

T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İŞLETME ANABİLİM DALI
SAYISAL YÖNTEMLER BİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

ŞÜPHENİN LEHTE KULLANILMASI
YAKLAŞIMI İLE YAPAY ZEKA ENDEKSİ
GELİŞTİRİLMESİ

Refika AVCI PARLU

2502150232

TEZ DANIŞMANI

Doç. Dr. Bilge ACAR BOLAT

İSTANBUL – 2021

ÖZ

ŞÜPHENİN LEHTE KULLANILMASI YAKLAŞIMI İLE YAPAY ZEKA ENDEKSİ GELİŞTİRİLMESİ

REFİKA AVCI PARLU

Çalışmada ülkelerin yapay zeka teknolojilerini alımı, kullanımı, uygulaması ve geliştirmesi konusunda yetenek, kapasite ve potansiyelinin ölçülmesi amacıyla Yapay Zeka Endeksi geliştirilmektedir. Çalışmada 120 ülke için 5 kategoride 16 alt gösterge kullanılarak geliştirilen Yapay Zeka Endeksi ile ülkelerin mevcut durumlarının göreceli olarak belirlenmesi, konumlarının karşılaştırılması ve benzer yapay zeka yetenek, kapasite ve potansiyel seviyesine sahip olan ülke gruplarının tanımlanması sağlanmaktadır.

Çalışmada Yapay Zeka Endeksi alt göstergelerinin ağırlıklandırılmasında belirli bir ağırlıklandırma şeması kullanılması yerine ülkelerin politika önceliklerini ve kendilerine özgü yeteneklerini hesaba katan, ülkelerin gözlenen performanslarından yola çıkılarak her ülke için kompozit endeks değerini maksimize eden ülkeye özgü optimal ağırlıkların yapılandırıldığı Veri Zarflama Analizi tabanlı Şüphenin Lehte Kullanılması Yaklaşımı ağırlıklandırma yöntemi uygulanmaktadır.

Çalışmada 16 tane alternatif ağırlıklandırma senaryosu için Yapay Zeka Endeks skorları hesaplanmış ve yapılan değerlendirmeler sonucunda bu senaryolardan ülkelerin göreceli yapay zeka yetenek, kapasite ve potansiyelini ortaya koymadaki ayırt edici gücü daha yüksek olan ve 16 Yapay Zeka Endeksi alt göstergesinin temsil ettiği bilgiyi daha geniş kapsamda yansıtan senaryo belirlenmiştir.

Çalışmada yapılan belirsizlik ve duyarlılık analizleriyle bu senaryo ile elde edilen Yapay Zeka Endeks skorlarının ve ülke sıralamalarının sağlamlığı değerlendirilmiş ve küresel düzeyde ülkelerin yapay zeka yetenek, kapasite ve potansiyelinin güvenilir bir resmini sunduğu sonucuna varılmıştır.

Çalışmada bu senaryo ile elde edilen alt gösterge ve kategori payları kullanılarak ülke bazında alt göstergelerin ve kategorilerin göreceli önemlerinin açıklanması ve ülkelerin ana sürücülerinin, güçlü ve zayıf yönlerinin belirlenmesi sağlanmaktadır. Bununla birlikte ülkelerin yapay zeka yetenek, kapasite ve potansiyel seviyelerinin ekonomik gelişmeleri üzerindeki etkisinin araştırılması amacıyla Yapay Zeka Endeks skorları ve kategori payları ile ekonomik gelişme göstergeleri arasındaki ilişki analiz edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Şüphenin Lehte Kullanılması Yaklaşımı, Yapay Zeka Endeksi, Kompozit Endeks, Kompozit Endeks Geliştirme Aşamaları, Ağırlıklandırma Yöntemi, Veri Zarflama Analizi

ABSTRACT

CONSTRUCTING AN ARTIFICIAL INTELLIGENCE INDEX USING BENEFIT OF THE DOUBT APPROACH

REFİKA AVCI PARLU

In the study, the Artificial Intelligence Index has been constructed, in order to measure the capability, capacity and potential of countries in the context of uptake, usage, application and development of artificial intelligence technologies. The Artificial Intelligence Index, has been constructed for 120 countries using 16 sub-indicators in 5 categories, enables the relative determination of the current status of the countries, comparison of their positions and identification of country groups with similar artificial intelligence capability, capacity and potential.

In the study, in the weighting of the Artificial Intelligence Index sub-indicators, instead of using a specific weighting scheme, Data Envelopment Analysis based Benefit of the Doubt Approach weighting method, which takes into account the policy priorities and inherent capabilities of the countries, has been used. With the Benefit of the Doubt Approach, country-specific optimal weights that maximize the composite index value for each country have been structured based on the observed performances of the countries.

In the study, the Artificial Intelligence Index scores have been calculated for 16 alternative weighting scenarios. As a result of the evaluations, the scenario that has higher discriminatory power in revealing the relative artificial intelligence capability, capacity and potential of the countries and reflects the information represented by the 16 Artificial Intelligence Index sub-indicators in a broader scope, has been determined.

Uncertainty and sensitivity analysis have been conducted to assess the robustness of the index scores and country rankings obtained with this scenario. As a result of the analysis, it was concluded that this scenario provides a reliable picture of the artificial intelligence capability, capacity and potential of countries at the global level.

In the study, using the sub-indicator and category shares obtained with this scenario, the relative importance of sub-indicators and categories on a country basis has been explained and the main drivers, strengths and weaknesses of countries have been determined. In addition, the relationship between the Artificial Intelligence Index (scores and category shares) and economic development indicators has been analyzed in order to investigate the effect of artificial intelligence capability, capacity and potential levels of countries on their economic development.

Keywords: Benefit of the Doubt Approach, Artificial Intelligence Index, Composite Index, Steps for Constructing A Composite Index, Weighting Method, Data Envelopment Analysis

ÖNSÖZ

Çalışmada ülkelerin yapay zeka teknolojilerini alımı, kullanımı, uygulaması ve geliştirmesi konusunda yetenek, kapasite ve potansiyelinin ölçülmesi amacıyla Şüphenin Lehte Kullanılması Yaklaşımı ağırlıklandırma yöntemi kullanılarak Yapay Zeka Endeksi geliştirilmektedir.

Çalışmada öncelikle yapay zeka kavramı, yapay zekanın ekonomik etkisi ve yapay zekanın benimsenmesini ve özümsemişmesini etkileyen faktörler detaylı bir şekilde ele alınmıştır. Daha sonra kompozit endeks kavramı, kompozit endeks geliştirme aşamaları ve Şüphenin Lehte Kullanılması Yaklaşımı ağırlıklandırma yöntemi teorik olarak incelenmiştir. Son aşamada ise analiz sonuçlarına ve yorumlarına yer verilmiştir.

Çalışmanın gerçekleşmesinde beni hep en iyisi için yönlendiren, destek olan ve bilgi birikimi ile beni geliştiren değerli hocam Sayın Doç. Dr. Bilge Acar Bolat'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca çalışmamın oluşturulması sırasında yardımlarını esirgemeyen Prof. Dr. Mehpere Timor'a ve yüksek öğrenimim boyunca verdikleri eğitimle bana yön veren İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi'nin değerli öğretim üyelerine çok teşekkür ederim.

Tezimin başarıyla sonuçlanmasını heyecanla bekleyen ve beni her zaman destekleyen eşim Ömer Parlu'ya, evlatlarım Ayşe Elif ve Mehmet Özgür'e ne kadar teşekkür etsem azdır.

REFİKA AVCI PARLU

İSTANBUL

İÇİNDEKİLER

ÖZ.....	II
ABSTRACT.....	IV
ÖNSÖZ.....	VI
İÇİNDEKİLER	VII
TABLolar LİSTESİ.....	X
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	XI
KISALTMALAR LİSTESİ.....	XII
GİRİŞ	1

BİRİNCİ BÖLÜM

YAPAY ZEKA, YAPAY ZEKANIN EKONOMİK ETKİSİ, YAPAY ZEKANIN BENİMSENMESİNİ VE ÖZÜMSENMESİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER

1.1. Yapay Zeka.....	6
1.1.1. Yapay Zeka Kavramı ve Tanımları.....	6
1.1.2. Yapay Zeka Yaklaşımları.....	9
1.1.2.1. İnsanlar Gibi Davranan Sistemler	10
1.1.2.2. İnsanlar Gibi Düşünen Sistemler.....	11
1.1.2.3. Rasyonel Düşünen Sistemler.....	12
1.1.2.4. Rasyonel Davranan Sistemler.....	13
1.2. Yapay Zekanın Ekonomik Etkisi.....	14
1.2.1. Yapay Zekanın Ekonomik Etkilerini İnceleyen Çalışmalar.....	17
1.2.2. Yapay Zekanın Ekonomik Etkilerini Ölçen Çalışmalar.....	23
1.3. Yapay Zekanın Benimsenmesini ve Özümsemesini Etkileyen Faktörler.....	30

İKİNCİ BÖLÜM

KOMPOZİT ENDEKS GELİŞTİRME AŞAMALARI VE ŞÜPHENİN LEHTE KULLANILMASI YAKLAŞIMI AĞIRLIKLANDIRMA YÖNTEMİ

2.1. Kompozit Endeks.....	42
2.2. Kompozit Endeks Geliştirme Aşamaları	49
2.2.1. Teorik Çerçeve	50
2.2.2. Alt Göstergelerin Seçilmesi	52
2.2.3. Eksik Verilerin Tamamlanması.....	54
2.2.4. Çok Değişkenli Analiz	57
2.2.5. Normalizasyon	60
2.2.6. Ağırlıklandırma ve Toplulaştırma.....	64
2.2.7. Belirsizlik ve Duyarlılık Analizleri	73
2.2.8. Kompozit Endeksin Yeniden Yapılandırılması ve Analizlerin Genişletilmesi	78
2.2.9. Kompozit Endeksin İlgili Diğer Göstergelerle İlişkisinin Kurulması.....	80
2.2.10. Kompozit Endeks Sonuçlarının Sunumu ve Görselleştirilmesi	84
2.3. Veri Zarflama Analizi Tabanlı Şüphenin Lehte Kullanılması Yaklaşımı Ağırlıklandırma Yöntemi	88
2.3.1. Veri Zarflama Analizi Tabanlı Şüphenin Lehte Kullanılması Yaklaşımı Ağırlıklandırma Yönteminin Yapılandırılması.....	88
2.3.2. Veri Zarflama Analizi Tabanlı Şüphenin Lehte Kullanılması Yaklaşımı Ağırlıklandırma Yönteminin Sağladığı Avantajlar	94
2.3.3. Veri Zarflama Analizi Tabanlı Şüphenin Lehte Kullanılması Yaklaşımı Ağırlıklandırma Yönteminin Metodolojisi	99
2.3.4. Birimlerin Değişmezliği Özelliği	106
2.3.5. Alt Gösterge Payları	108
2.3.6. Alt Gösterge Payı Kısıtlamaları	111

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

ŞÜPHENİN LEHTE KULLANILMASI YAKLAŞIMI AĞIRLIKLANDIRMA YÖNTEMİ İLE YAPAY ZEKA ENDEKSİ GELİŞTİRİLMESİ

3.1. Giriş	118
3.1.1. Çalışmanın Amacı	118
3.1.2. Yapay Zeka ile İlgili Endeks Çalışmaları	122
3.2. Yapay Zeka Endeksi Geliştirme Aşamaları.....	128
3.2.1. Teorik Çerçeve	128
3.2.2. Alt Göstergelerin Seçilmesi	135
3.2.3. Eksik Verilerin Tamamlanması.....	153
3.2.4. Çok Değişkenli Analiz	155
3.2.5. Normalizasyon	162
3.2.6. Ağırlıklandırma ve Toplulaştırma.....	164
3.2.6.1. Sınırlandırılmamış ŞLKY Senaryosu	166
3.2.6.2. Sınırlı ŞLKY Senaryoları	170
3.2.6.3. ŞLKY Alternatif Ağırlıklandırma Senaryolarının Ayırt Edici Gücünün İncelenmesi	177
3.2.6.4. YZE Skorları ile YZE Alt Gösterge Payları Arasındaki Korelasyonun İncelenmesi.....	183
3.2.7. Belirsizlik ve Duyarlılık Analizleri	200
3.2.8. Kompozit Endeksin Yeniden Yapılandırılması ve Analizlerin Genişletilmesi	217
3.2.9. Kompozit Endeksin İlgili Diğer Göstergelerle İlişkisinin Kurulması... 230	
3.2.9.1. Yapay Zeka Endeksi'nin Ekonomik Gelişme Göstergeleriyle İlişkisinin Kurulması	231
3.2.10. Kompozit Endeks Sonuçlarının Sunumu ve Görselleştirilmesi	242
SONUÇ.....	246
KAYNAKÇA	262
EKLER.....	282
ÖZGEÇMİŞ.....	302

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 3.1: YZE Kategorileri ve Açıklamaları.....	133
Tablo 3.2: YZE Kategorileri ve İlgili YZE Alt Göstergeleri	134
Tablo 3.3: YZE Alt Göstergelerinin Kaynakları ve Açıklamaları	138
Tablo 3.4: YZE Alt Göstergelerinin Tanımlayıcı İstatistikleri	159
Tablo 3.5: YZE Alt Göstergelerinin Spearman Sıra Korelasyon Matrisi	160
Tablo 3.6: YZE Alt Göstergeleri için Kaiser Normalleştirilmiş Varimax Döndürme Yöntemi Sonrasındaki Döndürülmüş Faktör Yükleri ve Ortak Varyanslar.....	161
Tablo 3.7: ŞLKY Alternatif Ağırlıklandırma Senaryolarına Göre YZE Kategorilerinin ve YZE Alt Göstergelerinin YZE Skoruna Katkılarının Alt ve Üst Sınırları (%) ...	176
Tablo 3.8: ŞLKY Alternatif Ağırlıklandırma Senaryoları ile Elde Edilen YZE Skorlarının Tanımlayıcı İstatistikleri	178
Tablo 3.9: “Sınırlı ŞLKY Senaryoları” ile YZE Skoru 1 Olan Ülkeler.....	180
Tablo 3.10: Pearson ve Spearman Sıra Korelasyon Katsayıları Matrisi	187
Tablo 3.11: 120 Ülkenin Senaryo 1 ile Elde Edilen YZE Skorları, Ülke Sıralamaları ve YZE Grupları.....	190
Tablo 3.12: ŞLKY Alternatif Ağırlıklandırma Senaryoları ile Elde Edilen YZE Skorlarının Pearson (üst-sağ) ve Spearman Sıra (sol-alt) Korelasyon Katsayıları Matrisi	206
Tablo 3.13: Senaryo 1 ile Elde Edilen YZE Skorlarına Göre İlk 5 Ülkenin ve Türkiye'nin YZE Alt Gösterge Payları ve YZE Skorları	222
Tablo 3.14: Bağımlı ve Bağımsız Değişkenlerin Tanımlayıcı İstatistikleri.....	233
Tablo 3.15: YZE Skorları ve YZE Kategori Payları ile Bağımlı Değişkenler (logaritmik ölçekte) Arasındaki Korelasyon Katsayıları	235
Tablo 3.16: YZE Skorları ile Ekonomik Gelişme Göstergeleri (logaritmik ölçekte) Arasındaki Bağlantı.....	240

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1: “Sınırlı ŞLKY Senaryoları” Oluşturma Basamakları.....	175
Şekil 3.2: “Sınırlandırılmamış ŞLKY Senaryosu”, Senaryo 1 ve Senaryo 5 ile Elde Edilen YZE Skorlarının Dağılım Grafiği	182
Şekil 3.3: Senaryo 1’e Göre 120 Ülkenin YZE Skorları ve Ülke Sıralamaları	194
Şekil 3.4: ŞLKY Alternatif Ağırlıklandırma Senaryolarına Göre Ülke Sıralamalarının Dağılım Grafiği	207
Şekil 3.5: “Sınırlı ŞLKY Senaryoları” ile Elde Edilen Ülke Sıralamalarının Kutu-Bıyık Grafikleri	211
Şekil 3.6: “Sınırlı ŞLKY Senaryoları” ile Elde Edilen YZE Skorlarının Kutu-Bıyık Grafikleri	214
Şekil 3.7: 120 Ülkenin Senaryo 1 ile Elde Edilen YZE Alt Gösterge Payı Yüzdelerinin Ortalamaları.....	221
Şekil 3.8: 120 Ülkenin Senaryo 1 ile Elde Edilen YZE Kategori Payı Yüzdelerinin Ortalamaları.....	222
Şekil 3.9: Senaryo 1’e Göre 120 Ülkenin YZE Kategori Payları.....	224
Şekil 3.10: YZE Skorları ile Kişi Başına Düşen GSYİH (logaritmik ölçekte) Arasındaki İlişkinin Serpilme Diyagramı	234
Şekil 3.11: YZE Skorları ile İşçi Başına Düşen GSYİH (logaritmik ölçekte) Arasındaki İlişkinin Serpilme Diyagramı	235
Şekil 3.12: Geniş Bant Bağlantısı Kategori Payları ile Kişi Başına Düşen GSYİH (logaritmik ölçekte) Arasındaki İlişkinin Serpilme Diyagramı	236
Şekil 3.13: Beşeri Sermaye Kategori Payları ile İşçi Başına Düşen GSYİH (logaritmik ölçekte) Arasındaki İlişkinin Serpilme Diyagramı	238

KISALTMALAR LİSTESİ

ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
AI	: Artificial Intelligence
AMGBAS	: Aktif Mobil Geniş Bant Abone Sayısı
ANDBD	: Aktif Nüfusun Dijital Beceri Düzeyi
Ar-Ge	: Araştırma ve Geliştirme
AYDS	: Yapay Zeka ile İlgili Atıf Yapılabilir Doküman Sayısı
BİVMM	: Bilim İnsanlarının ve Mühendislerin Mevcudiyeti
CCR	: Charnes, Cooper ve Rhodes
DBDAS	: Yapay Zeka ile İlgili Doküman Başına Düşen Atıf Sayısı
EDGE	: E-Devlet Gelişmişlik Endeksi
FDTE	: Firma Düzeyinde Teknoloji Emilimi
FVMEK	: Fen ve Matematik Eğitiminin Kalitesi
GSYİH	: Gayrisafi Yurt İçi Hasıla
HIKDS	: Yapay Zeka ile İlgili h-indeksi Kategorisindeki Doküman Sayısı
HSGBAS	: Hızı 10 Mbit/s'ye Eşit veya Üzeri Olan Sabit Geniş Bant Abone Sayısı
IKBUBG	: İnternet Kullanıcısı Başına Uluslararası Bant Genişliği
IoT	: Nesnelerin İnterneti (Internet of Things)
İD	: İş Dinamizmi
İK	: İnovasyon Kabiliyeti
JRC	: Ortak Araştırma Merkezi (Joint Research Centre)
KMO değeri	: Kaiser-Meyer-Olkin Örneklem Yeterliği Ölçüsü
KSGE	: Küresel Siber Güvenlik Endeksi

OECD	: Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü (Organisation for Economic Co-operation and Development)
PISA	: Uluslararası Öğrenci Değerlendirme Programı (Programme for International Student Assessment)
PwC	: PricewaterhouseCoopers
SGBAS	: Sabit Geniş Bant Abone Sayısı
STEM	: Fen, Teknoloji, Mühendislik ve Matematik (Science, Technology, Engineering and Mathematics)
ŞLKY	: Şüphenin Lehte Kullanılması Yaklaşımı
VZA	: Veri Zarflama Analizi
YÖKO	: Yüksek Öğrenim Kayıt Oranı
YZE	: Yapay Zeka Endeksi

GİRİŞ

4.Sanayi Devrimi'nin temel taşı olarak nitelendirilen yapay zekanın, 2.Sanayi Devrimi'nin itici gücü olarak kabul edilen elektriğin her şeyi dönüştürmesi gibi endüstriler üzerinde büyük bir dönüştürücü etkiye sahip olduğu; sosyal, ekonomik ve çevresel kalkınma için benzeri görülmemiş fırsatlar sunduğu belirtilmektedir. Yapay zekanın dönüştürücü etkisi, insanların yaşama ve çalışma şekillerini temelden değiştirerek; yaratıcılığı, girişimciliği, rekabet gücünü ve inovasyonu teşvik eden fırsatlar yaratarak; yeni çalışma alanları, yeni üretim teknikleri, yeni ürünler ve yeni pazarlar oluşmasına olanak sağlayarak ülkelerin ekonomisinde büyümeyi tetikleyen yapısal dönüşümü şekillendirmektedir.

Çalışmalar yapay zekanın daha hızlı bir ekonomik büyümenin yolunu açtığını ve işgücü verimliliğinde büyük ve hızlı sıçramalar sağladığını göstermektedir. Yapay zekanın potansiyel ekonomik etkilerinin analiz edildiği birçok çalışmada, yapay zekanın “ulusal ekonomik büyümeyi artırma etkisi” ve “işgücü verimliliğini yeniden canlandırma etkisi” vurgulanmaktadır. Yapay zeka, insanların yaşama ve çalışma şekillerini temelden değiştirerek ülkelerin ekonomik büyüme ve küresel rekabet gücü için itici bir güç olma potansiyeli taşımaktadır.

Çalışmalarda ülkelerin yapay zeka kaynaklı ekonomik kazanımlarının seviyesinin yapay zekayı benimseme ve özümseme oranlarına bağlı olduğu belirtilmektedir. Ülkeler arasındaki değişen şartlar yapay zekanın benimsenmesinin ve özümsemesinin düzeyini belirlemekte ve dolayısıyla ülkelerin yapay zeka kaynaklı ekonomik büyümeden elde edeceği kazancı şekillendirmektedir. Yapay zeka insanların yaşama ve çalışma şekillerini temelden değiştirme potansiyeline sahipken en etkin şekilde yarattığı fırsatların değerlendirilebilmesi ve olası risklerin yönetilebilmesi için yapay zekanın benimsenmesini ve özümsemesini etkileyen faktörlerin belirlenmesi büyük önem taşımaktadır.

Yapay zekanın benimsenmesini ve özümsemesini etkileyen faktörler yapay zekanın alımını, kullanılmasını, uygulanmasını ve geliştirilmesini sağlayan koşullar, öncüller ve itici güçlerdir. Yapay zekanın ekonomik ve toplumsal faydalarının artırılmasına

yönelik strateji geliştirilebilmesi için yapay zekanın benimsenmesini ve özümsemiğini etkileyen faktörler bağlamında ülkelerin mevcut durumlarının ve konumlarının değerlendirilerek yapay zekanın sunduğu fırsatlardan yararlanma yetenek, kapasite ve potansiyelinin ölçülmesi gerekmektedir.

Çalışmanın amacı ülkelerin yapay zeka teknolojilerini alımı, kullanımı, uygulaması ve geliştirmesi konusunda yetenek, kapasite ve potansiyelinin ölçülmesidir. Çalışmada bu amaçla yapay zekanın benimsenmesini ve özümsemiğini etkileyen faktörler yani yapay zekanın alımını, kullanılmasını, uygulanmasını ve geliştirilmesini sağlayan koşullar, öncüller ve itici güçler bağlamında ülkelerin mevcut yapay zeka yetenek düzeyine, kapasitesine ve potansiyeline genel bir bakış sağlayan Yapay Zeka Endeksi (YZE) geliştirilmektedir.

Çalışmada birinci bölümde öncelikle yapay zeka kavramının ne olduğuna, literatürdeki tanımlarına, tarih boyunca yapay zeka ile ilgili çalışmalarda izlenen yapay zeka yaklaşımlarına yer verilmektedir. Bu bölümde daha sonra yapay zekanın ekonomik etkisi ve yapay zekanın benimsenmesini ve özümsemiğini etkileyen faktörler detaylı bir şekilde ele alınmaktadır.

İkinci bölümde öncelikle kompozit endeks kavramı, kompozit endeks kullanımının avantajları ve dezavantajları, kompozit endeks geliştirme aşamaları anlatılmaktadır. Çalışmada 2008 yılında OECD ve Avrupa Komisyonu Ortak Araştırma Merkezi Ekonometri ve Uygulamalı İstatistik Birimi ortak çalışmasıyla hazırlanan, “Kompozit Endeks Oluşturma El Kitabı: Metodoloji ve Kullanıcı Kılavuzu” esas alınarak kompozit endeks geliştirilmesi 10 aşamada ele alınmaktadır. Kompozit endeks geliştirme aşamalarında bir kompozit endeksin nasıl tasarlanacağı, geliştirileceği, kullanılacağı ve görselleştirileceği konusunda çeşitli yöntemler ve öneriler örnek çalışmalarla desteklenerek ifade edilmektedir.

Çalışmada YZE alt göstergelerinin ağırlıklandırılmasında belirli bir ağırlıklandırma şeması kullanılması yerine, ülkelerin politika önceliklerini ve kendilerine özgü yeteneklerini hesaba katan, ülkelerin gözlenen performanslarından yola çıkılarak her ülke için kompozit endeks değerini maksimize eden ülkeye özgü optimal ağırlıkların

yapılandırıldığı Veri Zarflama Analizi (VZA) tabanlı Şüphenin Lehte Kullanılması Yaklaşımı (ŞLKY) ağırlıklandırma yöntemi uygulanmaktadır. İkinci bölümde ŞLKY ağırlıklandırma yönteminin yapılandırılması, kompozit endeks geliştirilmesinde sağladığı avantajlar ve metodolojisi ayrıntılı bir şekilde ele alınmaktadır. Bununla birlikte birimlerin değişmezliği özelliği, alt gösterge payları ve alt gösterge payı kısıtlamaları da yöntemin kompozit endeks geliştirilmesinde sağladığı avantajlar vurgulanarak detaylı bir şekilde anlatılmaktadır.

Üçüncü bölümde ülkelerin yapay zeka teknolojilerini alımı, kullanımı, uygulaması ve geliştirmesi konusunda yetenek, kapasite ve potansiyelinin ölçülmesi amacıyla YZE geliştirilmektedir. YZE, ikinci bölümde ele alınan kompozit endeks geliştirme aşamaları izlenerek oluşturulmaktadır.

YZE teorik çerçevesinin oluşturulması, YZE kategorilerinin ve alt göstergelerinin seçilmesi, eksik verilerin tamamlanması ve çok değişkenli analiz aşamaları şeffaflıkla ele alınarak kullanılan yaklaşımlar detaylı bir şekilde ifade edilmektedir.

VZA'nın birimlerin değişmezliği özelliğinden dolayı ŞLKY ağırlıklandırma yöntemi ile kompozit endeks geliştirilmesi normalizasyon aşamasını gereksiz kıldığı için farklı ölçüm birimlerine sahip olmalarına rağmen 16 tane YZE alt göstergesi normalize edilmeden analizde kullanılmaktadır.

Çalışmada ağırlıklandırma ve toplulaştırma aşamasında 120 ülke için 5 kategoride 16 alt gösterge kullanılarak 16 tane ŞLKY alternatif ağırlıklandırma senaryosu için YZE skorları hesaplanmaktadır. Yapılan değerlendirmeler sonucunda bu senaryolardan **Senaryo 1** ile elde edilen YZE skorlarının ve ülke sıralamalarının ülkelerin göreceli yapay zeka yetenek, kapasite ve potansiyelini ortaya koymadaki ayırt edici gücünün daha yüksek olduğu ve 16 YZE alt göstergesinin temsil ettiği bilgiyi daha geniş kapsamda yansıttığı ve dolayısıyla daha dengeli bir biçimde temsil ettiği sonucuna varılmaktadır.

Çalışmada yapılan belirsizlik ve duyarlılık analizleriyle **Senaryo 1** ile elde edilen YZE skorlarının ve ülke sıralamalarının çeşitli ağırlıklandırma senaryolarına olan duyarlılıkları test edilerek sağlamlığı değerlendirilmiş ve **Senaryo 1** ile elde edilen

YZE sonuçlarının küresel düzeyde ülkelerin yapay zeka yetenek, kapasite ve potansiyelinin güvenilir bir resmini sunduğu sonucuna varılmıştır.

Çalışmada **Senaryo 1** ile elde edilen YZE skorları hem YZE alt göstergeleri hem de YZE kategorileri düzeyinde ayrıştırılarak YZE alt gösterge ve kategori payları elde edilmiştir. **Senaryo 1** ile elde edilen YZE alt gösterge ve kategori payları kullanılarak ülke bazında YZE alt göstergelerinin ve kategorilerinin göreceli önemlerinin açıklanması ve ülkelerin ana sürücülerinin, güçlü ve zayıf yönlerinin belirlenmesi sağlanmaktadır.

Çalışmada ülkelerin yapay zeka yetenek, kapasite ve potansiyel seviyelerinin ekonomik gelişmeleri üzerindeki etkisinin araştırılması amacıyla **Senaryo 1** ile elde edilen YZE skorları ve YZE kategori payları ile ekonomik gelişme göstergeleri arasındaki ilişkinin analizi yapılmaktadır.

Çalışmada YZE'nin gerek kategorileri gerekse alt göstergeleri düzeyinde ayrıştırılarak ülkelerin performans analizlerinin genişletilmesi, YZE skorları ve YZE kategori payları ile ekonomik gelişme göstergeleri arasındaki ilişkinin kurulması, ülkelerin yapay zeka teknolojilerini geliştirmeleri için atılması gereken adımların ve değerlendirmesi gereken fırsatların belirlenmesine ve yapay zekanın ekonomik etkisini artırmak için izlenmesi gereken süreci açıklayan politika ve strateji planlarının geliştirilmesine temel hazırlamaktadır.

BİRİNCİ BÖLÜM

YAPAY ZEKA, YAPAY ZEKANIN EKONOMİK ETKİSİ, YAPAY ZEKANIN BENİMSENMESİNİ VE ÖZÜMSENMESİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Yapay zeka büyük veri tabanlarının ortaya çıkışı, buna bağlı olarak makine öğrenmesi yaklaşım ve algoritmalarının önemli ölçüde gelişmesi, bilgi işlem gücü ve kapasitesi çok yüksek olan bilgisayarların üretilmesiyle çok hızlı bir gelişim göstererek yaşama ve çalışma şekillerini giderek daha fazla dönüştürmekte, sosyal, ekonomik ve çevresel kalkınma için benzeri görülmemiş fırsatlar sunmaktadır.

Yapay zeka teknolojilerinin hemen hemen her sektörde giderek artan bir çeşitlilikle yeni hizmet, yeni ürün ve değer yaratması beklenmektedir. Bununla birlikte yapay zeka tarafından tetiklenen değişiklikler devam etmekte, yeni yapay zeka teknolojileri ve çözümleri marketlerde sıklıkla yerini almaktadır. Yapay zeka teknolojilerinin bu dinamik ve oyunun kurallarını değiştiren gelişmesiyle birlikte iş dünyasında ve küresel ekonomideki rolünün incelenmesi ve ölçülmesi gelecekteki büyümenin gözden geçirilmesi açısından önemlidir.

Çalışmalarda ülkelerin yapay zeka kaynaklı ekonomik kazanımlarının seviyesinin yapay zekayı benimseme ve özümseme oranlarına bağlı olduğu belirtilmektedir. Ülkeler arasındaki değişen şartlar yapay zekanın benimsenmesinin ve özümsemasının düzeyini belirlemekte ve dolayısıyla ülkelerin yapay zeka kaynaklı ekonomik büyümeden elde edeceği kazancı şekillendirmektedir. Yapay zeka insanların yaşama ve çalışma şekillerini temelden değiştirme potansiyeline sahipken en etkin şekilde yarattığı fırsatların değerlendirilebilmesi ve olası risklerin yönetilebilmesi için yapay zekanın benimsenmesini ve özümsemesini etkileyen faktörlerin belirlenmesi büyük önem taşımaktadır.

1.1. Yapay Zeka

Bu bölümde yapay zeka kavramının ne olduğuna, literatürdeki tanımlarına, tarih boyunca yapay zeka ile ilgili çalışmalarda izlenen yapay zeka yaklaşımlarına yer verilmektedir.

1.1.1. Yapay Zeka Kavramı ve Tanımları

İnsanoğlu tarih boyunca insan gibi hareket eden ve insan gibi akıl yürütebilen makineler yapma arzusuyla çalışmıştır. Tarih boyunca birçok romanda, heykelde, çizimde ve resimde “hareket eden otomatlar ve akıl yürüten cihazlar” gibi insan yeteneklerini ve zekasını barındıran makinelerin izleri mevcuttur.¹

İnsan zekasını ve yeteneklerini taklit eden makineler fikrine ve çalışmalarına rağmen “Yapay Zeka” (Artificial Intelligence-AI) terimi 1950 yıllarına kadar bir kavram olarak ifade edilmemiştir. 1950 yılında matematikçi Alan Mathison Turing, “Mind” adlı bir felsefe dergisinde yayımlanan “Hesaplama Makineleri ve Zeka” (Computing Machinery and Intelligence) adlı makalesinde “Makineler düşünebilir mi?” sorusunu ortaya atarak yapay zekanın ilk tohumlarını eken kişidir.²

“Yapay Zeka Yaz Araştırma Projesi” (Summer Research Project on Artificial Intelligence) adlı etkinlik için John McCarthy’nin Marvin Minsky, Claude Shannon ve Nathaniel Rochester ile birlikte kaleme alarak Ağustos 1955 yılında Rockefeller Vakfı’na sundukları resmi başvuru yazısı “Yapay Zeka” teriminin ilk kez geçtiği metin olarak bilinmektedir.³ 1956 yılında yapılan bu etkinlikte John McCarthy tarafından yapay zeka teriminin kullanılmasına dair sebepler açıklanmıştır.⁴

¹ Nils J. Nilsson, **The Quest for Artificial Intelligence: A History of Ideas and Achievements**, Web Version, 2010, p.19, (Çevrimiçi), <http://ai.stanford.edu/~nilsson/QAI/qai.pdf>, 06.09.2020.

² Alan M. Turing, “Computing Machinery and Intelligence”, **Mind**, Vol.59, No.236, 1950, pp.433-460, (Çevrimiçi), <https://doi.org/10.1093/mind/LIX.236.433>, 06.09.2020.

³ John McCarthy, Marvin L. Minsky, Nathaniel Rochester, Claude E. Shannon, “A Proposal for the Dartmouth Summer Research Project on Artificial Intelligence, August 31, 1955”, **AI Magazine**, 27(4), 2006, pp.12-14, (Çevrimiçi), <https://doi.org/10.1609/aimag.v27i4.1904>, 06.09.2020.

⁴ Nilsson, **a.g.e.**, p.78.

Yapay zekanın isim babası John McCarthy'e⁵ göre "Yapay zeka, zeki makineler özellikle de zeki bilgisayar programları üreten bilim ve mühendisliktir. Yapay zeka bilgisayar kullanılarak insan zekasının nasıl düşündüğünü, bir problemi çözerken nasıl öğrenip ve karar verdiğini incelemektedir."⁶ John McCarthy ve Patrick J. Hayes'e göre bir makine, insanoğlu için zeka gerektiren problemleri çözerek entelektüel olarak zorlu bir ortamda varlığını sürdürebiliyorsa zekidir. Bir varlık matematiğin entelektüel dünyasını, kendi hedeflerini ve varoluş amacını ve diğer zihinsel süreçleri de içeren dünyanın yeterli bir modeline sahipse, bu modele göre çok çeşitli soruları cevaplayabiliyorsa, ihtiyacı olduğunda da dış dünyadan gerekli ek bilgileri edinebiliyorsa, fiziksel becerileri elverdiği ve kendi amacına uygun olduğu sürece görevlerini yerine getirebiliyorsa zekidir.⁷

Yapay zekanın kurucu araştırmacılarından olan Nils John Nilsson'a göre, "Yapay zeka, makinelere zeka kazandırmaya yönelik etkinliktir. Zeka ise varlıkların kendi ortamlarında uygun bir şekilde, doğru düzgün ve öngörüyle işlev görmesini sağlayan niteliklerdir." Bir varlığın yaşadığı çevrenin şartlarına bağlı olarak "doğru düzgün ve olan biteni öngörerek işlev görmesi" geniş bir yelpazede zeka unsurları gerektirdiği gibi yapay zeka da mühendislik, istatistik, dilbilim, mantık gibi birçok bilim dallarından ilham aldığı ipuçlarına ihtiyaç duymaktadır. Yapay zekayı makineleri zekayla donatmak olarak betimleyen Nilsson, makine dendiğinde ise genellikle bilgisayar sistemini oluşturan yazılımın kastedildiğini belirtmektedir. Nilsson, "satranç oynayan makine" dendiğinde donanımın satranç oynamasını sağlayan programlardan bahsedilse de günümüzde çoğu bilgisayarın bazı programları, donanım devrelerine yerleştirildiği için yazılım ile donanım ayrımının yapılmasının zorlaştığını da ifade etmektedir.⁸

⁵ Cem Say, **50 Soruda Yapay Zeka**, 1. Baskı, Bilim ve Gelecek Kitaplığı, İstanbul, 2018, s.86.

⁶ John McCarthy, "What is Artificial Intelligence?", 2007, p.2, (Çevrimiçi), <http://perma.cc/U3RT-Q7JK>, 06.09.2020.

⁷ John McCarthy, Patrick J. Hayes, "Some Philosophical Problems from the Standpoint of Artificial Intelligence", **Machine Intelligence**, Vol.4, Ed. by. Donald Michie, Bernard Meltzer, Edinburg University Press, 1969, pp.463-502, (Çevrimiçi), <http://www-formal.stanford.edu/jmc/mcchay69.pdf>, 23.07.2020.

⁸ Nilsson, **a.g.e.**, pp.13-14.

Yapay zekanın uygulayıcılar, araştırmacılar ve bilim adamları tarafından evrensel olarak kabul edilen tek bir tanımı yoktur. Bazıları tarafından yapay zeka, “zeka gerektiren davranışlar sergileyen bilgisayarlı sistemler” olarak tanımlanırken, bazıları tarafından da “karmaşık gerçek dünya problemlerini rasyonel bir şekilde çözebilen veya çözüme ulaşmak için uygun eylemleri gerçekleştirebilen sistemler” olarak ifade edilmektedir. Yapay zekanın sınırları kesin olmasa da ve zaman içinde değişiklik gösterse de yapay zeka araştırmalarının ve uygulamalarının temel amacı zeki davranışın otomatikleştirilmesidir.⁹

Zeki davranışın ne olduğu ve zeki varlıkların sahip olması gereken yeterliliklerle ilgili çeşitli tanımlamalar mevcuttur. Peter Norvig ve Stuart Russell’a göre zeki varlıklar/zeki ajanlar (intelligent agents) sadece bilgi toplamakla kalmaz, aynı zamanda algıladıklarından mümkün olduğu kadar öğrenerek performanslarını artırabilirler. Zeki bir ajanın öğrenme becerisine sahip olması çevresiyle ilgili deneyim kazandıkça, önceki bilgisinden daha etkili bir şekilde bağımsız hale gelmesini sağlamaktadır. Öğrenme becerisi, zeki bir ajanın çok çeşitli ortamlarda başarılı olabilmesine imkan vermektedir.¹⁰

Yapay zekanın evrensel olarak kabul edilen tek bir tanımının olmamasına karşın, bilim adamları, araştırmacılar ve uygulayıcılar tarafından farklı yaklaşımlar ve ihtiyaçlardan kaynaklı olarak çeşitli tanımları yapılmıştır. Bunları aşağıdaki gibi sıralayabiliriz:

- Yapay zeka, karar verme (decision taking), problem çözme (problem solving) ve öğrenme (learning) gibi insan düşüncesi (human thinking) ile ilişkilendirdiğimiz faaliyetlerin otomasyonudur.¹¹

⁹ National Science and Technology Council (US), Committee on Technology, Subcommittee on Machine Learning and Artificial Intelligence, **Preparing for the Future of Artificial Intelligence**, Executive Office of the President, Washington, D.C., October 2016, pp.6-7, (Çevrimiçi), https://obamawhitehouse.archives.gov/sites/default/files/whitehouse_files/microsites/ostp/NSTC/preparing_for_the_future_of_ai.pdf, 02.08.2020.

¹⁰ Stuart J. Russell, Peter Norvig, **Artificial Intelligence: A Modern Approach**, Third Edition, Prentice Hall, 2009, p.39.

¹¹ Richard Bellman, **An Introduction to Artificial Intelligence: Can Computers Think?**, Boyd and Fraser Publishing Company, 1978, pp.3-4.

- Yapay zeka, algılamayı (perceive), akıl yürütmeyi (reason) ve bunlara bağlı olarak uygun davranmayı (act) mümkün kılan hesaplamaların çalışmasıdır.¹²
- Yapay zeka, günümüzde insanların yapmakta daha iyi olduğu şeyleri, bilgisayarların nasıl yapabileceği üzerine gerçekleştirilen çalışmalardır.¹³
- Yapay zeka, bilgisayar biliminin zeki davranışın otomasyonu ile ilgilenen dalıdır.¹⁴
- Yapay zeka, zeki hesaplama ajanlarının sentezi ve analizi üzerine gerçekleştirilen çalışmalardır.¹⁵

1.1.2. Yapay Zeka Yaklaşımları

Yapay zeka tarihi boyunca uzmanlar ve bilim adamları farklı yöntemlerle ve yaklaşımlarla çeşitli yapay zeka problemleri ve çözümleri üzerinde çalışmışlardır. Stuart Russell ve Peter Norvig, tarih boyunca yapılan yapay zeka ile ilgili çalışmaları,

- insanlar gibi davranan sistemler (acting humanly)
- insanlar gibi düşünen sistemler (thinking humanly)
- rasyonel düşünen sistemler (thinking rationally)
- rasyonel davranan sistemler (acting rationally)

olmak üzere 4 yaklaşım çerçevesinde sınıflandırmışlardır. Bu sınıflandırmaya göre insan temelli yapay zeka yaklaşımları, insan davranışları ile ilgili gözlemler ve hipotezlerden oluşan deneysel bilimlerin konusu iken, rasyonalite temelli yapay zeka yaklaşımları ise matematik ve mühendislik bilimlerinin konusunu teşkil etmektedir. Yapay zeka tarihi boyunca bu 4 grup, öne sürdüğü fikirler ve yaptıkları çalışmalarla

¹² Patrick Henry Winston, **Artificial Intelligence**, Third Edition, Addison-Wesley Publishing Company, 1992, p.5.

¹³ Elaine Rich, Kevin Knight, Shivashankar B. Nair, **Artificial Intelligence**, Third Edition, Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited, 2009, p.3.

¹⁴ George F. Luger, **Artificial Intelligence: Structures and Strategies for Complex Problem Solving**, Sixth Edition, Pearson Education, 2009, p.1.

¹⁵ David L. Poole, Alan K. Mackworth, **Artificial Intelligence: Foundations of Computational Agents**, Cambridge University Press, 2010, p.3.

hem birbirlerinden ayrılarak hem de birbirlerine yardım ederek yapay zekanın gelişmesine katkı sağlamışlardır.¹⁶

1.1.2.1. İnsanlar Gibi Davranan Sistemler

İnsanlar gibi davranan sistemler yaklaşımına (Turing Testi Yaklaşımı) göre yapay zeka, insanlar tarafından yapıldığında zeka gerektiren işlevleri yerine getiren makineler yapma bilimidir. Yapay zekanın amacı insanlarda gözlemlediğimiz zeki davranış olarak ifade edebileceğimiz davranışları gösterebilen yani insan gibi davranan bilgisayar sistemleri üretmektir.¹⁷

Alan Mathison Turing (1950) tarafından önerilen Turing testi, bir makinenin bir insanınkinden ayırt edilemeyecek nitelikte zeki davranışı sergileyip sergilemediğini sorgulamaktadır. Turing’e göre, bir bilgisayar bir sorgucu tarafından sorulan soruları, sorgucuyu insan olduğuna inandıracak düzeyde başarıyla cevaplandırırdığında zeki davranış sergilemektedir.¹⁸ Günümüz şartlarında doğal dili ve yaşadığımız dünyayı insanlar kadar iyi anlayabilen bir bilgisayar yapılamadığı için Turing testini geçebilen bir makine henüz geliştirilememiştir.¹⁹ Bir bilgisayarın Turing testini geçebilmesi için aşağıdaki becerilere sahip olması gerekmektedir:²⁰

- Başarılı bir şekilde iletişim kurmasını sağlamak için “doğal dil işleme” (natural language processing)
- Bildiklerini veya duyduklarını depolamak/saklamak için “bilgi gösterimi” (knowledge representation)
- Depoladığı/sakladığı bilgileri kullanarak soruları cevaplamak ve çıkarımlar yapmak için “akıl yürütme” (automated reasoning)
- Yeni koşullara uyum sağlamak ve örüntüleri tespit ederek tahminde bulunmak için “makine öğrenmesi” (machine learning)

¹⁶ Russell, Norvig, **a.g.e.**, pp.1-2.

¹⁷ **A.e.**, p.2.

¹⁸ Turing, **a.g.e.**

¹⁹ Say, **a.g.e.**, s.84.

²⁰ Russell, Norvig, **a.g.e.**, p.2.

1.1.2.2. İnsanlar Gibi Düşünen Sistemler

İnsanlar gibi düşünen sistemler yaklaşımına (Bilişsel Modelleme Yaklaşımı) göre yapay zeka, karar verme, problem çözme ve öğrenme gibi bilişsel faaliyetlerin otomasyonu amacıyla bilgisayarları, zekası olan makineler haline getirmek için yapılan çalışmalardır. Yapay zeka araştırmalarının ve uygulamalarının amacı insanlar gibi düşünen sistemler üretmektir. İnsanlar gibi düşünen sistemler üretmek için bilim adamları öncelikle insanın nasıl düşündüğünü saptamak, karar verme, problem çözme ve öğrenme gibi bilişsel faaliyetlerin düşünme süreçlerini çözümlemek amacıyla çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Bilişsel faaliyetlerin düşünme süreçlerinin kesin ve sağlam teorilerle ifade edilmesinin, bu teorilere dayanan bilgisayar programlarının oluşturulmasına olanak sağlayacağı belirtilmiştir.²¹

Doğru yazılıma sahip olan ve uygun biçimde programlanmış sayısal bilgisayarların (digital computers) zekayı mekanikleştirmek için kullanılabileceğine ve zeki eylemler yapma gücü olduğuna inanan Allen Newell ve Herbert A. Simon²² 1956 yılında simgesel mantıkta (symbolic logic) teorem ispatlamaya yarayan Mantık Kuramcısı (Logic Theorist) adlı programı geliştirmişlerdir.²³

Düşünen bir makine olarak nitelenen Mantık Kuramcısı'nın²⁴, insanların karmaşık problemleri çözme yeteneklerinin bazı yönlerini simüle eden ilk programlardan olduğu, Newell ve Simon tarafından geliştirilen diğer bilişsel simülasyonlarla birlikte bilişsel psikolojinin (cognitive psychology) gelişmesine büyük katkı sağladığı ifade edilmektedir.²⁵

²¹ A.e., p.3.

²² Nilsson, a.g.e., pp.64-65.

²³ Allen Newell, Herbert A. Simon, "The logic theory machine: A complex information processing system", *IRE Transactions on Information Theory*, 2(3), 1956, pp.61-79.

²⁴ Pamela McCorduck, **Machines Who Think: A Personal Inquiry into the History and Prospects of Artificial Intelligence**, Second Edition, A K Peters Ltd., 2004, p.124.

²⁵ Leo Gugerty, "Newell and Simon's Logic Theorist: Historical Background and Impact on Cognitive Modeling", *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 50(9), 2006, pp.880-884.

İlerleyen yıllarda Newell ve Simon insanda problem çözme davranışının kuramı olduğunu ileri sürdükleri Genel Problem Çözücü (General Problem Solver) programını geliştirmişlerdir.²⁶

1.1.2.3. Rasyonel Düşünen Sistemler

Rasyonel düşünen sistemler yaklaşımına (Düşünmenin Yasaları Yaklaşımı) göre yapay zeka, algılamayı (perceive), akıl yürütmeyi (reason) ve bunlara bağlı olarak uygun davranmayı (act) mümkün kılan hesaplamaların çalışmasıdır. Bu bağlamda yapay zekanın amacı mühendislik ve bilimsel olmak üzere 2 başlık altında ifade edilmektedir. Yapay zekanın mühendislik amacı gerçek dünya problemlerini çözmek iken, bilimsel amacı ise çeşitli zeka türlerini açıklamaktır.²⁷

Aristoteles akıl yürütme süreçlerini analiz ederek tanımlayan, mantık bilimi çatısı altında sistematikleştiren ilk kişidir. Aristoteles'in tasım (syllogism) adını verdiği usamlama (akıl yürütme) yöntemine göre, belirli yargılardan (örüntülerden), bunların sonucu olarak yeni yargılara ulaşılır. Aristotelesçi mantığın temelini oluşturan tasım yönteminin yapay zeka için önemi şekliyle ilgilidir. Aristotelesçi mantık, usamlamanın otomatikleştirilmesi anlamında önemli ipuçları sağlamaktadır. Tasım gibi usamlamanın örüntülerinde de farklı somut durumları temsil eden genel simgeler kullanılabilir. Genel simgelerin yerine belirli bir probleme özel simgeler kullanılarak problemin cevabına ulaşılabilir. Modern yapay zeka akıl yürütme programlarının esası genel simgeler ve benzer geçiş işlemlerinin kullanımına dayanmaktadır. Gottfried Wilhelm Leibniz, mantıksal usamlama hakkında çalışmalar yürüten ilk kişilerden biridir. Leibniz ile başlayan akıl yürütme süreçlerini mekanikleştirme çabaları George Boole ile devam etmiştir.²⁸

19. yüzyılda mantıkçıların dünyadaki nesneler ve aralarındaki ilişkiler hakkındaki ifadeler (statement) için kesin bir sembol dili geliştirmesiyle birlikte 1965 yılına kadar

²⁶ Allen Newell, Herbert A. Simon, "GPS: A Program That Simulates Human Thought", **Lernende Automaten**, Ed. by. H. Billings, R. Oldenbourg, Munchen, 1961, pp.109-124, (Çevrimiçi), <http://digitalcollections.library.cmu.edu/awweb/awarchive?type=file&item=33607>, 04.06.2020.

²⁷ Winston, **a.g.e.**, pp.5-6.

²⁸ Nilsson, **a.g.e.**, pp.27-33.

mantıksal notasyonda tanımlanan problemleri çözebilen bilgisayar programları geliştirilmiştir. Mantıkçı geleneğe göre yapay zeka, zeki sistemler üretmek için bu tür bilgisayar programları geliştirmeyi amaçlamaktadır.²⁹

1.1.2.4. Rasyonel Davranan Sistemler

Rasyonel davranan sistemler yaklaşımına (Rasyonel Ajan Yaklaşımı) göre yapay zeka, zeki hesaplama ajanlarının tasarımı üzerine gerçekleştirilen çalışmalardır. Zeki ajanlar ise amacına ve sahip olduğu koşullara göre davranabilen, değişen çevre şartları ve değişen amaçlar doğrultusunda davranışlarını güncelleyebilen, deneyimlerinden öğrenerek sahip olduğu algısal ve hesaplama sınırları çerçevesinde en uygun davranışı gösteren sistemlerdir.³⁰

Bölüm 1.1.2.3'te yer alan rasyonel düşünen sistemler yaklaşımında akıl yürütmeye doğru çıkarımlara ulaşılması ve akıl yürütmenin mekanikleştirilmesi üzerine yapılan çalışmalar ifade edilmiştir. Rasyonel davranan sistemler yaklaşımında ise akıl yürütmeden ve çıkarımlardan kaynaklanmayan durumlarda bile ajanlardan beklenen rasyonel davranışı sergilemeleridir. Sıcak bir sobaya elimizi değdiğimizde akıl yürütme süreçlerine girmeden refleks olarak elimizi hızlıca çekmemiz rasyonel bir davranıştır. Rasyonel ajanlar, en iyi sonucu elde edecek şekilde davranan veya belirsizlik olduğunda en iyi beklenen sonucu sergileyen sistemlerdir. Rasyonel davranan sistemler yaklaşımının diğer yaklaşımlara göre iki avantajı vardır. Akıl yürütme ile doğru çıkarımlara ulaşmak rasyonel davranışı uygulayabilmenin birkaç olası mekanizmasından sadece biri olduğu için yapay zekayı rasyonel ajanların tasarımı olarak ele almak, rasyonel düşünen sistemler yaklaşımından daha geneldir. Bununla birlikte rasyonel davranan sistemler yaklaşımı, insanlar gibi davranan sistemler veya insanlar gibi düşünen sistemler yaklaşımlarıyla karşılaştırıldığında da bilimsel gelişmeye daha uygundur.³¹

²⁹ Russell, Norvig, **a.g.e.**, p.4.

³⁰ Poole, Mackworth, **a.g.e.**, pp.3-4.

³¹ Russell, Norvig, **a.g.e.**, pp.4-5.

Rasyonel davranan sistemler yaklaşımıyla, yapay zekayı makinelere zeka kazandırmaya adanmış etkinlikler, zekayı ise varlıkların doğru düzgün ve olan biteni öngörerek işlev görmesini sağlayan nitelikler³² olarak açıklayan Nilsson, “Ödüle Göz Koymak” adlı makalesinde başlangıçta yapay zekanın temel amacının, insanların genel problem çözme yeteneklerine sahip bilgisayar programlarının icadı olduğunu, ama ilerleyen zamanlarda yapay zeka çalışmalarının daha çok belirli uzmanlık alanlarında yüksek yetkinliklere sahip performans programlarının geliştirilmesi yönünde ilerlediğini belirtmiştir. Nilsson, yapay zeka çalışmalarının odak noktasının bu şekilde değişmesini eleştirmiş, belirli uzmanlık alanlarında etkin olan akıllı makineler ve belirli bir misyona özgü araştırmalara (mission-specific research) ilaveten genel zeki sistemlerin geliştirilmesi konusunda yapay zeka araştırmacılarının daha fazla çaba göstermeleri gerekliliğini açıklamıştır.³³

Nilsson’a göre yapay zeka çalışmalarının başlıca hedefi yani aranılan “büyük ödül” insanların yapabildiği şeylerin çoğunu, özellikle zeka gerektirenlerini yapabilen yapılar/nesneler (artifacts) geliştirmek olmalıdır. Yapay zeka araştırmacıları, “İnsan Düzeyinde Yapay Zeka” (Human Level Artificial Intelligence) olarak tanımlanan yetileri barındıran bu hünerli sistemleri (habile systems) kurmaya odaklanmalıdır.³⁴

1.2. Yapay Zekanın Ekonomik Etkisi

Yapay zeka, robotik (robotics), nesnelerin interneti, büyük veri analitiği (big data analytics), otonom araçlar (autonomous vehicles) ve bulut bilişim gibi temel bileşenleri olan 4.Sanayi Devrimi, önceki sanayi devrimlerinden farklı olarak son derece hızlı bir şekilde (üstel bir gelişim hızıyla) üretim yöntemlerini, tüketim alışkanlıklarını, yaşama ve çalışma şekillerini ve sosyal hayatı yeniden şekillendirmektedir. 4.Sanayi Devrimi, küresel gelir düzeylerini artırma ve insanların yaşam kalitesini iyileştirme potansiyeline sahiptir. Dijital ve otonom sistemlerin hakim olduğu 4.Sanayi Devrimi, yeni üretim tekniklerinin, yeni sektörlerin, yeni ürünlerin

³² Nilsson, **a.g.e.**, p.13.

³³ Nils J. Nilsson, “Eye on the Prize”, **AI Magazine**, 16(2), 1995, pp.9-17.

³⁴ Nilsson, **a.g.e.**, p.646.

geliştirilmesi ve maliyetlerin düşürülmesi ile yeni pazar fırsatları yaratarak ekonomik büyümeyi tetikleyecektir. Yapay zeka, 4.Sanayi Devrimi'nin temel taşı olarak nitelendirilmektedir.³⁵

2.Sanayi Devrimi'nin itici gücü olarak kabul edilen elektrik enerjisi, 4.Sanayi Devrimi'nde yerini yapay zekaya bırakmıştır. Yapay zeka, 4.Sanayi Devrimi'nin elektriği olarak tanımlamaktadır. 100 yıl önce elektriğin her şeyi dönüştürmesi gibi yapay zekanın da endüstriler üzerinde büyük bir dönüştürücü etkiye sahip olduğu ifade edilmektedir.³⁶

Yapay zeka, e-ticaret, sosyal medya, işletmeler ve devletler (government) gibi kaynaklardan büyük veri tabanlarının ortaya çıkışı, buna bağlı olarak makine öğrenmesi yaklaşım ve algoritmalarının önemli ölçüde gelişmesi ve bilgi işlem gücü ve kapasitesi çok yüksek olan bilgisayarların üretilmesiyle yaklaşık 2010 yılından itibaren çok hızlı bir gelişim göstermektedir.³⁷

Birbirini besleyen ve güçlendiren bu üç faktörün etkisiyle bilgisayarla görme (computer vision), doğal dil işleme (natural language processing), sanal asistanlar (virtual assistants), robotik süreç otomasyonu (robotic process automation) ve gelişmiş makine öğrenmesi (advanced machine learning) gibi yapay zeka teknolojilerinde (yapay zeka araç ve teknikleri) kaydedilen ilerlemeler ve çığır açan sonuçlar, halihazırda yaygın olarak kullanılan ve giderek yaygınlaşan kişisel asistanlar (personal assistants) ve yüz tanıma sistemleri (facial recognition systems) gibi ürün ve hizmetler

³⁵ Klaus Schwab, "The Fourth Industrial Revolution: What It Means, How to Respond", World Economic Forum, January 2016, (Çevrimiçi), <https://www.weforum.org/agenda/2016/01/the-fourth-industrial-revolution-what-it-means-and-how-to-respond>, 15.06.2020.

³⁶ Andrew NG, "Artificial Intelligence Is the New Electricity", Stanford University Graduate School of Business MSx Program Future Forum, January 2018, (Çevrimiçi), <https://singjupost.com/andrew-ng-artificial-intelligence-is-the-new-electricity-at-stanford-gsb-transcript/?singlepage=1&pdf=6249>, 15.06.2020.

³⁷ Executive Office of the President of the United States, **Artificial Intelligence, Automation, and the Economy**, Executive Office of the President, Washington, D.C., December 2016, p.6, (Çevrimiçi), <https://obamawhitehouse.archives.gov/sites/whitehouse.gov/files/documents/Artificial-Intelligence-Automation-Economy.PDF>, 24.06.2020.

göz önüne alındığında yapay zekanın iş dünyasında ve küresel ekonomideki rolünün incelenmesi ve ölçülmesi büyük önem kazanmaktadır.³⁸

Yapay zekanın sağladığı verimlilik kazanımlarının ötesinde geleneksel endüstrileri ve günlük yaşamları dönüştürücü etkisiyle tüm endüstrilere nüfuz ederek insanların yaşama ve çalışma biçimlerinde radikal ve eşi görülmemiş değişiklikler getirebileceği belirtilmektedir.³⁹

Yapay zeka, toplumun karşılaştığı çeşitli problemlerin çözüme ulaştırılmasına yardımcı olma potansiyeline sahiptir. Akıllı araçlar (smart vehicles) her yıl dünya genelinde yüz binlerce hayat kurtarabilir, akıllı binalar (smart buildings) enerji tasarrufu sağlayabilir ve karbon emisyonlarını azaltabilir. Tıptaki yapay zeka uygulamalarının hastalıkların teşhis edilmesine ve tedavi yöntemleri geliştirilmesine yardımcı olması yaşam süresini uzatabilir ve yaşam kalitesini artırabilir. Devlet yönetimleri yapay zeka uygulamalarını ve araçlarını kullanarak vatandaşlarına daha hızlı ve kaliteli bir şekilde hizmet verebilmektedir. Yapay zeka uygulamaları, eğitim yöntem ve materyallerinin öğrencilerin bireysel ihtiyaçlarına göre uyarlanmasında kullanılarak öğretmenlerin her çocuğa kaliteli bir eğitim vermesine yardımcı olabilir.⁴⁰ Yapay zeka hemen hemen her sektörde eşi görülmemiş fırsatlar sunarak dönüştürücü bir etki yaratmaktadır. Yapay zekanın Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri'ne (Sustainable Development Goals) ulaşılması yolunda da genel olarak kolaylaştırıcı (enabler) bir rol üstlenerek olumlu potansiyel etkilere sahip olduğu belirtilmektedir.⁴¹

³⁸ Jacques Bughin, Jeongmin Seong, James Manyika, Michael Chui, Raoul Joshi, "Notes from the AI Frontier: Modeling the Impact of AI on the World Economy", **Discussion Paper**, McKinsey Global Institute, September 2018, pp.2-6, (Çevrimiçi), <https://www.mckinsey.com/~media/McKinsey/Featured%20Insights/Artificial%20Intelligence/Notes%20from%20the%20frontier%20Modeling%20the%20impact%20of%20AI%20on%20the%20world%20economy/MGI-Notes-from-the-AI-frontier-Modeling-the-impact-of-AI-on-the-world-economy-September-2018.ashx>, 15.06.2020.

³⁹ Celine Herweijer, Benjamin Combes, Pia Ramchandani, Jasnam Sidhu, **Fourth Industrial Revolution for the Earth: Harnessing Artificial Intelligence for the Earth**, PwC, January 2018, pp.2-4, (Çevrimiçi), <https://www.pwc.com/gx/en/sustainability/assets/ai-for-the-earth-jan-2018.pdf>, 20.06.2020.

⁴⁰ National Science and Technology Council (US), Committee on Technology, Subcommittee on Machine Learning and Artificial Intelligence, **a.g.e.**, p.5.

⁴¹ Ricardo Vinuesa, Hossein Azizpour, Iolanda Leite, et al., "The role of artificial intelligence in achieving the Sustainable Development Goals", **Nature Communications**, 11(233), 2020, pp.1-10, (Çevrimiçi), <https://doi.org/10.1038/s41467-019-14108-y>, 18.07.2020.

Yapay zeka internet hızının artması ve internetin yaygınlaşması, veri hacminin genişlemesi gibi faktörler sayesinde çok hızlı bir gelişim göstererek yaşama ve çalışma şekillerini giderek daha fazla dönüştürmekte, sosyal, ekonomik ve çevresel kalkınma için benzeri görülmemiş fırsatlar sunmaktadır. Yapay zeka teknolojilerinin hemen hemen her sektörde giderek artan bir çeşitlilikte yeni hizmet, yeni ürün ve değer yaratması beklenmektedir. Bununla birlikte yapay zeka tarafından tetiklenen değişiklikler devam etmekte, yeni yapay zeka teknolojileri ve çözümleri marketlerde sıklıkla yerini almaktadır. Yapay zeka teknolojilerinin bu dinamik ve oyunun kurallarını değiştiren gelişmesiyle birlikte ekonomi ve toplum üzerindeki etkisinin değerlendirilmesi ve ölçülmesi gelecekteki büyümenin gözden geçirilmesi açısından önemlidir.⁴²

1.2.1. Yapay Zekanın Ekonomik Etkilerini İnceleyen Çalışmalar

Yapay zeka alanındaki gelişmeler yapay zekanın etkilerinin ekonominin çeşitli temel kavramları açısından ele alınması ihtiyacını doğurmaktadır. Yapay zekanın ekonomik etkileriyle ilgili ele alınması gereken konuların ajandasını belirlemek amacıyla yapılan konferansın raporunda yapay zekanın, makine öğrenmesinin, robotik ve otomasyonun ekonomik etkileri ekonominin çeşitli temel kavramları açısından araştırılmakta, yapay zekanın ekonomik etkisinin kavranması için çeşitli çerçeveler sunulmakta ve 24 araştırma sorusu tanımlanmaktadır. Raporda yapay zekanın verimliliği, ekonomik büyümeyi, gelir eşitsizliğini, pazar gücünü, inovasyonu ve istihdamı etkileme potansiyeli vurgulanmaktadır.⁴³

Son zamanlarda yapılan çalışmalarda yapay zeka teknolojilerinin ekonomi perspektifinden önemi çeşitli bakış açıları ile ele alınmaktadır. Bazı çalışmalarda yapay zekanın tahmin etme maliyetini düşürmesiyle diğer birçok teknolojik gelişmeye

⁴² United Nations Economic and Social Commission for Asia and the Pacific, **Artificial Intelligence and Broadband Divide: State of ICT Connectivity in Asia and the Pacific**, 2017, p.5, (Çevrimiçi), <https://www.unescap.org/resources/artificial-intelligence-and-broadband-divide-state-ict-connectivity-asia-and-pacific-2017>, 14.07.2020.

