve çevresel salınımların oluşmasından yok olmasına kadar tüm yönlerini göz önünde bulunduran çevresel bir muhasebe ve yönetim yaklaşımıdır. Özellikle, hammaddelerin yeryüzünden çıkarılması ve enerjinin üretimi ve dağıtımından, bir ürünün kullanımı ve yeniden kullanımı ve yok edilmesine kadar bir dizi faaliyeti kapsayan çevresel etkileşimlerin bütünsel bir görünümüdür. LCA, mutlak değerlendirme değil karşılaştırma amaçlı göreceli bir araçtır, böylece karar vericilerin alternatif eylem biçimleri arasında seçim yaparken tüm önemli çevresel etkileri karşılaştırmasına yardımcı olur (Curran, 2008: 2168). Yaşam döngüsü aşamaları (YDA) Şekil 7 aracılığıyla gösterilmektedir.

Şekil 7: Genel Yaşam Döngüsü Aşamaları



YDA, aşamalarına göre dört grupta toplanabilir. Bunlar; beşikten mezara YDA, beşikten kapıya YDA, beşikten beşiğe YDA ve kapıdan kapıya YDA şeklinde adlandırılmıştır.

Beşikten mezara YDA bir ürün veya sürecin yaşam döngülerinin tamamını kapsar. Ham maddenin temin edilmesinden (beşik) itibaren süreç sonucunda ortaya çıkan atıkların tasfiyesine (mezar) kadar gerçekleşen tüm aşamaları içerir. Beşikten kapıya YDA'da beşikten mezara uygulamasının son aşaması olan atık tasfiyesi aşaması söz konusu değildir. Yani bir ürün ya da sürecin, ham madde temininden itibaren fabrikaya iletiildiği aşamaya (kapı) kadar olan yaşam döngüsünü dikkate alır. En kapsamlı yaklaşım beşikten beşiğe YDA'dır. Bunda süreçteki atıklar tasfiye edilmek yerine geri dönüşüme tabi tutularak hammadde şeklinde sürece tekrar dahil edilir. En dar kapsamlı olan yaklaşım ise kapıdan kapıya YDA'dır. Çünkü bu analizde bir ürün ya da sürecin tek bir aşamasına ait yaşam döngüsü dikkate alınmaktadır (Demirer, 2017: 9).

1.8.9. Enerji Yatırım Getirisi (Energy Return on Investment-EROI)

Enerji yatırım getirisi (EROI) ya da diğer adıyla, yatırım yapılan enerji getirisi, farklı yakıt türlerini analiz etmek ve karşılaştırmak için bir araçtır. EROI, bir sistemin ömrü boyunca geri gönderilen kullanılabilir enerjinin, bu enerjiyi kullanılabilir hale getirmek için gereken tüm yatırılan enerjiye oranını ifade eder. Bir sistemin enerji çıkışı eksi enerji girişlerini hesaplayan net enerji analizi (NEA) ve ayrıca bir sistem için toplam enerji girişlerini tanımlayan yaşam döngüsü analizi (LCA) ile ilgilidir. EROI bir oran olduğundan birim içermeyen bir özelliktir. Örneğin, EROI, jul başına jul veya varil başına enerji eşdeğer girdisinin varil başına yağ çıkışı kullanılarak hesaplanabilir (Gupta, 2018: 407).

1.8.10. I=PAT

İnsanların çevreye etkisinin nüfusa orantılı olduğunu ifade eden ilk çevresel etki denklemlerinden biri Paul Ehrlich ve John Holdren (1971) tarafından formüle edilmiştir. Formül I=PAT şeklinde ifade edilmiş olup burada I, bir insan toplumunun çevre üzerindeki etkisini; P, nüfus büyüklüğünü; A, kişi başına tüketimle ölçülen refah seviyesini ve T, teknolojiyi göstermektedir (Ehrlich, 2014: 11).

IPAT'ın temel güçlü yönleri, çevresel değişimin arkasındaki temel itici güçlerin aşırı derecede tutumlu bir özelliğinin olması ve ayrıca bu itici güçler ve etkiler arasındaki ilişkiyi tam olarak tanımlamasıdır. Spesifikasyon, bir faktördeki değişiklikler diğer faktörlerle çarpıldığından, tüm itici güçlerin (P, A ve T) etkileri birbirinden bağımsız olarak etkilemediğini açıkça ortaya koymaktadır. Bu spesifikasyonun önemli anlamı da çevresel etkilerden hiçbir faktörün tek başına sorumlu tutulamayacağıdır (York vd., 2003: 352).

1.8.11. Çevresel Sürdürülebilirlik İndeksi (Environmental Sustainability Index-ESI)

Çevresel sürdürülebilirlik, genel olarak doğal kaynakların sürekliliğinin sağlanması manasında kullanılan bir kavramdır. Başka bir ifadeyle doğadaki tüm kaynakların (yenilenebilir kaynaklar dahil) sorumluluk bilinciyle kullanılması ve çevresel tahribattan mümkün olduğunca kaçınılması şeklinde tanımlanabilir. Faaliyetleri ne olursa olsun her işletmenin çevresel bir etkisi olduğu açıktır. Bu etkiler farklı şekillerde ortaya çıkabilir. Örneğin işletmenin aydınlatılması ya da taşıt kullanımından kaynaklı bir çevresel etki olabileceği gibi, üretim faaliyeti sonucu ortaya çıkan atıklar ya da sera gazı gibi zararlı gazlardan da kaynaklanabilir. Çevresel bütünlüğün ve korumanın sağlanabilmesi ise ancak söz konusu etkilerin azaltılması ya da yok edilmesiyle mümkün olabilir (Önder & Ağca, 2018, s. 80).

Çevresel Sürdürülebilirlik İndeksi, bir ülkenin çevresel kaynaklarını birkaç on yıllık dönem süresince etkin bir şekilde koruyabilme olasılığını belirlemeyi hedeflemektedir (Erol ve Özmen, 2008: 73). Bu indeks, çevresel sürdürülebilirliğe yönelik genel ilerlemenin bir ölçüsüdür. İndeks, temel veri kümelerinden türetilen göstergelerin bir derlemesine dayanan ulusal çevre yönetiminin birleşik bir profilini sağlar. Çevresel sistemler, çevresel stres, insan savunmasızlığı, sosyal ve kurumsal kapasite ve küresel yönetim olmak üzere 5 alanda 76 değişken çerçevesinde değerlendirme yapan indeks 1990'ların sonunda Yale ve Kolombiya Üniversiteleri tarafından oluşturulmuştur. 2000, 2001, 2002 ve 2005 yıllarında yayımlanmıştır. Sonrasında çevresel performans indeksi benzer bir amacı gerçekleştirmiştir (SEDAC, 2020).

1.8.12. Çevresel Performans İndeksi (The Environmental Performance Index-EPI)

EPI, ilk kez 2002 yılında yayımlanan ve ülkelerin çevre politikalarında yer alan hedeflere ulaşılmadaki durumlarını ortaya koymayı hedefleyen, çevre performansı ve sürdürülebilirlik konusunda ülkelere rehberlik eden bir puan kartı sunmaya çalışan değerlendirme aracıdır. Birleşmiş Milletler Binyıl Kalkınma Hedeflerinde ortaya konan çevresel hedefleri desteklemek üzere tasarlanmıştır. Yale ve Kolombiya Üniversiteleri tarafından Dünya Ekonomik Forumu ile birlikte oluşturulmaktadır. EPI ülkeleri (1) ekonomik büyüme ve refahla birlikte yükselen çevre sağlığı ve (2) sanayileşme ve kentleşmeden kaynaklanan ekosistem canlılığı olmak üzere 2 boyutta değerlendirir. İyi yönetim, sürdürülebilirliğin bu farklı boyutlarını dengelemek için gerekli kritik faktör olarak ortaya çıkmaktadır (Wendling vd., 2020)

2006 yılından itibaren yayımlanmakta olan EPI, 24 konu başlığını kapsamaktadır. Bu başlıklar 10 kategoride değerlendirilmektedir. EPI kapsamında değerlendirmeye tabi tutulan kategoriler; hava kalitesi, su temizliği, ormanlar, ağır metaller, biyoçeşitlilik, balıkçılık, iklim ve enerji, hava kirliliği, su kaynakları ve tarım konularını ele almaktadır. EPI, nicel bir temelde 180 ülkenin çevresel verilerini değerlendiren, ülke verilerini birbirleriyle kıyaslamayı ve analiz etmeyi sağlayan bir

indekstir. Nitekim çevrenin korunması konusuna ampirik bir yaklaşımla eğilmek, sorunların daha net bir şekilde ortaya konulmasını sağlamaktadır. On yılı aşkın bir süredir yayımlanan EPI, verilerin yıllar itibariyle karşılaştırılmasıyla çevre sağlığı ve doğal kaynakların korunması açısından dünya ülkelerindeki değişim ve gelişimin izlenebilmesini de sağlamaktadır (Bek, 2019: 40).

En son 2022 verisi yayımlanan indekste Danimarka en yüksek puana sahip olurken, Hindistan ise en düşük puana sahip ülke olmuştur. 180 ülke arasında Türkiye 172. sıradadır.

1.8.13. İnsani Yoksulluk İndeksi (The Human Poverty Index-HPI) ve Çok Boyutlu Yoksulluk İndeksi (Multidimensional Poverty Index-MPI)

İnsani yoksulluk kavramı insani gelişme ve insanca yaşam için maddi imkanlarla birlikte temel ihtiyaçların giderilebilmesi için ekonomik, sosyal ve kültürel birtakım olanaklara sahip olmanın gerekliliğine dayanmaktadır. Mutlak ve göreceli yoksulluk kavramlarına göre daha geniş kapsamlı bir kavram olarak değerlendirilmiştir. Bu kavramları da içeren fakat bunlardan daha kapsamlı olan insani yoksulluk kavramı insanın mal, hizmet ve altyapıya erişimini engelleyen ya da kısıtlayan yoksulluğun insani boyutu olarak nitelendirilmektedir (Ak, 2016: 302).

İnsani Yoksulluk İndeksi (HPI), BM tarafından İnsani Gelişim İndeksini tamamlamak üzere geliştirilmiştir ve ilk olarak 1997'de İnsani Gelişim Raporunun bir parçası olarak rapor edilmiştir. Bir ülkede yaşam standardının ek bir ölçüsü olarak düşünülmüştür. HPI, gelişmekte olan ülkeler (HPI-1) ve gelişmiş ülkeler (HPI-2) için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Bununla birlikte, 2010 yılında HPI'nın BM'nin Çok Boyutlu Yoksulluk İndeksi ile değiştirildiği görülmektedir (Weziak-Bialowolska ve Dijkstra, 2014: 9). MPI, yoksun olma yoğunluğuna göre düzenlenmiş çok boyutlu olarak yoksul olan nüfusun yüzdesini ifade etmektedir. Bununla birlikte MPI aynı zaman zarfında insanların yüz yüze kaldığı ciddi yoksunlukları göstermek için tasarlanmıştır. Bu indeks hem ülkeler ve bölgeler arasında ve dünya çapında hem de etnik grup, kırsal/kentsel konumlar ve diğer kilit hane halkı ve toplum özellikleri açısından ülkeler içinde karşılaştırmaya olanak vermektedir. MPI'de yoksulluğun boyutları HPI'dekine benzer şekilde sağlık, eğitim ve yaşam standartları olarak üç boyutta gösterilmektedir (Karaca ve Gökçek, 2014: 2). HPI ülke ortalamalarıyla daha genel bir değerlendirme yaparken MPI sağlık, eğitim ve yaşam standardında hane halkı ve bireysel düzeyde birçok yoksunluğu tanımlamaktadır.

1.8.14. Sürdürülebilirlik İzleme, Değerlendirme ve Derecelendirme Sistemi (The Sustainability Tracking, Assessment & Rating System-STARS)

AASHE (Association for the Advancement of Sustainability in Higher Education) tarafından yükseköğretim kurumlarının sürdürülebilirlik performanslarını ölçmeleri için geliştirilen bir çerçevedir. Bu çerçeve ile:

- Yükseköğretimin tüm sektörlerinde sürdürülebilirliğin anlaşılmasını sağlamak,
- Zaman içinde ve kurumlar arasında anlamlı karşılaştırmalar yapılmasını imkân tanımak,
- Sürdürülebilirliğe yönelik sürekli iyileştirme için teşvikler yaratmak,
- Yükseköğrenim sürdürülebilirlik uygulamaları ve performansı hakkında bilgi paylaşımını kolaylaştırmak,
- Daha güçlü, daha çeşitli bir kampüs sürdürülebilirlik topluluğu oluşturmak amaçlanmıştır (AASHE, 2020).

1.8.15. Binyıl Kalkınma Hedefleri (Millennium Development Goals-MDGs)

Birleşmiş Milletler Binyıl Kalkınma Hedefleri, 191 BM üye devletinin tamamının 2015 yılına kadar başarmayı kabul ettiği sekiz hedeftir. Eylül 2000'de imzalanan Birleşmiş Milletler Binyıl Bildirgesi, dünya liderlerinin yoksulluk, açlık, hastalık, cehalet, çevresel bozulmalar ve kadınlara karşı ayrımcılık ile mücadele etmeyi taahhüt etmesiyle oluşmuştur. Binyıl Kalkınma Hedefleri olarak bilinen sekiz ana hedef şöyledir:

- Aşırı yoksulluğu ve açlığı ortadan kaldırmak;
- Evrensel ilköğretime ulaşmak;
- Cinsiyet eşitliğini desteklemek ve kadınları güçlendirmek;
- Çocuk ölümlerini azaltmak;
- Anne sağlığını iyileştirmek;
- HIV / AIDS, sıtma ve diğer hastalıklarla mücadele etmek;
- Çevresel sürdürülebilirliği sağlamak; ve
- Kalkınma için küresel bir ortaklık geliştirmektir (UN, 2020).

1.8.16. Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri (Sustainable Development Goals-SDGs)

Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri (SKH'ler) 2012 yılında Birleşmiş Milletler Rio de Janeiro'daki Sürdürülebilir Kalkınma Konferansında ortaya konulmuştur. Amaç, dünyadaki acil çevresel, politik ve ekonomik zorluklara yönelik bir dizi evrensel hedef üretmek olarak tanımlanmıştır. SKH'ler, 2000 yılında yoksulluğa karşı küresel bir çabayı başlatan Binyıl Kalkınma Hedeflerinin yerini almaktadır. Küresel Hedefler olarak da bilinen Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri, 2015 yılında tüm Birleşmiş Milletler Üyesi ülkeler tarafından 2030 yılına kadar yoksulluğu sona erdirmek, gezegeni korumak ve tüm insanların barış ve refaktan yararlanmasını sağlamak için evrensel bir eylem çağrısı olarak kabul edilmiştir (UNDP Türkiye, 2020).

Ortaya konan hedefler sürdürülebilir kalkınmanın sosyal, ekonomik ve çevresel boyutlarda ele alındığı bir çerçeve sunmaktadır. İndekste her bir boyut birbiri ile ilişkilidir. Bu çaba her bir boyutu tekil olarak değerlendirmek yerine, çok boyutlu bir analizi tercih etmektedir. Paydaş ülkelere ortak bir akılla hareket etmenin gelecek nesillerin hayallerine ulaşması için ortam hazırlayacağını ve doğru seçimler yapmanın sürdürülebilir kalkınmayı beraberinde getireceğini savunmaktadır.

Şekil 8: Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri



Ülkelerin sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşma noktasında ortaya koydukları beceri ve kazanımların periyodik olarak ölçülmesi, BM'nin sürdürülebilir kalkınma birimleri tarafından gerçekleştirilmektedir. Bu bağlamda, dünya üzerindeki çoğu ülkenin içerisinde bulunduğu küresel bir sürdürülebilirlik indeksi oluşturulmaktadır. Sürdürülebilir kalkınmanın ülke düzeyinde izlenmesi ve raporlanması hükümetler ve politika yapıcılar tarafından etkili ve dinamik düzenlemelerin gerçekleştirilmesi, ülkenin konumunun görülmesi ve diğer paydaşlar ile kıyaslama sağlanması noktasında gerekli bir pratiktir. Bu açıdan, sürdürülebilir kalkınmanın ölçülmesi ülkeler ve organizasyonlar için rehber niteliği taşıyarak, mevcut durumun belirlenmesi için ortak bir platform ve çerçeve sunmaktadır (Kates vd., 2001).

SKH'lara ne derece yaklaşıldığının ölçüldüğü indekste, değerlendirmeye alınan her bir hedefe analizde kullanılmak üzere eşit ağırlıklar verilmektedir. Bu durum, korelasyon içeren göstergeler kullanılarak ortaya konan sıralama sonuçlarını gerçeklikten uzaklaştırırken, daha çok gösterge içeren SKH'nın sürdürülebilirlik indeksine daha fazla etki etmesi sonucunu doğurmaktadır (Lamichhane vd., 2021). Çalışmanın uygulama aşamasında, bu kısıtlılığın ortadan kalkması için önerilen yöntem ve yaklaşımlar ayrıca açıklanmıştır. Sürdürülebilir kalkınma ölçümlerinin en çok kabul gören ve en kapsamlı girişimi olan SKH indeks ve raporları, bu çalışmada dikkate alınmış ve araştırma bulguları ile birlikte değerlendirilmiş ve yorumlanmıştır.

İKİNCİ BÖLÜM

2. BULANIK MANTIK TEORİSİ VE ÇALIŞMADA ÖNERİLEN PİSAGOR BULANIK YÖNTEMLER

Bu bölümde, bulanık mantık kavramının tarihsel süreçte ortaya çıkışı ve gelişimi, temel özellikleri ve başlıca üstünlüklerinden bahsedilmektedir. Bunun yanında, bulanık kümeler teorisinin yıllar itibariyle ortaya çıkan uzantıları anlatılmaktadır. Ayrıca, bulanık kümelerde tanımlı farklı bulanık sayılar ve bu sayılara yönelik ortaya konan temel aritmetik işlemler gösterilmektedir. Son olarak, çalışmanın uygulama kısmında önerilen ÇKKV yöntemlerinin matematiksel adımları ve literatürde bu yöntemlerin kullanıldığı başlıca çalışmalar sunulmaktadır.

2.1. Klasik/ Geleneksel Mantık

Yunan dilinde “Logike” kelimesinden tercümesi olan “mantık” kelimesinin anlamı; “söz”, “akıl” ve “akıl yürütme” kavramları ile ilgilidir. Böylece, “mantık” kelimesi “nutk” kökünden türemiş ve dilimize girmiştir (Öner, 1986: 1-2). Mantık kelimesi, günümüz dünyasında hem bir felsefi disiplin alanı hem de bir düzgün düşünme şekli olarak karşımıza çıkmaktadır. Aristoteles, mantığı “düşünmenin salt formlarının öğretisi” şeklinde tanımladıktan sonra, mantık kavramının birçok tanımı yapılmıştır (Özlem, 2004: 28).

- Mantık, düzgün düşünme biçim ve yasalarının bilgisidir.
- Mantık, düşünme kuralları bilimidir.
- Mantık, dilsel ifadelerin, söylemlerin ve dilsel anlatım şartlarının temel öğretisidir.
- Mantık, etkili önerme biçimlerinin ve mutlak ifade kalıplarının değişmez bir kuramıdır.

Mantık kavramı, bünyesinde özdeşlik, çelişmezlik ve üçüncü halin olmazlığı gibi temel ilkeler barındıran bir sistemler bütünüdür. Herhangi bir şeyi “kendi olan” olarak düşünmemizi sağlayan temel dinamik *özdeşlik ilkesi*dir. Bu düşünce, ilgili şeyin zihnimizde tasarlanması için gerekli olan bir koşul olmakla birlikte yeterli değildir. Çünkü o şeyin “kendinden başka bir şey olmayan” şeklinde de tasarlanması gerekmektedir. Bu bakımdan, mantığın ikinci temel ilkesi olan *çelişmezlik ilkesine* ihtiyaç vardır. Sonuç olarak bu iki temel ilke, herhangi bir kavramın yaratılmasını sağlamaktadır. Düşünülebilen her şeyin ya X ya da X’in dışında bir şey olabileceğini ortaya koyan ilke ise, *üçüncü halin olmazlığı* ilkesidir. Klasik mantıkta var olan tüm kavramlar bu ilkeler bağlamında “doğru” ve “yanlış” mantık şeklinde oluşturulmaktadır (Özlem, 2004: 47).

2.2. Sembolik Mantık

Aristoteles, ortaya koyduğu mantık sistemine “mantık” adını vermek yerine, “analitik” demiştir. Aristoteles’in mantık hakkında yazdığı yazıları “Organon” adlı eserde derlenmiştir. 1847 yılında De Morgan, mantığı matematiksel semboller ile ifade edilen bir yapıya dönüştürerek sembolik mantığın temellerini atmıştır. Daha sonraları G. Frege (1848-1925), mantıktan matematiğe bir yol çizerek sembolik mantığın gelişmesine katkı sunmuştur. Böylece, Leibniz (1646-1716) sembolik dilin sadece sayılar için değil, kavramlar ve önermeler için de kullanılabileceğini önermiş ve sembolik bir matematik dilinin gerekliliğini ortaya koymuştur (Özlem, 2004: 226).

Sembolik mantık, analitik ve yapıcı bir bakışla mutlak düşüncenin temel bir aracıdır. Sembolik mantığın temel amacı, bilimsel yöntemleri doğrulamanın yanında semantik karmaşaların da açıklığa kavuşmasını sağlamaktır. Sembolik mantık, modern felsefi düşüncenin sahip olduğu karışıklığı çözebilecek en etkili yöntemdir (Langer, 1967: 7). Matematikte olduğu gibi mantıkta da sembol kullanımı birçok avantaja sahiptir (Klenk, 2007: 14).

- Sembollerin değiştirilmesi çok daha kolaydır.
- Semboller, ekonomik kısa yollar sağlamaktadır.
- Semboller, bir cümlenin genel yapısını bir bakışta görmemizi sağlayan simgelerdir.

2.3. Sonsuz Değerli ve Çok Değerli Mantık

Biçimsel bulanık mantığın temelini oluşturan sonsuz değerli mantık (infinite-valued logic) ilk olarak 1920'lerde Polonyalı mantıkçı Jan Lukasiewicz ve Emile Post (1921) tarafından ortaya atılmıştır. Çok değerli mantık (many-valued logic), içinde ikiden fazla doğruluk değeri olan mantıksal sistemleri temsil etmektedir. Bir mantıksal önerme "doğru", "yanlış" ve "ne doğru ne de yanlış" şeklinde oluşturulabilir. Burada doğruluk değeri $[0,1]$ arasındaki reel sayılarda tanımlanırsa, sonsuz değerli mantık sistemi ortaya çıkmaktadır. Lukasiewicz, üç değerli mantıktan sonsuz değerli mantığa kadar çok değerli mantıksal sistemler serisi geliştirmiştir. Bulanık mantıkta ortaya konan birçok çalışma Lukasiewicz'in sonsuz değerli mantık sistemine dayanmaktadır (Bergmann, 2008: 8).

Çok değerli mantığın en ayırt edici özelliği, doğruluk ve yanlışlıkla olan ilişkisinin iki mantıksal değerle tam olarak ölçülememesidir. Lukasiewicz, mantıksal sistemde "0", "1" ve "2" değerlerini tanımlamaktadır. "0" ve "1" değeri sırasıyla yanlış ve doğrunun değerlerini gösterirken, "2" değeri, olasılık temelli kararsızlığı ifade etmektedir (Malinowski, 2007: 15).

2.4. Bulanık Mantık

Gündelik yaşamda karar verme, kesin olmayan kavramlar ve yaklaşık çıkarımlar ile desteklenmektedir. Bu karmaşık durum içinde, klasik mantık araçlarının işlevselliği sınırlı düzeydedir. Bu yüzden, karmaşık karar verme süreçlerinde bulanık mantık yaklaşımı öne çıkmaktadır (Malinowski, 2007: 70). Bulanık mantığın en temel özelliği, doğru ve yanlış dışındaki doğruluk değerlerini de hesaba katmasıdır (Bergmann, 2008: 2).

Aristoteles'ten bu yana, iki değerli klasik mantığın önerileri tartışılmaktadır. Gelecek olaylar hakkında ortaya konan varsayımlar sadece "doğru" veya sadece "yanlış" olmayabilir. Ölçülemeyen doğruluk değerleri kararsızlığı veya belirsizliği beraberinde getirmektedir. Bu belirsizliği ifade etmek için en az üç değerli bir mantık sistemine ihtiyaç vardır (Klir ve Yuan, 1995: 217).

En dar anlamda, bulanık mantık sonsuz çoklu değerli mantıktır. Bulanık mantık üzerine yapılan çoğu çalışmada, sonsuz değerli mantığın keşfi 1965 yılında Lotfi Zadeh'e atfedilmektedir. Fakat gerçekte bulanık mantık, 1920 ve 1930'lu yıllarda Lukasiewicz ve Tarski tarafından temellendirilmiş, araştırmacıların bulanık mantığa olan ilgisi 1960'lara kadar devam etmiştir (Pelletier, 2000: 343). Lotfi Zadeh, Lukasiewicz kümelerini ve klasik kümeleri birleştirip üyelik dereceleri tanımlayarak bulanık mantığı ortaya atmıştır. Zadeh'in en temel öngörüsü, insan zekâsı ve dili ilişkilendirmek için matematiğin kullanılması gerektiğidir. Bulanık mantık, kelimelerin matematik sembollerinden çok daha fazlasını anlatma gücünü kullanarak gerçekliği daha iyi modelleyebilme amacını taşır (McNeill ve Thro, 1994: 11). Bulanık mantık, günlük yaşamın her alanında karşımıza çıkabilir. Mühendislik, sağlık, meteoroloji, üretim gibi alanlarda bulanık mantık uygulamalarına rastlamak mümkündür. Bu alanların ortak özelliği, insani yargıları, değerlendirme ve karar verme süreçlerini içermeleridir. Dolayısıyla, bahsi geçen her alan belirsiz ve bulanık ortamda ele alınmaktadır (Zimmermann, 1996: 3).

2.4.1. Bulanık Mantığın Temel Özellikleri

Bulanık mantığın doğasında bulunan temel karakteristikler aşağıdaki gibi sıralanabilir (Zadeh, 1989: 89):

- Bulanık mantıkta, kesin muhakeme yaklaşık muhakemenin sınırlandırılmış bir olgusu olarak ele alınır.
- Bulanık mantıkta ele alınan her eleman bir derece ile ifade edilir.
- Herhangi bir mantıksal sistem bulanıklaştırılarak ifade edilebilir.
- Bilgi bulanık mantıkta, bir dizi değişken üzerindeki esnek ya da bulanık kısıtlar olarak tanımlanmaktadır.
- Çıkarım, esnek kısıtların yayılma süreci olarak görülebilir.

- Bulanık mantıkta kesin değerler yerine $[0,1]$ arasında değişen aralık değerleri kullanılır.
- Bulanık mantıkta, doğal bir dilde olduğu gibi kesin sıfatlar yerine bulanık ifadeler bulunur. Bu durum bulanık mantığa esneklik kazandırmıştır.
- Klasik mantıkta genellikle olumsuzluk "değil" ile ifade edilir iken, bulanık mantıkta sınırları çizen "çok", "fazla ya da az", "son derece" gibi tümleçlerdir. Örneğin, klasik mantıkta "genç" yerine, bulanık mantıkta "çok genç", "çok genç değil" ve "daha genç" gibi ifadeler yer alır.
- Bulanık mantıkta, nicelik bulanık sayılar veya bulanık oranlar yardımıyla ölçülür.
- Dilsel ifadeler veya bulanık olasılıklar, bulanık sayılar ile ifade edilir.
- Bulanık mantık, belirsiz olaylar ile başa çıkma gücüne sahiptir. Örneğin, "Yarın çok sıcak bir gün olacak" cümlesindeki "çok sıcak" ifadesi belirsiz bir sıfattır.
- Bulanık mantık, klasik sistemlerle çelişen bir muhakeme sistemi olmayıp, klasik sistemlerin bir uzantısı şeklinde algılanmalıdır.

Bulanık mantık, insan zekâsı ile konuşulan dili birleştirmek için matematiği kullanma öngörüsünden doğmuştur. Bu bakımdan, matematik yerine dilsel ifadelerin kullanımı ile birçok durum modellenebilir. Dolayısıyla bulanık mantık ve bulanık kümeler gerçekliği daha iyi modelleyebilme disiplinine sahiptir (McNeill ve Thro, 1994: 11).

2.4.2. Bulanık Mantıkta Üstünlükler ve Zayıflıklar

Bulanık mantığın sunduğu temel üstünlükler şu şekilde sıralanabilir (McNeill ve Thro, 1994: 16-17):

- Bulanık mantıkta daha az kural, değer ve karar vardır.
- Daha fazla değişken gözlemlenerek değerlendirmeye alınabilir.
- Nümerik olmayan dilsel ifadeler kullanımı ile insan düşüncesine yakın problemler ele alınabilir.
- Bulanık mantık, tümünü anlamak zorunda olmadan girdi ve çıktıyı ilişkilendirebilir.
- Klasik sisteme nazaran, daha doğru ve kararlı sistemlerin tasarımına imkân tanır.
- Basitlik, çözüm getirilmemiş problemleri çözmeye yarar.
- Bulanık mantık, bilgiye ulaşmayı ve onu temsil etmeyi kolaylaştırır.
- Bulanık mantıkta, karmaşık durumlar birkaç basit kural ile atlatılır.

Buna karşın, bulanık mantıkta bulunan temel zayıflıklar şu şekilde sıralanabilir.

- Bulanık sistemde tanımlı bir model geliştirmek çoğu zaman kolay değildir.

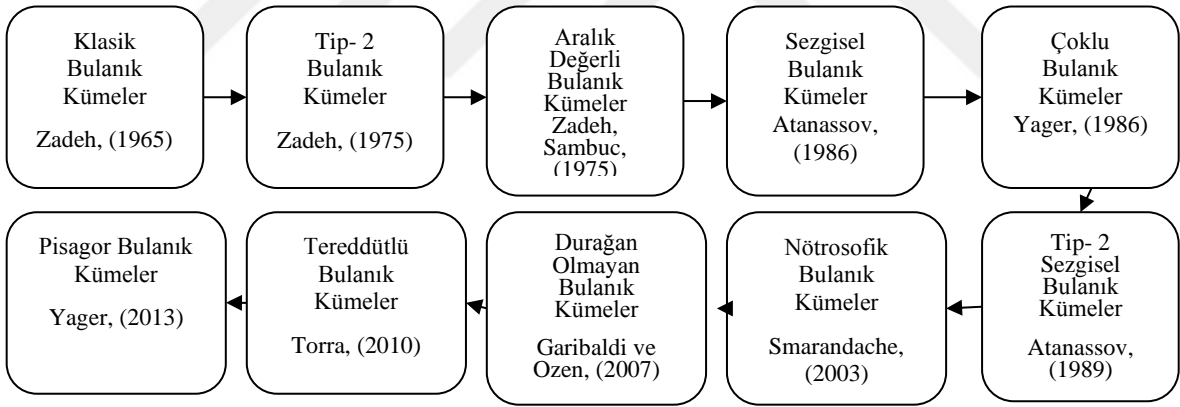
- Bulanık sistemler uzun zaman alan simülasyon ve ayarlamalar sonrasında verimli hale gelebilir.
- Bulanık mantık, belirli bir sisteme özgü ele alındığından sınırlı parametrelere sahiptir. Bu durum, farklı durum modellemesinde işlevselliği azaltmaktadır.

2.5. Bulanık Kümeler Teorisi

Evrensel küme, bir problem hakkında olası tüm bilgileri içeren evrendir. Bu evren tanımlandıktan sonra, bu bilgi uzayında mutlak olaylar tanımlanmaktadır. X evrensel kümesinde, A alt kümesi, kesin (crisp) sınırlarda tanımlanmaktadır. Kümenin sınırları ve yeri için belirsizlik yoktur. Buna karşın, bulanık küme belirsiz ve net olmayan değerler içermektedir (Ross, 2004: 24).

Zadeh tarafından 1965 yılında literatüre giren klasik bulanık kümelerden günümüze dek, birçok bulanık küme uzantısı farklı yazarlar tarafından ele alınmıştır. Aralık değerli bulanık kümeler, sezgisel bulanık kümeler, nütrosifik ve Pisagor bulanık küme (PBK) bu uzantılardan bazılarıdır. Yıllara göre bulanık kümelerin gelişim süreci aşağıda Şekil 9'dan görülebilir.

Şekil 9: Bulanık Kümelerin Uzantıları



Klasik bir kümede, x elemanı X evrensel kümesinin bir elemanı olsun. Burada, x elemanı A alt kümesinin elemanı ya da değildir. Bu iki değerli üyelik matematiksel olarak aşağıdaki gibi gösterilmektedir (Ross, 2004: 14).

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1, & x \in A \\ 0, & x \notin A \end{cases}$$

Bulanık kümeler genellikle, elemanların evrenini $[0,1]$ arasında tanımlayan fonksiyonlardır. Bu yüzden, bulanık kümelerde üyelik fonksiyonları kesin (crisp) değerler yerine $[0,1]$ arasında değişen değerler ile ifade edilmektedir. Bu durum, kümeye kısmi üyeliği mümkün kılmaktadır. X

evrensel kümesinde A bulanık kümesi tanımlansın. Bu bulanık kümede yer alan x elemanın üyelik fonksiyonu $\mu_A(x)$ şeklinde tanımlanmaktadır. Üyelik fonksiyonu değeri “1” değerine yaklaştıkça x elemanın A kümesine üye olma derecesi artmakta, “0” değerine yaklaştıkça x elemanın üye olma derecesi azalmaktadır. Bulanık A kümesinde x elemanın üyelik derecesini ifade eden gösterim aşağıda gösterilmektedir (Zadeh, 1965: 339).

$$A = \left\{ (x, \mu_A(x)) \mid x \in X, \mu_A(x) \in [0,1] \right\}$$

X evrensel kümesinin kesikli olduğu durumlarda A bulanık kümesi aşağıdaki gibi ifade edilmektedir.

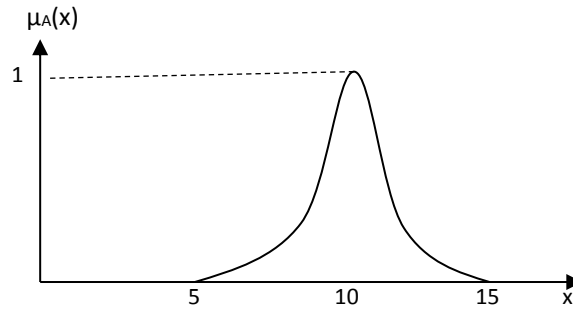
$$A = \left\{ \frac{\mu_A(x_1)}{x_1} + \frac{\mu_A(x_2)}{x_2} + \dots \right\} = \left\{ \sum_i \frac{\mu_A(x_i)}{x_i} \right\}$$

X evrensel kümesi, sürekli ve sonsuz bir küme olduğunda ise bulanık küme aşağıda gösterildiği gibi ifade edilir (Ross, 2004, s. 34).

$$A = \left\{ \int \frac{\mu_A(x)}{x} \right\} \lim_{x \rightarrow \infty}$$

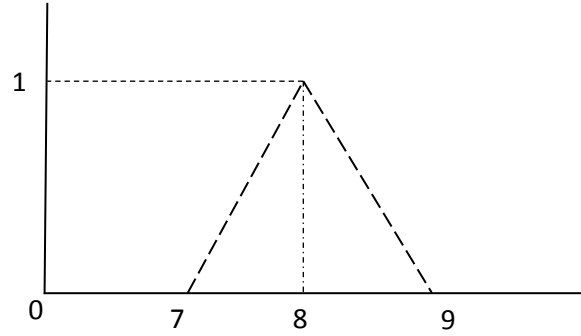
Bulanık bir küme, üyelik fonksiyonları ile ifade edilmektedir. Örneğin, “10’a yakın olan reel sayılar” A bulanık kümesi Şekil 10’da gösterildiği gibi oluşturulmaktadır.

Şekil 10: Üyelik Derecesi Örnek Gösterim



Bulanık kümeler, klasik küme yaklaşımının geliştirilmiş halidir. Aynı zamanda üyelik fonksiyonları klasik kümelerdeki karakteristik fonksiyonun geliştirilmiş halidir. Bu yüzden, bulanık sistemdeki bazı elemanların üyelik derecesi “0” değerini alabilirler (Zimmermann, 1996: 13).

Şekil 11: Üçgensel Bulanık Sayı Örnek Gösterim



Herhangi bir bulanık küme, üçgensel bir sayı olarak ifade edilebilir. Şekil 11’de görülen üçgensel bulanık sayıda 7, 8 ve 9 sayılarının farklı üyelik derecelerinin olduğu göze çarpmaktadır. Örneğin, 7 ve 9 sayısının üyelik derecesi en az iken, 8 sayısı bulanık kümeye tam üyedir. Üçgensel bir sayıda tepe nokta en yüksek üyelik derecesine sahipken, diğer köşe noktalar “0” değeri ile en düşük üyelik derecesine sahip olmaktadır (McNeill ve Thro, 1994: 32).

2.5.1. Bulanık Kümelerin Temel Özellikleri

Bulanık kümede yer alan tüm bilgiler üyelik fonksiyonu ile tanımlandığından, bu fonksiyonun çeşitli özelliklerinin ortaya konması gerekmektedir. Sürekli veya kesikli üyelik fonksiyonlarının sahip olduğu temel özellikler aşağıda maddeler halinde sunulmaktadır (Ross, 2004: 91).

- **Öz (Core) Küme:** X evrensel kümesinde tanımlı olan A bulanık kümesinde üyelik derecesi 1’e eşit olup tam üyelik gösteren tüm elemanlar A bulanık kümesinin öz (core) kümesini oluşturmaktadır.

$$\text{Öz}(A) = \{x \in X \mid \mu_A(x) = 1\}$$

- **Destek (Support) Kümesi:** X evrensel kümesinde tanımlı A bulanık alt kümesinde üyelik derecesi 0’dan farklı değer alan tüm elemanlarının olduğu kümedir.

$$\text{Destek}(A) = \{x \in X \mid \mu_A(x) > 0\}$$

- **Sınır (Boundary) Kümesi:** X evrensel kümesinde tanımlı A bulanık alt kümesinde üyelik derecesi 0 ve 1’den farklı olup, belirsiz ve kısmi üyelik derecesine sahip olan x elemanlarının oluşturduğu kümedir.

$$\text{Sınır}(A) = \{x \in X \mid 0 < \mu_A(x) < 1\}$$

2.5.2. Üyelik Fonksiyonu Türleri

Bir üyelik fonksiyonu, 0-1 arasında yer alan tüm gerçek değerli elemanları bir değişken fonksiyonu gibi ele alan fonksiyondur. Genel itibariyle, bulanık sayılar kümesinde tanımlanan üyelik fonksiyonu türleri; üçgensel, yamuk, S- tipi, π - tipi, Beta tipi ve Gauss tipi olarak karşımıza çıkmaktadır (Wong ve Lim, 2016: 87-88). Literatürde sıklıkla kullanılan üçgensel ve yamuk üyelik fonksiyonlarının, kullanım kolaylığı ve etkinliği nedeniyle tanıtılması tercih edilmiştir.

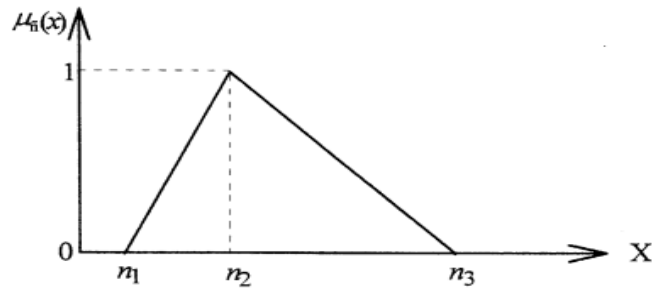
• Üçgensel Bulanık Kümeler

Üçgensel bir bulanık sayı $n=(n_1, n_2, n_3)$ parametreleri ile ifade edilmektedir. $\mu_n(x)$ üyelik fonksiyonu aşağıda gösterildiği gibi tanımlanmaktadır (Chen, 2000).

$$\mu_n(x) = \begin{cases} 0, & x < n_1, \\ \frac{x - n_1}{n_2 - n_1}, & n_1 \leq x \leq n_2, \\ \frac{x - n_3}{n_2 - n_3}, & n_2 \leq x \leq n_3, \\ 0, & x > n_3, \end{cases}$$

Şekil 13'de $n=(n_1, n_2, n_3)$ üçgensel bulanık sayısı (ÜBS) görülmektedir. Burada, n_1 parametresi üçgensel sayının alt sınırını, n_2 parametresi orta noktasını ve n_3 parametresi üçgensel bulanık sayının üst sınırını ifade etmektedir.

Şekil 13: Üçgensel Bulanık Sayı



$m=(m_1, m_2, m_3)$ ve $n=(n_1, n_2, n_3)$ ÜBS olmak üzere, bu sayılarla ele alınan temel aritmetik işlemler aşağıdaki kurallar çerçevesinde tanımlanmaktadır (Huang vd., 2013: 333).

$$m + n = (m_1 + n_1, m_2 + n_2, m_3 + n_3)$$

$$m - n = (m_1 - n_3, m_2 - n_2, m_3 - n_1)$$

$$m \times n = (m_1 \times n_1, m_2 \times n_2, m_3 \times n_3)$$

$$m / n = \left(\frac{m_1}{n_3}, \frac{m_2}{n_2}, \frac{m_3}{n_1} \right)$$

$$k + m = (k + m_1, k + m_2, k + m_3), k \in R$$

$$k \times m = (k \times m_1, k \times m_2, k \times m_3), k \in R, k > 0.$$

$$k \times m = (k \times m_3, k \times m_2, k \times m_1), k \in R, k < 0.$$

$m = (m_1, m_2, m_3)$ ve $n = (n_1, n_2, n_3)$ iki adet ÜBS olmak üzere, iki bulanık sayının arasındaki uzaklık Vertex metodu ile hesaplanmaktadır (Chen, 2000: 4).

$$d(m, n) = \sqrt{\frac{1}{3} [(m_1 - n_1)^2 + (m_2 - n_2)^2 + (m_3 - n_3)^2]}.$$

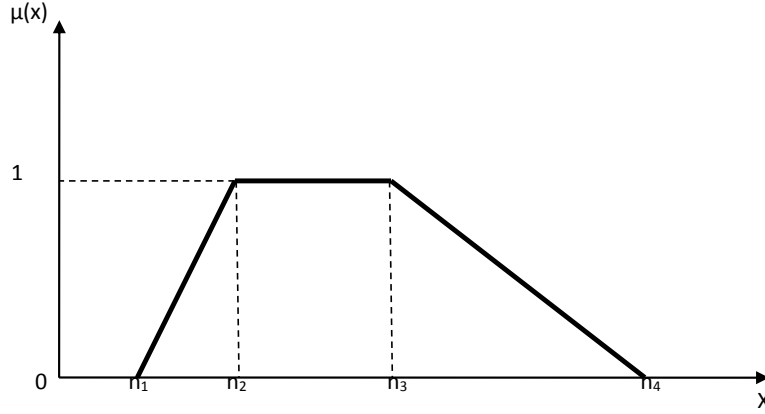
- **Yamuk Bulanık Kümeler**

Bir $n = (n_1, n_2, n_3, n_4)$ yamuk bulanık sayısı (YBS) aşağıda görülen üyelik fonksiyonu ile tanımlanmaktadır (Nadaban vd., 2016: 824).

$$\mu_n(x) = \begin{cases} \frac{x - n_1}{n_2 - n_1}, & n_1 \leq x \leq n_2, \\ 1 & n_2 \leq x \leq n_3 \\ \frac{n_4 - x}{n_4 - n_3}, & n_3 \leq x \leq n_4, \\ 0, & x < n_1, x > n_4 \end{cases}$$

Bir $n = (n_1, n_2, n_3, n_4)$ yamuk bulanık sayısı aşağıda Şekil 14'te görülen formda oluşturulmaktadır.

Şekil 14: Yamuk Bulanık Sayı



İki pozitif YBS $m = (m_1, m_2, m_3, m_4)$ ve $n = (n_1, n_2, n_3, n_4)$ şeklinde ve $k \in R$ olmak üzere, bu sayılarla ele alınan temel aritmetik işlemler aşağıda gösterilmektedir (Chen ve Hwang, 1992: 91; Nadaban vd., 2016: 824).

$$m + n = (m_1 + n_1, m_2 + n_2, m_3 + n_3, m_4 + n_4)$$

$$m - n = (m_1 - n_4, m_2 - n_3, m_3 - n_2, m_4 - n_1)$$

$$m \times n = (m_1 \times n_1, m_2 \times n_2, m_3 \times n_3, m_4 \times n_4)$$

$$m / n = \left(\frac{m_1}{n_4}, \frac{m_2}{n_3}, \frac{m_3}{n_2}, \frac{m_4}{n_1} \right)$$

$$k + m = (k + m_1, k + m_2, k + m_3, k + m_4), k \in R$$

$$k \times m = (k \times m_1, k \times m_2, k \times m_3, k \times m_4), k \in R, k > 0.$$

$$k \times m = (k \times m_4, k \times m_3, k \times m_2, k \times m_1), k \in R, k < 0.$$

Bir $n = (n_1, n_2, n_3, n_4)$ yamuk bulanık sayısının durulaştırılmış değeri aşağıdaki denklem yardımıyla hesaplanmaktadır (Ghorabae vd., 2014: 1120).

$$\kappa(n) = \frac{1}{3} \left(n_1 + n_2 + n_3 + n_4 - \frac{n_3 n_4 - n_1 n_2}{(n_3 + n_4) - (n_1 + n_2)} \right)$$

2.6. Bulanık Aritmetik İşlemler

Genişleme ilkesi, Zadeh'in 1975 yılında yaptığı çalışmalar ışığında geliştirilmiştir. Burada, bulanık olan aritmetik işlemler değil, işlemlerin gerçekleştirildiği sayılardır (Ross, 2004: 445). A ve B gibi iki bulanık sayının varlığında, toplama, çıkarma, çarpma ve bölme gibi temel aritmetik

işlemlerin yapılabilmesi gerekmektedir. Cebirsel işlemleri yapabilmek için genişleme ilkesi (Extension Principle) ve α - kesim aralık (α - cuts interval) gibi iki temel yöntem önerilmiştir (Buckley ve Jowers, 2006: 12).

2.6.1. Genişleme İlkesi (Extension Principle) Yaklaşımı

Zadeh tarafından önerilen ve Yager (1986) tarafından geliştirilen genişleme ilkesi yaklaşımı, bulanık kümelerde tanımlı fonksiyonların etki alanını genişletmemizi sağlamaktadır (Ross, 2004: 446). A ve B iki bulanık sayı olsun. Eğer, bu sayıların toplamı C bulanık sayısı oluyorsa, C sayısının üyelik fonksiyonu aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$\text{Toplama} = C(z) = \max_z \left\{ \min(A(x), B(y)) \mid x + y = z \right\}$$

$$\text{Çıkarma} = C(z) = \max_z \left\{ \min(A(x), B(y)) \mid x - y = z \right\}$$

$$\text{Çarpma} = C(z) = \max_z \left\{ \min(A(x), B(y)) \mid x \times y = z \right\}$$

$$\text{Bölme} = C(z) = \max_z \left\{ \min(A(x), B(y)) \mid x / y = z \right\}$$

Görüldüğü gibi tüm denklemlerde C sayısı bulanık bir sayı olmaktadır. Bulanık sayılarda yapılacak aritmetik işlemler kısmen karmaşık görünmektedir.

2.6.2. Alfa- Kesim Aralık Yaklaşımı

Bulanık bir küme, belirsiz sınırlara sahip olan klasik bir küme şeklinde düşünülebilir. Buradan hareketle, konveks üyelik fonksiyonuna sahip bulanık bir küme farklı α - kesim düzeylerinde aralık sayılar ile ifade edilebilir (Ross, 2004: 457). Bir bulanık kümenin oluşturulması demek, o kümenin tüm α - kesim düzeylerinin belirlenmesi demektir. A ve B iki bulanık sayı olmak üzere, bu sayıların α - kesim aralıkları aşağıda gösterildiği gibidir (Wang, 1997: 370).

$$A_\alpha = [a_\alpha^l, a_\alpha^u]$$

$$B_\alpha = [b_\alpha^l, b_\alpha^u]$$

A ve B gibi iki bulanık sayı için α - kesim yöntemiyle yapılan temel aritmetik işlemler aşağıda gösterilmektedir (Wang, 1997: 372).

$$\text{Toplama} = (A + B)_\alpha = [a_\alpha^l + b_\alpha^l, a_\alpha^u + b_\alpha^u]$$

$$\text{Çıkarma} = (A - B)_\alpha = [a_\alpha^l - b_\alpha^u, a_\alpha^u - b_\alpha^l]$$

$$\text{Çarpma} = (A \times B)_\alpha = [a_\alpha^l \times b_\alpha^l, a_\alpha^u \times b_\alpha^u]$$

$$\text{Bölme} = (A \div B)_\alpha = [a_\alpha^l \div b_\alpha^l, a_\alpha^u \div b_\alpha^u]$$

Örnek: A ve B iki üçgensel bulanık sayı olmak üzere, α - kesim tekniği ile bu iki bulanık sayının toplama işlemi aşağıda görüldüğü şekilde gerçekleştirilmektedir. Bu iki bulanık sayının üyelik fonksiyonları aşağıdaki gibi tanımlansın.

$$\mu_A(x) = \mu_A(x; -1, 0, 1)$$

$$\mu_B(x) = \mu_B(x; -1, 1, 3)$$

Burada, $\alpha \in [0, 1]$ olmak üzere, bu sayıların α - kesim aralıkları aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır.

$$A_\alpha = [\alpha - 1, 1 - \alpha]$$

$$B_\alpha = [2\alpha - 1, 3 - 2\alpha]$$

$(A + B)_\alpha = [3\alpha - 2, 4 - 3\alpha]$ toplama işlemi sonucunda elde edilmektedir. Oluşan yeni bulanık sayı $\alpha = 0$ ve $\alpha = 1$ kesim seviyesinde aşağıda gösterildiği gibi bulunur.

$$\mu_{A+B}(x) = \mu_{A+B}(x; -2, 1, 4).$$

2.7. Sezgisel Bulanık Kümeler

X boş olmayan bir küme olmak üzere, X kümesinde tanımlı sezgisel bulanık A kümesi aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır (Atanassov, 1999: 1-2).

$$A = \{ \langle x, \mu_A(x), \nu_A(x) \rangle \mid x \in X \}$$

Sezgisel bulanık küme teorisinde x elamanının A kümesine üye olma derecesini $\mu_A(x)$, üye olmama derecesini $\nu_A(x)$ ve tereddüt derecesini $\pi_A(x)$ göstermektedir. Bir elemanın ilgili bulanık kümeye üye olma derecesi ile üye olmama derecesinin toplamı 1'den küçüktür.

$$0 \leq \mu_A(x) + \nu_A(x) \leq 1$$

Tereddüt derecesi, kümeye üye olup olmama durumunun kararsızlığını ifade etmektedir. $\pi_A(x)$ değerinin düşük olması durumunda, x elemanı hakkında sağlanan bilginin daha kesin olduğu söylenebilir. $\pi_A(x)$ değerinin 0'a eşit olması durumunda, kümede belirsizlik olmayacağı için sezgisel bulanık küme, bulanık küme şeklinde değerlendirilecektir.

$$\pi_A(x) = 1 - \mu_A(x) - \nu_A(x)$$

$A = (\mu_A(x), \nu_A(x))$ ve $B = (\mu_B(x), \nu_B(x))$ sezgisel bulanık sayılar olmak üzere, temel ilişki ve aritmetik işlemler aşağıda sunulduğu gibi gerçekleştirilmektedir (Atanassov, 1999: 9).

$$A \cap B = \{\min(\mu_A(x), \mu_B(x)), \max(\nu_A(x), \nu_B(x))\}$$

$$A \cup B = \{\max(\mu_A(x), \mu_B(x)), \min(\nu_A(x), \nu_B(x))\}$$

$$A \oplus B = \{(\mu_A(x) + \mu_B(x) - \mu_A(x) \cdot \mu_B(x)), (\nu_A(x) \cdot \nu_B(x))\}$$

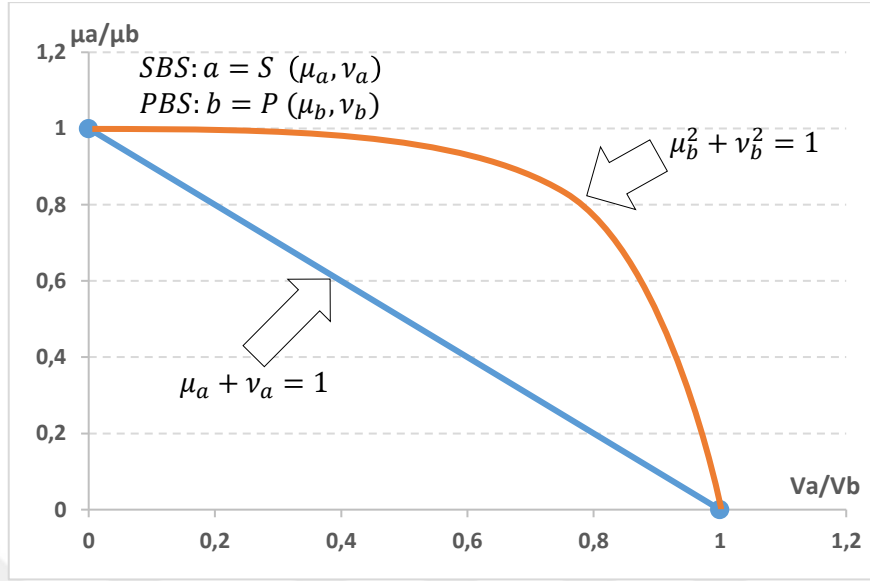
$$A \otimes B = \{(\mu_A(x) \cdot \mu_B(x)), (\nu_A(x) + \nu_B(x) - \nu_A(x) \cdot \nu_B(x))\}$$

2.8. Pisagor Bulanık Kümeler (PBK)

İnsan doğasında var olan tereddüt ve kararsızlık kavramları bulanık kümelerden sezgisel bulanık kümelere geçişi hızlandırmıştır (Atanassov, 1999: 3). Sezgisel bulanık kümelerde, $\mu + \lambda \leq 1$ olma koşuluyla üye olma derecesi μ ile üye olmama derecesi λ ile gösterilmektedir. Bu durum, üyelik derecelerini sınırlandırmaktadır. Böyle bir sınırlamanın üstesinden gelmek adına, $\mu^2 + \lambda^2 \leq 1$ koşulu altında; üyelik derecesi μ , üye olmama derecesi λ olan PBK tanımlanmıştır (Yager ve Abbasov, 2013: 437).

Üyelik dereceleri toplamının 1'den büyük olduğu durumlarda sezgisel bulanık yöntemler karar problemini modellemede yetersiz kalmaktadır (Zhang ve Xu, 2014: 1062). Bu bakımdan, PBK karar verici yargısını veya tereddüdünü yakalayabilme gücüne sahip olmaktadır. Bu yüzden, Pisagor bulanık üyelik derecelerinin çözüm uzayı, sezgisel bulanık üyelik derecelerinin çözüm uzayından daha büyük olmaktadır. Böylece, PBK bünyesinde daha fazla belirsizlik barındırabilme yeteneğinden dolayı ÇKKV problemlerini etkili bir şekilde modelleyebilmektedir (Zhang, 2016: 106). Sezgisel ve Pisagor bulanık sayıların çözüm uzayları aşağıdaki görselde sergilenmektedir.

Şekil 15: Sezgisel ve Pisagor Bulanık Sayılarda Çözüm Alanı



Yukarıda Şekil 15'ten görüldüğü gibi, sezgisel üyelik derecelerinin tüm noktaları $\mu_a + v_a \leq 1$ doğrusu altında kalmaktadır. Buna karşın, Pisagor üyelik dereceleri daha geniş çözüm uzayı sunduğundan dolayı, tüm noktalar $\mu_b^2 + v_b^2 \leq 1$ doğrusu altında olmaktadır (Yager ve Abbasov, 2013: 439).

2.8.1. Pisagor Sayılarda Temel Kavramlar

Bu başlık altında, PBK ve benzerlik ölçüleri ile ilişkili kavramsal tanımlamalar yapılmaktadır (Yager, 2014).

Tanım 1: $Z = \{z_1, z_2, \dots, z_n\}$ şeklinde tanımlanan çözüm uzayında bir PBK şu şekilde tanımlanmaktadır.

$$Z = \{ \langle z_i, \mu_x(z_i), v_x(z_i) \rangle \mid z_i \in Z \}$$

Burada $\mu_x : Z \rightarrow [0,1]$ ve $v_x : Z \rightarrow [0,1]$ ifadeleri sırasıyla, üye olma derecesi ve üye olmama derecelerini göstermektedir. Üyelik dereceleri aşağıdaki kısıt aralığında tanımlanmaktadır.

$$0 \leq (\mu_x(z_i))^2 + (v_x(z_i))^2 \leq 1.$$

Her z_i bulanık sayısı için, kararsızlık derecesi $\pi_x(z_i) = \sqrt{1 - \mu_x^2(z_i) - v_x^2(z_i)}$ şeklinde tanımlanmaktadır. $X = P(\mu_x, v_x)$ Pisagor bulanık sayı (PBS) olmak üzere $\mu_x, v_x \in [0, 1]$ ve $0 \leq \mu_x^2 + v_x^2 \leq 1$ şeklindedir.

Tanım 2: $\beta = P(\mu_\beta, v_\beta)$ Pisagor bulanık sayı olmak üzere, bulanık sayının skor fonksiyonu aşağıda gösterildiği gibidir. Bir Pisagor bulanık sayının skor fonksiyon değeri $s(x) \in [-1, 1]$ aralığında olmaktadır.

$$s(\beta) = (\mu_\beta)^2 - (v_\beta)^2$$

$\beta_1 = P(\mu_{\beta_1}, v_{\beta_1})$ ve $\beta_2 = P(\mu_{\beta_2}, v_{\beta_2})$ Pisagor bulanık sayılar olmak üzere, $\beta_1 \geq \beta_2$ olması için $\mu_{\beta_1} \geq \mu_{\beta_2}$ ve $v_{\beta_1} \leq v_{\beta_2}$ olmak zorundadır. Ayrıca aşağıdaki temel kurallar iki Pisagor bulanık sayının karşılaştırılmasında geçerli olmaktadır (Zhang ve Xu, 2014: 1067).

Eğer $s(\beta_1) > s(\beta_2)$ ise $\beta_1 > \beta_2$

Eğer $s(\beta_1) = s(\beta_2)$ ise $\beta_1 \sim \beta_2$

Eğer $s(\beta_1) < s(\beta_2)$ ise $\beta_1 < \beta_2$ şeklindedir.

Tanım 3: $\beta_j = P(\mu_{\beta_j}, v_{\beta_j}), (j=1, 2, \dots, n)$ şeklinde Pisagor bulanık sayılar olmak üzere, kriter ağırlıkları $w = (w_1, w_2, \dots, w_n)$ şeklinde tanımlanmaktadır. Bu durumda, Pisagor bulanık ağırlıklı ortalama (PFWA) operatörü aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$PFWA(\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n) = P\left(\sum_{j=1}^n w_j \mu_{\beta_j}, \sum_{j=1}^n w_j v_{\beta_j}\right)$$

2.8.2. Pisagor Sayılarda Aritmetik İşlemler

Tanım 1: $\beta = P(\mu_\beta, v_\beta)$, $\beta_1 = P(\mu_{\beta_1}, v_{\beta_1})$ ve $\beta_2 = P(\mu_{\beta_2}, v_{\beta_2})$ PBS olmak üzere, bu Pisagor bulanık sayılar için temel aritmetik işlemler şu şekilde gerçekleştirilmektedir (Yager, 2014: 961).

$$\beta_1 \oplus \beta_2 = P(\sqrt{\mu_{\beta_1}^2 + \mu_{\beta_2}^2 - \mu_{\beta_1}^2 \mu_{\beta_2}^2}, v_{\beta_1} v_{\beta_2}).$$

$$\beta_1 \otimes \beta_2 = P(u_{\beta_1} u_{\beta_2}, \sqrt{v_{\beta_1}^2 + v_{\beta_2}^2 - v_{\beta_1}^2 v_{\beta_2}^2}).$$

$$\lambda\beta = P\left(\sqrt{1-(1-\mu_\beta^2)^\lambda}, (v_\beta)^\lambda\right), \lambda > 0.$$

$$\beta^\lambda = P\left((\mu_\beta)^\lambda, \sqrt{1-(1-v_\beta^2)^\lambda}\right), \lambda > 0.$$

$$\beta_1 \cup \beta_2 = P(\max\{\mu_{\beta_1}, \mu_{\beta_2}\}, \min\{v_{\beta_1}, v_{\beta_2}\}).$$

$$\beta_1 \cap \beta_2 = P(\min\{\mu_{\beta_1}, \mu_{\beta_2}\}, \max\{v_{\beta_1}, v_{\beta_2}\}).$$

$$\beta^c = P(v_\beta, \mu_\beta).$$

Tanım 2: $\beta_1 = P(\mu_{\beta_1}, v_{\beta_1})$ ve $\beta_2 = P(\mu_{\beta_2}, v_{\beta_2})$ Pisagor bulanık sayılar olmak üzere β_1 ve β_2 arasındaki Pisagor bulanık uzaklık (PBU) değeri aşağıda gösterildiği gibi hesaplanır (Zhang ve Xu, 2014: 1070).

$$d(\beta_1, \beta_2) = \frac{1}{2} \left(\left| (\mu_{\beta_1})^2 - (\mu_{\beta_2})^2 \right| + \left| (v_{\beta_1})^2 - (v_{\beta_2})^2 \right| + \left| (\pi_{\beta_1})^2 - (\pi_{\beta_2})^2 \right| \right)$$

Teorem 1: $\beta = P(\mu_\beta, v_\beta)$, $\beta_1 = P(\mu_{\beta_1}, v_{\beta_1})$ ve $\beta_2 = P(\mu_{\beta_2}, v_{\beta_2})$ PBS olmak üzere, aşağıda görülen temel eşitlikler sağlanmaktadır (Zhang ve Xu, 2014: 1065).

$$\beta_1 \oplus \beta_2 = \beta_2 \oplus \beta_1.$$

$$\beta_1 \otimes \beta_2 = \beta_2 \otimes \beta_1.$$

$$\lambda(\beta_1 + \beta_2) = \lambda\beta_1 \oplus \lambda\beta_2, \lambda > 0.$$

$$\lambda_1\beta \oplus \lambda_2\beta = (\lambda_1 + \lambda_2)\beta; \lambda_1, \lambda_2 > 0.$$

$$(\beta_1 \otimes \beta_2)^\lambda = \beta_1^\lambda \otimes \beta_2^\lambda; \lambda > 0.$$

$$\beta^{\lambda_1} \otimes \beta^{\lambda_2} = \beta^{(\lambda_1 + \lambda_2)}; \lambda_1, \lambda_2 > 0.$$

2.8.3. Sezgisel ve Pisagor Bulanık Sayıların Karşılaştırılması

Sezgisel bulanık sayılar ile Pisagor bulanık sayılar arasındaki temel fark, farklı kısıt koşullarına sahip olmalarıdır. Sezgisel bulanık sayılarda kısıt koşulu $0 \leq \mu_\alpha + v_\alpha \leq 1$ şeklinde tanımlanırken, bu kısıt koşulu Pisagor bulanık sayılarda $(\mu_\beta)^2 + (v_\beta)^2 \leq 1$ şeklinde tanımlanmaktadır. Bundan dolayı, Pisagor üyelik dereceleri sezgisel üyelik derecelerine göre daha geniş bir çözüm uzayı temsil edebilmektedir. Daha açık bir ifadeyle, her sezgisel bulanık sayı aynı zamanda Pisagor bulanık sayı olurken, her Pisagor bulanık sayı sezgisel bulanık sayı olmayabilir.

Pisagor bulanık sayılar, sezgisel bulanık üyelik derecelerinin toplamının 1 olması şartını aramamaktadır. Sadece, üyelik derecelerinin kareleri toplamının 1'den küçük olması şartını ortaya koymaktadır. Üye olma ve üye olmama derecelerinin 1'den büyük olabilmesi karar vericilere problemi daha geniş bir çerçevede modelleyebilme olanağı sunmaktadır. Buna karşın, Pisagor bulanık sayılarda işlemler sezgisel bulanık sayılara göre çok daha karmaşıktır (Yager, 2014: 959).

2.9. Kriter Ağırlıklandırma Yöntemleri

2.9.1. Shannon Entropi Tekniği

Shannon entropi tekniğinde, kriter ağırlıkları aşağıdaki aşamalar çerçevesinde hesaplanmaktadır (Jozi vd., 2012: 6917).

Adım 1: Karar matrisinin oluşturulması

Bir karar probleminde m adet alternatif ve n adet kriter bulunduğunda, karar matrisi aşağıda görüldüğü gibi oluşturulmaktadır.

$$D = \begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \cdots & x_{mn} \end{pmatrix} = [x_{ij}]_{m \times n}$$

Adım 2: Karar matrisinin normalize edilmesi

Farklı kaynaklardan elde edilen matris değerleri, standart bir forma dönüştürülerek normalize edilmektedir. Vektör normalizasyonu sonucunda $R_{ij} = [r_{ij}]_{m \times n}$ normalize karar matrisi elde edilmektedir.

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}}, i = 1, 2, 3, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$$

$$R = \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \cdots & r_{mn} \end{pmatrix} = [r_{ij}]_{m \times n}$$

Adım 3: Kriterlerin entropi değerlerinin belirlenmesi

Her bir kriter için entropi değerleri aşağıda görüldüğü gibi hesaplanmaktadır. Denklemde, $p_{ij} = r_{ij} / \sum_{i=1}^m r_{ij}$ şeklinde hesaplanmaktadır. Burada $k=1/Inm$ olarak hesaplanmıştır. Ayrıca denklemde, eğer $p_{ij} = 0$ ise $p_{ij} \cdot Inp_{ij} = 0$ olarak kabul edilmektedir.

$$e(r_i) = -k \sum_{i=1}^m p_{ij} \cdot Inp_{ij}, i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$$

Adım 4: Kriter ağırlıklarının elde edilmesi

Kriterlere ait entropi değerleri hesaplandıktan sonra, her bir kriterin sahip olduğu göreceli önem düzeyi hesaplanmıştır. Hesaplanan ağırlıklar, ilgili kriterlerin önem derecesini belirtmektedir. Entropi değerinin düşük olması, göreceli ağırlığın artmasına neden olacağından, kriterin doğasında bulunan bilgi karar verme sürecinde daha önemli bir hal alacaktır.

$$\omega_j = \frac{1 - e_j}{\sum_{i=1}^n (1 - e_j)}, j = 1, 2, \dots, n$$

2.9.2. Bulanık Shannon Entropi Yöntemi

Bulanık kümelerde tanımlı Shannon entropi yöntemi, α - kesim kümelerine ve aralıklı veriye dayanmaktadır. Bulanık Shannon entropi yönteminde kriter ağırlıkları aşağıdaki adımlar çerçevesinde hesaplanmaktadır (Lotfi ve Fallahnejad , 2010: 56).

Adım 1: Bulanık karar matrisinin oluşturulması

Örnek bir karar probleminde m adet alternatif ve n adet kriterden oluşan bulanık karar matrisi aşağıda görüldüğü gibi oluşturulmaktadır. Matriste yer alan x_{ij} ifadesi, j kriterine göre i alternatifinin aldığı değeri göstermektedir.

$$D = \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_m \end{matrix} \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix}, i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$$

Adım 2: Bulanık verinin aralık veriye dönüştürülmesi

Bulanık karar matrisi oluşturulduktan sonra, üçgensel bulanık sayılar ile ifade edilen karar matrisi aralık veriye dönüştürülmektedir. Bulanık verinin aralık veriye dönüştürülmesi aşamasında α - kesim yaklaşımından faydalanılmaktadır. Bulanık bir verinin α - kesim kümesi üyelik derecesi α 'ya eşit veya α 'dan büyük olan elemanlarından oluşan bir küme olarak tanımlanmaktadır.

$$(x_{ij})_{\alpha} = \{x \in R \mid \mu_A(x) \geq \alpha\}$$

Bir değişkenin α - kesim kümesi aşağıda gösterildiği gibi aralık formunda da ifade edilebilir. $1-\alpha$ şeklinde ifade edilen farklı güven düzeylerinde, bulanık veri farklı α - kesim düzeylerinde aralık veriye dönüştürülebilir.

$$\left[(x_{ij})_{\alpha}^L, (x_{ij})_{\alpha}^U \right] = \left[\min \{x_{ij} \in R \mid \mu_{x_{ij}}(x_{ij}) \geq \alpha\}, \max \{x_{ij} \in R \mid \mu_{x_{ij}}(x_{ij}) \geq \alpha\} \right], (0 < \alpha \leq 1)$$

Adım 3: Normalize değerlerin hesaplanması

Normalize matris değerleri p_{ij}^l ve p_{ij}^u aşağıda görüldüğü gibi hesaplanmaktadır.

$$p_{ij}^L = \frac{x_{ij}^L}{\sum_{j=1}^m x_{ij}^U}, i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$$

$$p_{ij}^U = \frac{x_{ij}^U}{\sum_{j=1}^m x_{ij}^U}, i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$$

Adım 4: Kriterlerin aralık entropi alt ve üst sınırlarının hesaplanması

Bu adımda, aralık entropi değerlerinin alt sınırları (e_i^l) ve üst sınırları (e_i^u) hesaplanmaktadır. Burada $k = 1 / \ln m$ şeklinde hesaplanmaktadır. Ayrıca p_{ij}^l ve p_{ij}^u değerleri "0" değerini aldıklarında $p_{ij}^l \ln p_{ij}^l$ ve $p_{ij}^u \ln p_{ij}^u$ ifadeleri "0" değerini almaktadır.

$$e_i^L = \min \left\{ -k \sum_{i=1}^m p_{ij}^L \cdot \ln p_{ij}^L, k \sum_{j=1}^n p_{ij}^U \cdot \ln p_{ij}^U \right\} (j = 1, 2, \dots, n)$$

$$e_i^U = \max \left\{ -k \sum_{i=1}^m p_{ij}^L \cdot \ln p_{ij}^L, k \sum_{j=1}^n p_{ij}^U \cdot \ln p_{ij}^U \right\} (j=1,2,\dots,n)$$

Adım 5: Farklılaşma derecesinin alt ve üst sınırlarının hesaplanması

Farklılaşma aralık derecesinin alt ve üst sınırları aşağıda görülen denklem yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$d_i^L = 1 - e_i^u, \quad d_i^U = 1 - e_i^L, j=1,2,\dots,n$$

Adım 6: Aralık ağırlıkların alt ve üst sınırlarının hesaplanması

Son adımda, her bir kriter için aralık ağırlığı alt ve üst sınırları hesaplanmıştır. $[w_i^L, w_i^U]_\alpha$ aralığı i bulanık kriterinin ilgili α - kesimdeki Entropi ağırlığını ifade etmektedir.

$$w_i^L = \frac{d_i^L}{\sum_{j=1}^n d_j^L}, w_i^U = \frac{d_i^U}{\sum_{j=1}^n d_j^U},$$

$$\sum_{j=1}^n w_j = 1, (j=1,2,\dots,n)$$

2.9.3. Pisagor Bulanık Entropi (PBE) Yöntemi

PBK’de var olan belirsizliği ve bulanıklığı ölçebilmek adına PBE yöntemi ortaya atılmış ve çeşitli çalışmalar ile geliştirilmiştir (Xue vd., 2017; Wan vd., 2018; Yang ve Hussain, 2018; Rani vd., 2019a; Thao ve Smarandache, 2019; Xu vd., 2020).

PBE yöntemi, bulanık sayının benzerlik ve tereddüt kısmını kullanmaktadır. Benzerlik kısmı ve tereddüt kısmı, PBK’de bulanıklığı ve belirsizliği ifade etmektedir. Bu yöntem, karar probleminin içerdiği belirsizlik ve bulanıklık ortamında geçerli bilgi miktarını ölçme temeline dayanmaktadır. Literatürde önerilen çeşitli PBE yöntemleri aşağıda özetlenmiştir.

“X” evreninde “A” PBK tanımlanmaktadır. “E (A)” bir entropi olmak üzere (Peng vd., 2017);

$$E(A) = \frac{1}{|X|} \sum_{x \in X} \frac{\pi_A^2(x) + 1 - |\mu_A^2(x) - \nu_A^2(x)|}{\pi_A^2(x) + 1 + |\mu_A^2(x) - \nu_A^2(x)|}$$

$A: (\mu, \nu, \pi)$ bir Pisagor bulanık sayı olmak üzere, PBE aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır (Xue vd., 2017).

$$E(A) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 1 - (\mu_A^2(x_i) + \nu_A^2(x_i)) |\mu_A^2(x_i) - \nu_A^2(x_i)|$$

$X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ uzayında ‘‘P’’ PBK için farklı entropi yaklaşımları aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır (Yang ve Hussain, 2018).

$$e_{HC}^y(P) = \begin{cases} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y-1} \left[1 - \left((\mu_p^2(x_i))^y + (\nu_p^2(x_i))^y + (\pi_p^2(x_i))^y \right) \right], & y \neq 1 (y > 0) \\ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n - \left(\mu_p^2(x_i) \log \mu_p^2(x_i) + \nu_p^2(x_i) \log \nu_p^2(x_i) + \pi_p^2(x_i) \log \pi_p^2(x_i) \right), & y=1. \end{cases}$$

$$e_E(P) = 1 - \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\mu_p^2(x_i) - \nu_p^2(x_i))^2}$$

$$e_{\min/\max}(P) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{\min(\mu_p^2(x_i), \nu_p^2(x_i), \pi_p^2(x_i))}{\max(\mu_p^2(x_i), \nu_p^2(x_i), \pi_p^2(x_i))}$$

‘‘X’’ PBK’sında tanımlı $\tilde{A} = (\mu_a, \nu_a, \pi_a)$ bulanık sayısı için entropi değeri aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır (Wan vd., 2018).

$$E(A) = \sqrt{\frac{1 + \pi^2 - |\mu^2 - \nu^2|}{2}}$$

PBK’da entropi ağırlığının hesaplandığı bir diğer çalışmada, $x = (\mu_x, \nu_x, \pi_x)$ Pisagor bulanık sayısının entropi ağırlığı aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır (Thao ve Smarandache, 2019).

$$E_T(X) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left[1 - \left| \mu_x^2(x_i) - \frac{1}{3} \right| - \left| \nu_x^2(x_i) - \frac{1}{3} \right| \right], \quad i=1,2,\dots,n$$

Yukarıda temel adımları açıklanan PBE yaklaşımlarına ek olarak, Xu vd. (2020) yılında ele aldığı çalışmasında, daha önceki yaklaşımları eleştirmiş, bu yöntemlerin çeşitli entropi varsayımlarında başarısız olabileceğini ileri sürmüştür. Dolayısıyla hem güncel bir yöntem olması nedeniyle tez çalışmasına farklılık katması hem de daha önce bahsi geçen yöntemlere kıyasla daha

üstün yönlerinin olması PBE yaklaşımının çalışmada tercih edilme sebepleridir. İlgili çalışmada ortaya konan PBE yaklaşımının hesaplama algoritması aşağıda sunulmaktadır. $P = (\mu, v, \pi)$ bir PBK olmak üzere, entropi değeri ve göreceli ağırlık aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$E(P) = \frac{1}{n} = \sum_{i=1}^n \left[1 - \left(1 - \pi_p(x_i) \right) \left| \mu_p(x_i) - v_p(x_i) \right| \right], \quad i=1,2,3,\dots,n$$

$$w_j = \frac{1 - E_j}{n - \sum_{j=1}^n E_j}$$

2.10. Pisagor Bulanık ÇKKV Yöntemleri

Bu başlık altında, çalışmada kullanılan ÇKKV yöntemlerinin matematiksel adımları anlatılmıştır. Bu bağlamda, çalışmanın uygulama kısmında kullanılan PBK'da tanımlı TOPSIS, VIKOR ve MOORA yaklaşımlarının çözüm adımları sunulmaktadır.

2.10.1. Pisagor Bulanık TOPSIS (PBTOPSIS) Yöntemi

Adım 1: Pisagor bulanık karar matrisinin oluşturulması

ÇKKV problemleri tüm alternatiflerin kriterlere göre değerler aldığı bir karar matrisi yardımıyla ifade edilmektedir. Pisagor bulanık ortamda tanımlanmış bir ÇKKV probleminde m adet alternatif $A = \{x_1, x_2, \dots, x_m \mid m \geq 2\}$ ve n adet kriter $K = \{K_1, K_2, \dots, K_n \mid n \geq 2\}$ ele alınmaktadır. Burada, x_i elamanının K_j kriterine karşılık gelen performans değeri $C_j(x_i) = P(\mu_{ij}, v_{ij})$ şeklinde ifade edilmektedir. Tüm performans değerlerini içeren $R = (C_j(x_i))_{m \times n}$ matrisi Pisagor bulanık karar matrisi olarak ele alınmaktadır. Pisagor bulanık sayılar (PBS) ile ifade edilen ÇKKV probleminin temel gösterimi aşağıda sunulmaktadır.

$$R = (C_j(x_i))_{m \times n} = \begin{matrix} x_1 & \left[\begin{array}{cccc} P(\mu_{11}, v_{11}) & P(\mu_{12}, v_{12}) & \cdots & P(\mu_{1n}, v_{1n}) \\ P(\mu_{21}, v_{21}) & P(\mu_{22}, v_{22}) & \cdots & P(\mu_{2n}, v_{2n}) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ P(\mu_{m1}, v_{m1}) & P(\mu_{m2}, v_{m2}) & \cdots & P(\mu_{mn}, v_{mn}) \end{array} \right] \end{matrix}$$

Yukarıdaki karar matrisinde, x_i alternatifinin K_j kriterini karşılama derecesi μ_{ij} indisi ile, karşılayamama derecesi ise v_{ij} indisi ile simgelenmektedir. Pisagor bulanık sayılar, elemanlarının üye olma ve üye olmama durumlarına göre tanımlanmaktadır.

Adım 2: Pisagor bulanık ideal çözüm noktalarının belirlenmesi

PBTOPSIS yöntemi, ideal çözüm noktasını pozitif ideal çözüm noktasına en yakın ve negatif ideal çözüm noktasına en uzak mesafede olan alternatif olarak tanımlamaktadır. Bu yüzden yöntemin bu adımında, Pisagor bulanık pozitif ideal ve negatif ideal çözüm noktaları belirlenmektedir. İdeal noktalar, her matris elemanının skor fonksiyon değeri hesaplandıktan sonra ilgili değerler karşılaştırılarak bulunmaktadır. Pisagor bulanık pozitif ideal ve negatif ideal çözüm noktaları sunulan denklemler yardımıyla hesaplanmaktadır (Zhang ve Xu, 2014).

$$\begin{aligned} x^+ &= \{C_j, \max \langle s(C_j(x_i)) \rangle | j = 1, 2, \dots, n\} \\ &= \{\langle C_1, P(\mu_1^+, v_1^+) \rangle, \langle C_2, P(\mu_2^+, v_2^+) \rangle, \dots, \langle C_n, P(\mu_n^+, v_n^+) \rangle\} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} x^- &= \{C_j, \min \langle s(C_j(x_i)) \rangle | j = 1, 2, \dots, n\} \\ &= \{\langle C_1, P(\mu_1^-, v_1^-) \rangle, \langle C_2, P(\mu_2^-, v_2^-) \rangle, \dots, \langle C_n, P(\mu_n^-, v_n^-) \rangle\} \end{aligned}$$

Adım 3: Alternatiflerin Pisagor bulanık ideal noktalara olan uzaklıklarının hesaplanması

Bu adımda, her bir karar noktasının Pisagor bulanık pozitif ideal ve negatif ideal çözüm noktalarına olan uzaklıkları aşağıda sunulan denklemler aracılığıyla hesaplanmaktadır. Burada, $w_j = \{w_1, w_2, \dots, w_n\}$ olacak şekilde her bir kriterin göreceli ağırlığını göstermektedir.

$$\begin{aligned} D(x_i, x^+) &= \sum_{j=1}^n \omega_j d(C_j(x_i), C_j(x^+)) \\ &= \frac{1}{2} \sum_{j=1}^n \omega_j (|\mu_{ij}^2 - (\mu_j^+)^2| + |v_{ij}^2 - (v_j^+)^2| + |(\pi_{ij})^2 - (\pi_j^+)^2|), i = 1, 2, \dots, m \end{aligned}$$

Genellikle, ÇKKV problemlerinde en küçük $D(x_i, x^+)$ değeri, en iyi alternatifi göstermektedir. Buna karşın, Pisagor bulanık pozitif ideal noktaya en yakın olan alternatif, Pisagor bulanık negatif ideal noktaya en uzak mesafede olmayabilir. Dolayısıyla, her bir alternatifin negatif ideal noktaya olan uzaklığının da hesaplanması gerekmektedir. Genelde, $D(x_i, x^-)$ değeri büyük olan alternatif negatif ideal noktaya en uzak çözüm olacağından, en iyi alternatif olarak değerlendirilmektedir.

$$D(x_i, x^-) = \sum_{j=1}^n \omega_j d(C_j(x_i), C_j(x^-))$$

$$= \frac{1}{2} \sum_{j=1}^n \omega_j (|\mu_{ij}^2 - (\mu_j^-)^2| + |v_{ij}^2 - (v_j^-)^2| + |\pi_{ij}^2 - (\pi_j^-)^2|), i=1, 2, \dots, m$$

Adım 4: Alternatiflerin yakınlık katsayılarının hesaplanması

Klasik TOPSIS çözümünde, alternatiflerin pozitif ve negatif ideal noktalara göre yakınlık katsayıları aşağıda görüldüğü gibi hesaplanmaktadır.

$$RC(x_i) = \frac{D(x_i, x^-)}{D(x_i, x^+) + D(x_i, x^-)}$$

Yukarıda yer alan denklem yardımıyla hesaplanan $RC(x_i)$ değerleri sıralanarak ideal çözüm elde edilmektedir. Fakat bazı durumlarda, hesaplanan yakınlık katsayısı pozitif ideal noktaya en yakın ve negatif ideal noktaya en uzak olan uygun çözümü sunamamaktadır. Bu yüzden, görelî yakınlık hesaplaması için aşağıdaki denklem önerilmiştir (Hadi-Vencheh ve Mirjaberî, 2014).

$$\zeta(x_i) = \frac{D(x_i, x^-)}{D_{\max}(x_i, x^-)} - \frac{D(x_i, x^+)}{D_{\min}(x_i, x^+)}$$

Yukarıda sunulan denklem, düzeltilmiş yakınlık (Revised Closeness) katsayısı hesaplamasını göstermektedir. İlgili değerler büyükten küçüğe sıralanarak, en yüksek $\zeta(x_i)$ değerine sahip alternatif en iyi çözüm olarak belirlenmektedir.

2.10.2. Pisagor Bulanık VIKOR (PBVIKOR) Yöntemi

PBVIKOR yöntemi, m adet alternatif, n adet değerlendirme kriteri ve l adet karar vericinin bulunduğu bir ÇKKV problemini ele almaktadır. Her karar vericiye görelî önem düzeyini temsil eden bir ağırlık atanmaktadır. Bu varsayımlar altında PBVIKOR (PBVIKOR) yönteminin çözüm adımları aşağıda açıklanmaktadır (Rani vd., 2019a).

Adım 1: Pisagor bulanık karar matrisinin oluşturulması

İlk adımda, karar vericilerin değerlendirmeleri amacıyla karar matrisi elde edilmektedir. $\tilde{r}_{ij}^k = (\mu_{ij}^k, v_{ij}^k)$ ifadesi, bir karar vericinin j kriterine göre i alternatifine verdiği değeri göstermektedir.

Tüm karar vericilerin alternatifler için bütüncül değerlendirmelerini yansıtan karar matrisi Pisagor bulanık ağırlıklı ortalama çarpanı ile hesaplanmaktadır.

$$\begin{aligned}\tilde{r}_{ij} &= PFWA\left(\tilde{r}_{ij}^1, \tilde{r}_{ij}^2, \dots, \tilde{r}_{ij}^l\right) = \bigoplus_{k=1}^l \lambda_k \tilde{r}_{ij}^k, \\ &= \left(\sqrt{1 - \prod_{k=1}^l (1 - (\mu_{ij}^k)^2)^{w_k}}, \prod_{k=1}^l (v_{ij}^k)^{w_k} \right), i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n.\end{aligned}$$

Tüm $\tilde{r}_{ij} = [\mu_{ij}, v_{ij}]$ değerleri hesaplandıktan sonra Pisagor bulanık karar matrisi elde edilmektedir. Karar matrisinin satırlarında alternatifler, sütunlarında ise karar kriterleri yer almaktadır.

$$R = \begin{bmatrix} \tilde{r}_{11} & \tilde{r}_{12} & \cdots & \tilde{r}_{1n} \\ \tilde{r}_{21} & \tilde{r}_{22} & \cdots & \tilde{r}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{r}_{m1} & \tilde{r}_{m2} & \cdots & \tilde{r}_{mn} \end{bmatrix}, i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n$$

Adım 2: Pisagor bulanık pozitif ve negatif ideal çözüm noktalarının belirlenmesi

Bu adımda, Pisagor bulanık pozitif $p_j^* = (\mu_j^*, v_j^*)$ ve negatif $p_j^- = (\mu_j^-, v_j^-)$ ideal çözüm noktaları hesaplanmaktadır.

$$p_j^* = \begin{cases} \max_i \tilde{r}_{ij}, & \text{fayda kriteri} \\ \min_i \tilde{r}_{ij}, & \text{maliyet kriteri} \end{cases}, j=1, 2, \dots, n.$$

$$p_j^- = \begin{cases} \min_i \tilde{r}_{ij}, & \text{fayda kriteri} \\ \max_i \tilde{r}_{ij}, & \text{maliyet kriteri} \end{cases}, j=1, 2, \dots, n.$$

Adım 3: S ve R değerlerinin hesaplanması

S ve R değerleri geliştirilmiş Pisagor bulanık sıralı ağırlıklı standart uzaklık çarpanı ile hesaplanmaktadır. Farklı sıralı ağırlıklı ortalama hesaplamaları literatürde önerilmektedir (Xu, 2005). İlgili denklem yardımıyla S ve R değerleri aşağıda görüldüğü gibi hesaplanmaktadır.

$$S_i = GPFOWSD \left(\left\langle p_1^*, p_1^-, \tilde{r}_{i1} \right\rangle, \dots, \left\langle p_1^*, p_1^-, \tilde{r}_{in} \right\rangle \right)$$

$$= \left(\sum_{k=1}^n \omega_k \bar{d}_k^\lambda \right)^{1/\lambda}, i=1,2,\dots,m$$

$$R_i = \left(\max_k \left(\omega_k \bar{d}_k^\lambda \right) \right)^{1/\lambda}, i=1,2,\dots,m.$$

Adım 4: Alternatiflerin sıralanması

Her alternatifin Q değeri hesaplanarak, ilgili alternatifler küçükten büyüğe doğru sıralanmaktadır. En küçük Q değerine sahip alternatif uzlaşık çözüm için önerilmektedir. $S^* = \min S_i$, $S^- = \max S_i$, $R^* = \min R_i$ ve $R^- = \max R_i$ olmak üzere Q değerine ilişkin denklem aşağıda gösterilmektedir. Son adımda S, R ve Q değerleri kullanılarak uzlaşık çözüm araştırılmaktadır. Bunun için önceki bölümde açıklanan koşullar PBVIKOR çözümü için de aranmaktadır (Wang vd., 2006).

$$Q_i = v \frac{(S_i - S^*)}{(S^- - S^*)} + (1-v) \frac{(R_i - R^*)}{(R^- - R^*)}, i=1,2,\dots,m.$$

2.10.3. Pisagor Bulanık MOORA (PBMOORA) Yöntemi

Adım 1: Pisagor bulanık karar matrisinin oluşturulması

PBMOORA yöntemi, m adet alternatif, n adet kriter ve k adet karar verici barındıran bir ÇKKV problemi şeklinde tanımlanabilir. İlk adımda, her karar vericinin sahip olduğu öncelik Pisagor sayılar kümesinde tanımlanmaktadır. $KV_k = \{\mu_k, \nu_k, \pi_k\}$ karar vericileri değerlendirmek için kullanılan bir Pisagor bulanık sayı olsun. Bu durumda karar verici ağırlıkları, bulanık ağırlıklı ortalama formülü yardımıyla aşağıda gibi hesaplanmaktadır (Domínguez vd., 2018).

$$\varepsilon_k = \frac{\left(\mu_k + \pi_k \left(\mu_k / (\mu_k + \nu_k) \right) \right)}{\sum_{k=1}^l \left(\mu_k + \pi_k \left(\mu_k / (\mu_k + \nu_k) \right) \right)}, \sum_{k=1}^l \varepsilon_k = 1.$$

Ardından, $\omega_j^{(k)} = \{\mu_j^{(k)}, \nu_j^{(k)}\}$ ifadesi k_1 kriterine karar vericinin verdiği ağırlık iken, kriter ağırlıkları IPFWA çarpanı ile aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır.

$$\begin{aligned}
\omega_j &= PFWA(\omega_j^{(1)}, \omega_j^{(2)}, \dots, \omega_j^{(k)}, \dots, \omega_j^{(l)}) \\
&= \lambda_1 \omega_j^{(1)} \oplus \lambda_2 \omega_j^{(2)} \oplus \dots \oplus \lambda_k \omega_j^{(k)} \oplus \dots \oplus \lambda_l \omega_j^{(l)} \\
&= P \left[\sum_{j=1}^n \lambda_j \mu_j, \sum_{j=1}^n \lambda_j v_j \right], \omega_j = \{ \mu_j, v_j \} = \{ \omega_1, \omega_2, \dots, \omega_j, \dots, \omega_m \}
\end{aligned}$$

Her karar vericinin yargısını içeren ortalama kriter ağırlıkları hesaplandıktan sonra, $R^{(k)} = (x_{ij}^{(k)})_{n \times m}$ şeklinde ifade edilen bütünleştirilmiş Pisagor bulanık karar matrisi oluşturulmaktadır.

$$\begin{aligned}
x_{kl} &= PFWA(x_{kl}^{(1)}, x_{kl}^{(2)}, \dots, x_{kl}^{(l)}, \dots, x_{kl}^{(z)}) \\
&= \omega_1 x_{kl}^{(1)} \oplus \omega_2 x_{kl}^{(2)} \oplus \dots \oplus \omega_l x_{kl}^{(l)} \oplus \dots \oplus \omega_z x_{kl}^{(z)} \\
&= \left[\sum_{k=1}^l \left((\omega \cdot \mu_{kl}^{(z)}), (\omega \cdot v_{kl}^{(z)}) \right) \right]
\end{aligned}$$

Kriterlerin değerleri bütüncül bir formda oluşturulduktan sonra karar matrisi elemanları $x_{ij} = \{ \mu_{A_k(X_l)}, v_{A_k(X_l)}, \pi_{A_k(X_l)} \}, k=1, 2, \dots, m; l=1, 2, \dots, n$ olacak şekilde ifade edilmektedir. Bu şekilde i alternatifinin j kriterine göre değerini gösteren Pisagor bulanık sayılar ile ifade edilen Pisagor bulanık karar matrisi aşağıda görüldüğü gibi oluşturulmaktadır.

$$PBKM = \begin{pmatrix} x_{11} & \dots & x_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & \dots & x_{mn} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \left[\mu_{A_1(X_1)}, v_{A_1(X_1)}, \pi_{A_1(X_1)} \right] & \dots & \left[\mu_{A_1(X_n)}, v_{A_1(X_n)}, \pi_{A_1(X_n)} \right] \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \left[\mu_{A_m(X_1)}, v_{A_m(X_1)}, \pi_{A_m(X_1)} \right] & \dots & \left[\mu_{A_m(X_n)}, v_{A_m(X_n)}, \pi_{A_m(X_n)} \right] \end{pmatrix}$$

Adım 2: Ağırlık Pisagor bulanık karar matrisinin elde edilmesi

Bu adımda, bulanık matriste yer alan kriter değerleri ağırlık çarpanı kullanılarak ağırlıklı forma dönüştürülmektedir. ω_j vektörü ile çarpım denklemi sonucu oluşan ağırlıklı Pisagor bulanık karar matrisi aşağıda görülmektedir.

$$APBKM = R' = R \cdot \omega = \left\{ \langle x, \mu_{A_i}(x) \cdot \mu_{\omega}(x), v_{A_i}(x) + v_{\omega}(x) - v_{A_i}(x) \cdot v_{\omega}(x) \rangle \mid x \in X \right\}$$

$$R' = \begin{pmatrix} \left[\mu_{A'_1(X_1)}, v_{A'_1(X_1)}, \pi_{A'_1(X_1)} \right] & \dots & \left[\mu_{A'_1(X_n)}, v_{A'_1(X_n)}, \pi_{A'_1(X_n)} \right] \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \left[\mu_{A'_m(X_1)}, v_{A'_m(X_1)}, \pi_{A'_m(X_1)} \right] & \dots & \left[\mu_{A'_m(X_n)}, v_{A'_m(X_n)}, \pi_{A'_m(X_n)} \right] \end{pmatrix}$$

Adım 3: Fayda ve maliyet yönlü kriter değerlerinin hesaplanması

Fayda yönlü kriterlerin toplamını ifade eden BNx_i değeri aşağıda sunulduğu gibi hesaplanmaktadır.

$$BNx_i = \sum_{i=1}^g \left(\mu_{A'_i(X_i)}, v_{A'_i(X_i)}, \pi_{A'_i(X_i)} \right)$$

Maliyet yönlü kriterlerin toplamını ifade eden Cx_j değeri, aşağıdaki denklem yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$Cx_j = \sum_{j=g+1}^m \left(\mu_{A'_i(X_j)}, v_{A'_i(X_j)}, \pi_{A'_i(X_j)} \right)$$

Adım 4: Değerlerin durulaştırılması

Bu adımda bir önceki adımda hesaplanan BNx_i ve Cx_j değerleri duru hale getirilerek sadeleştirilmiştir. Bunun için, Pisagor bulanık sayılarda tanımlı skor fonksiyon değerleri kullanılmaktadır. Hesaplama kullanılan denklemler aşağıda görülmektedir.

$$Nx_i = \left(\mu_{\alpha_{x_i}} \right)^2 - \left(v_{\alpha_{x_i}} \right)^2 \quad Nx_j = \left(\mu_{\alpha_{x_j}} \right)^2 - \left(v_{\alpha_{x_j}} \right)^2$$

Adım 5: Alternatiflerin Sıralanması

PBMOORA yönteminin son adımında, fayda yönlü kriterlerden maliyet yönlü kriterler çıkartılarak genel bir performans sıralaması elde edilmektedir. Dolayısıyla, en yüksek performans skoruna sahip alternatif en uygun çözüm olmaktadır.

$$Ny_i = Nx_i - Nx_j$$

2.11. Literatür Araştırması

Bu başlık altında, çalışmanın uygulama kısmında ele alınan yöntemlerin kullanıldığı başlıca çalışmalara yer verilmiştir. Uygulama kısmında ele alınan PBK'lerde tanımlı entropi, TOPSIS, VIKOR ve MOORA yöntemlerinin kullanıldığı yerli ve yabancı çalışmalar özetlenerek aktarılmıştır.