⁴³ Ajay Agrawal, Joshua Gans, Avi Goldfarb, **The Economics of Artificial Intelligence: An Agenda**, University of Chicago Press, 2019.

göre ekonomik etkisinin çok daha önemli olduğu ifade edilmektedir.⁴⁴ Bazı kaynaklarda da dijital teknolojilerin gelişmesiyle birlikte yapay zekanın ve robotların işgücünün büyük bir kısmının bilişsel ve fiziksel işlerini yapma kapasitesini hızla geliştirdiği yeni makine çağının, insanların yaşama ve çalışma şekillerini çok büyük ölçüde değiştirerek sosyal ve ekonomik anlamda büyük potansiyel etkilere sahip olduğu vurgulanmaktadır.⁴⁵

Yapay zeka teknolojilerinden kaynaklı otomasyonun ekonomik etkileri hakkında hazırlanan raporda teknolojinin işgücü verimliliğini artırdığı ve işgücü verimliğindeki bu artıştan kaynaklanan ücret artışlarının da çalışanların yaşam standartlarını iyileştirdiği açıklanmaktadır. Raporda yapay zeka kaynaklı otomasyonun, toplam faktör verimliliği artışını tetikleme ve ücret artışlarına olanak sağlamasıyla çalışanların yaşam standartlarını iyileştirme potansiyeline sahip olduğu belirtilmektedir.⁴⁶

Son araştırmalar yapay zekanın işgücü piyasası üzerindeki etkilerinin farklı meslek dallarında farklı oranlarda ve hızda hissedileceğini göstermektedir. Carl Benedikt Frey ve Micheal Osborne tarafından yapılan çalışmada yapay zekanın istihdam üzerindeki etkileri incelenmektedir. Çalışmada yapay zeka teknolojilerinin önümüzdeki 10 veya 20 yıl içinde mesleklerin yerine geçme olasılığı araştırılmaktadır. Yapılan analizlere göre meslekler otomatize edilme olasılığına (probability of computerisation) göre üç grupta sınıflandırılmıştır. Sınıflandırmaya göre Amerika Birleşik Devletleri'ndeki (ABD) toplam istihdamın %47'sinin otomatize edilebilirlik açısından yüksek riskli grupta olduğu yani ilgili mesleklerin 10 veya 20 yıl içinde potansiyel olarak otomatize edilebileceği sonucuna ulaşılmıştır. Bununla birlikte araştırmada düşük vasıflı ve düşük ücretli mesleklerin otomatize edilme olasılıklarının daha yüksek olduğu belirtilmiş ve bu meslek dallarında istihdamda yaşanabilecek büyük riskler vurgulanmıştır. Çalışmada teknoloji hızla ilerlerken düşük becerilere sahip çalışanların

⁴⁴ Ajay Agrawal, Joshua Gans, Avi Goldfarb, **Prediction machines: the simple economics of artificial intelligence**, Harvard Business Press, 2018.

⁴⁵ Erik Brynjolfsson, Andrew McAfee, **The second machine age: Work, progress, and prosperity in a time of brilliant Technologies**, WW Norton & Company, 2014.

⁴⁶ Executive Office of the President of the United States, **a.g.e.**, pp.8-10.

otomasyona duyarlı olmayan yani yaratıcılık ve sosyal zeka gerektiren işlere yönlendirilmeleri tavsiye edilmektedir.⁴⁷

Daron Acemoğlu ve Pascual Restrepo tarafından yapılan çalışmada yapay zekanın ve otomasyonun işgücü piyasası, ücretler ve istihdam üzerindeki etkilerinin incelenmesi için bir çerçeve sunulmaktadır. Çalışmada yapay zekanın ekonomik etkileri “yerdeğiştirme etkisi” (displacement effect) ve “verimlilik etkisi” (productivity effect) olmak üzere iki başlık altında ele alınmaktadır. Otomasyonun yarattığı yerdeğiştirme etkisi ile makine ve yapay zekanın emeğin yerine kullanılması ifade edilmektedir. Acemoğlu ve Restrepo’ya göre yerdeğiştirme etkisinin işgücü talebini ve ücretleri azaltma eğilimi, otomasyonla sağlanan maliyet tasarruflarından kaynaklanan verimlilik etkisinin, otomasyon gerektirmeyen görevlerdeki (non-automated tasks) işgücü talebinin artırılmasına olanak sağlamasıyla dengelenmektedir. Robotik ve yapay zeka teknolojilerinin insan emeği yerine ikame edilmesi otomatize edilmiş görevlerde üretim maliyetinin düşmesini sağlayarak bir verimlilik etkisi yaratmaktadır. Böylece genişleyen ekonomi otomatize edilmeyen görevlerde işgücü talebini artırmaktadır. Bununla birlikte otomasyonun artması, sermaye talebini ve dolayısıyla işgücü talebini de artırmaktadır.⁴⁸ Yapay zeka teknolojilerinin uygulanmasını ve çalışmasını sağlamak için yeni mühendislere ve büyük veri analistlerine ihtiyaç duyulmaktadır.

Acemoğlu ve Restrepo tarafından yapılan bir diğer çalışmada endüstriyel robotlar, dijital teknolojiler, bilgisayar kontrollü makineler ve yapay zeka işgücünün (emeğin) yerini aldıkça yeni iş ünvanlarının ve yeni görevlerin ortaya çıkmasının ücretleri, istihdamı ve işgücü payını artıracığı ifade edilmektedir. Çalışmada otomasyonun ve dolayısıyla ortaya çıkan yeni görevlerin ekonominin üretim olanaklarını nasıl

⁴⁷ Carl Benedikt Frey, Michael A. Osborne, “The Future of Employment: How Susceptible are Jobs to Computerisation”, Oxford University, 2013, (Çevrimiçi), https://www.oxfordmartin.ox.ac.uk/downloads/academic/The_Future_of_Employment.pdf, 02.06.2020.

⁴⁸ Daron Acemoğlu, Pascual Restrepo, “Artificial intelligence, automation and work”, **NBER Working Paper**, No.24196, National Bureau of Economic Research, January 2018, (Çevrimiçi), <https://www.nber.org/papers/w24196>, 06.06.2020.

şekillendirdiğini, istihdamı, işgücünün ücretlerini ve milli gelirden aldığı payı nasıl belirlediğini açıklayan bir çerçeve sunulmaktadır.⁴⁹

Yapay zekanın ekonomik büyüme üzerindeki potansiyel etkilerinin incelendiği “Yapay Zeka ve Ekonomik Büyüme” adlı çalışmada araba kullanmaktan hastalıkların teşhis edilmesine ve tedavi yöntemleri geliştirilmesine kadar birçok görevin yapay zeka teknolojileri ile gerçekleştirilme potansiyeline sahip olduğu belirtilmiş ve yapay zeka, geçen yüzyıllarda elektrik, içten yanmalı motorlar ve yarı iletkenler aracılığıyla tetiklenen ve en az 200 yıldır devam eden bir otomasyon sürecinin en son şekli olarak modellenmiştir. Çalışmada yapay zeka teknolojilerinin insan emeğinin yerini almasıyla, mal ve hizmetlerin üretiminde giderek artan sayıda görevin otomatize edilmesinin ekonomik büyümeye ve emek ile sermaye arasındaki gelir dağılımına potansiyel etkileri araştırılmıştır.⁵⁰

Yapay zeka ve robotikteki gelişmelerin büyüme ve eşitsizlik üzerindeki etkilerinin incelendiği çalışmada, otomasyonun işgücü piyasasını nasıl dönüştürebileceğine dair farklı görüşleri yansıtan dört farklı model geliştirilerek “robotların” çıktı ve çıktının paylaşılması üzerindeki kısa ve uzun vadeli etkileri analiz edilmektedir. Çalışmada “robotlar” kavramı ile bilgisayarların, yapay zekanın, büyük verinin ve bilginin, ağların ve sensörlerin dijitalleşmesinin kombinasyonu kastedilmektedir. Analizin sonuçları işlerin otomatize edilme derecesine göre geliştirilen dört modelde de otomasyonun büyüme üzerinde olumlu bir etkiye sahip olduğunu ve uzun vadede kişi başına düşen reel geliri %30’dan %240’a kadar artırma potansiyeli taşıdığını göstermektedir. Bununla birlikte çalışmada otomasyonun eşitsizliği artırıcı sonuçlar ortaya çıkardığı bulgusuna da ulaşılmaktadır.⁵¹

⁴⁹ Daron Acemoğlu, Pascual Restrepo, “The Race between Man and Machine: Implications of Technology for Growth, Factor Shares, and Employment”, **American Economic Review**, 108(6), 2018, pp.1488-1542.

⁵⁰ Philippe Aghion, Benjamin F. Jones, Charles I. Jones, “Artificial Intelligence and Economic Growth”, **NBER Working Paper**, No.23928, National Bureau of Economic Research, October 2017, (Çevrimiçi), <http://www.nber.org/papers/w23928>, 06.06.2020.

⁵¹ Andrew Berg, Edward F. Buffie, Luis-Felipe Zanna, “Should We Fear the Robot Revolution? (The Correct Answer is Yes)”, **IMF Working Paper**, No.18/116, International Monetary Fund, May 2018, (Çevrimiçi), <https://www.imf.org/~media/Files/Publications/WP/2018/wp18116.ashx>, 04.06.2020.

Yapay zeka alanındaki hızlı gelişmeler, hem üretim sürecini hem de geniş bir ürün ve hizmet yelpazesinin özelliklerini doğrudan etkileyerek verimlilik, istihdam ve rekabet açısından önemli ekonomik etkileri olan bir potansiyele sahiptir. Bununla birlikte yapay zeka inovasyon sürecinin kendisini değiştirme potansiyeline de sahiptir. Yapay zekanın inovasyon üzerindeki etkisinin incelendiği bir çalışmada bazı yapay zeka uygulamaları, daha düşük maliyetli veya daha yüksek kaliteli üretim yapılmasını sağlarken, derin öğrenme (deep learning) gibi bazı yapay zeka teknolojilerinin de çok çeşitli sektörde sağladığı verimlilik kazanımlarının yanında inovasyon sürecini etkileme potansiyeline de sahip olduğu ifade edilmektedir. Çalışmaya göre hem üretim performansını hem de inovasyon sürecinin doğasını iyileştirme kabiliyeti sayesinde, makine öğrenmesi ve sinir ağlarındaki (neural networks) son gelişmelerin, inovasyon ve büyüme üzerinde büyük bir etkiye sahip olacağı öne sürülmektedir. Çalışmada robotik, sembolik sistemler (symbolic systems) ve derin öğrenme gibi farklı yapay zeka teknolojilerinin inovasyon üzerindeki potansiyel etkilerinin farklı olduğu ifade edilmiş ve yapay zekanın ileriye dönük inovasyon sürecini nasıl etkileyebileceğinin daha iyi kavranması açısından karşılaştırılmıştır.⁵²

Son yıllarda yapay zeka ve makine öğrenmesi, müşterilerin daha iyi deneyimler oluşturmalarına ve pazarların verimliliğinin artırılmasına yardımcı olan kalıpları belirleyerek pazar tasarımı (market design) için önemli araçlar olarak ortaya çıkmaktadır. Yapay zeka ve makine öğrenmesi algoritmalarının sağladığı iyileştirilmiş tahminler, pazar yerlerinin ve perakendecilerin tüketici talebini ve üretici arzını daha iyi tahmin etmesine, daha etkin pazar segmentasyonu ve kişiselleştirilmiş pazarlama stratejileri geliştirilmesine yardımcı olmaktadır. Perakendeciler ve şirketler yapay zeka ve makine öğrenmesi ile karmaşık ve dinamik pazar ortamlarını daha iyi tahmin edebilmekte ve böylelikle daha etkin stratejilerle çalışmalarını başarıyla sürdürebilmektedirler.⁵³

⁵² Iain M. Cockburn, Rebecca Henderson, Scott Stern, “The Impact of Artificial Intelligence on Innovation”, **NBER Working Paper**, No.24449, National Bureau of Economic Research, March 2018, (Çevrimiçi), <http://www.nber.org/papers/w24449>, 06.06.2020.

⁵³ Paul R. Milgrom, Steven Tadelis, “How Artificial Intelligence and Machine Learning Can Impact Market Design”, **NBER Working Paper**, No.24282, National Bureau of Economic Research, February 2018, (Çevrimiçi), <http://www.nber.org/papers/w24282>, 06.06.2020.

McKinsey Global Institute tarafından yapılan endeks çalışmasında 10 ülkede 13 sektörde yapay zeka teknolojilerinin benimsenmesinin ve kullanımının derecesi ölçülmektedir. Yapay zeka varlıkları (AI assets), yapay zeka kullanımı (AI usage) ve yapay zeka destekli işgücü (AI-enabled labor) olmak üzere 3 kategoride ele alınan 16 girdi ile her bir sektör için yapay zeka teknolojilerini benimseme skoru elde edilmiştir.⁵⁴ Çalışmada yapılan anket sonuçlarına göre yapay zeka teknolojilerini benimseme düzeyi yüksek olan şirketlerin yapay zekayı kullanmadaki amaçlarının öncelikle gelir ve pazar paylarını artırmak olduğu ifade edilmektedir. Yapay zeka benimseme düzeyleri yüksek olan şirketler yapay zeka teknolojilerini büyümenin bir aracı olarak görerek ürün ve hizmet inovasyonu amacıyla kullanmaktadırlar. Yapay zeka teknolojilerini deneyen veya kısmen benimseyen şirketlerin ise daha çok yapay zekanın maliyetleri düşürme potansiyeline odaklandıkları belirtilmektedir.⁵⁵ Çalışmada şirketlerin yapay zeka benimseme düzeyleri ile kar marjlarının ilişkisi incelendiğinde yapay zeka benimseme düzeyi yüksek olan, güçlü bir dijital olgunluğa sahip olan ve proaktif yapay zeka stratejileri uygulayan şirketlerin önemli ölçüde daha yüksek kar marjlarına sahip olduğu ifade edilmektedir. Yapay zeka teknolojilerini proaktif bir stratejiyle benimseyen şirketler, çoğu sektörde ortalamadan %3 ile %15 arasında daha yüksek mevcut kar marjlarına sahip olmakla birlikte üç yıl içinde de kar marjlarının sektör ortalamasından %5'e kadar daha yüksek olması beklentisini taşımaktadırlar.⁵⁶

McKinsey Global Institute tarafından yapılan anket sonuçlarına ve vaka analizlerine göre yapay zeka teknolojilerini geniş ölçekte uygulayan şirketlerin önemli getiriler sağladığı, yapay zekanın bazı iş faaliyetlerinin üzerinde dönüştürücü bir etkiye sahipken bazılarını da temelden değiştirebilme potansiyeline sahip olduğu belirtilmektedir.⁵⁷ Farklı sektörlerde yapay zekanın işletmeleri, kurumları ve onların

⁵⁴ Jacques Bughin, Eric Hazan, Sree Ramaswamy, Michael Chui, Tera Allas, Peter Dahlström, Nicolaus Henke, Monica Trench, "Artificial Intelligence: The Next Digital Frontier?", **Discussion Paper**, McKinsey Global Institute, June 2017, pp.71-72, (Çevrimiçi), <https://www.mckinsey.com/~media/McKinsey/Industries/Advanced%20Electronics/Our%20Insights/How%20artificial%20intelligence%20can%20deliver%20real%20value%20to%20companies/MGI-Artificial-Intelligence-Discussion-paper.ashx>, 08.06.2020.

⁵⁵ A.e., p.17.

⁵⁶ A.e., pp.20-21.

⁵⁷ A.e., p.20.

değer zincirlerini nasıl etkileyebileceğini değerlendirmek amacıyla perakende, elektrik hizmetleri, imalat, sağlık hizmetleri ve eğitim sektörleri olmak üzere 5 sektörde yapılan vaka çalışmasında yapay zekanın ekonomik etkileri maliyetleri azaltma, geliri artırma ve varlık kullanımını güçlendirme potansiyelleri açısından incelenmiştir. Çalışmada yapay zekanın bu sektörlerde nasıl değer yaratabileceği aşağıda belirtildiği gibi dört başlık altında sınıflandırılmıştır.⁵⁸

1. Şirketlerin talebi önceden tahmin edebilmesi, Ar-Ge (Araştırma ve Geliştirme) çalışmalarını optimize edebilmesi ve kaynak kullanımını iyileştirebilmesi için daha iyi projelendirmesine ve tahmin etmesine olanak sağlayarak,
2. Şirketlerin daha düşük maliyetle ve daha yüksek kalitede mal ve hizmet üretme yeteneklerini artırarak,
3. Şirketlerin en doğru fiyatla ve mesajla hedef müşterilere ürün ve hizmet tekliflerinin tanıtımını yapmaya yardımcı olarak,
4. Şirketlerin müşterilerine zengin, kişisel ve uygun ürün ve hizmet deneyimleri sunmalarını sağlayarak,

1.2.2. Yapay Zekanın Ekonomik Etkilerini Ölçen Çalışmalar

Yapay zekanın ekonomik etkisi ile ilgili yapılan birçok araştırma, yapay zekanın verimliliği artırabileceği ve ülkelerin gayrisafi yurt içi hasıla (GSYİH) seviyelerini yükseltebileceği şeklinde fikir birliği içindedir. Yapay zekanın ekonomik etkisinin büyüklüğü ise araştırmalarda kullanılan farklı metodolojilerden dolayı farklılık göstermektedir. Yapay zekanın ekonomik etkisinin ölçüldüğü çalışmalarda farklı ekonomik etki kanalları ele alınmış, farklı ülke grupları ve göstergeler kullanılmıştır. Yapılan araştırmalar yapay zekanın şirketler ve devletler tarafından benimsenme düzeyine yaklaşımları açısından da farklılık göstermektedir.⁵⁹

Yapay zekanın küresel ekonomik etkisinin incelendiği ve ölçüldüğü çalışmalardan biri Facebook tarafından finanse edilen ve Analysis Group tarafından yayımlanan “Yapay

⁵⁸ A.e., p.22.

⁵⁹ Bughin, Seong, Manyika, Chui, Joshi, a.g.e., p.9.

Zeka ile İlgili Küresel Ekonomik Etkiler” adlı çalışmadır. Bu çalışmada yapay zekanın kullanımı, geliştirilmesi ve benimsenmesiyle ilgili öngörülen küresel ekonomik etkiler tahmin edilmiş ve 2016 yılını takip eden 10 yıl içinde yapay zekanın ekonomik etkisinin 1,49 trilyon dolar ile 2,95 trilyon dolar arasında olacağı sonucuna ulaşılmıştır. Çalışmada yapay zekanın küresel ekonomik etkisi, yapay zeka teknolojilerini kullanan şirket ve sektörlerde verimlilik artışından kaynaklanan dolaylı GSYİH artışı ve yapay zeka teknolojilerini geliştiren veya üreten şirket ve sektörlerden gelen doğrudan GSYİH artışı olmak üzere 2 başlık halinde incelenmiştir. Çalışmaya göre, yapay zekanın GSYİH üzerindeki doğrudan etkisi, yapay zeka teknolojilerini geliştiren veya üreten şirket ve sektörlerdeki büyümenin, gelir ve istihdam artışıyla birlikte tamamen yeni ekonomik faaliyetlerin yaratılmasına olanak sağlamasından kaynaklanmaktadır. Yapay zekanın GSYİH üzerindeki dolaylı etkisinin ise yapay zeka teknolojilerini kullanan firma ve sektörlerin süreçlerini ve kararlarını daha hızlı ve verimli bir hale getirebilmelerinin yanı sıra bilgiye erişimlerinin daha kolay olmasından kaynaklandığı ifade edilmektedir.⁶⁰

Robotik, yapay zeka ve makine öğrenmesindeki gelişmeler, bilişsel yetenek gerektirenler de dahil olmak üzere bir dizi iş faaliyetinde makinelerin insan performansıyla eşleştiği veya daha iyi performans gösterdiği için yeni bir otomasyon çağını başlatmıştır. McKinsey Global Institute, 2016 yılında yaptığı çalışmayla küresel ekonominin otomasyon potansiyelini ve bu potansiyelin ekonomik etkilerini analiz etmiştir. Çalışmada yapay zeka teknolojilerinden kaynaklı otomasyonun, hataları azaltarak, kaliteyi ve hızı artırarak ve bazı durumlarda insan yeteneklerinin ötesine geçen sonuçlara ulaşarak işletmelerin performanslarını iyileştirdiği belirtilmektedir. Otomasyonun verimlilik artışını sağladığı, verimlilik artışının da ekonomik büyümeyi ve refah seviyesini yükselttiği ifade edilmektedir. Yapılan analizlere göre yapay zeka teknolojilerinden kaynaklı otomasyonun, küresel ekonomide yıllık %0,8 ile %1,4 arasında verimliliği artırma potansiyeline sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Çalışmada teknik, sosyal ve ekonomik birçok faktörün otomasyonun hızını ve

⁶⁰ Nicholas Chen, Lau Christensen, Kevin Gallagher, Rosamond Mate, Greg Rafert, **Global Economic Impacts Associated with Artificial Intelligence**, Analysis Group, 2016, pp.2-3, (Çevrimiçi), http://www.analysisgroup.com/uploadedfiles/content/insights/publishing/ag_full_report_economic_impact_of_ai.pdf, 12.06.2020.

kapsamını etkilemesiyle birlikte günümüz işlerinin %50'sinin 2055 yılına kadar otomasyonlaşma potansiyeline sahip olduğu belirtilmiştir.⁶¹

Geleneksel ekonomilerde büyümenin arkasındaki itici güç “sermaye” (capital) ve “emek/işgücü” (labor) artışıdır. Sermaye ve işgücü, ekonomilerin gelişmesini sağlayan üretim faktörleridir. Ekonomik büyüme, sermaye stoğu ve işgücü miktarı arttığında veya daha verimli kullanıldığında gerçekleşir. Bir ekonominin mevcut sermayesini ve işgücünü ne kadar verimli ve etkili kullandığını gösteren temel ölçü toplam faktör verimliliğidir. İnovasyon ve teknolojik gelişmeler, toplam faktör verimliliğini artırarak ekonomik büyümeyi hızlandırırlar. Accenture Research tarafından hazırlanan “Büyümenin Geleceği Neden Yapay Zekadır?” adlı çalışmada, geçen yüzyıldaki elektrik, buharlı makineler, demiryolları ve bilgi teknolojileri gibi inovasyon ve teknolojik gelişmelerden farklı olarak yapay zekanın sadece toplam faktör verimliliğinin başka bir itici gücü olmakla kalmayıp, tamamen yeni bir üretim faktörü olduğu belirtilmiştir. Çalışmada yapılan modellemede üretim süreçlerinde emek faaliyetlerini çok daha hızlı ve kaliteli bir şekilde gerçekleştirmesiyle “emek”, robotlar ve akıllı makineler gibi fiziksel olarak işgücünün yerine ikame edilmesiyle “sermaye” formunu alabilen yapay zeka teknolojileri, “sermaye-emek hibriti” olarak kabul edilmiş ve geliştirilen ekonomik büyüme modeline “yeni üretim faktörü” (the new factor of production) olarak dahil edilmiştir.⁶²

Accenture Research ve Frontier Economics iş birliği ile yapılan modellemede yeni bir üretim faktörü olarak ele alınan yapay zekanın, dünyanın ekonomik çıktısının %50'sinden fazlasını üreten 12 gelişmiş ülke için potansiyel ekonomik etkisi analiz edilmiştir. Analizin sonuçlarına göre yeni bir üretim faktörü olarak modellenen yapay zekanın 12 gelişmiş ülke için 2035 yılına kadar işgücü verimliliğini %40'a kadar

⁶¹ James Manyika, Michael Chui, Mehdi Miremadi, Jacques Bughin, Katy George, Paul Willmott, Martin Dewhurst, **A Future That Works: Automation, Employment and Productivity**, McKinsey Global Institute, January 2017, (Çevrimiçi), https://www.mckinsey.com/~media/McKinsey/Featured%20Insights/Digital%20Disruption/Harnessing%20automation%20for%20a%20future%20that%20works/MGI-A-future-that-works_Full-report.ashx, 12.06.2020.

⁶² Mark Purdy, Paul Daugherty, **Why Artificial Intelligence Is the Future of Growth?**, Accenture, 2016, pp.4-5, (Çevrimiçi), https://www.accenture.com/t20170524T055435_w/ca-en/acnmedia/PDF-52/Accenture-Why-AI-is-the-Future-of-Growth.pdf, 12.06.2020.

artırabilme ve yıllık ekonomik büyüme oranlarını ikiye katlama potansiyeline sahip olduğu belirtilmiştir. Çalışmada yapay zekanın “ekonomik büyümeyi ve işgücü verimliliğini artırma” potansiyelinin tahmin edilmesi her bir ülke için hazırlanan 2 senaryonun karşılaştırılmasıyla yapılmıştır. Birinci senaryo, geleceğe ilişkin mevcut varsayımlar altında beklenen yıllık ekonomik büyüme oranını ve işgücü verimliliğini, ikinci senaryo ise yeni bir üretim faktörü olarak yapay zeka ile öngörülen yıllık ekonomik büyüme oranını ve işgücü verimliliğini ifade etmektedir. Çalışmada yapay zekanın işgücünün verimli kullanımını sağlayarak analize konu olan ülkelerin ekonomilerinin ikiye katlanması için gerekli olan süreyi de önemli ölçüde azalttığı ifade edilmiştir. Geliştirilen modele göre 2035 yılına kadar ABD için mevcut varsayımlar altında beklenen yıllık ekonomik büyüme oranı %2,6 iken yeni bir üretim faktörü olarak yapay zeka ile öngörülen yıllık ekonomik büyüme oranı %4,6’dır. Almanya, Avusturya, İsveç ve Hollanda yapay zekanın etkisi ile yıllık ekonomik büyüme oranlarını ikiye katlarken, Japonya ise yıllık ekonomik büyüme oranını üç katına çıkarabilmektedir. Raporda yapay zeka ile en büyük ekonomik kazanç sağlayan ülkenin ABD olduğu ifade edilmektedir.⁶³

Accenture Research ve Frontier Economics iş birliği ile yapılan modellemeye göre yeni bir üretim faktörü olarak yapay zeka, “akıllı otomasyon” (Intelligent Automation), “emek ve sermaye artırımı” (Labor and Capital Augmentation) ve “inovasyon yayılımı” (Innovation Diffusion) olmak üzere 3 kanal vasıtasıyla ekonomik büyümeyi sağlamaktadır. Yapay zeka teknolojileri, sunduğu akıllı otomasyon çözümleriyle yeni bir sanal işgücü oluşturarak, mevcut işgücünün ve fiziksel sermayenin becerilerini ve kapasitesini tamamlayarak ve geliştirerek ve inovasyonu teşvik etme kabiliyeti ile yeni iş fikirleri için taşıdığı büyük potansiyelle ekonomik büyümeyi sağlamaktadır.⁶⁴ Analizlerin sonucuna göre araştırmaya konu olan 12 ülkenin 2035 yılında beklenen brüt katma değer miktarındaki 14 trilyon ABD doları büyüklüğündeki artış, akıllı otomasyon, emek ve sermaye artırımı ve toplam faktör verimliliği olmak üzere 3 kanal vasıtasıyla açıklanmaktadır. Bu artışın 6,9 trilyon ABD dolarının akıllı otomasyon, 5,75 trilyon ABD dolarının emek ve sermaye

⁶³ A.e., pp.15-18.

⁶⁴ A.e., pp.12-15.

artırımı ve geri kalanının ise toplam faktör verimliliği artışından kaynaklandığı ifade edilmektedir.⁶⁵

Accenture Research çalışmasında geliştirilen model, ülkeler arasında farklılıklar olmakla birlikte yapay zekanın daha hızlı bir ekonomik büyümenin yolunu açtığını ve işgücü verimliliğinde büyük ve hızlı sıçramalar sağladığını göstermektedir. Yeni bir üretim faktörü olarak yapay zeka, geleneksel üretim faktörlerini tamamlayarak ve geliştirerek ekonomiler üzerinde önemli büyüme fırsatlarına yol açmaktadır. Yapay zekanın dönüştürücü etkisi, insanların yaşama ve çalışma şekillerini temelden değiştirerek; yaratıcılığı, girişimciliği, rekabet gücünü ve inovasyonu teşvik eden fırsatlar yaratarak; yeni çalışma alanları, yeni üretim teknikleri, yeni ürünler ve yeni pazarlar oluşmasına olanak sağlayarak ülkelerin ekonomisinde büyümeyi tetikleyen yapısal dönüşümü şekillendirmektedir.

PricewaterhouseCoopers (PwC) tarafından 2017 yılında hazırlanan “Ödülün Büyüklüğünü Belirleme” adlı çalışmada dönüştürücü etkisiyle, insanların yaşama ve çalışma şekillerini temelden değiştiren yapay zeka teknolojilerinin işletmeleri, tüketicileri ve genel olarak ekonomiyi ne kadar etkileyeceği konusunda çeşitli analizler yapılmıştır. Yapılan analizlerle yapay zekanın 2030 yılına kadar ortaya çıkaracağı potansiyel ekonomik etkileri küresel, bölgesel ve sektörel bazda ölçülmektedir. PwC’nin raporunda, yapay zekanın 2017 yılına göre 2030 yılında küresel bazda GSYİH’yi %14 artırma potansiyeline sahip olduğu belirtilmiştir. Yapay zekayı küresel ekonomide en büyük ticari fırsat haline getiren bu ekonomik büyüme oranı 15,7 trilyon ABD doları büyüklüğünde bir artışa eş değerdir. Raporda bu artışın Çin ve Hindistan’ın 2017 yılı GSYİH değerlerinin toplamından daha büyük olduğu vurgulanmaktadır. PwC’nin analizine göre 15,7 trilyon ABD doları büyüklüğündeki bu artışın 9,1 trilyon dolarlık kısmı yapay zeka teknolojileri ile geliştirilen kişiselleştirilmiş ve daha yüksek kaliteli ürün ve hizmetlerin yol açtığı “artan tüketici

⁶⁵ Accenture, “Country Spotlights: Why Artificial Intelligence Is the Future of Growth?”, 2016, (Çevrimiçi), https://www.accenture.com/t20170202T122451Z_w_us-en/acnmedia/PDF-33/Accenture-Why-AI-is-the-Future-of-Growth--Country-Spotlights.pdf?la=en, 12.06.2020.

talebinden” ve 6,6 trilyon dolarlık kısmı ise “artan işgücü verimliliğinden” kaynaklanmaktadır.⁶⁶

PwC’nin 2018 yılında hazırladığı “Yapay Zekanın Makroekonomik Etkisi” adlı çalışmada 2017 yılında yapılan küresel yapay zeka analizlerinin metodolojisi ve sonuçları daha ayrıntılı bir şekilde ele alınmaktadır. Çalışmada 2030 yılında 15,7 trilyon ABD dolarına karşılık gelen %14’lük bir GSYİH artış potansiyeline sahip olan yapay zekanın küresel ekonomik etkisi artan işgücü verimliliği ve tüketici talebi olmak üzere iki kanal aracılığıyla açıklanmış ve 2017-2030 dönemi boyunca GSYİH artışının bu kanallar arasındaki dağılımının seyri incelenmiştir. Raporda yapay zekanın iş süreçlerinin otomatize edilmesine ve mevcut işgücünün güçlendirilmesine olanak sağlayarak işgücü verimliliğini artırdığı açıklanmaktadır. Bununla birlikte yapay zeka teknolojilerinin ürünlerin ve hizmetlerin kişiselleştirilmelerini, kalitesinin ve faydasının artırılmasını ve müşterilerin zamandan tasarruf etmelerini sağlayarak tüketici talebini artırdığı ifade edilmektedir.⁶⁷

PwC’nin çalışmasında yapay zekanın 2030 yılında 15,7 trilyon ABD doları büyüklüğündeki GSYİH artış potansiyeline sahip olan küresel ekonomik etkisi 7 bölge üzerinden de analiz edilmiştir. Analizin sonuçlarına göre %26,1’lik GSYİH artışına karşılık gelen 7 trilyon ABD doları ile Çin, %14,5’lik GSYİH artışına karşılık gelen 3,7 trilyon ABD doları ile Kuzey Amerika’nın yapay zeka kaynaklı ekonomik büyümeden en büyük payı alması beklenen bölgesel ekonomiler olduğu belirtilmiştir. Bu oran yapay zekanın küresel ekonomi için potansiyel etkisinin %70’ine eş değerdir. Raporda yapay zekanın ekonomik etkisinin Çin ve Kuzey Amerika’da neden yüksek olduğu ayrıntılı bir şekilde incelenmektedir.⁶⁸

⁶⁶ Anand S. Rao, Gerard Verweij, **Sizing the prize: What’s the real value of AI for your business and how can you capitalise?**, PwC, 2017, pp.3-5, (Çevrimiçi), <https://www.pwc.com/gx/en/issues/analytics/assets/pwc-ai-analysis-sizing-the-prize-report.pdf>, 15.06.2020.

⁶⁷ Jonathan Gillham, Lucy Rimmington, Hugh Dance, Gerard Verweij, Anand Rao, Kate Barnard Roberts, Mark Paich, **The Macroeconomic Impact of Artificial Intelligence**, PwC, February 2018, pp.9-13, (Çevrimiçi), <https://www.pwc.co.uk/economic-services/assets/macro-economic-impact-of-ai-technical-report-feb-18.pdf>, 15.06.2020.

⁶⁸ A.e., pp.46-50.

PwC'nin çalışmasında yapay zekanın küresel ekonomik etkisi sektörel bazda da analiz edilmiştir. Analizin sonuçlarına göre yapay zekanın etkisi ile 2030 yılında her sektörün GSYİH artışının en az %10'u kadar bir kazanç sağlaması beklenmektedir. Raporda sağlık, eğitim, kamu ve kişisel hizmetler sektörlerinin, GSYİH artışının %21'i kadar kazanç sağlama potansiyeli ile yapay zeka kaynaklı GSYİH artışından en yüksek paya sahip olduğu ifade edilmektedir.⁶⁹

Accenture Research tarafından hazırlanan "Yapay Zeka Sektör Karlarını ve İnovasyonu Nasıl Artırır?" adlı çalışmada dünyanın ekonomik çıktısının %50'sinden fazlasını üreten 12 gelişmiş ülkede 16 sektör için yapay zekanın potansiyel ekonomik etkisi modellenmiş ve sektörel bazda karlılık oranlarını artırma potansiyeli analiz edilmiştir. Analizin sonucuna göre yapay zekanın 2035 yılına kadar 16 sektörde karlılık oranlarını ortalama %38 artırma potansiyeline sahip olduğu belirtilmektedir.⁷⁰ Yapay zekanın karlılık oranlarını artırma potansiyeli sektörler için değişmektedir. Sağlık hizmetleri, toptan ve perakende gibi yoğun işgücü gerektiren sektörlerde yapay zekanın kullanılması insanların performanslarını artırarak, onlara zaman kazandırarak daha verimli olmalarını ve yüksek değerli stratejik çalışmalara odaklanmalarını sağlayarak kar artışına yol açmaktadır. Yapay zeka teknolojileri imalat sektörü gibi sermaye yoğun endüstrilerde de üretim hızını artırarak ve maliyetleri düşürerek karlılık üzerinde belirgin bir etkiye sahiptir.⁷¹

Accenture Research ve Frontier Economics iş birliği ile yapılan modellemede imalat sektöründen, kamu hizmetlerine ve sağlık hizmetlerine kadar 16 sektör için yapay zekanın potansiyel ekonomik etkisinin değerlendirilmesi her bir sektör için hazırlanan 2 senaryonun karşılaştırılmasıyla yapılmıştır. Birinci senaryo, geleceğe ilişkin mevcut varsayımlar altında sektörler için beklenen ekonomik büyümeyi, ikinci senaryo ise yapay zeka sektörlerde süreçlere entegre edildiğinde öngörülen ekonomik büyümeyi ifade etmektedir. Çalışmada yapay zekanın etkisi ile 2035 yılına kadar bilgi ve iletişim,

⁶⁹ A.e., pp.51-53.

⁷⁰ Mark Purdy, Paul Daugherty, **How AI Boosts Industry Profits and Innovation?**, Accenture, 2017, p.12, (Çevrimiçi), <https://www.accenture.com/fr-fr/acnmedia/36DC7F76EAB444CAB6A7F44017CC3997.pdf>, 18.06.2020.

⁷¹ A.e., pp.16-17.

imalat ve finansal hizmetler sektörlerinin en yüksek yıllık brüt katma değer büyüme oranına sahip sektörler olduğu belirtilmektedir. Analizin sonucuna göre yapay zekanın etkisi ile 2035 yılında imalat sektörünün 3,8 trilyon ABD Doları ile en yüksek brüt katma değer artışı sağlama potansiyeline sahip sektör olduğu ifade edilmektedir. Çalışmaya göre yapay zekanın 2035 yılında 16 sektördeki brüt katma değer artışı sağlama potansiyeli toplam 14 trilyon ABD dolarına eş değerdir.⁷²

McKinsey Global Institute tarafından 2018 yılında yapılan çalışmada yapay zekanın dünya ekonomisi üzerindeki potansiyel etkisi modellenmiştir. Yapay zekanın GSYİH ve işgücü piyasaları üzerindeki brüt ve net etkisine ilişkin yapılan simülasyonların sonuçlarına göre yapay zeka 2030 yılına kadar küresel GSYİH miktarını 13 trilyon ABD dolarına karşılık gelen yaklaşık %16 artırma potansiyeline sahiptir. Çalışmada yapay zekanın ekonomik etkisi 7 kanal aracılığıyla ifade edilmektedir. Yapay zekanın doğrudan ekonomik etkisi “emek ve sermaye artırımı, mevcut emeğin ikame edilmesi, ürün ve hizmet inovasyonu” olmak üzere 3 kanal vasıtasıyla sağlanmaktadır. Analizlerin sonucuna göre yapay zeka teknolojileri mevcut emeğin ikame edilmesi yoluyla yaklaşık %11 oranında artışa karşılık gelen 9 trilyon ABD doları, rekabetin olumsuz etkisine rağmen ürün ve hizmet inovasyonu yoluyla net %7 oranında artışa karşılık gelen 6 trilyon ABD doları kadar GSYİH’yi artırma potansiyeline sahiptir. Çalışmada yapılan simülasyonlarda rekabet etkisi ve yapay zeka teknolojilerine geçiş ve uygulama maliyetleri gibi negatif ekonomik etkiler de ele alınmaktadır.⁷³

1.3. Yapay Zekanın Benimsenmesini ve ÖzümSENmesini Etkileyen Faktörler

Yapay zeka insanların yaşama ve çalışma şekillerini temelden değiştirme potansiyeline sahipken en etkin şekilde yarattığı fırsatların değerlendirilebilmesi ve olası risklerin yönetilebilmesi için yapay zekanın benimsenme ve özümSENme dinamiklerini etkileyen faktörlerin belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. Yapay zekanın uygulanma gücünü (implementing power) tanımlayan, alımını (uptake),

⁷² A.e., pp.8-11.

⁷³ Bughin, Seong, Manyika, Chui, Joshi, a.g.e., pp.12-22.

kullanılmasını ve gelişmesini sağlayan koşullar (conditions), öncüller (prerequisites), ve itici güçler (drivers) yapay zekanın benimsenme ve özümseme düzeyini etkileyen faktörlerdir.

McKinsey Global Institute tarafından 2018 yılında yapılan çalışmada 41 ülke için 8 boyutta çok sayıda gösterge kullanılarak ülkelerin yapay zeka benimseme (adoption) ve özümseme (absorption) hazırbulunuşluk düzeyleri ölçülmektedir. Çalışmada ülkelerin yapay zekayı benimseme ve özümseme düzeylerini etkileyen faktörler mikro ve makro faktörler olarak iki kategoride incelenmektedir. Mikro faktörler dijital teknoloji olgunluk düzeyi ve rekabet baskısı ile ifade edilmektedir. Yapay zeka ile doğrudan ilişkili olan göstergeler (AI-related indicators) ve yapay zekanın potansiyelini gösterebilmesi için gerekli olan temel ve ön koşul niteliği taşıyan etkinleştiriciler ve kolaylaştırıcılar (AI-enablers) ise makro faktörler olarak ifade edilmektedir. Yapay zeka yatırımları, yapay zeka ile ilgili araştırma çalışmaları ve ekonomilerin otomasyon potansiyeli yapay zeka ile doğrudan ilişkili olan göstergelerdir. Yapay zeka etkinleştiricileri ve kolaylaştırıcıları ise dijital özümseme, inovasyon temeli, beşeri sermaye, bağlanabilirlik ve işgücü piyasasının yapısı ve esnekliği ile ilgili göstergelerle ifade edilmektedir.⁷⁴

McKinsey Global Institute tarafından yapılan çalışmada ülkeler arasındaki değişen şartların yapay zekanın benimsenmesinin ve özümsemesinin düzeyini belirlediği ve dolayısıyla ülkelerin yapay zeka kaynaklı ekonomik büyümeden elde edeceği kazancı şekillendirdiği vurgulanmaktadır. Yapay zeka yeteneklerini, kapasitesini ve yapay zekanın alımını ve gelişmesini sağlayan etkinleştirici ve kolaylaştırıcı faktörleri güçlendirmek için aktif adımlar atan ülkelerin yapay zekayı benimseme konusunda önemli yol alabileceği ifade edilmektedir. Çalışmada ülkelerin yapay zeka kaynaklı ekonomik kazanımlarının seviyesinin yapay zekayı benimseme ve özümseme oranlarına bağlı olduğu belirtilmektedir. Analiz sonuçlarına göre ülkeler yapay zeka yetenek, kapasite ve potansiyelini artırıcı önlemler almadıkça ve uygun stratejiler izlemedikçe zamanla ülkeler arasındaki yapay zekayı özümseme seviyelerindeki farklılıkların belirgin bir şekilde artarak ülkeler arasında telafi edilemez uçurumlar

⁷⁴ A.e., pp.24-30.

oluşması beklenmektedir. Çalışmada yapay zekanın özümseme seviyesi arttıkça, potansiyel ekonomik etkisi de arttığı için zamanla ülkelerin yapay zeka kaynaklı ekonomik büyümeden elde edilecek kazançları arasında da telafi edilemez uçurumlar oluşacağı olasılığı vurgulanmaktadır. Yapay zekanın dünya ekonomisi üzerindeki potansiyel etkisinin sürdürülebilir bir şekilde yakalanması için bu olasılığın yönetilmesi gerekmektedir.⁷⁵

McKinsey Global Institute tarafından yapılan 13 sektörde yapay zeka teknolojilerinin benimsenmesinin ve kullanımının derecesinin ölçüldüğü çalışmada yapay zekanın başarılı bir şekilde benimsenmesi için şirketlerin, devlet yönetimlerinin ve yapay zeka geliştiricilerinin neler yapması gerektiği detaylı bir şekilde araştırılmıştır. Çalışmada yapay zeka teknolojilerinin kullanımı ve yaygınlaştırılması amacıyla üniversiteler, özel sektör ve kamu arasında iş birliğine dayalı bir kültürün oluşturulması, ulusal düzeyde yapay zeka teknolojilerinin kullanım alanlarının belirlenmesi, işgücü ve yetenekli insan kaynağının geliştirilmesi ve sağlam bir veri ekosisteminin oluşturulması konularında kaydedilen adımların yapay zekanın kullanılmasını ve gelişmesini sağladığı ifade edilmektedir. Dijital teknolojilerin desteklenmesi, devlet yönetiminde yapay zeka teknolojilerinden faydalanılması, yapay zekanın gelişimi ile birlikte ortaya çıkacak etik ve hukuki sorunların tanımlanarak düzenleyici çerçevelerin geliştirilmesi, yapay zeka geliştirme merkezlerinin kurulması, yapay zeka araştırma ve geliştirme çalışmalarının desteklenmesi, yapay zeka yatırımlarının teşvik edilmesi ve yapay zeka alanında uzmanlaşmış bir yetenek havuzunun oluşturulması kapsamlarında strateji geliştirilmesinin ve uygulanmasının yapay zekanın benimsenme ve özümseme düzeyini artırdığı belirtilmektedir. Çalışmada yapay zekanın kullanım ve gelişimini teşvik etmek amacıyla çok sayıda ülkenin ulusal yapay zeka stratejilerini yayımladıkları açıklanmaktadır. Yapılan anket sonuçlarına göre yapay zeka yatırımı ve inovasyonunda başı çeken ABD ve Çin'in aynı zamanda yapay zekanın benimsenmesinde de öncülük ettikleri ifade edilmektedir.⁷⁶

⁷⁵ A.e., pp.30-35.

⁷⁶ Bughin, Hazan, Ramaswamy, Chui, Allas, Dahlström, Henke, Trench, a.g.e., pp.31-41.

ABD Ulusal Bilim ve Teknoloji Kurulu'nun 2016 yılında hazırladığı raporda yapay zekanın ekonomik ve toplumsal faydalarının en üst düzeye çıkarılması ve geliştirilmesi amacıyla resmi kurumlar ve ilgili tüm aktörler tarafından yapılması gerekenler ile ilgili araştırma çalışmaları, işgücü, hukuki düzenlemeler ve güvenlik gibi konularda tavsiyelerde bulunmaktadır. Raporda yapay zeka ile ilgili araştırma ve geliştirme çalışmalarına yatırım yapılması, pilot projelerin desteklenmesi, yapay zeka teknolojilerinin kullanım alanlarının belirlenerek özel ve kamu kuruluşlarının yapay zeka teknolojilerinden yararlanmalarının teşvik edilmesi, yapay zeka çalışmalarında kullanılmaya uygun standartlarda veri setlerinin yayınlanması ve inovasyonun teşvik edilmesi amacıyla politikalar ve uygulamalar geliştirilmesi gibi konularda kaydedilen adımların yapay zekanın benimsenmesini ve özümsemesini sağladığı ifade edilmektedir. Raporda yapay zeka teknolojilerinin desteklenmesi ve geliştirilmesi için ilgili becerilere sahip olan araştırmacıları, uzmanları ve kullanıcıları kapsayan yapay zeka işgücünün yetiştirilmesinin kritik bir öneme sahip olduğu vurgulanmaktadır. Hükümetin yapay zeka işgücünün yetiştirilmesi amacıyla ilgili tüm birimleri koordine ederek fen, teknoloji, mühendislik ve matematik (Science, Technology, Engineering and Mathematics-STEM) eğitim programlarının desteklenmesi, yapay zeka müfredatının tasarlanması için gerekli finansmanın sağlanması ve yapay zeka eğitim programlarının akredite edilmesi konularında çok önemli bir rolü olduğu belirtilmektedir. Çalışmada yapay zekanın ekonomik ve toplumsal faydalarının en üst düzeye çıkarılması için inovasyon kültürünün teşvik edilmesi ve inovasyonun gelişmesine izin veren hukuki ve düzenleyici ortamın yaratılması gerektiği açıklanmaktadır. Bununla birlikte raporda yapay zekanın benimsenmesi, yapay zeka uygulamalarına güven duyulması ve yapay zeka sistemlerinin kontrol altında ve güvenli bir şekilde çalışabilmesi için etik ve hukuki çerçeveler düzenlenmesinin ve siber güvenlik konusunda etkin politikalar ve uygulamalar geliştirilmesinin önemi vurgulanmaktadır.⁷⁷

McKinsey Global Institute tarafından hazırlanan bir diğer çalışmada Çin'in ulusal yapay zeka strateji planı incelenmektedir. Stratejik planda yapay zeka gelişiminin

⁷⁷ National Science and Technology Council (US), Committee on Technology, Subcommittee on Machine Learning and Artificial Intelligence, **a.g.e.**, pp.40-42.

desteklenmesi için öncelikle sağlam bir veri ekosisteminin oluşturulmasının önemi vurgulanmaktadır. Bu amaçla veri standartlarının belirlenmesi, kamu sektörü verilerinin açılması ve uluslararası veri akışı alışverişinin teşvik edilmesi gerektiği belirtilmektedir. Çalışmada Çin hükümetinin vergi kredisi ve sübvansiyon araçlarını kullanarak teknik bilgi eksikliği ve maliyetler gibi yapay zekanın benimsenmesinin önündeki engellerin ve zorlukların aşılması konusunda şirketleri desteklemesi gerektiği ifade edilmektedir. Devlet yönetiminde de yapay zeka teknolojilerinin kullanılarak yapay zekanın benimsenmesinde öncülük edilmesinin önemi vurgulanmaktadır. Çin'in ulusal yapay zeka strateji planının eğitim çerçevesinde, yapay zeka alanında uzmanlaşmış bir yetenek havuzunun oluşturulmasının yapay zekanın kullanılması ve geliştirilmesi için kritik bir öneme sahip olduğu vurgulanmaktadır. Bu amaçla hükümetin yapay zeka ile ilgili eğitim ve araştırma programlarına yatırım yapması ve eğitim sisteminin inovasyona ve dijital becerilere daha fazla odaklanılmasını sağlayacak şekilde yeniden tasarlanması gerektiği ifade edilmektedir. Çalışmada otomasyonlaşma olasılığı en yüksek olan işlerin belirlenerek gerekli işgücünün yetiştirilmesi doğrultusunda eğitim programlarının düzenlenmesinin önemi vurgulanmaktadır. Bununla birlikte yapay zekanın geliştirilmesi ve benimsenmesi için üniversiteler, özel sektör ve kamu arasında iş birliğine dayalı bir kültürün oluşturulmasının teşvik edilmesi gerektiği belirtilmektedir. Stratejik planda etik ve hukuki çerçevelerin düzenlenmesinin yapay zekanın benimsenmesine ve geliştirilmesine büyük katkı sağladığı ifade edilmektedir.⁷⁸

PwC tarafından hazırlanan yapay zekanın potansiyel ekonomik etkilerinin analiz edildiği araştırmanın metodolojisinde düzenleyici çevre (regulatory environment), beşeri sermaye kalitesi (human capital quality), tüketici güveni (consumer trust), yatırım fonu mevcudiyeti (investment fund availability) ve vergi teşvikleri (tax

⁷⁸ Dominic Barton, Jonathan Woetzel, Jeongmin Seong, Qinzhen Tian, "Artificial Intelligence: Implications for China", **Discussion Paper**, McKinsey Global Institute, April 2017, pp.12-16, (Çevrimiçi), <https://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/featured%20insights/China/Artificial%20intelligence%20Implications%20for%20China/MGI-Artificial-intelligence-implications-for-China.ashx>, 15.06.2020.

incentives) yapay zekanın benimsenmesini etkileyen faktörler olarak ele alınmaktadır.⁷⁹

Stanford Üniversitesi tarafından yürütülen “Yüz Yıllık Yapay Zeka Çalışması”⁸⁰ adlı araştırmanın bir projesi olarak yapay zeka endeksi yıllık raporu hazırlanmaktadır. Yapay zeka ile ilgili yapılan faaliyetlerin ve ilerlemelerin ele alındığı raporlarda yapay zeka ile ilgili konferanslar, patentler, akademik yayınlar, yatırımlar, girişimler, yapay zeka ile ilgili derslere ve eğitimlere katılım oranı, yapay zeka beceri penetrasyonu, yapay zeka ile ilgili meslek sayısı/iş ünvanları (AI job titles) gibi çok geniş bir alanda yapay zekanın mevcut durumunu, yapay zeka ile ilgili yapılan faaliyetleri ve yapay zekanın gelişimini gösteren veriler paylaşılmaktadır. “Yapay Zeka Endeksi 2019”⁸¹ yıllık raporunda ülkelerin yapay zeka ile ilgili küresel faaliyetlerinin karşılaştırılmasını sağlamak amacıyla “Küresel Yapay Zeka Canlılık Aracı”⁸² (Global AI Vibrancy Tool) kompozit endeksi geliştirilmiştir. Geliştirilen endeks ile yıllık raporda paylaşılan göstergeler bağlamında ülkelerin yapay zekayı ne düzeyde benimsediğini değerlendirmek mümkün olmaktadır.

Yapay zekanın mevcut durumunu değerlendirmek ve yapay zeka ile ilgili faaliyetleri ve ilerlemeleri izlemek amacıyla geliştirilen bir diğer endeks çalışmasında hükümetlerin işlemlerinde ve kamu hizmetlerinin sunumunda yapay zekayı kullanma kapasitesi ölçülmektedir. Çalışmada ülke yönetimleri veri koruma/gizlilik (data protection/privacy) yasalarının ve ulusal yapay zeka stratejilerinin mevcudiyeti ve yapay zeka çalışmalarında kullanılmaya uygun standartlarda devlet verilerinin yayınlanma dereceleri açısından değerlendirilmektedir. Hükümetin yapay zeka araçlarını oluşturmak ve işletmek için teknik kapasitesi, yeni teknolojilerin teşvik edilmesi, hükümetin yapay zeka yeteneği, geniş bant bağlantısı, aktif nüfusun dijital

⁷⁹ Gillham, Rimmington, Dance, Verweij, Rao, Barnard Roberts, Paich, **a.g.e.**, p.11.

⁸⁰ Stanford University, “One Hundred Year Study on Artificial Intelligence (AI100)”, (Çevrimiçi), <https://ai100.stanford.edu>, 15.05.2020.

⁸¹ Raymond Perrault, Yoav Shoham, Erik Brynjolfsson, Jack Clark, John Etchemendy, Barbara Grosz, Terah Lyons, James Manyika, Saurabh Mishra, Juan Carlos Niebles, **The AI Index 2019 Annual Report**, AI Index Steering Committee, Human-Centered AI Institute, Stanford University, Stanford, CA, December 2019, (Çevrimiçi), <https://hai.stanford.edu/research/ai-index-2019>, 15.05.2020.

⁸² Stanford University, Human-Centered AI Institute, “Global AI Vibrancy Tool”, (Çevrimiçi), <http://vibrancy.aiindex.org/>, 10.06.2020.

becerileri, özel sektörün inovasyon kabiliyeti ve yapay zeka girişimleri ile ilgili göstergeler kullanılarak hükümetin yapay zekayı ne düzeyde benimsediğinin ve özümsemiğinin düzeyi belirlenmektedir.⁸³

Değişen küresel yapay zeka manzarasının (AI Landscape) değerlendirilmesi amacıyla geliştirilen bir diğer endeks çalışmasında 13 ülkenin ulusal yapay zeka stratejileri analiz edilerek ülkelerin yapay zeka durumu (AI state) ve konumu (AI position) karşılaştırılmaktadır. Çalışmada ülkeler yapay zekanın genel gereksinimleri ve ön koşulları, araştırma ve geliştirme çalışmaları ve yapay zekanın ticarileştirilme derecesi açısından değerlendirilmektedir. Endekste yapay zekanın genel gereksinimleri ve ön koşulları kategorisi geniş bant bağlantısı, dijital teknolojilerden yararlanma düzeyi, veri, bilgi işlem gücü, beşeri sermaye ve hukuki düzenlemeler ile ilgili göstergelerle ifade edilmektedir. Çalışmada Ar-Ge harcamaları ve araştırmacıları, yapay zeka ile ilgili araştırma enstitüleri ve atıf yapılabilir yayınlar ile ilgili göstergeler araştırma ve geliştirme kategorisini değerlendirmek için kullanılmaktadır. Ülkelerin yapay zekayı ticarileştirme düzeyleri ise yapay zeka ile ilgili patentler, üniversite ve endüstri iş birliği, yapay zeka girişimleri ve robotik ve otomasyon ile ilgili göstergelerle ölçülmektedir.⁸⁴

Birleşmiş Milletler Asya ve Pasifik Ekonomik ve Sosyal Komisyonu tarafından 2017 yılında hazırlanan çalışmada yapay zekanın alımını ve geliştirilmesini sağlayan koşullar, öncüller ve itici güçler değerlendirilmektedir. Çalışmada yapay zeka ile ilgili akademik yayınlar ve patentler ile ifade edilen araştırma ve geliştirme çalışmalarının yapay zekanın benimsenme ve özümsemiye düzeyinin bir göstergesi olduğu ifade edilmektedir. Bununla birlikte geniş bant bağlantısının yapay zeka teknolojilerinin alımı, uygulanması ve geliştirilmesi için temel ve ön koşul niteliğinde olduğu belirtilmektedir.⁸⁵

⁸³ Hannah Miller, Richard Stirling, Yaera Chung, Sriganesh Lokanathan, Emma Martinho-Truswell, Joshua New, Isaac Rutenberg, Fabrizio Scrollini, **Government Artificial Intelligence Readiness Index 2019**, Oxford Insights, 2019, (Çevrimiçi), <https://www.oxfordinsights.com/ai-readiness2019>, 15.06.2020.

⁸⁴ Cambrian Futures, “Nation AI Readiness Index (NAIR)”, (Çevrimiçi), <https://www.cambrian.ai/nair-index>, 15.06.2020.

⁸⁵ United Nations Economic and Social Commission for Asia and the Pacific, **a.g.e.**, pp.13-25.

Yapay zekanın benimsenmesini ve özümsemesini etkileyen faktörlerin incelendiği çalışmalarda yaygın olarak yapay zeka ile ilgili yatırımlar, yapay zeka ile ilgili araştırma çalışmaları, veri ekosistemi, etik ve hukuki düzenlemeler, beşeri sermaye, inovasyon ekosistemi, geniş bant bağlantısı ve dijital teknolojilerden yararlanma düzeyi ile ilgili göstergeler kullanılmaktadır. Bazı çalışmalarda da rekabet baskısının, ülkelerin otomasyon potansiyelinin ve işgücü piyasasının yapısı ve esnekliğinin yapay zekanın benimsenmesine ve özümsemesine etkileri incelenmiştir. Çalışmalar her bir faktörün farklı şekillerde, kapsamda ve yoğunlukta yapay zekanın alımı, kullanılması ve geliştirilmesi ve dolayısıyla yapay zeka yetenek, kapasite ve potansiyelinin artırılması konusunda katkı sağladığını göstermektedir.

Yapay zeka araştırma ve geliştirme çalışmalarına ve yapay zeka işgücünün geliştirilmesine yönelik yatırım yapılması ülkelerin yapay zeka yetenek, kapasite ve potansiyelinin artırılması ve dolayısıyla yapay zekanın geliştirilmesi için büyük önem taşımaktadır.⁸⁶ Yapay zeka teknolojilerine küresel anlamda yatırım hızla artsa da yatırımın büyük çoğunluğu ABD ve Çin’de yoğunlaşmaktadır. McKinsey Global Institute tarafından hazırlanan çalışmada çeşitli finansman kaynaklarının yapay zeka yatırımları yapay zekanın benimsenme ve özümseme düzeyini etkileyen bir faktör olarak analizlerde kullanılmaktadır.⁸⁷

Yapay zeka ile ilgili araştırma çalışmaları yapay zekanın benimsenmesini ve özümsemesini sağlayan ve ülkelerin yapay zeka yetenek, kapasite ve potansiyelini açıklayan önemli faktörlerdir. Yapay zeka ile ilgili araştırma çalışmaları genellikle yapay zeka ile ilgili konferanslar, patentler, akademik yayınlar ve atıf sayıları göstergeleri ile ifade edilmektedir. Çalışmalar yapay zeka ile ilgili araştırma çalışmalarının sayısı ve kalitesi daha fazla olan ülkelerin teknoloji özümseme düzeyinin daha yüksek olduğunu göstermektedir. Teknoloji özümseme düzeyi daha yüksek olan ülkelerde araştırma çalışmalarının somut ekonomik faydalara dönüşme olasılığının da daha yüksek olduğu belirtilmektedir. Bununla birlikte daha kaliteli geniş bant bağlantısına sahip olma eğiliminde oldukları için yapay zeka ile ilgili

⁸⁶ Executive Office of the President of the United States, **a.g.e.**, pp.27-30.

⁸⁷ Bughin, Seong, Manyika, Chui, Joshi, **a.g.e.**, p.28.

araştırma çalışmalarının sayısı ve kalitesi daha yüksek olan ülkelerin yapay zeka uygulamalarının avantajlarından yararlanmaya daha yüksek düzeyde hazır oldukları ifade edilmektedir. Yapay zeka ile ilgili patent sayısının fazla olması inovatif ve ticarileştirmeye uygun yapay zeka tabanlı ürünlerin geliştirilmesi olasılığını artırmaktadır.⁸⁸ McKinsey Global Institute tarafından hazırlanan ülkelerin yapay zeka benimseme ve özümseme hazırbulunuşluk düzeylerinin ölçüldüğü çalışmada yapay zeka ile ilgili araştırma çalışmaları yapay zeka ile ilgili patentler, akademik yayınlar ve atıf sayıları göstergeleri ile ifade edilmektedir.⁸⁹

İnovasyon kültürünün teşvik edilmesi ve inovasyonu destekleyen politikalar ve uygulamalar geliştirilmesi yapay zekanın benimsenmesi ve özümsemesi için büyük önem taşımaktadır. Ülkelerin teknolojik inovasyonu yayma kabiliyeti yapay zeka kaynaklı ekonomik büyümelerini hızlandırmaktadır.⁹⁰ Bir ülkenin inovasyon kapasitesi ve yeni iş modelleri yaratma ve yeni teknolojileri özümsemek için organizasyonel modellerini geliştirme kabiliyeti, ülkenin yeni ürün ve hizmet geliştirme ve ticarileştirebilme konusundaki kapasitesini belirlemektedir. McKinsey Global Institute tarafından hazırlanan ülkelerin yapay zeka benimseme ve özümseme düzeylerinin ölçüldüğü çalışmada araştırma ve geliştirme yatırımlarına ilişkin veriler ile inovasyon kapasitesi, bilgi ve iletişim teknolojilerinin yeni iş modeli oluşturma ve organizasyonel model geliştirme verileriyle endüstri dinamizmi değerlendirilmektedir.⁹¹

Çalışmalarda araştırmacıları, uzmanları ve kullanıcıları kapsayan yapay zeka işgücünün yetiştirilmesinin yapay zeka teknolojilerinin uygulanması ve geliştirilmesi için kritik bir öneme sahip olduğu belirtilmektedir. Yapay zeka işgücünün yetiştirilmesi amacıyla dijital becerilere ve fen, teknoloji, mühendislik ve matematik eğitimine (STEM) daha fazla odaklanılmasını sağlayacak şekilde eğitim sisteminin tasarlanması gerektiği vurgulanmaktadır.⁹²

⁸⁸ United Nations Economic and Social Commission for Asia and the Pacific, **a.g.e.**, pp.17-25.

⁸⁹ Bughin, Seong, Manyika, Chui, Joshi, **a.g.e.**, p.28.

⁹⁰ Mark Purdy, Paul Daugherty, **Why Artificial Intelligence Is the Future of Growth?**, pp.17-18.

⁹¹ Bughin, Seong, Manyika, Chui, Joshi, **a.g.e.**, p.29.

⁹² Barton, Woetzel, Seong, Tian, **a.g.e.**, pp.14-15.

Yapay zekanın benimsenmesi, başarıyla uygulanabilmesi, yapay zeka tabanlı yeni ürün, hizmet ve uygulamaların geliştirilmesi için gerekli olan beşeri sermayenin kalitesi bazı çalışmalarda aktif nüfusun dijital beceri düzeyi, yüksek öğrenim kayıt oranı, yapay zeka alanında yüksek lisans mezunu sayısı göstergeleri ile değerlendirilmektedir. McKinsey Global Institute tarafından hazırlanan ülkelerin yapay zeka benimseme ve özümseme düzeylerinin ölçüldüğü çalışmada beşeri sermaye Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü (Organisation for Economic Co-operation and Development-OECD) tarafından geliştirilen Uluslararası Öğrenci Değerlendirme Programı (Programme for International Student Assessment-PISA) puanları, Dünya Ekonomik Forumu tarafından geliştirilen Küresel Beşeri Sermaye Endeksi'nden alınan beşeri sermayenin genel kalitesi, bilim insanlarının ve mühendislerin mevcudiyeti ve fen, teknoloji, mühendislik ve matematik (STEM) mezunları ile ilgili göstergelerle ifade edilmektedir.⁹³

“Nesnelerin İnterneti” (Internet of Things), “Bulut Bilişim” (Cloud Computing) ve “Büyük Veri” (Big Data) gibi yapay zekanın dijital bileşenleri geniş bant bağlantısına bağımlı olarak işlev görmektedirler.⁹⁴ Geniş bant bağlantısı, yapay zeka teknolojilerinin alımı, uygulanması ve geliştirilmesi için temel ve ön koşul niteliğindedir.⁹⁵ Güvenilir ve yüksek kapasiteli geniş bant bağlantısı olmadan yapay zeka teknolojilerinin geliştirilmesinin mümkün olmadığı belirtilmektedir.⁹⁶ Çalışmalarda geniş bant bağlantısı sabit geniş bant abone sayısı, mobil geniş bant abone sayısı, internet kullanıcısı yüzdesi, uluslararası bant genişliği ve geniş bant bağlantı hızı göstergeleriyle değerlendirilmektedir.

Çalışmalar yapay zeka ve ilgili teknolojilere sağladığı temel ve teknik omurgayla dijital teknolojilerin benimsenmesinin yapay zeka teknolojilerinin benimsenmesinde çok önemli bir faktör olduğunu göstermektedir. Yapay zekayı benimseyen şirketlerin büyük çoğunluğunun mevcut dijital yetenekleri uygulamak ve yönetmek için kullandıkları bilgiye ve deneyime dayanarak yapay zeka teknolojileri konusunda yol

⁹³ Bughin, Seong, Manyika, Chui, Joshi, **a.g.e.**, p.29.

⁹⁴ United Nations Economic and Social Commission for Asia and the Pacific, **a.g.e.**, pp.27-34.

⁹⁵ **A.e.**, p.23.

⁹⁶ **A.e.**, pp.65-66.

aldıkları ifade edilmektedir.⁹⁷ Analizler yapay zekanın benimsenmesinin dijital teknolojileri benimseme ve kullanma seviyesi yüksek olan sektörlerde daha hızlı gerçekleştiğini göstermektedir.⁹⁸ Çalışmalarda dijital teknolojilerin sunduğu fırsatlardan en üst düzeyde yararlanılarak organizasyonlar içindeki değişim harekete geçirildiğinde yapay zeka araç ve uygulamalarından değer üretilebildiği vurgulanmaktadır.⁹⁹ McKinsey Global Institute tarafından hazırlanan ülkelerin yapay zeka benimseme ve özümseme düzeyinin ölçüldüğü çalışmada dijital özümseme, Dünya Ekonomik Forumu tarafından yürütülen anket çalışmasında “Ülkenizde işletmeler en son teknolojileri ne ölçüde benimsemektedir?” sorusuna verilen cevapların değerlendirilmesiyle ölçülmektedir.¹⁰⁰ Çalışmalarda ayrıca ülkelerin dijital altyapıları, dijital hizmetlerinin kapsamı ve kalitesi, dijitalleşme düzeyleri ile ilgili göstergeler yapay zekanın alımını, kullanılmasını, uygulanmasını ve geliştirilmesini sağlayan faktörler olarak ele alınmaktadır.

Yapay zekanın benimsenmesini ve özümsemesini etkileyen faktörler yapay zekanın alımını, kullanılmasını, uygulanmasını ve geliştirilmesini sağlayan koşullar, öncüller ve itici güçlerdir. Yapay zekanın ekonomik ve toplumsal faydalarının artırılmasına yönelik strateji geliştirilebilmesi için yapay zekanın benimsenmesini ve özümsemesini etkileyen faktörler bağlamında ülkelerin mevcut durumlarının ve konumlarının değerlendirilerek yapay zekanın sunduğu fırsatlardan yararlanma yetenek, kapasite ve potansiyelinin ölçülmesi gerekmektedir.

Çalışmanın amacı ülkelerin yapay zeka teknolojilerini alımı, kullanımı, uygulaması ve geliştirmesi konusunda yetenek, kapasite ve potansiyelinin ölçülmesidir. Çalışmada bu amaçla yapay zekanın benimsenmesini ve özümsemesini etkileyen faktörler yani yapay zekanın alımını, kullanılmasını, uygulanmasını ve geliştirilmesini sağlayan koşullar, öncüller ve itici güçler bağlamında ülkelerin mevcut yapay zeka yetenek

⁹⁷ Jacques Bughin, Nicolas van Zeebroeck, “Artificial intelligence: Why a digital base is critical”, **The McKinsey Quarterly**, 2018(3), 2018, pp.13-14, (Çevrimiçi), <https://www.mckinsey.com/~media/McKinsey/Business%20Functions/McKinsey%20Analytics/Our%20Insights/Artificial%20intelligence%20Why%20a%20digital%20base%20is%20critical/Artificial-intelligence-Why-a-digital-base-is-critical.ashx>, 23.06.2020.

⁹⁸ Bughin, Hazan, Ramaswamy, Chui, Allas, Dahlström, Henke, Trench, **a.g.e.**, pp.13-15.

⁹⁹ Bughin, Seong, Manyika, Chui, Joshi, **a.g.e.**, pp.25-26.

¹⁰⁰ **A.e.**, p.29.

düzeyine, kapasitesine ve potansiyeline genel bir bakış sağlayan Yapay Zeka Endeksi geliştirilmektedir. Yapay Zeka Endeksi, ülkelerin yapay zeka teknolojilerini alımı, kullanımı, uygulaması ve geliştirmesi konusunda yetenek, kapasite ve potansiyelinin seviyesini belirten bir kompozit endekstir.

Yapay Zeka Endeksi'ni geliştirmek amacıyla ikinci bölümde öncelikle kompozit endeks geliştirme aşamaları ele alınmaktadır. Kompozit endeks geliştirme aşamalarında bir kompozit endeksin nasıl tasarlanacağı, geliştirileceği, kullanılacağı ve görselleştirileceği konusunda çeşitli yöntemler ve öneriler örnek çalışmalarla desteklenerek ifade edilmektedir. Çalışmada Yapay Zeka Endeksi alt göstergelerinin ağırlıklandırılmasında belirli bir ağırlıklandırma şeması kullanılması yerine ülkelerin politika önceliklerini ve kendilerine özgü yeteneklerini hesaba katan, ülkelerin gözlenen performanslarından yola çıkılarak her ülke için kompozit endeks değerini maksimize eden ülkeye özgü optimal ağırlıkların yapılandırıldığı Veri Zarflama Analizi tabanlı Şüphenin Lehte Kullanılması Yaklaşımı ağırlıklandırma yöntemi uygulanmaktadır.

İKİNCİ BÖLÜM

KOMPOZİT ENDEKS GELİŞTİRME AŞAMALARI VE ŞÜPHENİN LEHTE KULLANILMASI YAKLAŞIMI AĞIRLIKLANDIRMA YÖNTEMİ

2.1. Kompozit Endeks

Göstergeler (indicators), belirli bir alandaki göreceli konumları (örneğin bir ülkenin) ortaya çıkarabilen, düzenli aralıklarla değerlendirildiğinde farklı birimlerdeki ve zaman içindeki değişimin yönünü gösterebilen bir dizi gözlenen olgudan türetilmiş nicel veya nitel ölçülerdir. Ulusal ve uluslararası düzeylerde politika analizi bağlamında göstergeler eğilimleri belirlemek ve belirli konulara dikkat çekmek için kullanılmaktadır. Bununla birlikte göstergeler politika önceliklerinin belirlenmesinde ve performansın kıyaslanmasında veya izlenmesinde önemli rol oynamaktadır.¹⁰¹

Göstergeler, bir sistemin özelliklerini özetleyen veya bir sistemde neler olduğunu vurgulayan bilgi parçalarıdır. Kompozit endeks (composite index) veya kompozit/bileşik gösterge (composite indicator) bir dizi göstergenin matematiksel birleşimidir. Kompozit endeksler ortak anlamlı bir ölçü birimi olmayan ve ağırlıklandırılmalarının bariz bir yolu bulunmayan bir dizi alt göstergeye (sub-indicators) dayandırılarak oluşturulmaktadır.¹⁰²

Kompozit endeksler, iyi seçilmiş alt göstergelerin ölçülmek istenen politika alanının altında yatan bir modele dayandırılarak tek bir endekste birleştirilmesiyle hesaplanmaktadır. Kompozit endeksler, genellikle normalize edilmiş alt gösterge

¹⁰¹ Michela Nardo, Michaela Saisana, Andrea Saltelli, Stefano Tarantola, Anders Hoffmann, Enrico Giovannini, **Handbook on Constructing Composite Indicators: Methodology and User Guide**, OECD Publishing, 2008, p.13, (Çevrimiçi), <https://www.oecd.org/sdd/42495745.pdf>, 01.04.2020.

¹⁰² Michaela Saisana, Stefano Tarantola, **State-of-the-art Report on Current Methodologies and Practices for Composite Indicator Development**, EUR 20408 EN, European Commission-Joint Research Centre, Italy, 2002, p.5, (Çevrimiçi), <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/9253d939-b47b-4428-b792-619e6b6c8645>, 07.11.2020.

değerlerinin ağırlıklı bir kombinasyonunun oluşturulmasıyla elde edilmektedir.¹⁰³

Kompozit endeksler ile bireysel göstergelerin sentetik bir endekste derlenerek tek bir ölçü ile ifade edilmesi, ülkelerin çeşitli performans ve politika alanlarında kıyaslanması ve sıralanması konusunda büyük kolaylıklar sağlamaktadır. Kompozit endeksler ile belirli bir konudaki büyük miktarda bilgi genel bir kitle için daha kolay yorumlanabilir ve anlaşılabilir bir formatta ifade edilebilmektedir. Özet göstergeler olarak nitelendirilen kompozit endeksler, ülke performanslarının değerlendirilmesinde sunulacak istatistiklerin sayısını azaltmaları ve ülke performanslarının daha hızlı bir şekilde karşılaştırılmasına imkan vermeleri açısından değerli ölçümlerdir. Çeşitli alanlarda ülke performanslarının basit sunumlarına ve hızlı bir şekilde karşılaştırılmalarına olanak sağlayan kompozit endeksler daha ileri analizler için başlangıç noktaları olarak kullanılmaktadır.¹⁰⁴

Kompozit endeksler ülkelerin çevre, ekonomi, toplum ve teknolojik gelişme gibi alanlardaki performansına ilişkin bilgilerin aktarılmasında politika belirlemek ve kamu iletişimini sağlamak için kullanışlı bir araç olarak kabul edilmektedir. Çok sayıda bireysel göstergeyi kullanarak ortak bir eğilim (trend) bulmak yerine kompozit endeks kullanarak ülkelerin geniş kapsamlı alanlardaki performanslarının yorumlanması daha kolaydır. Kompozit endekslerin ülke performanslarının kıyaslanmasında ve sıralanmasında yararlı oldukları kanıtlanmıştır.¹⁰⁵

Kompozit endeksler ideal olarak tek bir göstergeyle açıklanması mümkün olmayan rekabet edebilirlik, sürdürülebilirlik ve sanayileşme gibi çok boyutlu kavramları ölçmelidir. Kompozit endeksler ile çevre, ekonomi, toplum veya teknolojik gelişme gibi geniş kapsamlı alanlarda karmaşık ve bazen anlaşılması zor konuları tanımlamak ve açıklamak amacıyla ülkelerin basit karşılaştırılmalarının yapılması sağlanmaktadır.

¹⁰³ Michaela Saisana, Andrea Saltelli, Stefano Tarantola, "Uncertainty and sensitivity analysis techniques as tools for the quality assessment of composite indicators", **Journal of the Royal Statistical Society A**, 168(2), 2005, p.307.

¹⁰⁴ Michael Freudenberg, "Composite Indicators of Country Performance: A Critical Assessment", **OECD Science, Technology and Industry Working Papers**, 2003/16, OECD Publishing, 2003, pp.5-6, (Çevrimiçi), <https://doi.org/10.1787/405566708255>, 10.04.2020.

¹⁰⁵ Michela Nardo, Michaela Saisana, Andrea Saltelli, Stefano Tarantola, **Tools for Composite Indicators Building**, EUR 21682 EN, European Communities, 2005, p.6.

Ülke performanslarını karşılaştıran kompozit endeksler politika analizinde ve kamu iletişimde giderek daha yararlı bir araç olarak kabul edilmektedir. Bu nedenle dünyada mevcut olan kompozit endeks sayısı her geçen yıl artmaktadır.¹⁰⁶ Bandura (2008) tarafından yapılan bir çalışmada çeşitli kamu ve özel kuruluşlar tarafından geliştirilen, ülke performanslarını rekabet edebilirlik, yönetim, inovasyon, küreselleşme, çevre, teknoloji, sürdürülebilirlik, insan hakları, sosyal yönler, güvenlik gibi çeşitli konularda değerlendiren ve sıralayan 178 tane kompozit endeks tanımı, göstergeleri, metodolojisi, uygulandığı yıl ve kapsadığı ülke sayısı gibi özelliklerine göre değerlendirilmektedir.¹⁰⁷

Literatürde göstergelerin birleştirilerek kompozit endekslerle tek bir ölçü ile ifade edilmesi konusunda çeşitli karşıt görüşler bulunmaktadır. Sharpe (2004) tarafından yapılan bir çalışmada ekonomik ve sosyal refahın makro göstergelerinin ve kompozit endekslerinin, ülkelerin ekonomik ve sosyal gelişme eğilimlerini ve düzeylerini belirlemede ve uygulanan politikaların refah düzeyi üzerindeki etkisini değerlendirmede bir araç olarak oynadığı önemli rolün artan bir şekilde kabul görmesinden dolayı kullanımlarının büyük artış gösterdiği belirtilmektedir. Çalışmada göstergelerin birleştirilmesiyle elde edilen kompozit endekslerin gerçeği yakalayabilen ve anlamlı sonuçlar veren birer özet istatistik olduğu ifade edilmektedir. Ayrıca kompozit endekslerin medyanın ilgisini ve dolayısıyla politika yapıcılarının dikkatini çekmede son derece yararlı araçlar olduğu belirtilmektedir. Bununla birlikte çalışmada kompozit endeks oluşturulurken uygulanan ağırlıklandırma sürecinin taşıdığı öznellikten dolayı göstergelerin birleştirilmesine dair karşıt görüşler olduğunun da altı çizilmektedir.¹⁰⁸

Kompozit endeksin oluşturulması alt göstergelerin seçilmesi, eksik verilerin tamamlanması, alt göstergelerin ağırlıklandırılması ve toplulaştırılması gibi özne kararların verilmesi gereken aşamaları içermektedir. Bu özne seçimler kompozit

¹⁰⁶ Nardo, Saisana, Saltelli, Tarantola, Hoffmann, Giovannini, **a.g.e.**, p.13.

¹⁰⁷ Romina Bandura, "A Survey of Composite Indices Measuring Country Performance: 2008 Update", **UNDP/ODS Working Paper**, United Nations Development Programme, Office of Development Studies, New York, 2008.

¹⁰⁸ Andrew Sharpe, **Literature Review of Frameworks for Macro-indicators**, CSLS Research Report, 2004-03, Centre for the Study of Living Standards, 2004, p.5.

endeks sonuçlarını manipüle etmek (yönlendirmek) için kullanılabilir. Bu nedenle kompozit endeks sonuçlarının kalitesi ve güvenilirliği için kompozit endeks geliştirme süreciyle ilgili öznel seçimlerin ve belirsizlik kaynaklarının tanımlanması ve uygulanan belirsizlik ve duyarlılık analizleri ile değerlendirilmesi gerekmektedir.¹⁰⁹ Kompozit endekse uygulanan belirsizlik ve duyarlılık analizleri kompozit endeksin sağlamlığının ölçülmesine ve şeffaflığının geliştirilmesine yardımcı olmaktadır.¹¹⁰

Kompozit endekslerin kullanımı ile ilgili eleştirilen bir diğer konu da kompozit endekslerin gerekli veri miktarını artırmasıdır. Çünkü tüm alt göstergeler ve istatistiksel olarak anlamlı analizler için veri gerekmektedir. Kullanımına ilişkin tartışmalara ve karşıt görüşlere rağmen kompozit endeksler aşağıda özetlendiği gibi uzmanlar, paydaşlar ve karar vericiler için birçok alanda çeşitli faydalar sağlamaktadır.¹¹¹

- gelişmelerin yönünün tayin edilmesi,
- yerler, durumlar ve ülkeler arasında karşılaştırma yapılması,
- belirlenen amaç ve hedeflere göre durum ve eğilim değerlendirmesi yapılması,
- ters giden durumların en kısa sürede tespit edilmesi (erken uyarı),
- ihtiyaçlara ve şartlara göre eylem alanlarının belirlenmesi,
- gelecekteki koşulların ve eğilimlerin öngörülmesi,
- genel halk ve karar vericiler için kullanışlı bir iletişim kanalı/aracı olması,

Kompozit endeksler ile özellikle karmaşık ve çok boyutlu kavramların özetlenmesi, politika yapıcılara ve karar vericilere yardımcı olmaktadır. Kompozit endeksler, karmaşık ve çok boyutlu konularda ülkelerin performanslarının etkin bir şekilde karşılaştırılmasını ve sıralanmasını sağlamaktadır. Kompozit endeksler, belirli bir konudaki büyük miktarda bilginin daha kolay yorumlanabilir ve anlaşılabilir bir formatta ifade edilmesini sağladığı için kamu iletişimini kolaylaştırmaktadır. Ülkeleri gerek performansları gerekse ilerleme düzeyleri açısından değerlendiren kompozit endeksler kamu iletişimde olduğu gibi politika analizinde de kullanışlı bir araç

¹⁰⁹ Nardo, Saisana, Saltelli, Tarantola, **a.g.e.**, p.7.

¹¹⁰ Saisana, Saltelli, Tarantola, **a.g.e.**, pp.307-308.

¹¹¹ Saisana, Tarantola, **a.g.e.**, pp.5-6.

vazifesi görmektedir. Ancak kompozit endeksler iyi yapılandırılmadıkları veya yanlış yorumlandıkları takdirde yanıltıcı ve sağlam olmayan politika analizlerine sebebiyet verebilirler. Çeşitli manipülasyonların ve yanlış beyanların engellenmesi için kompozit endekslerin oluşturulması ve kullanılmasından önce metodolojik konuların şeffaf bir şekilde ele alınması gerekmektedir.¹¹²

Verdikleri güçlü politika mesajları ve çıkarımlarıyla belirleyici bir konuma sahip olan bu ölçümlerin sağlam ve iyi inşa edilmiş bir metodolojiye dayandırılarak ve elde edilen sonuçların tutarlılığının değerlendirilmesi yapılarak geliştirilmesi büyük önem kazanmaktadır.¹¹³ Kompozit endeksler, mümkün olduğunca şeffaf olmalı ve geliştirilme süreci aşamasında kullanılan metodoloji ve veri kaynakları detaylı bir şekilde ifade edilmelidir. Bununla birlikte kompozit endeks bileşenlerinin açıklamaları, yapılandırılmaları ve zayıf yönleri belirtilmelidir. Ayrıca normalizasyon, ağırlıklandırma ve toplulaştırma gibi kompozit endeks geliştirme aşamalarına dair duyarlılık analizleri gerçekleştirilmeli, kompozit endeks skorları ve ülke sıralamalarının çeşitli aşamalarda kullanılan farklı yöntemlerden nasıl etkilendiği değerlendirilmelidir.¹¹⁴

Karmaşık bir sistemi özetleyen tek ve doğru kompozit endeksi geliştirmek için nesnel bir yöntem bulunmamaktadır. Kompozit endeks oluşturmak için standart bir metodoloji olmamakla birlikte uygulanan çeşitli metodolojik yaklaşımlar kompozit endeks geliştirme aşamalarının olabildiğince sağlam ve şeffaf olmalarını sağlamaya önemli ölçüde yardımcı olmaktadır.¹¹⁵

Sağlam ve iyi yapılandırılmış kompozit endekslerin oluşturulmasında yol gösterici olması açısından çeşitli alanlarda geliştirilen somut kompozit endeks örneklerinin metodolojilerinin incelenmesi ve değerlendirilmesi büyük önem taşımaktadır. Saisana ve arkadaşları (2002) tarafından yapılan çalışmada çevre, ekonomi, toplum, araştırma ve teknoloji gibi alanlarda geliştirilen 24 kompozit endeks örneği endeksin kapsamı,

¹¹² Nardo, Saisana, Saltelli, Tarantola, Hoffmann, Giovannini, **a.g.e.**, pp.13-15.

¹¹³ Commission of the European Communities, **Communication from the Commission, Structural Indicators**, COM(2001), 619 Final, Brussels, 2001, p.9, (Çevrimiçi), <https://ec.europa.eu/transparency/regdoc/rep/1/2001/EN/1-2001-619-EN-F1-1.Pdf>, 13.07.2020.

¹¹⁴ Freudenberg, **a.g.e.**, p.5.

¹¹⁵ Saisana, Tarantola, **a.g.e.**, p.6.

alt göstergelerin özellikleri, normalizasyon ve ağırlıklandırma metodları açısından genel olarak incelenmekte ve değerlendirilmektedir.¹¹⁶ Booysen (2002) tarafından yapılan çalışmada işsizlik, eğitim, sağlık, ekonomik özgürlük, gelir ve ekonomik büyüme gibi 12 boyuta göre sınıflandırılan ve kullanılan değişken sayısı, değişkenlerin seçim ve ölçeklendirilme yöntemi, endeks bileşenlerini ağırlıklandırma ve toplulaştırma yöntemi ve uygulandığı ülke kapsamı açısından incelenen 20 kompozit kalkınma endeksi kronolojik sırayla listelenmektedir. Çalışmada kompozit endekslerin oluşturulmasına ve kullanımına dair temel eleştiriler de tartışılmaktadır.¹¹⁷

Kompozit endekslerin geliştirilmesine, kullanılmasına ve güvenilirliğine dair çeşitli eleştiriler ve tartışmalar olmasına karşın sürdürülebilirlik ve tek pazar politikası gibi karmaşık ve bazen anlaşılması zor konuların kompozit endeksler ile tek bir ölçüyle özetlenerek politika belirlemek amacıyla ülke performanslarının karşılaştırılması, paydaşlar ve uygulayıcılar için kompozit endekslerin kullanımını teşvik etmekte ve popülerliğini artırmaktadır.¹¹⁸ Kompozit endeks kullanımının avantajları ve dezavantajları aşağıda özetlenmektedir:¹¹⁹

Avantajlar:

- Kompozit endeksler karar vericilere yardımcı olmak amacıyla karmaşık veya çok boyutlu konuları özetlemek için kullanılabilir.
- Kompozit endeksler büyük resmi sağlamaktadır. Kompozit endeksleri yorumlamak, birçok ayrı göstergede bir eğilim bulmaya çalışmaktan daha kolaydır. Bu nedenle kompozit endeksler karmaşık veya çok boyutlu konularda ülkelerin performanslarının karşılaştırılmasını ve sıralanmasını kolaylaştırmaktadır.
- Kompozit endeksler, ülkeler arasındaki performansların ve ülkelerin zaman içindeki ilerlemelerinin karşılaştırılabileceği bir özet değer sağlayarak kamuoyunun ilgisini çekmeye yardımcı olmaktadır.

¹¹⁶ A.e., pp.21-51.

¹¹⁷ Frederik Booysen, “An Overview and Evaluation of Composite Indices of Development”, **Social Indicators Research**, 59(2), 2002, pp.129-142.

¹¹⁸ Saisana, Saltelli, Tarantola, **a.g.e.**, pp.307-308.

¹¹⁹ Saisana, Tarantola, **a.g.e.**, p.5.

- Kompozit endeksler, göstergelerin temsil ettiği temel bilgi tabanı muhafaza edilerek göstergeler listesinin boyutunu azaltmaya veya göstergeler listesinin mevcut boyutuyla daha fazla bilgi sunulmasına yardımcı olmaktadır.

Dezavantajlar:

- Kompozit endeksler iyi yapılandırılmadıkları veya yanlış yorumlandıkları takdirde yanıltıcı ve sağlam olmayan politika mesajları verilmesine sebep olabilirler. Duyarlılık analizi yapılarak kompozit endeksler sağlamlık açısından test edilebilirler.
- Kompozit endekslerin büyük resmi basitçe ifade etmeyi mümkün kılması yeterli olmayan, çok basit politika çıkarımları yapılmasına neden olabilir. Bu nedenle daha kapsayıcı ve çok yönlü politika sonuçlarına ulaşmak için kompozit endeksler alt göstergelerle birlikte kullanılmalıdır. Alt göstergelerin kompozit endeks skoruna katkıları değerlendirilerek ve kompozit endeks sonuçları alt göstergelerle ilişkilendirilerek politika analizleri yapılmalıdır.
- Kompozit endekslerin oluşturulması alt göstergelerin seçilmesi, eksik verilerin tamamlanması, alt göstergelerin ağırlıklandırılması ve toplulaştırılması gibi öznel kararların verilmesi gereken aşamaları içermektedir. Bu kararlar şeffaf olmalı ve sağlam istatistiksel ilkelere dayanmalıdır.
- Alt göstergelerin ve ağırlıklarının seçimi belirli ülke gruplarının yeterliliklerini kapsayacak ve politikalarını destekleyecek şekilde belirlenmiş olabilir. Bu nedenle alt göstergelerin ve ağırlıklarının seçimi ülkeler arası anlaşmazlıklara sebebiyet verebilir.
- Kompozit endeksler gerekli veri miktarını artırmaktadır. Çünkü kompozit endeksle ölçülmesi amaçlanan konuyu açıklayan ve kompozit endeksin bileşenlerini temsil eden tüm alt göstergelerin seçilmesi ve istatistiksel olarak anlamlı analizlerin yapılması için veri gerekmektedir.

2.2. Kompozit Endeks Geliştirme Aşamaları

OECD ve Avrupa Komisyonu, kompozit endekslerin geliştirilmesi ve kullanılması ile ilgili kalite yönergeleri geliştirerek kompozit endekslerin şeffaflığını artırmak ve kötüye kullanımını en aza indirmek için ortak çalışmalar yürütmektedir. 2008 yılında OECD ve Avrupa Komisyonu Ortak Araştırma Merkezi (Joint Research Centre-JRC) Ekonometri ve Uygulamalı İstatistik Birimi ortak çalışmasıyla kompozit endekslerin nasıl tasarlanacağı, geliştirileceği ve kullanılacağı konusunda çeşitli öneriler içeren “Kompozit Endeks Oluşturma El Kitabı: Metodoloji ve Kullanıcı Kılavuzu” (Handbook on Constructing Composite Indicators: Methodology and User Guide) hazırlanmıştır. Bu el kitabının amacı kompleks bir yapıya sahip olan kompozit endekslerin anlaşılabilirliğini artırmak ve kompozit endeks oluşturmak için kullanılan tekniklerin iyileştirilmesine katkı sağlamaktır. Bu el kitabı kompozit endeks geliştiricileri için çıktılarının kalitesini iyileştirmelerine rehberlik eden bir teknik kılavuz niteliği taşımaktadır. Çalışmada bu el kitabı esas alınarak kompozit endeks geliştirilmesi aşağıdaki gibi 10 aşamada ele alınmaktadır.¹²⁰

1. Teorik Çerçeve (Theoretical Framework)
2. Alt Göstergelerin Seçilmesi (Selecting Sub-Indicators)
3. Eksik Verilerin Tamamlanması (Imputation of Missing Data)
4. Çok Değişkenli Analiz (Multivariate Analysis)
5. Normalizasyon (Normalization)
6. Ağırlıklandırma ve Toplulaştırma (Weighting and Aggregation)
7. Belirsizlik ve Duyarlılık Analizleri (Uncertainty and Sensitivity Analysis)
8. Kompozit Endeksin Yeniden Yapılandırılması ve Analizlerin Genişletilmesi (Deconstructing Composite Index and Extending the Analysis)
9. Kompozit Endeksin İlgili Diğer Göstergelerle İlişkisinin Kurulması (Linking to Other Indicators)
10. Kompozit Endeks Sonuçlarının Sunumu ve Görselleştirilmesi (Presentation and Visualisation of the Composite Index Scores and Country Rankings)

¹²⁰ Nardo, Saisana, Saltelli, Tarantola, Hoffmann, Giovannini, **a.g.e.**, pp.14-16.

2.2.1. Teorik Çerçeve

Ölçülecek kavrama karar vermek ve geliştirilecek kompozit endeksin bu kavramın açıklanmasına ve ölçülmesine ne gibi faydalar sağlayacağını değerlendirmek kompozit endeks oluşturma sürecinin ilk aşamasıdır.¹²¹

Gerçek dünyaya ait bir kavramı tanımlamak için bir model oluşturulurken belirli bir bilgi alanı içinde geçerli olan, gözlemcinin de kavramı nasıl algıladığına dair seçimleri yansıtan teorik bir çerçeve belirlenmelidir. Teorik çerçeve kompozit endeksle neyin ölçülmek amaçlandığının ve bu amaca ulaşılmasını sağlayan hedefler kümesinin ifade edildiği bir araç vazifesi görmektedir. Teorik çerçeve öznel ve kesin olmayan bir yapıya sahip olmakla birlikte ölçülecek kavramın çok boyutlu yapısının farkına varılmasını sağlamalı ve kavramın bu çeşitli boyutlarla olan karşılıklı ilişkilerini ifade etmelidir. Teorik çerçeveye kavramı yapılandıran geniş bir bakış açısı kümesinin bütünleşmesinin sağlanması sürdürülebilirlik, refah kalitesi, eğitim kalitesi gibi çok boyutlu kavramların gözlenebilen ve ölçülebilen ara hedefleriyle ve boyutlarıyla ölçülmesine olanak sağlamaktadır.¹²²

Bireysel göstergelerin anlamlı bir şekilde birleştirilebilmesi için ölçülmesi amaçlanan kavramın teorik bir çerçeveye açıklanması ve tanımlanması gerekmektedir. Teorik çerçevenin ölçülmesi amaçlanan kavramın bileşenlerini, boyutlarını veya yapısını yansıtacak şekilde oluşturulması, alt göstergelerin seçilmesine, ağırlıklandırılmasına ve toplulaştırılmasına temel sağlamaktadır. Seçilen göstergeler kavrama ait bileşenlerle ve boyutlarla ilgili bilgiler taşınmalı ve analiz edilen kavrama dayandırılmalıdır.¹²³

Kompozit endeks geliştirme sürecinin başlangıç noktası olan sağlam bir teorik çerçeve ideal olarak hangi göstergelerin mevcut olduğuna değil neyin ölçülmek amaçlandığına dayandırılarak oluşturulmalıdır. Teorik çerçeve ile ölçülmesi amaçlanan kavram ve bu

¹²¹ Saisana, Tarantola, **a.g.e.**, p.8.

¹²² Nardo, Saisana, Saltelli, Tarantola, **a.g.e.**, pp.8-9.

¹²³ Freudenberg, **a.g.e.**, p.7.

kavramın alt grupları (boyutları, bileşenleri veya kategorileri) anlaşılır ve net bir şekilde tanımlanmalıdır.¹²⁴

Çok boyutlu kavramlara ait bir teorik çerçevenin kalitesini belirleyen temel özellikler aşağıdaki gibi ifade edilmektedir:¹²⁵

1. Teorik çerçevenin etkisinin teknik, ekonomik, sosyal ve politik gibi farklı boyutlarda ve farklı ölçeklerde uygulanabilirliğinin ele alınması,
2. Teorik çerçevede kavramın yapılandırılmasına dair genellikle birbirleriyle çelişen çok çeşitli bakış açılarına yer verilmesi,
3. Teorik çerçevede belirsizliklerin güvenilir bir şekilde, şeffaflıkla ele alınması ve gerekli değerlendirilmelerin yapılması,

GSYİH gibi sağlam bir teorik ve ampirik temele sahip olan bir kompozit endeksin geliştirilmesi 50 yıllık bir süreci kapsamaktadır. Rekabet edebilirlik ve sürdürülebilir kalkınma gibi yeni politika alanlarında geliştirilen kompozit endeksler öznellik taşımakla birlikte süreçlerin şeffaflık ile yürütülmesi güvenilir sonuçların elde edilmesinde temel teşkil etmektedir. Sağlam bir teorik çerçevenin oluşturulması aşağıdaki aşamaların tamamlanmasını gerektirmektedir:¹²⁶

1. **Kavramın Tanımlanması:** Teorik çerçevede kompozit endeks ile neyin ölçüldüğü konusunda net bir fikir verecek şekilde kavram tanımlanmalıdır. Teorik çerçeveye kompozit endeks ile ölçülmesi amaçlanan kavramın alt grupları ile bunları oluşturan göstergeler arasındaki bağlantılar yapılandırılmalıdır.
2. **Alt Grupların Belirlenmesi:** Kompozit endeks geliştirmek için çok boyutlu kavramlara ait mevcut bağlantılar teorik veya ampirik olarak mümkün olan en geniş ölçüde tanımlanarak alt gruplar oluşturulmalıdır. Yapılandırılan alt grupların istatistiksel olarak birbirinden bağımsız olmaları gerekmemektedir. Çok boyutlu kavramların alt gruplara ayrılması ve alt grupları oluşturan

¹²⁴ Nardo, Saisana, Saltelli, Tarantola, Hoffmann, Giovannini, **a.g.e.**, p.22.

¹²⁵ Mario Giampietro, Kozo Mayumi, Giuseppe Munda, "Integrated Assessment and Energy Analysis: Quality Assurance in Multi-Criteria Analysis of Sustainability", **Energy**, 31(1), 2006, pp.75-76.

¹²⁶ Nardo, Saisana, Saltelli, Tarantola, Hoffmann, Giovannini, **a.g.e.**, pp.22-23.

göstergeler arasındaki bağlantıların yapılandırılmasıyla elde edilen iç içe geçmiş yapı (nested structure) kompozit endeksin performansının yüksek veya düşük olmasının arkasındaki itici güçlerin belirlenmesini kolaylaştırmaktadır. Ayrıca ölçülecek kavrama ait alt grupların oluşturulması göstergelerin göreceli ağırlıklarının da saptanmasına yardımcı olmaktadır.

3. Kompozit Endekse Dahil Edilecek Göstergelerin Seçim Kriterlerinin

Belirlenmesi: Hangi göstergelerin kompozit endekse dahil edilip edilmemesi gerektiğine rehberlik eden seçim kriterleri belirlenmelidir. Seçim kriterleri kesin bir şekilde ifade edilmelidir. Kompozit endekse dahil edilecek göstergeler (alt göstergeler) kompozit endeks ile ölçülmesi amaçlanan kavrama ne şekilde katkı sağladıkları dikkate alınarak girdi (input), çıktı (output) veya süreç (process) göstergeleri şeklinde tanımlanmalıdır. Örneğin bir kompozit endeks ile yenilikçi faaliyetlerin kapsamının ölçülmesi amaçlanıyorsa hem girdi (Ar-Ge harcamaları) hem çıktı (yeni ürün ve hizmet sayısı) göstergelerinin endekse dahil edilmesi gerekirken, amaçlanan yenilikçi faaliyetlerin performansının ölçülmesi ise endekse sadece çıktı göstergeleri dahil edilmelidir.

2.2.2. Alt Göstergelerin Seçilmesi

Teorik çerçeve, alt göstergelerin seçilmesine rehberlik etmekle birlikte ölçülecek kavramı açıklayan tek bir tanımlayıcı gösterge seti olamayacağından veri seçim süreci oldukça öznel bir yaklaşıma dayanmaktadır.¹²⁷ Kompozit endeksin alt göstergeleri ölçülebilirliklerine, ölçülen kavramla olan ilgilerine ve birbirleriyle olan ilişkilerine dayandırılarak seçilmelidir.¹²⁸ Alt göstergeleri seçmenin tamamen nesnel bir yolu yoktur. Alt göstergelerin ölçülen kavramla olan ilgisi net bir şekilde ifade edilmelidir.¹²⁹

¹²⁷ Nardo, Saisana, Saltelli, Tarantola, Hoffmann, Giovannini, **a.g.e.**, p.23.

¹²⁸ Freudenberg, **a.g.e.**, p.8.

¹²⁹ Saisana, Tarantola, **a.g.e.**, p.8.

Kompozit endekse dahil edilecek göstergeler seçilirken 2 temel metod önerilmektedir.¹³⁰

1. Kompozit endeksi geliştirenlerin takdirine bağlı olarak, göstergeler kompozit endeks ile ölçülen kavramla ilgili ise endekse dahil edilirler.
2. Kompozit endekse dahil edilecek göstergelere karar vermek için göstergeler arasındaki ilişki korelasyon analiziyle incelenir. Kavramsal olarak, iki gösterge birlikte artar veya azalırsa ilişkili olduklarına karar verilir. İki gösterge arasında çok yüksek derecede korelasyon varsa veya iki gösterge tam olarak aynı davranışı ölçüyorsa her iki göstergenin de endekse dahil edilmesi gereksiz olmaktadır. Kompozit endeks geliştiriciler için tüm göstergeler arasındaki korelasyon katsayılarının hesaplanarak, göstergelerin gereksiz olup olmadığının değerlendirilmesinde kullanılması kompozit endeks oluşturma süreci için faydalı bir uygulamadır. Bununla birlikte göstergelerin gereksiz olup olmadığının değerlendirilmesinde dikkate alınan göstergeler arasındaki korelasyon düzeyi öznel yargılar içermektedir.

Kompozit endeks oluşturulurken en büyük sorunlardan birisi ilgili verinin olmamasıdır. Bir diğeri ise mevcut verilerin yalnızca birkaç ülkeyi kapsayacak düzeyde olup ülkeler arasında karşılaştırmalar yapılmasını sağlayacak miktarda ve kapsamda olmamasıdır. Bununla birlikte verisine ulaşılabilen göstergeler ölçülen kavram ve davranışla yeterince örtüşmediği için temsil gücü yeterli olmayabilir. Genellikle ülke performanslarıyla ilgili kompozit endeks oluşturulurken ülke kapsamının artması kaliteli veriye ulaşılmasını zorlaştırmaktadır. Ülkeler arası karşılaştırmalar yapmak için gerekli performans göstergelerinin geliştirilmesi masraflı ve uzun süren çalışmaları gerektirmektedir. Bu tür nedenlerden dolayı kompozit endeksler performansın en belirgin ve kolayca erişilebilir yönlerini ölçmektedirler.¹³¹

Ülkeler arası karşılaştırılabilir nicel verilerin (hard data) tam setlerinin azlığı nedeniyle kompozit endeksler çoğu zaman anketlerden veya politika incelemelerinden elde

¹³⁰ Julia Salzman, **Methodological Choices Encountered in the Construction of Composite Indices of Economic and Social Well-Being**, Center for the Study of Living Standards, 2003, p.8.

¹³¹ Freudenberg, **a.g.e.**, p.8.

edilen nitel veriler (soft data) kullanılarak geliştirilmektedir. Bununla birlikte istenilen veriler mevcut olmadığında ya da mevcut veriler için ülkeler arası karşılaştırılabilirlik sınırlı olduğunda vekil veriler (proxy) kullanılabilir. Örneğin bilgisayar kullanan çalışan sayısının verilerinin olmadığı durumlarda bilgisayara erişimi olan çalışan sayısı vekil olarak kullanılabilir. Kompozit endeks oluşturulurken pragmatik bir anlayışla veri seçimi konusunda temeli şeffaflığa dayanan uzlaşmacı bir tavır içinde nicel verilere erişilemediği durumlarda anketlerden veya politika incelemelerinden elde edilen nitel verilerin veya vekil verilerin kullanımı gerekmektedir. Kompozit endeks geliştirilirken alt göstergelerin seçilmesi aşaması şeffaf bir anlayışla yürütülmeli, endekse dahil edilecek olan her göstergenin güçlü ve zayıf yönleri tartışılmalı, tablolar oluşturularak ilgili göstergelere ait verilerin kapsadığı zaman aralığı, ülkeler ve verilerin elde edildiği kaynaklar ile ilgili açıklamalar yapılmalıdır.¹³²

2.2.3. Eksik Verilerin Tamamlanması

Kompozit endeksin ölçmeyi amaçladığı çok boyutlu kavramı temsil etme gücü büyük ölçüde verilerin kalitesine ve doğruluğuna bağlıdır. Endekse dahil edilen göstergeler tesadüfi veya tesadüfi olmayan eksik veri içerebilirler.¹³³ Kompozit endeks geliştirilmesi sürecinde eksik verilerden kaynaklanan çok çeşitli sorunlar bulunmaktadır. Verilerin sadece sınırlı sayıda ülke için veya belirli göstergeler için mevcut olduğu durumlarda, oluşturulan kompozit endeks eksik veriye sahip ülkeler için daha az güvenilir olabildiği gibi tüm ülkelerin de göreceli konumunu doğru bir şekilde yansıtmayabilir.¹³⁴

Eksik veriler tesadüfi veya tesadüfi olmayan sebeplerden kaynaklanabilir. Bilgiyi alan veya verenden kaynaklanan çeşitli sorunlardan dolayı (bilinçli veya bilinçsiz) bazı değişkenler (göstergeler) veya bazı birimler (ülkeler) eksik veri içerebilirler. Eksik verinin varlığı analizlerin sonuçlarını etkilediği için eksik verilerin tamamlanması için

¹³² Nardo, Saisana, Saltelli, Tarantola, Hoffmann, Giovannini, **a.g.e.**, pp.23-24.

¹³³ Nardo, Saisana, Saltelli, Tarantola, **a.g.e.**, p.10.

¹³⁴ Freudenberg, **a.g.e.**, p.9.

uygulanan yaklaşımlar ve çözüm yolları dikkatlice ele alınmalıdır. Öncelikle eksik verilerin tesadüfî olup olmadığının araştırılması gerekmektedir. Eksik verilerin tesadüfiliğinin araştırılmasında kullanılan çeşitli yöntemler vardır. Örneğin eksik veri içeren iki değişken arasında eksik verilere 0, tam verilere 1 verilerek korelasyon katsayısı hesaplandığında korelasyon düşük ise her iki değişken için eksik verilerin tesadüfî olduğu anlaşılır.¹³⁵

Eksik veri sorununun çözümünde kullanılan yöntemlerden bazıları aşağıdaki gibi özetlenmiştir:

- 1. Veri Silme Yöntemi:** Önemli ölçüde eksik veri olduğunda eksik veri içeren birimler ve/veya değişkenler veri setinden çıkarılarak sadece tam veri içeren kayıtlarla kompozit endeks oluşturulur.¹³⁶
- 2. Ortalamanın Eksik Veri Yerine Atanması Yöntemi:** Bir değişkenin aritmetik ortalaması mevcut durumlardan hesaplanarak eksik değerlerin yerine atanır. Yaygın olarak kullanılmakla birlikte bu yöntemin eksik veriye sahip birimlerin ilgili değişken boyunca hep aynı değere sahip olması, değişkenin dağılımını değiştirmesi ve standart sapmayı olumsuz etkilemesi gibi dezavantajları vardır.¹³⁷
- 3. Regresyon ile Eksik Veri Yerine Atama Yapılması Yöntemi:** Eksik değerleri tahmin etmek için diğer değişkenlere dayalı regresyon denklemleri kurulur. Regresyonun bağımlı değişkeni, eksik değeri barındıran alt gösterge iken bağımsız değişkenler ise bağımlı değişkenle güçlü bir ilişki gösteren yani yüksek korelasyona sahip olan alt göstergelerdir.¹³⁸
- 4. Beklenti Maksimizasyonu Algoritması (Expectation Maximization Algorithm) ile Eksik Veri Yerine Atama Yapılması Yöntemi:** Bu yöntem, model parametreleri ve eksik değerler arasındaki karşılıklı bağımlılığa odaklanmaktadır. Eksik değerlerin yerine yinelemeli (iterative) işlemlerle elde

¹³⁵ Neyran Orhunbilge, **Çok Değişkenli İstatistik Yöntemler**, İstanbul Üniversitesi, Yayın No.4942, İşletme Fakültesi, Yayın No.286, 2010, s.6.

¹³⁶ Freudenberg, **a.g.e.**, p.9.

¹³⁷ Orhunbilge, **a.g.e.**, s.8.

¹³⁸ Nardo, Saisana, Saltelli, Tarantola, **a.g.e.**, p.37.

edilen tahminlerle atamalar yapılır.¹³⁹ Yinelemeli ve iki aşamalı olan bu yöntemde ilk aşama olan beklenti aşamasında (expectation step) model parametre tahminlerinin mevcut değerleri kullanılarak eksik değerler tahmin edilir. İkinci aşama olan maksimizasyon aşamasında (maximization step) ise tahmin edilen eksik veriler parametre değerlerinin güncellenmesi için kullanılarak bu iki aşama parametre tahminleri bir iterasyondan diğerine değişmeyene kadar tekrarlanır.¹⁴⁰

5. Çoklu Atama Yöntemi: Eksik verilerin ataması N kere atama yapılarak N tane tam veri setinin elde edildiği rastgele süreçlerle yapılır. Her veri seti için parametreler standart hatalarıyla birlikte tahmin edilir. N tane tam veri seti için elde edilen parametre tahminleri birleştirilir.¹⁴¹ Çoklu atama yönteminin hemen hemen her türlü veriye ve modele uygulanabilir olması önemli bir avantajdır. Çoklu atama yapmak için kullanılan en yaygın yöntemlerden biri doğrusal regresyona dayanan Markov Zinciri Monte Carlo algoritmasıdır.¹⁴²

Eksik verilerin analizi ile ilgili literatür çok kapsamlı olup, hızlı bir şekilde gelişmektedir.¹⁴³ Eksik verilerin tamamlanması amacıyla uygulanan yöntemlerin her birinin farklı dezavantajları vardır.¹⁴⁴ Eksik veri atama yöntemlerinin her biri belirli varsayımlar altında uygulanmaktadır.¹⁴⁵ Kullanılan farklı yöntemlerle farklı analiz sonuçları elde edildiği için uygun yöntemin seçilmesine karar vermek amacıyla hangi yöntemin daha iyi performans gösterdiği örneklem büyüklüğü, eksik veri oranı gibi faktörler göz önüne alınarak incelenmelidir.¹⁴⁶

¹³⁹ Nardo, Saisana, Saltelli, Tarantola, Hoffmann, Giovannini, **a.g.e.**, p.55.

¹⁴⁰ Paul D. Allison, "Missing Data (Chapter 4)", **The SAGE Handbook of Quantitative Methods in Psychology**, Ed. by. Roger E. Millsap, Alberto Maydeu-Olivares, SAGE Publications Ltd, 2009, p.78, (Çevrimiçi), <https://statisticalhorizons.com/wp-content/uploads/2012/01/Milsap-Allison.pdf>, 10.08.2020.

¹⁴¹ Nardo, Saisana, Saltelli, Tarantola, **a.g.e.**, p.40.

¹⁴² Allison, **a.g.e.**, pp.81-82.

¹⁴³ Daha fazla bilgi için bakınız Roderick J. A. Little, Donald B. Rubin, **Statistical Analysis with Missing Data** (Vol. 793), John Wiley & Sons, 2019.

¹⁴⁴ Freudenberg, **a.g.e.**, p.9.

¹⁴⁵ Nardo, Saisana, Saltelli, Tarantola, Hoffmann, Giovannini, **a.g.e.**, p.25.

¹⁴⁶ Jehanzeb Cheema, "Handling Missing Data in Educational Research Using SPSS", Doctoral Dissertation, George Mason University, USA, 2012, pp.3-4, (Çevrimiçi), http://mars.gmu.edu/bitstream/handle/1920/7840/Jehanzeb_Cheema_Dissertation_Spring_2012_GM_U.pdf?sequence=1&isAllowed=y, 10.11.2020.

2.2.4. Çok Değişkenli Analiz

Temel Bileşenler Analizi veya Korelasyon Analizi gibi yöntemlerle alt göstergeler arasındaki ilişkilerin değerlendirilmesi alt göstergelerin analizi öncesinde bir hazırlık vazifesi gördüğü gibi alt göstergelerin seçim aşaması için çeşitli geri bildirimler elde edilmesini de sağlamaktadır. Bir kompozit endeks oluşturulmasında amaç çok yönlü bir kavramın altında yatan nedenlerin ve süreçlerin daha iyi anlaşılmasını sağlamak olduğunda alt göstergeler arasındaki yüksek korelasyonlar yararlı olabilir. Öte yandan birbirleriyle çok yüksek korelasyona sahip iki alt göstergedan birinin ihmal edilmesi genel açıklama gücü açısından kaybolan bilginin çok az olduğu anlamına da gelmektedir.¹⁴⁷

Bir yaklaşıma göre alt göstergeler arasındaki yüksek korelasyon düzeltilmesi gereken ve istenmeyen bir durum olarak karşılanmaktadır.¹⁴⁸ Buna karşın çok kriterli karar analizi uygulayıcıları ise kompozit endeks oluşturulmasında ilişkili olan alt göstergelerin, birbirinin muadili olmayan farklı özellikleri yansıtabileceğini belirtmekte ve alt göstergeler arasındaki korelasyonların düzeltilmemesi gerektiğini düşünmektedirler.¹⁴⁹

Kompozit endekse dahil edilecek göstergeler seçilirken, kompozit endeksi geliştirenlerin takdirine bağlı olarak, göstergeler kompozit endeks ile ölçülen kavramla ilgili ise endekse dahil edilirler. Bununla birlikte kompozit endeks geliştiriciler için tüm göstergeler arasındaki korelasyon katsayılarının hesaplanarak, göstergelerin gereksiz olup olmadığının değerlendirilmesinde kullanılması kompozit endeks oluşturma süreci için faydalı bir uygulamadır. İki gösterge arasında çok yüksek derecede korelasyon varsa veya iki gösterge tam olarak aynı davranışı ölçüyorsa her iki göstergenin de endekse dahil edilmesi gereksiz olmaktadır. Göstergelerin gereksiz olup olmadığının değerlendirilmesinde dikkate alınan göstergeler arasındaki

¹⁴⁷ Michaela Saisana, Stefano Tarantola, Niels Schulze, Laurens Cherchye, Wim Moesen, Tom Van Puyenbroeck, **State-of-the-Art Report on Composite Indicators for the Knowledge-based Economy**, KEI Project Report, Workpackage 5, 2005, p.10, (Çevrimiçi), <https://www.uni-trier.de/fileadmin/fb4/projekte/SurveyStatisticsNet/KEI-WP5-D5.1.pdf>, 10.08.2020.

¹⁴⁸ Saisana, Tarantola, **a.g.e.**, pp.15-16.

¹⁴⁹ Saisana, Saltelli, Tarantola, **a.g.e.**, p.314.

korelasyonun derecesi kompozit endeksi geliştirenlerin öznel yargılarına dayanmaktadır.¹⁵⁰

Kompozit endeks oluşturulmadan önce uygulanan Temel Bileşenler Analizi, Faktör Analizi ve Cronbach Alpha Güvenilirlik Analizi gibi çok değişkenli analizler veri kümesinin yapısı hakkında fikir edinmemizi sağlamaktadır. Bu adım alt göstergeler arasındaki karşılıklı ilişkilerin belirlenip istatistiki olarak veri setinin uygunluğunun değerlendirildiği ve verilerin altında yatan yapının araştırıldığı bir keşif süreci niteliğindedir. Temel Bileşenler Analizi veya Faktör Analizi ile göstergeler arasındaki ilişkiler incelenerek ölçölmesi amaçlanan kavramın boyutlarının kompozit endekste istatistiksel olarak dengeli olup olmadığı araştırılmaktadır. Cronbach Alpha Güvenilirlik Analizi ile ölçöllecek kavramın boyutlarını oluşturan her bir gösterge grubundaki iç tutarlılık ölçölerek kompozit endeksin çeşitli alt gruplardan oluşan iç içe geçmiş yapısı değerlendirilmektedir. Çok değişkenli analiz teknikleriyle elde edilen veri setinin istatistiksel olarak belirlenmiş yapısının, teorik çerçeveyle karşılaştırılması ve olası farklılıkların tartişılması yararlı sonuçlar elde edilmesini sağlamaktadır. Eğer istatistiksel analizlerle elde edilen boyutlar teorik çerçeve ile belirlenen boyutlarla çakışmıyorsa, alt göstergeler kümesinin revize edilmesi gerekebilir.¹⁵¹

Birçok ülkenin performansını ölçen alt göstergelerden oluşan bir veri seti çok değişkenli analiz yöntemleriyle “göstergeler ve ülkeler” olmak üzere en az 2 boyutta incelenebilmektedir.¹⁵²

- 1. Alt göstergeler hakkındaki bilgilerin gruplandırılması:** Teorik çerçeve aşamasında yapılandırılan ve kompozit endeksin alt gruplarını ifade eden iç içe geçmiş yapının, iyi tanımlanıp tanımlanmadığının araştırılmasında çok değişkenli analizler kullanılabilmektedir. Ayrıca çok değişkenli analizler, alt göstergelerin sečilmesi aşamasında belirlenen kompozit endekse dahil edilecek göstergelerin, ölçöllecek kavramı açıklamak için yeterli veya uygun olup olmadıklarının incelenmesinde faydalı sonuçlar elde edilmesini sağlamaktadır.

¹⁵⁰ Salzman, **a.g.e.**, p.8.

¹⁵¹ Nardo, Saisana, Saltelli, Tarantola, Hoffmann, Giovannini, **a.g.e.**, pp.25-27.

¹⁵² Nardo, Saisana, Saltelli, Tarantola, **a.g.e.**, pp.15-16.

Bununla birlikte nihai karar hem uzman görüşü hem de veri setinin istatistiksel yapısı göz önüne alınarak verilmelidir.

2. Ülkeler hakkındaki bilgilerin gruplandırılması: Kümeleme Analizi kullanılarak ülkelerin farklı alt göstergeleri arasındaki benzerliklerine dayandırılarak gruplandırılmaları, alt göstergelerin toplulaştırılması ve eksik verilerin tamamlanması gibi çeşitli aşamalarda ve çeşitli şekillerde kompozit endeksin geliştirilmesine katkı sağlamaktadır.

Cronbach alpha katsayısı ile bir model veya anketteki maddelerin iç tutarlılığı ölçülmektedir.¹⁵³ Cronbach alfa katsayısı, göstergeler arasındaki korelasyona dayanan bir güvenilirlik katsayısıdır. Göstergeler arasında yüksek korelasyon olmasının göstergelerin aynı temel yapıyı ölçtüğüne dair kanıtlar taşımasından hareketle yüksek Cronbach alfa katsayısı göstergelerin gizli kavramı iyi ölçtüğü anlamına gelmektedir. Her bir göstergenin analizden çıkarılmasının Cronbach alfa katsayısına etkisi araştırılarak ilgili göstergelerin durumu değerlendirilmektedir. Bu değerlendirmeler, gösterge gruplarının varlığının ortaya çıkarılmasına yardımcı olarak kompozit endeksin çeşitli alt gruplardan oluşan iç içe geçmiş yapısının belirlenmesine fayda sağlamaktadır.¹⁵⁴ Cronbach alfa güvenilirlik katsayısı için 0,7 değeri kabul edilebilir bir güvenilirlik eşiği olarak önerilmektedir.¹⁵⁵

Temel Bileşenler Analizi, Faktör Analizi, Cronbach Alpha Güvenilirlik Analizi ve Kümeleme Analizi gibi çok değişkenli istatistikler bir dizi göstergenin özünde yer alan bilgilerin analiz edilmesini sağlayarak kompozit endeks geliştirilmesinde çok değişkenli veri kümelerinin yapısı hakkında fikir edinmek ve çıkarımlar yapabilmek için yararlı sonuçlar vermektedir. Bu analizlerin, tanımlayıcı bir araç olarak düşünülerek kompozit endekslerin geliştirilmesi amacıyla kullanılması önerilmektedir.¹⁵⁶

¹⁵³ Lee J. Cronbach, "Coefficient Alpha and the Internal Structure of Tests", **Psychometrika**, 16(3), 1951, pp.297-334.

¹⁵⁴ Nardo, Saisana, Saltelli, Tarantola, Hoffmann, Giovannini, **a.g.e.**, p.72.

¹⁵⁵ Jum C. Nunnally, **Psychometric Theory**, Second Edition, McGraw-Hill, 1978.

¹⁵⁶ Nardo, Saisana, Saltelli, Tarantola, **a.g.e.**, p.34.

2.2.5. Normalizasyon

Farklı ölçüm birimlerine sahip olan göstergelerin kompozit endeks oluşturulmadan önce standartlaştırılması veya normalize edilmesi gerekmektedir. Kompozit endekse dahil edilen göstergeler çok çeşitli birimler halinde ifade edilmiş olabilir. Ayrıca gösterge kümeleri farklı değişim aralıklarına (range) veya ölçeklere sahip olabilirler. Böyle bir durumda kompozit endeks oluşturulmadan önce göstergelerin ortak bir temele oturtulması gerekmektedir. Bununla birlikte bir veri setindeki aykırı değerlerden (outliers) kaynaklanan sorunları önlemek amacıyla da normalizasyon yapılmaktadır. Veri setindeki aykırı değerlerin analiz sonucunu etkilemesini önlemek ve ortalamadan çok uzakta olan değerlerden kaynaklanan veri kalitesi problemlerini kısmen dengelemek için göstergelere normalizasyon uygulanmaktadır.¹⁵⁷

Kompozit endeks oluşturulurken, bir gösterge kişi başına düşen patent sayısı ile bir diğer gösterge toplam ihracatın yüzdesi olarak ifade edildiğinde yani göstergeler farklı ölçüm birimlerine sahip olduğunda, toplulaştırma aşamasına geçmeden önce göstergelerin normalize edilmesi gerekmektedir. Normalizasyon, göstergelerin aynı standarda taşınmasını, saf (pure) ve boyutsuz (dimensionless) değerlere dönüştürülmesini sağlamaktadır.¹⁵⁸

Yaygın olarak kullanılan standardizasyon veya normalizasyon yöntemlerinden bazıları şunlardır:

- 1. Sıralama (Ranking):** En basit normalizasyon yöntemidir. Aykırı değerlerden etkilenmeyen bu yöntem ülke performanslarının göreceli konumlarının yani ülke sıralamalarının zaman içinde izlenmesine olanak sağlamaktadır.¹⁵⁹ Bu yöntemde her ülkenin her göstergesi için sıralama yapılır. Kompozit endeks, ülkelerin her bir göstergesi için elde edilen bu sıralamaların toplamı veya ortalaması ile oluşturulur. Bu metodun dezavantajı, ülke performansları

¹⁵⁷ Freudenberg, **a.g.e.**, p.10.

¹⁵⁸ Nardo, Saisana, Saltelli, Tarantola, **a.g.e.**, p.44.

¹⁵⁹ Nardo, Saisana, Saltelli, Tarantola, Hoffmann, Giovannini, **a.g.e.**, p.27.

sıralamalarla ifade edildiği için ülke performanslarının mutlak seviyesini belirleyen değerler hakkındaki bilginin kaybolmasıdır.¹⁶⁰

2. Standardizasyon (z-skoru): Bu yöntemde tüm göstergelerin standart normal dağılıma sahip oldukları varsayılarak, göstergeler ortalaması 0 ve standart sapması 1 olacak şekilde ortak bir ölçeğe dönüştürülür. Bir göstergenin değerinin kendi ortalamasından farkının standart sapmaya bölünmesiyle z-skoru hesaplanmaktadır. Bu yöntemde aykırı değerlere sahip olan göstergelerin kompozit endeks üzerindeki etkisi daha büyük olmaktadır. Bu etki toplulaştırma aşamasında en iyi ve en kötü gösterge skorları kompozit endekse dahil edilmeyerek düzeltilebilmektedir.¹⁶¹

3. Min-Max Normalizasyonu: Bu yöntemde göstergelerin konumlandırılması global maksimum (gösterge dizisinin aldığı en yüksek değer) ve global minimum (gösterge dizisinin aldığı en düşük değer) değerleriyle ilişkilendirilerek ölçeklendirme yapılmaktadır. Göstergelerin ölçeklendirilmiş değerini hesaplamak için öncelikle göstergenin değerinden ilgili gösterge dizisinin global minimum değeri çıkarılarak gösterge dizisinin değişim aralığına bölünür. Daha sonra elde edilen değerler 100 ile çarpılarak gösterge dizisi [0,100] aralığında olacak şekilde ölçeklendirilir. Ölçeklendirme sonucunda her gösterge dizisi için global minimum 0 ve global maksimum 100 değerini almaktadır.¹⁶² Standardizasyonun standart sapma yerine değişim aralığına dayandığı bu yöntem, çok az değişkenliğe sahip olan göstergelerin değişim aralığının genişlemesine yol açmakta ve bu göstergelerin kompozit endeks üzerindeki etkisinin z-skoru yaklaşımına göre daha yüksek olmasına sebebiyet vermektedir.¹⁶³

4. Referans Ülkeye Göre Uzaklık: Bu yöntemde göstergelerin referans ülkeye göre göreceli konumu ölçülmektedir. Referans noktası belirli bir zaman diliminde ulaşılması gereken bir hedef olabileceği gibi lider ülkenin değeri veya

¹⁶⁰ Rowena Jacobs, Peter Smith, Maria Goddard, "Measuring Performance: An Examination of Composite Performance Indicators", **CHE Technical Paper Series 29**, Centre for Health Economics, University of York, 2004, pp.36-37.

¹⁶¹ Nardo, Saisana, Saltelli, Tarantola, **a.g.e.**, p.47.

¹⁶² Freudenberg, **a.g.e.**, p.10.

¹⁶³ Jacobs, Smith, Goddard, **a.g.e.**, p.38.

lider ülke grubunun ortalaması da olabilmektedir. Kyoto Protokolüne göre 2010 yılına kadar Avrupa Birliği'ne üye ülkeler için belirlenen CO₂ emisyonunun %8 azalması hedefi referans noktasına örnek olarak verilebilir. Bununla birlikte referans ülke kompozit endekse dahil olmayan ülkeler arasından da seçilebilir. Örneğin ABD ve Japonya, Avrupa Birliği Lizbon ajandası çerçevesinde hazırlanan kompozit endeksler için referans noktası olarak sıklıkla kullanılmaktadır. Bu yöntemde göstergeler referans ülkenin ilgili değerlerine bölünerek ölçeklendirilir. Örneğin referans ülkenin lider ülke olduğu durumda, normalizasyon sonucunda tüm göstergeler için lider ülkeye 1 değeri atanırken diğer ülkeler lider ülkeden uzaklıklarına göre değerler almaktadır.¹⁶⁴

5. Kategorik Ölçeklendirme: Bu yöntemde her göstergeye belirlenen bir eşğin üstünde veya altında olmasına bağlı olarak bir skor atanır.¹⁶⁵ Öncelikle belirlenen eşiklere göre nicel veya nitel olarak tanımlanmış olan kategoriler oluşturulur. Daha sonra her kategoriye bir skor verilerek ölçeklendirme gerçekleştirilir. Genellikle skorlar göstergenin ülkeler arasındaki yüzdelik dağılımına dayanarak verilmektedir. Örneğin, belirli bir gösterge için ülkelerin ilk %5'ine 100 puan, %85-%95 aralığındaki ülkelere 80 puan, %65-%85 aralığındaki ülkelere 60 puan, %35-%65 aralığındaki ülkelere 50 puan gibi yüzdelik dağılımlara göre belirlenmiş olan kategorilere çeşitli skorlar atanmaktadır. Kategorik ölçeklendirmede aynı kategoride oldukları için aynı skoru alan ülkeler arasındaki farklılıklar hakkında bilgi kaybı yaşanması bir dezavantaj oluşturmaktadır.¹⁶⁶ OECD ülkelerinin ürün piyasası düzenlemeleri ve istihdam koruma mevzuatı göstergeleri üzerine hazırlanan çalışmada kategorik ölçeklendirme uygulanmıştır.¹⁶⁷

¹⁶⁴ Nardo, Saisana, Saltelli, Tarantola, Hoffmann, Giovannini, **a.g.e.**, p.28.

¹⁶⁵ Freudenberg, **a.g.e.**, p.10.

¹⁶⁶ Nardo, Saisana, Saltelli, Tarantola, **a.g.e.**, p.49.

¹⁶⁷ Giuseppe Nicoletti, Stefano Scarpetta, Olivier Boylaud, "Summary Indicators of Product Market Regulation with an Extension to Employment Protection Legislation", **OECD Economics Department Working Papers**, No.226, ECO/WKP (99)18, OECD, 2000, pp.14-16, (Çevrimiçi), <http://www.oecd.org/economy/outlook/1880867.pdf>, 10.08.2020.