2.11.1. PBE Yönteminin Kullanıldığı Çalışmalar

Peng vd. (2017), çalışmalarında PBK'lerde uzaklık, benzerlik ve entropi ölçütlerini araştırmışlardır. Çalışmanın temel amacı, bilgi ölçümlerine ilişkin sistematik bir dönüşüm önerisi yapmaktır. Bilgi ölçümlerinin etkinliğini ve pratikliğini göstermek için bunu örüntü tanıma ve kümeleme analizine uygulamışlardır.

Xu vd. (2017), çalışmasında demiryolu projesi yatırımı problemini aralık değerli PBE ve LINMAP yöntemleri ile çözmüştür. Önerilen yöntemler ile maksimum tutarlılık sağlanırken, bilgi miktarının etkin bir şekilde ölçülebileceğini iddia etmişlerdir. Önerilen modelin uygulanabilir ve etkili olduğunu kanıtlamak için var olan yöntemler ile karşılaştırmalı analiz gerçekleştirilmiştir.

Yang ve Hussain (2018) çalışmasında, PBK'lerde Entropi hesaplaması için olasılıklı ve olasılık dışı tipte hesaplamalar önermiştir. Aksiyomatik tanımlar içeren olasılık temelli Entropi sunulmuştur. Çalışma genelinde farklı entropi yaklaşımları ele alınıp, bu yaklaşımlar hali hazırda var olan entropi yaklaşımları ile kıyaslanmıştır. Uygulama kısmında "Çin- Pakistan Ekonomik Koridoru" projeleri sıralanmıştır.

Thao ve Smarandache (2019) çalışmasında, önceki çalışmalara göre daha basit, istatistiksel geçerliğe sahip ve daha güçlü bulanık özellikler yansıtan yeni bir entropi hesaplaması önermiştir. Çalışmanın uygulama kısmında bir üniversitenin öğretim yönetim sistemi satın alma problemi Pisagor bulanık COPRAS yöntemi ile çözülmüştür.

Rani vd. (2019a) çalışmalarında, Hindistan'da yenilenebilir enerji teknolojilerini PBK'lerde incelemişlerdir. Ortaya konan farklılaşma ve entropi hesaplamaları kullanarak PBVIKOR yardımıyla enerji teknolojilerini sıralamışlardır.

Xu vd. (2020) çalışmasında, PBK'lerde yeni bir Entropi yaklaşımı hesaplaması ortaya atmışlardır. Araştırmacılar literatürde hali hazırda var olan entropi yaklaşımlarının bazı durumlarda kabul edilebilir performans aksiyomunu sağlayamadığını ileri sürmüştür. Bu bakımdan ilgili çalışma, önceki yaklaşımlara göre daha üstün konumdadır. Uygulama kısmında teknoloji işletmesi seçimi ve hastane seçim problemi gibi örnekler ile ortaya konan yaklaşımın üstün olduğu vurgulanmıştır.

Gandotra vd. (2021) çalışmalarında, PBK'ye ilişkin yeni bir entropi yaklaşımı ortaya atmışlardır. Önerilen entropi yaklaşımının karmaşık karar problemlerinde esnek ve pratik bir araç olduğu ifade edilmiştir. Örnek bir firma seçim probleminde farklı entropi yaklaşımları ile karşılaştırma yapılmış, önerilen yaklaşımın üstün olduğu vurgulanmıştır.

2.11.2. PBTOPSIS Yönteminin Kullanıldığı Çalışmalar

Zhang ve Xu (2014), çalışmalarında PBK'lerde yeni aritmetik işlemler tanımlamışlardır. Çalışmanın uygulama aşamasında, daha önce sezgisel bulanık kümelerde ele alınan havayollarında hizmet kalitesi ölçüm problemi, PBK'lerde çözülmüştür.

Zeng vd. (2016), PBK'lerde yeni uzaklık ölçümleri önermiştir. Hizmet kalitesi ölçmek amacıyla oluşturulan karar problemi PBTOPSIS yöntemi ile ele alınmıştır. Çalışma sonucunda, önerilen yaklaşımın karar verici ve kriter bilgisini güçlü derecede yansıtması sebebiyle esnek bir model olduğu öne sürülmüştür.

Öz vd. (2018) çalışmalarında, doğalgaz boru hattı projelerinde ortaya çıkabilecek olası riskleri ölçmüşlerdir. Olası riskler PBTOPSIS yöntemi ile derecelendirilmiş, duyarlılık analizi ile yöntem sonuçlarının geçerli ve güvenilir olduğu vurgulanmıştır.

Bakioğlu ve Atahan (2021), çalışmalarında yakın geleceğin teknolojisi kabul edilen sürücüsüz araçlarda risk değerlendirmesi yapmışlardır. Çalışmada PBK'lerde tanımlı AHP, TOPSIS ve VIKOR yöntemleri kullanılmıştır. Çalışma sonucunda önerilen bütünleşik modelin gerçekçi sonuçlar ürettiği ve karar verme problemlerindeki belirsizliği ifade etme gücü ortaya konmuştur.

Literatürde PBTOPSIS yönteminin kullanıldığı çeşitli çalışmalar aşağıdaki Tablo 5'te sunulmaktadır. Çalışmaların uygulama alanları, araştırma konuları ve kullandıkları yöntemler detaylı bir şekilde incelenmiştir.

Tablo 5: Yöntemin Kullanıldığı Çalışmalar

Yazarlar	Yöntem	Konu/Amaç/Odak	Uygulama Alanı
Zhang ve Xu (2014)	PBTOPSIS	Genişletilmiş TOPSIS yönteminin önerilmesi, skor fonksiyonuna dayalı karşılaştırma	Havayollarında hizmet kalitesinin değerlendirilmesi
Zeng vd. (2016)	PBTOPSIS	Birleştirme işlemleri ve farklı uzaklık hesaplamaları ile hibrit TOPSIS yöntemi önerisi	Havayollarında hizmet kalitesinin değerlendirilmesi
Garg (2017)	Aralık değerli PBTOPSIS	Aralık değerli PBK'lere ilişkin geliştirilmiş skor fonksiyonu önerisi	Yatırımcı için en uygun pazarın seçimi
Ak ve Gül (2018)	Aralık değerli PBAHP ve PBTOPSIS	Bilgi güvenliğinde risk analizinin kapsayıcı, etkin ve etkili ölçümünün bulanık mantıkla ele alınması	Mukavva sektöründeki firmada bilgi güvenliği analizi

Tablo 5: (devamı)

Yazarlar	Yöntem	Konu/Amaç/Odak	Uygulama Alanı
Öz vd. (2018)	Risk Matris yöntemi ve PBTOPSIS	İş sağlığı ve güvenliği amacıyla risk değerlendirmesi	Doğalgaz boru hattı projesi
Akram vd. (2019)	PBTOPSIS	PBK'lerde TOPSIS yönteminin ele alınması	Sağlık teknolojisinde uygun yer seçimi
Biswas ve Sarkar (2019)	PBTOPSIS ve PB-Entropi	Çoklu grup kararı vermede bulanık kümelerin önerilmesi	En iyi fotovoltaik panelin seçimi
Coşkun vd. (2019)	Aralık değerli PBAHP ve PBTOPSIS	Pazarlama performansı değerlendirmesinde PBK'lerin önerilmesi	Giyim sektörü
Li vd. (2019)	PBTOPSIS	PBTOPSIS için yeni bir benzerlik ölçüleri önerisi	Altyapı sektöründe proje teslim sistemi seçimi
Lin vd. (2019)	PBTOPSIS	Korelasyon tabanlı yeni uzaklık ölçümü önerisi	Sağlık sektöründe rehabilitasyon kararı
Rani vd. (2019b)	PBTOPSIS	Trigonometrik fonksiyon temelli yeni bir uzaklık ölçüm önerisi	Sürdürülebilir geri dönüşümde paydaş seçimi
Gedikli vd. (2020)	PBTOPSIS	En uygun bakım stratejisi seçimi	Yemek üretim tesisi
Yıldız vd. (2020)	Delphi yöntemi, PBAHP ve PBTOPSIS	ATM için en uygun yer seçimi	Bankacılık sektörü
Bakioğlu ve Atahan (2021)	Pisagor Bulanık AHP, TOPSIS ve VIKOR	Sürücüsüz araçlarda risk değerlendirmesi	Otomotiv sektörü
Sarkar ve Biswas (2021b)	Pisagor Bulanık AHP, TOPSIS	Çapraz değerlendirmeye dayalı yeni uzaklık ölçütü önerisi, Pisagor Bulanık ortamda AHP ve entropi kullanımı	Nakliye şirketi seçim problemi

2.11.3. PBVIKOR Yönteminin Kullanıldığı Çalışmalar

Chen (2017) çalışmasında, uzaklık indeksi tabanlı VIKOR yaklaşımını ortaya atmıştır. Grup kararı, kabul edilebilir avantaj ve pişmanlık ölçütlerine yeniden tanımlama getirmiştir. Uygulama kısmında hizmet kalitesi ölçümü ve ARGE yatırım kararları gibi problemleri ele almıştır.

Cui vd. (2018) çalışmalarında, elektrikli araç şarj istasyonları için en uygun yeri PBVIKOR yöntemi ile saptamaya çalışmışlardır. Çalışma sonucunda önerilen yöntem diğer bulanık yöntemler

ile kıyaslanmıştır. Liang vd. (2019) çalışmada, yeni bir PBE hesaplaması ortaya atmıştır. Ardından, VIKOR yöntemi kullanarak internet bankacılığı kalitesini ölçmeyi hedeflemişlerdir.

Mete vd. (2019b) eserinde, doğalgaz boru hattı inşaatlarında meydana gelebilecek olası mesleki riskleri PBK yardımıyla ele almış, olası riskleri VIKOR yöntemi ile derecelendirmiştir. Otay ve Yıldız (2021) çalışmasında, Pisagor bulanık AHP ve VIKOR yöntemlerini kullanarak bilişim sektöründe servis sağlayıcısı seçim problemini ele almıştır. Literatür araştırması sonucunda tespit edilen, PBVIKOR yöntemini kullanan başlıca çalışmalar aşağıdaki Tablo 6’da özet halinde sunulmuştur.

Tablo 6: Yöntemin Kullanıldığı Çalışmalar

Yazarlar	Yöntem	Uygulama Alanı
Chen (2017)	PBVIKOR	Hizmet kalitesi ve hisse senedi performansı, ARGE yatırım kararı
Chen (2018)	Aralık değerli PBVIKOR	Akut sonrası rehabilitasyon hizmetleri için pilot hastane seçimi
Cui vd. (2018)	PBVIKOR	Elektrikli araç şarj istasyonları için en uygun yer seçimi
Gül vd. (2019)	PBVIKOR	Madencilik endüstrisinde güvenlik riski değerlendirme
Liang vd. (2019)	TODIM, PBE ve VIKOR	İnternet bankacılığı web sitelerinin kalite değerlendirme
Mete vd. (2019b)	PBVIKOR	Doğalgaz boru hattı projesinde risk değerlendirme
Rani vd. (2019a)	PBE ve VIKOR	Yenilenebilir enerji teknolojilerinin seçim problemi
Guleria ve Bajaj (2020)	PBVIKOR ve PBTOPSIS	Hidrojen santrali için kuruluş yeri seçimi
Bakioğlu ve Atahan (2021)	PBK’lerde AHP, TOPSIS ve VIKOR	Otonom araçlarda kullanım risklerinin değerlendirilmesi
Otay ve Yıldız (2021)	Pisagor Bulanık AHP ve VIKOR	Bulut bilişim hizmeti için servis sağlayıcısı seçimi

2.11.4. PBMOORA Yönteminin Kullanıldığı Çalışmalar

Dominguez vd. (2018) çalışmasında, ÇKKV problemlerinde karar vermeye yönelik PBK ile MOORA yöntemini birleştirerek bulanık bir ÇKKV yöntemi önermişlerdir. Önerilen PBMOORA

yönteminin matematiksel adımları ifade edildikten sonra, paketleme tedarikçisi ve makine teçhizat seçim problemleri ile yöntemin üstün yönleri ortaya konulmuştur.

Mete (2019a) çalışmasında, PBK'lerde tanımlı AHP ve MOORA yöntemleri kullanarak doğalgaz boru hattı inşaatlarında olası mesleki riskleri değerlendirmeyi amaçlamıştır. Karşılaştırmalı analizin yanında duyarlılık ve korelasyon analizleri ile önerilen yaklaşımın geçerliği ileri sürülmüştür.

Li vd. (2020) çalışmasında, PBK'lerde MULTIMOORA yöntemi kullanarak toplu taşımada yolcu memnuniyet değerlendirmesi yapmışlardır. Çalışma sonucunda, önerilen bütünleşik modelin belirsizlik içeren bu tür problemlerde makul ve güvenilir memnuniyet seviyeleri ortaya koyduğunu ifade etmişlerdir.

Sarkar ve Biswas (2021a) çalışmalarında, PBMOORA ve MULTIMOORA yöntemlerini kullanmışlardır. Yöntemlerin ihtiyaç duyduğu uzaklık hesaplamalarında Hamming uzaklığını ve Hausdorff metriğini bütünleşik olarak kullanırken, ağırlık belirleme adımında Entropi yöntemini önermişlerdir. Uygulama kısmında, bir üretim firmasında strateji seçim problemini ele almışlardır. Literatürde bu yöntemi kullanan diğer çalışmalar Tablo 7 aracılığıyla izlenebilmektedir.

Tablo 7: Yöntemin Kullanıldığı Çalışmalar

Yazarlar	Yöntem	Uygulama Alanı
Dominguez vd. (2018)	PBMOORA	Elektronik bileşenler için paketleme tedarikçisi ve üretim tesisinde makine- teçhizat seçimi
Mete (2019a)	PBK'lerde AHP ve MOORA	Doğalgaz boru hattı yapım projelerinde mesleki risklerin değerlendirilmesi
Silva vd. (2019)	PBK'lerde Boyut analizi, MOORA ve TOPSIS	Tedarikçi seçim problemi
Li vd. (2020)	Pisagor Bulanık MULTIMOORA	Toplu taşımada yolcu memnuniyet değerlendirmesi
Liang vd. (2020)	Aralık değerli Pisagor Bulanık MULTIMOORA	Hastanelerde açık kaynak kayıt sistemi seçim problemi
Mohagheghi vd. (2020)	PBMOORA	Büyük ölçekli yapı projesi seçim problemi
Sarkar & Biswas (2021a)	PBK'lerde MOORA ve MULTIMOORA	Çini üretim firmasında en uygun stratejinin seçimi

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

3. UYGULAMA: PİSAGOR BULANIK ÇKKV YÖNTEMLERİ İLE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK DEĞERLENDİRMESİ

3.1. Araştırmanın Amacı

Değişik kesimler tarafından ilgiyle karşılanan ve oldukça geniş kabul gören sürdürülebilirlik kavramının belli sınırlamalarının olduğu gerçektir. Örneğin, temel gereksinmelerini karşılamak amacıyla çevreyi pek dikkate almayan kısa dönemli hızlı gelişme modelleri izleyen ülkeler açısından sürdürülebilirlik yeterince kabul görmeyebilir. Bu ve benzeri sınırlamalar, ülkelerin ekonomik, çevresel ve sosyal sürdürülebilirlik anlayışlarında farklılıklar yaratmasını olası kılacaktır. Bu yüzden OECD örgütüne üye ülkeler arasında sürdürülebilirlik anlayışında farklılıklar olup olmayacağı, inceleme konusu yapılmıştır. Bu bağlamda çalışmanın temel amacı, Türkiye'nin de aralarında bulunduğu 35 güçlü ekonomiyi birleştiren OECD örgütüne üye ülkelerin ekonomik, çevresel ve sosyal sürdürülebilirlik boyutlarında değerlendirilmesi ve derecelendirilmesidir. Çalışmada ulaşılmaya hedeflenen diğer bir amaç ise, bulanık veriler ile yapılacak performans ölçümlerinin, sabit ve kesin verilerle yapılan ölçümlere kıyasla daha gerçekçi ve güvenilir sonuçlar ürettiğini ortaya koymaktır. Çalışmada öne çıkan temel hipotez, analize konu ülkelerin sıralamaları arasında anlamlı farklar olup olmadığı temelinde oluşturulmuştur. Çalışmanın en temel farklılığı, yapılacak ölçümün Pisagor bulanık sayılar kümesinde ele alınması ve ülkelerin sürdürülebilirlik performanslarının kıyaslanmasında birçok yöntemi bir arada kullanan hibrit bir model önerisi sunmasıdır. Bu çerçevede, bu çalışmanın cevaplarını aradığı başlıca araştırma soruları şöyle sıralanabilir. Ükelere ilişkin yapılacak sürdürülebilirlik ölçümleri, PBK'lar kullanılarak nesnel olarak nasıl etkin hale gelebilir/geliştirilebilir? Elde edilen sonuçlarla politika yapıcılara hangi yollar sunulabilir? Eşit ağırlıklar yerine objektif/dinamik ağırlıkların kullanılması indeks sıralama sonuçlarını nasıl etkiler? Ne derece değiştirir?

Sürdürülebilirlik boyutlarına baktığımızda ekonomik, çevresel ve sosyal olmak üzere üçlü yapı taşı (triple bottom line) karşımıza çıkmaktadır (Pisani, 2006). Sosyal sürdürülebilirlik, bir çevrede gelişmiş yaşam koşullarını ve hane halklarının refahını temsil ederken, çevresel sürdürülebilirlik ülkelerin gelecek nesiller için ortaya koyduğu çevre politikaları şeklinde algılanabilir. Bu yönüyle çalışmada, ulaşılmaya istenen temel hedefler şu şekilde sıralanabilir:

- 35 OECD ülkesinin, genel sürdürülebilirlik performanslarının elde edilmesi ve PBK'lerde tanımlı entropi tekniği ile tarafsız ve gerçeğe uygun sonuçlar elde edilebilmesi,
- Objektif yöntemler ve sıralama yöntemleri yardımıyla tarafsız bir şekilde elde edilen analiz sonuçları dâhilinde, sıralamaların güncel indeksler ile ne derece uyduğu tespit edilmesi, varsa olası benzerlik ve farklılıkların ortaya konulması,
- Küresel düzeyde açıklanan raporların birçoğunda, değişkenlere farklı ağırlıkların atanabilmesi için bilimsel bir temelin bulunmaması (Kerk ve Manuel, 2008), basit oranlama yöntemlerinin kullanılması gibi nedenlerden dolayı, karar vericilerin subjektif yargılarından uzak matematiksel bütüncül bir indeks modeli geliştirilmesi hedeflenmiştir.

3.2. Araştırmanın Metodolojisi

Bu çalışmada, PBE ve Pisagor bulanık ÇKKV yöntemlerinin birlikte kullanımı ile OECD ülkelerinin sürdürülebilirlik performansları değerlendirilmiştir. Bu amaçla, OECD ülkelerinin 2015-2019 dönemine ait beş yıllık sayısal istatistik verileri kullanılarak tek bir performans sıralama sonucu elde edilmeye çalışılmıştır. ÇKKV yöntemlerinin ihtiyaç duyduğu karar değişkenlerine ait ağırlık bilgisi objektif bir yöntem olan PBE tekniği ile elde edilmiştir. Ülkelerin sıralanması aşamasında, Pisagor bulanık sayılar kümesinde tanımlı TOPSIS, VIKOR ve MOORA yöntemleri kullanılmıştır. Birden fazla yöntem kullanılan modelde, her bir yöntemin üstün yönlerinden avantaj sağlanması ve mevcut verinin farklı yaklaşımlara da uygulanabileceğinin ispatlanması amaçlanmıştır.

Bu çalışmanın uygulama kısmı beş temel aşamadan oluşmaktadır. Uygulamanın ilk aşamasında, analizde kullanılacak karar değişkenleri ilgili literatür yardımıyla belirlenerek, sıklıkla kullanılan temel değişkenler tespit edilmiştir. Uygulamanın ikinci aşamasında, literatürden elde edilen değişkenlerin PBE tekniği kullanılarak objektif bir şekilde ağırlıkları elde edilmiştir. Dolayısıyla çalışmada, sürdürülebilir kalkınmanın üç temel boyutu olan ekonomik boyut, çevresel boyut ve sosyal boyutta toplam yirmi dört adet değişken analize dâhil edilmiştir. Üçüncü aşamada, hiyerarşik karar problemi PBTOPSIS, PBVIKOR ve PBMOORA yöntemleri ile her boyut için ayrı ayrı çözümlenmiştir. Oluşan sıralamalar yöntemlerin daha önceki versiyonları ile kıyaslanarak sunulan modelin üstünlüğü karşılaştırmalı bir analiz yardımıyla ortaya konulmuştur. Uygulamanın dördüncü aşamasında, Pisagor bulanık yöntemlerin ortaya koyduğu farklı sıralama sonuçları Borda sayım tekniği ile birleştirilerek rasyonel tek bir sürdürülebilirlik sıralama sonucu elde edilmiştir. Son aşamada ise, uygulama sonuçlarının tutarlılığı ve sağlamlığı yapılan duyarlılık analizi ve Monte Carlo simülasyonu ile araştırılmış, sonrasında elde edilen bulgular yorumlanmıştır. Spearman sıra korelasyon analizi yardımıyla yöntemlerin sunduğu farklı sıralamalar arasındaki ilişkiler tespit

edilmiştir. Özetle araştırmanın temel uygulama aşamalarını gösteren araştırma çerçevesi aşağıda Şekil 16’da gösterilmektedir.

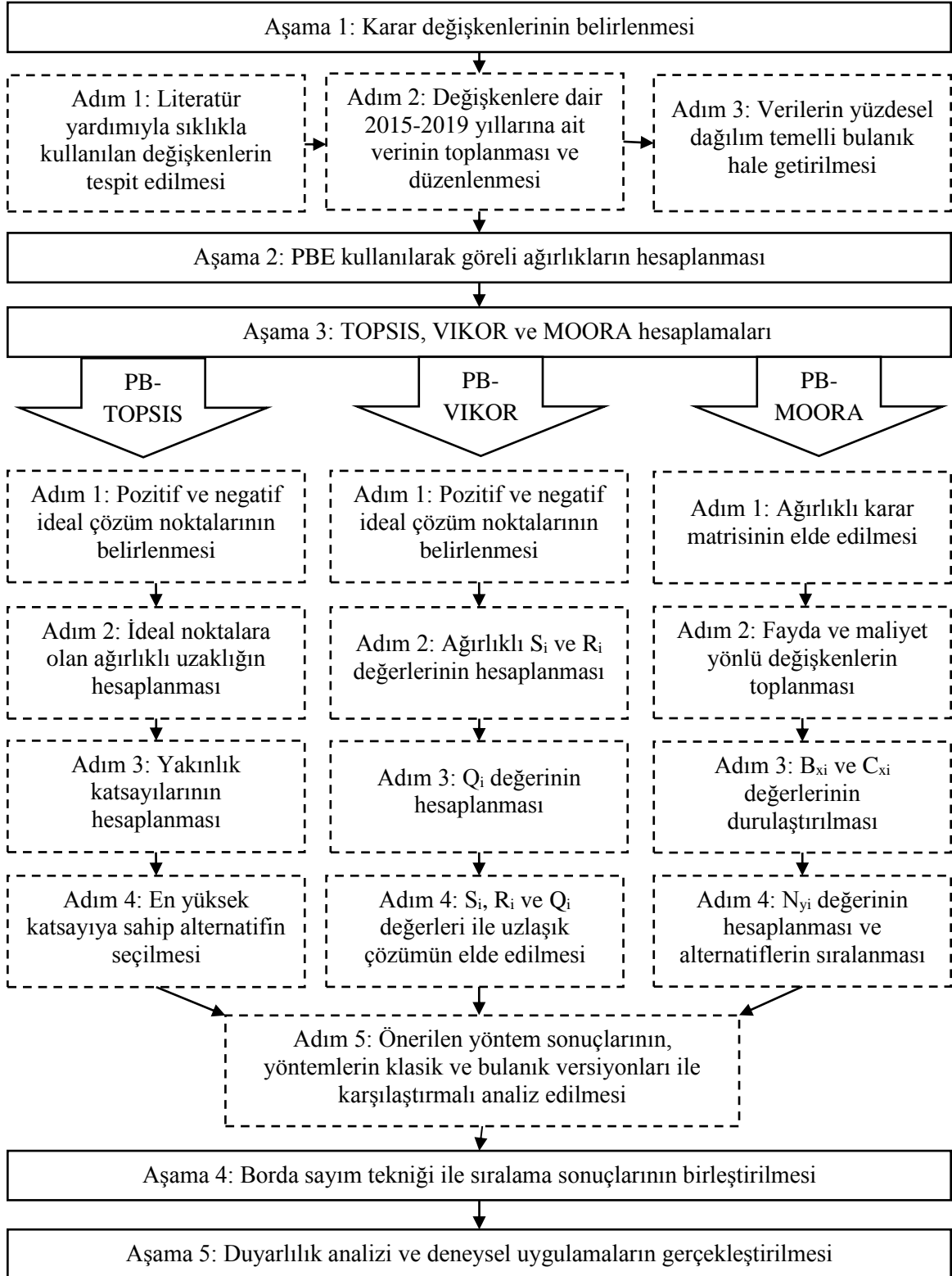
3.3. Araştırmanın Gerekçesi ve Özgün Değeri

Sürdürülebilirlik ve ÇKKV literatüründe entropi temelli Pisagor bulanık TOPSIS, VIKOR ve MOORA yöntemlerini bütünleşik olarak ele alan herhangi bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Sürdürülebilirlik alanında ortaya konan makro indekslerde dahil olmak üzere bu tür bütünleşik ve hibrit bir metodolojik yaklaşım herhangi bir çalışmada tespit edilememiştir. Bu durum, ortaya konan bu çalışmanın önemli bir araştırma boşluğunu doldurma motivasyonunu teyit eder niteliktedir. Ülkesel bazda sürdürülebilirlik indeksi oluşturmayı hedefleyen bu çalışmada, ele alınan 24 adet karar değişkeni ve 35 OECD ülkesi için oluşturulan ÇKKV problemi Pisagor bulanık yöntemler ile çözülmüştür.

Yerli ve yabancı literatür incelendiğinde, sürdürülebilirlik ölçümünde çalışmada kullanılan bütünleşik yöntemleri bir arada kullanan bir çalışma tespit edilememiştir. Dolayısıyla, daha etkin bir ölçme metodu sunarak üç farklı yöntemin bütünleşik kullanımı yoluyla ele alınan bu çalışmanın, sürdürülebilirlik indeksi oluşturma girişimleri ve ÇKKV literatüründeki araştırma boşluğunu dolduracağı ve yeni bir metodolojik yaklaşım alternatifi yaratacağı düşünülmektedir. Ayrıca, ülkelerin beş yıllık verisinin kullanılması ve farklı yöntemler ile sürdürülebilirlik performans sıralamalarının oluşturulması bu çalışmayı değerli kılan yönlerdir. Ek olarak, değişken ağırlıklarının elde edilmesi için önerilen PBE tekniği de ÇKKV literatüründe güncel ağırlık belirleme yöntemlerindedir.

Ağırlıkların elde edilmesinde uzman grup, anket veya karar vericilere başvurulmamıştır. Bu durumun başlıca sebebi, küresel ölçekte ele alınan bu tür karar problemlerinin yine küresel bir anlaşma veya ortak fikir gerektirmesidir (Phillis vd., 2011). Bu sebeple, karar probleminde bulunan değişkenlerin ağırlıkları küresel düzeyde bir konsensüs mümkün olmadığından dolayı, modele karar vericiler dahil edilmeden objektif yaklaşımlar ile ele alınmalıdır (Sachs vd., 2020). Bu bakımdan, karar değişkenlerinin objektif bir yöntem olan PBE tekniği ile ağırlıklandırılmış olması da önerilen bu çalışmanın bir başka değeridir. Bunun yanında, küresel raporların çoğunda, temel hedefler altında gösterge setleri oluşturulmaktadır. Bu durum daha fazla gösterge içeren hedef için daha fazla etkili olma sonucunu doğuracağından bir dezavantaj yaratabilmektedir (Parris ve Kates, 2003). Ek olarak, değişkenler arasında var olan yüksek korelasyon, eşit ağırlıklar kullanıldığında sonuçları çok boyutlu hale getirmekte ve belli bir boyuta doğru kaymasına neden olmaktadır (Lamichhane vd., 2021). Bu nedenle, karar değişkenlerine atanacak göreceli ağırlıkların objektif ve yansız bir şekilde belirlenmesi önemli bir ayrıntı halini almaktadır.

Şekil 16: Araştırmanın Temel Aşamaları



3.4. Araştırmanın Veri Seti ve Örneklemi

Bu çalışmanın örneklemini OECD ülkeleri oluşturmaktadır. Litvanya 2018 yılında üye konuma geçtiğinden ve ele alınan dönemde veri sağlanamaması nedeniyle analiz dışı tutulmuştur. Çalışmada OECD ülkelerinin 2015-2019 yıllarını kapsayan istatistikleri veri seti olarak oluşturulmuştur. Çalışmada ele alınan değişkenlere dair temel istatistikler; Dünya Bankası, Uluslararası Enerji Ajansı, Dünya Ekonomi Forumu, Euro stat, IMF, İnsani Kalkınma Platformu, Dünya Nüfusu Araştırması, TÜİK, Statista vb. gibi yerel ve küresel veri sağlayıcılarından elde edilmiştir. Veri setinde kayıp veri olduğu durumlarda, ülkelerin milli hesapları, bakanlık ve resmi kurum istatistikleri incelenmiştir. Ele alınan beş yıllık dönemde, ülkelerin bazı değişkenlerde son yıla ait bazı verileri elde edilememiştir. Veri setinde 2019 yılına ait verisi bulunmayan bazı ülkelerde, en güncel veri kullanılarak analiz yapılmıştır. OECD ülkeleri ve Dünya Bankası tarafından oluşturulan gelir sınıflandırması Tablo 8’de sunulmaktadır. Meksika ve Türkiye hariç tüm ülkeler yüksek gelir sınıfında yer alan ülkelerdir.

Tablo 8: Analizde Ele Alınan Ülkeler ve Gelir Düzeyleri

Ülkeler	Gelir Sınıfı	Ülkeler	Gelir Sınıfı
ABD	Yüksek	İtalya	Yüksek
Almanya	Yüksek	İzlanda	Yüksek
Avustralya	Yüksek	Japonya	Yüksek
Avusturya	Yüksek	Kanada	Yüksek
Belçika	Yüksek	Letonya	Yüksek
Çek Cumhuriyeti	Yüksek	Lüksemburg	Yüksek
Danimarka	Yüksek	Macaristan	Yüksek
Estonya	Yüksek	Meksika	Orta- Üstü
Finlandiya	Yüksek	Norveç	Yüksek
Fransa	Yüksek	Polonya	Yüksek
Güney Kore	Yüksek	Portekiz	Yüksek
Hollanda	Yüksek	Slovakya	Yüksek
İngiltere	Yüksek	Slovenya	Yüksek
İrlanda	Yüksek	Şili	Yüksek
İspanya	Yüksek	Türkiye	Orta- Üstü
İsrail	Yüksek	Yeni Zelanda	Yüksek
İsveç	Yüksek	Yunanistan	Yüksek
İsviçre	Yüksek		

3.5. Analizde Kullanılan Değişkenler

Ülkeler arasında bir derecelendirme yapabilmek için karar problemini oluşturan temel değişkenlerin belirlenmesi analiz öncesinde dikkat edilmesi gereken önemli bir husustur. Dolayısıyla ülkelerin sürdürülebilirlik düzeylerinin ölçülmesi seçtiğimiz değişkenlerin niteliği ile doğrudan ilişkilidir. Bu bakımdan analize dahil edilecek karar değişkenlerinde olması beklenen temel özellikler şu şekilde sıralanabilir (Kerk ve Manuel, 2008).

- Kullanılan tanıma göre bir değişken, bir kavram ile ilgili olmalıdır.
- Değişkenler, ölçülebilir olmalıdır.
- Değişkenler, mümkün olduğunca birbirinden bağımsız olmalıdır.
- Değişkenlere ait veriler kamusal, bilimsel veya kurumsal kaynaklardan temin edilebilir olmalıdır.
- Değişkenlere ait veriler, neredeyse tüm ülkeler için mevcut olmalıdır.
- Değişken seti, sürdürülebilirlik kavramı hakkında bilgi sunmalı, mevcut durum ile sürdürülebilir olma durumu arasındaki boşluğu göstermelidir.
- Değişken seti, ülkeler arasında karşılaştırma yapmayı sağlamalıdır.

Yukarıda bahsi geçen temel özellikler dikkate alınarak, literatürde sürdürülebilirlik ölçümünde sıklıkla kullanılan temel değişkenler tespit edilmiştir. İlgili analiz dönemimde OECD ülkelerinin tamamı için elde edilen veriler ışığında analiz gerçekleştirilmiştir. Literatürde sürdürülebilirlik ölçümünde sıklıkla kullanılan değişkenler ve kullanıldıkları çalışmalar Tablo 9'da özetlenmiştir.

Tablo 9: Değişkenler ve Kullanıldıkları Çalışmalar

Göstergeler/ Yazarlar	Sachs, 2020	Schieler, 2019	Hrotko, 2019	Hsu, 2016	Eğilmez, 2015	Pires, 2014	Phillis, 2011	Phillis, 2010	Phillis, 2009	Kouloumpis, 2008	Kerk, 2008	Bell, 2008	Liu, 2007	Esty, 2005	Luc, 2004	Hezri, 2004	Phillis, 2001	OECD, 2001a	Neumayer, 2001	Devuyt, 2001	Prescott, 1995	Daly, 1994	Pearce, 1993	Rees, 1992
Doğrudan Yabancı Yatırımlar							√		√							√								
Net Tasarruflar											√								√					√
GSYİH			√				√	√	√	√	√				√	√	√	√			√		√	√
Gelir Dağılımı	√	√	√				√		√	√	√				√		√				√			
İşsizlik Oranı	√	√	√				√		√	√	√	√												
İşgücüne Katılım Oranı	√	√	√								√					√					√			
İhracat Oranı							√		√						√		√				√			
Merkezi Yönetim Borç Stoku							√	√	√	√	√						√							

Tablo 9: (devamı)

Göstergeler/ Yazarlar	Sachs, 2020	Schieler, 2019	Hrotko, 2019	Hsu, 2016	Eğilmez, 2015	Pires, 2014	Phillis, 2011	Phillis, 2010	Phillis, 2009	Kouloumpis, 2008	Kerk, 2008	Bell, 2008	Liu, 2007	Esty, 2005	Luc, 2004	Hezri, 2004	Phillis, 2001	OECD, 2001a	Neumayer, 2001	Devuyst, 2001	Prescott, 1995	Daly, 1994	Pearce, 1993	Rees, 1992
CO ₂ Emisyonu	√	√	√	√	√		√	√	√	√			√	√	√	√	√	√	√					
Enerji Tüketimi		√	√		√						√	√		√	√	√	√	√	√	√	√			
Ormanlık Alan		√	√	√		√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√			
Hava Kalitesi	√	√	√	√		√		√		√		√		√		√	√	√	√	√				
Su Kaynaklarına Erişim	√		√	√		√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√			
Ekolojik Ayak İzi				√		√	√	√	√	√	√			√	√		√	√	√	√				√
Yenilenebilir Enerji	√	√	√				√	√	√	√	√	√	√	√		√								
Geri Dönüşüm Oranı					√	√	√	√	√		√	√	√	√		√	√	√	√	√	√			
Çocuk Aşılama Oranı			√				√	√							√					√	√			
Bebek Ölüm Hızı	√		√				√	√	√					√			√			√	√	√		
Beklenen Ömür	√	√	√				√	√							√		√	√	√	√	√	√		
İnternet Kullanıcı Sayısı	√		√				√	√							√									
Okullaşma Oranı	√	√	√				√	√	√	√					√		√	√	√	√	√			
Nüfus Yoğunluğu					√		√	√		√		√	√	√	√	√	√	√	√	√	√			
Hükümet Etkinliği	√	√	√							√		√	√	√										
Verem Vaka Oranı	√		√				√	√	√				√	√	√	√	√	√	√	√	√			

Yukarıdaki tablodan görüleceği üzere, sürdürülebilirlik ölçümünün her boyutunda sekizer adet karar değişkeni probleme dahil edilmiştir. İlgili değişkenler literatürde ve küresel indeks oluşturan çalışmalarda sıklıkla kullanılan en temel değişkenler olarak kabul edilmektedir. Bebek ölüm hızı, beklenen ömür, ekolojik ayak izi ve CO₂ emisyonu gibi değişkenler gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerin son yıllarda başlıca gündem maddesi olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu bakımdan, ülkelere dair yapılacak bu tür sürdürülebilirlik ölçümlerinde bahsi geçen değişkenlerin kullanılması önem arz etmektedir. Bunun yanında, çalışma dönemini kapsayan 2015-2019 yılları için verisi elde edilen tüm değişkenler mümkün olduğunca ölçüme dahil edilmiştir. Gerek Dünya Bankası, Dünya Sağlık Örgütü, Birleşmiş Milletler gerek dünya genelinde resmi veya özel kuruluş ve örgütler bu ve benzeri temel değişkenleri kullanarak ulusal veya küresel ölçekte karşılaştırmalar yapıp, dünya üzerindeki yatırımcı ve politika yapıcılara öneri sunma gayreti içindedirler. Özetle, uygulama aşamasında kullanılan temel değişkenlere ait tanım, kapsam ve içerik bilgileri aşağıdaki Tablo 10'da sunulmaktadır.

Tablo 10: Karar Değişkenleri Kapsam, Birim ve Açıklamaları

Değişken	Tanım	Hedef	Birim	Dönem	Kaynak
Doğrudan Yabancı Yatırımlar	Bir ülkenin yabancı yatırımcılardan elde ettiği net para girişlerini ifade eder. Gayri safi yurtiçi hasılaya (GSYİH) oranlanarak hesaplanır.	Maks	% GSYİH	2015-2019	DB, Uluslararası Para Fonu (IMF)
Net Tasarruflar	Brüt milli gelirden toplam harcamaların çıkartılıp, net para transferlerinin eklenmesi ile hesaplanır.	Maks	% GSYİH	2015-2019	DB, OECD
GSYİH	Gayri safi yurtiçi hasılanın yıl içindeki nüfusa bölünmesi ile hesaplanır. İlgili veriler, 2010 yılı sabit dolar kurunda hesaplanmıştır.	Maks	GSYİH/kişi	2015-2019	DB, OECD
Gelir Dağılımı	Bir ekonomide, bireyler veya hane halkları arasındaki gelir dağılımının tam olarak eşit bir dağılımdan ne ölçüde saptığını ölçer. Gini indeksi kullanılarak hesaplanır. İndeksin düşük olması istenen bir durumdur.	Min.	0-100	2015-2019	DB, OECD, Statista, Dünya Nüfus Araştırması (WPR)
İşsizlik Oranı	İşsizlik oranı, bir ülkedeki iş arayan işsiz nüfusun toplam işgücündeki yüzdesel oranı ile ölçülür. İşsizlik tanımları, ülkeden ülkeye değişkenlik gösterebilir. Genel olarak, işgücü içindeki oran kullanılır.	Min.	% işgücü	2015-2019	Uluslararası Çalışma Örgütü (UÇÖ), DB
İşgücüne Katılım Oranı	Bir ülkede istihdam edilen nüfusun çalışabilir toplam nüfusa oranıdır. 15 yaş üstü, genel itibariyle çalışma çağındaki nüfus olarak kabul edilir.	Maks	%çalışabilir nüfus	2015-2019	Uluslararası Emek Örgütü (UEÖ), DB
İhracat Oranı	İhracat, ülkenin kendi dışındaki ülkelere sağladığı tüm mal ve hizmetlerin parasal değeridir.	Maks	% GSYİH	2015-2019	DB, OECD
Merkezi Yönetim Borç Stoku	Değişken, belirli bir tarih için hükümetin sabit vadeli sözleşmeye dayalı yükümlülüklerinin tamamını ifade eder.	Min.	% GSYİH	2015-2019	IMF, OECD, DB, Milli Hesaplar
CO2 Emisyonu	Bir ülkenin insan faaliyetleri sonucu ortaya çıkardığı toplam karbondioksit salınımını ifade eder.	Min	Ton/kişi	2015-2019	Global Karbon Projesi, UEA
Enerji Tüketimi	Tüm nihai tüketim sektörlerinde meydana gelen toplam enerji tüketimini ifade eder.	Maks	Ktoe/1000 kişi	2015-2019	Enerdata, UEA
Ormanlık Alan	Bir ülkenin sahip olduğu ağaçlık ve %10'dan fazla gölgeliğe sahip arazilerinin toplamıdır.	Maks	Ha/ kişi	2015-2019	FAO İstatistikleri

Tablo 10: (devamı)

Değişken	Tanım	Hedef	Birim	Dönem	Kaynak
Hava Kalitesi	PM2,5 maddesi, dünya üzerinde insan sağlığını tehdit eden hava kirleticidir. Solunum ve akciğer hastalıklarına sebebiyet vermektedir. OECD yeşil yaşam göstergesi kabul edilen bu değişken hava kalitesi ölçümünde kullanılır.	Min	Mg/ m ³	2015-2019	OECD, DSÖ
Su Kaynaklarına Erişim	Bir ülkede, temel su ve temizlik hizmetlerine ulaşabilen kişi sayısını ifade eder.	Maks	%	2015-2018	FAO İstatistikleri
Ekolojik Ayak İzi	Bir ülkenin, biyolojik kapasitesi ile ekolojik ayak izi arasındaki farkın ölçüsüdür. Bio kapasite aşıldığında ekolojik açık (negatif), kullanılmadığında ekolojik rezerv (pozitif) olmaktadır.	Maks	Gha/ kişi	2015-2017	Küresel Ayak İzi Ağı
Yenilenebilir Enerji	Kurulu enerji sistemlerinden elde edilen toplam elektrik üretimini ifade eder. Hidrojen pompalı depolama ile üretim hesaplama dışı tutulmuştur.	Maks	Gwh/ 1000 kişi	2015-2019	Enerdata, Uluslararası Enerji Ajansı (UEA)
Geri Dönüşüm Oranı	Değişken, geri dönüştürülmüş kentsel atıkların toplam atıklar içindeki payını ölçer. Geri dönüşüm, malzeme geri dönüşümü, kompostlama ve oksijensiz sindirimi içerir.	Maks	%	2015-2019	DB, OECD, Euro stat
Çocuk Aşılama Oranı	12-23 ay arası bebeklerin son bir yıl içerisinde aşılama oranını ifade eder. Üç doz aşılama bebeğin difteri, boğmaca ve tetanosa karşı aşılandığı kabul edilir.	Maks.	%	2015-2019	Dünya Bankası (DB), Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ), UNICEF
Bebek Ölüm Hızı	Bu oran, ölçüm alınan yılda 1000 canlı doğum sonrasında, bir yaşından önce ölen bebek sayısını ifade etmektedir.	Min.	1000 canlı doğum	2015-2019	DB, UNICEF, DSÖ
Beklenen Ömür	Beklenen yaklaşık yaşam süresini ifade eder. Yeni doğmuş bir bebeğin doğduğu sırada, normal şartlar altında, ortalama yaşayacağı yıl sayısını gösterir.	Maks	Yıl	2015-2019	Birleşmiş Milletler (BM), Euro stat, DB
İnternet Kullanıcı Sayısı	Ölçüm yapılan son üç ay içerisinde internete bağlanan kişi sayısını ölçer. Bilgisayar, cep telefonu veya herhangi bir iletişim aygıtından yapılan bağlantılar dahildir.	Maks	% nüfus	2015-2019	DB, Uluslararası Telekomünikasyon Birliği (UTB)

Tablo 10: (devamı)

Değişken	Tanım	Hedef	Birim	Dönem	Kaynak
Okullaşma Oranı	İlk veya orta öğretime kayıt olan öğrencilerin sayısını ifade eder. İlgili yaş grubundaki kişilerin yüzdesi olarak ölçülür.	Maks	%	2015-2018	DB, UNESCO, OECD
Nüfus Yoğunluğu	İlgili oran, yıl içerisinde nüfusun ülkenin toplam yüz ölçümüne bölünmesi ile elde edilir.	Min.	Nüfus/ yüzölçümü	2015-2019	DB, Gıda ve Tarım Örgütü (FAO)
Hükümet Etkinliği	Bu indeks, kamu hizmetlerinin siyasi baskılardan ne derece bağımsız olduğu ile ilgilidir. Hükümetin politika üretme ve uygulama kabiliyetinde ne derece güvenilir olduğunu hesaplar.	Maks	(-2,5) -(2,5)	2015-2019	DB
Verem Vaka Oranı	Belirli bir yılda, yeni ortaya çıkan veya tekrar nükseden verem ve AIDS vakalarının sayısıdır. Bu değişken, 100 bin nüfus başına düşen vaka sayısı ile ifade edilir.	Min.	X/100 bin kişi	2015-2019	DSÖ, DB

3.6. PBE ile Ağırlıkların Elde Edilmesi

Uygulamanın ilk aşamasında, ÇKKV yöntemlerinin ihtiyaç duyduğu ağırlık bilgisinin elde edilmesi gerekmektedir. Bu bakımdan, çalışmada kullanılacak değişkenlerin tespit edilip göreceli ağırlıklarının hesaplanması uygulamanın birinci aşamasını oluşturmaktadır. Önceki bölümde ele alınan değişkenlere ait göreceli ağırlık bilgisini hesaplamak için PBE tekniği kullanılmıştır.

PBE tekniği, veri setinde ağırlık bilgisine ulaşılamadığı durumlarda sıklıkla kullanılan objektif bir ağırlık belirleme yöntemidir (Yang ve Hussain, 2018; Xu vd., 2020). Entropi, belirsizliği karakterize etmek için kullanılan bir ölçüdür (Wan vd., 2018). Sübjektif ağırlıklandırma yöntemleri, nesnel bilgileri gözden kaçırıp karar vericilerin tercih bilgisine dayanmaktadır. Buna karşın, entropi gibi objektif ağırlıklandırma yöntemleri karar vericilerin riskli veya yanlı tutumunu ortadan kaldırmaktadır (Rani vd., 2019a).

Bu adımda, her boyut için belirlenen sekiz adet değişkene ait ülkelerin sahip olduğu skorlar kullanılarak ağırlık belirleme aşamaları gerçekleştirilmiştir. İlk olarak, ülkelerin 2015-2019 yıllarını kapsayan beş yıllık verilerinin geometrik ortalaması alınmıştır. Farklı kaynaklardan elde edilen ve farklı ölçüm birimleri içeren değişkenlerin ortak tek birimde ölçülebilmesi amacıyla fayda ve maliyet yönlü değişkenler lineer ölçek dönüşümü yardımıyla normalize edilmiştir (Hwang ve Yoon, 1981). Normalize değerlerden oluşan karar matrisi EK-1’de sunulmaktadır.

$$\text{Fayda yönlü: } r_{ij} = \frac{x_{ij} - \max(x_{ij})}{\max(x_{ij}) - \min(x_{ij})},$$

$$\text{Maliyet yönlü: } r_{ij} = \frac{\max(x_{ij}) - x_{ij}}{\max(x_{ij}) - \min(x_{ij})}.$$

Normalizasyon işlemi sonrasında her bir ülkenin, her değişken altında 0-1 arasında değişen bir adet sayısal verisi elde edilmiştir. Ayrıca, verilerin normalize edilmesi sonucunda ilgili değişkendeki en iyi değer "1" değerini alırken, en kötü değer "0" değerini almaktadır. Sonraki adımda, 0-1 arasında değişen matris değerleri yüzde dağılım yöntemi ile bulanıklaştırılmıştır. Bulanıklaştırma işleminde kullanılan yüzde oranlar ve dilsel ifadelerden oluşan Pisagor bulanık ölçek aşağıdaki Tablo 11'de görülmektedir.