Yukarıda bahsedilen yöntemlerin dışında da çok çeşitli standardizasyon veya normalizasyon yöntemleri bulunmaktadır. Örneğin göstergelerin ortalamasının etrafında tanımlanmış bir eşik üstünde veya altında olması ayırımına dayanarak uygulanan bir normalizasyon yöntemi Avrupa Komisyonu tarafından hazırlanan 2001 yılı Avrupa İnovasyon Endeksi çalışmasında kullanılmıştır.¹⁶⁸ Bir diğer normalizasyon yöntemi göstergelerin önceki yıllara göre değişimi göz önüne alınarak uygulanan, 1992-2001 yılları arasında Avrupa İç Pazar politikalarının potansiyel faydalarının ne ölçüde gerçekleştiğinin incelendiği ve üye ülkelerin 1992 yılına göre gelişmelerinin hesaplandığı bir endeks çalışmasında kullanılmaktadır. Çalışmada yıllar arasında karşılaştırma yapabilmek amacıyla 1992 referans yılının Avrupa Birliği ortalaması ve standart sapma değeri kullanılmak suretiyle her bir gösterge z-skoru hesaplanılarak normalize edilmektedir.¹⁶⁹

Standardizasyon veya normalizasyon yöntemlerinin her birinin farklı avantajları ve dezavantajları vardır. Standardizasyon (z-skoru) yöntemi toplulaştırma adımı sağladığı kolaylıklardan dolayı en yaygın şekilde kullanılan metodlardandır. Kategorik ölçeklendirme ise eşik değerinin ve kategorilere atanan skorların belirlenmesinde izlenen çeşitli yaklaşımlardan dolayı yüksek derecede öznelliğe sahiptir.¹⁷⁰

Uygun normalizasyon yönteminin seçilmesi dikkatlice ele alınması gereken bir aşamadır. Normalizasyon yöntemi, kompozit endeksin amacının yanı sıra veri özellikleri de dikkate alınarak seçilmelidir. Normalizasyon yöntemi seçilirken, göstergelere ait verilerin nicel (hard data) veya nitel (soft data) özelliklerden hangisini taşıdığının, gösterge değerlerinin mutlak seviyeleri hakkındaki bilgilerin önemli olup olmadığının, kompozit endeksin amacına göre gösterge değerlerini referans bir ülkeyle kıyaslamının gerekip gerekmediğinin veya göstergelerdeki varyansın önemli olup olmadığının göz önüne alınması gerekmektedir. Örneğin veri seti çok sayıda aykırı

¹⁶⁸ Commission of the European Communities, **Commission Staff Working Paper, 2001 Innovation Scoreboard**, SEC(2001), 1414, Brussels, 2001, pp.13-14, (Çevrimiçi), https://ec.europa.eu/regional_policy/archive/innovation/pdf/library/innovation_scoreboard.pdf, 13.07.2020.

¹⁶⁹ Stefano Tarantola, Michaela Saisana, Andrea Saltelli, Frank Schmiedel, Nicholas Leapman, **Statistical Techniques and Participatory Approaches for the Composition of the European Internal Market Index 1992-2001**, EUR 20547 EN, European Communities, Italy, 2002, pp.9-11.

¹⁷⁰ Freudenberg, **a.g.e.**, p.11.

değer içeriyorsa standart sapmaya veya ortalamadan uzaklığa dayanan normalizasyon yöntemleri tercih edilmelidir.¹⁷¹

Kompozit endeks oluşturulurken farklı ölçüm birimlerine ve aralığa sahip olan göstergelere uygulanan çeşitli dönüşümler, ülke sıralamalarının çok büyük ölçüde değişmemesini garanti altına alacak şekilde uygulanmalıdır. Anlamlı bir kompozit endeksin oluşturulması, ülke sıralamalarının göstergelere uygulanan dönüşümlere bağlı olarak değişmemesini gerektirmektedir.¹⁷² Göstergelerin ölçüm birimleriyle ilgili özellikleri ve yöntemlerin aykırı değerlere karşı sağlamlıkları dikkate alınarak, kompozit endeks ile ölçülmesi amaçlanan probleme en uygun olan normalizasyon yöntemi belirlenmelidir. Farklı normalizasyon teknikleri farklı kompozit endeks sonuçları elde edilmesine neden olmaktadır. Bu nedenle uygulanan normalizasyon tekniklerinin kompozit endeks skorları ve ülke sıralamaları üzerindeki etkilerini değerlendirmek için sağlamlık testleri (robustness tests) yapılmalıdır.¹⁷³

Farklı standardizasyon veya normalizasyon tekniklerine göre hesaplanan kompozit endeks sonuçları arasındaki korelasyon katsayıları incelenerek kompozit endeks sonuçlarının uygulanan yaklaşımlardan büyük ölçüde etkilenip etkilenmediği analiz edilebilmektedir. Örneğin farklı normalizasyon yaklaşımlarıyla elde edilen kompozit endeks sonuçları arasındaki Spearman sıra korelasyon katsayısının 1'e yakın olması, farklı yöntemler uygulanmasına rağmen ülkelerin çoğunun sıralamasının değişmeden kaldığı anlamına gelmektedir.¹⁷⁴

2.2.6. Ağırlıklandırma ve Toplulaştırma

Kompozit endeks oluşturulması sürecinde toplulaştırma aşamasından önce göstergelerin eşit ağırlıklar verilerek veya göstergenin önemini, güvenilirliğini veya diğer birtakım özelliklerini yansıtacak şekilde farklı ağırlıklar verilerek ağırlıklandırılması gerekmektedir. Göstergelere atanan ağırlıklar kompozit endeksin

¹⁷¹ Nardo, Saisana, Saltelli, Tarantola, **a.g.e.**, p.11.

¹⁷² Udo Ebert, Heinz Welsch, "Meaningful Environmental Indices: A Social Choice Approach", **Journal of Environmental Economics and Management**, 47(2), 2004, p.274.

¹⁷³ Nardo, Saisana, Saltelli, Tarantola, **a.g.e.**, p.44.

¹⁷⁴ Freudenberg, **a.g.e.**, p.13.

sonuçlarını ve ülke sıralamalarını belirgin bir şekilde etkilediği için, ideal olarak ağırlıklandırma işlemi kompozit endeksin teorik çerçevesine veya kompozit endeksin kavramsal gerekçesine dayandırılarak yapılmalıdır. Ağırlıklandırma işlemi belirli bir metodoloji kullanılarak yürütülmeli ve sürecin aşamaları, dayanakları ve sonuçları şeffaf bir şekilde açıklanmalıdır. Ayrıca alternatif ağırlıklandırma yöntemlerinin kullanılmasıyla kompozit endeks skorlarının ve ülke sıralamalarının nasıl değiştiğinin değerlendirilmesi de faydalı sonuçlar elde edilmesi açısından önemlidir.¹⁷⁵

Göstergelere atanan ağırlıkların belirlenmesinde çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Göstergelerin ağırlıklandırılmasında istatistiksel yöntemlere dayanan metodlar kullanılabildiği gibi kompozit endeksin ölçmeye çalıştığı kavramla ilgili politika önceliklerini veya teorik faktörleri daha iyi yansıtabilmek amacıyla uzman görüşüne dayanarak daha etkili ve önemli olduğu düşünülen göstergelere daha yüksek ağırlıkların verildiği metodlar da kullanılabilmektedir. Hangi yöntem kullanılırsa kullanılsın göstergelere atanan ağırlıklar esasen değer yargılarıdır.¹⁷⁶ Bu değer yargıları göstergelerin göreceli önemi ve göstergelerin ulaştığı performans seviyelerinin göreceli fırsat maliyeti hakkında yapılan öznel değerlendirmelerdir. Çeşitli istatistiksel yöntemlere, kompozit endeksin teorik çerçevesine veya kompozit endeksin kavramsal gerekçesine dayandırılarak uygulanan ağırlıklandırma yöntemi ne olursa olsun önemli olan ağırlıklandırma sisteminin ve metodolojisinin açık ve şeffaf olması ve alternatif ağırlıklandırma yöntemleri uygulanarak ülke sıralamalarının sağlamlığının duyarlılık analizleri ile değerlendirilmesidir.¹⁷⁷

Kompozit endekslerin geliştirilmesinde göstergelere farklı ağırlıkların atanabilmesi için gerekli istatistiksel veya ampirik gerekçeler olmadığında, göstergelerin ağırlıklandırılması konusunda yeterli bilgi oluşmadığında, doğru model hakkında sağlam bir temel elde edilemediğinde veya alternatif çözümler üzerinde fikir birliği sağlanamadığında tüm göstergelerin ağırlıklarının aynı olduğu eşit ağırlıklandırma metodu kullanılabilmektedir.¹⁷⁸ 2002 yılı Çevresel Sürdürülebilirlik Endeksi

¹⁷⁵ A.e., p.12.

¹⁷⁶ Nardo, Saisana, Saltelli, Tarantola, Hoffmann, Giovannini, a.g.e., p.31.

¹⁷⁷ Jacobs, Smith, Goddard, a.g.e., p.46.

¹⁷⁸ Nardo, Saisana, Saltelli, Tarantola, a.g.e., p.55.

çalışmasında farklı ağırlıkların uygulanması için sağlam bir temel bulunamadığı ve farklı faktörlerin sürdürülebilirliğe göreceli katkıları hakkında bilimsel bir fikir birliği oluşmadığı için eşit ağırlıklandırma metodu kullanılmıştır.¹⁷⁹ Eşit ağırlıklandırma metodunun kullanıldığı başka bir yaklaşım ise kompozit endeksi oluşturan tüm boyutlara eşit ağırlık verilmesidir. Bu durum her boyutun ölçülen performans üzerinde aynı etkiye sahip olduğu anlamına gelmektedir.¹⁸⁰

Eşit ağırlıklandırma yönteminin taşıdığı bazı riskli durumlar bulunmaktadır. Örneğin eşit ağırlıklara sahip olan göstergelerin farklı boyutları temsil edecek şekilde gruplandırılarak toplulaştırılması, kompozit endeksi oluşturan boyutların farklı ağırlıklara sahip olması anlamına gelebilir. Daha çok sayıda göstergeden oluşan boyut daha yüksek ağırlığa sahip olacağı için tüm göstergelere eşit ağırlıklar verilmesi kompozit endekste dengesiz bir yapıya neden olabilmektedir.¹⁸¹

Kompozit endeks geliştirilmesinde kullanılan bir diğer ağırlıklandırma yöntemi uzman tabanlı ağırlıklandırma sistemleridir. Bu ağırlıklandırma yönteminde göstergeler devletlerin ve kalkınma ajanslarının politikalarını veya belirli bir popülasyonun tercihlerini yansıtacak şekilde ağırlıklandırılabilir. Uzman tabanlı ağırlıklandırma yönteminin bir diğer uygulanma şekli uzmanlara uygulanan anketler vasıtasıyla ağırlıkların belirlenmesidir. Örneğin uzmanlara anketler uygulanarak kompozit endeksin bileşenleri arasında toplam 100 puanı atamaları istenmektedir. Daha sonra elde edilen anket sonuçlarının ortalamaları alınarak her bir bileşenin ağırlığı belirlenebilmektedir.¹⁸² Ekonomik Özgürlük Endeksi çalışmasında endeks bileşenlerine atanan ağırlıklar uzmanlara uygulanan anketlerden elde edilmiştir.¹⁸³ Öte yandan uzman tabanlı ağırlıklandırmada kullanılan yaklaşımların da çeşitli dezavantajları bulunmaktadır.¹⁸⁴

¹⁷⁹ World Economic Forum, Yale Center for Environmental Law and Policy, Center for International Earth Science Information Network, **2002 Environmental Sustainability Index**, 2002, pp.46-47, (Çevrimiçi), https://sedac.ciesin.columbia.edu/es/esi/ESI2002_21MAR02a.pdf, 12.08.2020.

¹⁸⁰ Freudenberg, **a.g.e.**, p.12.

¹⁸¹ Nardo, Saisana, Saltelli, Tarantola, Hoffmann, Giovannini, **a.g.e.**, p.31.

¹⁸² Booyesen, **a.g.e.**, pp.126-127.

¹⁸³ James Gwartney, Robert Lawson, Walter Block, **Economic Freedom of the World (1975–1995)**, The Fraser Institute, Canada, 1996, p.39.

¹⁸⁴ Salzman, **a.g.e.**, p.20.

Kompozit endeks oluşturulurken, kompozit endeks ile ölçülmesi amaçlanan çok boyutlu kavram bağlamında daha önemli ve daha etkili olduğu düşünülen göstergelere daha fazla ağırlık verilmelidir. Göstergelerin göreceli etkileri göstergeler arasındaki korelasyonlara dayanan Regresyon Analizi, Temel Bileşenler Analizi veya Faktör Analizi gibi istatistiksel tekniklerle belirlenebilmektedir.¹⁸⁵ Ancak korelasyona dayanan istatistiksel tekniklerin dezavantajı, korelasyonların göstergelerin kompozit endeksin ölçtüğü kavram üzerindeki gerçek etkisini temsil etmemesidir.¹⁸⁶

Kompozit endeks geliştirilmesinde kullanılan bir diğer ağırlıklandırma yöntemi verilerin istatistiksel kalitesine göre ağırlıkların belirlenmesidir. İstatistiksel olarak güvenilir verilere yani eksik veri yüzdesi daha az olan, kapsama alanı daha geniş olan ve daha yüksek kaliteye sahip olan olan göstergelere daha yüksek ağırlıklar atanabilmektedir.¹⁸⁷ Böyle bir yaklaşım kompozit endeks oluşturulmasında çoğunlukla elde edilmesi ve ölçülmesi kolay olan göstergelerin kullanılarak yanıltıcı endeks sonuçları elde edilmesine sebebiyet verebilmektedir. Daha kapsamlı veri toplama ve istatistiklerine sahip olan daha gelişmiş ülkeler, daha az gelişmiş ve daha az eksiksiz gösterge kümelerine sahip olan ülkelere göre daha avantajlı bir konumda olabilmektedirler.¹⁸⁸

Kompozit endeks geliştirilmesinde göstergelerin ağırlıklandırılmasında gerek istatistiksel yöntemlere dayanan gerekse uzmanların, vatandaşların ve politikacıların fikir, amaç, tutum ve uygulamalarının yansıtıldığı katılımcı yöntemlere (participatory methods) dayanan çeşitli ağırlıklandırma yöntemleri bulunmaktadır.¹⁸⁹ Çalışmanın uygulama bölümünde Yapay Zeka Endeksi geliştirilmesinde kullanılan Veri Zarflama Analizi tabanlı Şüphenin Lehte Kullanılması Yaklaşımı ağırlıklandırma yöntemi **Bölüm 2.3**'te ayrıntılı bir şekilde anlatılmaktadır. Aşağıda ise yaygın olarak kullanılan çeşitli ağırlıklandırma yöntemleri bu yöntemlerle elde edilen kompozit endeks çalışmalarına örnekler verilerek kısaca anlatılmaktadır:

¹⁸⁵ Freudenberg, **a.g.e.**, p.12.

¹⁸⁶ Saisana, Tarantola, **a.g.e.**, p.14.

¹⁸⁷ Nardo, Saisana, Saltelli, Tarantola, **a.g.e.**, p.55.

¹⁸⁸ Freudenberg, **a.g.e.**, pp.12-13.

¹⁸⁹ Nardo, Saisana, Saltelli, Tarantola, Hoffmann, Giovannini, **a.g.e.**, pp.31-32.

1. Temel Bileşenler Analizi ve Faktör Analizi: Bu yöntemler göstergeler arasındaki korelasyonlara dayanarak göstergelerin ağırlıklarını belirlemek için kullanılmaktadır. Bu metodlarla az sayıda temel bileşen veya faktör belirlenerek verideki çok boyutluluk azaltılmakta ve istatistiksel boyutlar elde edilmektedir.¹⁹⁰ Temel Bileşenler Analizi veya Faktör Analizi ile bir kompozit endeks oluşturmak için ölçülmesi amaçlanan kavrama dair alt göstergelerin mümkün olan en çok bilgisini yakalayabilen temel bileşenler veya faktörler elde edilir. Bu yöntemlerin kullanılabilmesi için alt göstergeler aynı ölçüm birimine sahip olmalıdır. Belirlenen temel bileşenler veya faktörler onlarla en yüksek ilişkide bulunan gösterge gruplarını ortaya koymaktadır. Amaç en az sayıda temel bileşen veya faktör kullanarak gösterge setindeki mümkün olan en yüksek varyasyonu yakalamaktır.¹⁹¹ OECD ülkelerinin ürün piyasası düzenlemeleri ve istihdam koruma mevzuatı göstergeleri üzerine hazırlanan çalışmada göstergelerin ağırlıklandırılmasında faktör analizi kullanılmaktadır. Çalışmada endeksin her bileşeni verilerdeki genel varyansa olan katkısına göre ağırlıklandırılmıştır.¹⁹²

2. Regresyon Analizi: Farklı ölçüm birimlerinde ifade edilen çok sayıda değişken için uygun bir yaklaşım biçimi olmakla birlikte ilişkinin doğrusal olduğunun varsayılmasını ve açıklayıcı değişkenlerin (alt göstergeler) bağımsızlığını gerektirmektedir. Regresyon Analizi ile her bir alt gösterge politika eylemi olarak yorumlanıp, geliştirilen regresyon modeliyle her bir politika eyleminin belirli bir hedef yani uygun bir performans göstergesi üzerindeki göreceli etkisi ölçülebilmektedir. Regresyon modelinden elde edilen alt göstergelerin regresyon katsayıları kullanılarak alt göstergeler ağırlıklandırılmaktadır.¹⁹³ Sürdürülebilir refah düzeyi ile ilgili hazırlanan bir kompozit endeks çalışmasında göstergelerin ağırlıkları regresyon analiziyle elde edilmiştir. Çalışmada yaşam memnuniyeti regresyon modelinden elde edilen katsayılar,

¹⁹⁰ Jacobs, Smith, Goddard, **a.g.e.**, p.48.

¹⁹¹ Nardo, Saisana, Saltelli, Tarantola, **a.g.e.**, p.56.

¹⁹² Nicoletti, Scarpetta, Boylaud, **a.g.e.**, p.18.

¹⁹³ Nardo, Saisana, Saltelli, Tarantola, **a.g.e.**, pp.63-64.

mutlak değerleri alınıp toplamaları 1 olacak şekilde normalize edilerek ağırlıklara dönüştürülmüştür.¹⁹⁴

3. Bütçe Tahsis Süreci (Budget Allocation Process): Uzmanlara verilen belirli bir bütçenin göstergelerin göreceli önemlerine göre ödemeler yapılarak göstergeler arasında tahsis edildiği katılımcı bir yöntemdir. Uzmanlar inovasyon, eğitim, sağlık gibi belirli bir konudaki deneyimlerine ve öznel yargılarına dayanarak önemini vurgulamak istedikleri göstergelere daha fazla, daha az önemli olduğunu düşündükleri göstergelere daha az ödeme yaparak bütçenin bir dizi alt gösterge arasında tahsis edilmesini sağlamaktadırlar. Göstergelerin ağırlıkları ilgili göstergeye uzmanlar tarafından tahsis edilen bütçelerin ortalaması alınarak hesaplanmaktadır.¹⁹⁵ Bütçe tahsis yönteminin ilk adımı değerlendirmeyi yapacak uzmanların seçilmesidir. Belirli bir uygulama alanında uygun bir ağırlıklandırma sisteminin teşkil edilmesini sağlamak için geniş bilgi ve tecrübeye sahip uzmanların bir araya getirilmesi esastır. Bütçenin uzmanlar tarafından alt göstergeler arasında tahsis edilmesi adımından sonra göstergelerin ağırlıkları hesaplanmaktadır.¹⁹⁶ 2008 yılı Avrupa e-Ticaret Hazırbulunuşluk Endeksi çalışmasında göstergelerin ağırlıklandırılmasında bütçe tahsis süreci kullanılmaktadır. Bu çalışmada göstergelerin ağırlıkları, her uzmanın 100 puanlık bir bütçeyi göstergelerin ölçülmesi amaçlanan kavramla ilgi düzeyine orantılı olarak tahsis etmesiyle elde edilmiştir.¹⁹⁷

4. Hedefe Uzaklık Yaklaşımı (Distance to the Target): Hedefe uzaklık yaklaşımında ağırlıklandırma, alt gösterge değerlerinin aynı birimlerde ifade edilen göstergeye karşılık gelen hedef değerlerine bölünmesiyle gerçekleştirilmektedir. Bu şekilde elde edilen boyutsuz parametrelerin ortalamaları alınarak kompozit endeksler oluşturulmaktadır. Bu metod ile elde edilen göstergelerin ağırlıkları ilgili politik yaklaşımları ve problemin çözümünün aciliyetini yansıtmaktadır. Problemin çözümünün aciliyeti

¹⁹⁴ Elena Giachin Ricca, Stefano Tarantola, “A Composite Indicator of Sustainable Well-Being: The Relative Importance of Weights in the European Strategy for Sustainable Development”, **46th Scientific Meeting of the Italian Statistical Society**, May 2012.

¹⁹⁵ Nardo, Saisana, Saltelli, Tarantola, Hoffmann, Giovannini, **a.g.e.**, p.96.

¹⁹⁶ Nardo, Saisana, Saltelli, Tarantola, **a.g.e.**, p.66.

¹⁹⁷ Stefano Tarantola, William Castaings, **The 2008 European e-Business Readiness Index**, JRC Scientific and Technical Reports, EUR 23770 EN, European Communities, 2009, p.8.

belirlenen hedeften uzaklaştıkça artarken, yaklaştıkça azalmaktadır. Göstergelerin politika hedeflerine olan uzaklığını ölçerek ağırlıklarının belirlenmesi belirli bir politika için iyi tanımlanmış bir temel olduğunda teknik olarak uygulanabilmektedir. Hedefe uzaklık yaklaşımında hedef değerleri olarak politika hedefleri, sürdürülebilirlik düzeyleri veya en iyi performans gösteren ülkelerin değerleri kullanılmaktadır.¹⁹⁸ Hollanda için hazırlanan 1980-1992 yılları Çevre Politikası Performans Göstergesi çalışmasında 6 alt gösterge hedefe uzaklık yaklaşımı ile ağırlıklandırılmıştır. Kompozit endeks, alt göstergelerin belirlenen hedef değerine bölünmesiyle elde edilen 6 boyutsuz parametrenin toplanmasıyla oluşturulmaktadır. Bu çalışmada her alt gösterge hem sürdürülebilirlik seviyelerinin hem de politika hedeflerinin gösterge hedef değeri olarak kullanılmasıyla 2 şekilde ağırlıklandırılmıştır.¹⁹⁹

5. Analitik Hiyerarşi Prosesi: 1970’li yıllarda Thomas Saaty tarafından geliştirilen Analitik Hiyerarşi Prosesi karmaşık çok kriterli karar verme problemlerinin çözümünde yaygın olarak kullanılan bir tekniktir.²⁰⁰ Analitik Hiyerarşi Prosesi, problemlerin hiyerarşik yapısının değerlendirildiği, hem objektif hem de sübjektif süreçlerin uygulandığı ve görüşlerin ikili karşılaştırmalarla sistematik olarak ortaya çıkarıldığı bir karar verme tekniğidir. Uzmanlar veya karar vericiler tarafından göstergelerin ikili olarak karşılaştırılması sağlanır. Bu karşılaştırmalarda göstergelerin göreceli önemleri 1-9 arasında değerler alan bir ölçek kullanılarak ifade edilir. 1 değeri göstergelerin önem derecelerinin eşitliğini ve 9 değeri bir göstergenin diğerine göre 9 kat daha önemli olduğunu göstermektedir. İkili karşılaştırmalar sonucunda göstergelerin göreceli katkılarının (ağırlıklarının) oranlarını yansıtan bir karşılaştırma matrisi oluşturulur.²⁰¹ Alt göstergelerin göreceli ağırlıkları, bir özvektör tekniği kullanılarak hesaplanır. Bu yöntemin avantajlarından biri karşılaştırma matrisinin tutarlılığının özdeğerlerin hesaplanması yoluyla kontrol

¹⁹⁸ Nardo, Saisana, Saltelli, Tarantola, a.g.e., p.68.

¹⁹⁹ Albert Adriaanse, **Environmental Policy Performance Indicators: A Study on the Development of Indicators for Environmental Policy in the Netherlands**, SDV Publishers, The Hague, 1993.

²⁰⁰ R. W. Saaty, “The Analytic Hierarchy Process: What it is and How it is Used”, **Mathematical Modelling**, Vol.9, No.3-5, 1987, pp.161-176.

²⁰¹ Jacobs, Smith, Goddard, a.g.e., p.51.

edilebilmesidir.²⁰² Tarım sektörünün küresel sürdürülebilirliğinin ölçüldüğü kompozit endeks çalışmasında 12 gösterge analitik hiyerarşi prosesi kullanılarak ağırlıklandırılmıştır.²⁰³

Kompozit endeks oluşturulmasında kullanılan çeşitli toplulaştırma yöntemleri vardır. Doğrusal Yöntemler ve Geometrik Yöntemler en yaygın olarak kullanılan toplulaştırma yöntemleridir. Doğrusal toplulaştırma yönteminde göstergeler ağırlıklarıyla orantılı olarak performansa katkı sağlarken, geometrik toplulaştırma yöntemi yüksek performans değerlerine sahip olan ülkeler için daha çok avantaj sağlamaktadır.²⁰⁴

Hem doğrusal hem de geometrik toplulaştırmada, göstergelerin ağırlıkları göstergeler arasındaki ödünleşimleri ve uzlaşma miktarını ifade etmekte ve bir göstergedeki azalışın/artışın diğer göstergedeki artış/azalış ile telafi edilebileceğini belirtmektedir. Doğrusal toplulaştırmada göstergeler arası telafi edilebilirlik (compensability) göstergelerin değerlerinden (düşük veya yüksek olması) bağımsız bir şekilde sabit iken, geometrik toplulaştırmada düşük değerli göstergeler içeren ülkeler için telafi edilebilirlik daha düşüktür. Diğer bir deyişle, geometrik toplulaştırma kullanıldığında bir göstergesinin değeri düşük olan bir ülkenin performansını artırması için diğer göstergelerde çok daha yüksek bir artış sağlaması gerekmektedir. Bu nedenle ülke performanslarının kıyaslandığı çalışmalarda bazı alt göstergelerde düşük performans değerlerine sahip olan ülkeler için doğrusal toplulaştırma yöntemi geometrik toplulaştırmaya göre daha çok avantaj sağlamaktadır. Bununla birlikte geometrik toplulaştırma yönteminde düşük değerli göstergelerdeki bir birimlik artışın marjinal faydası, yüksek değerli göstergelerdeki aynı miktarda artışın marjinal faydasına göre daha fazla olmaktadır. Bu nedenle geometrik toplulaştırma yöntemi uygulanması durumunda ülkelerin öncelikle düşük değerli göstergelerinin performanslarını iyileştirme çabası içinde olmaları, genel performanslarını yani kompozit endeks

²⁰² Nardo, Saisana, Saltelli, Tarantola, **a.g.e.**, p.69.

²⁰³ Jose A. Gomez-Limon, Laura Riesgo, "A Composite Indicator to Measure Agricultural Sustainability: Alternative Approaches", **Decision Support Systems in Agriculture, Food and the Environment: Trends, Applications and Advances**, Ed. by. B. Manos, N. Matsatsinis, K. Paparrizos, J. Papathanasiou, IGI Global, 2010, pp.219-245.

²⁰⁴ Nardo, Saisana, Saltelli, Tarantola, Hoffmann, Giovannini, **a.g.e.**, pp.32-33.

skorlarını artırmaları için daha kuvvetli bir olanak sağlamaktadır.²⁰⁵

Geometrik toplulaştırma yöntemi yerine doğrusal toplulaştırma yöntemi kullanılması düşük gösterge değerlerine sahip olan ülkelerin daha iyi performans göstermelerini sağlamaktadır. Örneğin alt gösterge değerleri kümesi {21,1,1,1} olan bir ülkenin eşit ağırlıklandırma ile (Alt göstergelerin ağırlıkları toplamı 1 olduğu için her bir alt göstergenin ağırlığı (1/4) olarak belirlenmiştir.) kompozit endeks skoru elde edilirken doğrusal toplulaştırma yöntemi uygulandığında kompozit endeks skoru $CI=(1/4).21+(1/4).1+(1/4).1+(1/4).1=6$ iken geometrik toplulaştırma yöntemi uygulandığında kompozit endeks skoru $CI=21^{1/4}.1^{1/4}.1^{1/4}.1^{1/4} = 2,14$ olarak elde edilmektedir. Alt gösterge değerleri kümesi {6,6,6,6} olan bir ülkenin ise eşit ağırlıklandırma ile her iki toplulaştırma yöntemi için kompozit endeks skoru 6'dır.²⁰⁶

Bununla birlikte alt gösterge değerleri kümesi {21,1,1,1} olan ülke için yüksek değerli göstergenin değeri 1 birim artırıldığında elde edilen {22,1,1,1} kümesinin kompozit endeks skoru geometrik toplulaştırma yöntemiyle $CI=22^{1/4}.1^{1/4}.1^{1/4}.1^{1/4} = 2,1657$ iken düşük değerli gösterge değerlerinden bir tanesi 1 birim artırıldığında elde edilen {21,2,1,1} kümesinin kompozit endeks skoru $CI=21^{1/4}.2^{1/4}.1^{1/4}.1^{1/4} = 2,5457$ olarak elde edilmektedir. Başlangıçta 2,14 olan kompozit endeks skoru düşük değerli gösterge 1 birim artırıldığında yaklaşık %18,96 artarken yüksek değerli gösterge 1 birim artırıldığında sadece %1,2 artmaktadır. Sonuç olarak geometrik toplulaştırma yöntemiyle düşük değerli göstergedeki bir birimlik artışın marjinal faydası, yüksek değerli göstergedeki aynı miktarda artışın marjinal faydasına göre çok daha fazla olmuştur.

²⁰⁵ Giuseppe Munda, Michela Nardo, **Constructing Consistent Composite Indicators: The Issue of Weights**, EUR 21834 EN, European Communities, 2005.

Nardo, Saisana, Saltelli, Tarantola, Hoffmann, Giovannini, **a.g.e.**, p.33.

²⁰⁶ **A.e.**, pp.103-104.

2.2.7. Belirsizlik ve Duyarlılık Analizleri

Kompozit endeksin geliştirilmesi alt göstergelerin seçilmesi, eksik verilerin tamamlanması, alt göstergelerin normalizasyonu, alt göstergelerin ağırlıklandırılması ve toplulaştırılması gibi öznel kararların verilmesi gereken aşamaları içermektedir. Bu nedenle kompozit endeks sonuçlarının sağlamlığı ve ilgili politika mesajları çeşitli eleştirilere ve itirazlara maruz kalabilmektedir.²⁰⁷

Belirsizlik ve duyarlılık analizlerinin bir kombinasyonunun uygulanması endeks skorlarıyla elde edilen ülke sıralamalarının sağlamlığını ölçmeye, endeksin şeffaflığını artırmaya, endeks geliştirilirken izlenen adımlardaki çeşitli yöntemler ve yaklaşımlar altında performansları azalan veya artan ülkeleri belirlemeye ve kompozit endeksin sonuçları hakkındaki muhtemel tartışmaların ve eleştirilerin belirli bir çerçeveye oturtularak çözümlenmesine ve savunulmasına yardımcı olmaktadır.²⁰⁸

Kompozit endeks geliştirilirken çeşitli aşamalarda kullanılan farklı yaklaşımların ve yöntemlerin oluşturduğu potansiyel belirsizlik kaynakları tanımlanmalıdır. Belirsizlik analizi ile kompozit endeksin geliştirilmesi sırasında oluşan belirsizlik kaynaklarının kompozit endeksin yapısı boyunca nasıl yayıldığı incelenmekte, kompozit endeks skorları ve ülke sıralamaları üzerindeki etkisi değerlendirilmektedir. Belirsizlik analizinin amacı belirsizlik kaynaklarından dolayı oluşan kompozit endeks skorlarındaki ve ülke sıralamalarındaki genel belirsizliğin ölçülmesidir. Duyarlılık analizi ise her bir belirsizlik kaynağının kompozit endeks sonuçlarının varyansına ne kadar katkıda bulunduğunu incelemektedir.²⁰⁹

Duyarlılık analizi ile kompozit endeks sonuçlarının her bir belirsizlik kaynağına ne ölçüde duyarlı olduğu başka bir deyişle kompozit endeks skorlarının ve ülke sıralamalarının her bir belirsizlik kaynağından ne kadar etkilendiği ifade edilmektedir. Duyarlılık analizi sonuçları belirli bir belirsizlik kaynağı kaldırıldığında, bir ülke için

²⁰⁷ A.e., p.34.

²⁰⁸ Daniel C. Esty, Marc Levy, Tanja Srebotnjak, Alex de Sherbinin, **2005 Environmental Sustainability Index: Benchmarking National Environmental Stewardship**, New Haven: Yale Center for Environmental Law and Policy, 2005, p.37.

²⁰⁹ Saisana, Saltelli, Tarantola, **a.g.e.**, pp.307-308.

kompozit endeks sonuçlarındaki belirsizliğin ne kadar azalacağını göstermektedir. Duyarlılık analizi sonuçları genellikle ülkelerin kompozit endeks sonuçlarının (endeks skorları veya ülke sıralamaları) her bir belirsizlik kaynağına göre aldığı değerleri gösteren dağılım grafikleri ile ifade edilmektedir. Dağılım grafikleri belirsizlik kaynakları ile kompozit endeks sonuçları arasındaki ilişkinin ortaya çıkarılmasına yani her bir belirsizlik kaynağının kompozit endeks sonuçları üzerindeki etkilerinin belirlenmesine yardımcı olmaktadır.²¹⁰

Kompozit endeks geliştirilmesi sırasında uygulanan belirsizlik ve duyarlılık analizleri kompozit endeks skorlarına dayanarak güvenilir ve sağlam politikalar geliştirilebilmesini sağlayan bir “kalite güvence aracı” (quality assurance tool) olarak işlev görmektedir.²¹¹

Kompozit endekslerin sağlamlık analizinin sonuçları genellikle belirsizlik kaynaklarından dolayı oluşan belirsizlik sınırlarının (uncertainty bounds) ülke sıralamaları cinsinden ifade edilmesiyle değerlendirilmektedir. Bu yaklaşım her ülke için kompozit endeks sonuçlarının makul bir aralığının (plausible range) belirlenmesini mümkün kılmaktadır.²¹²

Belirsizlik ve duyarlılık analizi uygulanırken belirli bir kompozit endeks geliştirme stratejisiyle elde edilen kompozit endeks skorlarının ve ülke sıralamalarının alternatif yöntemler uygulandığında ne kadar değiştiği, hangi ülkelerin performanslarında (kompozit endeks skorları veya ülke sıralamaları) büyük değişkenlik sergilendiği ve bu ülkelerin performanslarını etkileyen faktörlerin neler olduğu sorularına cevap aranmalıdır.²¹³

Aşağıda kompozit endeks sonuçlarının sağlamlığının değerlendirildiği çalışmalara örnekler verilerek belirsizlik ve duyarlılık analizlerinin kompozit endeks çalışmalarında nasıl uygulandığı anlatılmaktadır:

²¹⁰ Nardo, Saisana, Saltelli, Tarantola, Hoffmann, Giovannini, **a.g.e.**, p.35.

²¹¹ Saisana, Saltelli, Tarantola, **a.g.e.**, p.308.

²¹² Nardo, Saisana, Saltelli, Tarantola, Hoffmann, Giovannini, **a.g.e.**, pp.34-35.

²¹³ Nardo, Saisana, Saltelli, Tarantola, **a.g.e.**, p.13.

- İspanya’da belediyelerin yaşam kalitesini ölçmek amacıyla geliştirilen kompozit endeks çalışmasında önerilen ağırlıklandırma yaklaşımının sağlamlığı test edilmektedir. Çalışmada alt gösterge paylarının kompozit endeks skoruna oranı için çeşitli alt ve üst sınırlar belirlenerek alternatif ağırlıklandırma senaryoları elde edilmektedir. Her bir ağırlıklandırma senaryosu ile elde edilen kompozit endeks skorları ve ülke sıralamaları karşılaştırılarak kullanılan farklı ağırlıklandırma senaryolarının kompozit endeks sonuçları üzerindeki etkileri değerlendirilmektedir. Bununla birlikte alternatif ağırlıklandırma senaryolarıyla elde edilen kompozit endeks skorları arasındaki Pearson ve Spearman sıra korelasyon katsayıları da kullanılarak önerilen senaryonun sağlamlığı araştırılmaktadır.²¹⁴
- Sürdürülebilir Enerji Endeksi çalışmasında matematiksel bir programlama yaklaşımı ile her bir ülke için mümkün olan en yüksek ve en düşük kompozit endeks skorlarının birleştirildiği bir ağırlıklandırma senaryosu önerilmektedir. Çalışmada alt gösterge paylarının kompozit endeks skoruna oranı için alt ve üst sınırlar belirlenerek önerilen ağırlıklandırma senaryosuna alternatif bir ağırlıklandırma senaryosu oluşturulmaktadır. İki senaryoya göre elde edilen Sürdürülebilir Enerji Endeksi skorları arasındaki Pearson ve Spearman sıra korelasyon katsayıları hesaplanarak sağlamlık analizi yapılmaktadır. Çalışmada iki farklı senaryoya göre elde edilen kompozit endeks skorları arasındaki yüksek korelasyon katsayılarının önerilen ağırlıklandırma yaklaşımının sağlamlığının bir göstergesi olduğu ifade edilmektedir.²¹⁵
- İnovasyon Performansı Endeksi çalışmasında kompozit endeks sonuçlarının çeşitli yöntem ve yaklaşımlara olan duyarlılıkları değerlendirilerek sağlamlık analizi yapılmaktadır. Çalışmada 4 farklı normalizasyon yöntemi ve 4 farklı ağırlıklandırma yöntemi kullanılmasıyla oluşan 16 farklı yöntemle geliştirilen kompozit endekslerin ülke sıralamalarının aralığı (range of the ranks) ve ortalama değerleri grafik üzerinde gösterilerek kullanılan farklı yöntemlere ülke

²¹⁴ Eduardo Gonzalez, Ana Carcaba, Juan Ventura, “Weight Constrained DEA Measurement of the Quality of Life in Spanish Municipalities in 2011”, **Social Indicators Research**, 136(3), 2018, pp.1157-1182.

²¹⁵ P. Zhou, B.W. Ang, K.L. Poh, “A Mathematical Programming Approach to Constructing Composite Indicators”, **Ecological Economics**, 62(2), 2007, pp.291-297.

sıralamalarının ne düzeyde duyarlı olduğu ifade edilmiş ve ülke bazında değerlendirmeler yapılarak farklı yöntemlerden en çok ve en az etkilenen ülkeler belirlenmiştir.²¹⁶

- Teknoloji Başarı Endeksi çalışmasında endeksin sağlamlığını değerlendirmek amacıyla belirsizlik ve duyarlılık analizleri uygulanmaktadır. Çalışmada 3 belirsizlik kaynağının oluşturduğu 23 farklı girdi faktörünün tüm olası kombinasyonları yerine temsili bir örnekleme ile belirli sayıda simülasyon (24.576) gerçekleştirilmiştir. Belirsizlik analizi sonuçları kompozit endeks skorlarının medyan değerini ve en yüksek %5'lik ile en düşük %5'lik değerler dışında kalan %90'lık kısmının dağılımını gösteren grafiklerle (whisker plots) ifade edilmektedir. Grafiğe göre ülke bazında karşılaştırmalar yapılarak benzer performansa sahip olan ülkelerle birlikte belirsizlik kaynaklarından en fazla ve en az etkilenen ülkeler belirlenmektedir. Çalışmada 23 farklı girdi faktörünün ülkelerin kompozit endeks skorlarının varyansı üzerindeki etkisini ölçmek için varyans tabanlı teknikler (variance-based techniques) kullanılarak duyarlılık analizi yapılmaktadır.²¹⁷
- 2010 yılı Çevresel Performans Endeksi'nin Belirsizlik ve Duyarlılık Analizi çalışmasında 5 kategori başlığında ele alınan varsayımlardan kaynaklanan belirsizliklerin etkilerini değerlendirmek için 300 simülasyon gerçekleştirilmiştir. Çalışmada simülasyon sonuçlarına göre elde edilen ülke sıralamalarının özet ölçüsü olarak ülke sıralamalarının medyan değeri (median rank) ve %99'luk güven aralığı (confidence interval) kullanılmaktadır. 2010 yılı Çevresel Performans Endeksi ülke sıralamalarının sağlamlığının ölçülmesi amacıyla her ülke için Çevresel Performans Endeksi ülke sıralamalarıyla metodolojik varsayımları hesaba katan ülke sıralamalarının medyan değeri ve güven aralığı karşılaştırılmaktadır. Belirsizlik analizi sonuçlarına göre Çevresel Performans Endeksi ülke sıralaması güven aralığı içinde olan ülkeler belirlenmiş ve bu ülkelerin güven aralığı genişliklerinin güvenilir çıkarımlar yapılmasını

²¹⁶ Freudenberg, a.g.e., pp.24-25.

²¹⁷ L. Cherchye, W. Moesen, N. Rogge, T. Van Puyenbroeck, M. Saisana, A. Saltelli, R. Liska, S. Tarantola, "Creating Composite Indicators with DEA and Robustness Analysis: The Case of the Technology Achievement Index", **Journal of the Operational Research Society**, 59(2), 2008, pp.239-251.

sağlayacak düzeyde olduğu (20 sıradan az) ifade edilmiştir. Bununla birlikte güven aralığı en geniş olan ülkeler (the most volatile countries) belirlenerek çeşitli değerlendirmeler yapılmıştır.²¹⁸

- 2010 yılı Çevresel Performans Endeksi'nin Belirsizlik ve Duyarlılık Analizi çalışmasında yapılan duyarlılık analizi ile 8 farklı senaryonun Çevresel Performans Endeksi ülke sıralamaları üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir. Bu amaçla her ülke için Çevresel Performans Endeksi ülke sıralaması ile her bir senaryo uygulandığında elde edilen ülke sıralaması arasındaki mutlak sıra değişimi (absolute rank shift) hesaplanmıştır. Bununla birlikte Çevresel Performans Endeksi ülke sıralamaları ile her bir senaryo ile elde edilen ülke sıralamaları arasındaki Spearman sıra korelasyon katsayısı da hesaplanarak mutlak sıra değişimi ile birlikte duyarlılık ölçüsü (sensitivity measure) olarak kullanılmıştır. Duyarlılık analizi ile her bir senaryonun Çevresel Performans Endeksi ülke sıralaması üzerindeki etkisi duyarlılık ölçüsü olarak kullanılan mutlak sıra değişimi ve Spearman sıra korelasyon katsayısı ile ölçülerek belirlenen 8 senaryonun Çevresel Performans Endeksi ülke sıralaması üzerindeki etkileri karşılaştırılmaktadır. Çalışmada Çevresel Performans Endeksi ülke sıralamaları ile 5 kategori başlığında ele alınan tüm metodolojik varsayımların hesaba katıldığı 300 senaryonun ülke sıralamalarının medyan değeri arasındaki Spearman sıra korelasyon katsayısı 0,96 olarak hesaplanmaktadır. Elde edilen bu yüksek korelasyonun varlığından yola çıkılarak 2010 yılı Çevresel Performans Endeksi sonuçlarının küresel düzeyde durumun güvenilir bir resmini sunduğu ve bu nedenle küresel ölçekte uygulanması gereken çevre politikaları hakkında değerli fikirler vermek amacıyla kullanılabileceği sonucuna varılmaktadır.²¹⁹

²¹⁸ Michaela Saisana, Andrea Saltelli, **Uncertainty and Sensitivity Analysis of the 2010 Environmental Performance Index**, JRC Scientific and Technical Reports, EUR 24269 EN, European Communities, 2010, pp.16-20, (Çevrimiçi), <https://ec.europa.eu/jrc/en/publication/eur-scientific-and-technical-research-reports/uncertainty-and-sensitivity-analysis-2010-environmental-performance-index>, 15.04.2020.

²¹⁹ A.e., pp.21-23.

2.2.8. Kompozit Endeksin Yeniden Yapılandırılması ve Analizlerin Genişletilmesi

Kompozit endeksler çeşitli analizlere ve politika geliştirme çalışmalarına rehberlik etmek için özet göstergeler olarak kullanılmaktadır. Bununla birlikte kompozit endekslerin gerek bileşenleri gerekse alt göstergeleri düzeyinde ayrıştırılarak yeniden yapılandırılması ülkelerin performans analizlerinin genişletilmesini sağlamaktadır. Kompozit endeksin bileşenlerine ve alt göstergelerine ayrıştırılması, bileşenlerinin ve alt göstergelerinin kompozit endekse katkılarının tespit edilmesini ve ülkelerin ulusal performans profilleri çıkarılarak ülke bazında güçlü ve zayıf yönlerin belirlenmesini sağlamaktadır.²²⁰

Ülkelerin iyi veya kötü performanslarını belirleyen ana sürücülerini ortaya çıkarmak amacıyla ülke performanslarının bileşenler ve alt göstergeler düzeyinde profilinin çıkarılması gerekmektedir. Böylelikle ülkelerin kompozit endeks skorlarını tetikleyen ana sürücülerin belirlenmesi yanında, kompozit endeksin bileşenlerinin ve alt göstergelerinin göreceli önemlerinin açıklanması ve kompozit endekse az sayıda alt göstergenin aşırı düzeyde hakim olup olmadığının ortaya çıkarılması da sağlanmaktadır. Ayrıca kompozit endeksin gerek bileşenleri gerekse alt göstergeleri düzeyinde ayrıştırılarak yeniden yapılandırılması, kompozit endeks skoru ile bileşenler ve alt göstergeler arasında korelasyon veya nedensellik olup olmadığının test edilmesini de mümkün kılmaktadır.²²¹

Kompozit endeksin yeniden yapılandırılması ülkelerin iyi veya kötü performanslarını açıklayan güçlü ve zayıf yönlerinin kolaylıkla belirlenmesini sağlayarak ülkelerin performanslarına ışık tutmaktadır. Böylelikle ülke bazında sağlıklı ve gerçekçi politikalar geliştirilmesi mümkün olmaktadır. Ayrıca kompozit endekslerin bileşenleri ve alt göstergeleri düzeyinde ayrıştırılmaları Yol Analizi (Path Analysis), Bayes Ağları ve Yapısal Eşitlik Modellemesi (Structural Equation Modelling) gibi yöntemlerle

²²⁰ Freudenberg, **a.g.e.**, p.27.

²²¹ Nardo, Saisana, Saltelli, Tarantola, Hoffmann, Giovannini, **a.g.e.**, p.21.

kompozit endeks skoru ile kompozit endeksin bileşenleri ve/veya alt göstergeleri arasındaki ilişkinin araştırılmasına da olanak sağlamaktadır.²²²

İnovasyon Performansı Endeksi çalışmasında kompozit endeks, inovasyon alt göstergeleri düzeyinde ayrıştırılarak bazı ülkelerin genel inovasyon performanslarının altında yatan nedenler araştırılmıştır. Bu çalışmada her bir inovasyon alt göstergesi için endekse dahil olan ülkelerin performans aralığı belirlenmiş, Japonya ve Yeni Zelanda'nın her bir inovasyon alt gösterge performansının bu aralığa göre konumu değerlendirilmiştir. Bu şekilde Japonya ve Yeni Zelanda'nın zayıf ve güçlü yönleri tespit edilmiş ve böylelikle genel inovasyon performanslarının altında yatan nedenler açıklanmıştır.²²³

Teknoloji Başarı Endeksi çalışmasında bazı ülkeler için kompozit endeks skoru alt göstergeler düzeyinde ayrıştırılarak her bir alt göstergenin kompozit endeks skoruna katkısı tespit edilmiştir. Kompozit endeks skorunun alt göstergeler düzeyinde ayrıştırılması ülke bazında alt göstergelerin göreceli önemlerinin açıklanmasını ve ülke bazında güçlü ve zayıf yönlerin belirlenmesini sağlamaktadır. Çalışmada Finlandiya ve Singapur'un performans profilleri daire grafiği ile gösterilmiş ve alt gösterge pasta payları (pie shares) kullanılarak alt göstergelerin göreceli önemleri açıklanmıştır.²²⁴

Kompozit endeks skorlarının gerek bileşenler gerekse alt göstergeler düzeyinde ayrıştırılmasının hangi yollarla ülkelerin performans analizlerinin genişletilmesini sağladığı aşağıda sıralanmaktadır:

- ülke bazında bileşenlerin ve/veya alt göstergelerin kompozit endeks skoruna katkılarının belirlenmesi,
- ülke bazında bileşenlerin ve/veya alt göstergelerin göreceli önemlerinin açıklanması,
- ülkelerin performans profilleri oluşturularak güçlü ve zayıf yönlerinin tespit edilmesi,

²²² A.e., pp.35-36.

²²³ Freudenberg, a.g.e., pp.27-28.

²²⁴ Cherchye, Moesen, Rogge, Van Puyenbroeck, Saisana, Saltelli, Liska, Tarantola, a.g.e., pp.242-243.

- ülkelerin performanslarını en iyi açıklayan (en çok tetikleyen) ana sürücülerin belirlenmesi,
- kompozit endeks skorunu oluşturan bileşenlerin ve/veya alt göstergelerin kompozit endeks skoruna katkılarının dengeli dağılıp dağılmadığının yani ülkelerin performanslarının az sayıda bileşen ve/veya alt gösterge tarafından temsil edilip edilmediğinin ifade edilmesi,
- kompozit endeks skoru ile kompozit endeksin bileşenleri ve/veya alt göstergeleri arasında korelasyon veya nedensellik olup olmadığının test edilmesi,

2.2.9. Kompozit Endeksin İlgili Diğer Göstergelerle İlişkisinin Kurulması

Kompozit endekslerin ölçtüğü kavramlar genellikle verimlilik artışı, kişi başına düşen GSYİH gibi iyi bilinen ve ölçülebilir çeşitli göstergelerle ilişkilidir. Kompozit endeksin veya bileşenlerinin mevcut olan basit veya kompozit ilgili diğer göstergelerle ilişkisinin kurulması veriye dayalı anlatılar (data-driven narratives) geliştirilmesini sağlamaktadır. Ayrıca kompozit endeksin teorik anlamda ilgili olan diğer göstergelerle ilişkisinin kurulması kompozit endeksin açıklayıcı gücünün test edilmesine de imkan vermektedir.²²⁵

Bir kompozit endeksin ilgili diğer göstergelerle ilişkisinin kurulmasının çeşitli yöntemleri bulunmaktadır. Genellikle serpilme diyagramları (scatter diagram) bu tür ilişkileri göstermenin en iyi yoludur. Sürdürülebilir Kalkınma Meta Endeksi²²⁶ çalışmasında ülkelerin sürdürülebilir kalkınma düzeyleri ile kişi başına düşen GSYİH ile ölçülen gelir düzeyleri arasındaki ilişki ve 2005 yılı Çevresel Sürdürülebilirlik Endeksi²²⁷ çalışmasında ülkelerin çevresel performans düzeyleri ile hem gelir düzeyleri hem de rekabet edebilirlik düzeyleri arasındaki ilişki serpilme diyagramları

²²⁵ Nardo, Saisana, Saltelli, Tarantola, Hoffmann, Giovannini, **a.g.e.**, pp.39-40.

²²⁶ Laurens Cherchye, Timo Kuosmanen, "Benchmarking Sustainable Development: A Synthetic Meta-Index Approach", **WIDER Research Paper**, No.2004/28, The United Nations University World Institute for Development Economics Research (UNU-WIDER), Helsinki, 2004, pp.18-19.

²²⁷ Esty, Levy, Srebotnjak, De Sherbinin, **a.g.e.**, pp.26-27.

vasıtasıyla kurulmaktadır.

Bir kompozit endeksin ilgili diğer göstergelerle ilişkisinin kurulmasının bir diğer yöntemi korelasyon analizi uygulayarak kompozit endeksin ve/veya bileşenlerinin ilişki kurulması amaçlanan göstergeyle aralarındaki korelasyon katsayılarının hesaplanmasıdır. 2018 yılı Dünya Dijital Rekabet Edebilirlik Sıralaması çalışmasında işgücü verimliliği ile dijital rekabet edebilirlik arasındaki ilişki serpilme diyagramı ile gösterilmektedir. Bununla birlikte korelasyon analizi de yapılarak işgücü verimliliği ile dijital rekabet edebilirlik sıralaması arasında güçlü bir negatif ilişki olduğu ifade edilmektedir. Çalışmada serpilme diyagramı ve korelasyon analizi sonuçlarından yola çıkılarak işgücü verimlilik düzeyi ne kadar yüksek olursa, ülkedeki dijitalleşme düzeyinin de o kadar yüksek olacağı sonucuna varılmaktadır. Bu çalışmada Dijital Rekabet Edebilirlik Endeksi'nin alt endekslerinin de işgücü verimliliği ile aralarındaki ilişkinin varlığı ve gücü araştırılmıştır.²²⁸

Bir kompozit endeksin ve/veya bileşenlerinin ilgili diğer göstergelerle ilişkisi korelasyon analiziyle incelendiğinde, ilişki analizi yorumlanırken korelasyon analizinin nedensellik analiziyle karıştırılmamasına dikkat edilmelidir. İki değişken arasındaki korelasyon iki veri setindeki varyasyonun benzer olduğunu göstermektedir. Korelasyon analiziyle kompozit endekste bir değişikliğin ilişki kurulan göstergede bir değişikliğe yol açtığına dair (bunun tersi de geçerlidir) kesin bir kanıya varılamamaktadır. Örneğin Teknoloji Başarı Endeksi ile kişi başına düşen GSYİH arasında yüksek bir korelasyon olması GSYİH'si yüksek olan ülkelerin teknolojiye daha fazla yatırım yapabilecekleri için teknolojik yeterliliklerinin daha fazla olabileceği veya daha yüksek teknolojik yeterliliğe sahip olmanın daha yüksek GSYİH elde edilmesini sağlayabileceği gibi 2 şekilde yorumlanabilir. Korelasyon analizinde nedensellik belirsizliğini korumaktadır. Zaman serileri mevcut ise Granger Nedensellik Analizi gibi daha ayrıntılı ekonometrik analizler kullanılarak nedenselliğin araştırılması önerilmektedir.²²⁹

²²⁸ Arturo Bris, Christos Cabolis, **IMD World Digital Competitiveness Ranking 2018**, IMD World Competitiveness Center, 2018, p.19, (Çevrimiçi), <https://www.imd.org/wcc/world-competitiveness-center-rankings/world-digital-competitiveness-rankings-2018/>, 15.08.2020.

²²⁹ Nardo, Saisana, Saltelli, Tarantola, Hoffmann, Giovannini, **a.g.e.**, pp.39-40.

Bir kompozit endeksin ve/veya bileşenlerinin ilgili diğer göstergelerle ilişkisi kurulduğunda regresyon analizi aracılığıyla ilişkilerin tanımlanması değerli sonuçlara ulaşılmasına temel hazırlayarak veriye dayalı çeşitli anlatılar geliştirilmesini sağlamaktadır.²³⁰ ArCo Teknoloji Yetenek Endeksi (ArCo Technology Capability Index) çalışmasında ülkelerin teknolojik yeteneklerinin ekonomik gelişmesindeki rolü regresyon analiziyle araştırılmaktadır. Çalışmada geliştirilen regresyon modelleriyle ArCo Teknoloji Yetenek Endeksi ile kişi başına düşen GSYİH ile temsil edilen ekonomik büyüme arasındaki ilişkinin analizi yapılmaktadır. Geliştirilen ilk regresyon modelinde 2000 yılı ArCo Teknoloji Yetenek Endeksi'nin kişi başına düşen GSYİH (1999-2001) üzerindeki etkisi test edilmektedir. İkinci regresyon modelinde ise 10 yıllık dinamiği incelemek için 1990 ve 2000 yıllarına ait ArCo Teknoloji Yetenek Endeksi skorlarındaki varyasyonun aynı yıllar için kişi başına düşen GSYİH'deki varyasyon üzerindeki etkisi araştırılmaktadır.²³¹

Aşağıda serpilme diyagramı, korelasyon analizi, regresyon analizi ve/veya çeşitli ekonometrik analizler kullanılarak kompozit endekslerin ve/veya bileşenlerinin basit veya kompozit ilgili diğer göstergelerle ilişkisinin kurulduğu çalışmalara örnekler verilmektedir:

- Avrupa Birliği'ne üye ülkelerin inovasyon performansı, ekonomik kalkınma ve sosyal refahı arasındaki ilişkilerin incelendiği çalışmada ekonomik kalkınmayı ölçmek için kişi başına düşen GSYİH, inovasyon performansını ölçmek için Özet İnovasyon Endeksi ve sosyal refahın ölçülmesi için OECD Daha İyi Yaşam Endeksi kullanılmaktadır. Çalışmada inovasyon performansı, ekonomik kalkınma ve sosyal refah arasındaki ilişkilerin varlığı ve gücü korelasyon analiziyle ölçülmektedir. Ayrıca geliştirilen üç basit regresyon modeliyle bağımlılıkların incelenmesi ve ilişkilerin tanımlanması sağlanmaktadır.²³²

²³⁰ A.e., p.21.

²³¹ Daniele Archibugi, Alberto Coco, "A New Indicator of Technological Capabilities for Developed and Developing Countries (ArCo)", **World Development**, 32(4), 2004, pp.629-654, (Çevrimiçi), <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2003.10.008>, 15.08.2020.

²³² Laszlo Molnar, "Analysis of the Relationship Among Innovation Performance, Economic Development and Social Welfare", **Theory Methodology Practice: Club of Economics in Miskolc**, 11(1), 2015, pp.71-78, (Çevrimiçi), <https://doi.org/10.18096/TMP.2015.01.07>, 15.08.2020.

- Hem girişimciliğin hem de Büyüme Rekabet Edebilirlik Endeksi'nin temsil ettiği bileşenlerin bir ekonominin yapısal özellikleri olduğunun varsayıldığı çalışmada, girişimciliğin Büyüme Rekabet Edebilirlik Endeksi tarafından temsil edilen teknoloji, kamu kurumları ve makroekonomik çerçeve ile birlikte ekonomik büyümenin bir belirleyicisi olarak kabul edilip edilemeyeceği araştırılmaktadır. Çalışmada geliştirilen regresyon modelleriyle 36 ülke için girişimcilik ve Büyüme Rekabet Edebilirlik Endeksi'nin GSYİH artışını sağlayıp sağlamadığı test edilmektedir.²³³
- İnovasyon Endeksi ve alt endekslerinin inovasyon düzeyinin bir ölçüsü olarak kullanıldığı çalışmada yenilikçi çevrenin ekonomik büyüme üzerindeki etkisi incelenmektedir. Geliştirilen regresyon modellerine göre inovasyon düzeyi arttıkça kişi başına düşen GSYİH'nin de arttığı sonucuna ulaşılmaktadır. Çalışmada ayrıca İnovasyon Endeksi'nin Beşeri Sermaye ve Ekonomik Dinamizm alt endekslerinin de ekonomik büyüme üzerindeki etkileri araştırılmıştır.²³⁴
- Ülkelerin ekonomik özgürlük seviyesi ve teknoloji yetenek düzeylerinin işgücü verimliliği üzerindeki etkisinin araştırıldığı çalışmada ülkelerin ekonomik özgürlük seviyesini ölçmek için Dünya Ekonomik Özgürlük Endeksi ve teknoloji yetenek düzeylerini ölçmek için ise ArCo Teknoloji Yetenek Endeksi kullanılmaktadır. Çalışmada geliştirilen regresyon modelleriyle ekonomik özgürlüğün ve teknolojik performansın işgücü verimliliği üzerindeki hem bağımsız hem de ortak etkileri incelenmektedir. Regresyon analizinin sonuçlarına göre ülkelerin teknoloji yetenek seviyelerinin ve ekonomik özgürlük seviyelerinin işçi başına düşen GSYİH ile ölçülen işgücü verimliliği üzerinde pozitif etkileri olduğu tespit edilmektedir.²³⁵
- Teknolojik gelişmenin ekonomik kalkınma üzerindeki etkisinin araştırıldığı çalışmada İnsani Gelişme Endeksi ülkelerin ekonomik kalkınma düzeyinin ve

²³³ Andre Van Stel, Martin Carree, Roy Thurik, "The Effect of Entrepreneurial Activity on National Economic Growth", **Small Business Economics**, 24(3), 2005, pp.311-321.

²³⁴ Oi Lin Cheung, "Impact of Innovative Environment on Economic Growth: An Examination of State Per Capita GDP and Personal Income", **Journal of Business & Economics Research (JBRE)**, 12(3), 2014, pp.257-270.

²³⁵ Koffi N'Da, Ashok Robin, Thomas Tribunella, "Economic Freedom and the Impact of Technology on Productivity", **Journal of Global Information Management (JGIM)**, 17(3), 2009, pp.42-58.

Teknoloji Başarı Endeksi ülkelerin teknolojik gelişme düzeyinin bir ölçüsü olarak kullanılmaktadır. Çalışmada 1995'ten 2015 yılına kadar olan 21 yıllık zaman serisi kullanılarak ülkelerin teknolojik gelişme performansları ile ekonomik kalkınma düzeyleri arasındaki kısa ve uzun vadeli ilişkileri tahmin etmek için Panel Eşbütünleşmesi (Panel Cointegration) uygulanmaktadır. Ayrıca Granger Nedensellik Analizi (Granger Causality Analysis) ile değişkenler arasındaki nedensellik ilişkisi de araştırılmaktadır. Teknolojik gelişmenin ekonomik kalkınma üzerindeki etkisini göstermek amacıyla uygulanan ekonometrik analizlere göre teknolojik gelişme ile ekonomik kalkınma arasında uzun vadeli ilişkilerin olduğu sonucuna varılmaktadır.²³⁶

2.2.10. Kompozit Endeks Sonuçlarının Sunumu ve Görselleştirilmesi

Kompozit endeks sonuçlarının en etkili şekilde değerlendirilmesini ve yorumlanmasını sağlayacak şekilde sunumu ve görselleştirilmesi büyük önem taşımaktadır. Seçilen görselleştirme tekniklerinin kompozit endeks sonuçlarının yorumlanabilirliğini etkilediği veya yorum geliştirmeye yardımcı olduğu göz önüne alınarak uygun görselleştirme teknikleri belirlenmelidir. Kompozit endeks sonuçlarının en etkin şekilde açıklanmasını, değerlendirilmesini ve yorumlanmasını sağlayan sunum araçları ve görselleştirme teknikleri seçilirken kompozit endeks sonuçlarının ulaşılmasının hedeflendiği kitleye uygun sunum araçlarının belirlenmesine ve en fazla bilginin net ve doğru bir şekilde aktarılmasını sağlayan görselleştirme tekniklerinin uygulanmasına dikkat edilmelidir.²³⁷

Kompozit endeks sonuçlarının sunumunun ve görselleştirilmesinin vurgulanmak istenen amaca göre çeşitli yolları vardır. Bunlardan biri her ülke için endeks skorunun ve ülke sıralamasının tablo biçiminde sunulmasıdır. Tablolar basit bir sunum şekli olmakla birlikte ülke performanslarındaki değişiklikleri vurgulamak amacıyla birbirini takip eden yıllar için ülkelerin kompozit endeks skorlarını ve ülke sıralamalarını

²³⁶ Tariq Mahmood Ali, "Technological Achievements and Economic Development: The Significance of Technological Achievement Gap in Selected East and South Asian Countries", *STI Policy Review*, 8(1), 2017, pp.113–156.