Tablo 11: Yüzdeler ve Pisagor Bulanık Ölçek

Yüzdeler	Kümülatif	Dilsel Değişken	Pisagor Bulanık Sayı (PBS)
0,04	0,04	Oldukça Düşük	0.10, 0.99
0,08	0,12	Çok Düşük	0.10, 0.97
0,12	0,24	Düşük	0.25, 0.92
0,16	0,40	Orta Düşük	0.40, 0.87
0,20	0,60	Orta	0.50, 0.80
0,16	0,76	Orta Yüksek	0.60, 0.71
0,12	0,88	Yüksek	0.70, 0.60
0,08	0,96	Çok Yüksek	0.80, 0.44
0,04	1,00	Oldukça Yüksek	1.00, 0.00

Normalizasyon sonrasında elde edilen matris değerleri, oluşturulan kategoriler ve yüzde dağılımı yardımıyla bulanık verilere dönüştürülmüştür. Örneğin, sosyal boyutta yer alan çocuk aşılama oranı değişkeninde ABD için yapılan örnek dönüşüm Tablo 12'de görüldüğü gibidir.

Tablo 12: Örnek Pisagor Bulanık Sayı Dönüşümü

Ülke	Çocuk Aşılama Oranı	Yüzde Aralığı	Dilsel Değişken	PBS
ABD	0,64	0,60- 0,76	Orta Yüksek (OY)	0.60, 0.71

Dönüşüm sonrasında, Pisagor bulanık sayılardan oluşan karar matrisi EK-2'de sunulmaktadır. İlgili tabloda değişkenin ilk sütun değeri üye olma derecesini, ortadaki değer üye olmama derecesini,

son değer ise tereddüt derecesini ifade etmektedir. Pisagor bulanık sayılarla ifade edilen karar matrisi kullanılarak PBE çözümü uygulanmıştır (Xu vd., 2020).

$$E(P) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left[1 - (1 - \pi_p(x_i)) |\mu_p(x_i) - \nu_p(x_i)| \right]$$

$$\omega_j = \frac{1 - E(P)}{n - \sum_{j=1}^n E(P)}$$

Örneğin, çocuk aşılama oranı (S1) değişkeninde yapılan örnek hesaplama aşağıda gösterildiği gibidir.

$$E(S1) = \frac{1}{35} \left[(1 - (1 - 0,37)x|0,60 - 0,71|) + (1 - (1 - 0,33)x|0,50 - 0,80|) + \dots + (1 - (1 - 0,00)x|1,00 - 0,00|) \right] = 0,756$$

$$\omega_{s1} = \frac{1 - 0,756}{8 - (0,756 + 0,723 + \dots + 0,553)} = 0,104$$

PBE yöntemi sonucunda elde edilen değişken ağırlıkları Tablo 13’de görülmektedir.

Tablo 13: PBE Sonucunda Elde Edilen Ağırlıklar

Boyutlar	Değişkenler	Ağırlık	Sıra
Ekonomik	Doğrudan Yabancı Yatırımlar	0,158	2
	Net Tasarruflar	0,089	8
	GSYİH	0,155	3
	Gelir Dağılımı	0,093	6
	İşsizlik Oranı	0,090	7
	İşgücüne Katılım Oranı	0,116	4
	İhracat Oranı	0,200	1
	Merkezi Yönetim Borç Stoku	0,100	5
Çevresel	CO2 Emisyonu	0,065	8
	Enerji Tüketimi	0,124	4
	Ormanlık Alan	0,213	1
	Hava Kalitesi	0,087	5
	Su Kaynaklarına Erişim	0,179	3
	Ekolojik Ayak İzi	0,070	6
	Yenilenebilir Enerji	0,197	2
Geri Dönüşüm Oranı	0,065	7	

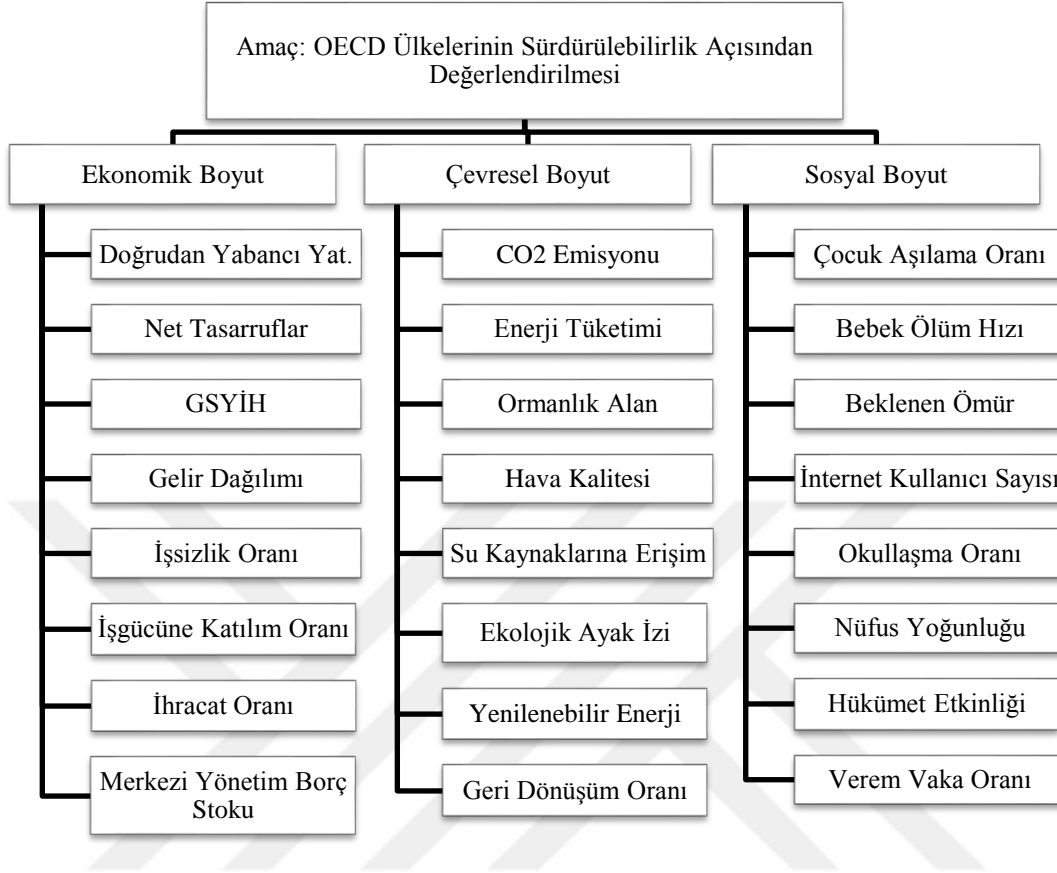
Tablo 13: (devamı)

Boyutlar	Değişkenler	Ağırlık	Sıra
Sosyal	Çocuk Aşılama Oranı	0,104	6
	Bebek Ölüm Hızı	0,118	5
	Beklenen Ömür	0,087	8
	İnternet Kullanıcı Sayısı	0,120	4
	Okullaşma Oranı	0,140	3
	Nüfus Yoğunluğu	0,141	2
	Hükümet Etkinliği	0,099	7
	Verem Vaka Oranı	0,190	1

Tablo 13 incelendiğinde ekonomik boyutta ağırlığı en yüksek üç değişken sırasıyla; ihracat oranı, doğrudan yabancı yatırımlar ve GSYİH değişkenleridir. Buna karşın, ağırlığı en düşük olan değişken ise, net tasarruflar değişkenidir. Çevresel boyutta en yüksek ağırlığa sahip ilk üç değişken ise sırasıyla; ormanlık alan, yenilenebilir enerji ve su kaynaklarına erişim değişkenleridir. CO2 emisyonu ise, en düşük ağırlığa sahip olan çevresel değişkendir. Sosyal boyutta ise ağırlığı en yüksek üç değişkenin sırasıyla; verem vaka oranı, nüfus yoğunluğu ve okullaşma oranı olduğu görülmektedir. Buna karşın, beklenen ömür göreceli ağırlığı en düşük olan değişkendir.

PBE yöntemi sonucunda ağırlıkları tespit edilen bu değişkenler kullanılarak hiyerarşik karar problemi çözülmüştür. Sonuç itibarıyla uygulamanın ileriki kısımlarında temel alınacak karar probleminin hiyerarşik sunumu Şekil 17’de görüldüğü gibidir.

Şekil 17: Karar Probleminin Hiyerarşik Gösterimi



3.7. Kullanılan Sıralama Yöntemlerinin Seçimi ve Üstünlükleri

Son yıllarda, gerçek hayatta var olan belirsizlik ve karmaşayı çözebilmek için PBK'lerde yeni bir model önerisi yapılmıştır. PBK'lerin bu belirsizliği modelleyebilme gücü sezgisel bulanık kümelerden daha fazladır (Yager ve Abbasov, 2013; Yager, 2014; Zhang ve Xu, 2014). PBK'lerde üyelik derecesinin alanı sezgisel bulanık kümelerin üyelik derecesi alanından daha büyüktür (Ak ve Gül, 2018). Sahip olduğu bu üstünlüklerden dolayı uygulamanın, PBK'lerde ele alınmasına karar verilmiştir. Ayrıca, kullanılan her bir sıralama yönteminin sahip olduğu üstünlükler şu şekilde sıralanabilir.

- TOPSIS yöntemi, birey seçimlerinin gerekçesini yansıtan sağlam bir mantık temeline dayanmaktadır. Bunun yanında, en iyi ve en kötü alternatifi ölçen bir skala geliştirmesi yöntemin bir diğer özelliğidir. Son olarak ele alınan boyutlar için diğer yöntemlerle karşılaştırma imkânı sunması ve kolay hesaplama adımları TOPSIS yönteminin başlıca özellikleridir (Shih vd., 2007). Çoklu değişken ve alternatif varlığında karar verme sürecindeki becerisinin yanında, alternatif veya değişken sayısındaki artışlarda dahi

uygun çözüm sunması ve benzer adımlarla sonuca ulaşması TOPSIS yöntemini cazip kılan diğer yönlerdir (Lima vd., 2014).

- VIKOR yöntemi; yüzdellik, oran veya ham veri ile işlem yapabilme becerisine sahip tarafsız süreçler içeren bir yöntemdir. Sıralama öncesindeki ağırlık değerini değiştirerek farklı tercihlerin oluşturacağı uzlaşık çözüm kolaylıkla izlenebilir. Kolay hesaplama adımları yöntemin bir diğer avantajıdır (Zimonjić vd., 2018). Bunun yanında, çok kriterli optimizasyon problemlerinde çözüme ulaşma becerisi yüksektir. Karmaşık ve çelişen değişkenler içeren karar problemlerinde ideal noktaya en yakın uzlaşmacı çözümü sunabilmektedir. (Opricovic ve Tzeng, 2002; Fei vd., 2019).
- MOORA yöntemi, anlaması ve uygulaması kolay bir yöntemdir. Basit oran analizine dayandığı için, az hesaplama içermesi zaman tasarrufu sağlamaktadır. Hesaplama süreci, modele fazladan giren parametrelerden etkilenmemektedir. Dolayısıyla MOORA yöntemi, ÇKKV problemlerinde tutarlı sonuçlar vermektedir (Chakraborty, 2011). Ayrıca bu yöntem, eşzamanlı olarak nicel veya nitel veri setlerinde işlem yapılmasını mümkün kılmaktadır (Domínguez vd., 2018).

PBK'lerde bütünlük bir şekilde ele alınan TOPSIS, VIKOR ve MOORA yöntemleri, her bir yöntemin sahip olduğu avantajları bir araya getirmek ve nicel verilerle yapılan analizlerde daha güçlü sonuçlar ortaya koymak amacıyla tercih edilmiştir. Bunun yanında, farklı yöntemlerin kullanımı ele alınan çözümü makul, gerçeğe yakın ve tutarlı hale getirmektedir.

3.8. Pisagor Bulanık Yöntemler ile Ülkelerin Sürdürülebilirlik Sıralamaları

Çalışmanın bu bölümünde, PBE tekniği ile elde edilen değişken ağırlıkları kullanılarak 35 OECD ülkesi sürdürülebilirlik performansları açısından Pisagor bulanık yöntemler ile derecelendirilmiştir. Pisagor sayılar kümesinde tanımlı TOPSIS, VIKOR ve MOORA yöntemleri kullanılarak oluşturulan ÇKKV problemi çözülmüştür. Çözümün ilk adımında, yüzde dağılım yardımıyla oranlanarak dilsel ifadelerle çevrilen ham verilerden oluşan karar matrisi çözüm için kullanılmıştır. Karar probleminin hiyerarşik gösteriminde sunulduğu üzere, her boyut için sekizer adet değişken analize dahil edilmiştir. Önerilen her bir yöntemin çözümü ekonomik, çevresel ve sosyal boyutlarda ayrı ayrı ele alınmıştır. Dolayısıyla sürdürülebilirliğin üç temel boyutunda sırasıyla analiz yapılmıştır. Elde edilen sıralama sonuçları ve bulgular aşağıda detaylı bir şekilde sunulmuştur.

3.8.1. PBTOPSIS ile Elde Edilen Sürdürülebilirlik Sıralamaları

PBTOPSIS yönteminin ihtiyaç duyduğu değişken ağırlıkları PBE tekniği ile elde edildikten sonra 35 ülkenin sürdürülebilirlik sıralamaları yapılmıştır. TOPSIS yöntemi, en iyi alternatifi pozitif ideal çözüme en yakın mesafede ve negatif ideal çözüme en uzak mesafede olan alternatif şeklinde tanımlamaktadır. Buradan hareketle, karar problemi için PBTOPSIS çözümü aşağıda sunulan temel adımlar çerçevesinde gerçekleştirilmiştir.

Adım 1: Pisagor bulanık sayılarla ifade edilen karar matrisinin oluşturulması

PBTOPSIS yönteminin ilk aşamasında Pisagor sayılar kümesinde tanımlı sayılar ile ifade edilen başlangıç karar matrisinin oluşturulması gerekmektedir. Önceki kısımlarda belirtildiği üzere, 35 OECD ülkesinin 2015-2019 yıllarını kapsayan verileri kullanılarak Pisagor sayılarda bulanıklaştırma işlemi sonrası analize hazır hale getirilmiştir. Oluşturulan Pisagor bulanık karar matrisi kullanılarak PBTOPSIS çözümü gerçekleştirilmiştir.

Sosyal boyut için yapılan örnek hesaplamalar yöntem adımlarında sunulmuştur.

Adım 2: Pisagor bulanık pozitif ideal çözüm ve Pisagor bulanık negatif ideal çözüm noktalarının belirlenmesi

Yöntemin ikinci adımında, Pisagor bulanık pozitif ideal çözüm ve Pisagor bulanık negatif ideal çözüm noktaları hesaplanmıştır. Burada, ilgili değişkenin en büyük değeri pozitif ideal nokta olurken, en küçük değer negatif ideal nokta olmaktadır.

$$x^+ = \left\{ \begin{array}{l} P(1.00, 0.00), P(1.00, 0.00), P(1.00, 0.00), P(1.00, 0.00), P(1.00, 0.00), \\ P(1.00, 0.00), P(1.00, 0.00), P(1.00, 0.00) \end{array} \right\}$$

$$x^- = \left\{ \begin{array}{l} P(0.10, 0.99), P(0.10, 0.99), P(0.10, 0.99), P(0.10, 0.99), P(0.10, 0.99), \\ P(0.10, 0.99), P(0.10, 0.99), P(0.10, 0.99) \end{array} \right\}$$

Adım 3: Alternatiflerin ideal çözüm noktalarına olan uzaklıklarının hesaplanması

Yöntemin üçüncü adımında, her bir alternatifin pozitif ideal ve negatif ideal noktalara olan ağırlıklı uzaklığı hesaplanmıştır. Birinci alternatif için sosyal boyutun ilk değişkeninde yapılan örnek hesaplama aşağıda görüldüğü gibidir.

$$D^+ = |(0,60)^2 - (1,00)^2| + |(0,71)^2 - (0,00)^2| + |(0,37)^2 - (0,00)^2| = 1,28$$

$$D^- = |(0,60)^2 - (0,10)^2| + |(0,71)^2 - (0,99)^2| + |(0,37)^2 - (0,10)^2| = 0,95$$

Adım 4: Düzeltmiş yakınlık katsayılarının hesaplanması

Son adımda, elde edilen uzaklık değerleri ağırlıklar ile çarpıldıktan sonra, her bir alternatifin yakınlık katsayıları hesaplanmıştır. İlk satırdaki alternatif için yapılan hesaplama aşağıda görülmektedir.

$$(D^x, D^+) = \left[\begin{array}{l} (1,28 \times 0,104) + (1,28 \times 0,118) + (1,50 \times 0,087) + (1,50 \times 0,120) \\ + (1,28 \times 0,140) + (0,72 \times 0,141) + (1,28 \times 0,099) + (0,00 \times 0,190) \end{array} \right] / 2 = 0,5016$$

$$(D^x, D^-) = \left[\begin{array}{l} (0,95 \times 0,104) + (0,95 \times 0,118) + (0,68 \times 0,087) + (0,68 \times 0,120) \\ + (0,95 \times 0,140) + (1,57 \times 0,141) + (0,95 \times 0,099) + (1,98 \times 0,190) \end{array} \right] / 2 = 0,5893$$

$$\zeta = \frac{0,5893}{0,8596} - \frac{0,5016}{0,1901} = -1,9532$$

Elde edilen katsayılar büyükten küçüğe göre sıralandıktan sonra, en büyük katsayıya sahip ülke en iyi alternatif olarak karşımıza çıkmaktadır. Yukarıdaki temel adımlar yardımıyla sürdürülebilirliğin tüm boyutları için sıralamalar elde edilmiştir. PBTOPSIS yöntemi kullanılarak ekonomik boyutta elde edilen sıralama sonuçları aşağıdaki Tablo 14'te sunulmaktadır.

Tablo 14: Ekonomik Boyut İçin PBTOPSIS Sonuçları

Ülkeler	D (X _i , X ⁺)	D (X _i , X ⁻)	Katsayı	Sıra
Lüksemburg	0,4202	0,6182	0,0000	1
İrlanda	0,5367	0,5551	-0,3796	2
Norveç	0,5994	0,4955	-0,6251	3
İsviçre	0,5979	0,4920	-0,6271	4
İzlanda	0,6116	0,4476	-0,7316	5
Çek Cumhuriyeti	0,6409	0,4246	-0,8385	6
Hollanda	0,6785	0,4211	-0,9336	7
İsveç	0,7116	0,3870	-1,0675	8
Danimarka	0,7132	0,3866	-1,0721	9
Estonya	0,7033	0,3660	-1,0818	10
Güney Kore	0,7207	0,3598	-1,1332	11
Slovenya	0,7215	0,3473	-1,1554	12

Tablo 14: (devamı)

Ülkeler	D (X _i , X ⁺)	D (X _i , X ⁻)	Katsayı	Sıra
Almanya	0,7369	0,3547	-1,1800	13
Slovakya	0,7402	0,3470	-1,2003	14
Avustralya	0,7519	0,3309	-1,2542	15
Yeni Zelanda	0,7551	0,3292	-1,2647	16
Finlandiya	0,7562	0,3301	-1,2657	17
Macaristan	0,7640	0,3162	-1,3069	18
Kanada	0,7646	0,3166	-1,3078	19
Avusturya	0,7749	0,3097	-1,3435	20
İsrail	0,7803	0,2968	-1,3771	21
Belçika	0,7840	0,2935	-1,3910	22
Polonya	0,7884	0,2901	-1,4070	23
Japonya	0,7784	0,2703	-1,4153	24
ABD	0,7937	0,2723	-1,4484	25
Meksika	0,8024	0,2638	-1,4830	26
İngiltere	0,8080	0,2649	-1,4945	27
Letonya	0,8156	0,2601	-1,5204	28
Fransa	0,8210	0,2539	-1,5434	29
Şili	0,8298	0,2288	-1,6049	30
Portekiz	0,8484	0,2249	-1,6554	31
Türkiye	0,8553	0,2141	-1,6894	32
İspanya	0,8798	0,1870	-1,7914	33
İtalya	0,8783	0,1827	-1,7950	34
Yunanistan	0,9513	0,0852	-2,1262	35

Tablo 14’de ekonomik boyut için oluşturulan sonuçlar incelendiğinde; birinci sırayı 0,000 katsayı değeri ile Lüksemburg’un aldığı görülmektedir. İkinci sırada, -0,3796 katsayı değeri ile İrlanda yer almıştır. Norveç, -0,6251 katsayı değeri ile sıralamada üçüncü olmuştur. Yunanistan en kötü sıralamaya sahip ülkedir. Türkiye ekonomik boyutta yapılan derecelendirmede 32. sırada yer almaktadır.

Tablo 15: Çevresel Boyut İçin PBTOPSIS Sonuçları

Ülkeler	D (X _i , X ⁺)	D (X _i , X ⁻)	Katsayı	Sıra
İzlanda	0,3665	0,6417	0,0000	1
Lüksemburg	0,4535	0,5827	-0,3291	2
İsveç	0,5774	0,4557	-0,8651	3
Finlandiya	0,5821	0,4444	-0,8957	4
Yeni Zelanda	0,6103	0,4319	-0,9920	5
Norveç	0,6295	0,4265	-1,0529	6
İsviçre	0,6528	0,3834	-1,1834	7
Avustralya	0,6726	0,3677	-1,2622	8
Almanya	0,6794	0,3529	-1,3037	9

Tablo 15: (devamı)

Ülkeler	D (X _i , X ⁺)	D (X _i , X ⁻)	Katsayı	Sıra
Avusturya	0,6934	0,3487	-1,3482	10
Danimarka	0,6942	0,3501	-1,3483	11
Portekiz	0,6948	0,3441	-1,3593	12
İngiltere	0,6942	0,3424	-1,3603	13
Fransa	0,6958	0,3406	-1,3677	14
Belçika	0,6997	0,3328	-1,3902	15
Hollanda	0,6997	0,3328	-1,3902	15
İspanya	0,7079	0,3218	-1,4297	17
Macaristan	0,7126	0,3199	-1,4456	18
Kanada	0,7299	0,3428	-1,4572	19
Estonya	0,7314	0,3159	-1,5032	20
Yunanistan	0,7347	0,2898	-1,5528	21
Çek Cumhuriyeti	0,7378	0,2910	-1,5594	22
İsrail	0,7572	0,2621	-1,6576	23
Slovakya	0,7924	0,2652	-1,7487	24
İtalya	0,8062	0,2519	-1,8069	25
Slovenya	0,8132	0,2432	-1,8398	26
Güney Kore	0,8116	0,2359	-1,8467	27
ABD	0,8165	0,2337	-1,8634	28
Polonya	0,8432	0,2101	-1,9732	29
Şili	0,8422	0,2019	-1,9829	30
Letonya	0,8661	0,1812	-2,0804	31
Japonya	0,8680	0,1793	-2,0887	32
İrlanda	0,8734	0,1621	-2,1303	33
Türkiye	0,8896	0,1380	-2,2121	34
Meksika	0,8946	0,1348	-2,2306	35

Tablo 15 incelendiğinde, çevresel boyutta oluşan sıralamalarda İzlanda'nın 0,000 katsayı değeri ile ilk sırada, Lüksemburg'un -0,3291 katsayı değeri ile ikinci sırada ve İsveç'in -0,8651 katsayı değeri ile üçüncü sırada yer aldığı tespit edilmiştir. Son sırada Meksika yer alırken, Türkiye sondan ikinci konumdadır.

Sosyal boyut için elde edilen ideal noktalara olan uzaklıklar, yakınlık katsayıları ve oluşan sıralamalar aşağıdaki Tablo 16'da sunulmuştur.

Tablo 16: Sosyal Boyut İçin PBTOPSIS Sonuçları

Ülkeler	D (X _i , X ⁺)	D (X _i , X ⁻)	Katsayı	Sıra
Norveç	0,1901	0,8596	0,0000	1
İzlanda	0,1953	0,8270	-0,0654	2
Finlandiya	0,2971	0,7669	-0,6708	3

Tablo 16: (devamı)

Ülkeler	D (X _i , X ⁺)	D (X _i , X ⁻)	Katsayı	Sıra
İsveç	0,3406	0,7805	-0,8839	4
Danimarka	0,3587	0,7271	-1,0412	5
Lüksemburg	0,3620	0,7383	-1,0455	6
Kanada	0,3788	0,6975	-1,1814	7
İsviçre	0,4092	0,6831	-1,3579	8
Avustralya	0,4388	0,6715	-1,5275	9
Yeni Zelanda	0,4406	0,6681	-1,5404	10
İrlanda	0,4476	0,6602	-1,5864	11
Fransa	0,4517	0,6556	-1,6135	12
Slovakya	0,4490	0,6216	-1,6387	13
Yunanistan	0,4651	0,6096	-1,7376	14
Hollanda	0,4694	0,6155	-1,7533	15
Japonya	0,4857	0,6006	-1,8565	16
İngiltere	0,4929	0,6083	-1,8851	17
İspanya	0,5035	0,6243	-1,9222	18
ABD	0,5016	0,5893	-1,9532	19
İsrail	0,5012	0,5866	-1,9542	20
Belçika	0,5135	0,6119	-1,9893	21
Çek Cumhuriyeti	0,5472	0,5356	-2,2554	22
Macaristan	0,5563	0,5405	-2,2980	23
Portekiz	0,5654	0,5549	-2,3291	24
Estonya	0,5827	0,5340	-2,4439	25
İtalya	0,5828	0,5323	-2,4466	26
Avusturya	0,5999	0,5110	-2,5615	27
Almanya	0,6009	0,5140	-2,5630	28
Şili	0,6225	0,4894	-2,7056	29
Polonya	0,6295	0,4781	-2,7553	30
Letonya	0,6291	0,4747	-2,7572	31
Slovenya	0,6456	0,4517	-2,8707	32
Güney Kore	0,6595	0,4239	-2,9761	33
Türkiye	0,6857	0,3996	-3,1422	34
Meksika	0,7463	0,3117	-3,5633	35

Tablo 16 incelendiğinde, sosyal boyutta PBTOPSIS sonuçlarına göre; 1,0000 katsayı değeri ile Norveç ilk sırada, -0,0654 değeri ile İzlanda ikinci sırada ve -0,6708 değeri ile Finlandiya üçüncü sırada yer almaktadır. Meksika son sırada yer alırken, Türkiye 34. ülke konumundadır.

Tablo 17: Farklı Yöntemler ile Yapılan Karşılaştırmalı Analiz (PBTOPSIS)

Ülkeler	Ekonomik			Çevresel			Sosyal		
	Pisagor TOPSIS	Bulanık TOPSIS	TOPSIS	Pisagor TOPSIS	Bulanık TOPSIS	TOPSIS	Pisagor TOPSIS	Bulanık TOPSIS	TOPSIS
ABD	25	26	27	28	29	26	19	18	15
Almanya	13	11	11	9	14	12	28	25	24
Avustralya	15	16	15	8	4	8	9	9	5
Avusturya	20	20	17	10	11	9	27	28	28
Belçika	22	22	18	15	19	15	21	14	17
Çek Cumhuriyeti	6	6	8	22	21	22	22	26	31
Danimarka	9	9	6	11	12	11	5	6	3
Estonya	10	10	10	20	9	21	25	23	18
Finlandiya	17	15	20	4	1	5	3	4	8
Fransa	29	27	29	14	15	14	12	12	12
Güney Kore	11	14	16	27	30	25	33	33	34
Hollanda	7	5	4	15	19	13	15	21	26
İngiltere	27	24	25	13	12	16	17	16	14
İrlanda	2	2	2	33	33	35	11	11	10
İspanya	33	33	33	17	18	18	18	13	11
İsrail	21	21	22	23	26	23	20	20	22
İsveç	8	8	7	3	3	4	4	3	2
İsviçre	4	3	3	7	10	10	8	8	7
İtalya	34	34	34	25	24	28	26	27	29
İzlanda	5	7	9	1	7	2	2	2	6
Japonya	24	30	26	32	31	31	16	17	20
Kanada	19	17	19	19	6	7	7	7	13
Letonya	28	25	24	31	27	33	31	31	30
Lüksemburg	1	1	1	2	2	1	6	5	4
Macaristan	18	19	14	18	17	19	23	24	25
Meksika	26	28	28	35	34	34	35	35	35
Norveç	3	4	5	6	8	3	1	1	1
Polonya	23	23	23	29	28	30	30	30	27
Portekiz	31	29	32	12	16	17	24	22	19
Slovakya	14	12	12	24	23	24	13	15	16
Slovenya	12	13	13	26	25	27	32	32	32
Şili	30	31	30	30	32	29	29	29	23
Türkiye	32	32	31	34	35	32	34	34	33
Yeni Zelanda	16	18	21	5	5	6	10	10	9
Yunanistan	35	35	35	21	22	20	14	19	21

Önerilen PBTOPSIS modelinin geçerliğini ortaya koymak adına, her bir boyutta ortaya çıkan model sonuçları ile klasik TOPSIS ve üçgensel bulanık sayılar temelli TOPSIS sonuçları Tablo 17’de karşılaştırılmıştır.

Ekonomik boyutta yapılan karşılaştırma incelendiğinde, Lüksemburg tüm yöntemlerde en iyi alternatif olurken; Yunanistan ise tüm yöntemlerde en kötü sıralamaya sahip ülke olmuştur. Türkiye, Pisagor bulanık çözüme paralel olarak diğer yaklaşımlarda da son sıralarda yer bulmuştur.

Çevresel boyutta yapılan analiz incelendiğinde, İzlanda'nın diğer yaklaşımlarda sıralamasının değiştiği görülmektedir. Bulanık TOPSIS çözümünde 7. sırada yer alan İzlanda, klasik TOPSIS yaklaşımında ise 2. sırada yer almaktadır. Türkiye ise, bulanık TOPSIS sonucunda son sırada yer alırken, klasik çözümde iki sıra yükselmiştir.

Sosyal boyuttaki sıralama sonuçlarına bakıldığında, önerilen yöntemde en iyi alternatif olan Norveç diğer yöntemlerde de birinciliğini korumaktadır. Ayrıca önerilen modelde en kötü alternatif ülke olan Meksika'nın diğer yöntemlerde de mevcut sırası değişmemiştir.

Son olarak, önerilen PBTOPSIS yöntemi ile diğer yöntemlerin sonuçları arasında her boyutta ortalama %95 düzeyinde benzerlik olduğu Spearman korelasyon katsayısı ile hesaplanmıştır. Sıralama sonuçlarındaki bu benzerlik, PBK'lerde ortaya konan çözümün halihazırda kullanılan yöntemler ile uyumlu olduğunu, önerilen modelin güvenilir ve gerçekçi sonuçlar ortaya koyduğunu göstermektedir.

3.8.2. PBVIKOR ile Elde Edilen Sürdürülebilirlik Sıralamaları

PBTOPSIS yöntemi ile sıralamalar elde edildikten sonra, farklı tekniklerin sunduğu üstünlüklerden faydalanmak ve sonuçları karşılaştırma imkânı bulmak adına karar problemi PBVIKOR yöntemi ile de çözülmüştür. Önceki bölümlerde bahsedildiği üzere, VIKOR yöntemi alternatifler arasında uzlaşmacı çözümü arayan bir optimizasyon tekniğidir. VIKOR yönteminin ilk adımında, karar matrisi elemanları normalize edilir. Daha sonra en iyi ve en kötü değerler her bir değişken için tespit edilmektedir. Ardından matris değerleri ağırlıklar ile çarpılarak S, R ve Q değerleri hesaplanır. VIKOR yönteminde, maksimum grup faydası ve minimum pişmanlık, tarafsızlığı yansıtmak adına $v=0,5$ alınarak hesaplanmıştır. PBVIKOR yaklaşımının çözüm adımları aşağıda özetlenmiştir.

Adım 1: En iyi ve en kötü değerlerin belirlenmesi

PBVIKOR yönteminin ilk adımında oluşturulan bulanık karar matrisi değerleri arasından her bir değişkenin sahip olduğu en iyi ve en kötü değerler tespit edilmektedir. Bu çalışmada, yüzde dağılım hesaplama aşamasında tüm değişkenler fayda veya maliyet yönlü olmaları dikkate alınarak normalize edildiğinden, bir değişkendeki en iyi değer değişkenin sahip olduğu en büyük değer olarak

kabul edilmektedir. Dolayısıyla, sosyal boyutta yöntemin ilk adımında belirlenen en iyi ve en kötü çözüm noktaları aşağıda sunulmaktadır.

$$x^+ = \left\{ \begin{array}{l} P(1.00, 0.00), P(1.00, 0.00), P(1.00, 0.00), P(1.00, 0.00), P(1.00, 0.00), \\ P(1.00, 0.00), P(1.00, 0.00), P(1.00, 0.00) \end{array} \right\}$$

$$x^- = \left\{ \begin{array}{l} P(0.10, 0.99), P(0.10, 0.99), P(0.10, 0.99), P(0.10, 0.99), P(0.10, 0.99), \\ P(0.10, 0.99), P(0.10, 0.99), P(0.10, 0.99) \end{array} \right\}$$

Adım 2: S ve R değerlerinin hesaplanması

Yöntemin ikinci adımında her bir alternatif için S ve R değerleri hesaplanmıştır. Bunun için her bir alternatifin ideal noktalara uzaklığı hesaplanmıştır. İlk alternatif için sosyal boyutta yapılan örnek hesaplama aşağıda sunulmaktadır.

$$d(x_1, x^+) = \left[|(0,60)^2 - (1,00)^2| + |(0,71)^2 - (0,00)^2| + |(0,37)^2 - (0,00)^2| \right] / 2 = 0,64$$

$$\bar{d}_k = \frac{d(x_1, x^+)}{d(x^+, x^-)} = \frac{0,64}{0,99} = 0,65$$

$$S_i = \left[\begin{array}{l} (0,104 \times 0,65) + (0,118 \times 0,65) + (0,087 \times 0,76) + (0,120 \times 0,76) \\ + (0,140 \times 0,65) + (0,141 \times 0,36) + (0,099 \times 0,65) + (0,190 \times 0,00) \end{array} \right] = 0,507$$

$$R_i = \max(\bar{d}_k) = (0,120 \times 0,76) = 0,091$$

Adım 3: Q değerinin hesaplanması

S ve R değerleri hesaplandıktan sonra, alternatiflerin Q değerleri hesaplanmıştır. Q değerlerinin hesaplanması adımında, maksimum grup faydasını ve bireysel pişmanlığı ifade eden v değeri 0,5 olarak kabul edilmiştir. Birinci alternatif için yapılan örnek hesaplama aşağıda gösterildiği gibidir.

$$Q_i = \left[\frac{(0,507 - 0,192)}{(0,754 - 0,192)} + \frac{(0,091 - 0,067)}{(0,190 - 0,067)} \right] / 2 = 0,3775$$

Adım 4: S, R ve Q değerleri ile uzlaşmacı çözümün elde edilmesi

S, R ve Q değerleri hesaplandıktan sonra tüm değerler küçükten büyüğe sıralanmıştır. PBVIKOR yönteminde en küçük Q değerine sahip alternatif en iyi alternatif olmaktadır. Bu bakımdan, VIKOR yaklaşımının gerektirdiği şartlar çerçevesinde uzlaşmacı çözüm elde edilmiştir. Buna göre, ekonomik boyutta elde edilen ülke sıralamaları Tablo 18’de sunulmuştur.

Tablo 18: Ekonomik Boyut İçin PBVIKOR Sonuçları

Ülkeler	S değeri	R değeri	Q değeri	Sıra
Lüksemburg	0,4244	0,1344	0,0000	1
İrlanda	0,5421	0,1514	0,2396	2
İsviçre	0,6039	0,1696	0,4360	3
Slovenya	0,7288	0,1552	0,4427	4
Çek Cumhuriyeti	0,6473	0,1696	0,4764	5
Hollanda	0,6853	0,1696	0,5118	6
Estonya	0,7104	0,1696	0,5352	7
Slovakya	0,7476	0,1696	0,5699	8
Norveç	0,6054	0,1892	0,5877	9
Macaristan	0,7717	0,1696	0,5924	10
İzlanda	0,6177	0,1892	0,5992	11
Belçika	0,7918	0,1696	0,6111	12
İsveç	0,7187	0,1892	0,6934	13
Danimarka	0,7204	0,1892	0,6949	14
Güney Kore	0,7279	0,1892	0,7019	15
Almanya	0,7443	0,1892	0,7172	16
Finlandiya	0,7638	0,1892	0,7353	17
Avusturya	0,7827	0,1892	0,7530	18
Polonya	0,7963	0,1892	0,7657	19
Meksika	0,8105	0,1892	0,7789	20
Letonya	0,8238	0,1892	0,7913	21
Avustralya	0,7594	0,1998	0,8123	22
Yeni Zelanda	0,7627	0,1998	0,8154	23
Portekiz	0,8569	0,1892	0,8221	24
Kanada	0,7723	0,1998	0,8243	25
Japonya	0,7862	0,1998	0,8372	26
İsrail	0,7881	0,1998	0,8390	27
ABD	0,8016	0,1998	0,8516	28
İngiltere	0,8161	0,1998	0,8651	29
Fransa	0,8293	0,1998	0,8774	30
Şili	0,8381	0,1998	0,8857	31
Türkiye	0,8639	0,1998	0,9097	32
İtalya	0,8872	0,1998	0,9313	33
İspanya	0,8886	0,1998	0,9327	34
Yunanistan	0,9608	0,1998	1,0000	35

Tablo 18’de sıralama sonuçları incelendiğinde, 0,000 değeri ile Lüksemburg'un en iyi alternatif olduğu görülmektedir. Lüksemburg'u 0,2396 değeri ile İrlanda takip edip ikinci sırayı almıştır. Üçüncü sırada ise, 0,4360 değeri ile İsviçre karşımıza çıkmaktadır. Sıralama sonucunda en kötü alternatif 1,000 değeri ile Yunanistan olmuştur. Türkiye, 0,9097 katsayı değeri ile 35 ülke arasında 32. sırayı alan ülke olarak karşımıza çıkmaktadır. Sürdürülebilirlik ölçümünün ekonomik boyutunda, PBTOPSIS ve PBVIKOR sıralama sonuçları oldukça yüksek benzerlik göstermiştir.

Tablo 19: Çevresel Boyut İçin PBVIKOR Sonuçları

Ülkeler	S değeri	R değeri	Q değeri	Sıra
Lüksemburg	0,4580	0,1970	0,0823	1
İzlanda	0,3702	0,2129	0,5000	2
İsveç	0,5832	0,2129	0,6996	3
Finlandiya	0,5880	0,2129	0,7041	4
Yeni Zelanda	0,6164	0,2129	0,7308	5
Norveç	0,6358	0,2129	0,7490	6
İsviçre	0,6593	0,2129	0,7710	7
Avustralya	0,6794	0,2129	0,7898	8
Almanya	0,6862	0,2129	0,7962	9
Avusturya	0,7003	0,2129	0,8094	10
Danimarka	0,7012	0,2129	0,8102	11
İngiltere	0,7012	0,2129	0,8102	11
Portekiz	0,7017	0,2129	0,8108	13
Fransa	0,7028	0,2129	0,8118	14
Belçika	0,7067	0,2129	0,8154	15
Hollanda	0,7067	0,2129	0,8154	15
İspanya	0,7150	0,2129	0,8232	17
Macaristan	0,7198	0,2129	0,8277	18
Kanada	0,7372	0,2129	0,8441	19
Estonya	0,7388	0,2129	0,8455	20
Yunanistan	0,7421	0,2129	0,8486	21
Çek Cumhuriyeti	0,7452	0,2129	0,8515	22
İsrail	0,7649	0,2129	0,8699	23
Slovakya	0,8004	0,2129	0,9033	24
İtalya	0,8143	0,2129	0,9163	25
Güney Kore	0,8198	0,2129	0,9215	26
Slovenya	0,8214	0,2129	0,9230	27
ABD	0,8247	0,2129	0,9261	28
Şili	0,8506	0,2129	0,9504	29
Polonya	0,8517	0,2129	0,9514	30
Letonya	0,8748	0,2129	0,9730	31
Japonya	0,8767	0,2129	0,9748	32
İrlanda	0,8822	0,2129	0,9799	33
Türkiye	0,8985	0,2129	0,9953	34
Meksika	0,9036	0,2129	1,0000	35

Yukarıdaki Tablo 19 incelendiğinde, 0,0823 yakınlık katsayısı ile Lüksemburg sıralamada zirveye yerleşmiştir. Bunun yanında, Lüksemburg'u 0,500 değeri ile İzlanda takip etmektedir. Üçüncü sırada ise, 0,6996 değeri ile İsveç yer almaktadır. Türkiye 0,9953 katsayı değeri ile en kötü ikinci sıralamaya sahip ülke konumundadır. Çevresel boyutta elde edilen sıralamalara bakıldığında, PBTOPSIS ve PBVIKOR yöntemlerinin benzer sıralama sonuçları oluşturduğu göze çarpmaktadır.

Tablo 20: Sosyal Boyut İçin PBVIKOR Sonuçları

Ülkeler	S değeri	R değeri	Q değeri	Sıra
Norveç	0,1920	0,0673	0,0000	1
İzlanda	0,1973	0,0883	0,0901	2
Finlandiya	0,3001	0,0788	0,1432	3
İsveç	0,3440	0,0692	0,1432	4
Danimarka	0,3623	0,0910	0,2480	5
Kanada	0,3826	0,0907	0,2650	6
Avustralya	0,4433	0,0779	0,2667	7
Yeni Zelanda	0,4450	0,0788	0,2721	8
Lüksemburg	0,3657	0,1066	0,3145	9
İrlanda	0,4521	0,0913	0,3289	10
Slovakya	0,4535	0,0913	0,3302	11
Fransa	0,4562	0,0913	0,3326	12
İsviçre	0,4133	0,1066	0,3569	13
ABD	0,5066	0,0913	0,3775	14
İspanya	0,5085	0,0913	0,3792	15
İngiltere	0,4978	0,1066	0,4321	16
Yunanistan	0,4698	0,1141	0,4374	17
Macaristan	0,5619	0,1022	0,4712	18
Japonya	0,4906	0,1194	0,4777	19
Estonya	0,5885	0,0980	0,4780	20
İsrail	0,5062	0,1194	0,4916	21
Belçika	0,5186	0,1194	0,5026	22
Şili	0,6288	0,0980	0,5138	23
Almanya	0,6069	0,1066	0,5292	24
Polonya	0,6358	0,1022	0,5369	25
Hollanda	0,4741	0,1408	0,5497	26
Portekiz	0,5711	0,1230	0,5640	27
İtalya	0,5886	0,1205	0,5691	28
Avusturya	0,6060	0,1191	0,5789	29
Çek Cumhuriyeti	0,5527	0,1329	0,5876	30
Türkiye	0,6926	0,1205	0,6616	31
Slovenya	0,6521	0,1403	0,7063	32
Letonya	0,6354	0,1442	0,7072	33
Meksika	0,7538	0,1230	0,7266	34
Güney Kore	0,6661	0,1903	0,9220	35

Tablo 20 incelendiğinde; Norveç 0,000 katsayı değeri ile ilk sırada yer almaktadır. Norveç'i 0,0901 katsayı değeri ile İzlanda takip etmektedir. Finlandiya ise 0,1432 katsayı değeri ile üçüncü sıraya yerleşmiştir. Bunun yanında Türkiye, 0,6616 katsayı değeri ile 31. sırada yer bulmuştur.

PBVIKOR sıralama sonuçları, PBTOPSIS sonuçları ile yüksek derecede benzerlik ve uyum göstermektedir. Her iki yaklaşımda da ilk üçte yer alan ülkelerin sıralaması değişmemiştir. Bu durumun oluşmasında, yöntemlerin önerdiği hesaplama algoritmalarının benzerliği etkili olmuştur. Ayrıca bu durum, Pisagor bulanık yöntemlerin ele alınan karar probleminde tutarlı ve gerçeğe uygun sıralama sonuçları oluşturduğunu göstermektedir. Önerilen Pisagor yöntemlerin belirsizliği ve karar vermeyi modelleyebilme güçleri gerçekçi sıralamalar sunmalarına neden olmaktadır.

Tablo 21: Farklı Yöntemler ile Yapılan Karşılaştırmalı Analiz (PBVIKOR)

Ülkeler	Ekonomik			Çevresel			Sosyal		
	Pisagor VIKOR	Bulanık VIKOR	VIKOR	Pisagor VIKOR	Bulanık VIKOR	VIKOR	Pisagor VIKOR	Bulanık VIKOR	VIKOR
ABD	28	33	27	28	29	29	14	15	11
Almanya	16	13	11	9	14	11	24	21	20
Avustralya	22	23	15	8	1	9	7	6	8
Avusturya	18	18	21	10	11	7	29	27	23
Belçika	12	15	20	15	19	14	22	19	21
Çek Cumhuriyeti	5	5	8	22	21	21	30	28	22
Danimarka	14	12	9	11	12	10	5	5	5
Estonya	7	8	7	20	9	23	20	17	28
Finlandiya	17	17	17	4	4	5	3	3	4
Fransa	30	28	31	14	14	13	12	11	17
Güney Kore	15	16	14	26	30	24	35	35	34
Hollanda	6	4	6	15	19	12	26	31	16
İngiltere	29	27	26	11	12	15	16	16	18
İrlanda	2	2	2	33	33	35	10	10	10
İspanya	34	31	33	17	18	18	15	13	19
İsrail	27	26	22	23	26	20	21	23	13
İsveç	13	11	10	3	5	4	4	2	3
İsviçre	3	3	4	7	10	8	13	12	7
İtalya	33	32	34	25	24	28	28	29	24
İzlanda	11	14	5	2	7	2	2	4	2
Japonya	26	34	24	32	31	31	19	22	27
Kanada	25	24	18	19	2	25	6	9	9
Letonya	21	20	23	31	27	33	33	30	32
Lüksemburg	1	1	1	1	3	1	9	8	6
Macaristan	10	10	19	18	17	16	18	24	25

Tablo 21: (devamı)

Ülkeler	Ekonomik			Çevresel			Sosyal		
	Pisagor VIKOR	Bulanık VIKOR	VIKOR	Pisagor VIKOR	Bulanık VIKOR	VIKOR	Pisagor VIKOR	Bulanık VIKOR	VIKOR
Meksika	20	22	29	35	34	34	34	34	35
Norveç	9	7	3	6	8	3	1	1	1
Polonya	19	19	25	30	28	30	25	26	31
Portekiz	24	21	32	13	16	19	27	18	30
Slovakya	8	6	13	24	23	22	11	14	15
Slovenya	4	9	12	27	25	27	32	33	26
Şili	31	29	28	29	32	26	23	20	29
Türkiye	32	30	30	34	35	32	31	32	33
Yeni Zelanda	23	25	16	5	6	6	8	7	12
Yunanistan	35	35	35	21	22	17	17	25	14

Tablo 21'den ekonomik boyutta oluşan sıralamalar incelendiğinde; Lüksemburg tüm çözüm yaklaşımlarında en iyi alternatif olarak karşımıza çıkmaktadır. Aynı şekilde İrlanda, tüm yaklaşımlarda 2. sıradaki en iyi alternatif olmuştur. İsviçre ise, klasik çözüm dışında sıralamasını korumuştur. Yunanistan ise; bulanık VIKOR ve klasik VIKOR çözümünde en kötü alternatif olarak 35. sırada yer almıştır.

Çevresel boyutta sıralama sonuçları karşılaştırıldığında, Lüksemburg'un bulanık VIKOR sıralamasında üçüncü, klasik VIKOR çözümünde ise ilk sırada olduğu göze çarpmaktadır. Önerilen PBVIKOR yaklaşımı sonucunda 2. sırada yer alan İzlanda, bulanık VIKOR yaklaşımında yedinci, klasik VIKOR yaklaşımında ise aynı sıralamaya sahiptir. Yine 3. sırada yer alan İsveç, bulanık VIKOR ve klasik VIKOR sonucunda sırasıyla beşinci ve dördüncü sırada yer almıştır. Türkiye ise, bulanık VIKOR sıralamasında sonuncu iken, klasik yöntem sonucunda 32. sırada yer almıştır.