²³⁷ Nardo, Saisana, Saltelli, Tarantola, Hoffmann, Giovannini, *a.g.e.*, p.21.

gösterecek şekilde tasarlanabilmektedir. Ayrıca tablolar ülkelerin bulundukları coğrafi konum ve GSYİH seviyesi gibi parametrelere göre oluşturulmuş ülke grupları için hedeflenen bilgileri ve vurgulanmak istenen durumları gösterecek şekilde uyarlanabilmektedir.²³⁸

Küresel Siber Güvenlik Endeksi 2018 çalışmasında kompozit endeks skorları hem bölgesel sıralamaları hem de küresel sıralamaları gösterecek şekilde tablolara sunulmaktadır. Kompozit endeks sonuçlarının bölgesel olarak da tablolaştırılması raporda bölgesel bazda yapılan değerlendirmeleri güçlendirmektedir.²³⁹ 2019 yılı Küresel Rekabet Edebilirlik Endeksi çalışmasında 141 ülkenin kompozit endeks skorları ve ülke sıralamaları ülkelerin 7 bölgeden hangisine dahil oldukları renklerle ayrıştırılacak şekilde tablo ile sunulmaktadır. Bununla birlikte ülke performanslarındaki değişiklikleri vurgulamak amacıyla tabloda, ülkelerin 2018 yılı kompozit endeks skorlarından ve ülke sıralamalarından farkı da gösterilmektedir.²⁴⁰

Kompozit endeks skorunun ve ülke sıralamasının tablo biçiminde basitçe sunulması kapsamlı bir yaklaşım olmakla birlikte çok ayrıntılı olması ve görsel olarak yeterli olmaması durumunda çeşitli karşılaştırmalar yapılması ve yorumlar geliştirilmesi zorlaşmaktadır. Tabloların kompozit endeks skorları ve ülke sıralamaları ile ilgili tüm bilgiyi kapsamaları grafiksel bir sunumla hızlıca ve net bir şekilde vurgulanabilecek önemli noktaları ve birtakım problemleri gizleyebilmektedir. Bu nedenle kompozit endeks sonuçlarının sunulması ve görselleştirilmesi aşamasında tabloların mı, grafiklerin mi yoksa her ikisinin de mi kullanılması gerektiği titizlikle ele alınmalı ve vurgulanmak istenen amaca paralel olarak uygun sunum araçlarına ve görselleştirme tekniklerine karar verilmelidir.²⁴¹

²³⁸ A.e., pp.40-41.

²³⁹ International Telecommunication Union, **Global Cybersecurity Index 2018**, International Telecommunication Union, Geneva, 2019, pp.55-68, (Çevrimiçi), <http://www.itu.int/pub/D-STR-GCI.01-2018>, 05.11.2019.

²⁴⁰ Klaus Schwab, **The Global Competitiveness Report 2019**, World Economic Forum, Geneva, 2019, (Çevrimiçi), http://www3.weforum.org/docs/WEF_TheGlobalCompetitivenessReport2019.pdf, 05.11.2019.

²⁴¹ Nardo, Saisana, Saltelli, Tarantola, Hoffmann, Giovannini, a.g.e., pp.40-41.

Veri grafiklerinin işlevi, küçük istatistiksel tabloların yerine kullanılmaktan çok daha önemlidir. Veri grafikleri nicel bilgiler hakkında akıl yürütmemizi sağlayan araçlardır. İyi tasarlanmış bir veri grafiği istatistiksel bilgiyi analiz etmenin ve sunmanın en basit ve aynı zamanda en etkili yoludur. Genellikle bir dizi sayıyı tanımlamanın, keşfetmenin ve özetlemenin en iyi yolu grafiklerle görselleştirilmesidir.²⁴²

Veri grafikleri kelimelerin, sayıların ve şekillerin uyum içinde kullanılmasını sağlayacak şekilde tasarlanmalıdır. Veri grafikleri açıklama, keşif, tablolama veya dekorasyon gibi hazırlanma amacını net bir şekilde gösterecek şekilde oluşturulmalı, istatistiksel ve sözlü açıklamalarla bütünleşecek ve birbirini tamamlayacak şekilde görselleştirilmelidir. Veri grafikleri kullanıcıyı veri parçaları arasında karşılaştırmalar yapmaya ve yorum geliştirmeye teşvik edecek şekilde dizayn edilmelidir.²⁴³

Kompozit endeks sonuçları sunulurken veri grafiklerinin gücünden yararlanılmalıdır. İyi tasarlanmış bir veri grafiği paragraflarca ifade edilen sonuç cümlelerinden ve yorumlamalardan daha fazla etki yaratabilmektedir. Kompozit endekslerin bileşenlerinin, yapılandırılmasının ve sonuçlarının gerek karar vericilere gerekse kullanıcılara hızlı ve doğru bir şekilde iletilmesi konusunda veri grafikleri daha işlevsel ve daha etkin bir araç vazifesi görmektedir. Kompozit endeks sonuçlarının grafiksel olarak görselleştirilmesi önemli ve hassas noktaların hızlıca ve net bir şekilde gösterilmesini ve vurgulanmasını sağlamaktadır.²⁴⁴

Kompozit endeks skorlarının ve ülke sıralamalarının çubuk grafiği ile gösterilmesi basit ama etkin bir yöntemdir. Ülkelerin düşey eksen ve kompozit endeks skorlarının yatay eksen de gösterildiği bir çubuk grafiğinde genel ortalama bilgisinin de verilmesi ülkelerin genel ortalama göre nasıl bir performans gösterdiğinin belirlenmesini sağlamaktadır. Açık ve anlaşılması kolay bir araç vazifesi gören çubuk grafikleri alt göstergelerin ve bileşenlerin kompozit endeks skoruna katkılarını gösterecek şekilde tasarlanabilmektedir. Çubuk grafiklerinin ülkelerin performans seviyelerini vurgulayacak şekilde renklendirilmesi ve geçmiş yıllara göre performansı artan veya

²⁴² Edward R. Tufte, **The Visual Display of Quantitative Information**, Second Edition, Graphics Press, Connecticut, USA, 2001, p.7.

²⁴³ **A.e.**, p.13.

²⁴⁴ Nardo, Saisana, Saltelli, Tarantola, Hoffmann, Giovannini, **a.g.e.**, pp.40-43.

azalan ülkeleri tanımlayacak şekilde görselleştirilmesi kompozit endeks sonuçlarının gerek karar vericilere gerekse kullanıcılara hızlı ve doğru bir şekilde iletilmesi konusunda daha işlevsel ve daha etkin bir araç vazifesi görmelerini sağlamaktadır.²⁴⁵ 2019 yılı Dünya Dijital Rekabet Edebilirlik Sıralaması çalışmasında 63 ülkenin kompozit endeks skorları ve ülke sıralamaları çubuk grafiği ile sunulmaktadır. Ülke performanslarındaki değişiklikleri vurgulamak amacıyla şekilde bir önceki yıla ait ülke sıralamaları parantez içinde gösterilmektedir.²⁴⁶

Çizgi grafikleri kompozit endeks skorlarının görselleştirilmesinde farklı renk ve sembollerle desteklenerek bir kompozit endeksin veya bileşenlerinin zaman içindeki değişikliklerini göstermek amacıyla kullanılabilir. ²⁴⁷ Avrupa Komisyonu tarafından hazırlanan 2017 yılı Avrupa İnovasyon Skor Tablosu çalışmasında inovasyon kabiliyetlerine göre oluşturulmuş 4 ülke grubunun 2010 ile 2016 yılları arasındaki performans değişikliklerinin çizgi grafiği ile gösterilmesi raporda yapılan değerlendirmeleri güçlendirmektedir.²⁴⁸

Yukarıda bahsedilenlerin dışında vurgulanmak istenen amaca göre tasarlanmış çok çeşitli sunum araçları ve görselleştirme teknikleri bulunmaktadır. Örneğin ülkelerin performans seviyelerine göre renklendirilen haritalar (heat map) hızlıca ve net bir şekilde çok sayıda ülkenin performanslarının karşılaştırılmasını sağlamaktadır.²⁴⁹ Avrupa Komisyonu tarafından hazırlanan 2017 yılı Avrupa İnovasyon Skor Tablosu çalışmasında trend diyagramı (trend diagram) ile 2010 ve 2016 yılları arasındaki değerlere dayanarak ülkelerin inovasyon performansındaki değişim ile inovasyon performans seviyeleri arasındaki ilişki incelenmektedir.²⁵⁰

²⁴⁵ Nardo, Saisana, Saltelli, Tarantola, **a.g.e.**, p.104.

²⁴⁶ Arturo Bris, Christos Cabolis, **IMD World Digital Competitiveness Ranking 2019**, IMD World Competitiveness Center, 2019, pp.26-35, (Çevrimiçi), <https://www.imd.org/wcc/world-competitiveness-center-rankings/world-digital-competitiveness-rankings-2019/>, 15.08.2020.

²⁴⁷ Nardo, Saisana, Saltelli, Tarantola, Hoffmann, Giovannini, **a.g.e.**, pp.42-43.

²⁴⁸ Hugo Hollanders, Nordine Es-Sadki, **European Innovation Scoreboard 2017**, European Union, 2017, pp.17-18, (Çevrimiçi), <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/24829>, 15.03.2020.

²⁴⁹ International Telecommunication Union, **Global Cybersecurity Index 2018**, p.13.

²⁵⁰ Hollanders, Es-Sadki, **a.g.e.**, p.16.

2.3. Veri Zarflama Analizi Tabanlı Şüphenin Lehte Kullanılması Yaklaşımı Ağırlıklandırma Yöntemi

Çalışmada uygulama bölümünde ülkelerin yapay zeka teknolojilerini alımı, kullanımı, uygulaması ve geliştirmesi konusunda yetenek, kapasite ve potansiyelinin ölçülmesi amacıyla Yapay Zeka Endeksi geliştirilmektedir. Yapay Zeka Endeksi alt göstergelerinin ağırlıklandırılmasında Veri Zarflama Analizi tabanlı Şüphenin Lehte Kullanılması Yaklaşımı ağırlıklandırma yöntemi uygulanmaktadır. Bu bölümde Veri Zarflama Analizi tabanlı Şüphenin Lehte Kullanılması Yaklaşımı ağırlıklandırma yönteminin yapılandırılması, kompozit endeks geliştirilmesinde sağladığı avantajlar ve metodolojisi ayrıntılı bir şekilde ele alınmaktadır. Bununla birlikte birimlerin değişmezliği özelliği, alt gösterge payları ve alt gösterge payı kısıtlamaları da yöntemin kompozit endeks geliştirilmesinde sağladığı avantajlar vurgulanarak detaylı bir şekilde anlatılmaktadır.

2.3.1. Veri Zarflama Analizi Tabanlı Şüphenin Lehte Kullanılması Yaklaşımı Ağırlıklandırma Yönteminin Yapılandırılması

Veri Zarflama Analizi (Data Envelopment Analysis) Farrell'in (1957) ortaya koyduğu görelî teknik etkinlik tanımının²⁵¹ geliştirilmesiyle ilk defa Charnes, Cooper ve Rhodes (1978) tarafından kullanılmıştır. Çoklu girdi ve çoklu çıktı ortamında analize imkan tanıyan Veri Zarflama Analizi (VZA) benzer yapıdaki karar verme birimlerinin görelî etkinliklerini ölçmeyi amaçlayan doğrusal programlama tabanlı parametrik olmayan bir etkinlik ölçme yöntemidir. VZA ile her bir karar verme biriminin görelî etkinliğinin bir skaler ölçüsüyle birlikte gözlemsel verilere istinaden objektif olarak çoklu girdi ve çoklu çıktılar için ağırlıkların belirlenmesi de sağlanmaktadır. Charnes, Cooper ve Rhodes tarafından önerilen yöntemle göre benzer karar verme birimlerinin görelî etkinliklerinin ölçülmesi, ağırlıklı çıktılarının ağırlıklı girdilere oranının 1'e eşit veya

²⁵¹ M. J. Farrell, "The Measurement of Productive Efficiency", *Journal of the Royal Statistical Society: Series A (General)*, 120(3), 1957, pp.253-281.

1'den az olması koşuluyla maksimum değerinin hesaplanmasıyla elde edilmektedir.²⁵²

VZA, performansları karşılaştırılacak olan benzer yapıdaki karar verme birimlerine ait girdi ve çıktı değişkenleri farklı ölçüm birimlerinde olduğunda analize imkan tanımaktadır. VZA'ya dahil edilecek olan karar verme birimleri aynı girdi değişkenlerini kullanarak aynı çıktı değişkenlerinin elde edildiği homojen bir yapıda olmalıdır.²⁵³

VZA'da karar verme birimlerinin göreceli etkinliği, girdi ve çıktılarına dair a priori ağırlık seçimlerine (önsel ağırlıkların belirlenmesine) veya çoklu girdiler ve çıktılar arasındaki ilişkilerin belirli bir fonksiyonel formda olmasına ihtiyaç duyulmadan hesaplanmaktadır.²⁵⁴ VZA'da girdi ve çıktılarına dair ağırlıklar herhangi bir a priori varsayıma veya hesaplama gerektirilmeksizin doğrudan veriden elde edilmektedir. Bununla birlikte VZA'da çoklu girdiler ve çıktılar arasındaki fonksiyonel ilişkilerin belirlenmesi ve daha da önemlisi bu ilişkilerin her karar verme birimi için aynı olması gerekmektedir.²⁵⁵

Kompozit endeks oluşturmak amacıyla VZA'dan uyarlanan ağırlıklandırma yöntemi Şüphenin Lehte Kullanılması Yaklaşımı (Benefit of the Doubt Approach) olarak adlandırılmaktadır. VZA'nın bir uygulaması olan bu yöntemle alt göstergelerin ağırlıklandırılmasının yanında toplulaştırılması da sağlanarak kompozit endeks skoru elde edilmektedir.²⁵⁶ VZA, çeşitli girdilerle birden çok sayıda çıktı üretildiğinde ve girdi ya da çıktıları anlamlı bir üretim etkinlik endeksinde toplamının belirgin bir nesnel yolu olmadığında başka bir ifadeyle çoklu girdiler ve çıktılar arasındaki ilişkilerin fonksiyonel formuna dair bir bilgi olmadığında benzer yapıdaki karar verme birimlerinin göreceli etkinliğini ölçmek üzere tasarlanmıştır. VZA ile alt göstergelere ait ağırlıkların kesin bilgisinin olmadığı kompozit endeks oluşturulması arasındaki bu

²⁵² A. Charnes, W.W. Cooper, E. Rhodes, "Measuring the Efficiency of Decision Making Units", **European Journal of Operational Research**, 2(6), 1978, pp.429-444.

²⁵³ B. Golany, Y. Roll, "An Application Procedure for DEA", **Omega**, 17(3), 1989, p.239.

²⁵⁴ A. Charnes, W.W. Cooper, "Preface to Topics in Data Envelopment Analysis", **Annals of Operations Research**, 2, 1985, p.60.

²⁵⁵ William W. Cooper, Lawrence M. Seiford, Kaoru Tone, **Data Envelopment Analysis: A Comprehensive Text with Models, Applications, References and DEA-Solver Software**, Second Edition, Springer Science & Business Media, New York, USA, 2007, p.13.

²⁵⁶ Nardo, Saisana, Saltelli, Tarantola, Hoffmann, Giovannini, **a.g.e.**, pp.92-94.

kavramsal benzerlik Şüphenin Lehte Kullanılması Yaklaşımı'nın (ŞLKY) başlangıç noktasını oluşturmaktadır.²⁵⁷

VZA'dan ilham alınarak geliştirilen ŞLKY ağırlıklandırma yöntemi, ilk defa ülkelerin makroekonomik performansını değerlendirmek amacıyla Melyn ve Moesen (1991) tarafından kullanılmıştır. Performans değerlendirilmesi yapılacak kavrama ilişkin alt göstergelerin belirlendiği ancak ağırlıklandırma şeması hakkında yeterli bilginin olmadığı durumlarda ülkelerin nispeten daha iyi performans gösterdiği göstergelere daha fazla ağırlık atayan bu matematiksel ağırlıklandırma tekniği ile her ülke için performanslarını maksimize eden farklı ağırlıklar kümesi elde edilmektedir. VZA'nın uyarlanmasıyla geliştirilen veriye dayalı (data-driven) ağırlıklandırma yöntemi ŞLKY, performans (etkinliği) ölçülecek kavrama ilişkin politika belirleyicilerin hedefleri ve tercihleri hakkında yeterli ve sistematik bilginin bulunmadığı durumlarda ülkelerin (benzer karar verme birimlerinin) performanslarını ölçmek için kompozit endeks geliştirmek amacıyla kullanılmıştır.²⁵⁸ Bu metodolojinin isminin ŞLKY olarak verilmesinin sebebi VZA'nın dikkat çekici özelliklerinden biri olan çoklu girdilere ve çıktılara ait uygun ağırlıkların doğrudan gözlenen veriden elde edilmesinden yani endojen (içsel) ağırlıklandırma özelliğinden kaynaklanmaktadır.²⁵⁹ Çünkü performans değerlendirilmesi yapılacak kavrama ilişkin uygun bir ağırlıklandırma şeması üzerinde fikir birliği bulunmaması, dolayısıyla belirsizlik veya şüphenin olması veri odaklı (data-oriented) bir yaklaşımla ülkelerin nispeten daha iyi performans gösterdiği göstergelere daha fazla ağırlık yüklenerek her ülke için en yüksek endeks değerini veren ağırlıkların elde edilmesiyle sonuçlanmaktadır.²⁶⁰

ŞLKY ağırlıklandırma yönteminde ülkelerin performanslarının karşılaştırılması için uygun ağırlıklandırma şemasının doğrudan ülkelerin gözlenen verilerinden elde edildiği endojen ağırlıklandırma yöntemiyle her ülke için performanslarını maksimize

²⁵⁷ Laurens Cherchye, Willem Moesen, Nicky Rogge, Tom Van Puyenbroeck, "An Introduction to 'Benefit of the Doubt' Composite Indicators", **Social Indicators Research**, 82(1), 2007, pp.116-117.

²⁵⁸ Wim Melyn, Wim Moesen, "Towards a Synthetic Indicator of Macroeconomic Performance: Unequal Weighting When Limited Information is Available", **Public Economic Research Paper 17**, CES, KU Leuven, 1991, pp.1-24.

²⁵⁹ Kristof De Witte, Nicky Rogge, "To publish or not to publish? On the aggregation and drivers of research performance", **Scientometrics**, 85(3), 2010, p.664.

²⁶⁰ Cherchye, Moesen, Rogge, Van Puyenbroeck, **a.g.e.**, p.117.

eden ülkelere özgü ağırlıklar kümesi, ülkenin diğer ülkelere göre nispeten daha iyi performans gösterdiği göstergelere daha fazla ağırlık yüklenerek elde edilmektedir. Bunun altında yatan kavramsal gerekçenin bir ülkenin belirli bir gösterge boyutunda diğer ülkelere göre daha iyi bir göreceli performans göstermesinin, ülkenin bu politika boyutunu daha önemli gördüğünün göstergesi olduğu kabul edilmektedir.²⁶¹ Başka bir deyişle ülkelerin bir gösterge boyutunda, diğer ülkelere göre daha iyi bir performansa sahip olması, ülkenin o gösterge boyutuna nispeten daha yüksek politika önceliği verdiğini göstermektedir.²⁶²

VZA, parametrik olmayan bir model olduğu için performansı ölçülen kavramın altında yatan üretim fonksiyonu hakkında herhangi bir a priori bilgiye (önsel bilgi) ihtiyaç duymamaktadır. VZA'nın parametrik olmayan bir model olması genellikle altta yatan yapı hakkında nesnel bilgilerin eksik olduğu karmaşık kavramların değerlendirilmesinde önemli bir özelliktir. VZA'nın bu özelliğinden dolayı VZA tabanlı ŞLKY, benzer karar verme birimleri için performans değerlendirilmesi yapılan kavrama ilişkin alt göstergelerin bilgisinin olduğu ancak ağırlıklandırılmaları hakkında herhangi bir a priori bilginin olmadığı durumlarda kompozit endeks oluşturmak amacıyla kullanılabilir. ŞLKY'nin VZA'dan tek farkı, benzer karar verme birimlerinin belirli bir konudaki performansına dair kompozit endeks geliştirebilmesi için ŞLKY metodolojisinin sadece çok boyutlu kavram ile ilgili alt göstergelerin yani çıktı boyutunun dikkate alınmasını gerektirmesidir. Dolayısıyla ŞLKY ile girdi boyutu dikkate alınmadan sadece çıktı boyutu kullanılarak performans değerlendirilmesi yapılmaktadır.²⁶³

VZA tabanlı ŞLKY ağırlıklandırma yöntemi kullanılarak geliştirilen çok sayıda kompozit endeks çalışması bulunmaktadır. Örneğin ülkelerin sağlık sistemlerinin etkinliğinin değerlendirildiği²⁶⁴, üniversitelerin araştırma performanslarının

²⁶¹ De Witte, Rogge, **a.g.e.**, pp.664-665.

²⁶² Cherchye, Moesen, Rogge, Van Puyenbroeck, **a.g.e.**, p.119.

²⁶³ De Witte, Rogge, **a.g.e.**, p.664.

²⁶⁴ Jonathan Cylus, Irene Papanicolas, Peter C. Smith, "Using Data Envelopment Analysis to Address the Challenges of Comparing Health System Efficiency", **Global Policy**, 8(s2), 2017, pp.60-68.

ölçüldüğü²⁶⁵, belediyelerin yaşam kalitesinin karşılaştırıldığı²⁶⁶, ülkelerin sürdürülebilir enerji gelişiminin modellendiği²⁶⁷ ve ülkelerin bilgi ve iletişim teknolojilerine erişme ve bunları kullanma konusundaki yeteneklerinin ölçüldüğü²⁶⁸ çalışmalar bunlardan bazılarıdır. Bununla birlikte Avrupa Komisyonu tarafından geliştirilen kompozit endeks çalışmasında üye devletlerin Lizbon hedeflerine ulaşma yolundaki performansları ŞLKY ağırlıklandırma yöntemi ile değerlendirilmiştir.²⁶⁹

Aşağıda VZA tabanlı ŞLKY ağırlıklandırma yöntemi kullanılarak geliştirilen bazı kompozit endeks çalışmalarına yöntemin sağladığı avantajlar ve/veya tercih edilme sebepleri açıklanarak örnekler verilmektedir:

- Teknoloji Başarı Endeksi çalışmasında VZA tabanlı ŞLKY ağırlıklandırma yönteminin gerek alt göstergelerin normalize edilmesi gerekse üzerinde mutabık kalınan bir ağırlıklandırma şeması hakkında herhangi bir a priori bilgiye ihtiyaç duymadığından kompozit endeks skorlarının öznelliğinin sorgulandığı önemli birçok eleştirinin üstesinden gelinmesine yardımcı olduğu açıklanmaktadır. Bununla birlikte ŞLKY'nin sağladığı endojen ağırlıklandırma ile her ülke için performanslarını maksimize eden ülkelere özgü ağırlıklar kümesinin elde edilmesinin ağırlıklandırma setinin güvenilirliğine ve objektifliğine olumlu katkı sağladığı ifade edilmektedir. Çalışmada ŞLKY'nin bu özelliğinin ağırlıklandırma setinin ve kompozit endeks skorlarının ulusal paydaşlar tarafından kabul edilmesini teşvik ettiği belirtilmektedir. Ayrıca ŞLKY'nin ülkelere özgü politika önceliklerinin ortaya çıkarılmasını sağladığı da ifade edilmektedir.²⁷⁰

²⁶⁵ Andrzej Szuwarzynski, "Benefit of the doubt approach to assessing the research performance of Australian universities", **Higher Education Quarterly**, 73(2), 2019, pp.235-250.

²⁶⁶ Gonzalez, Carcaba, Ventura, **a.g.e.**, pp.1157-1182.

²⁶⁷ Zhou, Ang, Poh, **a.g.e.**, pp.291-297.

²⁶⁸ Hassen Gaaloul, Soulef Khalfallah, "Application of the "Benefit-Of-the-Doubt" Approach for the Construction of a Digital Access Indicator: A Revaluation of the "Digital Access Index"", **Social Indicators Research**, 118(1), 2014, pp.45-56.

²⁶⁹ European Commission, **The EU Economy Review 2004, European Economy**, No:6, Office for Official Publications of the EC, Luxembourg, 2004, pp.376-378, (Çevrimiçi), https://ec.europa.eu/economy_finance/publications/pages/publication451_en.pdf, 15.08.2020.

²⁷⁰ Cherchye, Moesen, Rogge, Van Puyenbroeck, Saisana, Saltelli, Liska, Tarantola, **a.g.e.**, pp.239-242.

- Ülkelerin sürdürülebilir kalkınma performanslarını ölçmek amacıyla geliştirilen kompozit endeks çalışmasında köklü kuruluşlar ve/veya uzman ekipler tarafından geliştirilen mevcut 14 sürdürülebilir kalkınma ile ilgili endeksler VZA tabanlı ŞLKY ile ağırlıklandırılarak meta endeks oluşturulmaktadır. Bu ağırlıklandırma yöntemi, ülkelerin nispeten iyi performans gösterdikleri sürdürülebilir kalkınma yönlerinin vurgulanmasına ve politika önceliklerinin belirlenmesine olanak tanımaktadır. Çalışmada sürdürülebilir kalkınma ile ilgili endekslerin ağırlıklandırılması için a priori ağırlıklandırma şemasının olmamasından dolayı, değerlendirilen ülkenin nispeten iyi performans gösterdiği endekslere daha fazla ağırlık verilerek her ülke için en yüksek meta endeks değerini veren ağırlıklar endojen olarak belirlenmektedir.²⁷¹
- Avrupa Birliği'ne üye ülkelerin sosyal içerme konusundaki performanslarını ölçmek amacıyla geliştirilen kompozit endeks çalışmasında bir dizi ilgili performans göstergesi için genel olarak kabul edilebilir a priori ağırlıklandırma şemasının belirlenmesinin çok zor olmasından dolayı VZA tabanlı ŞLKY ağırlıklandırma yöntemi ile sosyal içerme ile ilgili göstergeler ülkelerin politika önceliklerini yansıtacak şekilde ağırlıklandırılarak kompozit endeks oluşturulmaktadır.²⁷²
- Avrupa Birliği iç pazar etkilerinin dinamik performansının değerlendirildiği kompozit endeks çalışmasında VZA tabanlı ŞLKY ağırlıklandırma yöntemi mevcut olan uzman görüşleri ek ağırlık kısıtlamalarıyla değerlendirmeye dahil edilerek uygulanmaktadır. Geniş bir bilgi yelpazesine sahip uzmanların belirli bir ağırlıklandırma şeması üzerinde mutabık olmaları çok zor olmakla birlikte göstergelere/kategorilere atanan ağırlıkların sınırları üzerinde anlaşmaya varmaları daha muhtemeldir. Çalışmada bu yaklaşımla uzman görüşleri dikkate alınarak ŞLKY metodolojisine ilave edilen kısıtlarla endeks kategorilerine atanan ağırlıklar sınırlandırılmaktadır.²⁷³

²⁷¹ Cherchye, Kuosmanen, **a.g.e.**, pp.1-5.

²⁷² Laurens Cherchye, Wim Moesen, Tom Van Puyenbroeck, "Legitimately diverse, yet comparable: on synthesizing social inclusion performance in the EU", **Journal of Common Market Studies (JCMS)**, 42(5), 2004, p.927.

²⁷³ Laurens Cherchye, C.A. Knox Lovell, Wim Moesen, Tom Van Puyenbroeck, "One market, one number? A composite indicator assessment of EU internal market dynamics", **European Economic Review**, 51(3), 2007, pp.749-779.

- Araştırmacıların performanslarının değerlendirilmesi amacıyla geliştirilen kompozit endeks çalışmasında çok boyutlu araştırma çıktılarının ağırlıklandırılması ve toplulaştırılması için VZA tabanlı ŞLKY'nin kullanılmasıyla araştırmacılara ait çeşitli çıktı boyutları endojen olarak ağırlıklandırılarak araştırma çıktısındaki büyük heterojenliğin ve bireysel araştırmacı tercihlerinin ortaya çıkarılması mümkün olmaktadır. ŞLKY ağırlıklandırma yönteminin kullanılması ölçüm hatalarının etkisinin azaltılmasını, farklı araştırma çıktılarının ağırlıklandırılmasının araştırmacıya özgü ve esnek olmasını sağlamaktadır. Böylelikle elde edilen kompozit endeks skoruyla araştırmacının performansının daha etkili bir temsili elde edilmektedir. Bununla birlikte ŞLKY metodolojisine ilave edilen ek ağırlık kısıtlamalarıyla araştırmacılar, öğretim üyeleri ve uzmanlar gibi paydaş görüşlerinin de dikkate alınması daha güvenilir ve geniş çevrelerce kabul gören değerlendirme sonuçları elde edilmesini sağlamaktadır.²⁷⁴

2.3.2. Veri Zarflama Analizi Tabanlı Şüphenin Lehte Kullanılması Yaklaşımı Ağırlıklandırma Yönteminin Sağladığı Avantajlar

Kompozit endekslerin oluşturulması alt göstergelerin seçilmesi, eksik verilerin tamamlanması, alt göstergelerin normalize edilmesi, alt göstergelerin ağırlıklandırılması ve toplulaştırılması gibi öznel kararların verilmesi gereken aşamaları içermektedir. Taşıdığı öznellikten dolayı kompozit endekslerin sonuçları ilgili çevreler (uzmanlar ve paydaşlar) tarafından tartışılmakta ve güvenilirliği konusunda eleştirilere maruz kalabilmektedir. Alt göstergelerin normalize edilmesi veya üzerinde mutabık kalınan belirli bir ağırlıklandırma şeması hakkında herhangi bir a priori bilgiye ihtiyaç duymadığı için VZA'nın kompozit endeks oluşturulmasında kullanılması bu tür tartışmaların üstesinden gelinmesine yardımcı olmaktadır.²⁷⁵

Kompozit endekslerin öznellik kaynaklarından birisi alt göstergelere uygulanan çeşitli normalizasyon teknikleridir. Kompozit endeks sonuçlarının alt göstergelerin

²⁷⁴ De Witte, Rogge, **a.g.e.**, pp.657-680.

²⁷⁵ Cherchye, Moesen, Rogge, Van Puyenbroeck, Saisana, Saltelli, Liska, Tarantola, **a.g.e.**, p.239.

normalizasyon prosedürlerine bağımlılığı eleştirilmektedir. Bununla birlikte uygulanan normalizasyon tekniklerinden kaynaklı olarak ülke sıralamalarının değişmesi durumunda kompozit endeksin anlamlı olmadığı belirtilmektedir. Anlamlı bir kompozit endeksin oluşturulması ülke sıralamalarının alt göstergelere uygulanan dönüşümlere bağlı olarak değişmemesini gerektirmektedir.²⁷⁶ Özellikle belirli bir normalizasyon prosedürü nedeniyle kompozit endeks skoru daha düşük olan ülkeler tarafından, normalizasyon tekniklerine bağımlılığından dolayı kompozit endeksin güvenilirliği ve kullanımı sorgulanmaktadır. Kompozit endeks geliştirilmesinde verilerin normalize edilmesi gerekliliğinin olmaması bu bağımlılığı ve dolayısıyla önemli birçok eleştiriyi ortadan kaldırmaktadır.²⁷⁷

VZA'nın birimlerin değişmezliği (units invariance) özelliğinden dolayı ŞLKY ağırlıklandırma yöntemi ile kompozit endeks geliştirilmesi normalizasyon aşamasını gereksiz kılmaktadır.²⁷⁸ VZA'nın dolayısıyla ŞLKY ağırlıklandırma yönteminin birimlerin değişmezliği özelliği, kompozit endeks skorlarının alt göstergelerin ölçüm birimlerinden bağımsız olmasını sağlamaktadır. Çünkü VZA'nın kompozit endeks geliştirilmesinde kullanılmasıyla endojen olarak belirlenen alt göstergelerin ağırlıkları, alt göstergelerin ölçüm birimlerine adapte olabilmektedir.²⁷⁹ Kompozit endeks skorlarının alt göstergelerin ölçüm birimlerinden bağımsız olması ve böylelikle alt göstergelerin normalize edilmesi ihtiyacının olmaması elde edilen kompozit endeks skorlarının öznelliğinin ve güvenilirliğinin sorgulandığı önemli birçok eleştiriyi ortadan kaldırmaktadır.²⁸⁰

Kompozit endekslerin öznellik kaynaklarından bir diğeri ise göstergelere atanan ağırlıkların belirlenmesinde kullanılan farklı ağırlıklandırma teknikleridir. VZA tabanlı ŞLKY ağırlıklandırma yöntemi, her ülke için her boyutta gözlenen performansa bağlı olarak ülkelerin endeks skorlarını (bütünleşik performanslarını) maksimum yapan ülkelere özgü optimal ağırlıkları belirleyerek ve böylelikle diğer ülkelere göre en uygun sırasını ortaya koyarak haksız bir ağırlıklandırma şemasının

²⁷⁶ Ebert, Welsch, **a.g.e.**, p.274.

²⁷⁷ Cherchye, Moesen, Rogge, Van Puyenbroeck, **a.g.e.**, p.114.

²⁷⁸ Cherchye, Moesen, Rogge, Van Puyenbroeck, Saisana, Saltelli, Liska, Tarantola, **a.g.e.**, p.241.

²⁷⁹ Cherchye, Moesen, Rogge, Van Puyenbroeck, **a.g.e.**, pp.121-122.

²⁸⁰ **A.e.**, p.116.

kullanıldığı iddialarının tamamıyla önünü kapamaktadır. ŞLKY ağırlıklandırma yöntemi ile belirlenen ağırlıklandırma seti dışındaki herhangi bir ağırlık profilinin ülkelerin diğer ülkeler karşısındaki konumlarını kötüleştirecek olması politika yapıcılar için yöntemin çekiciliğini artırmaktadır.²⁸¹

Performans değerlendirilmesi yapılacak kavrama ilişkin uygun bir ağırlıklandırma şeması hakkında yeterli bilginin olmaması, üzerinde fikir birliği bulunmaması, belirsizlik veya şüphenin olması göz önüne alınarak böyle veri odaklı bir ağırlıklandırma yöntemi ile ülkelerin nispeten daha iyi performans gösterdiği göstergelere daha fazla ağırlık yüklenerek her ülke için diğer ülkelere göre mümkün olan en yüksek endeks değerini veren ağırlıkların elde edilmesiyle öznel ve haksız bir ağırlıklandırma seti kullanıldığına dair eleştiri ve suçlamaların yapılması engellenerek, ağırlıklandırma setinin güvenilirliğine ve objektifliğine olumlu katkı sağlanmaktadır.²⁸²

Çeşitli çok boyutlu kavramlarda ülkelerin performans değerlendirilmesi yapılırken göstergelerin ağırlıklandırılmasında en basit şekliyle ilgili göstergelerin her birine eşit ağırlıkların verildiği eşit ağırlıklandırma (equal weighting) veya tüm ülkeler için ilgili göstergelere aynı ağırlıkların uygulandığı sabit ağırlıklandırma (fixed weighting) ile önceden belirlenmiş ağırlıklandırma şemaları kullanılabilir. Ancak gösterge ağırlıklarının ulusal politika önceliklerine duyarlı olması gerektiği ve ülkelerin farklı politika önceliklerine sahip olduğu yaklaşımı benimsendiğinde her ülkenin her göstergesine eşit ağırlıkların verilmesi veya her ülke için aynı ağırlıklandırma şemasının kullanılması pek mümkün olmamaktadır.²⁸³

Ülkelerin çok boyutlu bir kavrama dair performansları ölçülürken göstergelerin ağırlıklandırılması ülkeler arasında ve zaman içinde, belirlenen hedeflere göre değişiklik gösterebilecek şekilde yapılandırılmalıdır. Aksi durum ülkelerin belirli bir boyuttaki başarı hedefinin cezalandırılması olacaktır. Ağırlıkların tüm göstergeler için eşit olması, her ülke için ve tüm zamanlarda aynı ağırlıklandırma şemasının

²⁸¹ Cherchye, Moesen, Van Puyenbroeck, **a.g.e.**, p.930.

²⁸² De Witte, Rogge, **a.g.e.**, pp.658-662.

²⁸³ Cherchye, Moesen, Van Puyenbroeck, **a.g.e.**, p.930.

kullanılması ülkelerin performanslarını geliştirmeleri açısından kısıtlayıcı bir yaklaşımdır.²⁸⁴

Performansı ölçülen kavram ile ilgili geniş bir bilgi yelpazesine sahip uzmanlar arasında bile belirli bir ağırlıklandırma şeması üzerinde uzlaşıya varılmasının pek mümkün olmadığı belirtilmektedir. Ayrıca pratik anlamda tüm ülkeler için belirli ve ortak bir ağırlıklandırma şemasının belirlenmesi çok zor olmakla birlikte, tüm ülkeler için ortak bir ağırlıklandırma seti uygulanmasının yanlış olabileceği de vurgulanmaktadır.²⁸⁵ Bu nedenlerden dolayı tüm ülkeler için belirli ve ortak bir ağırlıklandırma şeması kullanılması yerine ülkelerin gözlenen performanslarından yola çıkılarak ülkelere özgü optimal ağırlıkların yapılandırıldığı veri odaklı ŞLKY ağırlıklandırma yönteminin uygulanması ihtiyacı oluşmaktadır.

VZA tabanlı ŞLKY ağırlıklandırma yöntemi ile gözlenen performanstan yola çıkılarak ülkelere özgü örtük politika ağırlıkları yapılandırılmaktadır. ŞLKY'nin performans değerlendirme modeline göre endojen olarak belirlenen her bir boyuta atanan nispi ağırlık, değerlendirilen ülke için ilgili boyutun göreceli performansını yansıtmaktadır. Belirli bir boyuttaki daha iyi göreceli performans, bu boyuta verilen yüksek ulusal politika önceliğinin açık kanıtı olarak görülmektedir. Sonuç olarak ŞLKY ağırlıklandırma yöntemi ile her bir boyutta gözlenen performansa bağlı olarak, değerlendirilen her ülke için örtük göreceli politika ağırlıklarını (implicit relative policy weights) belirlemek dolayısıyla politika önceliklerini yani optimum öncelik sırasını ortaya koymak mümkün olmaktadır.²⁸⁶

VZA tabanlı ŞLKY ağırlıklandırma yönteminin bir diğer avantajı ise uygun ağırlıklar hakkında mevcut olan uzman görüşlerinin ek ağırlık kısıtlamalarıyla (additional weight restrictions) değerlendirmeye dahil edilmesine uygun bir metodolojiye sahip olmasıdır. Uygun bir ağırlıklandırma şemasının oluşturulmasını sağlamak için performansı değerlendirilen kavram hakkında geniş bir bilgi yelpazesine sahip olan

²⁸⁴ C. A. Knox Lovell, Jesus T. Pastor, Judi A. Turner, "Measuring macroeconomic performance in the OECD: A comparison of European and non-European countries", **European Journal of Operational Research**, 87(3), 1995, p.508.

²⁸⁵ Cherchye, Moesen, Van Puyenbroeck, **a.g.e.**, p.926.

²⁸⁶ **A.e.**, p.930.

uzman görüşlerinin de dikkate alınması ve analize dahil edilmesi kompozit endeksin güvenilirliği ve kabulü için esastır.²⁸⁷

Foster ve Sen (1997) çalışmalarında her ülke için geçerli olan tek bir ağırlıklandırma setini elde etme olasılığı çok düşük olsa da, birçok durumda üzerinde mutabık kalınan kararlar (agreed judgments) vermek için böyle bir ağırlıklandırma setinin gerekli olmadığını belirtmektedir.²⁸⁸ Bu yaklaşımdan hareketle uzmanların belirli bir ağırlıklandırma şeması üzerinde mutabık olmaları çok zor olmakla birlikte ağırlıkların sınırları (weight bounds) ve ağırlık kısıtlamaları (weight restrictions) üzerinde anlaşmaya varmalarının daha muhtemel olduğunu söylemek mümkündür.²⁸⁹

ŞLKY ağırlıklandırma yöntemi, performansı ölçülecek kavram ile ilgili uzman görüşleri mevcut olduğunda ancak uzmanlar arasında uygun ağırlıklandırma şeması üzerinde uzlaşa sağlanamadığında ek ağırlık kısıtlamalarıyla üzerinde mutabık kalınan kararların değerlendirmeye dahil edilmesine uygun bir metodolojiye sahiptir. Metodolojisinin buna izin vermesi ŞLKY ağırlıklandırma yönteminin daha kaliteli, daha güvenilir ve daha geniş çevrelerce kabul gören kompozit endeks geliştirilmesine olanak sağlamasıyla en güçlü olduğu özelliğidir.²⁹⁰

Bu bölümde VZA tabanlı ŞLKY ağırlıklandırma yönteminin kompozit endeks geliştirilmesinde sağladığı avantajlar gerekçelendirilerek anlatılmıştır. Kompozit endeks oluşturulurken alt göstergelerin normalize edilmesi gerekliliğini ortadan kaldıran VZA'nın dolayısıyla ŞLKY ağırlıklandırma yönteminin birimlerin değişmezliği özelliği ve ŞLKY ağırlıklandırma yönteminin metodolojisine ek ağırlık kısıtlamalarının dahil edilmesinin gerekçeleri ve yöntemleri aşağıdaki bölümlerde ayrıntılı olarak anlatılmaktadır.

²⁸⁷ De Witte, Rogge, **a.g.e.**, p.662.

²⁸⁸ James Foster, Amartya Sen, **On Economic Inequality**, 2nd expanded edition, Clarendon Press, Oxford, 1997, p.206.

²⁸⁹ Cherchye, Lovell, Moesen, Van Puyenbroeck, **a.g.e.**, pp.766-767.

²⁹⁰ Cherchye, Moesen, Rogge, Van Puyenbroeck, **a.g.e.**, p.126.

2.3.3. Veri Zarflama Analizi Tabanlı Şüphenin Lehte Kullanılması Yaklaşımı Ağırlıklandırma Yönteminin Metodolojisi

Çalışmada VZA tabanlı ŞLKY ağırlıklandırma yönteminin metodolojisi “Kompozit Endeks Oluşturma El Kitabı: Metodoloji ve Kullanıcı Kılavuzu”²⁹¹ ve Cherchye ve arkadaşlarının çalışması²⁹² esas alınarak yapılandırılmaktadır. Metodoloji, yöntemin özelliklerinin ve sahip olduğu avantajların daha iyi kavranması açısından adım adım şekillendirilmektedir.

Kompozit endeks oluşturulmasının nihai amacı, bir ülkenin performansını bulunduğu örneklemdaki diğer ülkelerin performanslarıyla ve/veya örneklem dışındaki ölçüt (benchmark/kıyaslama) olarak belirlenen bazı performanslarla karşılaştırmaktır.²⁹³ ŞLKY ağırlıklandırma yönteminde kompozit endeks, bir ülkenin gerçek performansının (actual performance), o ülkenin ölçütünün performansına (benchmark performance) oranı olarak tanımlanmaktadır.²⁹⁴ ŞLKY’de Freudenberg²⁹⁵ tarafından önerildiği gibi bir ülkenin kompozit endeks değeri, alt göstergelerinin ağırlıklı toplamı olarak değil, bu toplamın aynı ağırlıklandırma şemasının kullanıldığı ülkenin ölçütünün alt göstergelerinin ağırlıklı toplamına oranı olarak ifade edilmektedir. ŞLKY ağırlıklandırma yöntemi metodolojisinin ilk adımında, bu kıyaslama hedefi vurgulanmaktadır.²⁹⁶

Adım 1: Kıyaslama Hedefi

$$CI_c = \frac{\text{c ülkesinin gerçek performansı}}{\text{c ülkesinin ölçütünün performansı}} = \frac{\sum_{i=1}^m w_{c,i} \cdot y_{c,i}}{\sum_{i=1}^m w_{c,i} \cdot y_i^B} \quad (1)$$

²⁹¹ Nardo, Saisana, Saltelli, Tarantola, Hoffmann, Giovannini, **a.g.e.**, pp.92-94.

²⁹² Cherchye, Moesen, Rogge, Van Puyenbroeck, **a.g.e.**, pp.116-121.

²⁹³ **A.e.**, p.118.

²⁹⁴ Nardo, Saisana, Saltelli, Tarantola, Hoffmann, Giovannini, **a.g.e.**, p.92.

²⁹⁵ Freudenberg, **a.g.e.**, p.7.

²⁹⁶ Cherchye, Moesen, Rogge, Van Puyenbroeck, **a.g.e.**, p.118.

Burada;

CI_c : c ülkesinin kompozit endeks değeri

$y_{c,i}$: c ülkesinin i. alt göstergesinin değeri ($i=1,2,\dots,m$)

$w_{c,i}$: c ülkesinin i. alt göstergesinin ağırlığı

y_i^B : c ülkesinin ölçütünün i. alt göstergesinin değeri

olarak ifade edilmektedir.

ŞLKY'nin ikinci adımında c ülkesinin ölçütünün performansının (Eşitlik 1'in paydası) tanımlanması gerekmektedir. Ülkelerin ölçütlerinin performansının belirlenmesinde kullanılan farklı yaklaşımlar bulunmaktadır. Bir yaklaşıma göre aynı örneklemdaki ülkelerin ölçütlerinin performans kümesi örneklemdaki en iyi performansı gösteren ülkelerin inşa ettiği dışbükey bir etkinlik sınırı olarak (as a convex efficiency frontier) tanımlanmaktadır.²⁹⁷ Bir diğer yaklaşıma göre ülkelerin ölçütlerinin performansı, gözlemlenen örneklemden bir maksimizasyon probleminin çözümü ile elde edilmektedir. VZA tabanlı ŞLKY ağırlıklandırma yönteminin metodolojisinin yapılandırılmasında bu yaklaşım kullanılmaktadır. Bu yaklaşıma göre bir ülkenin kompozit endeks değeri, o ülkenin gerçek performansının harici ölçütlerle değil örneklemden mevcut olan gözlemlerle karşılaştırılmasıyla elde edilmektedir.²⁹⁸

VZA tabanlı ŞLKY ağırlıklandırma yönteminde bir ülkenin ölçütünün performansı, o ülkeye ait ağırlıklandırma seti örneklemdaki tüm ülkelere uygulandığında elde edilen en yüksek performans (maksimum ağırlıklı toplam) sahip hipotetik ülke skoru olarak tanımlanmaktadır.²⁹⁹ Tanıma göre c ülkesinin ölçütünün performansı, c ülkesinin ağırlıklandırma seti örneklemdaki tüm ülkeler tarafından kullanıldığında maksimum ağırlıklı toplamın elde edildiği hipotetik ülke skorudur. ŞLKY ağırlıklandırma yönteminde endojen ağırlıklandırmadan dolayı ülkelere özgü ağırlıklandırma profilleri elde edildiği için ülkelerin ölçütleri de ülkeye özgü olup ülkeden ülkeye farklılık

²⁹⁷ Donald Storrie, Hans Bjurek, "Benchmarking European Labour Market Performance with Efficiency Frontier Techniques", **Centre for European Labour Market Studies (CELMS) Discussion Paper**, Göteborg University, 2000, pp.2-5.

²⁹⁸ Cherchye, Moesen, Rogge, Van Puyenbroeck, **a.g.e.**, p.118.

²⁹⁹ Nardo, Saisana, Saltelli, Tarantola, Hoffmann, Giovannini, **a.g.e.**, p.93.

gösterebilmektedir. Eğer bir ülkenin ölçütü yine kendisi olursa yani bu ülke için kendisinden daha iyi bir ülkenin bulunmadığı durumda maksimum kompozit endeks değeri olan 1 elde edilmektedir. ŞLKY ağırlıklandırma yöntemi metodolojisinin ikinci adımında ülkeye özgü ölçüt performansının belirlenmesi amaçlanmaktadır. Yukarıda ifade edilen tanım doğrultusunda $y_{j,i} \in \{\text{örneklemdaki tüm ülkeler}\}$ olmak üzere c ülkesinin ölçütünün performansı formüle edilerek Eşitlik 1’de yerine konulduğunda Eşitlik 2 elde edilmektedir.³⁰⁰

Adım 2: Ülkeye özgü ölçüt performansının belirlenmesi

$$CI_c = \frac{\sum_{i=1}^m w_{c,i} \cdot y_{c,i}}{\max \sum_{i=1}^m w_{c,i} \cdot y_{j,i}} \quad (2)$$

VZA’nın performans değerlendirilmesinde kullanılması, değerlendirilen her bir ülkenin diğer ülkelerle kıyaslandığında mümkün olan en etkin performansını göstermesini sağlayarak şüphenin lehte kullanılmasını mümkün kılmaktadır. Alt göstergelerin nicel değerleri dışında herhangi bir bilgi olmadığı durumda şüpheli yaklaşımın uygulanması her bir ülkeye ağırlık tahsisi konusunda optimal değerleri atayarak fayda sağlamaktadır.³⁰¹ VZA tabanlı ŞLKY ağırlıklandırma yönteminin metodolojisi, performans değerlendirilmesi yapılacak kavrama ilişkin herhangi bir doğrulanabilir ve üzerinde uzlaşa sağlanmış a priori ağırlıklandırma şeması olmadığında, şüphenin lehte kullanılmasıyla değerlendirilen her ülke için kompozit endeks değerini maksimize eden ülkeye özgü ağırlıkların endojen olarak belirlenmesini sağlamaktadır. Başka bir deyişle ağırlıklandırma şeması hakkında belirsizlik veya şüphenin olmasından dolayı değerlendirilen ülkenin örneklemdaki diğer ülkelerle kıyaslandığında nispeten daha iyi performans gösterdiği göstergelere daha yüksek ağırlık verilmektedir.³⁰²

ŞLKY’de ağırlıklandırma problemi her ülke için ayrı ayrı ele alınarak her bir alt göstergeye verilen ülkeye özgü ağırlıklar endojen olarak belirlenmektedir. Ülkelere

³⁰⁰ Cherchye, Moesen, Rogge, Van Puyenbroeck, **a.g.e.**, pp.118-119.

³⁰¹ H. David Sherman, Joe Zhu, **Service Productivity Management: Improving Service Performance Using Data Envelopment Analysis (DEA)**, Springer Science & Business Media, Boston, 2006, p.66.

³⁰² Cherchye, Kuosmanen, **a.g.e.**, p.2.

özgü ağırlıkların belirlenmesinin altında yatan bakış açısı veri odaklı bir bakış açısıdır. Bu bakış açısına göre bir ülkenin bir alt gösterge boyutunda diğer gözlemlenen ülkelere göre daha iyi göreceli performansının, nispeten daha yüksek politika önceliğinin kanıtı olduğu kabul edilmektedir. Başka bir deyişle, performans değerlendirilmesi yapılan kavrama dair bir ülkenin gerçek politika ağırlıkları bilinmediği için ilgili alt göstergelerde göreceli güçlü ve zayıf yönleri bakılarak ağırlıklandırma hakkında anlam çıkartılabileceği varsayılmaktadır. Özellikle bu bakış açısı ülkelere özgü ağırlıkların, ülkelerin kompozit endeks skorunu mümkün olduğunca yüksek yapacak şekilde belirlenmesini gerektirmektedir. Ağırlıklandırma hakkında kesin veya doğrulanabilir bilginin olmadığı durumda, veri odaklı metodoloji, şüphenin lehte kullanılmasını mümkün kılarak her bir ülke için kompozit endeks skorunu maksimize eden optimal ağırlıklandırma şemasının tahsis edilmesini sağlamaktadır. Yukarıda bahsedilen bakış açılarını yansıtabilecek şekilde Adım 3'te ülkelere özgü optimal ağırlıkların belirlenmesi amaçlanmaktadır. Bu durumda CI_c 'yi maksimize eden c ülkesine özgü optimal ağırlıkların belirlenmesi için Eşitlik 2'ye max operatörü uygulanarak Eşitlik 3 elde edilmektedir.³⁰³

Adım 3: Ülkeye özgü optimal ağırlıkların belirlenmesi

$$CI_c = \max \left(\frac{\sum_{i=1}^m w_{c,i} \cdot y_{c,i}}{\max \sum_{i=1}^m w_{c,i} \cdot y_{j,i}} \right) \quad (3)$$

ŞLKY ağırlıklandırma yöntemiyle değerlendirilen her ülke için kompozit endeks skorunu maksimize eden ağırlıklar belirlendiği için belirlenen ağırlıklar dışındaki herhangi bir ağırlıklandırma şeması, değerlendirilen ülkenin diğer ülkelere göre konumunu kötüleştirecektir. Bu durum yöntemin sağladığı bir avantajı çok net bir şekilde ortaya koymaktadır. ŞLKY ağırlıklandırma yöntemi, kompozit endeks skoru düşük olan veya beklediği skoru yakalayamayan ülkelerin öznel ve haksız ağırlıklandırma şeması uygulandığı iddialarına ket vurarak endeksin güvenilirliğine ve objektifliğine olumlu katkı sağlamaktadır.³⁰⁴

³⁰³ Cherchye, Moesen, Rogge, Van Puyenbroeck, **a.g.e.**, pp.119-120.

³⁰⁴ De Witte, Rogge, **a.g.e.**, p.662.

ŞLKY ağırlıklandırma yönteminde ülkelere özgü optimal ağırlıkların belirlenmesi aşamasından sonra ülkelerin performanslarının yorumlanmasını kolaylaştırmak için metodolojiye, normalizasyon kısıtı (normalization constraint) ve ağırlıkların negatif olmaması kısıtı (non-negativity constraint) dahil edilmektedir. ŞLKY ağırlıklandırma yönteminin metodolojisine dahil edilen normalizasyon kısıtıyla, her ülke için kompozit endeks skorunu maksimize eden ülkeye özgü optimal ağırlıklar, örneklemdaki tüm ülkelere uygulandığında örneklemdaki hiçbir ülkenin 1'den yüksek kompozit endeks skoru elde edemeyeceği garanti altına alınmaktadır. Bununla birlikte modele dahil edilen ağırlıkların negatif olmaması kısıtıyla da kompozit endeksin alt göstergelerin azalan olmayan (non-decreasing) bir fonksiyonu şeklinde ifade edilmesi sağlanmaktadır.³⁰⁵

ŞLKY ağırlıklandırma yönteminin metodolojisine dahil edilen normalizasyon kısıtıyla, değerlendirilen ülke için elde edilen optimal ağırlıklar örneklemdaki tüm ülkelere uygulandığında örneklemdaki hiçbir ülkenin kompozit endeks skoru 1'den yüksek olmayacak şekilde üst sınır belirlenmesinin altında yatan bakış açısı, ülkelerin performanslarının bir ölçüte göre kıyaslanması amacını vurgulamaktadır. Bu amaçla değerlendirilen bir ülke için en yüksek performansın elde edildiği ağırlıklar örneklemdaki tüm ülkelere uygulanarak hangi ülke veya ülkelerin daha kötü, benzer veya daha iyi bir kompozit endeks skoru elde edecek şekilde alt gösterge değerlerinin etkili olduğu incelenmektedir. Değerlendirilen ülkeye özgü optimal ağırlıklandırma şemasını kullanarak daha iyi bir performans gösteren en az bir ülkenin olması ŞLKY ağırlıklandırma yönteminin metodolojisinde ölçüt performansının belirlenmesi altında yatan temel düşünce olarak kullanılmaktadır. ŞLKY ağırlıklandırma yönteminin metodolojisine dahil edilen normalizasyon kısıtıyla örneklemdaki ülkelerin en yüksek kompozit endeks skorunun 1 olması garanti altına alınırken, ağırlıkların negatif olmaması kısıtıyla da kompozit endeks skorlarının alttan sınırlandırılması sağlanmaktadır. Sonuç olarak modele dahil edilen 2 kısıt ile birlikte 0 değeri en kötü göreceli performansı ve 1 değeri en iyi göreceli performansı temsil etmek üzere örneklemdaki her ülke için elde edilen kompozit endeks skorları $[0,1]$ aralığında

³⁰⁵ Cherchye, Kuosmanen, **a.g.e.**, p.4.

değişmektedir. ŞLKY ağırlıklandırma yönteminin metodolojisine dahil edilen normalizasyon kısıtı ve ağırlıkların negatif olmaması kısıtı m alt gösterge sayısı ($i=1,2,...,m$) ve n örneklemdeki ülke sayısı ($j=1,2,...,n$) olmak üzere aşağıdaki gibi formüle edilmektedir:³⁰⁶

Adım 4: Metodolojiye Kısıtların Dahil Edilmesi

$$CI_c = \max \left(\frac{\sum_{i=1}^m w_{c,i} \cdot y_{c,i}}{\max \sum_{i=1}^m w_{c,i} \cdot y_{j,i}} \right) \quad (3\text{-tekrar})$$

Normalizasyon Kısıtı: Metodolojiye değerlendirilen her ülke için örneklemdeki ülke sayısı kadar (n tane) normalizasyon kısıtı eklenmektedir.

$$\sum_{i=1}^m w_{c,i} \cdot y_{j,i} \leq 1 \quad (4)$$

Ağırlıkların Negatif Olmaması Kısıtı: Metodolojiye değerlendirilen her ülke için alt gösterge sayısı kadar (m tane) ağırlıkların negatif olmaması kısıtı eklenmektedir.

$$w_{c,i} \geq 0 \quad (5)$$

Yukarıdaki ifadelere göre c ülkesinin kompozit endeks değeri CI_c 'nin maksimum olmasını sağlayan c ülkesinin optimal ağırlıklandırma seti örneklemdeki tüm ülkelere uygulandığında örneklemdeki hiçbir ülkenin kompozit endeks skorunun 1'den yüksek olmamasını sağlamak için probleme örneklemdeki ülke sayısı kadar (n tane) normalizasyon kısıtı eklenmelidir. Ayrıca maksimizasyon problemine alt gösterge sayısı kadar (m tane) ağırlıkların negatif olmaması kısıtı dahil edilerek c ülkesinin optimal ağırlıklandırma seti elemanlarının negatif olmaması sağlanmaktadır. Sonuç olarak metodolojiye ilave edilen 2 kısıt ile birlikte c ülkesi için $0 \leq CI_c \leq 1$ ifadesi elde edilmektedir. ŞLKY ağırlıklandırma yönteminde maksimizasyon probleminin örneklemdeki her ülke için ayrı ayrı çözülmesi gerekmektedir.³⁰⁷

³⁰⁶ Cherchye, Moesen, Rogge, Van Puyenbroeck, **a.g.e.**, p.120.

³⁰⁷ Laurens Cherchye, Willem Moesen, Nicky Rogge, Tom Van Puyenbroeck, "Constructing a Knowledge Economy Composite Indicator with Imprecise Data", **Center for Economic Studies Discussions Paper Series**, No.ces09.15, KU Leuven, Faculty of Economics and Business, Department of Economics, 2009, p.9.

ŞLKY ağırlıklandırma yönteminin metodolojisine dahil edilen 2 kısıt ile birlikte kesirli maksimizasyon problemi elde edilmektedir. ŞLKY ağırlıklandırma yönteminin metodolojisi, kompozit endeks $[0,1]$ aralığında değerler alacak şekilde tasarlandığından, değerlendirilen her ülke için ölçüt performansı 1 değerini almaktadır. Değerlendirilen her ülke için ölçüt performansının maksimum kompozit endeks skoru olan 1 değerine ulaştığı göz önüne alındığında kesirli programlama problemi doğrusal programlama problemine indirgenebilmektedir. ŞLKY ağırlıklandırma yönteminin metodolojisine dahil edilen normalizasyon kısıtı ve ağırlıkların negatif olmaması kısıtı ile birlikte m alt gösterge sayısı ($i=1,2,...,m$) ve n örneklemdaki ülke sayısı ($j=1,2,...,c,...,n$) olmak üzere c ülkesine özgü optimal ağırlıkların ve c ülkesinin kompozit endeks skorunun hesaplandığı doğrusal programlama problemi aşağıdaki gibi formüle edilmektedir:³⁰⁸

Adım 5: ŞLKY ağırlıklandırma yöntemiyle ülkeye özgü optimal ağırlıkların ve kompozit endeks skorunun hesaplanması

$$CI_c = \max \sum_{i=1}^m w_{c,i} \cdot y_{c,i} \quad \text{kısıtlar} \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^m w_{c,i} \cdot y_{j,i} \leq 1$$

$$w_{c,i} \geq 0$$

$$i = 1, 2, \dots, m \quad \text{ve} \quad j = 1, 2, \dots, c, \dots, n$$

Yukarıdaki doğrusal programlama problemi c ülkesi için çözüldüğünde, c ülkesinin kompozit endeks skoru CI_c 'yi maksimize eden ağırlıklandırma seti elde edilmektedir. Bu ağırlıklandırma seti örneklemdaki tüm ülkelere uygulandığında en az bir ülke için (c ülkesinin ölçütü) maksimum kompozit endeks skoru olan 1 değerine ulaşılmaktadır. Maksimizasyon problemi örneklemdaki her ülke için ayrı ayrı çözülerek ülkelere özgü

³⁰⁸ Cherchye, Moesen, Rogge, Van Puyenbroeck, **a.g.e.**, p.121.

optimal ağırlıklandırma seti ve kompozit endeks skorları elde edilmektedir.

ŞLKY ağırlıklandırma yöntemi, Charnes, Cooper ve Rhodes³⁰⁹ (CCR) tarafından geliştirilen VZA'nın orijinal girdi odaklı CCR modeliyle eş değerdir.³¹⁰ Alt göstergelerin çıktıları temsil ettiği yöntemde her bir ülkeye değeri 1 olan tek kukla girdi (dummy input) atanmaktadır.³¹¹ Her bir ülke için değeri 1 olarak atanan kukla girdi, farklı alt göstergelere karşılık gelen çeşitli politika hedeflerini takip eden bir dümenci (helmsman) olarak yorumlanmaktadır.³¹² Kompozit endeks oluşturmak amacıyla kullanılan VZA'nın girdi odaklı CCR modelinde amaç, alt gösterge sayısı kadar çıktı ve 1 adet kukla girdi için sabit getiri varsayımı altında kompozit endeks değerinin maksimize edilmesidir.³¹³ VZA tabanlı ŞLKY ağırlıklandırma yöntemi, girdilere atıfta bulunulmadan çeşitli alt göstergelerin performanslarının toplulaştırılması için bir araç olarak ele alınmaktadır. ŞLKY ağırlıklandırma yönteminin VZA'dan en belirgin farkı, bu metodolojinin ülkelerin belirli bir konudaki performansını girdi boyutunu dikkate almadan sadece çeşitli çıktı boyutlarının farklı düzeylerdeki başarılarına bakarak değerlendirmesidir.³¹⁴

2.3.4. Birimlerin Değişmezliği Özelliği

VZA'da karar verme birimlerinin göreceli etkinliği, her karar verme birimi için aynı olması koşuluyla girdi ve çıktı değişkenlerinin ölçüm birimlerinden bağımsızdır. VZA'nın bu özelliği Birimlerin Değişmezliği Teoremi (Units Invariance Theorem) ile ortaya konulmuştur. VZA'nın birimlerin değişmezliği özelliğinden dolayı girdi veya çıktıların ölçüm birimlerinin dönüştürülmesi etkinlik değerini değiştirmemektedir.³¹⁵ Girdi veya çıktıların ölçüm birimlerinin metre veya kilometre, litre veya galon, kilogram veya ton cinsinden ifade edilmesinin etkinlik değeri üzerinde etkisi yoktur.

³⁰⁹ Charnes, Cooper, Rhodes, **a.g.e.**, p.430.

³¹⁰ Cherchye, Moesen, Rogge, Van Puyenbroeck, "Constructing a Knowledge Economy Composite Indicator with Imprecise Data", p.9.

³¹¹ Cherchye, Moesen, Rogge, Van Puyenbroeck, Saisana, Saltelli, Liska, Tarantola, **a.g.e.**, p.241.

³¹² Lovell, Pastor, Turner, **a.g.e.**, pp.509-510.

³¹³ D. K. Despotis, "A reassessment of the human development index via data envelopment analysis", **Journal of the Operational Research Society**, 56(8), 2005, pp.971-972.

³¹⁴ Cherchye, Moesen, Rogge, Van Puyenbroeck, **a.g.e.**, p.121.

³¹⁵ Cooper, Seiford, Tone, **a.g.e.**, p.24.

VZA'nın dolayısıyla ŞLKY ağırlıklandırma yönteminin birimlerin değişmezliği özelliği, kompozit endeks değerinin alt göstergelerin ölçüm birimlerinden bağımsız olmasını sağlamaktadır. Bunun temel nedeni ise ağırlıkların endojen olmasından kaynaklanmaktadır. Endojenlik esnek ağırlıklar elde edilmesini dolayısıyla ağırlıkların ölçüm birimlerine adapte olmasını sağlamaktadır. Örneğin alt gösterge “1.000.000 kişi başına düşen patent sayısı” olarak ifade edildiğinde elde edilen optimal ağırlık (**w**) iken alt gösterge “1.000 kişi başına düşen patent sayısı” olarak revize edildiğinde normalizasyon kısıtını sağlamak için optimal ağırlığın otomatik olarak yeniden ölçeklendirilmesiyle (**1000.w**) değeri elde edilmektedir. Bu durumda optimal ağırlığın değeri değişmekle birlikte kompozit endeks skoru değişmemektedir.³¹⁶ VZA'nın birimlerin değişmezliği özelliğinden dolayı ŞLKY ağırlıklandırma yöntemi ile kompozit endeks geliştirilmesi normalizasyon aşamasını gereksiz kılmaktadır.³¹⁷

Alt göstergelere uygulanan her türlü dönüşüm için kompozit endeks skorunun değişmeyeceğini söylemek mümkün değildir. Örneğin bir alt göstergenin yerine orijinal değerine karşılık gelen ülke sıralaması atanarak dönüşüm uygulandığında, ağırlıkların otomatik olarak yeniden ölçeklendirilmesinin geçerli olmadığını görmek kolaydır. ŞLKY ağırlıklandırma yönteminde birimlerin değişmezliği özelliğinden dolayı alt göstergelere oran ölçeği dönüşümleri (ratio-scale transformations) uygulandığında elde edilen kompozit endeks sonuçları, alt göstergelerin ham verileri kullanılarak elde edilen kompozit endeks sonuçlarıyla aynıdır. Çünkü alt göstergelere oran ölçeği dönüşümleri uygulandığında ağırlıkların otomatik olarak yeniden ölçeklendirilmeleri mümkün olmaktadır. Örneğin bir ürünün fiyatının Türk Lirası yerine Dolar cinsinden ifade edilmesi ve bir alt gösterge değerinin tüm karar verme birimleri içindeki en yüksek değerine bölünerek ölçeklendirilmesi oran ölçeği dönüşümleri olarak kompozit endeks skoruna etki etmemektedir. Sonuç olarak ŞLKY ağırlıklandırma yönteminde ölçüm birimleri birbirinden farklı olsa bile alt göstergelerin oran ölçeğinde ifade edilmeleri, normalize edilmeleri gerekliliğini ortadan kaldırmaktadır.³¹⁸

³¹⁶ Cherchye, Moesen, Rogge, Van Puyenbroeck, **a.g.e.**, pp.121-122.

³¹⁷ Cherchye, Moesen, Rogge, Van Puyenbroeck, Saisana, Saltelli, Liska, Tarantola, **a.g.e.**, p.241.

³¹⁸ Cherchye, Moesen, Rogge, Van Puyenbroeck, **a.g.e.**, p.122.

2.3.5. Alt Gösterge Payları

VZA'nın dolayısıyla ŞLKY ağırlıklandırma yönteminin birimlerin değişmezliği özelliği, elde edilen kompozit endeks skorlarının alt göstergelerin ölçüm birimlerinden bağımsız olmasını sağlamaktadır. Bununla birlikte alt göstergelere atanan ağırlıklar, alt göstergelerin ölçüm birimlerine bağımlıdır. Bu nedenle ŞLKY ağırlıklandırma yönteminde alt göstergelere atanan ağırlıkların karşılaştırılması ve yorumlanması konusunda dikkatli olunmalıdır. Alt göstergelere atanan ağırlıkları karşılaştırabilmek veya ek ağırlık kısıtlamalarını değerlendirmeye dahil edebilmek için iki türlü çözüm yolu önerilmektedir. Bunlardan birincisi uygun bir dönüşüm uygulayarak alt göstergelerin normalize edilmesidir. İkinci çözüm yolu ise ölçüm birimlerinden tamamen bağımsız olan alt gösterge paylarının (sub-indicator shares) kullanılmasıdır.³¹⁹

ŞLKY ağırlıklandırma yönteminde alt göstergelere uygulanan oran ölçeği dönüşümleri kompozit endeks skorunu etkilememekle birlikte alt göstergelerin ortak bir ölçüm biriminde ifade edilmesini ve dolayısıyla alt göstergelere atanan ağırlıkların karşılaştırılmasını sağlamaktadır. Böylelikle ŞLKY ağırlıklandırma yöntemi metodolojisine alt gösterge ağırlıkları ile ilgili ek ağırlık kısıtlamaları kolaylıkla dahil edilebilmektedir.³²⁰ Örneğin VZA tabanlı ŞLKY ağırlıklandırma yöntemi uygulanarak geliştirilen Avrupa Birliği iç pazar etkilerinin dinamik performansının değerlendirildiği kompozit endeks çalışmasında, öncelikle alt göstergelere oran ölçeği dönüşümü uygulanmıştır. Böylelikle mevcut olan uzman görüşleri kategori düzeyinde ek ağırlık kısıtlamalarıyla değerlendirmeye kolaylıkla dahil edilmiştir.³²¹

ŞLKY ağırlıklandırma yönteminde alt göstergelere atanan ağırlıkları karşılaştırabilmek veya ek ağırlık kısıtlamalarını metodolojiye dahil edebilmek için önerilen bir diğer çözüm yolu alt gösterge payları yaklaşımının kullanılmasıdır. Alt göstergelerin göreceli önemi hakkında mevcut olan bilgi veya uzman görüşleri, metodolojiye alt gösterge payları ile ilgili kısıtlar eklenerek kolaylıkla

³¹⁹ A.e.

³²⁰ Cherchye, Moesen, Van Puyenbroeck, **a.g.e.**, pp.927-929.

³²¹ Cherchye, Lovell, Moesen, Van Puyenbroeck, **a.g.e.**, pp.760-767.

değerlendirmeye dahil edilebilmektedir. Alt gösterge payları, alt göstergelerin ölçüm birimlerinden tamamen bağımsızdır. Bu nedenle ek ağırlık kısıtlamalarını metodolojiye dahil edebilmek için alt gösterge payları yaklaşımının kullanılması alt göstergelerin normalize edilmesi gerekliliğini ortadan kaldırmaktadır. Bununla birlikte alt gösterge payları ile her bir alt göstergenin kompozit endeks skoruna ne ölçüde katkıda bulunduğu doğrudan açıklanabilmektedir.³²²

Standardizasyon veya normalizasyon yöntemlerinin her birinin farklı avantajları ve dezavantajları vardır.³²³ Farklı normalizasyon teknikleri farklı kompozit endeks sonuçları elde edilmesine neden olmaktadır. Bu nedenle uygulanan normalizasyon tekniklerinin kompozit endeks skorları ve ülke sıralamaları üzerindeki etkilerini değerlendirmek için sağlamlık testleri yapılmalıdır.³²⁴ Bu bağlamda çalışmada alt göstergelerin normalize edilmesi gerekliliği olmadığı için alt gösterge payı kısıtlamaları üzerinde durulmaktadır.

Alt gösterge payları, alt göstergenin orijinal değeri ile alt göstergeye atanan ağırlığın çarpımı ile elde edilmektedir. Buna göre;

$$c \text{ ülkesinin } i. \text{ alt göstergesinin payı} = w_{c,i} \cdot y_{c,i}$$

şeklinde formüle edilmektedir. O halde c ülkesinin tüm alt gösterge paylarının toplamı c ülkesinin kompozit endeks skorunu (CI_c) vermektedir. Buna göre m alt gösterge sayısı ($i=1,2,...,m$) olmak üzere;

$$c \text{ ülkesinin tüm alt gösterge paylarının toplamı} = \sum_{i=1}^m w_{c,i} \cdot y_{c,i} = CI_c$$

şeklinde formüle edilmektedir. **Bölüm 2.3.4**'te anlatıldığı gibi alt göstergelerin ölçüm birimlerinin revize edilmesi/dönüştürülmesi, normalizasyon kısıtını sağlamak için optimal ağırlıkların otomatik olarak yeniden ölçeklendirilerek dengeyi sağlamasıyla alt gösterge paylarının değerini değiştirmemektedir. Bu durumda optimal ağırlıkların

³²² Cherchye, Moesen, Rogge, Van Puyenbroeck, Saisana, Saltelli, Liska, Tarantola, **a.g.e.**, pp.241-242.

³²³ Freudenberg, **a.g.e.**, p.11.

³²⁴ Nardo, Saisana, Saltelli, Tarantola, **a.g.e.**, p.44.

değeri değişmekle birlikte alt gösterge paylarının değeri ve dolayısıyla kompozit endeks skoru değişmemektedir. Alt göstergenin değeri ile ağırlığının çarpımı sabit kalmaktadır. Ayrıca alt göstergenin değeri ile ağırlığının çarpılması ölçüm birimlerini sadeleştirdiği için elde edilen alt gösterge payları birimsiz ve saf sayılardır. (pure numbers) Alt gösterge paylarının toplamı da birimsiz ve saf olan kompozit endeks skoruna eşittir. Sonuç olarak VZA'nın dolayısıyla ŞLKY ağırlıklandırma yönteminin birimlerin değişmezliği özelliğinden dolayı alt göstergenin değeri ile ağırlığının çarpımı yani alt gösterge payı sabit kalmaktadır. Bunun anlamı alt gösterge paylarının alt göstergelerin ölçüm birimlerinden tamamen bağımsız olmasıdır.³²⁵

Her bir alt gösterge payı kompozit endeksin bir başarı boyutunu temsil etmek üzere, alt gösterge paylarının toplamı kompozit endeks skorunu vermektedir. Kompozit endeksi oluşturan alt gösterge paylarının her biri ilgili alt göstergenin kompozit endeks skoruna ne kadar katkıda bulunduğunu göstermektedir. Bir ülkenin alt gösterge paylarının toplamı ülkenin kompozit endeks skorunu verirken alt gösterge paylarının göreceli büyüklüğü ise alt göstergelerin göreceli önemini yansıtmaktadır. ŞLKY ağırlıklandırma yönteminde alt gösterge paylarının göreceli büyüklüğü dolayısıyla alt göstergelerin göreceli önemi ülkelere özgüdür.³²⁶

VZA tabanlı ŞLKY ağırlıklandırma yöntemi uygulanarak geliştirilen Teknoloji Başarı Endeksi çalışmasında, alt göstergelerin göreceli önemi hakkında mevcut olan uzman görüşlerinin değerlendirmeye dahil edilmesini sağlamak amacıyla metodolojiye alt gösterge payları ile ilgili kısıtlar eklenmiştir. Alt gösterge payları, alt göstergelerin ölçüm birimlerinden tamamen bağımsız olduğu için, alt gösterge payları yaklaşımının kullanılması, alt göstergelerin normalize edilmesi gerekliliğini ortadan kaldırmaktadır. Böylelikle ilgili çalışmada da 8 alt göstergeye herhangi bir normalizasyon işlemi uygulanmayarak alt göstergelerin ham verileri kullanılmıştır. Bununla birlikte alt gösterge payları yaklaşımının uygulanmasıyla her bir ülke için alt göstergelerin endekse doğrudan katkıları açıklanabilmektedir. Çalışmada alt gösterge paylarının göreceli büyüklüğünden yola çıkılarak, alt göstergelerin göreceli önemi hakkında ülke

³²⁵ Cherchye, Moesen, Rogge, Van Puyenbroeck, a.g.e., pp.122-123.

³²⁶ A.e., pp.123-125.

bazında değerlendirmeler yapılmıştır.³²⁷

2.3.6. Alt Gösterge Payı Kısıtlamaları

VZA tabanlı ŞLKY ağırlıklandırma yönteminde alt göstergelere atanan ağırlıklar, değerlendirilen ülkenin kompozit endeks skorunu maksimize etmek için esnek bir şekilde seçilmektedir. Ağırlıkların seçimindeki esneklik (flexibility of weights) çeşitli ağırlıklar için önceden bir değer veya sınır tanımlanmadığı ve alt göstergelere atanan ağırlıkların ülkelere özgü olduğu anlamına gelmektedir. Ağırlıkların esnek bir şekilde belirlenmesi, ülkelerin haksız bir ağırlıklandırma seti kullanıldığına dair eleştiri ve suçlamalarda bulunmalarını engelleyerek avantaj sağlamaktadır. Bununla birlikte ağırlıkların seçimindeki tam esneklik (full flexibility of weights) çeşitli nedenlerle eleştirilmektedir.³²⁸

ŞLKY ağırlıklandırma yönteminde, normalizasyon kısıtı ve ağırlıkların negatif olmaması kısıtı dışında ağırlıklar hakkında herhangi bir sınırlandırılmanın yapılmadığı modelde, ağırlıkların seçimindeki tam esneklik ekstrem senaryolara yol açabilmektedir. Bir ülkenin belirli bir alt göstergedeki değeri diğer ülkelerin değerlerine baskın bir konumdaysa, bu ülke diğer birçok alt göstergede çok düşük değerlere sahip olsa bile en yüksek kompozit endeks skoru olan 1 değerini alabilmektedir. Bu durumda örneklemdaki çok sayıda ülkenin kompozit endeks skorunun 1 olmasına veya çok yüksek değerler almasına yol açabilmektedir. Bu nedenlerden dolayı ŞLKY ağırlıklandırma yöntemi metodolojisi geliştirilirken alt göstergelerin göreceli önemi hakkında uzman görüşleri mevcut ise göz önünde bulundurulması ve ek ağırlık kısıtlamalarıyla değerlendirmeye dahil edilmesi gerekmektedir.³²⁹

ŞLKY ağırlıklandırma yöntemi, değerlendirilen ülkenin endeks skorunu en üst seviyeye çıkarmak için ağırlıkların tam esneklikle belirlenmesine imkan vermektedir.

³²⁷ Cherchye, Moesen, Rogge, Van Puyenbroeck, Saisana, Saltelli, Liska, Tarantola, **a.g.e.**, pp.240-243.

³²⁸ Francisco Pedraja-Chaparro, Javier Salinas-Jimenez, Peter Smith, "On the Role of Weight Restrictions in Data Envelopment Analysis", **Journal of Productivity Analysis**, 8(2), 1997, p.219.

³²⁹ Cherchye, Moesen, Rogge, Van Puyenbroeck, Saisana, Saltelli, Liska, Tarantola, **a.g.e.**, pp.241-242.

Yöntemin ayırt edici bir özelliği olan ağırlıkların seçimindeki tam esneklik ile ülkelere özgü optimal ağırlıklandırma kümeleri elde edilmektedir. ŞLKY ağırlıklandırma yönteminde değerlendirilen ülkenin kompozit endeks skorunu maksimize etmek için ülkenin nispeten dezavantajlı olduğu alt göstergelere sıfır ağırlığı atanarak bu alt göstergeler etkisiz hale getirilebilmektedir. Bu alt göstergeler pozitif bir ağırlığı hak edecek kadar büyük olmadıkları için nötralize edilebilmekte ve ülkelerin endeks skorunu en üst düzeye çıkarmak için yalnızca en avantajlı alt göstergelere pozitif ağırlıklar atanmaktadır. Bu nedenle ağırlıklar hakkında herhangi bir ek kısıtlamanın uygulanmadığı durumlarda ülkelere özgü optimal ağırlıklandırma kümeleri çok sayıda sıfır değeri içerebilmekte, gerçekçi ve makul olmayan sonuçlar elde edilebilmektedir.³³⁰

ŞLKY ağırlıklandırma yönteminde ağırlıkların seçiminde tam esnekliğe izin verilmesiyle ülkelerin, ağırlıklandırma profillerinin dezavantajlı olduğunu iddia etmeleri zorlaşmaktadır. Bununla birlikte sıfır değeri atanan alt göstergeler kompozit endeks skoruna katkıda bulunmadıkları için ağırlıkların seçimindeki tam esneklik ülkelerin performanslarının az sayıda alt göstergeye dayandırılması riskini de doğurmaktadır.³³¹

VZA’da ağırlıkların tam esneklikle belirlenmesi karar verme birimlerinin performanslarının en zayıf olduğu girdi veya çıktılara sıfır ağırlığı atanarak performans değerlendirmesinden tamamıyla hariç tutulmasına sebebiyet verebilmektedir. Performans değerlendirmesi için özenle seçilen girdi veya çıktıların bazılarının ihmal edilmesi, karar vericiler ve analistler tarafından kabul edilemeyebilir. Bu durumda karar vericilerin girdi veya çıktıların göreceli değerine ilişkin inançları veya tercihleri hakkındaki bilgileri yansıtan değer yargılarının performans değerlendirmesinde dikkate alınması önem kazanmaktadır.³³²

³³⁰ Gonzalez, Carcaba, Ventura, **a.g.e.**, p.1169.

³³¹ Cherchye, Moesen, Rogge, Van Puyenbroeck, **a.g.e.**, pp.125-126.

³³² Emmanuel Thanassoulis, Maria C. Portela, Rachel Allen, “Incorporating Value Judgements in DEA”, **Handbook on Data Envelopment Analysis**, Ed. by. W. W. Cooper, L. Seiford, J. Zhu, Kluwer Academic Publishers, 2004, p.100.

VZA’da dolayısıyla ŞLKY ağırlıklandırma yönteminde kompozit endeks skorlarının güvenilirliği ve kabulü için uzmanların ve paydaşların görüşlerine dayandırılarak ek ağırlık kısıtlamalarının tanımlanması çok önemlidir. Aksi halde yapılan performans değerlendirmelerine çok az sayıda alt göstergenin performansı yansıtılabilmekte ve elde edilen ağırlıklandırmalar uzmanların ve paydaşların tercihlerinden çok büyük ölçüde farklılık gösterebilmektedir. Bu durum ağırlıklandırmaların uygun olmadığına dolayısıyla kompozit endeks sonuçlarının anlamlı olmadığına dair iddialara yol açabilmektedir.³³³

Uygun bir ağırlıklandırma şemasının oluşturulmasını sağlamak için geniş bir bilgi yelpazesine sahip olan uzman görüşlerinin dikkate alınması ve değerlendirmeye dahil edilmesi kompozit endeks sonuçlarının güvenilirliği ve kabulü için esastır. ŞLKY ağırlıklandırma yöntemi uygun ağırlıklar hakkında mevcut olan uzman görüşlerinin ek ağırlık kısıtlamalarıyla değerlendirmeye dahil edilmesine uygun bir metodolojiye sahiptir. ŞLKY ağırlıklandırma yöntemi, performansı ölçülecek kavram ile ilgili uzman görüşleri mevcut olduğunda ancak uzmanlar arasında uygun ağırlıklandırma şeması üzerinde uzlaşa sağlanamadığında ek ağırlık kısıtlamalarıyla üzerinde mutabık kalınan kararların değerlendirmeye dahil edilebilmesi için yeterince esnekler. Metodolojisinin buna izin vermesi ŞLKY ağırlıklandırma yönteminin daha kaliteli, daha güvenilir ve daha geniş çevrelerce kabul gören kompozit endeks geliştirilmesine olanak sağlamasıyla en güçlü olduğu özelliğidir.³³⁴

ŞLKY ağırlıklandırma yönteminin metodolojisine ek ağırlık kısıtlamalarının dahil edilmesi için birçok alternatif yol bulunmaktadır. Dyson ve Thanassoulis (1988) tarafından geliştirilen yaklaşımda ağırlıklar bir alt ve üst limit arasında değişecek şekilde sınırlandırılırken³³⁵, Golany (1988) tarafından geliştirilen metoda göre ise alt göstergelerin göreceli önemini yansıtacak şekilde ağırlıklar üzerinde sıra kısıtlamaları (ordinal restrictions) uygulanmaktadır.³³⁶ ŞLKY ağırlıklandırma yönteminin

³³³ De Witte, Rogge, **a.g.e.**, p.665.

³³⁴ Cherchye, Moesen, Rogge, Van Puyenbroeck, **a.g.e.**, p.126.

³³⁵ R. G. Dyson, E. Thanassoulis, “Reducing Weight Flexibility in Data Envelopment Analysis”, **Journal of the Operational Research Society**, 39(6), 1988, pp.563-576.

³³⁶ B. Golany, “A Note on Including Ordinal Relations Among Multipliers in Data Envelopment Analysis”, **Management Science**, 34(8), 1988, pp.1029-1033.

metodolojisine doğrudan alt göstergelerin ağırlıkları ile ilgili kısıtların ilave edildiği yaklaşımlar olduğu gibi alt gösterge payları ile ilgili kısıtların eklendiği yaklaşımlar da bulunmaktadır. Pedraja-Chaparro ve arkadaşları (1997) tarafından geliştirilen yaklaşıma göre iki alt gösterge payı arasındaki oran³³⁷, Wong ve Beasley (1990) tarafından geliştirilen metoda göre ise her bir alt gösterge payının kompozit endeks skoruna oranı³³⁸, bir alt ve üst limit arasında değişecek şekilde sınırlandırılmaktadır.

Çalışmada alt gösterge payı kısıtlamaları (sub-indicator share restrictions) üzerinde durulmaktadır. Ek ağırlık kısıtlamalarını metodolojiye dahil edebilmek için alt gösterge payları yaklaşımının kullanılması çok önemli avantajlar sağlamaktadır. **Bölüm 2.3.5**'te detaylı bir şekilde açıklandığı gibi VZA'nın dolayısıyla ŞLKY ağırlıklandırma yönteminin birimlerin değişmezliği özelliğinden dolayı alt göstergenin değeri ile ağırlığının çarpımı yani alt gösterge payı sabit kalmaktadır. Bunun anlamı alt gösterge paylarının alt göstergelerin ölçüm birimlerinden tamamen bağımsız olmasıdır. Bu nedenle ek ağırlık kısıtlamalarını metodolojiye dahil edebilmek için alt gösterge payları yaklaşımının kullanılması alt göstergelerin normalize edilmesi gerekliliğini ortadan kaldırmaktadır. Bununla birlikte alt gösterge paylarının göreceli büyüklüğü alt göstergelerin göreceli önemini yansıttığı için metodolojiye alt gösterge payları ile ilgili kısıtlar eklenmesi endeks bileşenlerinin önemi hakkındaki bilgilerin daha kolay ve pratik bir şekilde temsil edilmesini, uygulanmasını ve yorumlanmasını sağlamaktadır.³³⁹ Alt göstergelerin ağırlıklarının tam esnekliğinin uygun bir şekilde sınırlandırılması için ŞLKY ağırlıklandırma yönteminin metodolojisine doğrudan alt göstergelerin ağırlıkları ile ilgili kısıtlar ilave edilmesi durumunda oran ölçeği dönüşümleri uygulanarak alt göstergelerin normalize edilmesi gerekirken, alt gösterge payları ile ilgili kısıtlar eklenmesi durumunda alt göstergelerin normalize edilmesi gerekmemektedir.

Çalışmada ŞLKY ağırlıklandırma yönteminin metodolojisine ek ağırlık kısıtlamalarının dahil edilmesi için Wong ve Beasley (1990) tarafından önerilen metod

³³⁷ Pedraja-Chaparro, Salinas-Jimenez, Smith, a.g.e., pp.215-230.

³³⁸ Y. H. B. Wong, J. E. Beasley, "Restricting Weight Flexibility in Data Envelopment Analysis", **Journal of the Operational Research Society**, 41(9), 1990, pp.829-835.

³³⁹ Cherchye, Moesen, Rogge, Van Puyenbroeck, a.g.e., pp.126-127.

kullanılmaktadır. Bu metoda göre performansın belirlenmesinde alt göstergeye verilen önemi temsil eden alt gösterge payının kompozit endeks skoruna oranı sınırlandırılmaktadır. Karar verici veya kompozit endeksi geliştirenler tarafından alt göstergeye verilen öneme göre her bir alt gösterge payının kompozit endeks skoruna oranı için uygun alt ve üst sınırlar belirlenmektedir. Alt ve üst sınırların belirlenmesi karar vericilerin veya kompozit endeksi geliştirenlerin değer yargılarına dayanmaktadır. Alt göstergelerin göreceli önemine göre bir fikir birliği içinde alt ve üst sınırların belirlenmesi karar vericilerin görüşlerinin daha iyi temsil edilmesini sağlamaktadır.³⁴⁰

Wong ve Beasley tarafından önerilen bu metod orantılı alt gösterge payı kısıtlamaları (proportional sub-indicator share restrictions) olarak tanımlanmaktadır. Bu metoda göre alt göstergelerin her birinin kompozit endeks skoruna yüzde olarak katkısı (alt göstergelerin kompozit endeks skoruna katkısının yüzdesi) uzmanların görüşlerindeki çeşitlilik göz önüne alınarak belirlenen alt ve üst limitlerle sınırlandırılmaktadır. Alt gösterge payının kompozit endeksin belirli bir yüzdesi olarak gösterilmesi uzmanların görüşlerinin daha kolaylıkla ifade edilmesini ve ölçülmesini sağlamaktadır. ŞLKY ağırlıklandırma yönteminin metodolojisine dahil edilen orantılı alt gösterge payı kısıtı m alt gösterge sayısı ($i=1,2,...,m$), n örneklemdaki ülke sayısı ($j=1,2,...,n$), α_i ve β_i alt ve üst sınırlar olmak üzere aşağıdaki gibi formüle edilmektedir:³⁴¹

$$\alpha_i \leq \frac{w_{j,i} \cdot y_{j,i}}{\sum_{j=1}^n w_{j,i} \cdot y_{j,i}} \leq \beta_i$$

Yukarıdaki ifadede örneğin $\alpha_i = 0,05$ ve $\beta_i = 0,2$ olarak belirlenmesi, ilgili alt gösterge payının kompozit endeks skorunun en az %5'i ve en çok %20'si olabileceği anlamına gelmektedir. Başka bir deyişle ilgili alt göstergenin kompozit endeks skoruna katkısı %5 ile %20 arasında değişmektedir.

ŞLKY ağırlıklandırma yöntemi uygulanarak geliştirilen Teknoloji Başarı Endeksi çalışmasında ek ağırlık kısıtlamaları metodolojiye Wong ve Beasley tarafından

³⁴⁰ Wong, Beasley, **a.g.e.**, p.831.

³⁴¹ Cherchye, Moesen, Rogge, Van Puyenbroeck, **a.g.e.**, p.132.

önerilen yaklaşıma göre dahil edilmektedir. Çalışmada alt göstergelerin göreceli önemine göre 21 uzman tarafından 8 alt gösterge puanlanmıştır. Uzmanlar tarafından bir alt göstergeye verilen minimum puan ilgili alt gösterge payının kompozit endeks skoruna oranının alt sınırını, maksimum puan ise üst sınırını belirlemektedir.³⁴²

ŞLKY ağırlıklandırma yöntemi kullanılarak geliştirilen bir diğer endeks çalışmasında da alt göstergelerin ağırlıklarının tam esnekliğinin uygun bir şekilde sınırlandırılması için Wong ve Beasley tarafından önerilen yaklaşım kullanılmaktadır. Bu doğrultuda metodolojiye orantılı alt gösterge payı kısıtlamaları dahil edilmektedir. Çalışmada orantılı alt gösterge payı kısıtlamalarının alt ve üst sınırları uzmanların değer yargılarına dayandırılarak değil, eşit ağırlıklandırma ile esnek ağırlıklandırmayı birleştiren bir yaklaşım doğrultusunda belirlenmektedir. Buna göre her bir alt gösterge payının kompozit endeks skoruna sağladığı eşit katkı etrafında %50'lik esnekliğe izin verilerek her bir alt gösterge payının kompozit endeks skoruna oranının alt ve üst sınırları hesaplanmaktadır. Çalışmada sağlamlık analizi yapmak amacıyla her bir alt gösterge payının kompozit endeks skoruna sağladığı eşit katkının etrafında çeşitli oranlarda (%30, %40, %60, %70) esnekliğe izin verilerek elde edilen alt ve üst sınırlarla alternatif senaryolar da oluşturulmaktadır.³⁴³

ŞLKY ağırlıklandırma yöntemi metodolojisine alt gösterge düzeyinde ek ağırlık kısıtlamaları dahil edilebildiği gibi kategori düzeyinde de ek ağırlık kısıtlamaları kolaylıkla dahil edilerek alt göstergelere atanan ağırlıklar sınırlandırılmaktadır. Değerlendirilen kavramın belirli bir boyutunu temsil eden kategoriler alt göstergelerin uygun şekillerde sınıflandırılmasıyla oluşmaktadır. Cherchye ve arkadaşları (2009) tarafından geliştirilen endeks çalışmasında ŞLKY ağırlıklandırma yöntemi metodolojisine kategori düzeyinde orantılı ağırlık kısıtlamaları eklenmektedir.³⁴⁴ Cherchye ve Kuosmanen (2004) ise kategorilerin nispi olarak ikili karşılaştırmalarını yaparak ağırlıkları sınırlandırmaktadır.³⁴⁵ Cherchye ve arkadaşları (2007) tarafından yapılan çalışmada ŞLKY ağırlıklandırma yöntemi metodolojisine kategorilerin

³⁴² Cherchye, Moesen, Rogge, Van Puyenbroeck, Saisana, Saltelli, Liska, Tarantola, **a.g.e.**, pp.241-243.

³⁴³ Gonzalez, Carcaba, Ventura, **a.g.e.**, pp.1169-1170.

³⁴⁴ Cherchye, Moesen, Rogge, Van Puyenbroeck, "Constructing a Knowledge Economy Composite Indicator with Imprecise Data", p.16.

³⁴⁵ Cherchye, Kuosmanen, **a.g.e.**, p.6.

göreceli önemini yansıtacak şekilde kategori düzeyinde sıra ağırlık kısıtlamaları (ordinal weight restrictions) eklenerek alt göstergelerin ağırlıklarının sınırlandırılması sağlanmaktadır.³⁴⁶

Çalışmada Wong ve Beasley tarafından önerilen orantılı alt gösterge payı kısıtlamaları genişletilerek ŞLKY ağırlıklandırma yöntemi metodolojisine kategori düzeyinde de ek ağırlık kısıtlamaları dahil edilmektedir. Bu yaklaşımda kategorilerin göreceli önemine göre her bir kategori payının kompozit endeks skoruna oranı sınırlandırılmaktadır. Kategorilerin göreceli önemi üzerinde uzmanların anlaşmaya varmalarının alt göstergelere göre daha kolay olduğu yaklaşımından hareketle kategorilerin her birinin kompozit endeks skoruna yüzde olarak katkısı (kategorilerin kompozit endeks skoruna katkısının yüzdesi) uzmanların görüşlerindeki çeşitlilik göz önüne alınarak belirlenen alt ve üst limitlerle sınırlandırılmaktadır. ŞLKY ağırlıklandırma yönteminin metodolojisine dahil edilen orantılı kategori payı kısıtı m alt gösterge sayısı ($i=1,2,...,m$), n örneklemdaki ülke sayısı ($j=1,2,...,n$), S_k kategorilerden her biri, α ve β alt ve üst sınırlar olmak üzere aşağıdaki gibi formüle edilmektedir:³⁴⁷

$$\alpha \leq \frac{\sum_{i \in S_k} w_{j,i} \cdot y_{j,i}}{\sum_{i=1}^m w_{j,i} \cdot y_{j,i}} \leq \beta$$

Yukarıdaki ifadede örneğin $\alpha = 0,15$ ve $\beta = 0,3$ olarak belirlenmesi, ilgili kategori payının kompozit endeks skorunun en az %15'i ve en çok %30'u olabileceği anlamına gelmektedir. Başka bir deyişle ilgili kategorinin kompozit endeks skoruna katkısı %15 ile %30 arasında değişmektedir.

³⁴⁶ Cherchye, Lovell, Moesen, Van Puyenbroeck, **a.g.e.**, pp.763-765.

³⁴⁷ Cherchye, Moesen, Rogge, Van Puyenbroeck, **a.g.e.**, pp.132-133.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

ŞÜPHENİN LEHTE KULLANILMASI YAKLAŞIMI AĞIRLIKLANDIRMA YÖNTEMİ İLE YAPAY ZEKA ENDEKSİ GELİŞTİRİLMESİ

3.1. Giriş

3.1.1. Çalışmanın Amacı

Çalışmanın amacı ülkelerin yapay zeka teknolojilerini alımı, kullanımı, uygulaması ve geliştirmesi konusunda yetenek, kapasite ve potansiyelinin ölçülmesidir. Çalışmada bu amaçla yapay zekanın benimsenmesini ve özümsemişmesini etkileyen faktörler yani yapay zekanın alımını, kullanılmasını, uygulanmasını ve geliştirilmesini sağlayan koşullar, öncüller ve itici güçler bağlamında ülkelerin mevcut yapay zeka yetenek düzeyine, kapasitesine ve potansiyeline genel bir bakış sağlayan Yapay Zeka Endeksi (YZE) geliştirilmektedir. YZE, ülkelerin yapay zeka teknolojilerini alımı, kullanımı, uygulaması ve geliştirmesi konusunda yetenek, kapasite ve potansiyelinin seviyesini belirten bir kompozit endekstir.

YZE, yapay zekanın benimsenmesini ve özümsemişmesini etkileyen faktörler bağlamında ülkelerin mevcut durumlarının göreceli olarak belirlenmesini, konumlarının karşılaştırılmasını ve benzer yapay zeka yetenek, kapasite ve potansiyel seviyesine sahip olan ülke gruplarının tanımlanmasını sağlamaktadır. Çalışmada 120 ülke için 5 kategoride 16 YZE alt göstergesi kullanılarak geliştirilen YZE ile her bir ülkenin mevcut yapay zeka yetenek düzeyine, kapasitesine ve potansiyeline genel bir bakış sağlayan özet bir gösterge olarak çeşitli analizlere ve politika geliştirme çalışmalarına rehberlik etmenin yanında, YZE'nin gerek kategorileri gerekse alt göstergeleri düzeyinde ayrıştırılmasıyla ülkelerin performans analizlerinin genişletilmesi de amaçlanmaktadır.

Çoğu kompozit endeks çalışmasında alt göstergelerin ağırlıklandırılmasında tüm ülkelere önceden belirlenmiş aynı ağırlıklandırma şemalarının uygulandığı

görülmektedir. Sabit ve tek tip ağırlıklar kullanıldığında ülkelerin farklı politika önceliklerine ve kendilerine özgü çeşitli yeteneklere sahip olduğu göz ardı edilmektedir. Tüm ülkelere aynı ağırlıklandırma şemasının uygulanmasının çeşitli dezavantajları olduğu gibi performansı ölçülen kavram ile ilgili geniş bir bilgi yelpazesine sahip uzmanlar arasında bile belirli bir ağırlıklandırma şeması üzerinde uzlaşmaya varılması da pek mümkün görünmemektedir. Bu nedenlerden dolayı tüm ülkelere önceden belirlenmiş aynı ağırlıklandırma şemaları uygulandığında kompozit endeks sonuçlarının güvenilirliği zayıflamaktadır.

Çalışmada YZE alt göstergelerinin ağırlıklandırılmasında belirli bir ağırlıklandırma şeması kullanılması yerine ülkelerin politika önceliklerini ve kendilerine özgü yeteneklerini hesaba katan, ülkelerin gözlenen performanslarından yola çıkılarak her ülke için kompozit endeks değerini maksimize eden ülkeye özgü optimal ağırlıkların yapılandırıldığı VZA tabanlı ŞLKY ağırlıklandırma yöntemi uygulanmaktadır. ŞLKY ağırlıklandırma yöntemi, ülkelerin nispeten iyi performans gösterdiği YZE alt göstergelerinin ve kategorilerinin vurgulanmasına ve önceliklendirilmesine olanak tanımaktadır. Çalışmada ŞLKY ağırlıklandırma yöntemi ile ülke bazında politika önceliklerinin belirlenmesi dolayısıyla YZE alt göstergelerinin ve kategorilerinin optimum öncelik sırasının ortaya koyulması amaçlanmaktadır. Böyle bir yaklaşım tüm ülkelere önceden belirlenmiş aynı ağırlıklandırma şemaları uygulandığında ortaya çıkan alt göstergelerin ve kategorilerin göreceli önemi hakkındaki itirazların üstesinden gelinmesine yardımcı olmaktadır. **Bölüm 2.3.2’de ve Bölüm 3.2.6’da** VZA tabanlı ŞLKY ağırlıklandırma yönteminin sağladığı avantajlar ve YZE’nin geliştirilmesinde tercih edilme sebepleri detaylı bir şekilde anlatılmaktadır.

Çalışmada YZE teorik çerçevesini en iyi şekilde yansıtan, ülkelerin yapay zeka yetenek, kapasite ve potansiyelini kapsamlı ve dengeli bir şekilde temsil eden ve ülkeler arasındaki karşılaştırmaların sağlıklı bir şekilde yapılabilmesi için ayırt edici gücü yüksek olan, kullanışlı, güvenilirliği yüksek ve gerçekçi bir YZE geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Çalışmada ŞLKY ağırlıklandırma yönteminin metodolojisinde normalizasyon ve ağırlıkların negatif olmaması kısıtları dışında alt gösterge ağırlıkları ile ilgili herhangi bir sınırlandırılmanın yapılmadığı “Sınırlandırılmamış ŞLKY

Senaryosu” ve 15 tane “Sınırlı ŞLKY Senaryoları” ile birlikte toplam 16 farklı senaryo için YZE skorları hesaplanmaktadır. Analizlere göre bu senaryolardan **Senaryo 1** ile elde edilen YZE skorlarının ve ülke sıralamalarının ülkelerin göreceli yapay zeka yetenek, kapasite ve potansiyelini ortaya koymadaki ayırt edici gücünün daha yüksek olduğu ve 16 YZE alt göstergesinin temsil ettiği bilgiyi daha geniş kapsamda yansıttığı ve dolayısıyla daha dengeli bir biçimde temsil ettiği sonucuna varılmaktadır.

Çalışmada **Senaryo 1** ile elde edilen YZE skorları hem YZE alt göstergeleri hem de YZE kategorileri düzeyinde ayrıştırılarak YZE alt gösterge ve kategori payları elde edilmektedir. **Senaryo 1** ile elde edilen YZE alt gösterge ve kategori payları kullanılarak ülke bazında YZE alt göstergelerinin ve kategorilerinin göreceli önemlerinin açıklanması ve ülkelerin ana sürücülerinin, güçlü ve zayıf yönlerinin belirlenmesi amaçlanmaktadır.

Çalışmada ülkelerin yapay zeka yetenek, kapasite ve potansiyel seviyelerinin ekonomik gelişmeleri üzerindeki etkisinin araştırılması amacıyla YZE skorları ve YZE kategori payları ile ekonomik gelişme göstergeleri arasındaki ilişkinin analizi yapılmaktadır. **Bölüm 1.2**'de yapılan detaylı literatür araştırmasına göre ilişki analizinde ekonomik gelişme göstergeleri olarak kişi başına düşen GSYİH ve işgücü verimliliği kullanılmaktadır. YZE skorları ile ekonomik gelişme göstergeleri arasındaki ilişki analizi değerlendirildiğinde ülkelerin yapay zeka yetenek, kapasite ve potansiyel düzeyleriyle ekonomik gelişme düzeyleri arasında istatistiksel olarak anlamlı ve güçlü ilişkiler olduğu sonucuna varılmaktadır. YZE skorları ile ekonomik gelişme göstergeleri arasındaki güçlü ve aynı yönde ilişki ülkelerin kişi başına düşen GSYİH değerlerini ve işgücü verimliliğini artırma politikası olarak yapay zeka yetenek, kapasite ve potansiyel düzeylerini artırma politikasını izleyebilecekleri anlamına gelmektedir.

Çalışmada YZE'nin gerek kategorileri gerekse alt göstergeleri düzeyinde ayrıştırılarak ülkelerin performans analizlerinin genişletilmesi, YZE skorları ve YZE kategori payları ile ekonomik gelişme göstergeleri arasındaki ilişkinin kurulması ülkelerin yapay zeka teknolojilerini geliştirmeleri için atılması gereken adımların ve değerlendirmesi gereken fırsatların belirlenmesine ve yapay zekanın ekonomik

etkisini artırmak için izlenmesi gereken süreci açıklayan politika ve strateji planlarının geliştirilmesine temel hazırlamaktadır.

Yapay zeka ile ilgili endeks çalışmaları incelendiğinde çoğunlukla alt göstergelerin ağırlıklandırılmasında tüm ülkelere önceden belirlenmiş aynı ağırlıklandırma şemalarının uygulandığı görülmektedir. Bununla birlikte geliştirilen endeks çalışmaları ya az sayıda ülkeyi kapsamakta ya da performansı değerlendirilen ülkeler arasında Türkiye bulunmamaktadır. Bu çalışma daha önce yapılmış yapay zeka ile ilgili çoğu kompozit endeks çalışmasından farklı olarak Türkiye'nin de aralarında olduğu 120 ülkeyi kapsamaktadır. Bununla birlikte YZE alt göstergelerinin ağırlıklandırılmasında belirli bir ağırlıklandırma şeması kullanılması yerine ülkelerin politika önceliklerini ve kendilerine özgü yeteneklerini hesaba katan, her ülke için her boyutta gözlenen performansa bağlı olarak ülkelerin endeks skorlarını maksimum yapan ülkelere özgü optimal ağırlıkların yapılandırıldığı VZA tabanlı ŞLKY ağırlıklandırma yöntemi uygulanmaktadır. Böyle bir yaklaşım ile hem ülkelerin diğer ülkelere göre en uygun sırasının ortaya koyulması hem de ülke bazında politika önceliklerinin belirlenmesi sağlanarak haksız bir ağırlıklandırma şemasının kullanıldığı iddiaları engellenmektedir.

Çalışmada “Eksik Verilerin Tamamlanması” aşamasında Küresel Rekabet Edebilirlik Endeksi ve Küresel İnovasyon Endeksi gibi küresel anlamda geçerliliği olan, önemli ve güvenilir çalışmalarda da uygulanan çeşitli yaklaşımlar izlenmiştir. Bu şekilde istatistiksel yöntemlere başvurulmasına gerek kalmadan elde edilen eksiksiz bir veri setiyle 120 ülke için 5 kategoride 16 alt gösterge kullanılarak YZE hesaplanabilmektedir. Bununla birlikte YZE alt göstergelerinin ağırlıklandırılmasında VZA tabanlı ŞLKY ağırlıklandırma yönteminin kullanılması alt göstergelerin normalize edilmesi ihtiyacını ortadan kaldırmaktadır. Çalışmada YZE'nin geliştirilmesinde gerek eksiksiz bir veri seti kullanılması gerekse farklı ölçüm birimlerine sahip olmalarına rağmen YZE alt göstergelerinin normalize edilmeden analizde kullanılmaları kompozit endeks skorlarının öznelliğinin ve güvenilirliğinin sorgulandığı önemli birçok eleştirinin oluşmasını engellemektedir.

YZE, 2008 yılında OECD ve Avrupa Komisyonu Ortak Araştırma Merkezi Ekonometri ve Uygulamalı İstatistik Birimi ortak çalışmasıyla hazırlanan, “Kompozit Endeks Oluşturma El Kitabı: Metodoloji ve Kullanıcı Kılavuzu”³⁴⁸ esas alınarak 10 aşamada geliştirilmektedir. YZE’nin geliştirilme aşamalarında bir kompozit endeksin nasıl tasarlanacağı, geliştirileceği, kullanılacağı ve görselleştirileceği konusunda çeşitli yöntemler ayrıntılı ve uygulamalı olarak ifade edilmektedir. Böylelikle kompozit endeks geliştirme metodolojilerinin iyileştirilmesine ve elde edilen çıktılarının kalitesinin artırılmasına katkı sağlanması da amaçlanmaktadır.

3.1.2. Yapay Zeka ile İlgili Endeks Çalışmaları

Çalışmanın hareket noktası ülkelerin yapay zeka yetenek, kapasite ve potansiyelinin ölçülmesidir. Bu gerekliliği ifade eden ve bu ölçümleri çeşitli parametreler, göstergeler, bileşenler, metodolojiler ve kapsamlar (ülke bazında, sektör bazında) çerçevesinde yapan çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Bunlardan birisi Stanford Üniversitesi tarafından yapay zekanın gelişimi ve yapay zekanın insanlara, topluma etkileri hakkında yürütülen “Yüz Yıllık Yapay Zeka Çalışması”³⁴⁹ adlı uzun soluklu bir araştırmadır. Bu araştırmanın kapsamında her beş yılda bir düzenlenen çalışma panelleriyle yapay zekanın mevcut durumu değerlendirilmektedir. Çalışma panellerinin amacı yapay zeka alanında kaydedilen ilerlemeleri gözden geçirmek, gelecekte olabilecek potansiyel ilerlemeleri öngörmek ve bu ilerlemelerin etik, ekonomik gibi çeşitli alanlarda oluşturabileceği teknik ve toplumsal zorlukların ve fırsatların tanımlanmasıdır. Bu araştırmanın 2015-2016 yılı çalışma panelinin raporunda yapay zekanın gelişiminin izlenmesinin ve etkilerinin değerlendirilmesinin önemi ve gerekliliği vurgulanmaktadır.³⁵⁰

“Yüz Yıllık Yapay Zeka Çalışması” araştırmasının bir projesi olarak yapay zeka hakkındaki mevcut durumu, faaliyetleri ve ilerlemeleri izlemek ve araştırmak

³⁴⁸ Nardo, Saisana, Saltelli, Tarantola, Hoffmann, Giovannini, **a.g.e.**, pp.20-21.

³⁴⁹ Stanford University, “One Hundred Year Study on Artificial Intelligence (AI100)”, (Çevrimiçi), <https://ai100.stanford.edu>, 15.05.2020.

³⁵⁰ Peter Stone, et al., **Artificial Intelligence and Life in 2030, One Hundred Year Study on Artificial Intelligence: Report of the 2015-2016 Study Panel**, Stanford University, Stanford, CA, September 2016, (Çevrimiçi), <https://ai100.stanford.edu/2016-report>, 15.05.2020.

amacıyla yapay zeka endeksi yıllık raporu hazırlanmaktadır. Yapay zeka ile ilgili yapılan faaliyetlerin ve ilerlemelerin ele alındığı raporlarda yapay zeka ile ilgili konferanslar, patentler, akademik yayınlar, yatırımlar, girişimler, yapay zeka ile ilgili derslere ve eğitimlere katılım oranı, yapay zeka beceri penetrasyonu, yapay zeka ile ilgili meslek sayısı/iş ünvanları gibi çok geniş bir alanda yapay zekanın mevcut durumunu, yapay zeka ile ilgili yapılan faaliyetleri ve yapay zekanın gelişimini gösteren veriler paylaşılmaktadır. Projenin “Yapay Zeka Endeksi 2017”³⁵¹ yıllık raporunda yapay zeka teknolojilerinin mevcut durumu hakkında akıl yürütmeyi sağlayacak veriler olmadan yapay zeka ile ilgili yapılan çalışmalar ve karar verme süreçleri “kör uçuş” olarak nitelendirilmekte ve yapay zeka ile ilgili verilere dayanan bilinçli faaliyetlerin ve çalışmaların önemi ve gerekliliği vurgulanmaktadır. Projenin “Yapay Zeka Endeksi 2018”³⁵² ve “Yapay Zeka Endeksi 2019”³⁵³ yıllık raporlarıyla da gerek kapsadığı alanlar gerekse ülke sayısı genişletilerek politika belirleyiciler, araştırmacılar, yöneticiler, gazeteciler ve genel halk için yapay zeka ile ilgili tarafsız ve titizlikle incelenmiş verilerin ve ölçümlerin sağlanmasına devam edilmektedir.

“Yapay Zeka Endeksi 2019” yıllık raporunda ülkelerin yapay zeka ile ilgili küresel faaliyetlerinin karşılaştırılmasını sağlamak amacıyla “Küresel Yapay Zeka Canlılık Aracı”³⁵⁴ kompozit endeksi geliştirilmiştir. Araştırma ve geliştirme (research and development), ekonomi ve içermeye (inclusion) olmak üzere 3 bileşen şeklinde ifade edilen 34 gösterge kullanılarak 28 ülke için geliştirilen kompozit endeks ile ülkelerin yapay zekayı ne düzeyde benimsediğini değerlendirmek mümkün olmaktadır. Kompozit endeks sonuçlarına göre yapay zekanın gelişiminin büyük ölçüde ABD ve Çin arasında gerçekleşen bir mücadelenin ürünü olduğu şeklindeki izlenimin yanlış olduğu ve farklı ülkelerin yapay zekanın farklı alanlarında üst düzeyde yapay zeka

³⁵¹ Yoav Shoham, Raymond Perrault, Erik Brynjolfsson, Jack Clark, Calvin LeGassick, **The AI Index 2017 Annual Report**, AI Index Steering Committee, Human-Centered AI Initiative, Stanford University, Stanford, CA, November 2017, (Çevrimiçi), <https://hai.stanford.edu/ai-index-2017>, 15.05.2020.

³⁵² Yoav Shoham, Raymond Perrault, Erik Brynjolfsson, Jack Clark, James Manyika, Juan Carlos Niebles, Terah Lyons, John Etchemendy, Barbara Grosz, Zoe Bauer, **The AI Index 2018 Annual Report**, AI Index Steering Committee, Human-Centered AI Initiative, Stanford University, Stanford, CA, December 2018, (Çevrimiçi), <https://hai.stanford.edu/ai-index-2018>, 15.05.2020.

³⁵³ Perrault, Shoham, Brynjolfsson, Clark, Etchemendy, Grosz, Lyons, Manyika, Mishra, Niebles, **a.g.e.**

³⁵⁴ Stanford University, Human-Centered AI Institute, “Global AI Vibrancy Tool”, (Çevrimiçi), <http://vibrancy.aiindex.org/>, 10.06.2020.

yetenek, kapasite ve potansiyeline sahip olduğu belirtilmektedir. Çalışmada Finlandiya'nın yapay zeka eğitimi, Hindistan'ın yapay zeka beceri penetrasyonu, Singapur'un yapay zeka için iyi organize edilmiş hükümet desteği ve İsrail'in kişi başına düşen özel yapay zeka girişimi yatırımları konusunda üst düzeyde performansa sahip oldukları ifade edilmektedir.

Yapay zeka ile ilgili geliştirilen bir diğer endeks "Hükümetlerin Yapay Zeka Hazırbulunuşluk Endeksi" çalışmasıdır. İlk defa 2017 yılında geliştirilen endeksin³⁵⁵ amacı hükümetlerin işlemlerinde ve kamu hizmetlerinin sunumunda yapay zekanın yenilikçi potansiyelini kullanma kapasitesini ölçmektir. Yapay zeka verimliliğin ve kalitenin artmasını, zaman ve paradan tasarruf edilmesini sağlayarak hükümetlerin kamu hizmetlerini sunma gücünü artırma potansiyeline sahiptir. Hükümetlerin yapay zekayı kamu hizmetlerinin kalitesini artırmak için kullanmaları vatandaşların da bu hizmetleri daha verimli ve yaygın bir şekilde kullanmasına olanak sağlamaktadır. "Hükümetlerin Yapay Zeka Hazırbulunuşluk Endeksi" ile hükümetlerin işlemlerinde ve kamu hizmetlerinin sunumunda yapay zekanın sağladığı avantajlardan ne düzeyde yararlandıkları göreceli olarak derecelendirilmektedir.

Oxford Insights ve Uluslararası Kalkınma Araştırma Merkezi tarafından geliştirilen "Hükümetlerin Yapay Zeka Hazırbulunuşluk Endeksi 2019"³⁵⁶ çalışması 194 ülkeyi kapsamaktadır. Endeks, yönetim (governance), altyapı ve veri (infrastructure and data), beceri ve eğitim (skills and education), hükümet ve kamu hizmetleri (government and public services) olmak üzere 4 ana bileşen başlığı altında 11 göstergeden oluşmaktadır. Endeks 194 ülke hükümetleriyle birlikte 7 coğrafi bölgeyi de kamu hizmetlerinin sunumunda yapay zekayı kullanma hazırbulunuşluk düzeylerine göre derecelendirmektedir. "Hükümetlerin Yapay Zeka Hazırbulunuşluk Endeksi 2019" çalışmasının raporunda üst sıralarda bulunan ülkelerin daha güçlü ekonomiye, daha iyi bir yönetim anlayışına ve daha yenilikçi bir özel sektöre sahip oldukları belirtilmektedir. Endeks sonuçlarına göre ilk sırada Singapur olmak üzere

³⁵⁵ Richard Stirling, Hannah Miller, Emma Martinho-Truswell, **Government Artificial Intelligence Readiness Index 2017**, Oxford Insights, 2017, (Çevrimiçi), <https://www.oxfordinsights.com/government-ai-readiness-index>, 15.06.2020.

³⁵⁶ Miller, Stirling, Chung, Lokanathan, Martinho-Truswell, New, Rutenberg, Scrollini, **a.g.e.**

genellikle Batı Avrupa hükümetleriyle birlikte ABD, Kanada, Avustralya, Yeni Zelanda, Japonya, Hindistan ve Çin hükümetlerinin ilk 20 ülke arasında yer aldığı görülmektedir. Endeks sonuçları hükümetlerin yapay zekanın potansiyel gücünden yararlanmaya hazır olma düzeylerinin küresel anlamda taşıdığı büyük eşitsizliği gösterirken, yüksek gelir seviyesine sahip olan ülkelerin orta ve düşük gelir seviyesine sahip olan ülkelere göre daha üst sıralarda yer aldığını da vurgulamaktadır.

McKinsey Global Institute tarafından 2018 yılında yapılan çalışmada 41 ülke için 8 boyutta çok sayıda gösterge kullanılarak ülkelerin yapay zeka benimseme ve özümseme hazırbulunuşluk düzeyleri ölçülmektedir. Çalışmada ülkeler arasındaki değişen şartların yapay zekanın benimsenmesinin ve özümsemesinin düzeyini belirlediği ve dolayısıyla ülkelerin yapay zeka kaynaklı ekonomik büyümeden elde edeceği kazancı şekillendirdiği vurgulanmaktadır. Çalışmada yapay zeka benimseme ve özümseme hazırbulunuşluk düzeylerine göre karşılaştırılan 41 ülke, mevcut verilere dayanarak nispeten benzer hazırlık derecelerini paylaşan 4 ülke grubu şeklinde ifade edilmektedir. Endeks sonucuna göre küresel lider ülkeler olarak ABD ve Çin birinci ülke grubunu oluşturmaktadır. Yapay zeka teknolojilerinin sağladığı avantajları yakalama yeteneği, kapasitesi ve potansiyeli açısından güçlü ülkeler olarak Kanada, Fransa, Güney Kore, İsveç, Almanya, Japonya, Birleşik Krallık, Finlandiya ve Singapur gibi çok sayıda ülke ise ikinci ülke grubuna dahildir. Bununla birlikte yapay zeka teknolojilerine hazırbulunuşluk açısından oluşturulan 4 ülke grubunun statik olmadığı, yapay zeka yeteneklerini, kapasitesini ve yapay zekanın alımını ve gelişmesini sağlayan etkinleştirici ve kolaylaştırıcı faktörleri güçlendirmek için aktif adımlar atan ülkelerin yapay zekayı benimseme konusunda önemli yol alabileceği ifade edilmektedir.³⁵⁷

Yapay zeka ile ilgili yapılan bir diğer endeks değişen küresel yapay zeka manzarasının değerlendirilmesi amacıyla 13 ülkenin ulusal yapay zeka stratejisi analiz edilerek geliştirilen “Ulusların Yapay Zeka Hazırbulunuşluk Endeksi” çalışmasıdır.³⁵⁸ Ülkelerin yapay zeka durumunun ve konumunun karşılaştırıldığı endeks, genel

³⁵⁷ Bughin, Seong, Manyika, Chui, Joshi, **a.g.e.**, pp.27-34.

³⁵⁸ Cambrian Futures, “Nation AI Readiness Index (NAIR)”, (Çevrimiçi), <https://www.cambrian.ai/nair-index>, 15.06.2020.

gereksinimler/ön koşullar (general requirements/preconditions), araştırma ve geliştirme, ticarileştirme (commercialization) olmak üzere 3 ana bileşen başlığı altında çok sayıda göstergeden oluşmaktadır. Endeks çalışması ABD, Çin, İngiltere, Fransa, Finlandiya, Güney Kore, İsrail, Japonya, Kanada, Hindistan, Birleşik Arap Emirlikleri, Singapur ve Almanya'nın yapay zeka stratejilerinin değerlendirildiği, ülke bazında yapay zekanın genel gereksinimlerinin ve ön koşullarının, araştırma ve geliştirme durumlarının ve yapay zekanın ticarileştirilme derecesinin incelendiği ve bunlarla ilgili temel öngörülerin ve ölçütlerin sunulduğu 3 seri şeklinde hazırlanmıştır. Çalışma ABD ve Çin'in yapay zeka gelişiminde öncü olan ilk 2 ülke olduğunu doğrulamakla birlikte analiz edilen diğer 11 ülkenin de ulusal yapay zeka stratejileriyle, yapay zeka ile ilgili Ar-Ge çalışmalarıyla, finansal ve teknolojik kaynaklarıyla yapay zekanın gelişimindeki gücü ve etkilerini ortaya koymakta ve yapay zekanın geleceğini şekillendirmede önemli katkıları sunacak potansiyele sahip olduklarını vurgulamaktadır.

“Ulusların Yapay Zeka Hazırbulunuşluk Endeksi” çalışmasının birinci raporunda yapay zeka teknolojilerinin mevcut durumunun sınırlı ölçülebilir çıktılar ürettiği için endeksin gösterge verilerinin vekil ölçümlerle elde edildiği ifade edilmektedir. ABD'nin gösterge değerleri bir (1) kabul edilerek ülkelerin gösterge değerleri 0 ile 1 arasında derecelendirilmektedir. Çalışmada ABD, yapay zekadaki mevcut küresel liderliği nedeniyle ölçüt ülke (benchmark country) olarak seçilmektedir. Her bileşene ait göstergelerin ABD'ye göre derecelendirilmiş değerlerinin ortalaması ilgili bileşenin değerini, her bölüme ait bileşenlerin ortalaması bölümün değerini oluşturmaktadır. Endeksin genel gereksinimler/ön koşullar, araştırma ve geliştirme, ticarileştirme bölümlerinin ortalaması ise endeks skorunu vermektedir.³⁵⁹

Ülkelerin yapay zekanın potansiyel gücünden yararlanmaya hazır olma düzeyleri, göreceli yapay zeka konumları, yapay zeka durumları, hükümetlerinin yapay zekanın

³⁵⁹ Olaf J. Groth, Mark Nitzberg, Dan Zehr, Tobias Straube, Toni Kaatz-Dubberke, **Comparison of National Strategies to Promote Artificial Intelligence Part 1**, Cambrian, Konrad-Adenauer-Stiftung, 2019, p.45, (Çevrimiçi), <https://www.kas.de/documents/252038/4521287/Comparison+of+National+Strategies+to+Promote+Artificial+Intelligence+Part+1.pdf/397fb700-0c6f-88b6-46be-2d50d7942b83?version=1.0&t=1559816454483>, 15.06.2020.

yenilikçi potansiyelini kullanma kapasitesi çeşitli göstergeler, bileşenler ve kapsam çerçevesinde ölçülürken sektörel bazda da yapay zekanın kapasitesinin, yetenek düzeyinin, gelişiminin, benimsenme ve özümseme düzeyinin ve etkilerinin ölçüldüğü çalışmalar bulunmaktadır. PwC tarafından yapılan bir çalışmada çeşitli sektörlerde uygulanan yapay zeka teknolojilerinin tüketiciler için “zaman tasarrufu sağlama”, “ürün kalitesini artırma” ve “kişiselleştirilmiş ürün ve hizmet sunma” parametrelerindeki potansiyeli için bir derecelendirme yapılarak “Yapay Zeka Etki Endeksi” (AI Impact Index) hazırlanmıştır. Yapay zeka teknolojilerini kullanan 300 vaka üzerinde yapılan analizle yapay zeka teknolojilerinin oluşturduğu değişimin hızını ve en yüksek getiriye sağladığı kaynağı tayin etmek için belirlenen sektörlerde benimsenme hızları ve etkisinin derecesi hesaplanmıştır. PwC’nin 2017 yılında hazırladığı endekse göre yapay zekanın potansiyel etkisini en çok hissedecek sektörlerin sırasıyla sağlık, otomotiv ve finansal hizmetler olduğu belirtilmiştir. Yapay zekanın benimsenme oranlarının 7 yıl içinde finans sektöründe %100, imalat sektöründe %97 ve perakende sektöründe ise %92 olması beklenmektedir.³⁶⁰ “Yapay Zeka Etki Endeksi” sonuçlarına göre sağlık, eğitim, kamu ve kişisel hizmetler, ulaşım ve lojistik sektörlerinin “tüketiciler için zaman tasarrufu sağlama” ve “kişiselleştirilmiş ürün ve hizmet sunma” parametrelerinde; sağlık, eğitim, kamu ve kişisel hizmetler, imalat, inşaat ve finansal hizmetler sektörlerinin “ürün kalitesini artırma” parametrelerinde en yüksek skora sahip oldukları belirtilmektedir.³⁶¹

Yapay zeka ile ilgili sektörel bazda geliştirilen bir diğer endeks McKinsey Global Institute tarafından yapılan 10 ülke ve 13 sektör için yapay zeka teknolojilerinin benimsenmesinin ve kullanımının derecesinin ölçüldüğü çalışmadır. Yapay zeka yatırımları, yapay zekanın benimsenmesi, yapay zekanın kullanımı ile ilgili iş dünyasındaki eğilimleri belirlemek amacıyla yapılan bir anket çalışmasına dayandırılarak geliştirilen endeks ile yapay zeka varlıkları, yapay zeka kullanımı ve yapay zeka destekli işgücü olmak üzere 3 kategoride ele alınan 16 girdi ile her bir sektör için yapay zeka teknolojilerini benimseme skoru elde edilmiştir.³⁶² Endeksin

³⁶⁰ Rao, Verweij, **a.g.e.**, pp.10-11.

³⁶¹ Gillham, Rimmington, Dance, Verweij, Rao, Barnard Roberts, Paich, **a.g.e.**, pp.31-34.

³⁶² Bughin, Hazan, Ramaswamy, Chui, Allas, Dahlström, Henke, Trench, **a.g.e.**, pp.70-72.

sonucuna göre sırasıyla ileri teknoloji ve telekomünikasyon, otomotiv ve finansal hizmetler sektörleri yapay zeka benimseme düzeyi en yüksek olan sektörlerdir. Çalışmada bu sektörlerin dijital araçları geliştirme veya benimseme konusunda da önde gelen sektörler oldukları belirtilerek yapay zekanın benimsenmesinin dijital teknolojileri benimseme ve kullanma düzeyi yüksek olan sektörlerde daha hızlı gerçekleştiği vurgulanmaktadır.³⁶³

3.2. Yapay Zeka Endeksi Geliştirme Aşamaları

Bu bölümde 2008 yılında OECD ve Avrupa Komisyonu Ortak Araştırma Merkezi Ekonometri ve Uygulamalı İstatistik Birimi ortak çalışmasıyla hazırlanan, “Kompozit Endeks Oluşturma El Kitabı: Metodoloji ve Kullanıcı Kılavuzu”³⁶⁴ adlı el kitabında belirlenen kompozit endeks oluşturma aşamaları esas alınarak bir kompozit endeks olan YZE geliştirilmektedir. YZE’nin geliştirilme aşamalarında bir kompozit endeksin nasıl tasarlanacağı, geliştirileceği, kullanılacağı ve görselleştirileceği konusunda çeşitli yöntemler ayrıntılı ve uygulamalı olarak ifade edilmektedir.

3.2.1. Teorik Çerçeve

4.Sanayi Devrimi’nin temel taşı olarak nitelendirilen yapay zekanın, 2.Sanayi Devrimi’nin itici gücü olarak kabul edilen elektriğin her şeyi dönüştürmesi gibi endüstriler üzerinde büyük bir dönüştürücü etkiye sahip olduğu; sosyal, ekonomik ve çevresel kalkınma için benzeri görülmemiş fırsatlar sunduğu belirtilmektedir. Yapay zekanın dönüştürücü etkisi, insanların yaşama ve çalışma şekillerini temelden değiştirerek; yaratıcılığı, girişimciliği, rekabet gücünü ve inovasyonu teşvik eden fırsatlar yaratarak; yeni çalışma alanları, yeni üretim teknikleri, yeni ürünler ve yeni pazarlar oluşmasına olanak sağlayarak ülkelerin ekonomisinde büyümeyi tetikleyen yapısal dönüşümü şekillendirmektedir.

³⁶³ A.e., pp.13-15.

³⁶⁴ Nardo, Saisana, Saltelli, Tarantola, Hoffmann, Giovannini, a.g.e., pp.20-21.

Çalışmalar yapay zekanın daha hızlı bir ekonomik büyümenin yolunu açtığını ve işgücü verimliliğinde büyük ve hızlı sıçramalar sağladığını göstermektedir. Yapay zekanın potansiyel ekonomik etkilerinin analiz edildiği birçok çalışmada, yapay zekanın “ulusal ekonomik büyümeyi artırma etkisi” ve “işgücü verimliliğini yeniden canlandırma etkisi” vurgulanmaktadır. Yapay zeka, insanların yaşama ve çalışma şekillerini temelden değiştirerek ülkelerin ekonomik büyüme ve küresel rekabet gücü için itici bir güç olma potansiyeli taşımaktadır.