Sosyal boyutta ele alınan karşılaştırmalı analizde, PBVIKOR yaklaşımında en iyi alternatif olan Norveç, bulanık VIKOR ve klasik VIKOR yaklaşımında da ilk sırada yer almıştır. Ardından, önerilen yaklaşımda ikinci sırada olan İzlanda, bulanık VIKOR sıralamasında dördüncü olurken klasik VIKOR yaklaşımında mevcut sırasını korumuştur. Önerilen modelde üçüncü konumda bulunan Finlandiya ise, bulanık VIKOR sonucunda sırasını korumuşsa da klasik VIKOR yaklaşımında dördüncü sıraya gerilemiştir. Farklı yöntemler ile oluşturulan tüm sıralamalarda en kötü alternatifin Güney Kore olduğu tespit edilmiştir.

3.8.3. PBMOORA ile Elde Edilen Sürdürülebilirlik Sıralamaları

Bu bölümde, 35 OECD ülkesinin sürdürülebilirlik sıralamaları PBMOORA yöntemi kullanılarak elde edilmiştir. MOORA yöntemi, karar probleminde ele alınan fayda ve maliyet yönlü değişkenlerin oranlanması temeline dayanmaktadır. Analiz öncesinde maliyet yönlü değişkenler en iyi değer en büyük değer olacak şekilde normalize edildiğinden, PBMOORA yöntemi çözümünde tüm değişkenler fayda yönlü olacak şekilde ele alınmıştır. PBMOORA yönteminin temel adımları aşağıda sunulduğu gibidir.

Adım 1: Pisagor bulanık karar matrisinin oluşturulması

PBMOORA yönteminin ilk adımında, yüzde dağılım yardımıyla dilsel ifadelerle dönüştürülen beş yılı kapsayan ülke skorları, Pisagor dönüşüm ölçeği yardımıyla Pisagor bulanık sayılara çevrilmiştir. Ardından elde edilen Pisagor bulanık karar matrisi kullanılarak bir sonraki adıma geçilmiştir.

Adım 2: Ağırlıklı Pisagor bulanık karar matrisinin oluşturulması

Pisagor sayılar ile ifade edilen bulanık karar matrisi elemanları ağırlıklar ile çarpılarak ağırlıklı Pisagor bulanık karar matrisi elde edilmiştir. Örneğin, sosyal boyutta ilk alternatifin ilk değişkeni için hesaplanan değerler aşağıda görülmektedir.

$$\mu_{A1} = \sqrt{1 - (1 - (0,60)^2)^{0,104}} = 0,21$$

$$\nu_{A1} = (0,71)^{0,104} = 0,96$$

$$\pi_{A1} = \sqrt{1 - (0,21)^2 - (0,96)^2} = 0,15$$

Adım 3: Fayda ve maliyet yönlü değerlerin durulaştırılması

Bu adımda, hesaplanan ağırlıklı karar matrisindeki değerler fayda ve maliyet yönlü olmak üzere ele alınmıştır. Çalışmanın başında, ilgili tüm karar değişkenleri en yüksek en iyi şekilde normalize edildiği için yöntem süresince tüm karar değişkenleri fayda yönlü ele alınmıştır. Bu bakımdan, Pisagor bulanık sayılar ile ifade edilen karar matrisi elemanları durulaştırılmıştır. Birinci alternatifin ilk değeri için yapılan hesaplama aşağıda gösterilmiştir.

$$N_{A1} = (0,21)^2 - (0,96)^2 = -0,89$$

Adım 4: Fayda ve maliyet yönlü değişkenlerin toplanması ve sıralama

PBMOORA çözümünün son adımında, toplam fayda değeri hesaplanmıştır. Örneğin, ilk alternatif için hesaplanan toplam fayda değeri (N_{yi}) aşağıda gösterilmiştir.

$$N_{yi} = (-0,89) + (-0,87) + (-0,94) + (-0,91) + (-0,85) + (-0,66) + (-0,89) + (1,00) = -5,0062$$

İlgili değerler, büyükten küçüğe göre sıralanarak en büyük fayda değerine sahip alternatif en iyi alternatif olarak belirlenmiştir. PBMOORA yöntemi sonucunda ekonomik boyut için elde edilen sıralamalar Tablo 22’de sunulmaktadır.

Tablo 22: Ekonomik Boyut İçin PBMOORA Sonuçları

Ülkeler	N_{yi}	Sıralama
Lüksemburg	-1,6252	1
İzlanda	-3,3814	2
Çek Cumhuriyeti	-3,4630	3
Norveç	-4,9105	4
İsviçre	-4,9978	5
İrlanda	-5,0276	6
Güney Kore	-5,3470	7
Estonya	-5,4011	8
Slovenya	-5,4535	9
Japonya	-5,6025	10
Hollanda	-6,9755	11
Danimarka	-7,0349	12
İsveç	-7,0903	13
Almanya	-7,1460	14
Slovakya	-7,1505	15
Yeni Zelanda	-7,1513	16
Avustralya	-7,1972	17
Finlandiya	-7,2071	18
Macaristan	-7,2448	19
Kanada	-7,2723	20
Avusturya	-7,2867	21
Belçika	-7,2912	22
Polonya	-7,2936	23
İsrail	-7,2988	24
Meksika	-7,3435	25
ABD	-7,3527	26
İngiltere	-7,3802	27
Şili	-7,4166	28
Letonya	-7,4300	29
Fransa	-7,4545	30
Türkiye	-7,4805	31
Portekiz	-7,5468	32
İspanya	-7,6300	33
İtalya	-7,6321	34
Yunanistan	-7,8313	35

Tablo 22’de sunulan ekonomik sürdürülebilirlik sıralama sonuçları değerlendirildiğinde; Lüksemburg'un -1,6252 katsayı değeri ile en iyi alternatif olduğu görülmektedir. Lüksemburg'u -3,3814 katsayı değeri ile İzlanda takip etmektedir. Üçüncü sırada -3,4630 katsayı değeri ile Çek Cumhuriyeti görülmektedir. Buna karşın İspanya, İtalya ve Yunanistan sırasıyla en kötü performansa sahip ülkeler olarak tespit edilmiştir. Türkiye, -7,4803 katsayı değeri ile 31. sırada yer almaktadır.

Tablo 23: Çevresel Boyut İçin PBMOORA Sonuçları

Ülkeler	N_{yi}	Sıralama
İzlanda	0,1333	1
İsveç	-1,7057	2
Finlandiya	-1,7466	3
Lüksemburg	-3,4771	4
Yeni Zelanda	-3,5990	5
İsviçre	-3,6508	6
Almanya	-3,7572	7
Kanada	-5,3181	8
Estonya	-5,3648	9
Norveç	-5,3833	10
Avustralya	-5,4526	11
Portekiz	-5,5475	12
Fransa	-5,5753	13
Danimarka	-5,5792	14
İngiltere	-5,5872	15
Avusturya	-5,5982	16
Belçika	-5,6255	17
Hollanda	-5,6255	17
İspanya	-5,6320	19
Macaristan	-5,6336	20
Yunanistan	-5,7293	21
Çek Cumhuriyeti	-5,7513	22
İsrail	-5,8073	23
Slovakya	-7,2888	24
Güney Kore	-7,3813	25
İtalya	-7,3866	26
ABD	-7,4073	27
Slovenya	-7,4113	28
Şili	-7,4615	29
Polonya	-7,4848	30
İrlanda	-7,5652	31
Letonya	-7,6002	32
Japonya	-7,6093	33
Türkiye	-7,6347	34
Meksika	-7,6936	35

Sürdürülebilirliğin çevresel boyutunda oluşan sıralamalar Tablo 23'e dayalı olarak incelendiğinde; en iyi alternatif 0,1333 katsayı değeri ile İzlanda olarak karşımıza çıkmaktadır. İzlanda'yı -1,7057 katsayı değeri ile İsveç izlemektedir. Sıralamada Finlandiya -1,7466 katsayı değeri ile 3. sırada yer almaktadır. Buna karşın, en kötü sıralamaya sahip alternatif ise Meksika olmuştur. Türkiye -7,6347 katsayı değeri ile 34. sırada kendine yer bulmuştur.

Tablo 24: Sosyal Boyut İçin PBMOORA Sonuçları

Ülkeler	N_{yi}	Sıralama
İzlanda	2,2976	1
Norveç	0,7983	2
Finlandiya	-1,1114	3
Lüksemburg	-2,5227	4
İsviçre	-2,8007	5
Danimarka	-2,8613	6
Japonya	-2,9895	7
Kanada	-3,0290	8
Yunanistan	-3,2159	9
Slovakya	-3,2441	10
İsveç	-4,0850	11
Yeni Zelanda	-4,5625	12
İrlanda	-4,5897	13
Avustralya	-4,5928	14
Fransa	-4,6349	15
İngiltere	-4,7911	16
Hollanda	-4,8162	17
Macaristan	-4,8704	18
ABD	-5,0062	19
İsrail	-5,0180	20
Çek Cumhuriyeti	-5,1367	21
Belçika	-6,2692	22
İspanya	-6,2729	23
İtalya	-6,5254	24
Portekiz	-6,5424	25
Estonya	-6,6043	26
Avusturya	-6,6349	27
Almanya	-6,7010	28
Letonya	-6,7827	29
Şili	-6,7909	30
Güney Kore	-6,8120	31
Polonya	-6,8310	32
Slovenya	-6,8322	33
Türkiye	-6,9701	34
Meksika	-7,1007	35

Tablo 24 incelendiğinde, sosyal boyutta en iyi alternatifin 2,2976 değeri ile İzlanda olduğu anlaşılmaktadır. İzlanda'yı 0,7983 değeri ile Norveç takip etmektedir. Finlandiya ise -1,1114 değeri ile 3. sıradaki ülke olmuştur. Meksika son sırada yer alırken, Türkiye ise 34. sırada yer bulmuştur.

Tablo 25: Farklı Yöntemler ile Yapılan Karşılaştırmalı Analiz (PBMOORA)

Ülkeler	Ekonomik			Çevresel			Sosyal		
	Pisagor MOORA	Bulanık MOORA	MOORA	Pisagor MOORA	Bulanık MOORA	MOORA	Pisagor MOORA	Bulanık MOORA	MOORA
ABD	26	26	27	27	29	22	19	18	17
Almanya	14	10	10	7	14	12	28	25	24
Avustralya	17	16	15	11	4	10	14	9	8
Avusturya	21	20	16	16	11	8	27	28	27
Belçika	22	22	20	17	19	15	22	14	16
Çek Cumhuriyeti	3	6	9	22	21	23	21	26	30
Danimarka	12	9	6	14	12	11	6	6	5
Estonya	8	10	11	9	9	20	26	23	23
Finlandiya	18	15	19	3	1	5	3	4	6
Fransa	30	27	28	13	15	14	15	12	11
Güney Kore	7	14	13	25	30	27	31	33	33
Hollanda	11	5	4	17	19	13	17	21	19
İngiltere	27	24	25	15	12	16	16	16	14
İrlanda	6	2	2	31	33	33	13	11	10
İspanya	33	33	32	19	18	17	23	13	12
İsrail	24	21	22	23	26	28	20	20	21
İsveç	13	8	7	2	3	4	11	3	2
İsviçre	5	3	3	6	10	9	5	8	7
İtalya	34	34	34	26	24	24	24	27	28
İzlanda	2	7	8	1	7	1	1	2	3
Japonya	10	30	26	33	31	31	7	17	15
Kanada	20	17	18	8	6	7	8	7	13
Letonya	29	25	24	32	27	32	29	31	29
Lüksemburg	1	1	1	4	2	2	4	5	4
Macaristan	19	19	17	20	17	19	18	24	25
Meksika	25	28	29	35	34	35	35	35	35
Norveç	4	4	5	10	8	3	2	1	1
Polonya	23	23	23	30	28	30	32	30	31
Portekiz	32	29	31	12	16	18	25	22	22
Slovakya	15	12	12	24	23	26	10	15	18
Slovenya	9	13	14	28	25	25	33	32	32
Şili	28	31	30	29	32	29	30	29	26
Türkiye	31	32	33	34	35	34	34	34	34
Yeni Zelanda	16	18	21	5	5	6	12	10	9
Yunanistan	35	35	35	21	22	21	9	19	20

Karar problemi PBMOORA yöntemi ile çözüldükten sonra elde edilen sonuçlar, bulanık MOORA ve klasik MOORA sonuçları ile karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir.

Tablo 25’de sunulan ekonomik boyutta oluşan sıralamalara bakıldığında; Lüksemburg’un tüm sıralamalarda en iyi alternatif olduğu anlaşılmaktadır. Benzer şekilde, İzlanda bulanık MOORA çözümünde yedinci iken; klasik MOORA çözümünde sekizinci konumundadır. Çözümde üçüncü konumda olan Çek Cumhuriyeti, diğer yaklaşımlarda farklı sıralamalara sahiptir. Son olarak, Yunanistan tüm MOORA yaklaşımlarında en kötü sıralamaya sahip ülke iken; Türkiye, tüm çözümlerde son beş arasında yer almaktadır.

Çevresel boyutta ele alınan sıralamalarda, İzlanda’nın bulanık MOORA çözümünde yedinci iken, MOORA çözümünde sıralamasının değişmediği göze çarpmaktadır. Bunun yanında ikinci konumda bulunan İsveç diğer yaklaşımlarda sırasıyla üçüncü ve dördüncü olmuştur. Finlandiya’nın da sıra değerleri kısmi derecede değişmiştir. Son olarak, Meksika tüm yaklaşımlarda en kötü sıraya sahip alternatif iken, Türkiye de benzer performansa sahiptir.

Sosyal boyuta ilişkin sıralamalar incelendiğinde, en iyi alternatif olarak saptanan İzlanda’nın diğer yaklaşımlarda sıralamasının değiştiği görülmektedir. Benzer durumda, ikinci konumda olan Norveç diğer yöntemlerde ilk sırada yer almıştır. Buna karşın, en kötü performansa sahip olan Meksika’nın bulanık MOORA ve klasik MOORA yaklaşımında sıralaması değişmemiştir.

3.9. Borda Sayım Tekniği ile Sıralama Sonuçlarının Birleştirilmesi

Ekonomik, çevresel ve sosyal boyutlarda ele alınan sürdürülebilirlik ölçümünde, oluşan sıralamalar Borda sayım tekniği yardımıyla birleştirilerek rasyonel tek bir sıralama sonucu elde edilmiştir. Uygulamadaki basitliği ve etkili bir puanlama yöntemi olması nedeniyle Borda sayım tekniği ÇKKV problemlerinde sıklıkla kullanılan bir sıra birleştirme tekniğidir (Ho vd., 1992). Ekonomik, çevresel ve sosyal boyutlarda çözülen PBTOPSIS yöntemi sonucunda oluşturulan nihai sıralama sonuçları Tablo 26’da sergilenmektedir.

Tablo 26: Borda Tekniği ile Birleştirilmiş Nihai Sıralamalar (PBTOPSIS)

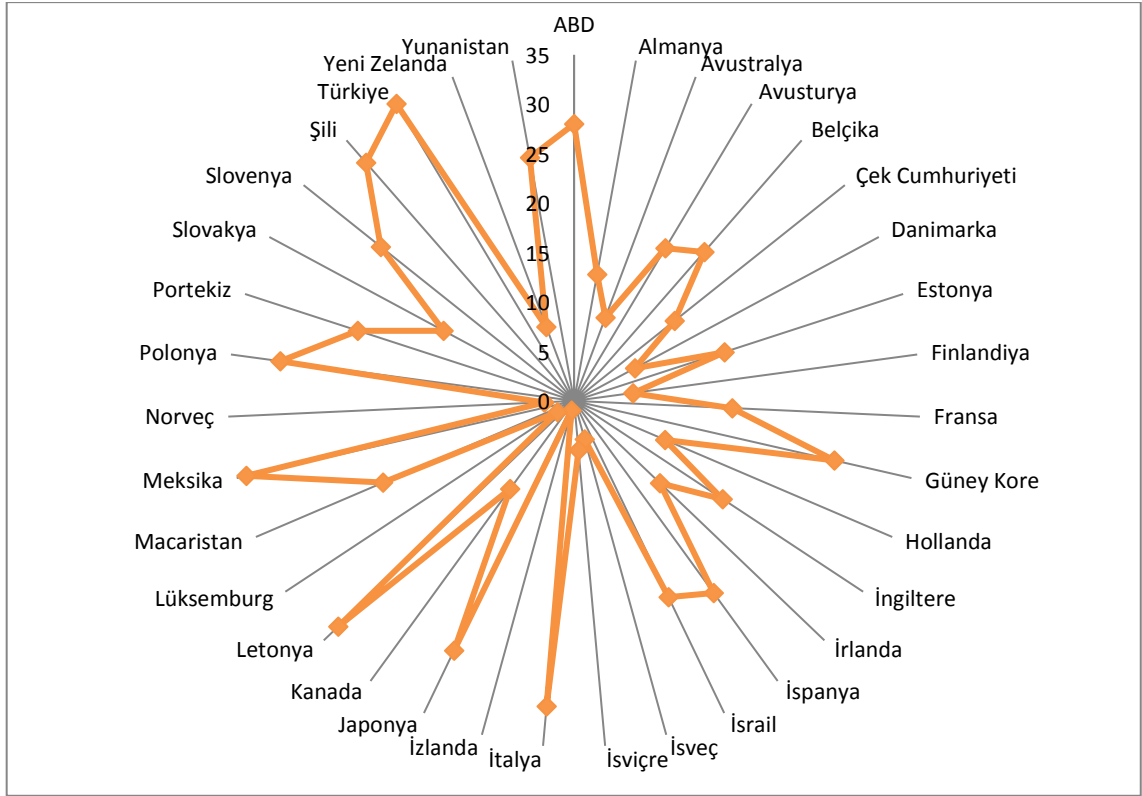
Ülkeler	Ekonomik	Çevresel	Sosyal	Borda	Sıra
İzlanda	5	1	2	97	1
Lüksemburg	1	2	6	96	2
Norveç	3	6	1	95	3
İsveç	8	3	4	90	4
İsviçre	4	7	8	86	5
Finlandiya	17	4	3	81	6
Danimarka	9	11	5	80	7

Tablo 26: (devamı)

Ülkeler	Ekonomik	Çevresel	Sosyal	Borda	Sıra
Yeni Zelanda	16	5	10	74	8
Avustralya	15	8	9	73	9
Hollanda	7	15	15	68	10
Kanada	19	19	7	60	11
İrlanda	2	33	11	59	12
Almanya	13	9	28	55	13
Çek Cumhuriyeti	6	22	22	55	13
Slovakya	14	24	13	54	15
Estonya	10	20	25	50	16
Fransa	29	14	12	50	16
Avusturya	20	10	27	48	18
İngiltere	27	13	17	48	18
Belçika	22	15	21	47	20
Macaristan	18	18	23	46	21
İsrail	21	23	20	41	22
Portekiz	31	12	24	38	23
İspanya	33	17	18	37	24
Slovenya	12	26	32	35	25
Yunanistan	35	21	14	35	25
Güney Kore	11	27	33	34	27
ABD	25	28	19	33	28
Japonya	24	32	16	33	28
Polonya	23	29	30	23	30
İtalya	34	25	26	20	31
Şili	30	30	29	16	32
Letonya	28	31	31	15	33
Meksika	26	35	35	9	34
Türkiye	32	34	34	5	35

PBTOPSIS yöntemi kullanılarak her bir boyut için elde edilen sıralama sonuçları Borda sayım tekniği yardımıyla bütünleştirilerek rasyonel tek bir sürdürülebilirlik sıralaması elde edilmiştir. Tablo 26'ya göre ülkelerin elde ettiği Borda skorları incelendiğinde, 97 Borda skoru ile İzlanda'nın en iyi alternatif olduğu göze çarpmaktadır. Lüksemburg 96 Borda skoru ile ikinci, Norveç 95 Borda skoru ile üçüncü konumdadır. Son sıralarda yer alan üç ülke sırasıyla; Letonya, Meksika ve en kötü sıralamaya sahip ülke Türkiye şeklindedir. Elde edilen nihai sıralama sonuçları Grafik 1'de görsel olarak sergilenmektedir.

Grafik 1: PBTOPSIS İçin Borda Sıralamaları



Grafik 1 incelendiğinde; İzlanda, Lüksemburg ve Norveç'in üst sıralarda yer aldığı görülmektedir. Buna karşın Letonya, Meksika ve Türkiye son sıralarda yer alan ülkelerdir. PBVIKOR yöntemi sonucunda oluşturulan nihai sıralamalar ise Tablo 27'de sunulmuştur.

Tablo 27: Borda Tekniği ile Birleştirilmiş Nihai Sıralamalar (PBVIKOR)

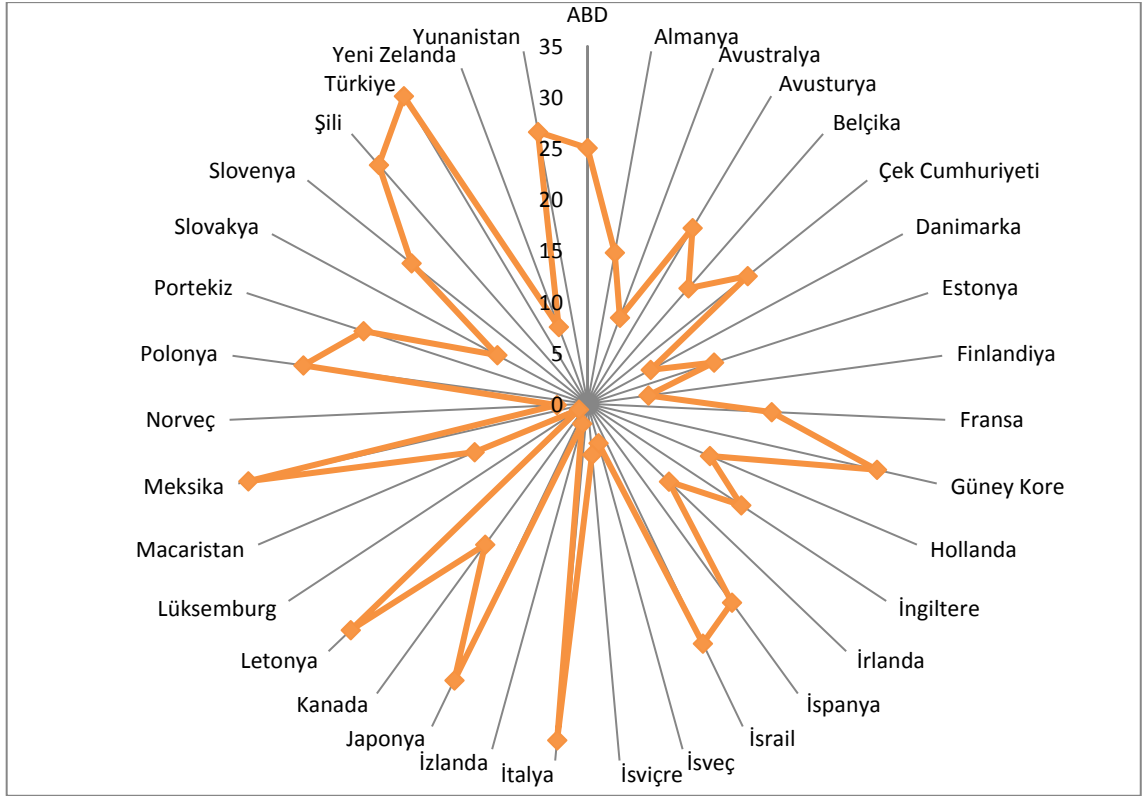
Ülkeler	Ekonomik	Çevresel	Sosyal	Borda	Sıra
Lüksemburg	1	1	9	94	1
İzlanda	11	2	2	90	2
Norveç	9	6	1	89	3
İsveç	13	3	4	85	4
İsviçre	3	7	13	82	5
Finlandiya	17	4	3	81	6
Danimarka	14	11	5	75	7
Yeni Zelanda	23	5	8	69	8
Avustralya	22	8	7	68	9
Slovakya	8	24	11	62	10
İrlanda	2	33	10	60	11
Macaristan	10	18	18	59	12
Estonya	7	20	20	58	13
Hollanda	6	15	26	58	13

Tablo 27: (devamı)

Ülkeler	Ekonomik	Çevresel	Sosyal	Borda	Sıra
Almanya	16	9	24	56	15
Belçika	12	15	22	56	15
Kanada	25	19	6	55	17
Fransa	30	14	12	49	18
İngiltere	29	11	16	49	18
Avusturya	18	10	29	48	20
Çek Cumhuriyeti	5	22	30	48	20
Slovenya	4	27	32	42	22
Portekiz	24	13	27	41	23
İspanya	34	17	15	39	24
ABD	28	28	14	35	25
İsrail	27	23	21	34	26
Yunanistan	35	21	17	32	27
Polonya	19	30	25	31	28
Güney Kore	15	26	35	29	29
Japonya	26	32	19	28	30
Şili	31	29	23	22	31
Letonya	21	31	33	20	32
İtalya	33	25	28	19	33
Meksika	20	35	34	16	34
Türkiye	32	34	31	8	35

Tablo 27 aracılığıyla Borda tekniği ile bütünleştirilmiş sıralama sonuçları incelendiğinde; Lüksemburg'un sürdürülebilirliğin üç temel boyutunda 94 Borda skoru ile en iyi alternatif olduğu görülmektedir. Lider ülkeyi toplam 90 Borda skoru ile İzlanda takip etmektedir. Derecelendirmede üçüncü sırayı ise 89 borda skoru ile Norveç almaktadır. Ayrıca İtalya, Meksika ve Türkiye sırasıyla, sürdürülebilirlik performansları en düşük olan ülkeler olarak bulunmuştur. PBVIKOR yöntemi kullanılarak oluşturulan nihai sıralamalar Grafik 2'deki radar diyagram aracılığıyla sunulmaktadır.

Grafik 2: PBVIKOR İçin Borda Sıralamaları



Grafik 2’de sunulan diyagramdan görüldüğü üzere, PBVIKOR sonucu oluşan sıralamalarda Lüksemburg, İzlanda ve Norveç gibi ülkelerin üst sıraları paylaştığı görülmektedir. Buna karşın İtalya, Meksika ve Türkiye en düşük performansa sahip ülkeler olarak tespit edilmiştir. PBMOORA yöntemi sonucunda oluşturulan nihai sıralamalar Tablo 28’de sunulmuştur.

Tablo 28: Borda Tekniği ile Birleştirilmiş Nihai Sıralamalar (PBMOORA)

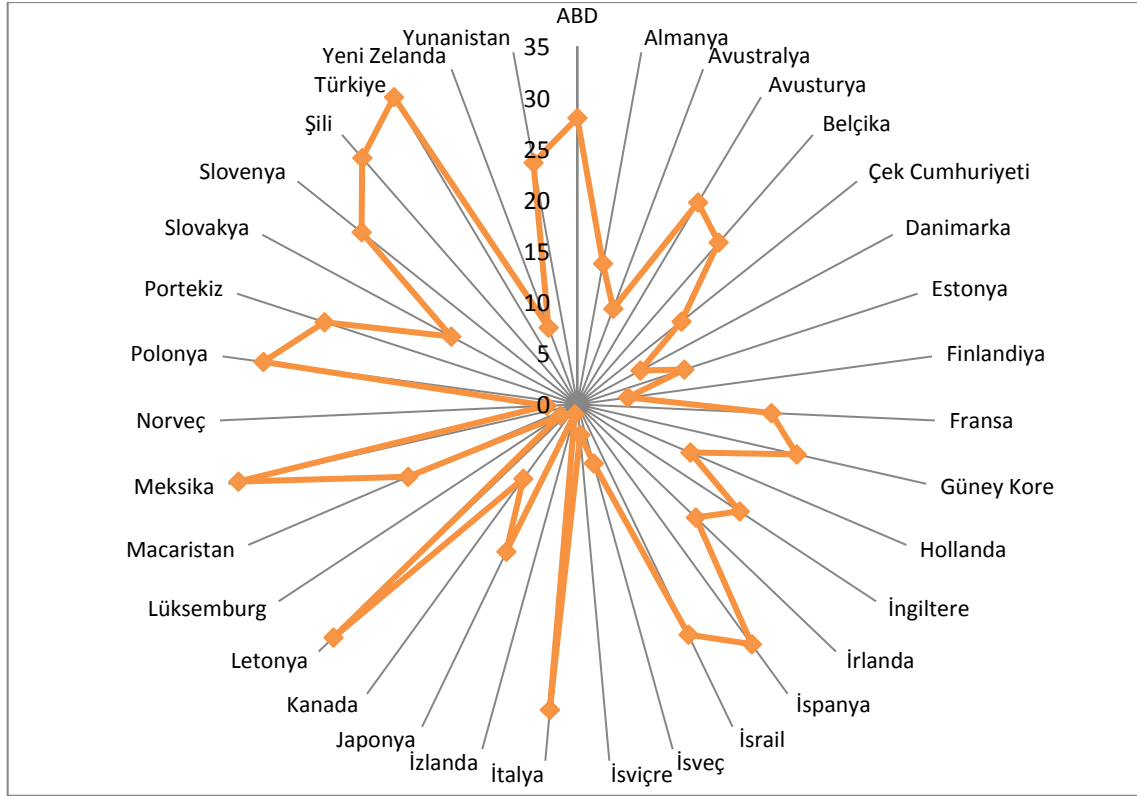
Ülkeler	Ekonomik	Çevresel	Sosyal	Borda	Sıra
İzlanda	2	1	1	101	1
Lüksemburg	1	4	4	96	2
İsviçre	5	6	5	89	3
Norveç	4	10	2	89	3
Finlandiya	18	3	3	81	5
İsveç	13	2	11	79	6
Danimarka	12	14	6	73	7
Yeni Zelanda	16	5	12	72	8
Kanada	20	8	8	69	9
Avustralya	17	11	14	63	10
Estonya	8	9	26	62	11
Hollanda	11	17	17	60	12

Tablo 28: (devamı)

Ülkeler	Ekonomik	Çevresel	Sosyal	Borda	Sıra
Çek Cumhuriyeti	3	22	21	59	13
Almanya	14	7	28	56	14
Slovakya	15	24	10	56	14
İrlanda	6	31	13	55	16
Japonya	10	33	7	55	16
Macaristan	19	20	18	48	18
Fransa	30	13	15	47	19
İngiltere	27	15	16	47	19
Belçika	22	17	22	44	21
Güney Kore	7	25	31	42	22
Avusturya	21	16	27	41	23
Yunanistan	35	21	9	40	24
İsrail	24	23	20	38	25
Portekiz	32	12	25	36	26
Slovenya	9	28	33	35	27
ABD	26	27	19	33	28
İspanya	33	19	23	30	29
İtalya	34	26	24	21	30
Polonya	23	30	32	20	31
Şili	28	29	30	18	32
Letonya	29	32	29	15	33
Meksika	25	35	35	10	34
Türkiye	31	34	34	6	35

Tablo 28'den yararlanılarak Borda tekniği ile bütünleştirilmiş sıralama sonuçları incelendiğinde; İzlanda'nın 101 Borda skoru ile en iyi alternatif olduğu görülmektedir. İzlanda'nın ardından 96 Borda skoru ile Lüksemburg ikinci iken, İsviçre ve Norveç üçüncülüğü paylaşan ülkelerdir. Buna karşın, son sıralara bakıldığında sırasıyla; Letonya, Meksika ve Türkiye en kötü performansa sahip ülkeler olarak karşımıza çıkmaktadır. Borda sayım sonucunda elde edilen sıralamaların görsel sunumu Grafik 3'de sergilenmiştir.

Grafik 3: PBMOORA İçin Borda Sıralamaları



Grafik 3'e göre İzlanda, Lüksemburg ve İsviçre ilk üçte yer alan ülkeler olarak karşımıza çıkmaktadır. Letonya, Meksika ve Türkiye ise en kötü performansa sahip olan ülkelerdir. Son olarak, PBTOPSIS, PBVIKOR ve PBMOORA yöntemlerinin sunduğu bütüncül sıralamalar karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Bunun için, ülkelerin sıra değerleri kullanılarak Spearman sıra korelasyon testi gerçekleştirilmiştir. Test sonrası elde edilen değerler Tablo 29'da görülmektedir.

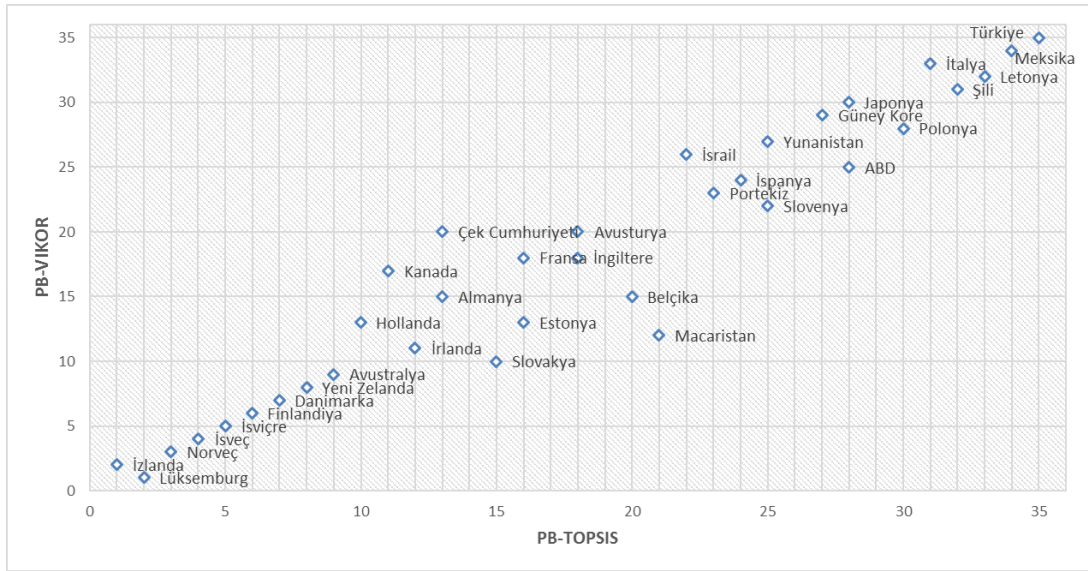
Tablo 29: Spearman Sıra Korelasyon Sonuçları

	PBTOPSIS- PBVIKOR	PBTOPSIS- PBMOORA	PBVIKOR- PBMOORA
Katsayı	0,957	0,955	0,917
N	35	35	35
P değeri	0,000	0,000	0,0000

Tablo 29 incelendiğinde, PBTOPSIS, VIKOR ve MOORA yöntemlerinin sunduğu sıralama sonuçlarının istatistiksel olarak yüksek düzeyde benzerlik gösterdiği dikkat çekmektedir. Önerilen PBTOPSIS yöntemi ile VIKOR yöntemi sonuçları arasında korelasyon katsayısı 0,957 iken, PBMOORA yöntemi sonuçları için bu değer 0,955 düzeyindedir. VIKOR ve MOORA sıralama sonuçları arasında da 0,917 katsayısı ile anlamlı bir benzerlik görülmektedir. Bu durum, yöntemlerin

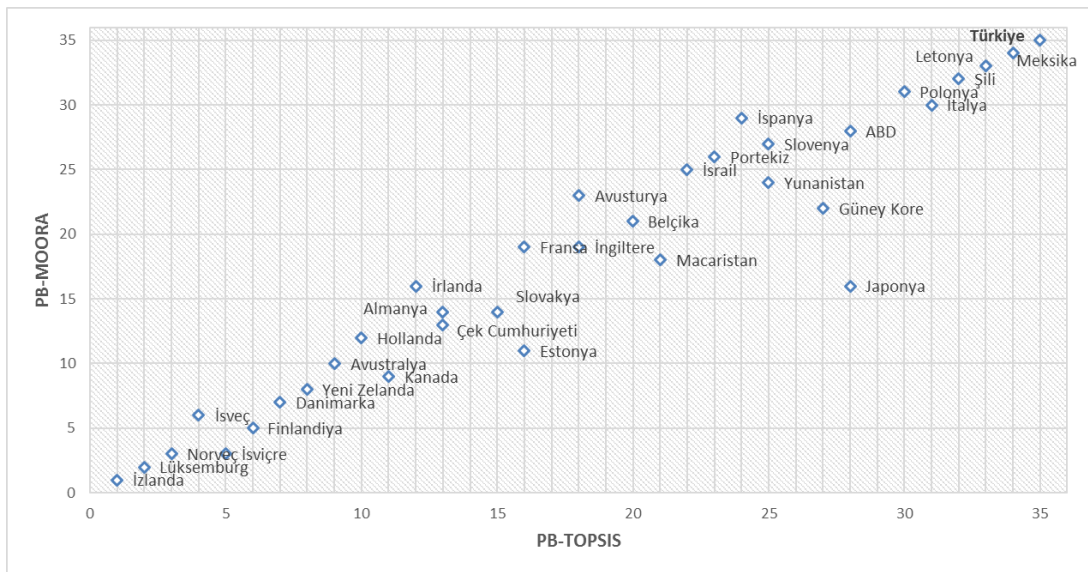
sunduğu sıralama sonuçlarının uyumlu ve güvenilir olduğunu göstermektedir. Ayrıca, önerilen yöntemlerin bütünleşik olarak kullanılması güçlü, ölçülebilir ve tutarlı sonuçlar üretebilmektedir. Korelasyon testi sonrasında, farklı yöntemlerin sunduğu sıralama sonuçlarının dağılımı Grafik 4, Grafik 5 ve Grafik 6 aracılığıyla sunulmaktadır.

Grafik 4: PBTOPSIS ve PBVIKOR İçin Dağılım Grafiği



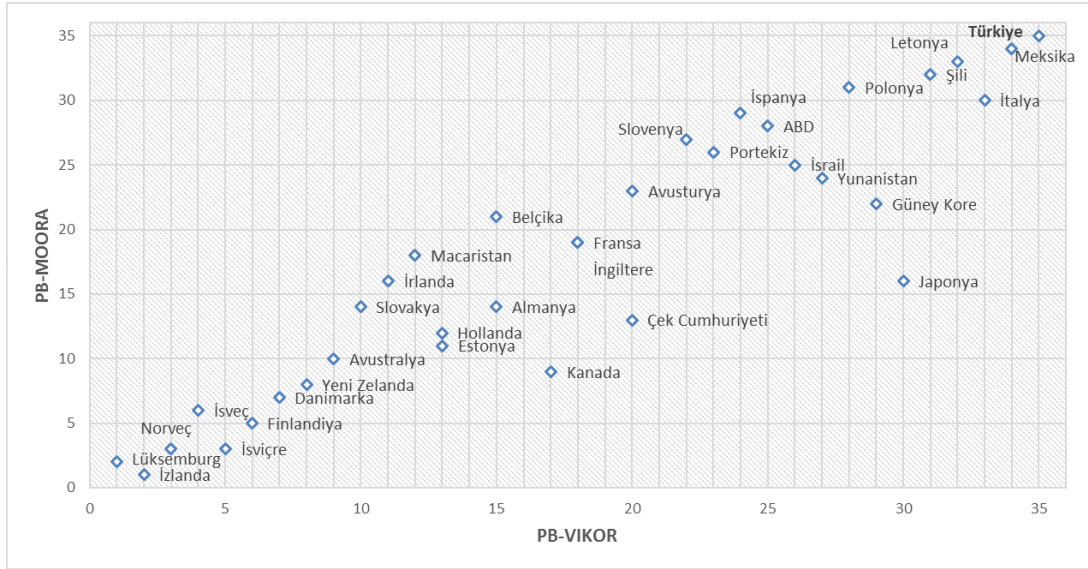
Grafik 4 incelendiğinde, İskandinav ülkelerinin üst sıralarda yer aldığı göze çarpmaktadır. Bunun yanında Almanya, İngiltere ve Kanada gibi ülkelerin ortalama sıra değerlerine sahip olduğu gözlenmektedir. Son sıralarda ise Letonya, Meksika ve Türkiye yer almaktadır.

Grafik 5: PBTOPSIS ve PBMOORA İçin Dağılım Grafiği



Grafik 5 aracılığıyla PBTOPSIS ve MOORA sıralama sonuçlarına bakıldığında, VIKOR yöntemine benzer şekilde İskandinav (İsveç, Norveç, Danimarka) ve Nordik (Finlandiya, İzlanda) ülkelerinin en iyi performans sergileyen ülkeler oldukları görülmektedir. Buna karşın, Letonya, Şili, Meksika ve Türkiye gibi ülkelerin sıralamada en altlarda oldukları dikkat çekmektedir.

Grafik 6: PBVIKOR ve PBMOORA İçin Dağılım Grafiği



Grafik 6 incelendiğinde, PBVIKOR ve MOORA sıralamalarının her ikisinde de İskandinav ve Nordik ülkelerinin üstünlüğü dikkat çekmektedir. Buna karşın İtalya, Letonya, Meksika ve Türkiye, sıralamada kötü performansa sahip ülkeler olmaktadır.

Sonuç olarak, PBK'lerde ele alınan TOPSIS, VIKOR ve MOORA çözümleri sonucunda oluşan nihai sıralamalar yüksek düzeyde benzerlik göstermektedir. Bu durum, farklı yöntemlerin hem çoklu karar problemini uyumlu bir şekilde ele alma becerilerini hem de mantıklı, makul, uyumlu ve rasyonel sonuçlar ürettiklerini ortaya koymaktadır. Bu ve benzeri karar problemlerinde önerilen yöntemlerin bütünlük kullanımı ile kolaylıkla çözüme ulaşabilmek mümkündür.

3.10. Duyarlılık Analizi

Bu adımda, PBTOPSIS, PBVIKOR ve PBMOORA yöntemleri sonucunda oluşan sıralama sonuçlarının duyarlılığı ölçülmüştür. Duyarlılık analizi, değişken ağırlıklarında meydana gelebilecek değişimlerin alternatiflerin sıralama sonuçlarına olası etkisini araştırması açısından önem arz etmektedir. Bu amaca yönelik olarak, literatürde daha önce önerilen farklı PBE yöntemleri (Xue vd., 2017; Yang, 2018; Wan, 2018; Thao, 2019) kullanılarak hem uygulama aşaması zenginleştirilmiş hem de farklı ağırlık belirleme yöntemlerinin kullanımı sağlanarak bir kıyaslama imkânı doğmuş ve değişken ağırlıkları her bir entropi yöntemi kullanılarak yeniden hesaplanmıştır. Ardından, elde

edilen bu ağırlıklar kullanılarak duyarlılık analizi örnek durumları oluşturulmuştur. Böylece olası durumların basit yer değiştirme ile yapılandırılması yerine, belli bir temel ve yaklaşıma dayanarak oluşturulması sağlanmıştır. Duyarlılık analizinde kullanılmak üzere farklı PBE yaklaşımları ile hesaplanan değişken ağırlıkları aşağıdaki Tablo 30’da sunulmaktadır.

Tablo 30: Duyarlılık Analizinde Kullanılan Ağırlıklar

Durumlar	Durum 1	Durum 2	Durum 3	Durum 4	Durum 5	Durum 6	Durum 7
Değişkenler/ Yöntemler	Xue (2017), E_X	Yang (2018), E_{HC}	Yang (2018), E_E	Yang (2018), E_{MinMax}	Wan (2018), E_P	Thao (2019), E_T	Eşit Ağırlık
E1	0,164	0,170	0,150	0,139	0,143	0,160	0,125
E2	0,096	0,076	0,100	0,114	0,107	0,099	0,125
E3	0,154	0,169	0,148	0,138	0,141	0,151	0,125
E4	0,093	0,080	0,102	0,113	0,108	0,096	0,125
E5	0,087	0,072	0,100	0,106	0,106	0,093	0,125
E6	0,122	0,111	0,120	0,125	0,121	0,121	0,125
E7	0,192	0,233	0,174	0,152	0,163	0,185	0,125
E8	0,092	0,090	0,106	0,113	0,111	0,096	0,125
Ç1	0,072	0,051	0,087	0,099	0,089	0,079	0,125
Ç2	0,140	0,126	0,137	0,129	0,125	0,142	0,125
Ç3	0,200	0,241	0,177	0,158	0,178	0,189	0,125
Ç4	0,090	0,076	0,103	0,108	0,102	0,095	0,125
Ç5	0,148	0,176	0,148	0,142	0,156	0,144	0,125
Ç6	0,083	0,055	0,088	0,107	0,093	0,087	0,125
Ç7	0,190	0,221	0,171	0,154	0,168	0,182	0,125
Ç8	0,076	0,054	0,088	0,104	0,090	0,082	0,125
S1	0,109	0,098	0,113	0,120	0,115	0,112	0,125
S2	0,117	0,111	0,121	0,119	0,121	0,119	0,125
S3	0,098	0,080	0,103	0,116	0,107	0,103	0,125
S4	0,125	0,125	0,124	0,129	0,123	0,124	0,125
S5	0,132	0,145	0,134	0,128	0,132	0,131	0,125
S6	0,135	0,146	0,134	0,129	0,133	0,133	0,125
S7	0,113	0,093	0,112	0,120	0,113	0,115	0,125
S8	0,171	0,202	0,158	0,139	0,156	0,163	0,125

Tablo 30’den görüldüğü üzere, farklı entropi yaklaşımlarının kullanımı değişkenlerin göreceli ağırlıklarında kısmi değişimlere yol açmaktadır. Farklı ağırlık belirleme yaklaşımlarının kullanımı, duyarlılık analizi için farklı senaryolar yaratırken, aynı zamanda çalışmada kullanılan yöntemin de uygunluğunu ve güvenilirliğini göstermektedir.

Yukarıdaki tabloda görülen ağırlıklar kullanılarak PBTOPSIS, PBVIKOR ve PBMOORA yöntemleri çözümü yeniden gerçekleştirilmiştir. Her boyutta elde edilen sıralamalar Borda tekniği

ile birleştirilip nihai sıralama sonuçları elde edilmiştir. Farklı ağırlıklar kullanılarak PBTOPSIS ile çözülen karar problemi sonucunda oluşan yeni sıralamalar aşağıdaki tabloda gösterilmektedir.