Ülkeler arasındaki değişen şartlar yapay zekanın benimsenmesinin ve özümsemesinin düzeyini belirlemekte ve dolayısıyla ülkelerin yapay zeka kaynaklı ekonomik büyümeden elde edeceği kazancı şekillendirmektedir. Yapay zekanın potansiyel ekonomik etkisi ile ilgili analizler, ülkelerin yapay zeka kaynaklı ekonomik kazanımlarının seviyesinin yapay zekayı benimseme ve özümseme oranlarına bağlı olduğunu göstermektedir. Çalışmalarda ülkeler yapay zeka yetenek, kapasite ve potansiyelini artırıcı önlemler almadıkça ve uygun stratejiler izlemedikçe zamanla ülkeler arasındaki yapay zekayı özümseme seviyelerindeki farklılıkların belirgin bir şekilde artacağı ve dolayısıyla ülkelerin yapay zeka kaynaklı ekonomik büyümeden elde edilecek kazançları arasında da telafi edilemez uçurumlar oluşacağı olasılığı vurgulanmaktadır. Yapay zekanın dünya ekonomisi üzerindeki potansiyel etkisinin sürdürülebilir bir şekilde yakalanması için bu olasılığın yönetilmesi gerekmektedir.³⁶⁵

Yapay zeka, insanların yaşama ve çalışma şekillerini temelden değiştirme potansiyeline sahipken en etkin şekilde yarattığı fırsatların değerlendirilebilmesi ve olası risklerin yönetilebilmesi için yapay zekanın benimsenme ve özümseme dinamiklerini etkileyen faktörlerin belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. Bu faktörler yapay zekanın alımını, kullanılmasını, uygulanmasını ve geliştirilmesini sağlayan koşullar, öncüller ve itici güçlerdir. Yapay zekanın ekonomik ve toplumsal faydalarının artırılmasına yönelik strateji geliştirilebilmesi için yapay zekanın benimsenmesini ve özümsemesini etkileyen faktörler bağlamında ülkelerin mevcut

³⁶⁵ Bughin, Seong, Manyika, Chui, Joshi, **a.g.e.**, pp.30-35.

durumlarının ve konumlarının değerlendirilerek yapay zekanın sunduğu fırsatlardan yararlanma yetenek, kapasite ve potansiyelinin ölçülmesi gerekmektedir.

Çalışmada yapay zekanın benimsenmesini ve özümsemiğini etkileyen faktörler yani yapay zekanın alımını, kullanılmasını, uygulanmasını ve geliştirilmesini sağlayan koşullar, öncüller ve itici güçler bağlamında ülkelerin mevcut yapay zeka yetenek düzeyine, kapasitesine ve potansiyeline genel bir bakış sağlayan YZE geliştirilmektedir. YZE, ülkelerin yapay zeka teknolojilerini alımı, kullanımı, uygulaması ve geliştirmesi konusunda yetenek, kapasite ve potansiyelinin seviyesini belirten bir kompozit endekstir. YZE, yapay zekanın benimsenmesini ve özümsemiğini etkileyen faktörler bağlamında ülkelerin mevcut durumlarının göreceli olarak belirlenmesini, konumlarının karşılaştırılmasını ve benzer yapay zeka yetenek, kapasite ve potansiyel seviyesine sahip olan ülke gruplarının tanımlanmasını sağlamaktadır.

YZE ile amacımız ülkelerin yapay zeka teknolojilerini alımı, kullanımı, uygulaması ve geliştirmesi konusunda yetenek, kapasite ve potansiyelinin ölçülmesidir. Böylelikle ülkelerin yapay zeka teknolojilerini geliştirmeleri için atılması gereken adımlar ve değerlendirmesi gereken fırsatlar belirlenerek yapay zekanın ekonomik etkisini artırmak için izlenmesi gereken süreci açıklayan politika ve strateji planlarının temeli oluşturulmaktadır.

Yapay zeka ile ilgili olan bütün kilit bileşenler ve ilgili göstergeler (yapay zeka ile ilgili yatırımlar, yapay zeka ile ilgili araştırma çalışmaları, veri ekosistemi, etik ve hukuki düzenlemeler, beşeri sermaye, inovasyon ekosistemi, geniş bant bağlantısı, dijital teknolojilerden yararlanma düzeyi, kamu-üniversite-sanayi iş birliği, rekabet ortamı, siber güvenlik vb.) bir araya getirildiğinde ülkelerin yapay zekayı benimseme ve özümseme oranları yükselmekte dolayısıyla ülkelerin yapay zeka teknolojilerini alımı, kullanımı, uygulaması ve geliştirmesi konusunda yetenek, kapasite ve potansiyeli artmaktadır. Bu gerçekten hareketle ülkelerin yapay zeka yetenek, kapasite ve potansiyelini ölçmek amacıyla hazırlanan YZE, 120 ülke için mümkün olan en geniş kapsamda 5 kategoride 16 alt gösterge kullanılarak hesaplanmaktadır. Alt

göstergeler ülkelerin mevcut yapay zeka durumlarını göreceli olarak ölçmek için kullanışlı olup olmadıkları göz önüne alınarak seçilmişlerdir.

YZE'nin geliştirilmesinde “Yapay Zeka ile İlgili Araştırma Çalışmaları, Beşeri Sermaye, İnovasyon Ekosistemi, Geniş Bant Bağlantısı ve Dijital Teknoloji Olgunluk Düzeyi” olmak üzere 5 kategoride ülkelerin yapay zeka teknolojilerini alımı, kullanımı, uygulaması ve geliştirmesi için koşul, öncül veya itici güç olma özelliği taşıyan 16 alt gösterge kullanılmaktadır. **Bölüm 1.3**'te yapılan detaylı literatür araştırmasında anlatıldığı gibi yapay zekanın benimsenme ve özümseme dinamiklerini etkileyen çok sayıda faktör olmakla birlikte 120 ülkenin mümkün olan en geniş kapsamda mevcut yapay zeka durumlarını göreceli olarak ölçmek için kullanışlı ve erişilebilir olmalarından dolayı YZE'nin oluşturulmasında 5 kategoride 16 alt gösterge seçilmiştir. Erişilebilir veri miktarı ve kapsamı arttıkça, daha güncel ve daha hassas veriler elde edildikçe YZE kategorilerinin ve YZE alt göstergelerinin güncellenmesi ve böylelikle elde edilen bulguların doğruluğunun artırılması önerilmektedir.

Yapay zekanın potansiyel ekonomik etkilerinin en üst düzeye çıkarılması için ülkelerin yapay zekanın benimsenmesini ve özümsemesini etkileyen faktörlerin düzeylerini ve yoğunluğunu artırmalarının yanında verimliliğini ve kalitesini de artırmaları gerekmektedir.³⁶⁶ Bu nedenle ülkelerin yapay zeka yetenek, kapasite ve potansiyelinin YZE ile ölçülmesi ve kıyaslanması amaçlanırken YZE alt göstergelerinin “ülkelerin kalitesini ve verimliliğini” de yansıtması gerektiği dikkate alınarak YZE'nin teorik çerçevesi inşa edilmektedir. “Yapay Zeka ile İlgili Araştırma Çalışmaları” kategorisinin alt göstergeleri olarak “Yapay Zeka ile İlgili Atıf Yapılabilir Doküman Sayısı” ile yapay zeka ile ilgili araştırma çalışmalarının yoğunluğu ölçülürken “Yapay Zeka ile İlgili Doküman Başına Düşen Atıf Sayısı” ve “Yapay Zeka ile İlgili h-indeksi Kategorisindeki Doküman Sayısı” alt göstergeleri ile ilgili kategoride ülkelerin kalite ve verimliliğinin ölçülmesi amaçlanmaktadır. “Beşeri Sermaye” kategorisinin kalite ve verimliliği “Aktif Nüfusun Dijital Beceri Düzeyi” ve “Fen ve Matematik Eğitiminin Kalitesi” alt göstergeleri ile “Geniş Bant Bağlantısı”

³⁶⁶ Barton, Woetzel, Seong, Tian, **a.g.e.**, pp.5-6.

kategorisinin kalite ve verimliliği “Hızı 10 Mbit/s’ye Eşit veya Üzeri Olan Sabit Geniş Bant Abone Sayısı” alt göstergesiyle yansıtılmaktadır.

Alt göstergeler kompozit endeks ile ölçülmesi amaçlanan kavrama ne şekilde katkı sağladıkları dikkate alınarak girdi, çıktı veya süreç göstergeleri şeklinde tanımlanmalıdır.³⁶⁷ Örneğin eğitim sistemi ile ilgili yapılan bazı çalışmalarda “Bilim İnsanlarının ve Mühendislerin Mevcudiyeti”, “Yüksek Öğrenim Kayıt Oranı” gibi göstergeler “çıktı” olarak kullanılmaktadır. YZE’nin geliştirilmesinde ise bu göstergeler ülkelerin yapay zeka yetenek, kapasite ve potansiyelini artıran ve yapay zeka teknolojilerinin geliştirilmesi için gerekli yeni bilgilerin ve fikirlerin üretilmesinde önemli rol oynayan yapay zeka yeterliliklerine sahip yetenekli insan gücünü temsil ettikleri için “girdi” niteliği taşımaktadır. **Bölüm 1.3**’te yapılan literatür araştırmasında anlatıldığı gibi YZE alt göstergelerinin düzeyi, yoğunluğu, kalitesi ve verimliliği arttıkça ülkelerin yapay zekayı benimseme ve özümseme oranları yükselmekte dolayısıyla ülkelerin yapay zeka teknolojilerini alımı, kullanımı, uygulaması ve geliştirmesi konusunda yetenek, kapasite ve potansiyeli artmaktadır. Bu nedenle YZE’nin 5 kategorisinin mümkün olan en geniş ölçüde açıklanmasını sağlayan 16 YZE alt göstergesi ülkelerin yapay zeka yetenek, kapasite ve potansiyeli için “girdi” vazifesi görmektedir.

Tablo 3.1’de YZE kategorileri ve her kategorinin ülkelerin yapay zeka yetenek, kapasite ve potansiyeline nasıl katkıda bulunduğu, ilgili kategoriyle neyin ölçülmek istendiği açıklanmaktadır. Tablo 3.2’de YZE kategorileri, ilgili YZE alt göstergeleri ve kısaltmaları bulunmaktadır.

³⁶⁷ Nardo, Saisana, Saltelli, Tarantola, Hoffmann, Giovannini, **a.g.e.**, p.22.

Tablo 3.1: YZE Kategorileri ve Açıklamaları

YZE KATEGORİLERİ	AÇIKLAMASI
Yapay Zeka ile İlgili Araştırma Çalışmaları (AI-Related Research Activities)	Yapay zeka ile ilgili araştırma çalışmaları daha yoğun düzeyde ve kalitede olan ülkeler yeni ürünler, hizmetler, yöntemler ve çözümler geliştirmek için yapay zeka teknolojilerinin alımı, kullanılması ve geliştirilmesi konusunda daha yüksek yetenek, kapasite ve potansiyele sahip ülkelerdir. Yapay zeka ile ilgili araştırma çalışmalarının sayısı ve kalitesi daha yüksek olan ülkelerin teknoloji özümseme kapasitesinin de daha yüksek olduğu görülmektedir. Aynı zamanda bir ülkede yapay zeka ile ilgili araştırma çalışmalarının sayısının ve kalitesinin yüksek olması yapay zeka ile ilgili teknolojileri kullanabilen, geliştirebilen ve yeni çözümler için yapay zeka teknolojilerini uyarlayabilen nitelikli ve yetenekli araştırmacıların olduğu anlamına gelmektedir. Bu nedenlerden dolayı yapay zeka ile ilgili araştırma çalışmalarının sayısı ve kalitesi ülkelerin yapay zeka benimseme ve özümseme oranlarını dolayısıyla ülkelerin yapay zeka yetenek, kapasite ve potansiyelini belirlemektedir.
İnovasyon Ekosistemi (Innovation Ecosystem)	İnovasyon ekosistemi güçlü olan ülkelerin yeni fikirleri yeni ürün ve hizmetlere dönüştürme kapasitesi daha yüksektir. Ülkelerin inovasyon kabiliyetinin ve iş dinamizminin derecesi oluşan ihtiyaçlar doğrultusunda etkili ve değer katan yapay zeka çözümlerini geliştirebilmesi ve ticarileştirebilmesi konusundaki kapasitesini ve potansiyelini belirlemektedir.
Beşeri Sermaye (Human Capital)	Beşeri Sermaye, yeni bilgilerin ve bunların gerçek dünya uygulamalarının benimsenmesi ve geliştirilmesi için kritik bir öneme sahiptir. Ülkelerin yapay zeka ve ilgili alanlarda önemli ilerlemeler kaydetmesini sağlayan “yapay zeka araştırmacıları ve bilim adamları”, çeşitli alanlarda ve uygulamalarda yapay zeka çözümleri ve yöntemleri geliştiren “yapay zeka uzmanları” ve geliştirilen yapay zeka sistemlerinin çalışmasını, uygulanmasını ve kullanılmasını sağlayan “yetenekli işgücünün” mevcudiyeti ülkelerin yapay zeka benimseme ve özümseme düzeylerini ve dolayısıyla yapay zeka teknolojilerini kullanma, uygulama ve geliştirme yetenek, kapasite ve potansiyelini belirlemektedir.
Geniş Bant Bağlantısı (Broadband Connectivity)	Geniş Bant Bağlantısı, yapay zeka teknolojilerinin alımı, uygulanması ve geliştirilmesi için temel ve ön koşul niteliğindedir. Yapay zekayı besleyen ve gelişimini sağlayan “Nesnelerin İnterneti”, “Bulut Bilişim” ve “Büyük Veri” gibi yapay zekanın dijital bileşenleri geniş bant bağlantısına bağımlı olarak işlev görmektedirler. Güvenilir ve yüksek kapasiteli geniş bant bağlantısı olmadan yapay zeka teknolojilerinin geliştirilmesinin mümkün olmadığı belirtilmektedir. Kaliteli, güvenilir ve yüksek kapasiteli geniş bant bağlantısı merkezi konumu ve anahtar unsur olma özelliğiyle yapay zekanın dijital bileşenlerinin işlevlerinin toplulaştırılarak ve birbirlerini tamamlayarak yapay zeka teknolojilerinin alımı, uygulanması ve geliştirilmesi için temel teşkil etmektedir.
Dijital Teknoloji Olgunluk Düzeyi (Digital Technologies Maturity Level)	Yapay zeka ve ilgili teknolojilere sağladığı temel ve teknik omurgayla dijital teknolojilerin benimsenmesi yapay zeka teknolojilerinin benimsenmesinde çok önemli bir faktördür. Mevcut dijital teknolojilerin sağladığı temel ve teknik omurgayla birlikte dijital teknolojilerin sunduğu fırsatlardan en üst düzeyde yararlanılarak organizasyonlar içindeki değişim harekete geçirildiğinde yapay zeka araç ve uygulamalarından değer üretilebilmektedir. “Dijital Teknoloji Olgunluk Düzeyi” arttıkça yapay zeka teknolojilerinin benimsenme ve özümseme hızı artmaktadır. Ülkelerin sahip olduğu “Dijital Teknoloji Olgunluk Düzeyi”, yapay zeka teknolojilerinin alımı, kullanılması, uygulanması ve geliştirilmesi için hem bir ön koşul hem de etkinleştirici ve kolaylaştırıcı olma niteliği taşıyarak ülkelerin yapay zeka yetenek, kapasite ve potansiyelini belirleyen önemli bir faktördür.

Tablo 3.2: YZE Kategorileri ve İlgili YZE Alt Göstergeleri

YZE KATEGORİLERİ ve İLGİLİ YZE ALT GÖSTERGELERİ
Yapay Zeka ile İlgili Araştırma Çalışmaları
Yapay Zeka ile İlgili Atıf Yapılabilir Doküman Sayısı (AYDS) (Number of Citable Documents)
Yapay Zeka ile İlgili Doküman Başına Düşen Atıf Sayısı (DBDAS) (Citations per document)
Yapay Zeka ile İlgili h-indeksi Kategorisindeki Doküman Sayısı (HIKDS)
İnovasyon Ekosistemi
İş Dinamizmi (İD) (Business Dynamism)
İnovasyon Kabiliyeti (İK) (Innovation Capability)
Beşeri Sermaye
Aktif Nüfusun Dijital Beceri Düzeyi (ANDBD) (Digital Skills Among Active Population)
Bilim İnsanlarının ve Mühendislerin Mevcudiyeti (BİVMM) (Availability of Scientists and Engineers)
Fen ve Matematik Eğitiminin Kalitesi (FVMEK) (Quality of Science and Mathematics Education)
Yüksek Öğrenim Kayıt Oranı (YÖKO) (Tertiary Education Enrollment Rate)
Geniş Bant Bağlantısı
Aktif Mobil Geniş Bant Abone Sayısı (AMGBAS)
Sabit Geniş Bant Abone Sayısı (SGBAS)
İnternet Kullanıcısı Başına Uluslararası Bant Genişliği (IKBUBG)
Hızı 10 Mbit/s'ye Eşit veya Üzeri Olan Sabit Geniş Bant Abone Sayısı (HSGBAS)
Dijital Teknoloji Olgunluk Düzeyi
E-Devlet Gelişmişlik Endeksi (EDGE) (E-Government Development Index)
Küresel Siber Güvenlik Endeksi (KSGE) (Global Cybersecurity Index)
Firma Düzeyinde Teknoloji Emilimi (FDTE) (Firm Level Technology Absorption)

3.2.2. Alt Göstergelerin Seçilmesi

Teorik çerçeve, alt göstergelerin seçilmesine rehberlik etmekle birlikte ölçülecek kavramı açıklayan tek bir tanımlayıcı gösterge seti olamayacağından veri seçim süreci oldukça öznel bir yaklaşıma dayanmaktadır.³⁶⁸ Kompozit endeksin alt göstergeleri ölçülebilirliklerine, ölçülen kavramla olan ilgilerine ve birbirleriyle olan ilişkilerine dayandırılarak seçilmelidir.³⁶⁹ Alt göstergeleri seçmenin tamamen nesnel bir yolu yoktur. Alt göstergelerin ölçülen kavramla olan ilgisi net bir şekilde ifade edilmelidir.³⁷⁰

Bölüm 1.3'te yapılan literatür araştırmasında yapay zekanın benimsenme ve özümseme dinamiklerini etkileyen faktörler detaylı bir şekilde incelenmiştir. Bu faktörler yapay zekanın alımını, kullanılmasını, uygulanmasını ve geliştirilmesini sağlayan koşullar, öncüller ve itici güçlerdir. YZE alt göstergeleri bu faktörler arasından seçilmişlerdir.

Çalışmada YZE'nin geliştirilmesinde literatür araştırmasına dayandırılarak seçilen 5 kategori altında 16 tane alt gösterge kullanılmaktadır. Her kategorinin tam resmini yakalayacak kadar kapsamlı olmamakla birlikte kullanılan 16 YZE alt göstergesi, 120 ülkenin göreceli konumlarının belirlenmesi açısından faydalı sonuçlar vermektedir. Çalışmada 5 kategoriye ait 16 YZE alt göstergesiyle, ülkelerin göreceli yapay zeka yetenek, kapasite ve potansiyelinin ölçülmesine, ülke bazında ana sürücülerin, güçlü ve zayıf yönlerin belirlenmesine, ülkelerin ekonomik gelişme göstergeleri ile yapay zeka yetenek, kapasite ve potansiyel seviyeleri arasındaki ilişkinin analiz edilmesine imkan verecek düzeyde ülkeler arasındaki ayırt edici gücü yüksek bir YZE elde edilebilmektedir.

Çalışmada YZE alt göstergelerinin seçilmesinde 120 ülke için karşılaştırılabilir verilerin mevcut olması ve güvenilir kaynaklardan elde edilmiş olması göz önüne alınmıştır. Bununla birlikte 16 YZE alt göstergesinin ölçülebilirlikleri, ölçülen

³⁶⁸ Nardo, Saisana, Saltelli, Tarantola, Hoffmann, Giovannini, **a.g.e.**, p.23.

³⁶⁹ Freudenberg, **a.g.e.**, p.8.

³⁷⁰ Saisana, Tarantola, **a.g.e.**, p.8.

kavramla olan ilgileri ve birbirleriyle olan ilişkileri değerlendirilmiştir. Ülkelerin yapay zeka teknolojilerini alımı, kullanımı, uygulaması ve geliştirmesi konusunda yetenek, kapasite ve potansiyelini açıklayan “yapay zeka yatırımları ve girişimleri, yapay zeka ile ilgili patentler ve konferanslar, yapay zeka ile ilgili derslere ve eğitimlere katılım oranı, yapay zeka ile ilgili meslek sayısı/iş ünvanları” gibi ilgili birçok gösterge olmasına rağmen, bu göstergeler 120 ülke için karşılaştırılabilir düzeyde ve eksiksiz olarak elde edilemediğinden kapsam dışı bırakılmışlardır.

Bir göstergenin kapsamı, tanımı veya ölçüm birimi ülkeden ülkeye farklılık gösterebilmektedir. Ayrıca bazı göstergelerin verileri çok az sayıda ülkeyi kapsamakta veya bir grup ülke için çok yüksek değerler alırken, çok sayıda ülke için 0’a yakın veya 0 değerini almaktadır. Örneğin “yapay zeka ile ilgili konferanslar” göstergesinin verilerinin ölçüm birimi ve kapsamı ülkeden ülkeye farklı tanımlanmaktadır. “Yapay zeka ile ilgili patentler” göstergesinin mevcut verileri ise sınırlı sayıda ülkeyi kapsamakta, çok sayıda ülke için 0’a yakın veya 0 değerini almaktadır. Çalışmada 120 ülke için mümkün olan en geniş kapsamda ülkelerin mevcut yapay zeka durumlarını göreceli olarak ölçmek için kullanışlı ve erişilebilir olmalarından dolayı YZE’nin oluşturulmasında 5 kategoride 16 alt gösterge seçilmiştir. Sonuç olarak YZE, uluslararası düzeyde karşılaştırılabilir ve erişilebilir YZE kategorileri ve YZE alt göstergeleri için hesaplanmaktadır. Bu sınırlama endeksin kullanışlılığı için önemlidir.

Çalışmada kullanılan YZE alt göstergeleri mevcut olan en güncel, en kapsamlı ve en güvenilir veri kaynaklarından elde edilmektedir. “Yapay Zeka ile İlgili Araştırma Çalışmaları” kategorisinin alt göstergelerinin verileri “Scopus” veri tabanı kullanılarak hazırlanan “Scimago Dergi ve Ülke Sıralaması” portalından derlenmiştir.³⁷¹ Cornell Üniversitesi, dünyanın saygın işletme okullarından olan INSEAD ve Dünya Fikri Mülkiyet Örgütü’nün iş birliği ile hazırlanan Küresel İnovasyon Endeksi 2019 Raporu, 111 ülkenin “Yüksek Öğrenim Kayıt Oranı” alt göstergesinin verilerinin elde edildiği kaynaktır.³⁷² Diğer 9 ülkenin verileri ise Dünya Ekonomik Forumu tarafından

³⁷¹ Scimago Lab, “Scimago Journal & Country Rank (SJR)”, (Çevrimiçi), <https://www.scimagojr.com/countryrank.php?category=1702>, 01.11.2019.

³⁷² Cornell University, INSEAD, WIPO, **The Global Innovation Index 2019: Creating Healthy Lives-The Future of Medical Innovation**, Ithaca, Fontainebleau, Geneva, 2019, pp.218-346, (Çevrimiçi), https://www.wipo.int/edocs/pubdocs/en/wipo_pub_gii_2019.pdf, 05.11.2019.

hazırlanan Küresel Rekabet Edebilirlik Endeksi 2017-2018 Raporu'ndan derlenmiştir.³⁷³ Liberya hariç 119 ülkenin verileri “İş Dinamizmi”, “İnovasyon Kabiliyeti” ve “Aktif Nüfusun Dijital Beceri Düzeyi” alt göstergeleri için Dünya Ekonomik Forumu tarafından hazırlanan Küresel Rekabet Edebilirlik Endeksi 2019 Raporu'ndan elde edilmiştir.³⁷⁴ Bu alt göstergeler için Liberya'nın verileri ise Dünya Ekonomik Forumu tarafından hazırlanan Küresel Rekabet Edebilirlik Endeksi 2018 Raporu'ndan derlenmiştir.³⁷⁵ Dünya Ekonomik Forumu tarafından hazırlanan Küresel Rekabet Edebilirlik Endeksi 2017-2018 Raporu 120 ülke için “Bilim İnsanlarının ve Mühendislerin Mevcudiyeti”, “Fen ve Matematik Eğitiminin Kalitesi” ve “Firma Düzeyinde Teknoloji Emilimi” alt göstergelerinin verilerinin elde edildiği kaynaktır.³⁷⁶ “Geniş Bant Bağlantısı” kategorisinin alt göstergelerinin verileri ise Uluslararası Telekomünikasyon Birliği tarafından hazırlanan 2018 yılı Bilgi Toplumunun Ölçülmesi Raporu'ndan derlenmiştir.³⁷⁷ “E-Devlet Gelişmişlik Endeksi” alt göstergesinin verileri, Birleşmiş Milletler Ekonomik ve Sosyal İşler Dairesi tarafından hazırlanan 2018 yılı E-Devlet Anketi çalışmasından elde edilmiştir.³⁷⁸ Uluslararası Telekomünikasyon Birliği tarafından hazırlanan Küresel Siber Güvenlik Endeksi 2018 çalışması ise 120 ülke için “Küresel Siber Güvenlik Endeksi” alt göstergesinin verilerinin elde edildiği kaynaktır.³⁷⁹

³⁷³ Klaus Schwab, **The Global Competitiveness Report 2017-2018**, World Economic Forum, Geneva, 2017, (Çevrimiçi), <http://www3.weforum.org/docs/GCR2017-2018/05FullReport/TheGlobalCompetitivenessReport2017%E2%80%932018.pdf>, 05.11.2019.

³⁷⁴ Klaus Schwab, **The Global Competitiveness Report 2019**.

³⁷⁵ Klaus Schwab, **The Global Competitiveness Report 2018**, World Economic Forum, Geneva, 2018, (Çevrimiçi), <http://www3.weforum.org/docs/GCR2018/05FullReport/TheGlobalCompetitivenessReport2018.pdf>, 05.11.2019.

³⁷⁶ Klaus Schwab, **The Global Competitiveness Report 2017-2018**.

³⁷⁷ International Telecommunication Union, **Measuring the Information Society Report 2018-Volume 2 (ICT Country Profiles)**, ITU, Geneva, 2018, (Çevrimiçi), <https://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Pages/publications/misr2018.aspx>, 05.11.2019.

³⁷⁸ United Nations Department of Economic and Social Affairs, **United Nations E-Government Survey 2018 : Gearing E-Government to Support Transformation Towards Sustainable and Resilient Societies**, United Nations, New York, 2018, pp.228-232, (Çevrimiçi), https://www.un-ilibrary.org/democracy-and-governance/united-nations-e-government-survey-2018_d54b9179-en, 05.11.2019.

³⁷⁹ International Telecommunication Union, **Global Cybersecurity Index 2018**, pp.62-68.

Dünya Ekonomik Forumu, Birleşmiş Milletler ve Uluslararası Telekomünikasyon Birliği gibi güvenilir kurumların hazırladığı raporlarda sunulan veriler somut değerlere dayanan nicel veriler (hard data) ve anket sonuçlarından oluşan nitel veriler (soft data) derlenerek oluşturulmaktadır. Tablo 3.3'te YZE alt göstergelerinin elde edildiği veri kaynakları ve ilgili açıklamalar bulunmaktadır.

Tablo 3.3: YZE Alt Göstergelerinin Kaynakları ve Açıklamaları

YZE KATEGORİLERİ, İLGİLİ YZE ALT GÖSTERGELERİ ve KAYNAKLAR	
Alt Gösterge	Kaynak
Yapay Zeka ile İlgili Araştırma Çalışmaları	
Yapay Zeka ile İlgili Atıf Yapılabilir Doküman Sayısı	SCOPUS veri tabanı Scimago Dergi ve Ülke Sıralaması Portalı Artificial Intelligence (1996-2018)
Yapay Zeka ile İlgili Doküman Başına Düşen Atıf Sayısı	
Yapay Zeka ile İlgili h-indeksi Kategorisindeki Doküman Sayısı	
İnovasyon Ekosistemi	
İş Dinamizmi	*Dünya Ekonomik Forumu Küresel Rekabet Edebilirlik Endeksi 2019, 11 nolu bileşen (119 ülke) *Dünya Ekonomik Forumu Küresel Rekabet Edebilirlik Endeksi 2018, 11 nolu bileşen (Liberya) *Veriler 0-100 arasında ifade edilmektedir. 100=En İyi Performans
İnovasyon Kabiliyeti	*Dünya Ekonomik Forumu Küresel Rekabet Edebilirlik Endeksi 2019, 12 nolu bileşen (119 ülke) *Dünya Ekonomik Forumu Küresel Rekabet Edebilirlik Endeksi 2018, 12 nolu bileşen (Liberya) *Veriler 0-100 arasında ifade edilmektedir. 100=En İyi Performans

Tablo 3.3: Devamı

Beşeri Sermaye	
Aktif Nüfusun Dijital Beceri Düzeyi	*Dünya Ekonomik Forumu Küresel Rekabet Edebilirlik Endeksi 2019, 6.05 nolu bileşen (119 ülke) *Dünya Ekonomik Forumu Küresel Rekabet Edebilirlik Endeksi 2018, 6.05 nolu bileşen (Liberya) *Veriler 1-7 arasında ifade edilmektedir. 7=En İyi Performans
Bilim İnsanlarının ve Mühendislerin Mevcudiyeti	*Dünya Ekonomik Forumu Küresel Rekabet Edebilirlik Endeksi 2017-2018, 12.06 nolu bileşen *Veriler 1-7 arasında ifade edilmektedir. 7=En İyi Performans
Fen ve Matematik Eğitiminin Kalitesi	*Dünya Ekonomik Forumu Küresel Rekabet Edebilirlik Endeksi 2017-2018, 5.04 nolu bileşen *Veriler 1-7 arasında ifade edilmektedir. 7=En İyi Performans
Yüksek Öğrenim Kayıt Oranı	*Cornell Üniversitesi, INSEAD, Dünya Fikri Mülkiyet Örgütü Küresel İnovasyon Endeksi 2019, 2.2.1 nolu bileşen (111 ülke) *Dünya Ekonomik Forumu Küresel Rekabet Edebilirlik Endeksi 2017-2018, 5.02 nolu bileşen (9 ülke) (Bosna Hersek, Çad, Kongo Demokratik Cumhuriyeti, Japonya, Lesotho, Liberya, Trinidad ve Tobago, Birleşik Arap Emirlikleri ve Venezuela) *Veriler ülke nüfusunun yüzdesi olarak ifade edilmektedir.
Geniş Bant Bağlantısı	
Aktif Mobil Geniş Bant Abone Sayısı	* Uluslararası Telekomünikasyon Birliği Bilgi Toplumunun Ölçülmesi Raporu 2018, Cilt 2 *Veriler Uluslararası Bant Genişliği için kişi başına kbit/s olarak, diğerleri için 100 kişi başına abone sayısı olarak ifade edilmektedir.
Sabit Geniş Bant Abone Sayısı	
İnternet Kullanıcısı Başına Uluslararası Bant Genişliği (kbit/s)	
Hızı 10 Mbit/s'ye Eşit veya Üzeri Olan Sabit Geniş Bant Abone Sayısı	
Dijital Teknoloji Olgunluk Düzeyi	
E-Devlet Gelişmişlik Endeksi	*Birleşmiş Milletler Ekonomik ve Sosyal İşler Dairesi E-Devlet Gelişmişlik Endeksi 2018 *Veriler 0-1 arasında ifade edilmektedir. 1=En İyi Performans
Küresel Siber Güvenlik Endeksi	*Uluslararası Telekomünikasyon Birliği Küresel Siber Güvenlik Endeksi 2018 * Veriler 0-1 arasında ifade edilmektedir. 1=En İyi Performans
Firma Düzeyinde Teknoloji Emilimi	*Dünya Ekonomik Forumu Küresel Rekabet Edebilirlik Endeksi 2017-2018, 9.02 nolu bileşen * Veriler 1-7 arasında ifade edilmektedir. 7=En İyi Performans

Aşağıda her bir YZE alt göstergesinin ilgili olduğu YZE kategorisinin ölçtüğü kavramla olan ilgisi, kavramın amacına uygunluğu ve dolayısıyla ilgili olduğu YZE kategorisi bağlamında ülkelerin yapay zeka yetenek, kapasite ve potansiyeline katkısı literatüre dayandırılarak ifade edilmektedir.

1. Yapay Zeka ile İlgili Araştırma Çalışmaları: Yapay zeka ile ilgili araştırma çalışmaları yapay zekanın benimsenmesini ve özümsemesini etkileyen ve ülkelerin yapay zeka yetenek, kapasite ve potansiyelini açıklayan önemli faktörlerdir.³⁸⁰ **Bölüm 1.3**'te yapılan literatür araştırmasında değinildiği gibi yapay zeka ile ilgili araştırma çalışmaları genellikle yapay zeka ile ilgili konferanslar, patentler, akademik yayınlar ve atıf sayıları göstergeleri ile ifade edilmektedir. Çalışmada “yapay zeka ile ilgili patentler” ve “yapay zeka ile ilgili konferanslar” göstergeleri ülkelerin yapay zeka teknolojilerini alımı, kullanımı, uygulaması ve geliştirmesi konusunda yetenek, kapasite ve potansiyelini açıklayan göstergeler olmasına rağmen, bu göstergeler 120 ülke için karşılaştırılabilir düzeyde ve eksiksiz olarak elde edilemediğinden kapsam dışı bırakılmışlardır. Çalışmada “Yapay Zeka ile İlgili Araştırma Çalışmaları” kategorisi 3 gösterge ile ölçülmektedir:

- **Yapay Zeka ile İlgili Atıf Yapılabilir Doküman Sayısı:** Yapay zeka ile ilgili atıf yapılabilir doküman sayısı cinsinden ifade edilen yapay zeka ile ilgili araştırma çalışmalarının sayısı daha fazla olan ülkelerin teknoloji özümseme düzeyleri daha yüksektir.³⁸¹ Bu yaklaşımla “Yapay Zeka ile İlgili Atıf Yapılabilir Doküman Sayısı” ülkelerin yapay zeka benimseme ve özümseme düzeylerini belirleyen ve ülkelerin yapay zeka yetenek, kapasite ve potansiyelini açıklayan bir gösterge olarak analizde kullanılmaktadır.
- **Yapay Zeka ile İlgili Doküman Başına Düşen Atıf Sayısı:** Çin'in “Yapay Zeka ile İlgili Atıf Yapılabilir Doküman Sayısı” ABD'ye göre daha fazla olmasına rağmen çalışmalarının etki derecesi ABD'ye nazaran daha

³⁸⁰ Bughin, Seong, Manyika, Chui, Joshi, **a.g.e.**, pp.27-28.

³⁸¹ United Nations Economic and Social Commission for Asia and the Pacific, **a.g.e.**, p.17.

düşüktür.³⁸² Yapay zeka ile ilgili araştırma çalışmalarının yoğunluğuna ilaveten ilgili kategoride kalite ve verimliliğin ölçülmesi amacıyla “Yapay Zeka ile İlgili Doküman Başına Düşen Atıf Sayısı” yapay zekanın benimsenme ve özümseme düzeyini belirleyen, ülkelerin yapay zeka yetenek, kapasite ve potansiyelini açıklayan bir gösterge olarak analizde kullanılmaktadır.

- **Yapay Zeka ile İlgili h-indeksi Kategorisindeki Doküman Sayısı:** Yapay zeka ile ilgili araştırma çalışmalarının sayısı ve kalitesi ülkelerin yapay zeka benimseme ve özümseme oranlarını dolayısıyla ülkelerin yapay zeka yetenek, kapasite ve potansiyelini belirlemektedir. Çalışmalarda “Yapay Zeka ile İlgili Atıf Yapılabilir Doküman Sayısı” göstergesi ile birlikte “Yapay Zeka ile İlgili h-indeksi Kategorisindeki Doküman Sayısı” göstergesi de ülkelerin yapay zeka ile ilgili araştırma çalışmalarını değerlendirmek amacıyla kullanılmaktadır.³⁸³ “Yapay Zeka ile İlgili h-indeksi Kategorisindeki Doküman Sayısı” fazla olan ülkelerin teknoloji özümseme kapasitesinin daha yüksek olduğu görülmektedir. Teknoloji özümseme kapasitesi daha yüksek olan ülkelerde araştırma çalışmalarının somut ekonomik faydalara dönüşme olasılığının da daha yüksek olduğu belirtilmektedir. Bununla birlikte daha kaliteli geniş bant bağlantısına sahip olma eğiliminde oldukları için yapay zeka ile ilgili araştırma çalışmalarının sayısı ve kalitesi daha yüksek olan ülkelerin yapay zeka uygulamalarının avantajlarından yararlanmaya daha yüksek düzeyde hazır oldukları belirtilmektedir.³⁸⁴ Bu nedenlerden dolayı “Yapay Zeka ile İlgili h-indeksi Kategorisindeki Doküman Sayısı” ülkelerin yapay zeka yetenek, kapasite ve potansiyelini belirleyen bir gösterge olarak analizde kullanılmaktadır.

³⁸² Scimago Lab, “Scimago Journal & Country Rank (SJR)”, (Çevrimiçi), <https://www.scimagojr.com/countryrank.php?category=1702>, 01.11.2019.

³⁸³ Cambrian Futures, “Nation AI Readiness Index (NAIR)”, (Çevrimiçi), <https://www.cambrian.ai/nair-index>, 15.06.2020.

³⁸⁴ United Nations Economic and Social Commission for Asia and the Pacific, **a.g.e.**, pp.70-71.

2. İnovasyon Ekosistemi: Bir ülkenin inovasyon ekosistemi o ülkenin yeni fikirleri oluşan ihtiyaçlar doğrultusunda yeni ürün ve hizmetlere dönüştürerek etkili ve değer katan güçlü yapay zeka çözümlerini geliştirebilmesi ve ticarileştirebilmesi konusundaki kapasitesini ve potansiyelini belirlemektedir.³⁸⁵ Çalışmada “İnovasyon Ekosistemi” kategorisi 2 gösterge ile ölçülmektedir:

- **İş Dinamizmi:** İş dinamizmi yüksek olan özel sektör, çevik ve dinamik yapısıyla, riskler alarak, yeni fikirleri deneyimleyerek, yenilikçi ürün ve hizmetler yaratarak ülke verimliliğinin artmasını sağlar. Özel sektörün çeşitli düzenleyici kanun çerçeveleriyle desteklendiği ve böylelikle iş yapma ve üretme ekosisteminin hakim olduğu ülkelerde, özel sektör yeni teknolojileri benimseyerek, yeni iş modelleri yaratarak ve organizasyonel modellerini geliştirerek yeni ürün ve hizmet geliştirme ve ticarileştirebilme konusunda yüksek kapasiteye sahiptir.³⁸⁶ Bu nedenle “İş Dinamizmi” bir ülkenin oluşan ihtiyaçlara cevap verebilen etkili ve değer katan yapay zeka çözümlerini geliştirebilmesi ve ticarileştirebilmesi konusundaki kapasitesini ve potansiyelini belirleyen bir gösterge olarak analizde kullanılmaktadır.
- **İnovasyon Kabiliyeti:** Ülkelerin uyguladığı çeşitli politikalar, sağladığı yasal ve düzenleyici çerçeveler ile inovasyonun teşvik edilmesi, araştırma ve geliştirme çalışmalarına yatırım yapılarak, çeşitli pilot projelere destek olunarak, yapay zeka ile ilgili ulaşılabilir hedefler belirlenerek ve gerekli desteklerle takibi yapılarak, özel sektör, üniversiteler ve devlet kurumları arasında çeşitli alanlarda iş birliği içinde hareket edilerek inovasyon kabiliyetinin artırılması yapay zekanın ekonomik ve toplumsal faydalarının en üst düzeye çıkarılmasını sağlamaktadır.³⁸⁷ Bir ülkenin inovasyon kabiliyeti araştırma ve geliştirme çalışmalarının sayısı ve kalitesi, bir ülke ortamının farklı vizyonlar ve açılardan iş birliğini, yaratıcılığı, çeşitliliği ve çatışmayı ne ölçüde teşvik ettiği ve fikirleri yeni ürün ve hizmetlere dönüştürme

³⁸⁵ Bughin, Seong, Manyika, Chui, Joshi, **a.g.e.**, p.29.

³⁸⁶ Klaus Schwab, **The Global Competitiveness Report 2018**, p.42.

³⁸⁷ National Science and Technology Council (US), Committee on Technology, Subcommittee on Machine Learning and Artificial Intelligence, **a.g.e.**, pp.15.

kapasitesiyle ifade edilmektedir. İnovasyon kabiliyeti yüksek olan ülkeler daha fazla bilgi birikimi yaratılmasını sağlayan ortamlar sunarak, daha yaygın ve verimli iş birliği ve disiplinlerarası çalışmaların yapılmasına imkan veren fırsatlar sağlayarak ekonomik büyümenin motoru olarak kabul edilen yenilikçi fikirlerin ve yeni iş modellerinin üretilmesi konusunda daha yüksek kapasiteye sahiptirler.³⁸⁸ Bu yaklaşımlarla “İnovasyon Kabiliyeti” bir ülkenin oluşan ihtiyaçlara cevap verebilen etkili ve değer katan yapay zeka çözümlerini geliştirebilmesi ve ticarileştirebilmesi konusundaki yetenek, kapasite ve potansiyelini belirleyen bir gösterge olarak analizde kullanılmaktadır.

3. Beşeri Sermaye: Beşeri sermaye yeni bilgilerin ve bunların gerçek dünya uygulamalarının özümsemesi için kritik bir öneme sahiptir.³⁸⁹ Ülkelerin yapay zeka ve ilgili alanlarda önemli ilerlemeler kaydetmesini sağlayan “yapay zeka araştırmacıları ve bilim adamları”, gerçek dünya bağlamında yapay zeka uygulamaları geliştiren “yapay zeka uzmanları” ve yapay zeka sistemlerinin çalışmasını, uygulanmasını ve kullanılmasını sağlayan “yetenekli işgücünün” mevcudiyeti ülkelerin yapay zeka benimseme ve özümseme düzeylerini ve dolayısıyla yapay zeka teknolojilerini kullanma, uygulama ve geliştirme yetenek, kapasite ve potansiyelini belirlemektedir.³⁹⁰ Çalışmada “Beşeri Sermaye” kategorisi 4 gösterge ile ölçülmektedir:

- **Aktif Nüfusun Dijital Beceri Düzeyi:** Dünya Ekonomik Forumu tarafından yürütülen anket çalışmasında “Ülkenizde aktif nüfus ne düzeyde bilgisayar becerileri, temel kodlama ve dijital okuma gibi yeterli dijital becerilere sahiptir?” sorusuna verilen cevapların derecelendirilmesiyle “Aktif Nüfusun Dijital Beceri Düzeyi” göstergesinin ölçümleri elde edilmektedir.³⁹¹ Çalışmalarda yeni teknolojik gelişmelerin sağladığı faydalardan en iyi şekilde yararlanılabilmesi için kodlama, siber güvenlik gibi dijital becerilerin önemi

³⁸⁸ Klaus Schwab, **The Global Competitiveness Report 2018**, p.42.

³⁸⁹ Bughin, Seong, Manyika, Chui, Joshi, **a.g.e.**, p.29.

³⁹⁰ Barton, Woetzel, Seong, Tian, **a.g.e.**, pp.14-15.

³⁹¹ Klaus Schwab, **The Global Competitiveness Report 2019**, p.620.

vurgulanmaktadır.³⁹² Dijital dönüşümün yarattığı fırsatları yakalamak ve taşıdığı olası risklerin üstesinden gelebilmek için vatandaşların dijital becerilerinin ve yetkinliklerinin geliştirilmesi gerekmektedir. Dijital becerilerin topluma kazandırılmasının okuryazarlık ve aritmetik kadar hayati önem taşıdığı ifade edilmektedir. Dijital teknolojileri kullanabilmenin yanında bu teknolojilerin kullanılmasında ve geliştirilmesinde öncülük yapabilecek dijital olarak yetkin insanların yetiştirilmesinin büyük önem taşıdığı belirtilmektedir.³⁹³ Bu bağlamda “Aktif Nüfusun Dijital Beceri Düzeyi” yapay zeka teknolojilerini kullanabilen ve yapay zekanın gelişmesini sağlayan kilit ve temel becerilere sahip insan gücü potansiyelini belirleyen bir gösterge olarak analizde kullanılmaktadır.

- **Bilim İnsanlarının ve Mühendislerin Mevcudiyeti:** Dünya Ekonomik Forumu tarafından yürütülen anket çalışmasında “Ülkenizde bilim insanların ve mühendislerin mevcudiyeti ne düzeydedir?” sorusuna verilen cevapların derecelendirilmesiyle “Bilim İnsanlarının ve Mühendislerin Mevcudiyeti” göstergesinin ölçümleri elde edilmektedir.³⁹⁴ Yapay zeka teknolojilerinin geliştirilmesi için yapay zeka merkezleri ve yapay zeka araştırma laboratuvarları kurularak, üniversiteler, araştırma kurumları ve özel sektör arasındaki iş birliği çalışmaları teşvik edilerek yapay zeka yetenek havuzunu (AI talent pool) oluşturan mühendislerin, bilim adamlarının ve veri bilimcilerin yetiştirilmesi büyük önem taşımaktadır.³⁹⁵ Bu bağlamda “Bilim İnsanlarının ve Mühendislerin Mevcudiyeti” ülkelerin yapay zeka ve ilgili alanlarda önemli ilerlemeler kaydetmesini sağlayan üst düzey becerilere ve küresel bilgi kapasitesine sahip “yapay zeka araştırmacıları ve bilim

³⁹² European Commission, **Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions, Strengthening European Identity through Education and Culture**, COM(2017), 673 Final, Strasbourg, 2017, p.6, (Çevrimiçi), <https://www.eumonitor.eu/9353000/1/j9vvik7m1c3gyxp/vkjbpaci9iyl>, 15.04.2020.

³⁹³ European Commission, **Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions on the Digital Education Action Plan**, COM(2018), 22 Final, Brussels, 2018, p.7, (Çevrimiçi), <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52018DC0022>, 15.04.2020.

³⁹⁴ Klaus Schwab, **The Global Competitiveness Report 2017-2018**, p.350.

³⁹⁵ Barton, Woetzel, Seong, Tian, a.g.e., pp.14-15.

adamlarının” ve gerçek dünya bağlamında yapay zeka uygulamaları geliştiren “yapay zeka uzmanlarının” potansiyelini belirleyen bir gösterge olarak analizde kullanılmaktadır.

- **Fen ve Matematik Eğitiminin Kalitesi:** Dünya Ekonomik Forumu tarafından yürütülen anket çalışmasında “Ülkenizde fen ve matematik eğitiminin kalitesini nasıl değerlendiriyorsunuz?” sorusuna verilen cevapların derecelendirilmesiyle “Fen ve Matematik Eğitiminin Kalitesi” göstergesinin ölçümleri elde edilmektedir.³⁹⁶ Yapay zeka teknolojilerinin desteklenmesi ve geliştirilmesi için ilgili temel ve üst düzey becerilere sahip olan araştırmacıları, uzmanları ve kullanıcıları kapsayan yapay zeka işgücünün yetiştirilmesi kritik bir öneme sahiptir. Yapay zeka işgücünün yetiştirilmesi fen, teknoloji, mühendislik ve matematik (STEM) eğitim programları üzerine yoğunlaşılmasını gerektirmektedir. Bu alanlarda becerilerin geliştirilmesi yapay zeka ile ilgili araştırmacıların, bilim adamlarının, uzmanların, veri bilimcilerinin ve mühendislerin daha çok sayıda, daha üst kalitede ve çeşitlilikte yetiştirilmesi potansiyelini artırdığı gibi yapay zeka teknolojilerini çalıştırabilme, kullanabilme ve uygulayabilme kabiliyetine sahip işgücünün de oluşturulmasını sağlamaktadır.³⁹⁷ Bu bağlamda “Fen ve Matematik Eğitiminin Kalitesi” yapay zeka ile ilgili eğitim programlarının ve müfredatının kalitesini belirleyen bir gösterge olarak analizde kullanılmaktadır.
- **Yüksek Öğrenim Kayıt Oranı:** Yapay zekanın gelişmesiyle birlikte yeni iş dallarının ortaya çıkması ve dolayısıyla işgücü piyasasının talep ettiği becerilerin değişmesiyle işgücünün bu doğrultuda eğitilmesi büyük önem kazanmaktadır. Yapay zeka tabanlı yeni iş dalları yüksek beceri gerektiren meslekler olarak daha yüksek eğitim seviyelerini gerektirmektedir. Yapılan araştırmalar ve projeksiyonlar hızla yaygınlaşan yeni mesleklerin çoğunun yüksek öğrenim gerektirdiğini göstermektedir.³⁹⁸ Bu bağlamda “Yüksek

³⁹⁶ Klaus Schwab, **The Global Competitiveness Report 2017-2018**, p.345.

³⁹⁷ National Science and Technology Council (US), Committee on Technology, Subcommittee on Machine Learning and Artificial Intelligence, **a.g.e.**, pp.26-28.

³⁹⁸ Executive Office of the President of the United States, **a.g.e.**, pp.30-32.

Öğrenim Kayıt Oranı” yapay zeka tabanlı yeni iş dallarının gerektirdiği yüksek becerilere sahip insan gücü potansiyelini belirleyen bir gösterge olarak analizde kullanılmaktadır.

4. Geniş Bant Bağlantısı: Geniş bant bağlantısı, yapay zeka teknolojilerinin alımı, uygulanması ve geliştirilmesi için temel ve ön koşul niteliğindedir.³⁹⁹ Yapay zekayı besleyen ve gelişimini sağlayan “Nesnelerin İnterneti”, “Bulut Bilişim” ve “Büyük Veri” gibi yapay zekanın dijital bileşenlerinin her birinin kendi başına farklı işlevleri olmakla birlikte; bu bileşenler işlevleri toplulaştırıldığında ve birbirlerini tamamladıklarında yeni değerler katan, önemli çözümler sunan yapay zeka uygulamalarının geliştirilmesini sağlayarak sinerjik ve dönüştürücü etkiler ortaya çıkarmaktadırlar.⁴⁰⁰ Farklı işlevleri ve kendilerine özgü teknolojik gereksinimleri olan yapay zekanın dijital bileşenleri geniş bant bağlantısına bağımlı olarak işlev görmektedirler.⁴⁰¹ Güvenilir ve yüksek kapasiteli geniş bant bağlantısı olmadan yapay zeka teknolojilerinin geliştirilmesinin mümkün olmadığı belirtilmektedir.⁴⁰² Çalışmada “Geniş Bant Bağlantısı” kategorisi 4 gösterge ile ölçülmektedir:

- **Aktif Mobil Geniş Bant Abone Sayısı:** Uluslararası Telekomünikasyon Birliği tarafından hazırlanan rapora göre 100 kişi başına abone sayısı olarak ifade edilen “Aktif Mobil Geniş Bant Abone Sayısı” en az 256 kbit/s indirme hızı (download speed) sağlayan mobil abonelikleri kapsamaktadır.⁴⁰³ Yapay zekanın dijital bileşenlerinden olan “Nesnelerin İnterneti” (IoT) çoğunlukla insan müdahalesi olmadan çalışan ağ bağlantılı sensörler ve cihazlar aracılığıyla biyometrik veriler, davranışsal bilgiler ve yapılandırılmamış bilgiler gibi verilerin toplanmasını ve aktarılmasını sağlamaktadır. Mobil ve geniş bant teknolojileri, çoğunlukla bulut bilişim teknolojilerini kullanarak veri depolama konumlarına (data storage locations) ses ve veri aktarımına

³⁹⁹ United Nations Economic and Social Commission for Asia and the Pacific, **a.g.e.**, p.23.

⁴⁰⁰ **A.e.**, pp.5-6.

⁴⁰¹ **A.e.**, pp.27-34.

⁴⁰² **A.e.**, pp.65-66.

⁴⁰³ International Telecommunication Union, **Measuring the Information Society Report 2018-Volume 2 (ICT Country Profiles)**, p.232.

olanak tanımaktadır. Toplanan ve depolanan veri (büyük veri) daha sonra analiz edilir.⁴⁰⁴ Mobil ve geniş bant altyapısı ve uygulamalarının yaygınlaşması, yapay zekayı besleyen ve gelişimini sağlayan “Nesnelerin İnterneti”, “Bulut Bilişim” ve “Büyük Veri” gibi yapay zekanın dijital bileşenlerinin işlevlerinin toplulaştırılarak ve birbirlerini tamamlayarak yeni değerler katan, önemli çözümler sunan yapay zeka uygulamalarının geliştirilmesini sağlamaktadır. Bununla birlikte yapay zeka ile ilgili h-indeksi kategorisindeki doküman sayısı ile aktif mobil geniş bant abone sayısı arasında pozitif yönlü doğrusal bir korelasyon olması mobil geniş bant altyapısının yaygınlığının yapay zekanın alımını ve geliştirilmesini kolaylaştıran bir faktör olduğunu göstermektedir.⁴⁰⁵ Bu bağlamda “Aktif Mobil Geniş Bant Abone Sayısı” yapay zekanın alımını ve geliştirilmesini kolaylaştıran ve dolayısıyla ülkelerin yapay zeka yetenek, kapasite ve potansiyelini belirleyen bir gösterge olarak analizde kullanılmaktadır.

- **Sabit Geniş Bant Abone Sayısı:** Uluslararası Telekomünikasyon Birliği tarafından hazırlanan rapora göre 100 kişi başına abone sayısı olarak ifade edilen “Sabit Geniş Bant Abone Sayısı” 256 kbit/s’ye eşit veya daha yüksek akış hızlarında (downstream speeds) internete erişmek için kullanılan sabit abonelikleri kapsamaktadır.⁴⁰⁶ Yapay zekanın yaygın ve verimli kullanımı için gerekli olan veri kapasitesi, sabit geniş bant bağlantılarında mobil geniş bant bağlantılarına göre önemli ölçüde daha fazladır.⁴⁰⁷ Mobil geniş bant hizmetlerinden cep telefonları ve tabletler gibi kullanıcı cihazlarında yararlanılırken, veri trafiğinin büyük kısmı esas olarak sabit geniş bant ağlarına dayanmaktadır. Bununla birlikte sabit geniş bant bağlantısı, mobil geniş bant hizmetleri için önemli bir tamamlayıcı teknoloji vazifesi görmektedir.⁴⁰⁸ Yapay zekayı besleyen ve gelişimini sağlayan “Nesnelerin

⁴⁰⁴ United Nations Economic and Social Commission for Asia and the Pacific, **a.g.e.**, pp.6-7.

⁴⁰⁵ **A.e.**, pp.23-24.

⁴⁰⁶ International Telecommunication Union, **Measuring the Information Society Report 2018-Volume 2 (ICT Country Profiles)**, p.231.

⁴⁰⁷ Ookla, LLC, “Speedtest Global Index”, (Çevrimiçi), <https://www.speedtest.net/global-index>, 15.04.2020.

⁴⁰⁸ Atsuko Okuda, Siopo Vakataki Ofa, “Artificial intelligence and broadband development through the Asia-Pacific Information Superhighway”, **Journal of Infrastructure, Policy and Development**, 2(2), 2018, p.324, (Çevrimiçi), <http://dx.doi.org/10.24294/jipd.v2i2.1047>, 15.04.2020.

İnterneti”, “Bulut Bilişim” ve “Büyük Veri” gibi yapay zekanın dijital bileşenleri geniş bant bağlantısına bağımlı olarak işlev görmektedirler. Örneğin bulut bilişimin tüm avantajlarından yararlanılması için geniş bant bağlantısı temel bir gereklilik olarak kabul edilmektedir.⁴⁰⁹ Bu nedenle yapay zekanın dijital bileşenlerinin verimli bir şekilde işlev görmesinin ve dolayısıyla yapay zeka teknolojilerinin geliştirilmesinin geniş bant altyapısının geliştirilmesine ve bağlanabilirliğin artırılmasına bağlı olduğunu söylemek mümkündür. Bununla birlikte yapay zeka ile ilgili h-indeksi kategorisindeki doküman sayısı ile sabit geniş bant abone sayısı arasında pozitif yönlü güçlü bir korelasyon olması sabit geniş bant altyapısının yaygınlığının yapay zekanın alımını ve geliştirilmesini kolaylaştıran bir faktör olduğunu göstermektedir.⁴¹⁰ Bu bağlamda “Sabit Geniş Bant Abone Sayısı” yapay zekanın alımını ve geliştirilmesini kolaylaştıran ve dolayısıyla ülkelerin yapay zeka yetenek, kapasite ve potansiyelini belirleyen bir gösterge olarak analizde kullanılmaktadır.

- **İnternet Kullanıcısı Başına Uluslararası Bant Genişliği:** Uluslararası Telekomünikasyon Birliği tarafından hazırlanan rapora göre “İnternet Kullanıcısı Başına Uluslararası Bant Genişliği” sabit, mobil ve uydu operatörleri gibi her türlü operatör tarafından kullanılan tüm uluslararası bağlantılar dikkate alınarak tüm uluslararası bağlantıların birleşik ortalama kullanımının (her bir bağlantının ortalama kullanımının toplamı) yani uluslararası bant genişliğinin toplam kullanılan kapasitesinin internet kullanıcısı başına “kbit/s” olarak ifade edilmesiyle hesaplanmaktadır.⁴¹¹ Uluslararası bant genişliği, hem rekabetçi bulut hizmetlerini geliştirmek hem de yerel bulut kullanıcılarının uluslararası bulut hizmetlerini kullanmasını sağlamak için gereken fiziksel altyapının temel bileşenlerinden biridir.⁴¹² Bulut bilişim hizmetleri kullanıcılara yatırım, bakım, enerji ve personel

⁴⁰⁹ United Nations Economic and Social Commission for Asia and the Pacific, **a.g.e.**, pp.27-34.

⁴¹⁰ **A.e.**, pp.24-25.

⁴¹¹ International Telecommunication Union, **Measuring the Information Society Report 2018-Volume 2 (ICT Country Profiles)**, p.232.

⁴¹² Asia Cloud Computing Association (ACCA), **Cloud Readiness Index 2018**, Asia Cloud Computing Association, 2018, p.10.

maliyetlerini azaltma gibi ekonomik faydalar sağlamakla birlikte bilgi işlem kapasitesini artırarak, ölçeklenebilirlik ve esneklik gibi avantajlar sunarak da daha kaliteli ve verimli iş yapma imkanı vermektedir.⁴¹³ Yapay zekayı besleyen ve gelişimini sağlayan dijital bileşenlerden olan “Bulut Bilişim” kullanımının ve kalitesinin artması yapay zeka ve ilgili teknoloji ve uygulamaların geliştirilmesini sağlamaktadır. Bu bağlamda “İnternet Kullanıcısı Başına Uluslararası Bant Genişliği” yapay zekanın alımını ve geliştirilmesini kolaylaştıran ve dolayısıyla ülkelerin yapay zeka yetenek, kapasite ve potansiyelini belirleyen bir gösterge olarak analizde kullanılmaktadır.

- **Hızı 10 Mbit/s’ye Eşit veya Üzeri Olan Sabit Geniş Bant Abone Sayısı:** Uluslararası Telekomünikasyon Birliği tarafından hazırlanan raporda akış hızları 10 Mbit/s’ye eşit veya daha yüksek olan tüm sabit geniş bant abonelikleri, sabit geniş bant abone sayısının yüzdesi olarak ifade edilmektedir.⁴¹⁴ Çalışmada gerekli dönüşümler uygulanarak bu göstergenin ölçüm birimi 100 kişi başına abone sayısı olarak gösterilmektedir. IoT uygulamaları gerçek zamanlı olarak sürekli bir akışla saniyenin çok kısa bir süresi içinde büyük veriler üretmektedir. Büyük verinin işlenmesi süreklilik içinde yüksek hızlı veri işleme gerektirmektedir. Bu anlamda bulut bilişim sahip olduğu çok yüksek veri depolama ve işleme kapasitesiyle çok büyük önem taşımaktadır. IoT uygulamaları ile çok büyük veriler üretilirken, bulut bilişim ile bu verilerin depolama (storage) ve işleme/veri analizi (processing/data analytics) gibi hedeflerine ulaşması sağlanmaktadır.⁴¹⁵ Bulut bilişim hizmetleri internet bağlantısı üzerinde işlev görmektedir. Bulut bilişim hizmetlerinden etkin bir şekilde yararlanılması için internet kalitesi büyük önem taşımaktadır. Kullanılan internet bağlantı hızında bir dalgalanma

⁴¹³ T.C. Ulaştırma Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı, **Ulusal Genişbant Stratejisi ve Eylem Planı (2017-2020)**, 2017, s.77, (Çevrimiçi), https://www.gmka.gov.tr/dokumanlar/yayinlar/2017-2020_Ulusal-Genisbant-Stratejisi-ve-Eylem-Planı.pdf, 15.04.2020.

⁴¹⁴ International Telecommunication Union, **Measuring the Information Society Report 2018-Volume 2 (ICT Country Profiles)**, p.231.

⁴¹⁵ Pijush Kanti Dutta Pramanik, Saurabh Pal, Aditya Brahmachari, Prasenjit Choudhury, “Processing IoT Data: From Cloud to Fog-It's Time to Be Down to Earth (Chapter 7)”, **Applications of Security, Mobile, Analytic, and Cloud (SMAC) Technologies for Effective Information Processing and Management**, Ed. By. P. Karthikeyan, M. Thangavel, IGI Global, 2018, pp.126-127.

varsa veya kullanılan internetin maksimum hızı yeterli değilse bulut bilişim hizmet kalitesi düşmekte ve bulut bilişim hizmetleri sağlıklı bir şekilde işlev görememektedir.⁴¹⁶ Geniş bant bağlantısının hızı bulut bilişim hizmetlerinden hızlı ve güvenilir bir şekilde yararlanılmasını ve büyük verinin gerektirdiği gelişmiş bilgi işlem taleplerinin etkin bir şekilde karşılanmasını sağlamaktadır.⁴¹⁷ Bu bağlamda “Hızı 10 Mbit/s’ye Eşit veya Üzeri Olan Sabit Geniş Bant Abone Sayısı” yapay zekanın ve çeşitli dijital bileşenlerinin alımını ve geliştirilmesini kolaylaştıran ve dolayısıyla ülkelerin yapay zeka yetenek, kapasite ve potansiyelini belirleyen bir gösterge olarak analizde kullanılmaktadır.

5. Dijital Teknoloji Olgunluk Düzeyi: Yapay zeka ve ilgili teknolojilere sağladığı temel ve teknik omurgayla dijital teknolojilerin benimsenmesi yapay zeka teknolojilerinin benimsenmesinde çok önemli bir faktördür. Bulut bilişim, mobil ve web gibi temel dijital teknolojiler ve büyük verinin ileri analitik yöntemlerle işlenmesi gibi daha gelişmiş dijital teknolojiler konusunda güçlü bir temeli olan şirketlerin yapay zeka teknolojilerini benimseme olasılığı daha yüksektir. Çalışmalar yapay zekayı benimseyen şirketlerin büyük çoğunluğunun mevcut dijital yetenekleri uygulamak ve yönetmek için kullandıkları bilgiye ve deneyime dayanarak yapay zeka teknolojileri konusunda yol aldıklarını göstermektedir.⁴¹⁸ Mevcut dijital teknolojilerin sağladığı temel ve teknik omurgayla birlikte dijital teknolojilerin sunduğu fırsatlardan en üst düzeyde yararlanılarak organizasyonlar içindeki değişim harekete geçirildiğinde yapay zeka araç ve uygulamalarından değer üretilebilmektedir. “Dijital Teknoloji Olgunluk Düzeyi” arttıkça yapay zeka teknolojilerinin benimsenme ve özümseme hızı artmaktadır.⁴¹⁹ Ülkelerin sahip olduğu “Dijital Teknoloji Olgunluk Düzeyi”, yapay zeka teknolojilerinin alımı, kullanılması, uygulanması ve geliştirilmesi için hem bir ön koşul hem de etkinleştirici ve kolaylaştırıcı olma

⁴¹⁶ Kutay Batı, “Bulut Bilişim ve Etkileri”, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, 2015, s.18-19.