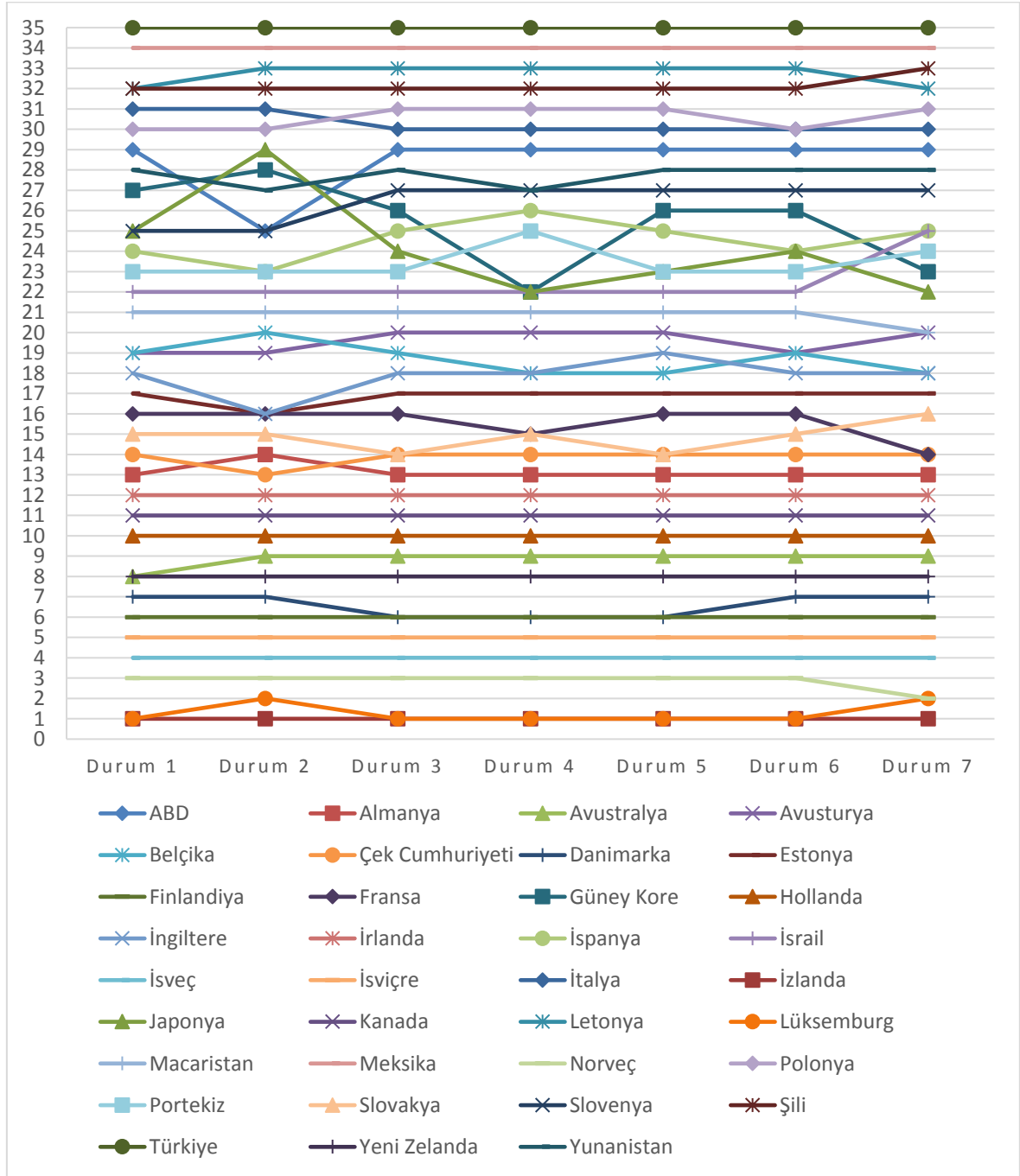
Tablo 31: PBTOPSIS Duyarlılık Analizi Sonuçları

Ülkeler	Durum 1	Durum 2	Durum 3	Durum 4	Durum 5	Durum 6	Durum 7
ABD	29	25	29	29	29	29	29
Almanya	13	14	13	13	13	13	13
Avustralya	8	9	9	9	9	9	9
Avusturya	19	19	20	20	20	19	20
Belçika	19	20	19	18	18	19	18
Çek Cumhuriyeti	14	13	14	14	14	14	14
Danimarka	7	7	6	6	6	7	7
Estonya	17	16	17	17	17	17	17
Finlandiya	6	6	6	6	6	6	6
Fransa	16	16	16	15	16	16	14
Güney Kore	27	28	26	22	26	26	23
Hollanda	10	10	10	10	10	10	10
İngiltere	18	16	18	18	19	18	18
İrlanda	12	12	12	12	12	12	12
İspanya	24	23	25	26	25	24	25
İsrail	22	22	22	22	22	22	25
İsveç	4	4	4	4	4	4	4
İsviçre	5	5	5	5	5	5	5
İtalya	31	31	30	30	30	30	30
İzlanda	1	1	1	1	1	1	1
Japonya	25	29	24	22	23	24	22
Kanada	11	11	11	11	11	11	11
Letonya	32	33	33	33	33	33	32
Lüksemburg	1	2	1	1	1	1	2
Macaristan	21	21	21	21	21	21	20
Meksika	34	34	34	34	34	34	34
Norveç	3	3	3	3	3	3	2
Polonya	30	30	31	31	31	30	31
Portekiz	23	23	23	25	23	23	24
Slovakya	15	15	14	15	14	15	16
Slovenya	25	25	27	27	27	27	27
Şili	32	32	32	32	32	32	33
Türkiye	35	35	35	35	35	35	35
Yeni Zelanda	8	8	8	8	8	8	8
Yunanistan	28	27	28	27	28	28	28

Tablo 31'den sıralamalar genel itibariyle incelendiğinde, değişkenlere atanan farklı ağırlıkların mevcut sıralama sonuçlarını çok da değiştirmedeği görülmektedir. Tüm durumlarda, sıralamalarda

en iyi performansa sahip 10 ülkenin yeri hiç değişmemiştir. Dolayısıyla, önerilen yöntem sonuçları ağırlıklarda meydana gelebilecek değişimler karşısında sağlam, tutarlı ve uygulanabilir sonuçlar vermektedir. Sıralamalarda meydana gelen kısmi değişiklikler aşağıda sunulan Grafik 7 yardımıyla izlenebilir.

Grafik 7: Duyarlılık Analizi Sonuçları (PBTOPSIS)



Grafik 7'ye göre, tüm durumlarda İzlanda, Lüksemburg ve Norveç ilk sıradadır. Letonya, Meksika ve Türkiye ise, son sıraları paylaşan ülkelerdir. Görüldüğü üzere, sıralama sonuçları

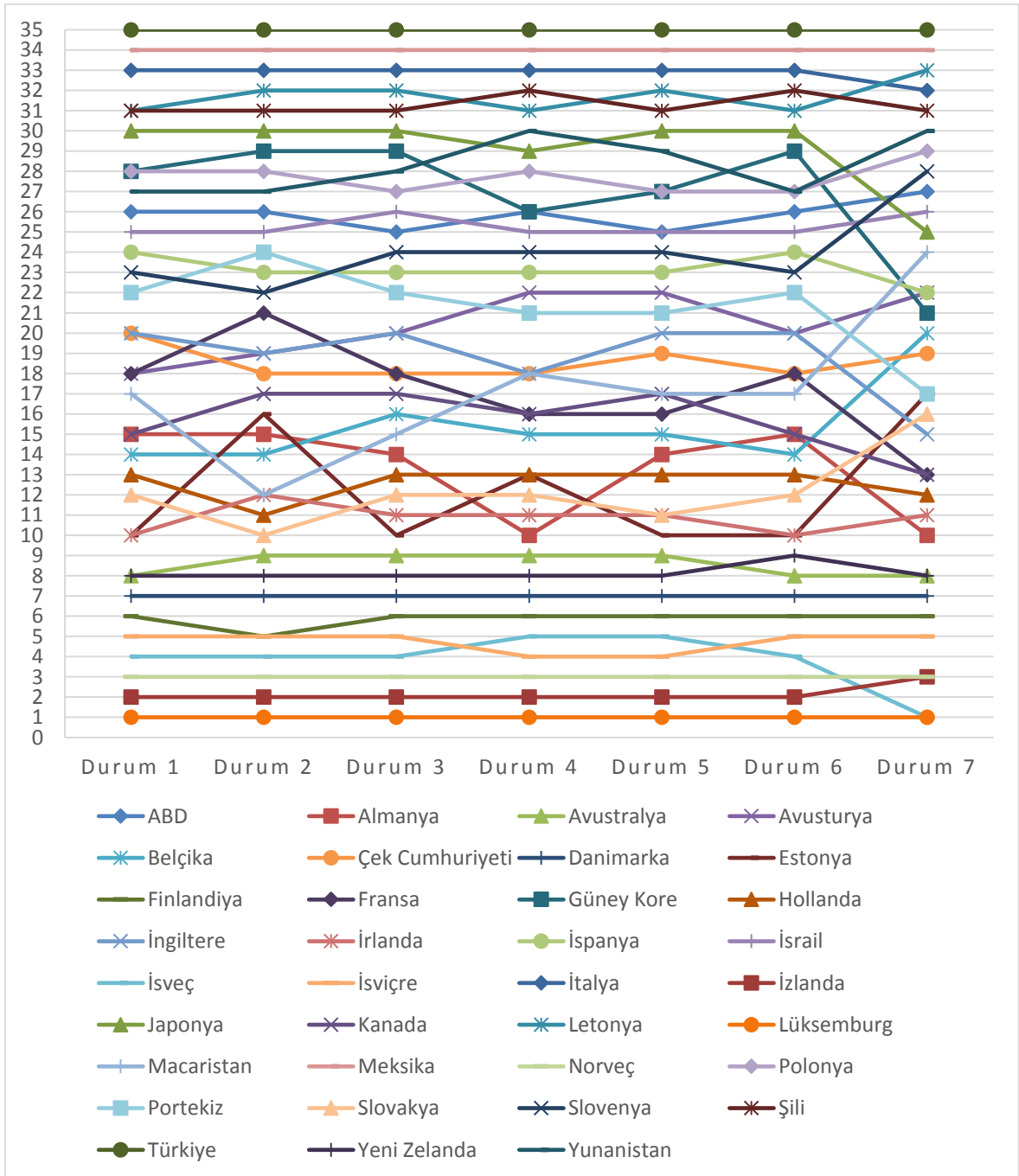
ağırlıklar değişse bile kısmi düzeyde değişmektedir. Bu durum, uygulanan yöntemin ağırlıklarda meydana gelebilecek değişimlere karşı dirençli olduğunu göstermektedir. PBTOPSIS sonrasında, VIKOR yöntemi için gerçekleştirilen duyarlılık analizi sonuçları Tablo 32’de sunulmaktadır.

Tablo 32: PBVIKOR Duyarlılık Analizi Sonuçları

Ülkeler	Durum 1	Durum 2	Durum 3	Durum 4	Durum 5	Durum 6	Durum 7
ABD	26	26	25	26	25	26	27
Almanya	15	15	14	10	14	15	10
Avustralya	8	9	9	9	9	8	8
Avusturya	18	19	20	22	22	20	22
Belçika	14	14	16	15	15	14	20
Çek Cumhuriyeti	20	18	18	18	19	18	19
Danimarka	7	7	7	7	7	7	7
Estonya	10	16	10	13	10	10	17
Finlandiya	6	5	6	6	6	6	6
Fransa	18	21	18	16	16	18	13
Güney Kore	28	29	29	26	27	29	21
Hollanda	13	11	13	13	13	13	12
İngiltere	20	19	20	18	20	20	15
İrlanda	10	12	11	11	11	10	11
İspanya	24	23	23	23	23	24	22
İsrail	25	25	26	25	25	25	26
İsveç	4	4	4	5	5	4	1
İsviçre	5	5	5	4	4	5	5
İtalya	33	33	33	33	33	33	32
İzlanda	2	2	2	2	2	2	3
Japonya	30	30	30	29	30	30	25
Kanada	15	17	17	16	17	15	13
Letonya	31	32	32	31	32	31	33
Lüksemburg	1	1	1	1	1	1	1
Macaristan	17	12	15	18	17	17	24
Meksika	34	34	34	34	34	34	34
Norveç	3	3	3	3	3	3	3
Polonya	28	28	27	28	27	27	29
Portekiz	22	24	22	21	21	22	17
Slovakya	12	10	12	12	11	12	16
Slovenya	23	22	24	24	24	23	28
Şili	31	31	31	32	31	32	31
Türkiye	35	35	35	35	35	35	35
Yeni Zelanda	8	8	8	8	8	9	8
Yunanistan	27	27	28	30	29	27	30

Tablo 32 aracılığıyla sıralama sonuçları incelendiğinde, değişken ağırlıkları farklılaştığında, sıralama sonuçlarında anlamlı bir değişiklik meydana gelmediği görülmektedir. PBVIKOR sıralamasında ilk 5 sırayı oluşturan ülkeler, farklı ağırlıklar ile oluşturulan sıralamalarda dahi pozisyonlarını korumaktadırlar. Bu durum, VIKOR yönteminin sağlam, dirençli ve uygulanabilir sıralama sonuçları sunduğunu kanıtlamaktadır. Duyarlılık analizi sonrasında VIKOR sıralamalarında meydana gelen değişimler aşağıdaki Grafik 8 aracılığıyla ayrıca izlenebilir.

Grafik 8: Duyarlılık Analizi Sonuçları (PBVIKOR)



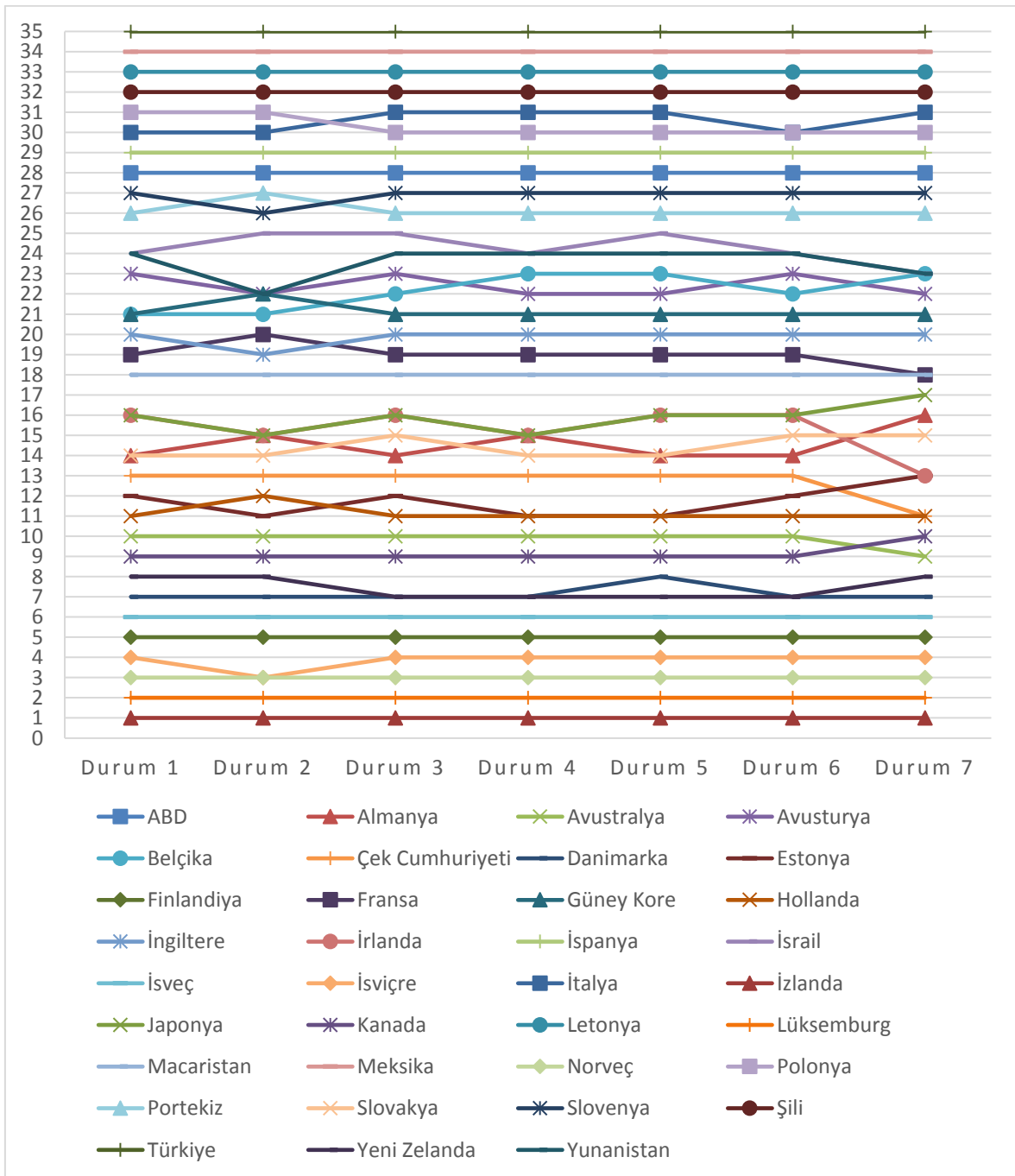
Grafik 8'e göre, PBVIKOR sonuçları PBTOPSIS sıralama sonuçlarına kıyasla daha fazla sapma içermektedir. Ağırlıklar değiştiğinde sıralaması en çok değişen ülke Güney Kore'dir. Son olarak, PBMOORA yöntemi sonucunda oluşan sıralamalara dair gerçekleştirilen duyarlılık analizi sonuçları Tablo 33'de sunulmaktadır.

Tablo 33: PBMOORA Duyarlılık Analizi Sonuçları

Ülkeler	Durum 1	Durum 2	Durum 3	Durum 4	Durum 5	Durum 6	Durum 7
ABD	28	28	28	28	28	28	28
Almanya	14	15	14	15	14	14	16
Avustralya	10	10	10	10	10	10	9
Avusturya	23	22	23	22	22	23	22
Belçika	21	21	22	23	23	22	23
Çek Cumhuriyeti	13	13	13	13	13	13	11
Danimarka	7	7	7	7	8	7	7
Estonya	12	11	12	11	11	12	13
Finlandiya	5	5	5	5	5	5	5
Fransa	19	20	19	19	19	19	18
Güney Kore	21	22	21	21	21	21	21
Hollanda	11	12	11	11	11	11	11
İngiltere	20	19	20	20	20	20	20
İrlanda	16	15	16	15	16	16	13
İspanya	29	29	29	29	29	29	29
İsrail	24	25	25	24	25	24	23
İsveç	6	6	6	6	6	6	6
İsviçre	4	3	4	4	4	4	4
İtalya	30	30	31	31	31	30	31
İzlanda	1	1	1	1	1	1	1
Japonya	16	15	16	15	16	16	17
Kanada	9	9	9	9	9	9	10
Letonya	33	33	33	33	33	33	33
Lüksemburg	2	2	2	2	2	2	2
Macaristan	18	18	18	18	18	18	18
Meksika	34	34	34	34	34	34	34
Norveç	3	3	3	3	3	3	3
Polonya	31	31	30	30	30	30	30
Portekiz	26	27	26	26	26	26	26
Slovakya	14	14	15	14	14	15	15
Slovenya	27	26	27	27	27	27	27
Şili	32	32	32	32	32	32	32
Türkiye	35	35	35	35	35	35	35
Yeni Zelanda	8	8	7	7	7	7	8
Yunanistan	24	22	24	24	24	24	23

Tablo 33'den görüldüğü üzere, PBMOORA sıralama sonuçlarında önemli bir değişiklik olmadığı görülmektedir. Karar probleminde ele alınan değişkenlerin ağırlıkları değişse bile, yöntemin sunduğu sıralamalar değişmemiştir. Hali hazırda üst sıralarda yer alan ülkeler, duyarlılık analizi sonucunda mevcut konumlarını korumaktadırlar. Bu bakımdan, PBMOORA yönteminin güvenilir ve esnek sonuçlar ürettiğini söylemek mümkündür. Duyarlılık analizi sonucunda alternatiflerin sıralamalarında meydana gelen değişimler Grafik 9 aracılığıyla ayrıca izlenebilir.

Grafik 9: Duyarlılık Analizi Sonuçları (PBMOORA)



Grafik 9'dan anlaşılacağı üzere; ülke sıralamalarında çok az değişim meydana gelmiştir. En iyi beş ülkenin sıralaması, farklı ağırlıkların kullanımında bile neredeyse hiç değişmemiştir. Oluşturulan farklı durumlarda alternatifler benzer sıralama sonuçlarına sahiptir.

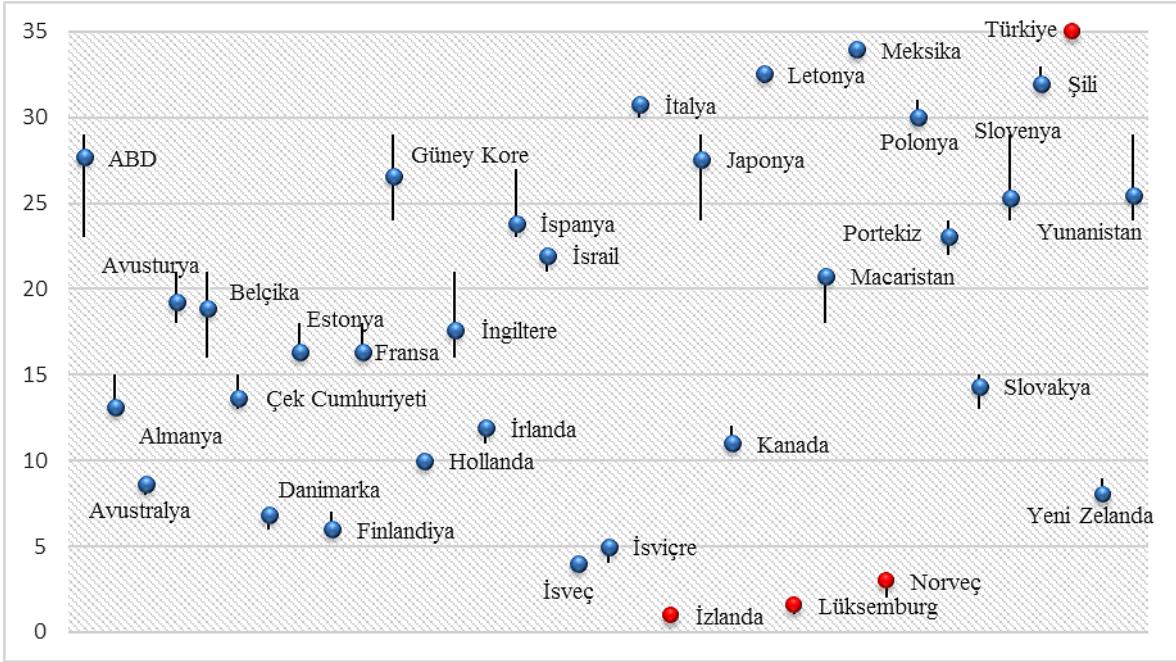
Deneysel uygulamaların ikinci adımında, sıralamalardaki değişim Monte Carlo simülasyonu ile test edilmiştir. Duyarlılık analizine ek olarak Monte Carlo simülasyonu sıralama sonuçlarındaki değişimi izlemek açısından önem arz etmektedir (Sachs vd., 2020). Simülasyonlar, Microsoft Excel üzerinde istatistiksel bir eklenti (SDI Araçları) kullanılarak oluşturulmuştur. Monte Carlo simülasyonlarında temel amaç, girdi değişkenlerinin çıktı değişkenlerine olası etkisini araştırmaktır. Simülasyon öncesi girdi değişkenleri PBE ile elde edilen değişken ağırlıklarıdır. Çıktı değişkenleri ise, her bir ülkenin nihai sıralama sonucudur. Girdi ve çıktılar programa tanıttıldıktan sonra 1000 ağırlık seti içeren Monte Carlo simülasyonu çalıştırılmıştır. Oluşan sonuç raporunda, farklı ağırlık setlerinin kullanımında sıralamalardaki değişimin izlenmesini sağlayan çıktılar üretilmektedir (Kannan vd., 2020). Ayrıca, ülke sıralamalarındaki değişimin toplam varyansı üzerinden değişkenler analiz edilmektedir. Bu durum, sıralamaları belli düzeyde sapan ülkeler için önemli olan değişkenlerin tespit edilmesini sağlamaktadır. Yapılan Monte Carlo simülasyonu, ülkelerin ağırlıklardaki değişime karşı ne derece dirençli olduğunu göstermesi ve ülkeler için önemli değişkenleri ortaya koyması nedeniyle çalışmaya önemli katkılar sunmaktadır. Monte Carlo simülasyonu sonucunda bazı ülkeler için en önemli değişkenler aşağıdaki tabloda özetlenmiştir.

Tablo 34: Simülasyon Sonucunda Tespit Edilen Değişkenler

Ülkeler	Önemli Değişkenler
ABD	CO2 emisyonu, su kaynaklarına erişim, nüfus yoğunluğu
Almanya	Gelir dağılımı, okullaşma oranı, nüfus yoğunluğu,
Fransa	CO2 emisyonu, hava kalitesi, nüfus yoğunluğu
Güney Kore	CO2 emisyonu, hava kalitesi, verem vaka oranı
İngiltere	Okullaşma oranı, nüfus yoğunluğu, verem vaka oranı
İspanya	Enerji tüketimi, hava kalitesi, internet kullanıcı sayısı
İtalya	Doğrudan yabancı yatırımlar, merkezi yönetim borcu, internet kullanıcı sayısı
Şili	Bebek ölüm hızı, nüfus yoğunluğu, verem vaka oranı

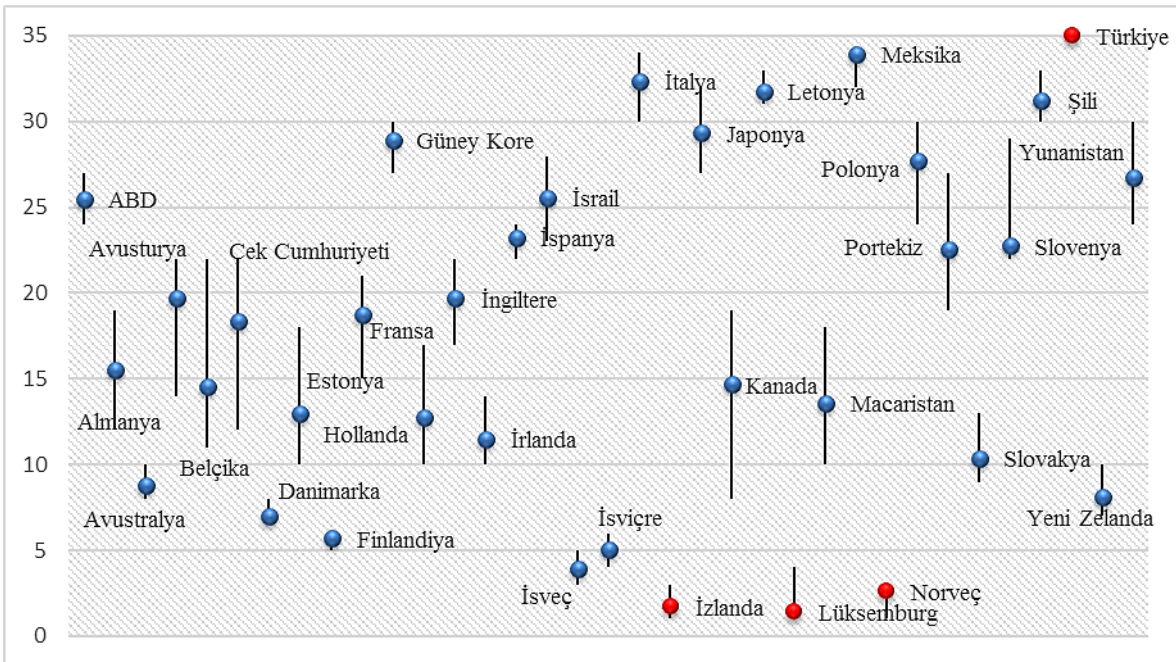
Tablo 34'den görüldüğü üzere ekonomik boyutta, doğrudan yabancı yatırımlar, merkezi yönetim borçları belirleyici olurken, çevresel boyutta CO2 emisyonu, su kaynaklarına erişim ve hava kalitesi değişkenleri ilgili ülkelerde kritik öneme sahiptir. Buna karşın, nüfus yoğunluğu, okullaşma oranı ve gelir dağılımı değişkenleri sosyal boyutta öne çıkan önemli değişkenlerdir. Buradaki temel amaç, ağırlıkların değiştirildiği durumlarda sıralamaların ne derece değiştiğinin gözlemlenmesidir. Monte Carlo aracılığıyla, PBE yöntemi ile hesaplanan değişken ağırlıklarının aşağı veya yukarı yönlü %10 oranında değiştiği varsayılmıştır. Analiz sonucunda her bir ülke için sıralamadaki değişimler tespit edilmiştir. PBTOPSIS için gerçekleştirilen simülasyon sonuçları aşağıdaki Grafik 10'da görülmektedir.

Grafik 10: Monte Carlo Simülasyonu Sonucunda Oluşan Sıralamalar (PBTOPSIS)



Yukarıdaki Grafik 10 incelendiğinde, sıralamada ilk üçte yer alan İzlanda, Lüksemburg ve Norveç'in değişken ağırlıklarındaki değişime karşı dayanıklı ve dirençli oldukları görülmektedir. Buna karşın Amerika, Yunanistan ve Güney Kore gibi ülkeler ağırlık değişiminden en çok etkilenen ülkelerdir. PBVIKOR sonucu oluşan sıralamalar için gerçekleştirilen Monte Carlo simülasyon sonuçları Grafik 11'de görülmektedir.

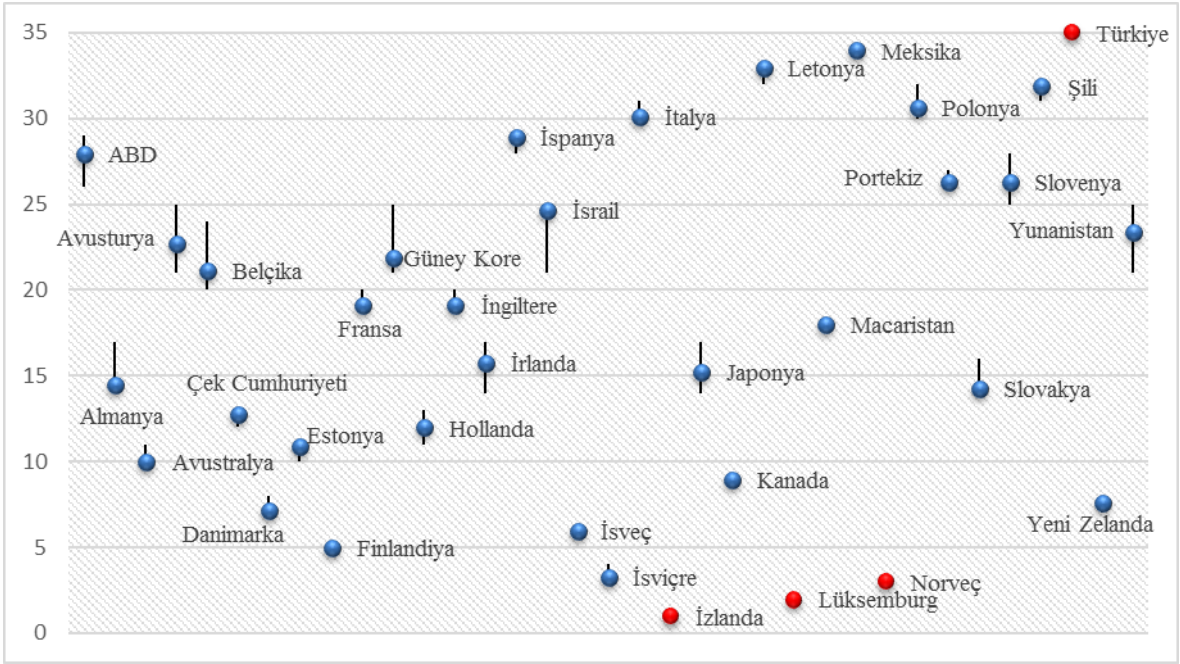
Grafik 11: Monte Carlo Simülasyonu Sonucunda Oluşan Sıralamalar (PBVIKOR)



Grafik 11'den görüldüğü üzere, PBVIKOR sıralama sonuçlarının ağırlık değişimlerine karşı PBTOPSIS ve PBMOORA sıralama sonuçlarına göre daha hassas olduğu görülmektedir. Bunun nedeni, ilk üç sırayı paylaşan ülkeler değişmese de sıra değerlerinin değişkenlik göstermesidir. Bunun yanında Avusturya, Belçika ve Kanada sıralamaları en çok değişen ülkeler arasındadır.

PBMOORA için gerçekleştirilen Monte Carlo simülasyon sonuçları Grafik 12'de görülmektedir.

Grafik 12: Monte Carlo Simülasyonu Sonucunda Oluşan Sıralamalar (PBMOORA)



Grafik 12'den görüldüğü üzere, PBMOORA sıralamalarının değişken ağırlıklarında meydana gelebilecek değişimlere karşı dirençli olduğu anlaşılmaktadır. İlk ve son sıralardaki ülkelerin neredeyse sıra değerleri hiç değişmemiştir. Avusturya, Yunanistan ve Güney Kore sıralamaları kısmi düzeyde değişim gösteren ülkelerdir.

3.11. Uygulamaya Yönelik Yorum ve Değerlendirmeler

Bu başlık altında, çalışmanın uygulama kısmında elde edilen ampirik bulguların değerlendirilmesi yapılacaktır. Bu amaçla, her bir boyutta elde edilen nihai sıralama sonuçları ve yapılan deneysel testlerin sonuçları yorumlanacaktır. Son kısımda bütünleştirilmiş sıralama sonuçlarına dair değerlendirmeler yapılmıştır. Bölgesel ayrımlar ve değişkenler gözetilerek, literatür ve mevcut indeksler doğrultusunda ulaşılan başlıca bulgular ve yorumlar aşağıda sunulmaktadır.

3.11.1. Ekonomik Boyutta Yapılan Değerlendirme

PBTOPSIS, PBVIKOR ve PBMOORA yöntemi kullanılarak sürdürülebilirliğin ekonomik boyutunda elde edilen sıralama sonuçları incelendiğinde, yöntem sonuçları arasında yüksek düzeyde benzerlik olduğu açıktır. Bu bakımdan yapılacak yorumlarda, belli bir yöntemin sonucundan ziyade genel bir çerçeve sunulması hedeflenmektedir. Sıralama sonuçlarına bakıldığında diğer boyutlarda olduğu gibi Lüksemburg, İrlanda ve bazı Nordik ülkelerinin liderliği paylaştıkları görülmektedir. Buna karşın ekonomik sürdürülebilirlik boyutunda en kötü performans sergileyen ülkeler İspanya, İtalya ve Yunanistan şeklinde belirlenmiştir.

Avrupa komisyonu tarafından 2020 yılında yayımlanan Eko-İnovasyon İndeksine (Eİİ) göre Lüksemburg, Danimarka ve İsveç son birkaç yılda yüksek sıralama değerlerine sahip olurken, ekonomi ve inovasyon açısından son derece gelişmiş ülkelerdir. Buna karşın Yunanistan, Eİİ raporuna göre Avrupa Birliği ortalamasının oldukça altında yer almaktadır (Walkowiak vd., 2020). Dolayısıyla bu sonuçlar ile ÇKKV yöntemlerinin sunduğu sıralama sonuçları arasında benzerlik mevcuttur.

İrlanda ve Çek Cumhuriyeti ekonomik derecelendirmede üst sıralarda yer alan ülkelerdendir. İrlanda, doğrudan yabancı yatırım ve ihracat oranı değişkenlerinde en yüksek oranlara sahip olan OECD ülkesidir. 2014 yılında İrlanda'nın katma değer açısından ihracatı milli hasılasının %61'inden fazladır ve bu oran gittikçe artma eğilimindedir. 2016 yılına baktığımızda brüt ihracat milli hasılasının yaklaşık 1,3 katı değerindedir (OECD, 2017). Bu nedenle, İrlanda'nın ekonomik açıdan üstünlüğü sıralama sonuçlarına yansımaktadır.

Çek Cumhuriyeti, işsizlik oranı değişkeninde OECD içerisinde lider konumdadır. Ayrıca, OECD ortalamasının üstünde seyreden ihracat oranlarıyla öne çıkmaktadır. Çek Cumhuriyeti hem brüt ihracat hem de katma değer yaratma konusunda yüksek hacimlere ulaşan uluslararası faaliyetlerde bulunan açık bir ekonomidir. 2016 yılında Çek Cumhuriyeti'nde brüt ihracat rakamı milli hasılasının %89'una ulaşmıştır. Bunun yanında, 2018 yılında gelir dağılımı ve ihracat oranlarında ekonomisini ileriye taşıdığını söylemek mümkündür (OECD, 2018).

Derecelendirmede son sırada yer alan Yunanistan, analiz döneminde OECD ülkeleri arasında işsizlik oranı en yüksek olan ülkedir. Ayrıca, tasarruflar ve merkezi yönetim borç miktarlarındaki kötü performansı bu ülkeyi son sıralara düşürmektedir. Ele alınan beş yıllık dönemde İspanya ve İtalya'nın işsizlik oranlarında azalma eğilimi görülse de oranların OECD ortalamasının üzerinde seyrettiği görülmektedir. Gelir dağılımındaki eşitsizlik ve milli hasıladaki düşük artış hızları, bu ülkelerin ekonomik boyutta sürdürülebilirlik performanslarını olumsuz etkilemektedir (Sachs vd., 2020).

Son olarak, ekonomik sürdürülebilirlik boyutunda Türkiye 32. sırada yer almaktadır. Bu durumun oluşmasında Türkiye'deki yüksek düzeyde göze çarpan gelir dağılımı eşitsizliği, OECD ülkelerine kıyasla kişi başına daha düşük milli hasıla ve işsizlik değerleriyle, merkezi hükümetin borç stokundaki önlenemeyen artışlar belirleyici olmaktadır. Türkiye son birkaç yıldır ekonomik ve siyasal zorluklar yaşarken, Covid-19 salgını ile birlikte bu durum ciddi ve uzun süreli bir problem halini almıştır (Schieler, 2021).

3.11.2. Çevresel Boyutta Yapılan Değerlendirme

PBTOPSIS, PBVIKOR ve PBMOORA yöntemi kullanılarak sürdürülebilirliğin çevresel boyutunda elde edilen sıralama sonuçlarına bakıldığında tüm yöntem sonuçlarında en üst sırada yer alan beş ülke İzlanda, Lüksemburg, İsveç, Finlandiya ve Yeni Zelanda olarak tespit edilmiştir. Sürdürülebilir ekonomik kalkınma değerlendirme (SEDA) 2019 yılı çevresel sıralama sonuçları incelendiğinde, Pisagor ÇKKV yöntemleri sonucunda üst sıralarda yer alan ülkelerin SEDA indeksinde de benzer sıralamaya sahip oldukları görülmektedir (Hrotko vd., 2019). Bu durum, önerilen bütünleşik modelin dinamik ve tutarlı sonuçlar ürettiğini kanıtlar niteliktedir. Buna karşın, en kötü sıralamaya sahip ülkeler İrlanda, Türkiye ve Meksika şeklindedir. Sıralama sonuçları literatürde daha önce ele alınan çalışma sonuçları ile benzerlik göstermektedir (Esty vd., 2005; Liu, 2007; Kouloumpis vd., 2008; Phillis vd., 2010; Hsu ve Zomer, 2016).

İskandinav ve Nordik ülkeleri, küresel sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşma noktasında yüksek çaba gösteren başlıca ülkelerdir (Sachs vd., 2020). Yıllar itibariyle küresel hedeflerde gösterdikleri bütünsel gelişme bu bölgedeki ülkeleri lider konuma taşımaktadır. Örneğin, İzlanda ve Finlandiya'nın temiz su kaynağı ve hizmetlerine erişme, emisyon ve PM2,5 maddesi salınımını azaltma hedeflerine ilişkin performansını koruduğu görülmektedir. Ayrıca Finlandiya ve Yeni Zelanda ortaya koydukları aksiyon planları, sürdürülebilirlik düzenlemeleri, ulusal veri izleme ve etkin raporlama altyapıları ile dikkat çekmektedir (Sachs vd., 2020).

Doğal sermaye indeksine baktığımızda; Yeni Zelanda, İzlanda ve İsveç'in OECD ülkeleri arasında üstün performansa sahip oldukları görülmektedir. Bunun en temel sebebi, su kaynaklarının korunması, bio çeşitliliğin zarar görmesinin engellenmesi ve hava kirliliğini önleme çabalarıdır (SolAbility, 2020). ÇKKV problemi olarak ele alınan sürdürülebilirlik ölçümünde İsveç; CO2 emisyonu, hava kalitesi ve su kaynaklarına erişim değişkenlerinde üstün skorlara sahip bir ülkedir. Bu durum İsveç'i sıralama sonuçlarında üst noktalara taşımaktadır. Bunun yanında İzlanda, yenilenebilir enerji kullanımında önde gelen ülkeler arasındadır. Kaynak verimliliği indeksine göre Lüksemburg, OECD ülkeleri arasında en iyi performansa sahip ülkelerdendir (SolAbility, 2020).

2020 yılında yayımlanan Çevresel Performans İndeksi (ÇPİ) sıralama sonuçları incelendiğinde; ÇPİ ile PBTOPSIS sonuçları arasında %70, PBVIKOR sonuçları arasında %71 ve PBMOORA sonuçları arasında %62 düzeyinde Spearman korelasyon ilişkisi tespit edilmiştir. Bu durum, sıralama sonuçları arasında yüksek derecede benzerlik olduğunu göstermektedir. ÇPİ içerisinde en iyi performansa sahip üç ülke sırasıyla Danimarka, Lüksemburg ve İsviçre'dir. Çevresel boyutta farklı yöntemlerin sunduğu sıralama sonuçlarına paralel olarak Finlandiya, İsveç ve Norveç ilk onda yer bulan ülkelerdir. Çalışma sonuçlarına göre 11. sırada yer alan Danimarka, ÇPİ sıralama sonuçlarına göre ilk sırada yer almaktadır. Bunun nedeni, Danimarka'nın kentsel katı atıklarda geri dönüşüm oranının oldukça yüksek olması ve iklim değişikliğini azaltma konusunda uyguladığı politikalarıdır. Ek olarak enerji sektöründe alınan ekstra önlemler, ekonomik pozisyonu bozmadan CO2 salınımını azaltmaktadır. Lüksemburg ise, 2010 yılı itibariyle karbon salınımı ve gayri safi yurtiçi hasıla arasındaki bağı tersine çevirerek, hasılasını artırmasına rağmen karbon salınımını azaltmayı başarmıştır (Wendling vd., 2020).

Çevresel boyutta elde edilen sıralama sonuçlarında, İrlanda'nın son sıralarda yer almış olması şaşırtıcı olsa da imkânsız değildir (Liu, 2007; Kouloumpis vd., 2008). Bu durum, yöntemlerin farklı algoritmalar içermesi veya analizde kullanılan değişkenler ve farklı ağırlıkları ile açıklanabilir. Bunun yanında, nihai ÇPİ sıralama sonuçlarında bölgesel bazda yapılan ölçümde İrlanda 15. sırada yer almaktadır. Ayrıca indeks içerisinde %60 ağırlığa sahip, eko sistem canlılığı boyutunda İrlanda OECD ülkeleri arasında 28. sırada yer almaktadır (Wendling vd., 2020). Ayrıca SEDA sonuçlarında da İrlanda'nın, OECD ortalamasının oldukça gerisinde kaldığı görülmektedir (Hrotko vd., 2019). Bunun nedeni İrlanda'nın Avrupa Birliği ülkeleri arasında en düşük ormanlık alana ve su kaynaklarına erişimde düşük skorlara sahip olması ile açıklanabilir (CSO, 2020).

Son olarak, uygulanan Pisagor bulanık ÇKKV yöntemleri sonucunda son sıralarda yer alan Meksika ve Türkiye, ÇPİ yönüyle de OECD ülkeleri arasında son sıraları paylaşan ülkelerdir. Son on yılda Meksika ve Türkiye'nin nihai çevresel skorları artmış olsa da her iki ülke OECD ortalamasının çok altında performansa sahiptir (Liu, 2007; Wendling vd., 2020). Türkiye katı atıkların geri dönüşümü, yenilenebilir enerji ve hava kalitesi bakımından OECD ülkeleri arasında en kötü performansa sahip iki ülkeden biridir (Hrotko vd., 2019). Dolayısıyla, Türkiye'nin çevresel sürdürülebilirlik sıralamasında son sırayı alması kaçınılmaz bir sonuçtur.

Özetle Pisagor bulanık yöntemlerle elde edilen çevresel boyuttaki sıralama sonuçları, küresel ölçekte yayımlanan raporlar ile benzerlik göstermektedir. Raporların ele aldığı metodolojik yaklaşıma alternatif üretmesi açısından ele alınan model ve yöntemler önem kazanmaktadır. Örneğin, ölçümde ele alınan çok sayıda değişkene doğrudan eşit ağırlık atamak yerine, matematiksel yaklaşımlardan yararlanılması daha gerçekçi sonuçlar üretmektedir. Bunun yanında, yöntemlerin kolay uygulanabilir olması da bu tür çok boyutlu ölçümlerin yapılmasını kolaylaştırmaktadır.

3.11.3. Sosyal Boyutta Yapılan Değerlendirme

PBTOPSIS, PBVIKOR ve PBMOORA yöntemi kullanılarak sürdürülebilirliğin sosyal boyutunda elde edilen sıralama sonuçlarına bakıldığında tüm yöntem sonuçlarında Norveç, İzlanda ve Finlandiya en iyi performansa sahip ülkeler olarak karşımıza çıkmaktadır. Buna karşın; Güney Kore, Türkiye ve Meksika sosyal boyutta en kötü performans sergileyen ülkelerdir. Bu durum, küresel sürdürülebilir kalkınma hedefleri raporu SKH ve SEDA sonuçları ile benzerlik göstermektedir (Hrotko vd., 2019; Sachs vd., 2020). İlk üç ülke özelinde İskandinav ve Nordik ülkeleri, sosyal sürdürülebilirlik alanında son yıllarda önemli mesafeler kat etmiştir (SolAbility, 2020). Gerek bebek ölümleri ile gerekse de verem ve AIDS gibi hastalıklara karşı mücadelede başarı gösteren bu ülkeler yüksek okullaşma oranının yanında entelektüel kapasiteye sahip ülkelerdir (Sachs vd., 2020).

Birleşmiş Milletler'in küresel düzeyde ortaya koyduğu başlıca 17 adet sürdürülebilir kalkınma hedefine baktığımızda, yoksulluk (SKH-1), açlık (SKH-2), sağlık (SKH-3) ve eğitim (SKH-4) ile ilgili hedeflerin neredeyse tamamında İskandinav ülkelerinin gelişimini görmek mümkündür. Bunun yanında barış, adalet ve güçlü kurumlar (SKH-16) bağlamında yine bu ülkeler dünya üzerinde örnek alınan gelişmiş ülkelerdir.

Sosyal boyutta sıralama sonuçlarında dikkat çeken bir detay Güney Kore'nin son sıralarda yer almasıdır. Seçilen değişken setine ve kullanılan yöntemine göre bu sonucun ortaya çıkması muhtemeldir (Kouloumpis vd., 2008). Bu durum, Güney Kore'nin OECD içerisinde son yıllarda nüfus yoğunluğu artan ülkeler arasında yer alması ve engellenemeyen verem, AIDS vb. vakalarının oldukça yüksek olmasıyla açıklanabilir (Hrotko vd., 2019). Ayrıca yöntem sonuçlarına paralel olarak, küresel sürdürülebilir rekabet sıralamasının (KSRS) yönetim performansı alt indeksinde Güney Kore OECD ülkeleri arasında 27. sırada yer almaktadır (SolAbility, 2020). Bu durumun bir diğer sebebi de PBE sonucu en yüksek ağırlığa sahip değişkenin verem vaka oranı olmasıdır. Son yıllarda, Güney Kore'deki verem vakaları çok yüksek seviyelere ulaşmış ve bu durum ciddi sağlık endişelerine yol açmıştır. Bunun yanında, 2011'den bu yana Güney Kore hükümeti sağlık için ayrılan bütçeyi genişletirken, hasta yönetiminde yeni politikalar yaratma gayreti içerisinde. 2011-2016 yıllarını kapsayan 5 yıllık veremle mücadele programı ile vaka oranlarında yaklaşık %5 düzeyinde azalma görülmüş olsa da hastalığın yükseliş trendi önlenememektedir (Kwon vd., 2014; Go vd., 2018).

Sosyal boyutta Türkiye'ye baktığımızda, her üç yöntemde de en düşük sıralama değerine sahip ülkeler arasında olduğu görülmektedir. Bu durum Türkiye'nin beklenen ömür, internet erişimi ve hükümet etkinliği değişkenlerindeki kötü skorlarından kaynaklanmaktadır. Türkiye OECD ülkeleri arasında internet erişim ve yerel hükümet etkinlik oranlarında Meksika'dan sonra en kötü performans

gösteren ülke konumundadır. Veremle mücadele konusunda iyi bir performansa sahip olsa da ortalama yaşam süresinin kısa olması OECD ülkeleri arasında Türkiye'yi ayırtmaktadır. Sürdürülebilir kalkınma hedefleri arasında yer alan hak ve özgürlükler bağlamında Türkiye, ülkedeki barış ortamı, adalet algısı, kurumların güçlü ve bağımsız olması (SKH-16) gibi alt hedeflerde OECD ülkeleri içerisinde en kötü performansa sahip ülkeler arasındadır. Dolayısıyla yıllar itibariyle bakıldığında, Türkiye'nin küresel hedeflere ulaşma kapasitesi yeterli değildir (Sachs vd., 2020). Bu sebeplerle, Türkiye ele alınan sosyal sürdürülebilirlik ölçümünde son sıralarda yer almaktadır.

3.11.4. Nihai Sıralamalar İçin Yapılan Değerlendirme

PBTOPSIS, PBVIKOR ve PBMOORA yöntemleri ile sosyal, çevresel ve ekonomik boyutta elde edilen sıralamalar Borda sayım tekniği yardımıyla birleştirilerek rasyonel tek bir sıralama sonucu elde edilmiştir. Farklı yöntemler kullanılarak oluşturulan sıralama sonuçları arasında ortalama %94 düzeyinde korelasyon hesaplanmıştır. Bu nedenle yapılacak yorumlarda sıralama sonuçlarının genel itibariyle benzeştiği göz önünde bulundurulmuştur.

İzlanda, Lüksemburg, Norveç, İsveç, İsviçre ve Finlandiya elde edilen tüm sıralama sonuçlarında zirveyi temsil eden başlıca ülkelerdir. Buna karşın Letonya, Şili, Meksika ve Türkiye tüm sıralama sonuçlarında geriye düşen başlıca ülkelerdir. 2020 itibariyle, Nordik ülkeleri sürdürülebilirlik performanslarını koruyup, liderliklerine devam etmektedir. Avrupa ülkesi olmayan Yeni Zelanda, İsviçre'den sonra en iyi performans gösteren ülkedir. Bahsi geçen ülkeler son 20 yıldır sağlam ve dengeli sürdürülebilirlik profiline sahiplerdir. Buna karşın, ekonomik potansiyeline rağmen Meksika sürdürülebilirlik sıralamasında kötü bir performans ortaya koymaktadır (Schieler, 2021).

2020 yılı SKH raporuna baktığımızda İsveç, Danimarka ve Finlandiya'nın geçmiş yıllarda olduğu gibi zirveyi paylaştıkları görülmektedir. Bir ülkenin sürdürülebilirlik açısından ne derece gelişme gösterdiğinin ölçüldüğü bu raporda birden fazla Nordik ülkesi yüksek performans göstermiştir. Bunun yanında, kısa ve orta vadede Covid-19 salgınının negatif etkilerinin yüksek gelir sahibi ülkelerin performanslarını düşüreceği vurgulanmaktadır. Raporda OECD ülkeleri arasında Letonya 22. sırada, Şili 26. sırada, Meksika 34. sırada yer alırken Türkiye son sırada yer bulmuştur (Sachs vd., 2020).

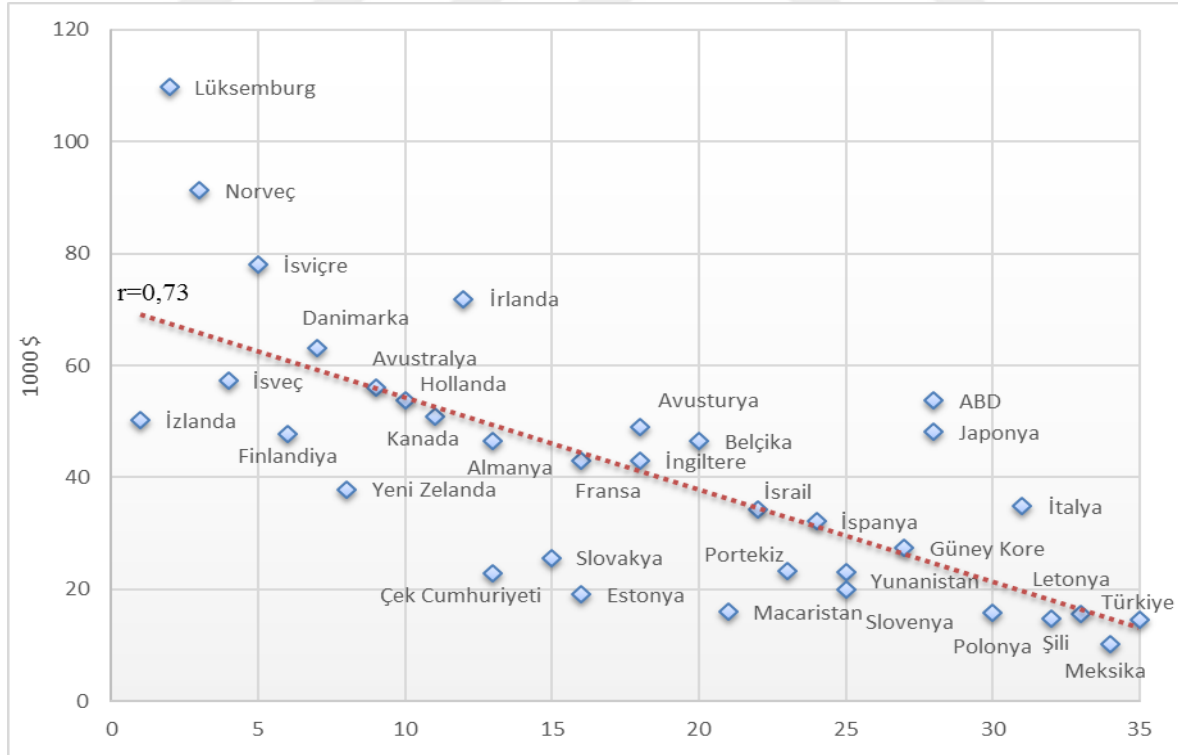
Küresel sürdürülebilir rekabet sıralamasına göre İsveç, Danimarka, İzlanda, Finlandiya ve Norveç en yüksek performansa sahip ülkelerdir. Dünyanın en büyük ekonomisi olan ABD, Borda sayım sıralama sonuçlarına paralel olarak, OECD ülkeleri arasında 26. sıradadır. Buna karşın sırasıyla İsrail, Meksika ve Türkiye indekste son sıralarda yer alan ülkelerdir (SolAbility, 2020). Bu indeksin sıralama sonuçları ile çalışmada elde edilen sıralama sonuçları arasında benzerlik

mevcuttur. Böylece, ÇKKV süreçleri kullanılarak önerilen bütünlük modelin yayımlanan sürdürülebilirlik raporları ve indekslerine karşı yeni bir perspektif ortaya koyduğu açıktır.

Önerilen bütünlük model yardımıyla elde edilen sıralamalar literatürdeki diğer çalışmalar ile karşılaştırılmıştır. Tespit edilen çalışmaların sonuçları ile Pisagor bulanık ÇKKV yöntemlerinin önerildiği mevcut çalışmanın sonuçları benzerlik göstermektedir. Tan (2017) çalışmasındaki sıralama sonuçları ile mevcut çalışmada elde edilen sıralama sonuçları arasında yaklaşık %70 düzeyinde benzerlik görülmüştür. Literatürde ele alınan birçok çalışmada İsviçre ve Nordik ülkelerinin üstünlüğü dikkat çekmektedir (Phillis vd., 2011; Tan vd., 2017; Nilashi vd., 2018; Fuchs vd., 2020).

Sürdürülebilir politika ve uygulamalar bir ülkenin refahı ile doğrudan ilişkilidir. Ekonomik refahı yüksek olan ülkeler hedefledikleri sürdürülebilirlik seviyelerine belli politika ve programlara yatırım yaparak ulaşabilirler. Bunun gerçekleştirilebilmesi ancak yüksek ekonomik refah ile mümkündür (Wendling vd., 2020). Bu temelde, OECD ülkelerinin sürdürülebilirlik performansları ile ülkelerin milli gelirleri (GSYİH) arasındaki ilişki Grafik 13 aracılığıyla açıklanmıştır.

Grafik 13: GSYİH ve Ülke Sürdürülebilirlik Sıralamaları



Yatay eksenle ülkelerin performans sıralamaları, dikey eksenle kişi başı GSYİH değerleri görülen Grafik 13 incelendiğinde, ülkelerin gelirleri ile sıralama değerleri arasındaki pozitif yönlü

ilişki rahatlıkla görülebilmektedir. Buna göre, yüksek gelir sınıfındaki ülkelerin sürdürülebilirlik performansları da yüksek bulunmuştur. Bu durum, bir ülkenin sürdürülebilir politikalar ve uygulamalar yaratması için milli gelirin bir önkoşul olduğunu destekler niteliktedir. Analizde, sıralama sonuçları ile gelir düzeyi arasında yaklaşık %73 oranında korelasyon hesaplanmıştır. Bu durum, gelir düzeyi yüksek olan ülkeler için önemli bir avantaj sağlarken, sürdürülebilirlik performansı düşük olan ülkelerin öncelikle ekonomik performanslarını yükseltmeleri gerektiğini göstermektedir. Son olarak, ülkelere ilişkin sürdürülebilirlik değerlendirmesi özellikle gerçekçi ve dengeli yatırım kararları verirken ülkelere rehberlik edici bilgiler sunmaktadır. Özellikle, düşük sürdürülebilirlik performansına sahip ülkelere ilişkin ipuçları ve değerli bir bakış açısı ortaya koymaktadır.

Sürdürülebilirlik ve Türkiye

Pisagor bulanık ÇKKV yöntemleri yardımıyla elde edilen nihai sıralama sonuçlarına bakıldığında, sürdürülebilirliğin üç temel boyutunda Türkiye'nin kötü performansa sahip ülkeler arasında yer aldığı dikkat çekmektedir. Yapılan çok yönlü uygulama ve deneysel analizler sonucunda Türkiye'ye ilişkin aşağıdaki sonuç, çıkarım ve politika önerilerinden bahsedilebilir:

- Çevresel sürdürülebilirlik boyutunda, ekolojik sermayenin korunması ve ekosistem canlılığının, yeşil alanların devamlılığı için etkin yasal düzenlemelerin ortaya konması,
- Hava kirliliğinin azaltılması ve yenilenebilir enerji kullanımının teşvik edilmesi gibi yapıcı aksiyonların hayata geçirilmesi,
- Planlanan büyük altyapı projelerinin doğaya, canlı türlerine ve coğrafik yapıya zarar vermeyecek şekilde revize edilmesi, düşük karbon ekonomisine geçişin hızlandırılması,
- İzlenen otoriter politika eylemleri nedeniyle yönetişimden uzak, hükümet etkinliğinin kademeli olarak azalması ve aşınması,
- Sağlık hizmetlerinde kalitenin artırılması, eğitim politikasında modern yaklaşımlara geçiş, sağlık sigortası alanında iyileşmelerin sağlanması ile sosyal refahın yükseltilmesi,
- Kurum ve kuruluşların sürdürülebilirliği yaşam stratejilerinin bir parçası haline getirmesi ile sürdürülebilirliğin tüm boyutlarında bütünleşik bir iyileşme ve sürekli gelişimin sağlanması.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Sürdürülebilirlik, gelecek nesillere hayallerini gerçekleştirebilecekleri bir yaşam biçiminin itina ile korunup aktarılması ile sağlanacak bir yaşam kültürüdür. Dünya üzerinde her ülke, gelecek nesillerine yaşanabilir, temiz ve refah dolu bir gelecek sunma gayreti içindedir. Bu çerçevede, ülkelerin ortaya koydukları gelişme düzeylerinin tespit edilmesi, izlenmesi veya iyileştirilmesi, kavramın çok boyutlu olması ve farklı ilişkiler barındırması nedeniyle karmaşık ve zorlu bir süreçtir. Bu bağlamda, ülkelerin ortalama performanslarını tespit etmenin yanında, güçlü ve zayıflar arasında bir karşılaştırma yapılması son derece önemlidir. Sürdürülebilir kalkınmanın sürekli hale getirilmesi ortaya konan politikaların sosyal açıdan kabul görür, çevresel açıdan korumacı ve ekonomik açıdan gerçekçi ve rasyonel nitelikte olmasına bağlıdır.

Bu bağlamda gerek OECD gerekse de BM, ülke seviyesinde sürdürülebilirlik indeksi oluşturma gayreti içerisinde oldukları görülmektedir. Bu organizasyonlar tarafından her yıl yayımlanan raporlarda veya indekslerde gösterge ve değişken setine eşit ağırlıklar atanmaktadır. Bu durum, ölçüm metodolojisini gerçeklikten uzaklaştırmakta ve hatalı sonuç üretmesine neden olmaktadır. Çünkü, her bir ülkenin ekonomik, çevresel ve sosyal açıdan diğerleri ile arasında bir fark vardır. Bu bakımdan ölçüm metodolojisinde eşit ağırlıklar yerine her bir değişken için farklı ağırlıklar atanması gerekliliği açıktır. Bu çalışmanın mevcut indekslerden en önemli farklılığı, eşit ağırlıklar yerine PBE yöntemi ile hesaplanan göreceli ağırlıkların kullanımınıdır. Bu noktada, değişkenlere atanan farklı ağırlıklar karar sürecinin yansız olmasını sağlarken, gerçeğe daha yakın bir analiz yapılmasına imkân tanımaktadır.

Küresel düzeyde ele alınan sürdürülebilirlik ölçümleri incelendiğinde, salt ekonomik ya da çevresel göstergelerin kullanıldığı çalışmalar oldukça fazladır. Fakat, sürdürülebilirlik kavramı, ekonomik, çevresel, sosyal ve hatta politik birçok boyutu içeren karmaşık bir tanımlama olabilmektedir. Doğası gereği disiplinler arası ve karmaşık bir yapıya sahip olan bu kavrama yönelik ölçümlerde ortak bir paydada buluşmak veya tek bir skor belirlemek çoğu zaman mümkün olmamaktadır. Bu çalışmada sunulan ÇKKV süreçleri ile sürdürülebilirlik ölçümlerine yeni bir bakış açısı sunulması ve farklı bir metodolojik çerçeve oluşturulması hedeflenmiştir. Objektif değerler içeren karar değişkenleri yardımıyla karar problemi oluşturulmuş ve PBTOPSIS, PBVIKOR ve PBMOORA yöntemlerinin bütünsel kullanımı yoluyla OECD ülkelerine yönelik yeni bir sürdürülebilirlik indeksi oluşturulmaya çalışılmıştır.

Ekonomik, çevresel ve sosyal boyutlarda ele alınan her bir ölçümde, ülkelerin performans değerlendirilmesi ayrı ayrı tespit edilmiştir. Oluşan sıralama sonuçları, üstün olan ülkeleri ortaya çıkarırken, düşük performansa sahip ülkeler için bazı ipuçları vermektedir. Pisagor bulanık

yöntemler kullanılarak oluşturulan sürdürülebilirlik indeks sonuçları incelendiğinde, İskandinav ülkelerinin lider konumda oldukları, buna karşın Güney Avrupa ve Batı Avrupa ülkelerinin ortalama düzeyde performans gösterdikleri dikkat çekmektedir. Türkiye, ele alınan tüm boyutlarda listenin son sıralarında yer alan ülkelerdendir. Çalışma sonucunda elde edilen nihai sıralama sonuçları, SKH raporları ile kıyaslanmış ve yüksek düzeyde benzerlik tespit edilmiştir. İlâveten çalışmanın duyarlılık analizi kısmında, farklı araştırmacılar tarafından önerilen PBE yaklaşımları kullanılarak göreceli ağırlıklar tekrar hesaplanmıştır. Buradaki temel amaç, ağırlıklarda meydana gelebilecek olası değişimlerde ülkelerin sıralama sonuçlarında ne derece değişim olduğunun gözlemlenmesidir. Analiz sonuçları, değişken ağırlıkları farklılaştığında bile sıralama sonuçlarında önemli değişimler olmadığını göstermiştir. İlâveten, gerçekleştirilen Monte Carlo simülasyonu yardımıyla ağırlıklardaki değişim 1000 farklı ağırlık seti oluşturularak izlenmiştir. Sonuç olarak, sıralama sonuçlarının nispi değişimler dışında durağan bir seyir izlediği tespit edilmiştir.

Yukarıda sunulan açıklama ve değerlendirmelerden hareketle, dünya üzerinde bu alanda faaliyet gösteren organizasyonlara, ortaya koyacakları sürdürülebilirlik ölçüm çalışmalarında boyut, değişken veya gösterge setlerine eşit ağırlıklar vermek yerine objektif süreçler ile belirlenen değişen ağırlıklar atamaları net bir şekilde önerilmektedir. Çünkü böylesine karmaşık ve çok boyutlu bir ölçümün her sürecinde eşit ağırlıklar kullanırken, değişkenler arasındaki yüksek korelasyon sonuçların daha çok değişken içeren boyutlara doğru kaymasına sebebiyet vermektedir. Oluşabilecek bu zorluk, çalışmada önerilen PBE yöntemi ile kolaylıkla aşılabılır.

Araştırma bulgularının, politika yapıcılara veya uygulayıcılara alacakları stratejik kararlarda bir yol haritası veya yeni bir perspektif sunması beklenmektedir. Ayrıca araştırma sonuçlarının, sürdürülebilir kalkınma odağında ortaya konacak uluslararası çaba ve hareketlere rehberlik sunacağı düşünülmektedir. İlk olarak PBE yöntemi yardımıyla sürdürülebilirlik ölçümünde en önemli değişkenler tespit edilmiştir. Bu durumun tespiti, düşük performans gösteren ülkeler için bir rehberlik sağlarken, lider ülkeler için gelişimin sürdürülmesi gerektiği alanları göstermektedir. Çalışmada, çevresel boyutun bir ülkenin sürdürülebilirlik yolculuğunda son derece önemli olduğu tespit edilmiştir. Dolayısıyla, ekolojik düzene karşı bir korumanın sağlanması sürdürülebilir kalkınmayı doğrudan etkilemektedir. Aslında, OECD ülkelerinin birçoğu kendi ticaret ve tüketimi sonucunda, diğer ülkelerin sürdürülebilir kalkınmasını tehlikeye atarak olumsuz çevresel etkiler yaratmaktadır. Bu etkilerin organizasyonlar veya ülkeler tarafından ortak inisiyatif ve küresel iş birliği ile minimum düzeye inebileceği unutulmamalıdır.

Bu çerçevede, OECD ülkeleri sürdürülebilir kalkınmaya yönelik akılcı ve etkili politikalar ortaya koyarak, bütüncül bir gelişimin ve büyümenin aktörleri olabilirler. Sürdürülebilir kalkınma problemi, ülkeler arasında bireysel bir yaklaşım yerine kapsayıcı, birleştirici ve rasyonel bir vizyonun yanında hedeflere ulaşmada konsensüs ve koordinasyon odaklı çözümlere ihtiyaç duymaktadır. Bu açıdan bakıldığında, sürdürülebilir adım ve aksiyonların teşvik edilmesi, katılımcı bir iklimin

yaratılması ve her yurttaşın sorumluluk hissetmesi temel gereklilikler arasındadır. Bunun yanında, kaynakların etkin kullanımı ve geri dönüştürülebilir enerji kullanımı oldukça kritik faktörlerdir. Geleneksel enerji kaynaklarının (kömür, linyit, petrol vb.) kullanımının kısıtlanmasının yanında yenilenebilir enerji kaynaklarının teşvik edilmesi ve yayılması gerekmektedir. Böylece, ortaya koyulacak uluslararası iş birliği, çaba ve mutabakat yoluyla küresel kalkınma sağlanabilir.

Hükümetler dinamik, kapsayıcı ve tutarlı politikaları özenle hazırlayıp uyguladıkça, yenilenebilir kaynakların kullanımı daha erişilebilir ve cazip hale gelecektir. Bu durum, verimli kaynak stratejileri ve fosil yakıt kullanımının azaltılmasına yönelik düzenlemeler ile daha ilgi çekici bir hal alacaktır. Son olarak politika yapıcılar veya paydaşlar, çevresel farkındalığı artırmak ve yeşil teknolojilerin özendirilmesinin yanında kapsamlı ARGE araç ve uygulamaları ile teknolojik kalkınmadan sürdürülebilir kalkınmaya geçişi hızlandırabilirler.

Özetle, bütünleşik bir sürdürülebilir kalkınma için doğru aktörlere danışmak, net bir hedef veya görev tanımlamak, planlama ve izleme becerilerini artırmak, diplomasi ve uluslararası entegrasyonu hâkim kılmak, BM tarafından ortaya konan 2030 gündemine ulaşma yolunda tüm ülkeler için öncü ilke ve sorumluluklar olmalıdır. Ayrıca, sosyal hizmetlere hızlı erişim, sorumlu tüketimin özendirilmesi, küresel entegre finans sistemi ve yüksek geri dönüşüm alışkanlıkları gibi politika düzenlemeleri her paydaş ülke için sürdürülebilir gelişimi hızlandırıcı özelliğe sahiptir.

Bulanık yöntemler kullanılarak yeni bir sürdürülebilirlik indeksi oluşturmayı amaçlayan bu çalışmanın, objektif bir metodolojik çerçeve sunması ve literatürde bahsi geçen Pisagor bulanık yöntemleri sürdürülebilirlik ölçümünde ilk kez öneriyor olması gibi üstünlüklere sahip olsa da çeşitli araştırma sınırlılıklarına veya geliştirilebilir yönere sahip olduğu düşünülmektedir. Örneğin, sürdürülebilirliğin tüm boyutlarında farklı değişken veya gösterge setlerinin seçimi çalışma sonuçlarını doğrudan etkileyebilir. Bunun yanında çalışma sonuçları, ele alınan 2015-2019 yıllarını kapsayan dönemle sınırlıdır. İlgili dönemin değiştirilmesi, veri setini de değiştireceğinden yeni bir karar problemi ortaya çıkaracaktır. Bu da çalışmanın bir diğer kısıtlılığı olarak değerlendirilebilir. Bir diğer sınırlılık ise, çalışmada kullanılan ÇKKV yöntemlerinin seçimi ile ilgilidir. Farklı ÇKKV yöntemlerinin kullanımının büyük çaplı olmasa da sıralama sonuçlarında değişim yaratabileceği bir gerçektir.

İleriki çalışmalarda, burada ele alınan üç temel boyuta ek olarak politik, kültürel veya teknolojik boyut gibi yeni bir boyutun modele dahil edilmesi farklı bir araştırma imkânı sunabilir. Bunun yanında, imkanlar dahilinde, oluşturulacak ortak bir karar verici grubu ile göstergelerin ağırlık belirleme aşamasında subjektif süreçler (anket, görüşme, mülakat vb.) tercih edilmesi ilgili literatüre katkı sunabilir. Ayrıca, sürdürülebilirlik performanslarına göre ülkeleri sınıflandırmayı hedefleyen makine öğrenimi tabanlı kümeleme kullanabilir. Bunun yanında, girdi değişkenlerine ilişkin nonparametrik duyarlılık analizi teknikleri gerçekleştirilebilir.

Farklı duyarlılık, senaryo ve simülasyon analizleri ile ağırlık değişimlerine ilaveten değişken ekleme ve çıkarma ile sıralama sonuçlarındaki değişim izlenebilir. Makro indeks geliştirme girişimlerinde modelin doğrulanması, indeksin geçerliği ve güvenilirliğini ölçme girişimleri gelecekteki çalışmalar olarak planlanabilir. Son olarak ağırlık atama ve sıralama adımlarında farklı kümelerde tanımlanan ÇKKV yöntemlerinin (küresel TOPSIS, Pisagor bulanık DEMATEL vb.) kullanımı ile uygulama kısmı bir adım öteye taşınabilir.



KAYNAKÇA

- AASHE (2020), "About Stars", The Sustainability Tracking, Assessment & Rating System.
- Ak, Muammer (2016), Toplumsal Bir Olgu Olarak Yoksulluk, **Akademik Bakış Dergisi**, 296-306.
- Ak, M. Fatih ve Gül, Muhammed (2018), "AHP–TOPSIS Integration Extended with Pythagorean Fuzzy Sets For Information Security Risk Analysis", **Complex & Intelligent Systems**, (5), 113-126.
- Akram, Muhammed vd. (2019), "Group Decision-Making Based on Pythagorean Fuzzy TOPSIS Method", **International Journal of Intelligent Systems**, 34(156).
- Andriantiatsaholoniaina Luc, Aurelien vd. (2004), "Evaluating Strategies for Sustainable Development:Fuzzy Logic Reasoning and Sensitivity Analysis", **Ecological Economics**, 149-172.
- Asheim, Geir B. (1994), "Sustainability Ethical Foundations and Economic Properties", **Policy Research Working Paper** , 1302,1-27.
- Atanassov, Krassimir (1999), **Intuitionistic Fuzzy Sets**, Springer, Bulgaristan.
- Baker, Susan (2006), **Sustainable Development**, Routledge, New York.
- Bakioğlu, Gözde ve Atahan, Ali Osman (2021), " AHP Integrated TOPSIS and VIKOR Methods with Pythagorean Fuzzy Sets To Prioritize Risks In Self-Driving Vehicles", **Applied Soft Computing Journal**, 99, 106948.
- Batie, Sandra S. vd. (2008), Sustainability: From Natural Resource Sufficiency To Ecosystem Functional Integrity, R. A. Sedjo İçinde, "**Perspectives On Sustainable Resources in America**",11-21, Washington: Rff Press.
- Bek, Nahit (2019), "Çevresel Performans Endeksi ve Sürdürülebilir Yönetişim Göstergeleri Kapsamında Ülke Karşılaştırması: Türkiye ve İsviçre Örneği", **Uluslararası Sosyal Bilimlerde Yenilikçi Yaklaşımlar Dergisi**, 3(2), 36-45.
- Bell, Simon ve Morse, Stephen (2008), **Sustainability Indicators Measuring The Immeasurable?**, London: Earthscan.
- Bergmann, Merrie (2008), **An Introduction To Many-Valued And Fuzzy Logic: Semantics, Algebras, and Derivation Systems**, Cambridge University Press, NewYork.

- Biswas, Animesh ve Sarkar, Biswajit (2019), "Pythagorean Fuzzy TOPSIS For Multicriteria Group Decision-Making with Unknown Weight Information Through Entropy Measure", **International Journal of Intelligent Systems**, 1-21.
- Blackburn, William R. (2007), **The Sustainability Handbook**, London: Earthscan.
- Bleys, Brent (2008), " Proposed Changes to the Index of Sustainable Economic Welfare: An application to Belgium", *Ecological Economics*, 64, 741-751.
- Brinkmann, Robert (2016), **Introduction To Sustainability**, West Sussex: John Wiley & Sons.
- Buckley, J.J. ve Jowers, L.J. (2006), **Simulating Continuous Fuzzy Systems**, Hollanda: Springer.
- Caradonna, Jeremy (2014), **Sustainability A History**, New York: Oxford.
- Chakraborty, Shankar (2011), "Applications Of The MOORA Method For Decision Making In Manufacturing Environment", **The International Journal Of Advanced Manufacturing Technology**, 54, 1155-1166.
- Chelli, Francesco Maria (2013), "The Index Of Sustainable Economic Welfare: A Comparison Of Two Italian Regions", **Procedia - Social And Behavioral Sciences**, 81,443-448.
- Chen, Chen-Tung (2000), "Extensions Of The TOPSIS For Group Decision-Making Under Fuzzy Environment", **Fuzzy Sets and Systems**, 114, 1-9.
- Chen, Shu Jen ve Hwang, Ching-Lai (1992), **Fuzzy Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications**, Berlin Heidelberg: Springer.
- Chen, Ting-Yu (2017), "Remoteness Index-Based Pythagorean Fuzzy VIKOR Methods with a Generalized Distance Measure for Multiple Criteria Decision Analysis", **Information Fusion**, 41, 129-150.
- _____ (2018), "A Novel VIKOR Method With An Application To Multiple Criteria Decision Analysis For Hospital-Based Post-Acute Care Within A Highly Complex Uncertain Environment", **Neural Computing and Applications**, 31, 3969-3999.
- Chin, Hoong-Chor ve Li, Reuben (2011), Presentation Of Ecological Footprint Information: A Re-Examination. T.-C. Wong, & B. Yuen İçinde, **Eco-City Planning Policies, Practice and Design**, 223-238). New York: Springer.
- Coşkun, Rana vd. (2019), "A Fuzzy Based Marketing Performance Measurement Model with a Real Case Study", **International Social Sciences Studies Journal**, 5(34), 2371-2387.
- CSO (2020), **Environmental Indicators Ireland 2020**, Ireland: Central Statistics Office.
- Cui, Feng-Bao vd. (2018), "Optimal Siting of Electric Vehicle Charging Stations Using Pythagorean Fuzzy VIKOR Approach", **Mathematical Problems in Engineering 2018**.
- Curran, Mary Ann (2008), "Life-Cycle Assessment", **Encyclopedia Of Ecology**, 2168-2174.

- Çevik, Nükhet Kırıcı vd. (2019), "Mutlu Gezegen Endeksi: Dünyanın En Mutlu Ülkelerinden Panel Veri Bulguları", **İğdır Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi**, 181-201.
- Dalal-Clayton, Barry ve Sadler, Barry (2014), **Sustainability Appraisal A Sourcebook and Reference Guide To International Experience**, London: Routledge.
- Daly, Harman E. ve Cobb, John B. (1994), **For The Common Good-Redirecting The Economy Toward Community, The Environment, and A Sustainable Future**, Beacon Press, Boston.
- Demirer, Göksel N. (2017), **Sürdürülebilir Üretim ve Tüketim Yayınları - I: Yaşam Döngüsü Analizi**, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı.
- Devuyst, Dimitri (2001), **How Green Is The City? Sustainability Assessment and The Management Of Urban Environments**, Columbia University Press, New York.
- Diesendorf, Mark (2000), **Sustainability and Sustainable Development**. D. Dunphy, A. G. Jodie Benveniste, & P. Sutton İçinde, Sustainability The Corporate Challenge Of The 21st Century, 19-37, Crows Nest: Allen & Unwin.
- Domínguez, Luis Perez vd. (2018), "MOORA Under Pythagorean Fuzzy Set For Multiple Criteria Decision Making", **Complexity**, 1-10.
- Dunphy, Dexter ve Benveniste, Jodie (2000), **An Introduction To The Sustainable Corporation**. D. Dunphy, J. Benveniste, A. Griffiths, & P. Sutton İçinde, Sustainability The Corporate Challenge Of The 21st Century, 3-18, Crows Nest: Allen & Unwin.
- Eğilmez, Gökhan vd. (2015), "Environmental Sustainability Benchmarking Of The U.S. and Canada Metropolises: An Expert Judgment-Based Multi-Criteria Decision Making Approach", **Cities**, 31-41.
- Ehrlich, Paul R. (2014), **Human Impact: The Ethics Of I=Pat**, Ethics In Science and Environmental Politics, 14,11-18.
- _____ ve Holdren, John P. (1971), "Impact Of Population Growth", **Science**, 171(3977),1212-1217.
- Ekins, Paul (2011), "Environmental Sustainability: From Environmental Valuation To The Sustainability Gap", **Progress In Physical Geography**, 35(5),629-651.
- Elliott, Jennifer A. (2006), **An Introduction To Sustainable Development**, New York: Routledge.
- Erol, İsmail ve Özmen, Aslı (2008), "Çevresel Düzeyde Sürdürülebilirlik Performansının Ölçülmesi: Parekende Sektöründe Bir Uygulama", **İktisat İşletme Ve Finans**, 23(266), 70-94.
- Esty, Daniel C. vd. (2005), "**2005 Environmental Sustainability Index: Benchmarking National Environmental Stewardship**", New Haven: Yale Center For Environmental Law & Policy.
- EU (2020), Sustainable Development, Environment: <https://ec.europa.eu/environment/eussd/> adresinden alındı

- Farley, Heather M. ve Smith, Zachary A. (2014), **Sustainability If It's Everything, Is it Nothing?**, New York: Routledge.
- Fei, Liguó vd. (2019), "DS-VIKOR: A New Multi-Criteria Decision-Making Method For Supplier Selection", **International Journal Of Fuzzy Systems** **21**, 157-175.
- Filho Walter Leal (2022), "Commentary - Empty Promises: Why Declarations and International Cooperation On Sustainable Development Often Fail To Deliver", **International Journal of Sustainable Development & World Ecology**, doi: 10.1080/13504509.2022.2107108.
- Fuchs, Doris vd. (2020), "Which Way Forward In Measuring The Quality Of Life? A Critical Analysis Of Sustainability and Well-Being Indicator Sets", **Global Environmental Politics**, 12-36.
- Gandotra Neeraj vd. (2021), " New Pythagorean Entropy Measure with Application in Multi-Criteria Decision Analysis", **Entropy** **2021**, 23, 1600.
- Garg, Harish (2017), "A New Improved Score Function Of An Interval-Valued Pythagorean Fuzzy Set Based TOPSIS Method", **International Journal for Uncertainty Quantification**, 7(5), 463-474.
- Garren, Sandra J., ve Brinkmann, Robert (2018), **Sustainability Definitions, Historical Context, and Frameworks**. R. Brinkmann, & S. J. Garren İçinde, The Palgrave Handbook Of Sustainability Case Studies and Practical Solutions, 1-18, Cham: Palgrave Macmillan.
- Gedik, Yasemin (2020), "Sosyal, Ekonomik ve Çevresel Boyutlarla Sürdürülebilirlik ve Sürdürülebilir Kalkınma", **International Journal Of Economics, Politics, Humanities & Social Sciences**, 3(3), 196-215.
- Gedikli, Tolga vd. (2020), "Evaluation of Maintenance Strategies Using Pythagorean Fuzzy TOPSIS Method", **Proceedings of the INFUS 2020 Conference**, Istanbul.
- Ghorabae, Mehdi Keshavarz vd. (2014), "Multiple Criteria Group Decision-Making For Supplier Selection Based On Copras Method with Interval Type-2 Fuzzy Sets", **The International Journal Of Advanced Manufacturing Technology**, 1115-1130.
- Global Footprint Network, Ecological Footprint Of Countries 2016, [Http://Data.Footprintnetwork.Org/?_Ga=2.240672960.258067326.15788281241029289370.1578059813#/Comparecountries?Cn=All&Type=Efcpc&Yr=2016](http://Data.Footprintnetwork.Org/?_Ga=2.240672960.258067326.15788281241029289370.1578059813#/Comparecountries?Cn=All&Type=Efcpc&Yr=2016) Adresinden Alındı
- Go, Unyeong vd. (2018), "Tuberculosis Prevention and Care In Korea: Evolution Of Policy and Practice", **Journal Of Clinical Tuberculosis and Other Mycobacterial Diseases** **11**, 28-36.
- Gökdemir, Özge ve Veenhoven, Ruut (2014), **Kalkınmaya Farklı Bir Bakış: İyi Oluş**, A. F. Aysan, & D. Dumludağ İçinde, Kalkınmada Yeni Yaklaşımlar (S. 337-363). Ankara: Imge Yayınevi.

- Guleria, Abhishek ve Bajaj Rakesh, Kumar (2020), "A Robust Decision Making Approach For Hydrogen Power Plant Site Selection Utilizing (R, S)-Norm Pythagorean Fuzzy Information Measures Based On VIKOR and TOPSIS Method", *International Journal of Hydrogen Energy*.
- Gupta, Ajay (2018), Energy Return On Energy Invested (EROI) And Energy Payback Time (EPBT) For Pvs. T. M. Letcher, & V. M. Fthenakis İçinde, *A Comprehensive Guide To Solar Energy Systems: With Special Focus On Photovoltaic Systems* (S. 407-425). Oxford: Academic Press.
- Gül, Muhammet vd. (2019), "Pythagorean Fuzzy VIKOR-Based Approach For Safety Risk Assessment in Mine Industry", *Journal of Safety Research*, 69, 135-153.
- Hadi-Vencheh, A. ve Mirjaberli, M. (2014), "Fuzzy Inferior Ratio Method For Multiple Attribute Decision", *Information Sciences* 277, 263-272.
- Hardisty, Paul E. (2010), **Environmental and Economic Sustainability**, Boca Raton: Crc Press.
- HDR (2019), Human Development Report 2019: Reader's Guide. Human Development Reports: [Http://Hdr.Undp.Org/En/Content/Human-Development-Report-2019-Readers-Guide](http://hdr.undp.org/en/content/human-development-report-2019-readers-guide)
Adresinden Alındı
- Head, Peter ve Lam, Debra (2011), **How Cities Can Enter The Ecological Age**. T.-C. Wong, & B. Yuen İçinde, *Eco-City Planning Policies, Practice and Design* (S. 17-30), New York: Springer.
- Hess, Peter (2013), **Economic Growth and Sustainable Development**, Routledge, New York.
- Hezri, Adnan A. ve Hasan, Nordin (2004), "Management Framework For Sustainable Development Indicators in the State Of Selangor, Malaysia", *Ecological Indicators*, 287-304.
- Ho, Tin Kam vd. (1992), "On Multiple Classifier Systems for Pattern Recognition", *IEEE Int. Conference on Pattern Recognition (ICPR)*, The Hague, Netherlands, 84-87.
- HPI (2016), *The Happy Planet Index 2016*, New Economics Foundation.
- Hrotko, Joao (2019), **Measure Well-Being To Improve It**, Boston Consulting Group.
- Hsu, Angel ve Zomer, Alisa (2016), **Environmental Performance Index**, Wiley Statsref: Statistics Reference Online, 1-5.
- Huang, Jianwen vd. (2013), "TOPSIS Based On The Triangular Fuzzy Function and Its Application in Construction Scheme Optimization", **10th International Conference On Fuzzy Systems and Knowledge Discovery**, 332-337.
- Hwang, Ching-Lai ve Yoon, Kwangsun (1981), **Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications : A State-Of-The-Art Survey**, Springer-Verlag, New York.
- Inghels, Dirk (2020), **Introduction To Modeling Sustainable Development in Business Processes**, Springer, Switzerland.

- Jozi, S.A. vd. (2012), "An İntegrated Shannon's Entropy–TOPSIS Methodology For Environmental Risk Assessment Of Helleh Protected Area in Iran", **Environmental Monitoring and Assessment**, 184(11), 6913-6922.
- Kannan, Devika vd. (2020), "A Hybrid Approach Based On MCDM Methods and Monte Carlo Simulation For Sustainable Evaluation Of Potential Solar Sites in East Of Iran", **Journal Of Cleaner Production**, 279, 122368.
- Karaca, Nuray Gökçek ve Gökçek, Berrin (2014), "Türkiye ve Geçiş Ekonomilerinde Çok Boyutlu Yoksulluk ve İnsani Gelişme", **International Conference On Eurasian Economies**, 1-10.
- Kates, Robert W. (2001), Sustainability Science, **Science**(292), 641-642.
- Kerk, Geurt Van ve Manuel, Arthur R. (2008), "A Comprehensive Index For A Sustainable Society:The SSI- The Sustainable Society Index", **Ecological Economics**, 228-242.
- Klenk, Virginia (2007), **Understanding Symbolic Logic**, Prentice Hall, ABD.
- Klir, George J. ve Yuan, Bo (1995), **Fuzzy Sets and Fuzzy Logic Theory and Applications**, Prentice Hall, New Jersey.
- Kouloumpis, Victor D. vd. (2008), "Sustainability Assessment Of Nations and Related Decision Making Using Fuzzy Logic", **IEEE Systems Journal**, 224-236.
- Kwon, Yunhyung vd. (2014), "Results Of Tuberculosis Contact Investigation in Congregate Settings in Korea, 2013", **Osong Public Health and Research Perspectives** 5, 30-36.
- Lamichhane, Shyam vd. (2021), "Benchmarking OECD Countries' Sustainable Development Performance: A Goal-Specific Principal Component Analysis Approach", **Journal Of Cleaner Production**, 287(125040).
- Langer, Susanne K. (1967), **An Introduction To Symbolic Logic**, Dover Publications, Kanada.
- Li, Huimin vd. (2019), "Pythagorean Fuzzy TOPSIS Method Based On Similarity Measure and Its Application To Project Delivery System Selection", **Journal of Intelligent & Fuzzy Systems**, 37, 7059-7071.
- Li, Xu-Hui vd. (2020), "Passenger Satisfaction Evaluation of Public Transportation Using Pythagorean Fuzzy MULTIMOORA Method under Large Group Environment", **Sustainability**, 12, 4996.
- Liang, Decui vd. (2020), "Interval-Valued Pythagorean Fuzzy Power Average-Based MULTI MOORA Method For Multi-Criteria Decision-Making", **Journal of Experimental & Theoretical Artificial Intelligence**, 32(5), 845,874.
- _____ vd. (2019), "Pythagorean Fuzzy VIKOR Approaches Based On TODIM For Evaluating Internet Banking Website Quality Of Ghanaian Banking Industry", **Applied Soft Computing Journal**, 78, 583-594.

- Lima Junior, Francisco Rodrigues vd. (2014), "A Comparison Between Fuzzy AHP and Fuzzy TOPSIS Methods To Supplier Selection", **Applied Soft Computing**, 194-209.
- Lin, Yu-Li vd. (2019), "A Pythagorean Fuzzy TOPSIS Method Based on Novel Correlation Measures and Its Application to Multiple Criteria Decision Analysis of Inpatient Stroke Rehabilitation", **International Journal of Computational Intelligence Systems**, 12(1), 410-425.
- Liu, Kevin F. R. (2007), "Evaluating Environmental Sustainability: An Integration Of Multiple-Criteria Decision-Making and Fuzzy Logic", **Environmental Management**, 39, 721-736.
- Lotfi, Farhad Hosseinzadeh ve Fallahnejad, Reza (2010), "Imprecise Shannon's Entropy and Multi Attribute Decision Making", **Entropy**, 12, 53-62.
- Malinowski, Grzegorz (2007), **Many-Valued Logic and Its Philosophy**, D. Gabbay, & J. Woods İçinde, Handbook Of The History Of Logic (S. 13-94). Amsterdam: Elsevier.
- Mcneill, F. Martin ve Thro, Ellen (1994), **Fuzzy Logic: A Practical Approach**, Morgan Kaufmann Pub.
- Mesjasz, Czeslaw (2016), **Sustainability and Complexity: A Few Lessons From Modern Systems Thinking**, H. G. Brauch, Ú. O. Spring, J. Grin, & J. Scheffran İçinde, Handbook On Sustainability Transition and Sustainable Peace (S. 421-450). Switzerland: Springer.
- Mete, Süleyman (2019a), "Assessing Occupational Risks in Pipeline Construction Using FMEA-Based AHP-MOORA Integrated Approach Under Pythagorean Fuzzy Environment", **Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal**,
- _____ vd. (2019b), "A Decision-Support System Based On Pythagorean Fuzzy VIKOR For Occupational Risk Assessment Of A Natural Gas Pipeline Construction", *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 71, 102979.
- Michalos, Alex C. (2014), **Encyclopedia of Quality Of Life and Well-Being Research**, Springer, New York
- Mohagheghi, Vahid vd. (2020), " Introducing A Multi-Criteria Evaluation Method Using Pythagorean Fuzzy Sets A Case Study Focusing On Resilient Construction Project Selection", **Kybernetes**.
- Munier, Nolberto (2005), **Introduction To Sustainability Road To A Better Future**. Dordrecht: Springer.
- Murphy, Kevin (2012), "The Social Pillar Of Sustainable Development: A Literature Review and Framework For Policy Analysis", **Science, Practice and Policy**, 8(1),15-29.
- Nadaban, Sorin (2016), "Fuzzy TOPSIS: A General View", **Information Technology and Quantitative Management**, 823-831.

- Neumayer, Eric vd. (2001), "The Human Development Index and Sustainability-A Constructive Proposal", **Ecological Economics**, 39, 101-114.
- Nilashi, Mehrbakhsh vd. (2018), "Measuring Country Sustainability Performance Using Ensembles Of Neuro-Fuzzy Technique", **Sustainability**, 10, 1-20.
- OECD (2001a), **OECD Environmental Indicators-Towards Sustainable Development**, OECD, Paris.
- _____ (2001b). OECD Environmental Strategy For The First Decade Of The 21st Century. <https://www.oecd.org/env/indicators-modelling-outlooks/1863539.pdf> Adresinden Alındı
- _____ (2017), Ireland: Trade and Investment Statistical Note. OECD.
- _____ (2018), OECD Economic Surveys: Czech Republic 2018. Paris: OECD Publishing.
- Opricovic, Serafim ve Tzeng, Gwo-Hshiung (2002), "Multicriteria Planning Of Post-Earthquake Sustainable Reconstruction", **Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering**, 17, 211-220.
- Otay, İrem ve Yıldız, Tuğba (2020), "Multi-Criteria Cloud Computing Service Provider Selection Employing Pythagorean Fuzzy AHP and VIKOR", Proceedings of the INFUS 2020 Conference, Istanbul.
- Önder, Şerife ve Ağca, Ahmet (2018), "İşletmelerin Risk Gruplarına Göre Çevresel Sürdürülebilirlik Uygulamaları: BIST 100 Endeksinde Bir Uygulama", **İşletme Ve Toplum Bilimleri Araştırmaları Dergisi**, 7(1), 77-89.
- Öner, Necati (1986), **Klasik Mantık**, Ankara Üniversitesi Basımevi, Ankara.
- Öz, Nurdan Ece vd. (2018), "Risk Assessment For Clearing and Grading Process Of A Natural Gas Pipeline Project: An Extended TOPSIS Model with Pythagorean Fuzzy Sets For Prioritizing Hazards", **Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal**, 25(6), 1615-1632.
- Özdemir, Özge Arpacıoğlu (2019), "Mutluluk Kavramı ve İktisatta Mutluluk Üzerine Bir İnceleme", **International Social Sciences Studies Journal**, 50, 6598-6608.
- Özlem, Doğan (2004), **Mantık**, İnkılap Yayınevi, İstanbul.
- Pandit, Pintu vd. (2020), **Sustainability in Fashion and Textile**, P. Pandit, S. Ahmed, K. Singha, & S. Shrivastava İçinde, Recycling From Waste in Fashion and Textiles A Sustainable and Circular Economic Approach, 177-198, Hoboken: John Wiley & Sons.
- Parris, Thomas M. ve Kates, Robert W. (2003), "**Characterising and Measuring Sustainable Development**", Annual Review Of Environment and Resources, 2813(1), 559-586.

- Pearce, David W. ve Atkinson, Giles D. (1993), "Capital Theory and The Measurement Of Sustainable Development: An Indicator Of "Weak" Sustainability", **Ecological Economics**, 8(2), 103-108.
- Pelletier, Francis Jeffry (2000), "Metamathematics Of Fuzzy Logic", **The Bulletin Of Symbolic Logic**, 342-346.
- Peng, Xindong vd. (2017), "Pythagorean Fuzzy Information Measures and Their Applications", **International Journal Of Intelligent Systems**, 1-39.
- Phillis, Yannis ve Andriantiatsaholiniaina, Luc Aurelien (2001), "Sustainability: An Ill-Defined Concept and Its Assessment Using Fuzzy Logic", **Ecological Economics**, 37(2001), 435-456.
- _____ ve Kouikoglou, Vassilis S. (2009), **Fuzzy Measurement Of Sustainability**, Nova Science Publishers, Inc., Newyork.
- _____ vd. (2011), "Sustainability Ranking and Improvement Of Countries", **Ecological Economics**, 542-553.
- _____ (2010), "Review Of Sustainability Assessment Models As System Of Systems", **IEEE Systems Journal**, 15-25.
- Pires, Sara Moreno (2014), "Measuring and Comparing Local Sustainable Development Through Common Indicators: Constraints and Achievements in Practice", **Cities**, 39, 1-9.
- Pisani, Jacobus A. (2006), "Sustainable Development–Historical Roots Of The Concept", **Environmental Sciences**, 3(2), 83-96.
- Prescott-Allen, Robert (1995), **A Barometer Of Sustainability**, IUCN/IDRC, Kanada.
- Rani, Pratibha vd. (2019a), "A Novel VIKOR Approach Based On Entropy and Divergence Measures Of Pythagorean Fuzzy Sets To Evaluate Renewable Energy Technologies in India", **Journal Of Cleaner Production**, 238, 117936.
- _____ vd. (2019b), "Extended Pythagorean Fuzzy TOPSIS Method Based on Similarity Measure for Sustainable Recycling Partner Selection", **International Journal of Fuzzy Systems**, 22, 735-747.
- Rees, William E. (1992), "Ecological Footprints and Appropriated Carrying Capacity: What Urban Economics Leaves Out", **Environment And Urbanization**, 4(2), 121-130.
- Rogers, Deborah S. vd. (2012), "A Vision For Human Well-Being: Transition To Social Sustainability", **Current Opinion In Environmental Sustainability**, 4(1),61–73.
- Ross, Timothy J. (2004), **Fuzzy Logic With Engineering Applications**, John Wiley & Sons, İngiltere

- Sachs, Jeffrey D. (2015), **The Age Of Sustainable Development**, Columbia University Press, West Sussex
- ____ vd. (2020), **The Sustainable Development Goals and Covid-19**, Sustainable Development Report 2020, Cambridge University Press, Cambridge.
- Sarkar, Biswajit ve Biswas, Animesh (2021a), "A Multi-Criteria Decision Making Approach For Strategy Formulation Using Pythagorean Fuzzy Logic", **Expert Systems** **2022**, 39.
- ____ (2021b), "Pythagorean Fuzzy AHP-TOPSIS Integrated Approach For Transportation Management Through A New Distance Measure", *Soft Computing*, 25, 4073-4089.
- Schieler, Max (2019), **Country Sustainability Ranking Update**, Zurich: Robecosam.
- ____ (2021), **Country Sustainability Ranking Update**, Zurich: Robecosam.
- SEDAC (2020), **Environmental Sustainability Index (ESI)**. <https://Sedac.Ciesin.Columbia.Edu/Data/Collection/Esi/> Adresinden Alındı
- Shih, Hsu-Shih vd. (2007), "An Extension Of TOPSIS For Group Decision Making", **Mathematical and Computer Modelling**, 45(7-8), 801-813.
- Silva, Aldo Joel Villa vd. (2019), " Dimensional Analysis Under Pythagorean Fuzzy Approach for Supplier Selection", **Symmetry**, 11, 336.
- Singh, Rajesh Kumar (2012), "An Overview Of Sustainability Assessment Methodologies", **Ecological Indicators** (12), 281-299.
- Solability (2020), **The Sustainable Competitiveness Report 9th Edition**, Solability Sustainable Intelligence, Zurich.
- Spindler, Edmund A. (2013), **The History Of Sustainability The Origins and Effects of A Popular Concept**, I. Jenkins, & R. Schröder İçinde, *Sustainability in Tourism: A Multidisciplinary Approach*, 9-32, Wiesbaden: Springer Gabler.
- Syrovátka, Miroslav (2019), "On Sustainability Interpretations Of The Ecological Footprint", **Ecological Economics**, 169,1-10.
- Şen, Hüseyin vd. (2018), "Sürdürülebilirlik Üzerine Tarihsel ve Güncel Bir Perspektif", **Ekonomik Yaklaşım**, 29(107), 1-47.
- Talan, Anita vd. (2020), **The Need, Role and Significance Of Sustainability**, R. Y. Surampalli, T. C. Zhang, M. K. Goyal, S. K. Brar, & R. D. Tyagi İçinde, *Sustainability Fundamentals and Applications* (S. 21-42), Oxford: John Wiley & Sons.
- Talberth, John vd. (2007), **The Genuine Progress Indicator 2006**, Redefining Progress, Oakland
- Talu, Nuran (2019), *Avrupa Birliği İklim Politikaları*. Ankara: We Global. [Http://Www.İklimin.Org/Moduller/Abpolitikolari.Pdf](http://Www.İklimin.Org/Moduller/Abpolitikolari.Pdf) Adresinden Alındı

- Tan, Yongtao vd. (2017), "An Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) Approach For Measuring Country Sustainability Performance", **Environmental Impact Assessment Review**, 65, 29-40.
- Thao, Nguyen Xuan ve Smarandache, Florentin (2019), "A New Fuzzy Entropy On Pythagorean Fuzzy Sets", **Journal Of Intelligent & Fuzzy Systems**, 37, 1065-1074.
- UN (2020), **Millennium Development Goals**. United Nations Development Programme: https://www.undp.org/content/undp/en/home/sdgoverview/mdg_goals.html Adresinden Alındı
- UNDP (2010), **The Real Wealth Of Nations: Pathways To Human Development**, New York: Palgrave Macmillan. http://hdr.undp.org/sites/default/files/reports/270/hdr_2010_en_complete_reprint.pdf Adresinden Alındı
- UNDP Türkiye (2020), **Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları**, <https://www.tr.undp.org/content/Turkey/tr/home/sustainable-development-goals.html> Adresinden Alındı
- URL, "Green Paper On The Urban Environment", <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/0e4b169c-91b8-4de0-9fed-ead286a4efb7/language-en> adresinden alındı
- US EPA (2020), **Learn About Sustainability**, United States Environmental Protection Agency: <https://www.epa.gov/sustainability/learn-about-sustainability#what> Adresinden Alındı
- Wackernagel, Mathis ve Yount, David (1997), "The Ecological Footprint: An Indicator Of Progress Toward Regional Sustainability", **Proceedings Of The Third Symposium On The Environmental Monitoring and Assessment Program (EMAP)**, 511-529, Springer, New York.
- Walkowiak, Bettina Bahn vd. (2020), **Eco-Innovation and Digitalisation: Case Studies**, Environmental and Policy Lessons From EU Member States For The EU Green Deal And The Circular Economy, Wuppertal: European Commission.
- Wan, Shu-Ping vd. (2018), "A Three-Phase Method For Pythagorean Fuzzy Multiattribute Group Decision Making and Application To Haze Management", **Computers & Industrial Engineering**, 123, 348-363.
- Wang, Li-Xin (1997), **A Course in Fuzzy Systems and Control**, Prentice-Hall.
- Wang, Tien-Chin vd. (2006), "Multi-Criteria Decision Analysis By Using Fuzzy VIKOR", **2006 International Conference On Service Systems and Service Management**.
- Washington, Haydn (2015), **Demystifying Sustainability Towards Real Solutions**, Routledge, New York.
- WCED (1987), **Our Common Future**, Report Of The World Commission On Environment and Development.

- Wendling, Zachary vd. (2020), **2020 Environmental Performance Index**, Ct: Yale Center For Environmental, New Haven.
- Weziak-Bialowolska, Dorota Maria ve Dijkstra, Lewis (2014), **Regional Human Poverty Index Poverty in The Regions Of The European**, European Union, Luxembourg.
- Wong, Wai Kit ve Lim, Heng Siong (2016), **Extended Kalman Filter Based Fuzzy Adaptive Filter**, B. Akselsen İçinde, Kalman Filter Recent Advances and Applications, 87-120, Scitus Academics.
- WWF Türkiye (2012), **Türkiye'nin Ekolojik Ayak İzi Raporu**, WWF.
- Xu, Ting-Ting vd. (2020), "Pythagorean Fuzzy Entropy and Its Application in Multiple-Criteria Decision-Making", **International Journal Of Fuzzy Systems**, 22, 1552-1564.
- Xu, Zeshui (2005), An Overview Of Methods For Determining OWA Weights, **International Journal Of Intelligent Systems**, 20(8), 843-865.
- Xue, Wenting vd. (2017), "Pythagorean Fuzzy LINMAP Method Based On The Entropy Theory For Railway Project Investment Decision Making", **International Journal Of Intelligent Systems**, 33(1), 93-25.
- Yager, Ronald R. (2014), "Pythagorean Membership Grades in Multicriteria Decision Making", **IEEE Transactions On Fuzzy Systems**, 22(4), 958-965.
- _____ ve Abbasov, Ali M. (2013), "Pythagorean Membership Grades, Complex Numbers, and Decision Making", **International Journal Of Intelligent Systems**, 28(5), 436-452.
- Yale Üniversitesi (2020), Environmental Performance Index, <https://Epi.Envirocenter.Yale.Edu/> Adresinden Alındı
- Yang, Miin Shen ve Hussain, Zahid (2018), "Fuzzy Entropy For Pythagorean Fuzzy Sets with Application to Multicriterion Decision Making", **Complexity**, 1-14.
- YDI (2020), The Commonwealth. Youth Development Index 2016: <https://The.commonwealth.Org/Youthdevelopmentindex> Adresinden Alındı
- Yılmaz, Rıza Fikret (2011), "**Sürdürülebilir Kalkınmanın Ölçülmesi ve Türkiye İçin Yöntem Geliştirilmesi**", Sosyal Sektörel ve Koordinasyon Genel Müdürlüğü, Uzmanlık Tezi, Ankara.
- Yıldız Ashihan vd. (2020), "A Modified Balanced Scorecard Based Hybrid Pythagorean Fuzzy AHP-TOPSIS Methodology For ATM Site Selection Problem", **International Journal of Information Technology & Decision Making**.
- York, Richard vd. (2003), "STIRPAT, IPAT and Impact: Analytic Tools For Unpacking The Driving Forces Of Environmental Impacts", **Ecological Economics**, 46(3), 351-365.
- Zadeh, Lotfi A. (1965), "Fuzzy Sets", **Information and Control**, 8(3), 338-353.

- _____(1989), "Knowledge Representation In Fuzzy Logic", **IEEE Transactions On Knowledge And Data Engineering**, 89-100.
- Zeng, Shouzhen vd. (2016), " A Hybrid Method for Pythagorean Fuzzy Multiple-Criteria Decision Making", **International Journal of Information Technology & Decision Making**, 14, 1-20.
- Zhang, Jing (2013), "Research On Therapy Garden Design For Immigrant Women", **Applied Mechanics and Materials**, (409-410), 8-11.
- Zhang, Xiaolu (2016), "Multicriteria Pythagorean Fuzzy Decision Analysis: A Hierarchical QUALIFLEX Approach With The Closeness Index-Based Ranking Methods", **Information Sciences**, 330, 104-124.
- ____ ve Xu, Zeshui (2014), "Extension Of TOPSIS To Multiple Criteria Decision Making with Pythagorean Fuzzy Sets", **International Journal Of Intelligent Systems**, 29(12), 1061-1078.
- Zimmermann, Hans-Jürgen (1996), **Fuzzy Set Theory and Its Applications**, Kluwer Academic Publishers, Hollanda.
- Zimonjić, Stefan vd. (2018), "Application Of VIKOR Method In Ranking The Investment Projects", **Original Scientific Paper**, 125-134.



EKLER

EK 1-A: Normalize Edilmiş (Crisp) Karar Matrisi (Sosyal Boyut)

Sosyal Boyut	Çocuk Aşılama Oranı	Bebek Ölümler Hızı	Beklenen Ömür	İnternet Kullanıcı Sayısı	Okullaşma Oranı	Nüfus Yoğunluğu	Hükümet Etkinliği	Verem Vaka Oranı
ABD	0,64	0,65	0,42	0,60	0,62	0,94	0,75	1,00
Almanya	0,50	0,86	0,66	0,67	0,43	0,55	0,84	0,94
Avustralya	0,62	0,87	0,85	0,65	0,81	1,00	0,78	0,95
Avusturya	0,08	0,89	0,72	0,65	0,36	0,80	0,74	0,94
Belçika	0,93	0,89	0,71	0,69	0,92	0,29	0,61	0,91
Çek Cumhuriyeti	0,80	0,93	0,45	0,43	0,19	0,74	0,49	0,97
Danimarka	0,73	0,85	0,66	0,96	0,93	0,75	0,93	0,96
Estonya	0,45	0,96	0,35	0,72	0,61	0,95	0,56	0,82
Finlandiya	0,42	0,97	0,73	0,70	0,92	0,97	0,94	0,97
Fransa	0,77	0,83	0,83	0,49	0,96	0,77	0,70	0,91
Güney Kore	0,90	0,90	0,82	0,87	0,86	0,00	0,57	0,00
Hollanda	0,60	0,85	0,75	0,83	0,89	0,04	0,91	0,96
İngiltere	0,59	0,82	0,69	0,86	0,98	0,48	0,75	0,91
İrlanda	0,64	0,88	0,77	0,60	1,00	0,87	0,68	0,94
İspanya	0,77	0,91	0,91	0,59	0,86	0,83	0,53	0,89
İsrail	0,80	0,88	0,83	0,51	0,85	0,25	0,66	0,99
İsveç	0,88	0,95	0,82	0,83	0,97	0,96	0,90	0,95
İsviçre	0,75	0,82	0,93	0,75	0,98	0,60	1,00	0,94
İtalya	0,62	0,90	0,89	0,08	0,82	0,61	0,24	0,94
İzlanda	0,32	1,00	0,84	1,00	0,97	1,00	0,73	1,00
Japonya	0,92	0,98	1,00	0,69	0,60	0,34	0,84	0,82
Kanada	0,34	0,76	0,77	0,78	0,68	1,00	0,88	0,96
Letonya	0,83	0,83	0,00	0,52	0,80	0,95	0,51	0,56
Lüksemburg	1,00	0,94	0,81	0,96	0,89	0,54	0,86	0,94
Macaristan	1,00	0,83	0,14	0,39	0,73	0,80	0,25	0,93
Meksika	0,00	0,00	0,02	0,00	0,95	0,88	0,00	0,71
Norveç	0,75	0,96	0,83	0,96	0,99	0,98	0,94	0,97
Polonya	0,78	0,80	0,33	0,35	0,76	0,77	0,34	0,79
Portekiz	0,95	0,88	0,71	0,26	0,85	0,79	0,61	0,74
Slovakya	0,60	0,99	0,60	0,42	0,82	0,81	0,39	0,96
Slovenya	0,77	0,72	0,33	0,49	0,00	0,79	0,55	0,95
Şili	0,67	0,59	0,55	0,52	0,65	0,96	0,51	0,79
Türkiye	0,88	0,28	0,25	0,02	0,61	0,80	0,03	0,79
Yeni Zelanda	0,47	0,78	0,75	0,75	0,91	0,97	0,88	0,94
Yunanistan	1,00	0,83	0,72	0,22	0,85	0,85	0,15	0,98

EK 1-B: Normalize Edilmiş (Crisp) Karar Matrisi (Ekonomik Boyut)

Ekonomik Boyut	Doğrudan Yabancı Yat.	Net Tasarruflar	GSYİH	Gelir Dağılımı	İşsizlik Oranı	İşgücüne Katılım Oranı	İhracat Oranı	Merkezi Yönetim Borç Stoku
ABD	0,25	0,37	0,44	0,28	0,91	0,49	0,00	0,57
Almanya	0,26	0,72	0,36	0,72	0,95	0,46	0,17	0,81
Avustralya	0,29	0,47	0,46	0,59	0,85	0,53	0,05	0,89
Avusturya	0,10	0,66	0,39	0,76	0,86	0,44	0,21	0,73
Belçika	0,11	0,59	0,36	0,90	0,78	0,23	0,34	0,57
Çek Cumhuriyeti	0,30	0,65	0,13	0,99	0,99	0,44	0,33	0,88
Danimarka	0,20	0,76	0,53	0,87	0,85	0,45	0,22	0,89
Estonya	0,31	0,69	0,09	0,69	0,84	0,48	0,31	1,00
Finlandiya	0,28	0,50	0,38	0,90	0,71	0,34	0,12	0,77
Fransa	0,24	0,50	0,33	0,67	0,64	0,24	0,09	0,61
Güney Kore	0,21	1,00	0,17	0,53	0,95	0,52	0,14	0,85
Hollanda	0,56	0,78	0,44	0,86	0,89	0,52	0,35	0,75
İngiltere	0,31	0,15	0,33	0,52	0,91	0,49	0,09	0,59
İrlanda	1,00	0,91	0,62	0,71	0,78	0,43	0,55	0,67
İspanya	0,25	0,48	0,22	0,49	0,20	0,18	0,11	0,58
İsrail	0,32	0,58	0,24	0,43	0,91	0,52	0,09	0,73
İsveç	0,27	0,70	0,47	0,81	0,78	0,69	0,16	0,84
İsviçre	0,40	0,91	0,68	0,66	0,89	0,62	0,26	0,98
İtalya	0,22	0,41	0,25	0,50	0,55	0,08	0,09	0,35
İzlanda	0,00	0,50	0,40	0,95	0,98	1,00	0,18	0,81
Japonya	0,20	0,68	0,38	0,65	1,00	0,46	0,03	0,00
Kanada	0,26	0,39	0,41	0,66	0,81	0,53	0,10	0,83
Letonya	0,26	0,51	0,05	0,53	0,70	0,38	0,24	0,86
Lüksemburg	0,33	0,33	1,00	0,57	0,83	0,39	1,00	0,96
Macaristan	0,31	0,63	0,06	0,73	0,91	0,32	0,36	0,67
Meksika	0,27	0,51	0,00	0,03	0,95	0,43	0,13	0,86
Norveç	0,19	0,94	0,81	0,88	0,93	0,53	0,12	0,97
Polonya	0,27	0,39	0,06	0,75	0,88	0,32	0,20	0,80
Portekiz	0,28	0,31	0,13	0,52	0,67	0,32	0,15	0,38
Slovakya	0,28	0,60	0,15	0,94	0,80	0,34	0,34	0,76
Slovenya	0,28	0,48	0,10	1,00	0,71	0,36	0,40	0,69
Şili	0,32	0,39	0,05	0,00	0,77	0,38	0,08	0,94
Türkiye	0,23	0,62	0,04	0,14	0,54	0,14	0,07	0,89
Yeni Zelanda	0,21	0,44	0,28	0,55	0,90	0,66	0,08	0,88
Yunanistan	0,23	0,00	0,13	0,54	0,00	0,00	0,11	0,06

EK 1-C: Normalize Edilmiş (Crisp) Karar Matrisi (Çevresel Boyut)

Çevresel Boyut	CO2 Emisyonu	Enerji Tüketimi	Ormanlık Alan	Hava Kalitesi	Su Kaynaklarına Erişim	Ekolojik Ayak İzi	Yenilenebilir Enerji	Geri Dönüşüm Oranı
ABD	0,04	0,49	0,01	0,90	0,73	0,37	0,03	0,50
Almanya	0,59	0,22	0,00	0,71	1,00	0,45	0,04	1,00
Avustralya	0,00	0,32	0,05	0,95	1,00	0,91	0,03	0,67
Avusturya	0,71	0,27	0,00	0,69	1,00	0,45	0,10	0,85
Belçika	0,64	0,34	0,00	0,68	1,00	0,32	0,02	0,80
Çek Cumhuriyeti	0,54	0,21	0,00	0,48	0,96	0,46	0,01	0,48
Danimarka	0,85	0,18	0,00	0,81	1,00	0,47	0,06	0,72
Estonya	0,33	0,15	0,02	0,97	0,88	0,76	0,02	0,39
Finlandiya	0,67	0,46	0,04	1,00	1,00	0,98	0,10	0,61
Fransa	0,92	0,18	0,00	0,73	1,00	0,51	0,02	0,64
Güney Kore	0,95	0,34	0,00	0,03	0,87	0,30	0,00	0,62
Hollanda	0,71	0,30	0,01	0,71	1,00	0,38	0,01	0,80
İngiltere	0,86	0,12	0,00	0,80	1,00	0,45	0,02	0,64
İrlanda	0,69	0,16	0,00	0,90	0,00	0,53	0,03	0,56
İspanya	0,88	0,11	0,00	0,80	0,96	0,47	0,03	0,48
İsrail	0,71	0,10	0,00	0,36	1,00	0,35	0,00	0,28
İsveç	1,00	0,30	0,03	0,99	1,00	0,80	0,17	0,69
İsviçre	0,96	0,15	0,00	0,78	1,00	0,43	0,08	0,78
İtalya	0,88	0,12	0,00	0,53	0,77	0,43	0,03	0,69
İzlanda	0,58	1,00	0,00	0,97	1,00	0,54	1,00	0,40
Japonya	0,59	0,17	0,00	0,64	0,60	0,41	0,02	0,27
Kanada	0,09	0,59	0,09	0,94	0,77	1,00	0,21	0,37
Letonya	0,39	0,13	0,00	0,66	0,44	0,74	0,03	0,40
Lüksemburg	0,92	0,66	1,00	0,80	0,96	0,00	0,01	0,71
Macaristan	0,93	0,13	0,00	0,50	1,00	0,56	0,00	0,50
Meksika	0,69	0,00	0,00	0,32	0,47	0,54	0,00	0,04
Norveç	0,71	0,38	0,02	0,95	1,00	0,71	0,48	0,58
Polonya	0,89	0,12	0,00	0,24	0,69	0,49	0,01	0,48
Portekiz	0,84	0,08	0,01	0,88	0,96	0,46	0,04	0,41
Slovakya	0,80	0,12	0,00	0,42	0,92	0,54	0,02	0,37
Slovenya	0,46	0,18	0,01	0,48	0,81	0,48	0,04	0,85
Şili	0,95	0,06	0,01	0,18	0,85	0,58	0,03	0,00
Türkiye	0,93	0,03	0,00	0,00	0,56	0,52	0,02	0,11
Yeni Zelanda	0,68	0,27	0,02	0,98	1,00	0,87	0,13	0,86
Yunanistan	0,80	0,06	0,00	0,59	1,00	0,47	0,02	0,24

EK 2-A: Pisagor Bulanık Sayılardan Oluşan Karar Matrisi (Sosyal Boyut)

	S1			S2			S3			S4			S5			S6			S7			S8		
	μ	V	pi	μ	V	pi	μ	V	pi	μ	V	pi	μ	V	pi	μ	V	pi	μ	V	pi	μ	V	pi
ABD	0,60	0,71	0,37	0,60	0,71	0,37	0,50	0,80	0,33	0,50	0,80	0,33	0,60	0,71	0,37	0,80	0,44	0,41	0,60	0,71	0,37	1,00	0,00	0,00
Almanya	0,50	0,80	0,33	0,70	0,60	0,39	0,60	0,71	0,37	0,60	0,71	0,37	0,50	0,80	0,33	0,50	0,80	0,33	0,70	0,60	0,39	0,80	0,44	0,41
Avustralya	0,60	0,71	0,37	0,70	0,60	0,39	0,70	0,60	0,39	0,60	0,71	0,37	0,70	0,60	0,39	1,00	0,00	0,00	0,70	0,60	0,39	0,80	0,44	0,41
Avusturya	0,10	0,97	0,22	0,80	0,44	0,41	0,60	0,71	0,37	0,60	0,71	0,37	0,40	0,87	0,29	0,70	0,60	0,39	0,60	0,71	0,37	0,80	0,44	0,41
Belçika	0,80	0,44	0,41	0,80	0,44	0,41	0,60	0,71	0,37	0,60	0,71	0,37	0,80	0,44	0,41	0,40	0,87	0,29	0,60	0,71	0,37	0,80	0,44	0,41
Çek Cumhuriyeti	0,70	0,60	0,39	0,80	0,44	0,41	0,50	0,80	0,33	0,50	0,80	0,33	0,25	0,92	0,30	0,60	0,71	0,37	0,50	0,80	0,33	1,00	0,00	0,00
Danimarka	0,60	0,71	0,37	0,70	0,60	0,39	0,60	0,71	0,37	1,00	0,00	0,00	0,80	0,44	0,41	0,60	0,71	0,37	0,80	0,44	0,41	1,00	0,00	0,00
Estonya	0,50	0,80	0,33	0,80	0,44	0,41	0,40	0,87	0,29	0,60	0,71	0,37	0,60	0,71	0,37	0,80	0,44	0,41	0,50	0,80	0,33	0,70	0,60	0,39
Finlandiya	0,50	0,80	0,33	1,00	0,00	0,00	0,60	0,71	0,37	0,60	0,71	0,37	0,80	0,44	0,41	1,00	0,00	0,00	0,80	0,44	0,41	1,00	0,00	0,00
Fransa	0,70	0,60	0,39	0,70	0,60	0,39	0,70	0,60	0,39	0,50	0,80	0,33	1,00	0,00	0,00	0,70	0,60	0,39	0,60	0,71	0,37	0,80	0,44	0,41
Güney Kore	0,80	0,44	0,41	0,80	0,44	0,41	0,70	0,60	0,39	0,70	0,60	0,39	0,70	0,60	0,39	0,10	0,99	0,10	0,50	0,80	0,33	0,10	0,99	0,10
Hollanda	0,60	0,71	0,37	0,70	0,60	0,39	0,60	0,71	0,37	0,70	0,60	0,39	0,80	0,44	0,41	0,10	0,99	0,10	0,80	0,44	0,41	1,00	0,00	0,00
İngiltere	0,50	0,80	0,33	0,70	0,60	0,39	0,60	0,71	0,37	0,70	0,60	0,39	1,00	0,00	0,00	0,50	0,80	0,33	0,60	0,71	0,37	0,80	0,44	0,41
İrlanda	0,60	0,71	0,37	0,80	0,44	0,41	0,70	0,60	0,39	0,50	0,80	0,33	1,00	0,00	0,00	0,70	0,60	0,39	0,60	0,71	0,37	0,80	0,44	0,41
İspanya	0,70	0,60	0,39	0,80	0,44	0,41	0,80	0,44	0,41	0,50	0,80	0,33	0,70	0,60	0,39	0,70	0,60	0,39	0,50	0,80	0,33	0,80	0,44	0,41
İsrail	0,70	0,60	0,39	0,70	0,60	0,39	0,70	0,60	0,39	0,50	0,80	0,33	0,70	0,60	0,39	0,40	0,87	0,29	0,60	0,71	0,37	1,00	0,00	0,00
İsveç	0,80	0,44	0,41	0,80	0,44	0,41	0,70	0,60	0,39	0,70	0,60	0,39	1,00	0,00	0,00	0,80	0,44	0,41	0,80	0,44	0,41	0,80	0,44	0,41
İsviçre	0,60	0,71	0,37	0,70	0,60	0,39	0,80	0,44	0,41	0,60	0,71	0,37	1,00	0,00	0,00	0,50	0,80	0,33	1,00	0,00	0,00	0,80	0,44	0,41
İtalya	0,60	0,71	0,37	0,80	0,44	0,41	0,80	0,44	0,41	0,10	0,97	0,22	0,70	0,60	0,39	0,60	0,71	0,37	0,25	0,92	0,30	0,80	0,44	0,41
İzlanda	0,40	0,87	0,29	1,00	0,00	0,00	0,70	0,60	0,39	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,60	0,71	0,37	1,00	0,00	0,00
Japonya	0,80	0,44	0,41	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,60	0,71	0,37	0,50	0,80	0,33	0,40	0,87	0,29	0,70	0,60	0,39	0,70	0,60	0,39
Kanada	0,40	0,87	0,29	0,70	0,60	0,39	0,70	0,60	0,39	0,70	0,60	0,39	0,60	0,71	0,37	1,00	0,00	0,00	0,80	0,44	0,41	1,00	0,00	0,00
Letonya	0,70	0,60	0,39	0,70	0,60	0,39	0,10	0,99	0,10	0,50	0,80	0,33	0,70	0,60	0,39	0,80	0,44	0,41	0,50	0,80	0,33	0,50	0,80	0,33
Lüksemburg	1,00	0,00	0,00	0,80	0,44	0,41	0,70	0,60	0,39	1,00	0,00	0,00	0,80	0,44	0,41	0,50	0,80	0,33	0,70	0,60	0,39	0,80	0,44	0,41
Macaristan	1,00	0,00	0,00	0,70	0,60	0,39	0,25	0,92	0,30	0,40	0,87	0,29	0,60	0,71	0,37	0,70	0,60	0,39	0,40	0,87	0,29	0,80	0,44	0,41
Meksika	0,10	0,99	0,10	0,10	0,99	0,10	0,10	0,99	0,10	0,10	0,99	0,10	0,80	0,44	0,41	0,80	0,44	0,41	0,10	0,99	0,10	0,60	0,71	0,37
Norveç	0,60	0,71	0,37	1,00	0,00	0,00	0,70	0,60	0,39	0,80	0,44	0,41	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,80	0,44	0,41	1,00	0,00	0,00
Polonya	0,70	0,60	0,39	0,70	0,60	0,39	0,40	0,87	0,29	0,40	0,87	0,29	0,60	0,71	0,37	0,70	0,60	0,39	0,40	0,87	0,29	0,70	0,60	0,39
Portekiz	0,80	0,44	0,41	0,80	0,44	0,41	0,60	0,71	0,37	0,40	0,87	0,29	0,70	0,60	0,39	0,70	0,60	0,39	0,60	0,71	0,37	0,60	0,71	0,37
Slovakya	0,60	0,71	0,37	1,00	0,00	0,00	0,50	0,80	0,33	0,50	0,80	0,33	0,70	0,60	0,39	0,70	0,60	0,39	0,40	0,87	0,29	1,00	0,00	0,00
Slovenya	0,70	0,60	0,39	0,60	0,71	0,37	0,40	0,87	0,29	0,50	0,80	0,33	0,10	0,99	0,10	0,70	0,60	0,39	0,50	0,80	0,33	0,80	0,44	0,41
Şili	0,60	0,71	0,37	0,50	0,80	0,33	0,50	0,80	0,33	0,50	0,80	0,33	0,60	0,71	0,37	0,80	0,44	0,41	0,50	0,80	0,33	0,70	0,60	0,39
Türkiye	0,80	0,44	0,41	0,40	0,87	0,29	0,40	0,87	0,29	0,10	0,99	0,10	0,60	0,71	0,37	0,70	0,60	0,39	0,10	0,99	0,10	0,70	0,60	0,39
Yeni Zelanda	0,50	0,80	0,33	0,70	0,60	0,39	0,60	0,71	0,37	0,60	0,71	0,37	0,80	0,44	0,41	1,00	0,00	0,00	0,70	0,60	0,39	0,80	0,44	0,41
Yunanistan	1,00	0,00	0,00	0,70	0,60	0,39	0,60	0,71	0,37	0,25	0,92	0,30	0,70	0,60	0,39	0,70	0,60	0,39	0,25	0,92	0,30	1,00	0,00	0,00

EK 2-B: Pisagor Bulanık Sayılardan Oluşan Karar Matrisi (Ekonomik Boyut)

	E1			E2			E3			E4			E5			E6			E7			E8		
	μ	V	pi	μ	V	pi	μ	V	pi	μ	V	pi	μ	V	pi	μ	V	pi	μ	V	pi	μ	V	pi
ABD	0,40	0,87	0,29	0,40	0,87	0,29	0,50	0,80	0,33	0,40	0,87	0,29	0,80	0,44	0,41	0,50	0,80	0,33	0,10	0,99	0,10	0,50	0,80	0,33
Almanya	0,40	0,87	0,29	0,60	0,71	0,37	0,40	0,87	0,29	0,60	0,71	0,37	0,80	0,44	0,41	0,50	0,80	0,33	0,25	0,92	0,30	0,70	0,60	0,39
Avustralya	0,40	0,87	0,29	0,50	0,80	0,33	0,50	0,80	0,33	0,50	0,80	0,33	0,70	0,60	0,39	0,50	0,80	0,33	0,10	0,97	0,22	0,80	0,44	0,41
Avusturya	0,10	0,97	0,22	0,60	0,71	0,37	0,40	0,87	0,29	0,70	0,60	0,39	0,70	0,60	0,39	0,50	0,80	0,33	0,25	0,92	0,30	0,60	0,71	0,37
Belçika	0,10	0,97	0,22	0,50	0,80	0,33	0,40	0,87	0,29	0,80	0,44	0,41	0,70	0,60	0,39	0,25	0,92	0,30	0,40	0,87	0,29	0,50	0,80	0,33
Çek Cumhuriyeti	0,40	0,87	0,29	0,60	0,71	0,37	0,25	0,92	0,30	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,50	0,80	0,33	0,40	0,87	0,29	0,70	0,60	0,39
Danimarka	0,25	0,92	0,30	0,70	0,60	0,39	0,50	0,80	0,33	0,70	0,60	0,39	0,70	0,60	0,39	0,50	0,80	0,33	0,25	0,92	0,30	0,80	0,44	0,41
Estonya	0,40	0,87	0,29	0,60	0,71	0,37	0,10	0,97	0,22	0,60	0,71	0,37	0,70	0,60	0,39	0,50	0,80	0,33	0,40	0,87	0,29	1,00	0,00	0,00
Finlandiya	0,40	0,87	0,29	0,50	0,80	0,33	0,40	0,87	0,29	0,80	0,44	0,41	0,60	0,71	0,37	0,40	0,87	0,29	0,25	0,92	0,30	0,70	0,60	0,39
Fransa	0,25	0,92	0,30	0,50	0,80	0,33	0,40	0,87	0,29	0,60	0,71	0,37	0,60	0,71	0,37	0,40	0,87	0,29	0,10	0,97	0,22	0,60	0,71	0,37
Güney Kore	0,25	0,92	0,30	1,00	0,00	0,00	0,25	0,92	0,30	0,50	0,80	0,33	0,80	0,44	0,41	0,50	0,80	0,33	0,25	0,92	0,30	0,70	0,60	0,39
Hollanda	0,50	0,80	0,33	0,70	0,60	0,39	0,50	0,80	0,33	0,70	0,60	0,39	0,80	0,44	0,41	0,50	0,80	0,33	0,40	0,87	0,29	0,60	0,71	0,37
İngiltere	0,40	0,87	0,29	0,25	0,92	0,30	0,40	0,87	0,29	0,50	0,80	0,33	0,80	0,44	0,41	0,50	0,80	0,33	0,10	0,97	0,22	0,50	0,80	0,33
İrlanda	1,00	0,00	0,00	0,80	0,44	0,41	0,60	0,71	0,37	0,60	0,71	0,37	0,70	0,60	0,39	0,50	0,80	0,33	0,50	0,80	0,33	0,60	0,71	0,37
İspanya	0,40	0,87	0,29	0,50	0,80	0,33	0,25	0,92	0,30	0,50	0,80	0,33	0,25	0,92	0,30	0,25	0,92	0,30	0,10	0,97	0,22	0,50	0,80	0,33
İsrail	0,40	0,87	0,29	0,50	0,80	0,33	0,40	0,87	0,29	0,50	0,80	0,33	0,80	0,44	0,41	0,50	0,80	0,33	0,10	0,97	0,22	0,60	0,71	0,37
İsveç	0,40	0,87	0,29	0,60	0,71	0,37	0,50	0,80	0,33	0,70	0,60	0,39	0,70	0,60	0,39	0,60	0,71	0,37	0,25	0,92	0,30	0,70	0,60	0,39
İsviçre	0,40	0,87	0,29	0,80	0,44	0,41	0,60	0,71	0,37	0,60	0,71	0,37	0,80	0,44	0,41	0,60	0,71	0,37	0,40	0,87	0,29	1,00	0,00	0,00
İtalya	0,25	0,92	0,30	0,50	0,80	0,33	0,40	0,87	0,29	0,50	0,80	0,33	0,50	0,80	0,33	0,10	0,97	0,22	0,10	0,97	0,22	0,40	0,87	0,29
İzlanda	0,10	0,99	0,10	0,50	0,80	0,33	0,50	0,80	0,33	0,80	0,44	0,41	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,25	0,92	0,30	0,70	0,60	0,39
Japonya	0,25	0,92	0,30	0,60	0,71	0,37	0,40	0,87	0,29	0,60	0,71	0,37	1,00	0,00	0,00	0,50	0,80	0,33	0,10	0,99	0,10	0,10	0,99	0,10
Kanada	0,40	0,87	0,29	0,40	0,87	0,29	0,50	0,80	0,33	0,60	0,71	0,37	0,70	0,60	0,39	0,50	0,80	0,33	0,10	0,97	0,22	0,70	0,60	0,39
Letonya	0,40	0,87	0,29	0,50	0,80	0,33	0,10	0,97	0,22	0,50	0,80	0,33	0,60	0,71	0,37	0,40	0,87	0,29	0,25	0,92	0,30	0,70	0,60	0,39
Lüksemburg	0,40	0,87	0,29	0,40	0,87	0,29	1,00	0,00	0,00	0,50	0,80	0,33	0,70	0,60	0,39	0,40	0,87	0,29	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00
Macaristan	0,40	0,87	0,29	0,60	0,71	0,37	0,10	0,97	0,22	0,60	0,71	0,37	0,80	0,44	0,41	0,40	0,87	0,29	0,40	0,87	0,29	0,60	0,71	0,37
Meksika	0,40	0,87	0,29	0,50	0,80	0,33	0,10	0,99	0,10	0,10	0,99	0,10	0,80	0,44	0,41	0,50	0,80	0,33	0,25	0,92	0,30	0,70	0,60	0,39
Norveç	0,25	0,92	0,30	0,80	0,44	0,41	0,70	0,60	0,39	0,80	0,44	0,41	0,80	0,44	0,41	0,50	0,80	0,33	0,25	0,92	0,30	1,00	0,00	0,00
Polonya	0,40	0,87	0,29	0,40	0,87	0,29	0,10	0,97	0,22	0,60	0,71	0,37	0,80	0,44	0,41	0,40	0,87	0,29	0,25	0,92	0,30	0,70	0,60	0,39
Portekiz	0,40	0,87	0,29	0,40	0,87	0,29	0,25	0,92	0,30	0,50	0,80	0,33	0,60	0,71	0,37	0,40	0,87	0,29	0,25	0,92	0,30	0,40	0,87	0,29
Slovakya	0,40	0,87	0,29	0,50	0,80	0,33	0,25	0,92	0,30	0,80	0,44	0,41	0,70	0,60	0,39	0,40	0,87	0,29	0,40	0,87	0,29	0,70	0,60	0,39
Slovenya	0,40	0,87	0,29	0,50	0,80	0,33	0,10	0,97	0,22	1,00	0,00	0,00	0,60	0,71	0,37	0,40	0,87	0,29	0,50	0,80	0,33	0,60	0,71	0,37
Şili	0,40	0,87	0,29	0,40	0,87	0,29	0,10	0,97	0,22	0,10	0,99	0,10	0,70	0,60	0,39	0,40	0,87	0,29	0,10	0,97	0,22	0,80	0,44	0,41
Türkiye	0,25	0,92	0,30	0,60	0,71	0,37	0,10	0,97	0,22	0,25	0,92	0,30	0,50	0,80	0,33	0,25	0,92	0,30	0,10	0,97	0,22	0,80	0,44	0,41
Yeni Zelanda	0,25	0,92	0,30	0,50	0,80	0,33	0,40	0,87	0,29	0,50	0,80	0,33	0,80	0,44	0,41	0,60	0,71	0,37	0,10	0,97	0,22	0,80	0,44	0,41
Yunanistan	0,25	0,92	0,30	0,10	0,99	0,10	0,25	0,92	0,30	0,50	0,80	0,33	0,10	0,99	0,10	0,10	0,99	0,10	0,10	0,97	0,22	0,10	0,97	0,22

EK 2-C: Pisagor Bulanık Sayılardan Oluşan Karar Matrisi (Çevresel Boyut)

	Ç1			Ç2			Ç3			Ç4			Ç5			Ç6			Ç7			Ç8		
	μ	V	pi	μ	V	pi	μ	V	pi	μ	V	pi	μ	V	pi	μ	V	pi	μ	V	pi	μ	V	pi
ABD	0,10	0,99	0,10	0,50	0,80	0,33	0,10	0,99	0,10	0,80	0,44	0,41	0,60	0,71	0,37	0,40	0,87	0,29	0,10	0,99	0,10	0,50	0,80	0,33
Almanya	0,50	0,80	0,33	0,25	0,92	0,30	0,10	0,99	0,10	0,60	0,71	0,37	1,00	0,00	0,00	0,50	0,80	0,33	0,10	0,97	0,22	1,00	0,00	0,00
Avustralya	0,10	0,99	0,10	0,40	0,87	0,29	0,10	0,97	0,22	0,80	0,44	0,41	1,00	0,00	0,00	0,80	0,44	0,41	0,10	0,99	0,10	0,60	0,71	0,37
Avusturya	0,60	0,71	0,37	0,40	0,87	0,29	0,10	0,99	0,10	0,60	0,71	0,37	1,00	0,00	0,00	0,50	0,80	0,33	0,10	0,97	0,22	0,70	0,60	0,39
Belçika	0,60	0,71	0,37	0,40	0,87	0,29	0,10	0,99	0,10	0,60	0,71	0,37	1,00	0,00	0,00	0,40	0,87	0,29	0,10	0,99	0,10	0,70	0,60	0,39
Çek Cumhuriyeti	0,50	0,80	0,33	0,25	0,92	0,30	0,10	0,99	0,10	0,50	0,80	0,33	1,00	0,00	0,00	0,50	0,80	0,33	0,10	0,99	0,10	0,50	0,80	0,33
Danimarka	0,70	0,60	0,39	0,25	0,92	0,30	0,10	0,99	0,10	0,70	0,60	0,39	1,00	0,00	0,00	0,50	0,80	0,33	0,10	0,97	0,22	0,60	0,71	0,37
Estonya	0,40	0,87	0,29	0,25	0,92	0,30	0,10	0,99	0,10	1,00	0,00	0,00	0,80	0,44	0,41	0,70	0,60	0,39	0,10	0,99	0,10	0,40	0,87	0,29
Finlandiya	0,60	0,71	0,37	0,50	0,80	0,33	0,10	0,99	0,10	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,10	0,97	0,22	0,60	0,71	0,37
Fransa	0,80	0,44	0,41	0,25	0,92	0,30	0,10	0,99	0,10	0,60	0,71	0,37	1,00	0,00	0,00	0,50	0,80	0,33	0,10	0,99	0,10	0,60	0,71	0,37
Güney Kore	0,80	0,44	0,41	0,40	0,87	0,29	0,10	0,99	0,10	0,10	0,99	0,10	0,70	0,60	0,39	0,40	0,87	0,29	0,10	0,99	0,10	0,60	0,71	0,37
Hollanda	0,60	0,71	0,37	0,40	0,87	0,29	0,10	0,99	0,10	0,60	0,71	0,37	1,00	0,00	0,00	0,40	0,87	0,29	0,10	0,99	0,10	0,70	0,60	0,39
İngiltere	0,70	0,60	0,39	0,25	0,92	0,30	0,10	0,99	0,10	0,70	0,60	0,39	1,00	0,00	0,00	0,50	0,80	0,33	0,10	0,99	0,10	0,60	0,71	0,37
İrlanda	0,60	0,71	0,37	0,25	0,92	0,30	0,10	0,99	0,10	0,80	0,44	0,41	0,10	0,99	0,10	0,50	0,80	0,33	0,10	0,99	0,10	0,50	0,80	0,33
İspanya	0,70	0,60	0,39	0,10	0,97	0,22	0,10	0,99	0,10	0,70	0,60	0,39	1,00	0,00	0,00	0,50	0,80	0,33	0,10	0,99	0,10	0,50	0,80	0,33
İsrail	0,60	0,71	0,37	0,10	0,97	0,22	0,10	0,99	0,10	0,40	0,87	0,29	1,00	0,00	0,00	0,40	0,87	0,29	0,10	0,99	0,10	0,40	0,87	0,29
İsveç	1,00	0,00	0,00	0,40	0,87	0,29	0,10	0,99	0,10	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,70	0,60	0,39	0,25	0,92	0,30	0,60	0,71	0,37
İsviçre	1,00	0,00	0,00	0,25	0,92	0,30	0,10	0,99	0,10	0,70	0,60	0,39	1,00	0,00	0,00	0,50	0,80	0,33	0,10	0,97	0,22	0,70	0,60	0,39
İtalya	0,70	0,60	0,39	0,25	0,92	0,30	0,10	0,99	0,10	0,50	0,80	0,33	0,70	0,60	0,39	0,50	0,80	0,33	0,10	0,99	0,10	0,60	0,71	0,37
İzlanda	0,50	0,80	0,33	1,00	0,00	0,00	0,10	0,99	0,10	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,50	0,80	0,33	1,00	0,00	0,00	0,40	0,87	0,29
Japonya	0,50	0,80	0,33	0,25	0,92	0,30	0,10	0,99	0,10	0,60	0,71	0,37	0,50	0,80	0,33	0,50	0,80	0,33	0,10	0,99	0,10	0,40	0,87	0,29
Kanada	0,10	0,97	0,22	0,50	0,80	0,33	0,10	0,97	0,22	0,80	0,44	0,41	0,70	0,60	0,39	1,00	0,00	0,00	0,25	0,92	0,30	0,40	0,87	0,29
Letonya	0,40	0,87	0,29	0,25	0,92	0,30	0,10	0,99	0,10	0,60	0,71	0,37	0,50	0,80	0,33	0,60	0,71	0,37	0,10	0,99	0,10	0,40	0,87	0,29
Lüksemburg	0,80	0,44	0,41	0,60	0,71	0,37	1,00	0,00	0,00	0,70	0,60	0,39	1,00	0,00	0,00	0,10	0,99	0,10	0,10	0,99	0,10	0,60	0,71	0,37
Macaristan	0,80	0,44	0,41	0,25	0,92	0,30	0,10	0,99	0,10	0,50	0,80	0,33	1,00	0,00	0,00	0,50	0,80	0,33	0,10	0,99	0,10	0,50	0,80	0,33
Meksika	0,60	0,71	0,37	0,10	0,99	0,10	0,10	0,99	0,10	0,40	0,87	0,29	0,50	0,80	0,33	0,50	0,80	0,33	0,10	0,99	0,10	0,10	0,99	0,10
Norveç	0,60	0,71	0,37	0,40	0,87	0,29	0,10	0,99	0,10	0,80	0,44	0,41	1,00	0,00	0,00	0,60	0,71	0,37	0,50	0,80	0,33	0,50	0,80	0,33
Polonya	0,80	0,44	0,41	0,25	0,92	0,30	0,10	0,99	0,10	0,25	0,92	0,30	0,60	0,71	0,37	0,50	0,80	0,33	0,10	0,99	0,10	0,50	0,80	0,33
Portekiz	0,70	0,60	0,39	0,10	0,97	0,22	0,10	0,99	0,10	0,80	0,44	0,41	1,00	0,00	0,00	0,50	0,80	0,33	0,10	0,97	0,22	0,50	0,80	0,33
Slovakya	0,70	0,60	0,39	0,25	0,92	0,30	0,10	0,99	0,10	0,50	0,80	0,33	0,80	0,44	0,41	0,50	0,80	0,33	0,10	0,99	0,10	0,40	0,87	0,29
Slovenya	0,50	0,80	0,33	0,25	0,92	0,30	0,10	0,99	0,10	0,50	0,80	0,33	0,70	0,60	0,39	0,50	0,80	0,33	0,10	0,99	0,10	0,70	0,60	0,39
Şili	0,80	0,44	0,41	0,10	0,97	0,22	0,10	0,99	0,10	0,25	0,92	0,30	0,70	0,60	0,39	0,50	0,80	0,33	0,10	0,99	0,10	0,10	0,99	0,10
Türkiye	0,80	0,44	0,41	0,10	0,99	0,10	0,10	0,99	0,10	0,10	0,99	0,10	0,50	0,80	0,33	0,50	0,80	0,33	0,10	0,99	0,10	0,10	0,97	0,22
Yeni Zelanda	0,60	0,71	0,37	0,40	0,87	0,29	0,10	0,99	0,10	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,70	0,60	0,39	0,25	0,92	0,30	0,70	0,60	0,39
Yunanistan	0,70	0,60	0,39	0,10	0,97	0,22	0,10	0,99	0,10	0,50	0,80	0,33	1,00	0,00	0,00	0,50	0,80	0,33	0,10	0,99	0,10	0,40	0,87	0,29

ÖZGEÇMİŞ

Murat GÖK, 1999 yılında Tacirler İlkokulunu; 2002 yılında Gazi Ortaokulunu; 2006 yılında Gerze Lisesini; 2011 yılında da İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi İngilizce İşletme bölümünü bitirdi. 2012 yılında Ordu Üniversitesi Ünye İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi İşletme Bölümünde araştırma görevlisi olarak işe başladı. 2015 yılında Ankara Üniversitesi Siyasal Bilgiler Fakültesi İşletme Bölümünde yüksek lisans programını tamamladı.

GÖK, evli ve 1 çocuk sahibi olup, İngilizce bilmektedir.