⁴¹⁷ Asia Cloud Computing Association (ACCA), **a.g.e.**, p.10.

⁴¹⁸ Bughin, Van Zeebroeck, **a.g.e.**, pp.13-14.

⁴¹⁹ Bughin, Seong, Manyika, Chui, Joshi, **a.g.e.**, pp.25-26.

niteliği taşıyarak ülkelerin yapay zeka yetenek, kapasite ve potansiyelini belirleyen önemli bir faktördür. Çalışmada “Dijital Teknoloji Olgunluk Düzeyi” kategorisi 3 gösterge ile ölçülmektedir:

- **E-Devlet Gelişmişlik Endeksi:** E-Devlet Gelişmişlik Endeksi (E-Government Development Index) ülkelerin kamu hizmetlerini sağlamak ve sunmak amacıyla bilgi ve iletişim teknolojilerini kullanma kabiliyetlerini ve kapasitelerini göstermektedir. Ülkelerin kamu hizmetlerinin sunumunda e-devletten yararlanma konusundaki göreceli konumları E-Devlet Gelişmişlik Endeksi ile Telekomünikasyon Altyapı Endeksi (Telecommunications Infrastructure Index), Beşeri Sermaye Endeksi (Human Capital Index) ve Çevrimiçi Hizmet Endeksi (Online Service Index) olmak üzere 3 boyutta ölçülmektedir. E-Devlet Gelişmişlik Endeksi, ülkelerin vatandaşlarına duyarlı ve adil bir şekilde dijital hizmet sağlama çabalarını göstermektedir.⁴²⁰ E-devlet kapasite ve yetkinlik düzeyi daha gelişmiş olan ülkelerin, sanayilerinin de dijital teknolojileri benimseme ve kullanma açısından daha ileride olduğu görülmektedir.⁴²¹ E-devlet hizmetlerinin performansını artırmaları için ülkeler geliştirdikleri dijital devlet stratejileri ile dijital teknolojilerin kullanımını ve etkinliğini geliştirmelidir. Ülkeler daha modern, yenilikçi, etkin, kapsayıcı ve şeffaf bir kamu yönetimi için “dijital devlet” yaklaşımını benimsemektedir.⁴²² Bu yaklaşımla e-devlet kapasite ve yetkinlik düzeyini temsil eden “E-Devlet Gelişmişlik Endeksi” ülkelerin dijitalleşme konusundaki isteğini, çabasını ve kapasitesini açıklayan ve böylelikle ülkelerin dijital teknoloji olgunluk düzeyini belirleyen bir gösterge olarak analizde kullanılmaktadır.

⁴²⁰ United Nations Department of Economic and Social Affairs, **a.g.e.**

⁴²¹ DigitalEurope, PwC, **Accelerate to a trusted Digital Single Market**, February 2018, p.27, (Çevrimiçi), <https://www.digitaleurope.org/wp/wp-content/uploads/2018/02/PwC-pdf-version-final-2.pdf>, 15.04.2020.

⁴²² OECD Public Governance and Territorial Development Directorate, **Recommendation on Digital Government Strategies**, OECD, 2014, pp.2-5, (Çevrimiçi), <https://www.oecd.org/gov/digital-government/Recommendation-digital-government-strategies.pdf>, 15.04.2020.

- **Küresel Siber Güvenlik Endeksi:** Küresel Siber Güvenlik Endeksi ile ülkelerin siber güvenlik alanındaki yetkinlikleri yasal, teknik, organizasyonel, kapasite geliştirme ve iş birliği olmak üzere 5 boyutta değerlendirilmektedir.⁴²³ Ülkelerin dijital teknolojilerin benimsenmesi, bilgi ve iletişim teknolojilerinin teşvik edilmesi, dijital becerilerin iyileştirilmesi, e-devlet kapasite ve yetkinlik düzeyinin artırılması gibi amaçları olan dijital stratejileri, ülkelerin siber güvenlik stratejileriyle paralel olarak geliştirilmekte ve uygulanmaktadır. Ülkeler siber güvenlik stratejileriyle gizlilik hakkının ve verilerin korunmasını sağlayarak dijital teknolojilerden faydalanma düzeyini artırmaktadırlar.⁴²⁴ Siber güvenlik, kuruluşların ve ülkelerin etkili dijital yönetimi için merkezi bir konumdur. Dijital altyapıların korunması ve dijital platformlarda güvenin tahsis edilmesi siber güvenliğin etkin bir şekilde uygulanmasını gerektirmektedir.⁴²⁵ Ülkelerin siber güvenlik alanındaki yetkinliklerini dijitalleşen dünyaya uygun hale getirmeleri, dijital dönüşümden faydalanma seviyelerini artırmalarını ve böylelikle dijital teknolojilerin potansiyelinden optimum düzeyde yararlanmalarını sağlamaktadır. Bu yaklaşımla ülkelerin siber güvenlik alanındaki yetkinlik düzeyini temsil eden “Küresel Siber Güvenlik Endeksi” ülkelerin dijital teknolojilerden yararlanma düzeyini belirleyen bir gösterge olarak analizde kullanılmaktadır.
- **Firma Düzeyinde Teknoloji Emilimi:** Dünya Ekonomik Forumu tarafından yürütülen anket çalışmasında “Ülkenizde işletmeler en son teknolojileri ne düzeyde benimsemektedir?” sorusuna verilen cevapların derecelendirilmesiyle “Firma Düzeyinde Teknoloji Emilimi” göstergesinin ölçümleri elde edilmektedir.⁴²⁶ Bu ölçümler ülke bazında şirketlerin dijitalleşmeyi özümseme yeteneklerinin bir göstergesi olarak kullanılmaktadır. Şirketlerin sahip olduğu dijital altyapı ile birlikte dijital varlıkları nasıl geliştirdikleri ve bunları organizasyonlarında nasıl

⁴²³ International Telecommunication Union, **Global Cybersecurity Index 2018**, pp.7-9.

⁴²⁴ OECD, **Key Issues for Digital Transformation in the G20**, OECD, 2017, p.44, (Çevrimiçi), <https://www.oecd.org/g20/key-issues-for-digital-transformation-in-the-g20.pdf>, 15.04.2020.

⁴²⁵ International Telecommunication Union, **Global Cybersecurity Index 2018**, p.21.

⁴²⁶ Klaus Schwab, **The Global Competitiveness Report 2017-2018**, p.348.

kullandıkları yapay zeka teknolojilerini benimsemelerinin ve geliştirmelerinin en önemli ön koşuludur.⁴²⁷ Dijital teknolojilerin sunduğu fırsatlardan en üst düzeyde yararlanılarak organizasyonlar içindeki değişim harekete geçirildiğinde yapay zeka araç ve uygulamalarından değer üretilebilmektedir. “Dijital Teknoloji Olgunluk Düzeyi” arttıkça yapay zeka teknolojilerinin benimsenme ve özümseme hızı artmaktadır.⁴²⁸ Bu bağlamda “Firma Düzeyinde Teknoloji Emilimi” ülke bazında şirketlerin dijitalleşmeyi özümseme düzeylerinin dolayısıyla yapay zeka araç ve uygulamalarından değer üretilebilme yetenek, kapasite ve potansiyelinin bir göstergesi olarak analizde kullanılmaktadır.

3.2.3. Eksik Verilerin Tamamlanması

Çalışmada geliştirilen 2019 yılı YZE’nin alt göstergelerine ait veriler Dünya Ekonomik Forumu tarafından hazırlanan Küresel Rekabet Edebilirlik Endeksi 2019 ve Cornell Üniversitesi, INSEAD, Dünya Fikri Mülkiyet Örgütü tarafından hazırlanan Küresel İnovasyon Endeksi 2019 raporlarında uygulandığı gibi tek bir yılı değil mevcut olan en yakın birkaç yılı referans almaktadır. Bu nedenle herhangi bir YZE alt göstergesinin referans yılı her ülke için aynı olmayabilmektedir. Bu yaklaşımın ardındaki gerçek ise ülkeler arası karşılaştırılabilirlik için veri kümesinin genişletilmesinin sağladığı avantajlardır.⁴²⁹ Çalışmada kullanılan veriler ilgili YZE alt göstergeleri için ulaşılabilen en güncel veriler olup, 2017-2019 yıllarına ait kaynaklardan elde edilmektedir.

Çalışmada alt göstergelerin mevcut olan en yakın yıla ait verilerinin elde edilebilmesi için bazı göstergelerin veri seti birkaç kaynak kullanılarak tamamlanmaktadır. Kullanılan kaynaklarda ilgili göstergelerin tanımları ve ölçüm birimleri aynı olduğu için bu yaklaşım ilgili gösterge boyutunda ülkeler arası karşılaştırmalarda sorun teşkil etmemektedir. Örneğin Liberya, Küresel Rekabet Edebilirlik Endeksi 2019 raporunda

⁴²⁷ Bughin, Seong, Manyika, Chui, Joshi, **a.g.e.**, p.29.

⁴²⁸ **A.e.**, pp.25-26.

⁴²⁹ Cornell University, INSEAD, WIPO, **a.g.e.**, p.368.

ele alınmadığı için Liberya'nın "İş Dinamizmi", "İnovasyon Kabiliyeti" ve "Aktif Nüfusun Dijital Beceri Düzeyi" alt göstergelerinin verisi, Küresel Rekabet Edebilirlik Endeksi 2018 raporundan alınmaktadır. Her iki raporda da ilgili YZE alt göstergeleri aynı ölçüm birimlerinde ifade edilmektedir. "Yüksek Öğrenim Kayıt Oranı" alt göstergesinin verisi 111 ülke için Küresel İnovasyon Endeksi 2019 raporundan ve kalan 9 ülke için ise Küresel Rekabet Edebilirlik Endeksi 2017-2018 raporundan elde edilmektedir. İlgili veri Küresel İnovasyon Endeksi 2019 raporu için UNESCO İstatistik Enstitüsü'nün veri tabanından 2018 veya mevcut olan en yakın yılı ve Küresel Rekabet Edebilirlik Endeksi 2017-2018 raporu için ise yine UNESCO İstatistik Enstitüsü'nün veri tabanından 8 Haziran 2017 tarihinde yapılan girişle mevcut olan en yakın yılı referans almaktadır. Her iki raporda da ilgili YZE göstergesinin tanımı ve ölçüm birimi aynıdır.

Uluslararası Telekomünikasyon Birliği tarafından hazırlanan Bilgi Toplumunun Ölçülmesi Raporu 2018'de "Sabit Geniş Bant Abone Sayısı", 100 kişi başına abone sayısı olarak, "Hızı 10 Mbit/s'ye Eşit veya Üzeri Olan Sabit Geniş Bant Abone Sayısı" ise sabit geniş bant abone sayısının yüzdesi olarak ifade edilmektedir. Çalışmada bu iki göstergenin değerleri çarpılarak "Hızı 10 Mbit/s'ye Eşit veya Üzeri Olan Sabit Geniş Bant Abone Sayısı" YZE alt göstergesinin ölçüm birimi 100 kişi başına abone sayısı olarak ifade edilmektedir. Bilgi Toplumunun Ölçülmesi Raporu 2018'deki 2 gösterge kullanılarak ilgili YZE alt göstergesinin ölçüm biriminin 100 kişi başına abone sayısı olarak hesaplanması, ülkeler arasında karşılaştırma yapılmasını sağlamaktadır.

Çalışmada yukarıda da ifade edildiği gibi bazı göstergeler boyutunda Küresel Rekabet Edebilirlik Endeksi ve Küresel İnovasyon Endeksi gibi küresel anlamda geçerliliği olan, önemli ve güvenilir çalışmalarda da uygulanan çeşitli yaklaşımlar izlenmiştir. Bu şekilde istatistiksel yöntemlere başvurulmasına gerek kalmadan elde edilen eksiksiz bir veri setiyle 120 ülke için 5 kategoride 16 alt gösterge kullanılarak YZE hesaplanabilmektedir.

3.2.4. Çok Değişkenli Analiz

Bu bölümde kompozit endeks oluşturulmadan önce bir hazırlık aşaması olarak veri kümesinin uygunluğunun değerlendirilmesi ve verilerin altında yatan yapının araştırılması amacıyla verilerin temel özellikleri ve aralarındaki ilişkiler incelenmektedir.

YZE alt göstergelerine ait tanımlayıcı istatistikler Tablo 3.4'te yer almaktadır. Tabloya göre en yüksek değişim katsayısına (coefficient of variation) sahip olan alt göstergeler “İnternet Kullanıcısı Başına Uluslararası Bant Genişliği” (**IKBUBG**), “Yapay Zeka ile İlgili Atıf Yapılabilir Doküman Sayısı” (**AYDS**) ve “Yapay Zeka ile İlgili Doküman Başına Düşen Atıf Sayısı” (**DBDAS**) olarak sıralanmaktadır. Değişim katsayısı değişkenlerin varyasyon derecelerini karşılaştırmak için yararlı bir istatistiktir.⁴³⁰ Değişim katsayısının yüksek olması bu 3 YZE alt göstergesindeki değişkenliğin yüksek olduğunu belirtmektedir. Yine bu 3 YZE alt göstergesi, çarpıklık (asymmetry) katsayısı en yüksek olan alt göstergelerdir.

Kompozit endeks oluşturulmadan önce alt göstergeler arasındaki karşılıklı ilişkilerin belirlenip verilerin altında yatan yapının araştırılması amacıyla YZE alt göstergeleri arasındaki korelasyon katsayıları hesaplanmaktadır.⁴³¹ YZE alt göstergelerine ait Spearman sıra korelasyon matrisi Tablo 3.5'te yer almaktadır. Tabloya göre YZE alt göstergeleri arasındaki en düşük korelasyon katsayısı 0,34'tür. Tamamı pozitif olan 120 korelasyon katsayısından 113 tanesinin 0,5'ten, 49 tanesinin 0,7'den ve 4 tanesinin 0,9'dan yüksek olduğu görülmektedir. Buna göre YZE alt göstergeleri arasındaki ilişkilerden (120 ilişkiden) sadece 4 tanesinin çok güçlü ($>0,9$) ve 7 tanesinin zayıf ($<0,5$) olduğu sonucuna varılmaktadır. Aynı kategorideki alt göstergeler arasındaki ilişkiler değerlendirildiğinde ise sadece “Yapay Zeka ile İlgili Araştırma Çalışmaları” ve “Geniş Bant Bağlantısı” kategorilerinden birer korelasyon katsayısı 0,9'un üzerinde değer almaktadır. Çalışmada özellikle aynı kategorideki alt göstergelerin korelasyon katsayılarının çok yüksek olmamasına dikkat edilmektedir. Bu şekilde ilgili boyutun farklı yönlerinin araştırılması amaçlanmaktadır. Spearman sıra korelasyon matrisi

⁴³⁰ Saisana, Saltelli, Tarantola, **a.g.e.**, p.313.

⁴³¹ Cherchye, Kuosmanen, **a.g.e.**, pp.10-12.

genel olarak değerlendirildiğinde az sayıda YZE alt göstergesi arasında zayıf veya çok güçlü derecede korelasyon olduğu ve YZE alt göstergelerinin büyük çoğunluğunun orta derecede veya yüksek derecede ilişkili olduğu görülmektedir.⁴³²

Çalışmada YZE oluşturulurken, seçilen YZE alt göstergeleriyle ölçülen çok boyutlu kavramın farklı yönlerinin ve boyutlarının araştırılması ve ölçülmesi amaçlanmaktadır. Çok yüksek korelasyona sahip olan alt göstergeler ölçülmek istenen kavramın aynı yönünü ölçtüğü yaklaşımı ile alt göstergelerin çoğunun arasında çok güçlü bir ilişkinin olması istenen bir durum değildir. Bununla birlikte ilişkili olan alt göstergeler, ölçülmesi amaçlanan çok boyutlu kavramın birbirinin eş değeri olmayan farklı özelliklerini yansıtabilecekleri ve ölçülmesi amaçlanan çok boyutlu kavramın dinamiklerinin ve süreçlerinin daha iyi anlaşılması konusunda yararlı olabilecekleri yaklaşımı ile YZE alt göstergelerinin büyük çoğunluğunun orta derecede veya yüksek derecede ilişkili olması gerektiği göz önüne alınmıştır. Çalışmada genel olarak YZE alt göstergelerinin hem kendi kategorisindeki hem de diğer kategorilerdeki alt göstergelerle yeterli düzeyde ilişkide olduğunu söylemek mümkündür.⁴³³

Kompozit endeks oluşturulmadan önce veri kümesinin yapısı hakkında fikir edinmek amacıyla “Faktör Analizi” uygulanmaktadır.⁴³⁴ Çalışmada YZE alt göstergelerine faktör analizi uygulandığında veri setinin faktör analizine uygunluğunun saptanmasında kullanılan KMO değeri (Kaiser-Meyer-Olkin Örneklem Yeterliği Ölçüsü) 0,892 olarak hesaplanmıştır. KMO değeri basit ve kısmi korelasyon katsayılarına dayanan bir ölçüdür. İyi bir faktör analizi için KMO değerinin 0,8’den yüksek olması beklenmektedir.⁴³⁵

Veri setinin faktör analizine uygunluğunun değerlendirilmesinde kullanılan bir diğer test Bartlett testidir. Bartlett testi, değişkenler arasındaki korelasyon matrisinin ortogonal olup olmadığını araştırmakta kullanılmaktadır. Bartlett testinde H_0 hipotezinin reddedilmesi korelasyon matrisinin ortogonal olmadığı yani değişkenler

⁴³² Saisana, Saltelli, Tarantola, **a.g.e.**, p.314.

⁴³³ Freudenberg, **a.g.e.**, p.24.

⁴³⁴ Nardo, Saisana, Saltelli, Tarantola, Hoffmann, Giovannini, **a.g.e.**, p.26.

⁴³⁵ Reha Alpar, **Uygulamalı Çok Değişkenli İstatistiksel Yöntemler**, Detay Yayıncılık, 2013, s.294.

arasında ilişki olduğu anlamına gelmektedir.⁴³⁶ Çalışmada KMO değeri 0,8’den büyük ve Bartlett testi anlamlı olduğu için YZE alt göstergeleri veri setinin faktör analizine uygun olduğuna karar verilmektedir.

YZE alt göstergeleri için “Kaiser Normalleştirilmiş Varimax Döndürme Yöntemi” sonrasındaki döndürülmüş faktör yükleri ve ortak varyanslar Tablo 3.6’da verilmektedir. Tabloda her bir YZE alt göstergesinin 5 faktör altındaki faktör yükleri ve her bir faktörün toplam varyansın yüzde kaçını açıkladığı gösterilmektedir. Faktörlerin anlamlı bir yorumunun yapılması basit olmamakla birlikte faktör analiziyle 16 YZE alt göstergesinin istatistiksel olarak ele alınması, YZE alt göstergelerinin teorik çerçeveye belirlenmiş YZE kategorilerinden farklı bir şekilde gruplandırılmalarına (faktörlere) neden olmaktadır.⁴³⁷

Faktör analizinde çok fazla bilgi kaybetmeden kaç adet faktörün dikkate alınması gerektiği konusunda çeşitli yaklaşımlar bulunmaktadır. Bu yaklaşımlara durdurma kuralları (stopping rules) denmektedir.⁴³⁸ YZE alt göstergeleri arasındaki ilişkileri en yüksek derecede temsil edecek faktör sayısına karar vermek için bu durdurma kurallarından olan “açıklanan varyans kriteri” uygulandığında 5 faktör elde edilmektedir. Açıklanan varyans kriterine göre açıklanan toplam varyans oranı %80’in üzerinde olacak şekilde faktör sayısı yeterli görülmektedir. Çalışmada ilk 5 faktör toplam varyansın %83,966’sını açıklamaktadır. “Joliffe kriterine” göre özdeğer istatistiği 0,7’den büyük olacak şekilde faktör sayısı belirlendiğinde de analizin sonucunda 5 faktör oluşmaktadır. (6.faktörün özdeğer istatistiği 0,607’dir.) Faktör sayısının belirlenmesinde kullanılan bir diğer kriter olan “Kaiser kriterine” göre özdeğer istatistiği 1’den büyük olan faktörlerin kullanılması önerilmektedir. Tablo 3.6 incelendiğinde 4. ve 5. faktörlerin özdeğer istatistiklerinin 0,9’un üzerinde (1’e yakın) olduğu görülmektedir.⁴³⁹ Bir diğer kriter gere göre bir faktörün toplam varyansın açıklanmasına katkısının %5’in üzerinde olması yeterli görülmektedir.⁴⁴⁰ Çalışmada

⁴³⁶ Orhunbilge, **a.g.e.**, ss.448-449.

⁴³⁷ Nardo, Saisana, Saltelli, Tarantola, Hoffmann, Giovannini, **a.g.e.**, p.70.

⁴³⁸ George H. Dunteman, **Principal Components Analysis**, Sage University Paper Series on Quantitative Applications in the Social Sciences, No.69, Sage Publications, USA, 1989.

⁴³⁹ Nardo, Saisana, Saltelli, Tarantola, Hoffmann, Giovannini, **a.g.e.**, p.70.

⁴⁴⁰ Şeref Kalaycı, **SPSS Uygulamalı Çok Değişkenli İstatistik Teknikleri**, Vol.5, Asil Yayın Dağıtım, Ankara, 2010, s.322.

Faktör 4 ve Faktör 5 tarafından toplam varyansın sırasıyla %6,969 ve %6,81’lik kısmının açıklanması faktör sayısı belirleme kriterlerine göre yeterli bir oran olarak görülmektedir.

Çalışmada YZE alt göstergelerine faktör analizi uygulandığında veri setindeki varyansın yaklaşık %85’ini hesaba katmak için 5 faktöre ihtiyaç olduğu görülmektedir. Bu sonuç, 16 alt gösterge tarafından açıklanan kavramın (YZE) oldukça çok boyutlu olduğunu göstermektedir. YZE alt göstergeleri arasında daha yüksek bir korelasyon olması daha az sayıda faktör elde edilmesine yol açardı.⁴⁴¹ Tablo 3.6’daki ortak varyans sütunu ise her bir YZE alt göstergesindeki varyansın yüzde kaçının 5 faktör tarafından açıklandığını ifade etmektedir. Ortak varyansın (communality) düşük olması ($<0,5$) çıkarılan faktörler tarafından bir değişkendeki önemli miktarda varyansın açıklanamadığı anlamına gelmektedir.⁴⁴² Çalışmada ortak varyans yüzdesi en düşük olan YZE alt göstergesi 0,487 değeri ile “Aktif Mobil Geniş Bant Abone Sayısı” (**AMGBAS**) alt göstergesidir. Bu değer 0,5’e yakın olduğu için yeterli görülerek 16 YZE alt göstergesinin 5 faktör tarafından tatmin edici bir düzeyde temsil edildiği sonucuna varılmaktadır.

⁴⁴¹ Saisana, Saltelli, Tarantola, **a.g.e.**, p.314.

⁴⁴² Alpar, **a.g.e.**, s.277-278.

Tablo 3.4: YZE Alt Göstergelerinin Tanımlayıcı İstatistikleri

YZE Alt Göstergeleri	Minimum Değer	Maksimum Değer	Ortalama	Standart Sapma	Çarpıklık
Yapay Zeka İle İlgili Araştırma Çalışmaları					
AYDS	1	128970	5779,392	17181,702	5,776
DBDAS	0,25	118	6,956	11,362	8,052
HIKDS	1	465	48,733	66,403	2,918
İnovasyon Ekosistemi					
İD (0-100 arasındadır.)	28,6	84,2	61,362	10,379	-0,281
İK (0-100 arasındadır.)	18	86,8	44,583	17,03	0,874
Beşeri Sermaye					
ANDBD (1-7 arasındadır.)	2,7	5,8	4,295	0,732	0,021
BİVMM (1-7 arasındadır.)	2,6	6	4,088	0,707	0,296
FVMEK (1-7 arasındadır.)	2,3	6,5	4,09	0,947	0,077
YÖKO (%)	0,8	126,4	47,743	28,146	0,182
Geniş Bant Bağlantısı					
AMGBAS (100 kişi başına düşen abone sayısı)	5,9	266	74,835	41,711	1,32
SGBAS (100 kişi başına düşen abone sayısı)	0,001	45,4	16,399	13,914	0,446
IKBUBG (kbit/s)	0,5	8409,5	149,798	768,777	10,607
HSGBAS (100 kişi başına düşen abone sayısı)	0,0003	42,836	12,358	13,429	0,79
Dijital Teknoloji Olgunluk Düzeyi					
EDGE (0-1 arasındadır.)	0,126	0,915	0,635	0,185	-0,523
KSGE (0-1 arasındadır.)	0,019	0,931	0,588	0,257	-0,512
FDTE (1-7 arasındadır.)	2,9	6	4,576	0,706	0,138

Tablo 3.5: YZE Alt Göstergelerinin Spearman Sıra Korelasyon Matrisi

	AYDS	DBDAS	HIKDS	İD	İK	ANDBD	BİVMM	FVMEK	YÖKO	AMGBAS	SGBAS	IKBUBG	HSGBAS	EDGE	KSGE	FDTE
Yapay Zeka İle İlgili Araştırma Çalışmaları																
AYDS	1															
DBDAS	0,656	1														
HIKDS	0,975	0,773	1													
İnovasyon Ekosistemi																
İD	0,64	0,541	0,667	1												
İK	0,834	0,718	0,867	0,826	1											
Beşeri Sermaye																
ANDBD	0,553	0,515	0,591	0,75	0,78	1										
BİVMM	0,666	0,575	0,695	0,683	0,753	0,727	1									
FVMEK	0,546	0,482	0,562	0,689	0,725	0,812	0,75	1								
YÖKO	0,634	0,545	0,658	0,564	0,701	0,522	0,478	0,495	1							
Geniş Bant Bağlantısı																
AMGBAS	0,53	0,564	0,556	0,632	0,72	0,692	0,501	0,558	0,589	1						
SGBAS	0,673	0,65	0,727	0,736	0,845	0,684	0,574	0,675	0,785	0,65	1					
IKBUBG	0,344	0,387	0,392	0,567	0,569	0,56	0,34	0,516	0,618	0,544	0,714	1				
HSGBAS	0,699	0,641	0,747	0,773	0,857	0,702	0,598	0,701	0,759	0,646	0,964	0,731	1			
Dijital Teknoloji Olgunluk Düzeyi																
EDGE	0,723	0,67	0,765	0,804	0,891	0,736	0,634	0,67	0,792	0,774	0,914	0,701	0,905	1		
KSGE	0,707	0,536	0,715	0,749	0,774	0,669	0,585	0,591	0,561	0,581	0,662	0,522	0,695	0,773	1	
FDTE	0,595	0,57	0,637	0,823	0,845	0,748	0,736	0,649	0,518	0,667	0,687	0,544	0,701	0,774	0,67	1

Tablo 3.6: YZE Alt Göstergeleri için Kaiser Normalleştirilmiş Varimax Döndürme Yöntemi Sonrasındaki Döndürülmüş Faktör Yükleri ve Ortak Varyanslar

YZE Alt Göstergeleri	Faktör 1	Faktör 2	Faktör 3	Faktör 4	Faktör 5	Ortak Varyanslar
AYDS	0,108	0,09	0,948	-0,02	0,012	0,918
DBDAS	0,069	0,074	0,082	0,002	0,971	0,959
HIKDS	0,329	0,350	0,830	-0,024	0,141	0,941
İD	0,748	0,408	0,254	0,050	-0,048	0,796
İK	0,641	0,539	0,421	0,143	0,109	0,910
ANDBD	0,865	0,299	0,073	0,096	-0,007	0,853
BİVMM	0,814	0,153	0,322	-0,069	0,189	0,831
FVMEK	0,815	0,261	0,117	0,031	0,147	0,769
YÖKO	0,267	0,849	0,117	-0,164	0,021	0,833
AMGBAS	0,621	0,316	-0,015	-0,030	-0,018	0,487
SGBAS	0,459	0,791	0,19	0,159	0,129	0,915
IKBUBG	0,082	0,041	-0,03	0,977	0,001	0,964
HSGBAS	0,461	0,739	0,233	0,156	0,158	0,862
EDGE	0,581	0,739	0,151	0,082	-0,024	0,913
KSGE	0,569	0,482	0,273	0,113	-0,108	0,655
FDTE	0,798	0,362	0,189	0,157	0,033	0,830
Özdeğer İstatistiği	9,107	1,428	1,015	0,974	0,911	
Açıklanan Varyans (%)	33,476	22,982	13,729	6,969	6,810	
Toplam (%)	33,476	56,458	70,187	77,155	83,966	

Not: Faktör Çıkarma Yöntemi olarak Temel Bileşenler Analizi ve Döndürme Yöntemi olarak Kaiser Normalleştirilmiş Varimax Döndürme Yöntemi uygulanmıştır. 0,5'ten büyük olan pozitif faktör yükleri işaretlenmiştir.

3.2.5. Normalizasyon

Çalışmada YZE alt göstergelerinin ağırlıklandırılmasında VZA tabanlı ŞLKY ağırlıklandırma yöntemi uygulanmaktadır. VZA'nın dolayısıyla ŞLKY ağırlıklandırma yönteminin birimlerin değişmezliği özelliği, kompozit endeks skorlarının alt göstergelerin ölçüm birimlerinden bağımsız olmasını sağlamaktadır. Bunun nedeni ise ağırlıkların endojen olmasından kaynaklanmaktadır. Endojenlik esnek ağırlıklar elde edilmesini dolayısıyla ağırlıkların ölçüm birimlerine adapte olmasını sağlamaktadır. Bu durumda optimal ağırlığın değeri değişmekle birlikte kompozit endeks skoru değişmemektedir.⁴⁴³ VZA'nın birimlerin değişmezliği özelliğinden dolayı ŞLKY ağırlıklandırma yöntemi ile kompozit endeks geliştirilmesi normalizasyon aşamasını gereksiz kılmaktadır.⁴⁴⁴

VZA tabanlı ŞLKY ağırlıklandırma yöntemiyle elde edilen kompozit endeks skorlarının alt göstergelerin ölçüm birimlerinden bağımsız olması ve böylelikle alt göstergelerin normalize edilmesi gerekliliğinin olmaması, kompozit endeks skorlarının öznelliğinin ve güvenilirliğinin sorgulandığı önemli birçok eleştiriyi ortadan kaldırmaktadır.⁴⁴⁵

Çalışmada YZE alt göstergelerinin ağırlıklandırılmasında kullanılan VZA tabanlı ŞLKY ağırlıklandırma yönteminin birimlerin değişmezliği özelliği, YZE skorlarının YZE alt göstergelerinin ölçüm birimlerinden bağımsız olmasını sağlamaktadır. Bu nedenle farklı ölçüm birimlerine sahip olmalarına rağmen 16 tane YZE alt göstergesi normalize edilmeden analizde kullanılmıştır. YZE'nin geliştirilmesinde VZA tabanlı ŞLKY ağırlıklandırma yönteminin kullanılmasıyla alt göstergelerin normalize edilmesi ihtiyacı ortadan kaldırılarak kompozit endeks skorlarının öznelliğinin ve güvenilirliğinin sorgulandığı önemli birçok eleştirinin oluşması engellenmektedir.

Çalışmada güvenilirliği yüksek ve gerçekçi YZE skorları elde etmek amacıyla ŞLKY ağırlıklandırma yönteminin metodolojisine ek ağırlık kısıtlamaları dahil edilmektedir.

⁴⁴³ Cherchye, Moesen, Rogge, Van Puyenbroeck, **a.g.e.**, pp.121-122.

⁴⁴⁴ Cherchye, Moesen, Rogge, Van Puyenbroeck, Saisana, Saltelli, Liska, Tarantola, **a.g.e.**, p.241.

⁴⁴⁵ Cherchye, Moesen, Rogge, Van Puyenbroeck, **a.g.e.**, p.116.

Bununla birlikte YZE alt göstergelerinin ve kategorilerinin YZE skoruna katkılarının belirlenmesi ve göreceli önemlerinin değerlendirilmesi amaçlanmaktadır. Çalışmada bu amaçlar alt gösterge payları yaklaşımı kullanılarak gerçekleştirilmektedir.

Alt gösterge payları, alt göstergenin orijinal değeri ile alt göstergeye atanan ağırlığın çarpımı ile elde edilmektedir. ŞLKY ağırlıklandırma yönteminin birimlerin değişmezliği özelliği alt göstergelerin ağırlıklarının, ölçüm birimlerine adapte olmasını sağlamaktadır. Bu nedenle alt göstergenin değeri ile ağırlığının çarpımı yani alt gösterge payı sabit kalmaktadır. Bunun anlamı alt gösterge paylarının alt göstergelerin ölçüm birimlerinden tamamen bağımsız olmasıdır.⁴⁴⁶

Her bir alt gösterge payı kompozit endeksin bir başarı boyutunu temsil etmek üzere, alt gösterge paylarının toplamı kompozit endeks skorunu vermektedir. Kompozit endeksi oluşturan alt gösterge paylarının her biri ilgili alt göstergenin kompozit endeks skoruna ne kadar katkıda bulunduğunu göstermektedir. Bir ülkenin alt gösterge paylarının toplamı ülkenin kompozit endeks skorunu verirken alt gösterge paylarının göreceli büyüklüğü ise alt göstergelerin göreceli önemini yansıtmaktadır.⁴⁴⁷

Çalışmada YZE alt göstergelerinin ve kategorilerinin YZE skoruna katkılarının belirlenmesinde ve göreceli önemlerinin değerlendirilmesinde alt gösterge payları yaklaşımının kullanılması, YZE alt göstergelerinin normalize edilmesi gerekliliğini ortadan kaldırmaktadır. Bunun nedeni YZE alt gösterge paylarının YZE alt göstergelerinin ölçüm birimlerinden tamamen bağımsız olmasıdır. Bununla birlikte YZE alt gösterge ağırlıklarının tam esnekliğinin uygun bir şekilde sınırlandırılması için ŞLKY ağırlıklandırma yönteminin metodolojisine doğrudan alt göstergelerin ağırlıkları ile ilgili kısıtlar ilave edilmesi yerine alt gösterge paylarıyla ilgili kısıtlar eklenmiştir. Ek ağırlık kısıtlamalarının metodolojiye dahil edilmesinde de alt gösterge payları yaklaşımı kullanıldığı için YZE alt göstergelerinin normalize edilmesi gerekmemektedir. Çalışmada **Bölüm 2.3**'te VZA tabanlı ŞLKY ağırlıklandırma yönteminin “birimlerin değişmezliği özelliği” ile “alt gösterge payları” ve “alt

⁴⁴⁶ A.e., pp.122-123.

⁴⁴⁷ A.e., pp.123-125.

gösterge payı kısıtlamaları” yaklaşımlarının normalizasyon aşamasını neden gereksiz kıldığı ayrıntılı bir biçimde anlatılmaktadır.

3.2.6. Ağırlıklandırma ve Toplulaştırma

Çalışmada YZE oluşturmak için YZE alt göstergelerinin ağırlıklandırılmasında VZA tabanlı ŞLKY ağırlıklandırma yöntemi uygulanmaktadır. VZA’dan ilham alınarak geliştirilen ŞLKY ağırlıklandırma yöntemi, performansı ölçülecek kavrama ilişkin politika belirleyicilerin hedefleri ve tercihleri hakkında yeterli ve sistematik bilginin bulunmadığı durumlarda ülkelerin (benzer karar verme birimlerinin) performanslarını ölçmek için kompozit endeks geliştirmek amacıyla kullanılmaktadır. Performans değerlendirilmesi yapılacak kavrama ilişkin alt göstergelerin belirlendiği ancak ağırlıklandırma şeması hakkında yeterli bilginin olmadığı durumlarda ülkelerin nispeten daha iyi performans gösterdiği göstergelere daha fazla ağırlık atayan bu matematiksel ağırlıklandırma tekniği ile her ülke için performanslarını maksimize eden farklı ağırlıklar kümesi elde edilmektedir.⁴⁴⁸ ŞLKY ağırlıklandırma yönteminin metodolojisi, değerlendirilen ülkenin endeks değerini maksimum yapan optimal ağırlıklar, örneklemdaki diğer ülkelere uygulandığında örneklemdaki hiçbir ülkenin endeks değerinin 1’den yüksek olmaması kısıtına tabidir.⁴⁴⁹

Çalışmada YZE’nin geliştirilmesinde VZA tabanlı ŞLKY ağırlıklandırma yönteminin tercih edilme sebeplerinden biri bu yöntemde alt göstergelerin normalize edilmesi veya üzerinde mutabık kalınan belirli bir ağırlıklandırma şeması hakkında herhangi bir a priori bilgiye ihtiyaç duyulmamasıdır.⁴⁵⁰

ŞLKY ağırlıklandırma yönteminde performans değerlendirilmesi yapılan kavrama ilişkin uygun bir ağırlıklandırma şeması tamamıyla ülkelerin gözlenen verilerinden elde edilmektedir. Bununla birlikte VZA tabanlı ŞLKY ağırlıklandırma yönteminde göstergelerin normalize edilmesi gerekliliği olmadığı için endeks sonuçlarının normalizasyon tekniklerine bağımlılığı ortadan kaldırılarak ve endojen ağırlıklandırma

⁴⁴⁸ Melyn, Moesen, **a.g.e.**

⁴⁴⁹ Cherchye, Kuosmanen, **a.g.e.**, p.4.

⁴⁵⁰ Cherchye, Moesen, Rogge, Van Puyenbroeck, Saisana, Saltelli, Liska, Tarantola, **a.g.e.**, p.239.

biçimiyle ülkelere özgü ağırlıklar elde edilerek YZE sonuçlarının özneliliğinin ve güvenilirliğinin sorgulandığı önemli birçok eleştirinin oluşması engellenmektedir.⁴⁵¹

VZA tabanlı ŞLKY ağırlıklandırma yöntemiyle, her ülke için her boyutta gözlenen performansa bağlı olarak ülkelerin YZE skorlarını maksimum yapan ülkelere özgü optimal ağırlıkların belirlenmesi ve böylelikle diğer ülkelere göre en uygun sırasının ortaya koyulması, haksız bir ağırlıklandırma şemasının kullanıldığına dair olası iddiaların önünü tamamiyle kapamaktadır. Çünkü ŞLKY ağırlıklandırma yöntemi ile belirlenen ağırlıklandırma seti dışındaki herhangi bir ağırlık profili, ülkelerin örneklemedeki diğer ülkeler karşısındaki konumlarını kötüleştirilmektedir.⁴⁵² ŞLKY'nin sağladığı endojen ağırlıklandırma ile her ülke için YZE skorlarını maksimize eden ülkelere özgü ağırlıklar kümesinin elde edilmesi ağırlıklandırma setinin güvenilirliğine ve objektifliğine olumlu katkı sağlamaktadır.

Uygun bir ağırlıklandırma şemasının oluşturulmasını sağlamak için performansı değerlendirilen kavram hakkında geniş bir bilgi yelpazesine sahip olan uzman görüşlerinin de dikkate alınması ve analize dahil edilmesi kompozit endeksin güvenilirliği ve kabulü için esastır.⁴⁵³ VZA tabanlı ŞLKY ağırlıklandırma yöntemi alt göstergelerin veya kategorilerin göreceli önemine ilişkin mevcut bilgilerin ek ağırlık kısıtlamalarıyla değerlendirmeye dahil edilmesine uygun bir metodolojiye sahiptir. Metodolojisinin buna izin vermesi ŞLKY ağırlıklandırma yönteminin daha kaliteli, daha güvenilir ve daha geniş çevrelerce kabul gören kompozit endeks geliştirilmesine olanak sağlamasıyla en güçlü olduğu özelliğidir.⁴⁵⁴ Çalışmada güvenilirliği yüksek ve gerçekçi YZE skorları elde etmek amacıyla YZE alt gösterge ağırlıklarının tam esnekliğinin uygun bir şekilde sınırlandırılması için ŞLKY ağırlıklandırma yönteminin metodolojisine ek ağırlık kısıtlamaları dahil edilmektedir.

VZA tabanlı ŞLKY ağırlıklandırma yöntemi ile gözlenen performanstan yola çıkılarak ülkelere özgü örtük politika ağırlıkları yapılandırılmaktadır. ŞLKY'nin performans değerlendirme modeline göre endojen olarak belirlenen her bir boyuta atanan nispi

⁴⁵¹ Cherchye, Moesen, Rogge, Van Puyenbroeck, **a.g.e.**, pp.114-116.

⁴⁵² Cherchye, Moesen, Van Puyenbroeck, **a.g.e.**, p.930.

⁴⁵³ De Witte, Rogge, **a.g.e.**, p.662.

⁴⁵⁴ Cherchye, Moesen, Rogge, Van Puyenbroeck, **a.g.e.**, p.126.

ağırlık, değerlendirilen ülke için ilgili boyutun göreceli performansını yansıtmaktadır. Belirli bir boyuttaki daha iyi göreceli performans, bu boyuta verilen yüksek ulusal politika önceliğinin açık kanıtı olarak görülmektedir. Sonuç olarak ŞLKY ağırlıklandırma yöntemi ile her bir boyutta gözlenen performansa bağlı olarak, değerlendirilen her ülke için örtük göreceli politika ağırlıklarını belirlemek dolayısıyla politika önceliklerini yani optimum öncelik sırasını ortaya koymak mümkün olmaktadır.⁴⁵⁵ Çalışmada ŞLKY ağırlıklandırma yöntemi ile YZE alt göstergelerinde ve dolayısıyla YZE kategorilerinde gözlenen performansa bağlı olarak ülkelerin politika öncelikleri belirlenmektedir. ŞLKY ağırlıklandırma yöntemi ile her ülke için YZE alt göstergelerinin ve dolayısıyla YZE kategorilerinin optimum öncelik sırası elde edilmektedir. **Bölüm 2.3.2**'de VZA tabanlı ŞLKY ağırlıklandırma yönteminin tercih edilme sebepleri ve kompozit endeks geliştirilmesinde sağladığı avantajlar detaylı olarak anlatılmaktadır.

3.2.6.1. Sınırlandırılmamış ŞLKY Senaryosu

Çalışmada aşağıdaki doğrusal programlama problemi her ülke için ayrı ayrı çözülerek (120 kere), her bir ülke için YZE skorunu maksimize eden ülkeye özgü ağırlıklandırma seti ve YZE skoru endojen olarak belirlenmektedir. Doğrusal programlama problemi c ülkesi için çözüldüğünde, c ülkesinin YZE skoru (YZE_c) ve c ülkesinin YZE skorunu maksimize eden ağırlıklandırma seti elde edilmektedir. Bu ağırlıklandırma seti örneklemdeki tüm ülkelere uygulandığında en az bir ülke için (c ülkesinin ölçütü) maksimum YZE skoru olan 1 değerine ulaşılmaktadır.

YZE alt gösterge sayısı 16 ($i=1,2,...,16$), örneklemdeki ülke sayısı 120 ($j=1,2,...,c,...,120$) ve $y_{j,i} \in \{\text{örneklemdeki tüm ülkeler}\}$ olmak üzere c ülkesine özgü optimal ağırlıkların ve YZE skorunun hesaplandığı doğrusal programlama problemi aşağıdaki gibi formüle edilmektedir.⁴⁵⁶ Doğrusal programlama probleminin çözümü için MATLAB R2014a programı kullanılmıştır. **Bölüm 2.3.3**'te VZA tabanlı

⁴⁵⁵ Cherchye, Moesen, Van Puyenbroeck, a.g.e., p.930.

⁴⁵⁶ Cherchye, Moesen, Rogge, Van Puyenbroeck, a.g.e., p.121.

ŞLKY ağırlıklandırma yönteminin metodolojisi detaylı olarak anlatılmaktadır.

$$YZE_c = \max \sum_{i=1}^{16} w_{c,i} \cdot y_{c,i}$$

kısıtlar

$$\sum_{i=1}^{16} w_{c,i} \cdot y_{j,i} \leq 1$$

$$w_{c,i} \geq 0$$

$$i = 1, 2, \dots, 16 \text{ ve } j = 1, 2, \dots, c, \dots, 120$$

Burada;

YZE_c : c ülkesinin YZE skoru

$y_{c,i}$: c ülkesinin i. alt göstergesinin değeri

$w_{c,i}$: c ülkesinin i. alt göstergesinin ağırlığı

olarak ifade edilmektedir.

Çalışmada doğrusal programlama problemi 120 ülke için çözüldüğünde 22 ülkenin YZE skoru 1 olarak hesaplanmıştır. Analizin sonucunda değerlendirilen her ülkeye 16 tane alt gösterge ağırlığı atanmak üzere 120 ülke için $120 \times 16 = 1920$ tane alt gösterge ağırlığı elde edilmiştir. Tüm ağırlıkların gözlenen verilerden endojen olarak elde edildiği bu modelde ağırlıkların %65,72916 tanesi sıfır olarak atanmıştır.

ŞLKY ağırlıklandırma yöntemi, değerlendirilen ülkenin endeks skorunu en üst seviyeye çıkarmak için ağırlıkların tam esneklikle tahmin edilmesine imkan vermektedir. Yöntemin ayırt edici bir özelliği olan ağırlıkların seçimindeki tam esneklik ile ülkelere özgü optimal ağırlıklandırma kümeleri elde edilmektedir. ŞLKY ağırlıklandırma yönteminde değerlendirilen ülkenin kompozit endeks skorunu maksimize etmek için ülkenin nispeten dezavantajlı olduğu alt göstergelere sıfır ağırlığı atanarak bu alt göstergeler etkisiz hale getirilebilmektedir. Bu alt göstergeler pozitif bir ağırlığı hak edecek kadar büyük olmadıkları için nötralize edilebilmekte ve

Ülkelerin endeks skorunu en üst dzeeye çıkarmak için yalnızca en avantajlı alt göstergelere pozitif ağırlıklar atanmaktadır. Bu nedenle ağırlıklar hakkında herhangi bir ek kısıtlamanın uygulanmadığı durumlarda ülkelere özgü optimal ağırlıklandırma kümeleri çok sayıda sıfır değeri içerebilmekte, gerçekçi ve makul olmayan sonuçlar elde edilebilmektedir.⁴⁵⁷

ŞLKY ağırlıklandırma yönteminde ağırlıkların seçiminde tam esnekliğe izin verilmesiyle ülkelerin, ağırlıklandırma profillerinin dezavantajlı olduğunu iddia etmeleri zorlaşmaktadır. Bununla birlikte sıfır değeri atanan alt göstergeler kompozit endeks skoruna katkıda bulunmadıkları için ağırlıkların seçimindeki tam esneklik ülkelerin performanslarının az sayıda alt göstergeye dayandırılması riskini de doğurmaktadır.⁴⁵⁸

ŞLKY ağırlıklandırma yönteminin metodolojisine dahil edilen normalizasyon kısıtıyla örneklemdeki ülkelerin en yüksek kompozit endeks skorunun 1 olması garanti altına alınırken, ağırlıkların negatif olmaması kısıtıyla da kompozit endeks skorlarının alttan sınırlandırılması sağlanmaktadır. Sonuç olarak modele dahil edilen 2 kısıt ile birlikte 0 değeri en kötü göreceli performansı ve 1 değeri en iyi göreceli performansı temsil etmek üzere örneklemdeki her ülke için elde edilen kompozit endeks skorları [0,1] aralığında değişmektedir. ŞLKY ağırlıklandırma yönteminde normalizasyon kısıtı ve ağırlıkların negatif olmaması kısıtı dışında ağırlıklar hakkında herhangi bir sınırlandırılmanın yapılmadığı modelde ağırlıkların seçimindeki tam esneklik ekstrem senaryolara yol açabilmektedir. Bir ülkenin belirli bir alt göstergedeki değeri diğer ülkelerin değerlerine baskın bir konumdaysa, bu ülke diğer birçok alt göstergede çok düşük değerlere sahip olsa bile en yüksek kompozit endeks skoru olan 1 değerini alabilmektedir. Bu durumda örneklemdeki çok sayıda ülkenin kompozit endeks skorunun 1 olmasına veya çok yüksek değerler almasına yol açabilmektedir. Bu nedenlerden dolayı ŞLKY ağırlıklandırma yöntemi metodolojisi geliştirilirken alt göstergelerin göreceli önemine ilişkin mevcut bilgilerin göz önünde bulundurulması

⁴⁵⁷ Gonzalez, Carcaba, Ventura, **a.g.e.**, p.1169.

⁴⁵⁸ Cherchye, Moesen, Rogge, Van Puyenbroeck, **a.g.e.**, pp.125-126.

ve ek ağırlık kısıtlamalarıyla değerlendirmeye dahil edilmesi gerekmektedir.⁴⁵⁹

Çalışmada ŞLKY ağırlıklandırma yönteminin metodolojisinde normalizasyon ve ağırlıkların negatif olmaması kısıtları dışında alt gösterge ağırlıkları ile ilgili herhangi bir sınırlandırılmanın yapılmadığı model “Sınırlandırılmamış ŞLKY Senaryosu” olarak adlandırılmaktadır. Bu senaryoda ağırlıklara atanan sıfır değerleri, bazı YZE alt göstergelerinin YZE skoru hesaplanırken göz ardı edildiği ve önemsenmediği anlamına gelmektedir. YZE teorik çerçevesine göre seçilen 16 YZE alt göstergesinin ülkelerin yapay zeka yetenek, kapasite ve potansiyelini belirlemek ve birbirleriyle karşılaştırmak için önemli ve belirleyici olduğu düşünüldüğünde %65,72916’lık yüksek bir oran, YZE alt göstergelerinin çoğunun endekse katkıda bulunmadığı ve ülkelerin YZE skorlarının az sayıda alt göstergeye dayandırılarak hesaplandığı anlamını taşımaktadır. Bu durum birçok ülkenin performansının gerçekte olduğundan çok daha iyi görünmesine neden olmaktadır. Bununla birlikte “Sınırlandırılmamış ŞLKY Senaryosu” ile elde edilen YZE skorlarının ortalamasının 0,8407, minimum YZE skorunun 0,50691 ve maksimum YZE skoru (1) elde eden ülke oranının %18,33333 (22 ülke) gibi yüksek değerler olması, bu senaryonun ülkeler arası ayırt edici gücünün az olduğu anlamına gelmektedir.

Yapılan değerlendirmelere göre “Sınırlandırılmamış ŞLKY Senaryosu” ile elde edilen YZE skorlarının YZE teorik çerçevesini yeterince yansıtamadığı ve bu senaryonun birçok ülkenin performansının gerçekte olduğundan çok daha iyi görünmesine neden olduğu ve 120 ülkenin yapay zeka yetenek, kapasite ve potansiyelinin karşılaştırılması için ayırt edici gücünün yeterli olmadığı sonucuna varılmaktadır. Yukarıda bahsedilen sorunların üstesinden gelmek amacıyla YZE alt gösterge ağırlıklarının tam esnekliğinin uygun bir şekilde sınırlandırılması için ŞLKY ağırlıklandırma yönteminin metodolojisine ek ağırlık kısıtlamaları dahil edilmektedir.

⁴⁵⁹ Cherchye, Moesen, Rogge, Van Puyenbroeck, Saisana, Saltelli, Liska, Tarantola, **a.g.e.**, pp.241-242.

3.2.6.2. Sınırlı ŞLKY Senaryoları

Çalışmada ŞLKY ağırlıklandırma yönteminin metodolojisine ilave edilen kısıtlarla YZE teorik çerçevesini en iyi şekilde yansıtan, ülkelerin yapay zeka yetenek, kapasite ve potansiyelini kapsamlı ve dengeli bir şekilde temsil eden ve ülkeler arasındaki karşılaştırmaların sağlıklı bir şekilde yapılabilmesi için ayırt edici gücü yüksek olan, kullanışlı, güvenilirliği yüksek ve gerçekçi bir YZE geliştirmek amacıyla endojen olarak elde edilen YZE alt göstergelerinin ağırlıklarının tam esnekliği uygun bir şekilde sınırlandırılmaktadır.

ŞLKY ağırlıklandırma yönteminin metodolojisine ek ağırlık kısıtlamalarının dahil edilmesi için birçok alternatif yöntem bulunmaktadır. Alt göstergelere atanan ağırlıkların sınırlandırılması için ek ağırlık kısıtlamaları metodolojiye alt gösterge düzeyinde ve/veya kategori düzeyinde dahil edilebilmektedir. Bununla birlikte doğrudan alt göstergelerin ağırlıkları ile ilgili kısıtların ilave edildiği yaklaşımlar olduğu gibi alt gösterge payları ile ilgili kısıtların eklendiği yaklaşımlar da bulunmaktadır. **Bölüm 2.3.6**'da bu yöntemler kısaca anlatılmaktadır.

Çalışmada YZE alt göstergelerinin ağırlıklarının tam esnekliğinin uygun bir şekilde sınırlandırılması için ŞLKY ağırlıklandırma yönteminin metodolojisine YZE alt gösterge paylarıyla ilgili kısıtlar eklenmiştir. Aşağıda ek ağırlık kısıtlamalarının alt gösterge payları yaklaşımı kullanılarak metodolojiye dahil edilmesinin sağladığı avantajlar ifade edilmektedir:⁴⁶⁰

- VZA'nın dolayısıyla ŞLKY ağırlıklandırma yönteminin birimlerin değişmezliği özelliğinden dolayı alt göstergenin değeri ile ağırlığının çarpımı yani alt gösterge payı sabit kalmaktadır. Bunun anlamı alt gösterge paylarının alt göstergelerin ölçüm birimlerinden tamamen bağımsız olmasıdır. Bu nedenle ŞLKY ağırlıklandırma yönteminin metodolojisine YZE alt gösterge payları ile ilgili kısıtlar eklenmesi durumunda YZE alt göstergelerinin normalize edilmesi gerekmemektedir.

⁴⁶⁰ Cherchye, Moesen, Rogge, Van Puyenbroeck, a.g.e., pp.126-127.

- Alt gösterge paylarının göreceli büyüklüğü alt göstergelerin göreceli önemini yansıttığı için metodolojiye alt gösterge payları ile ilgili kısıtlar eklenmesi endeks bileşenlerinin önemi hakkındaki bilgilerin daha kolay ve pratik bir şekilde temsil edilmesini, uygulanmasını ve yorumlanmasını sağlamaktadır. Çalışmada YZE alt gösterge paylarının göreceli büyüklüğü, YZE alt göstergelerinin YZE skoruna yüzde olarak katkısı ile ifade edilmektedir. Buna göre her bir YZE alt göstergesinin YZE skoruna yüzde olarak katkısı, ilgili YZE alt göstergesinin göreceli önemini yansıtmaktadır. Aynı şekilde her bir YZE kategorisinin YZE skoruna yüzde olarak katkısı da ilgili YZE kategorisinin göreceli önemini yansıtmaktadır. Çalışmada YZE alt gösterge ve kategorilerinin YZE skoruna yüzde olarak katkıları sınırlandırılmaktadır. Bu şekilde ülke bazında YZE alt göstergelerinin ve kategorilerinin optimum öncelik/önem sırası elde edilmektedir.

Çalışmada ŞLKY ağırlıklandırma yönteminin metodolojisine alt gösterge paylarıyla ilgili ek ağırlık kısıtlamalarının dahil edilmesi için Wong ve Beasley (1990) tarafından önerilen yöntem kullanılmaktadır. Bu yöntemle göre performansın belirlenmesinde alt göstergeye verilen önemi temsil eden alt gösterge payının kompozit endeks skoruna oranı sınırlandırılmaktadır. Karar verici veya kompozit endeksi geliştirenler tarafından alt göstergeye verilen öneme göre her bir alt gösterge payının kompozit endeks skoruna oranı için uygun alt ve üst sınırlar belirlenmektedir. Alt ve üst sınırların belirlenmesi karar vericilerin veya kompozit endeksi geliştirenlerin değer yargılarına dayanmaktadır. Alt göstergelerin göreceli önemine göre bir fikir birliği içinde alt ve üst sınırların belirlenmesi karar vericilerin görüşlerinin daha iyi temsil edilmesini sağlamaktadır.⁴⁶¹ **Bölüm 2.3.6**'da Wong ve Beasley tarafından önerilen yöntem detaylı bir şekilde anlatılmaktadır.

Çalışmada alt göstergelerin ağırlıklarının tam esnekliğinin uygun bir şekilde sınırlandırılması için ek ağırlık kısıtlamaları metodolojiye hem kategori düzeyinde hem de alt gösterge düzeyinde dahil edilmektedir. Kategori düzeyinde yapılan ek ağırlık kısıtlamaları Wong ve Beasley tarafından önerilen alt gösterge payı

⁴⁶¹ Wong, Beasley, **a.g.e.**, p.831.

kısıtlamalarının doğrudan genişletilmiş formudur. Bu yöntemde kategorilerin göreceli önemine göre her bir kategori payının kompozit endeks skoruna oranı sınırlandırılmaktadır. Kategorilerin göreceli önemi üzerinde uzmanların anlaşmaya varmalarının alt göstergelere göre daha kolay olduğu yaklaşımından hareketle kategorilerin her birinin kompozit endeks skoruna yüzde olarak katkısı (kategorilerin kompozit endeks skoruna katkısının yüzdesi) uzmanların görüşlerindeki çeşitlilik göz önüne alınarak belirlenen alt ve üst limitlerle sınırlandırılmaktadır.⁴⁶²

Alt gösterge paylarının ve kategori paylarının kompozit endeks skoruna oranının alt ve üst sınırlarının belirlenmesinde kullanılan çeşitli yaklaşımlar bulunmaktadır. Çalışmada kategori paylarının kompozit endeks skoruna oranının alt ve üst sınırları eşit ağırlıklandırma ile esnek ağırlıklandırmayı birleştiren bir yaklaşım doğrultusunda belirlenmektedir.⁴⁶³ Buna göre YZE kategorilerinin YZE için eşit önemde oldukları varsayıldığında elde edilen her bir YZE kategorisinin YZE skoruna sağladığı eşit katkının (1/5) etrafında belirli bir oranda esnekliğe izin verilerek, her bir YZE kategori payının YZE skoruna oranının alt ve üst sınırları hesaplanmaktadır.

ŞLKY ağırlıklandırma yöntemi metodolojisine kategori düzeyinde dahil edilen bu ek ağırlık kısıtlamasıyla “Yapay Zeka ile İlgili Araştırma Çalışmaları, İnovasyon Ekosistemi, Beşeri Sermaye, Geniş Bant Bağlantısı ve Dijital Teknoloji Olgunluk Düzeyi” YZE kategorilerinin her birinin YZE’de yeterince temsil edilmesi garanti altına alınmaktadır. Çalışmada her bir YZE kategori payının YZE skoruna sağladığı eşit katkının etrafında çeşitli oranlarda (%40, %50, %60, %70, %80) esnekliğe izin verilerek elde edilen alt ve üst sınırlarla alternatif senaryolar oluşturulmaktadır. Örneğin YZE kategorilerinin YZE için eşit önemde oldukları varsayıldığında elde edilen her bir YZE kategorisinin YZE skoruna sağladığı 1/5’lik eşit katkının etrafında %40’lık esnekliğe izin verildiğinde her bir YZE kategori payının YZE skoruna oranının alt ve üst sınırları, YZE_k kategorilerden her biri olmak üzere aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

⁴⁶² Cherchye, Moesen, Rogge, Van Puyenbroeck, **a.g.e.**, pp.132-133.

⁴⁶³ Gonzalez, Carcaba, Ventura, **a.g.e.**, pp.1169-1170.

$$\frac{1}{5} \cdot (1 - 0,4) \leq \frac{\sum_{i \in YZE_k} w_{j,i} \cdot y_{j,i}}{\sum_{i=1}^{16} w_{j,i} \cdot y_{j,i}} \leq \frac{1}{5} \cdot (1 + 0,4)$$

$$0,12 \leq \frac{\sum_{i \in YZE_k} w_{j,i} \cdot y_{j,i}}{\sum_{i=1}^{16} w_{j,i} \cdot y_{j,i}} \leq 0,28$$

$$i = 1,2, \dots, 16, \quad j = 1,2, \dots, 120 \text{ ve } k = 1,2, \dots, 5$$

(Her bir YZE kategorisinin (YZE_k), YZE skoruna katkısı %12 ile %28 arasında değişmektedir.)

Çalışmada ŞLKY ağırlıklandırma yöntemi metodolojisine dahil edilen ikinci ek ağırlık kısıtlaması alt gösterge düzeyinde yapılmaktadır. Alt gösterge düzeyinde yapılan kısıtlama ile ülkelerin performanslarının az sayıda alt göstergeye dayandırılarak elde edilen YZE skorlarıyla teorik çerçevenin yeterince yansıtılamaması riskinin engellenmesi amaçlanmaktadır. YZE skorunun az sayıda YZE alt göstergesi tarafından temsil edildiği gerçekçi olmayan durumlara çözüm bulmak ve belirli YZE alt göstergelerine YZE’de çok fazla vurgu yapılmasını önlemek yani az sayıda YZE alt göstergesinin aşırı düzeyde YZE skoruna hakim olmasını engellemek amacıyla YZE alt göstergelerinin YZE skoruna katkısı üstten sınırlandırılmaktadır.

Üst sınır belirlenirken kategori düzeyinde uygulanan yaklaşım kullanılmaktadır. Buna göre YZE alt göstergelerinin YZE için eşit önemde oldukları varsayıldığında elde edilen her bir YZE alt göstergesinin YZE skoruna sağladığı eşit katkı (1/16) belirli bir oranda artırılarak, her bir YZE alt gösterge payının YZE skoruna oranının üst sınırı hesaplanmaktadır. Çalışmada her bir YZE alt gösterge payının YZE skoruna sağladığı eşit katkı %60, %100 ve %140 olmak üzere 3 farklı oranda artırılarak alternatif senaryolar oluşturulmaktadır.

Çalışmada ülkelerin diğer ülkelere göre belirli bir göstergedeki yüksek (düşük) performansının bu göstergeye verilen yüksek (düşük) politika önceliği olarak ifade edildiği, ülkelerin diğer ülkelere göre göreceli olarak güçlü yönlerinin ilgili boyutlarına atanan açıklanmış bir tercih ve daha yüksek önem olarak yorumlandığı ve göreceli olarak zayıf boyutlarının nötralize edilerek her ülkenin kendine özgü optimal

ağırlıklandırma şemasına hak kazandığı⁴⁶⁴ ŞLKY ağırlıklandırma yönteminin endojen ağırlıklandırma metodolojisinin avantajlarının yansıtılması amacıyla YZE alt göstergelerinin YZE skoruna katkılarının alt sınırının %0 olmasına izin verilmektedir. ŞLKY ağırlıklandırma yöntemi uygulanarak geliştirilen Teknoloji Başarı Endeksi çalışmasında da alt gösterge payları ile ilgili ek ağırlık kısıtlamaları metodolojiye Wong ve Beasley tarafından önerilen yaklaşıma göre dahil edilmektedir. Alt gösterge paylarının kompozit endeks skoruna oranının alt ve üst sınırlarının uzmanların değer yargılarına dayandırılarak belirlendiği bu çalışmada da bazı alt göstergeler için alt sınır %0 olarak alınmaktadır. Bu şekilde bazı ülkeler bazı alt göstergeleri tamamen ihmal ederek kompozit endeks skorlarını en üst seviyeye çıkarmışlardır.⁴⁶⁵ Çalışmada her bir YZE alt gösterge payının YZE skoruna sağladığı 1/16'lık eşit katkı %60 oranında artırılarak oluşturulan senaryoda her bir YZE alt gösterge payının YZE skoruna oranının alt ve üst sınırları, aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$0 \leq \frac{w_{j,i} \cdot y_{j,i}}{\sum_{i=1}^{16} w_{j,i} \cdot y_{j,i}} \leq \frac{1}{16} \cdot (1 + 0,6)$$

$$0 \leq \frac{w_{j,i} \cdot y_{j,i}}{\sum_{i=1}^{16} w_{j,i} \cdot y_{j,i}} \leq 0,1$$

$$i = 1,2, \dots, 16 \text{ ve } j = 1,2, \dots, 120$$

(Her bir YZE alt göstergesinin YZE skoruna katkısı %0 ile %10 arasında değişmektedir.)

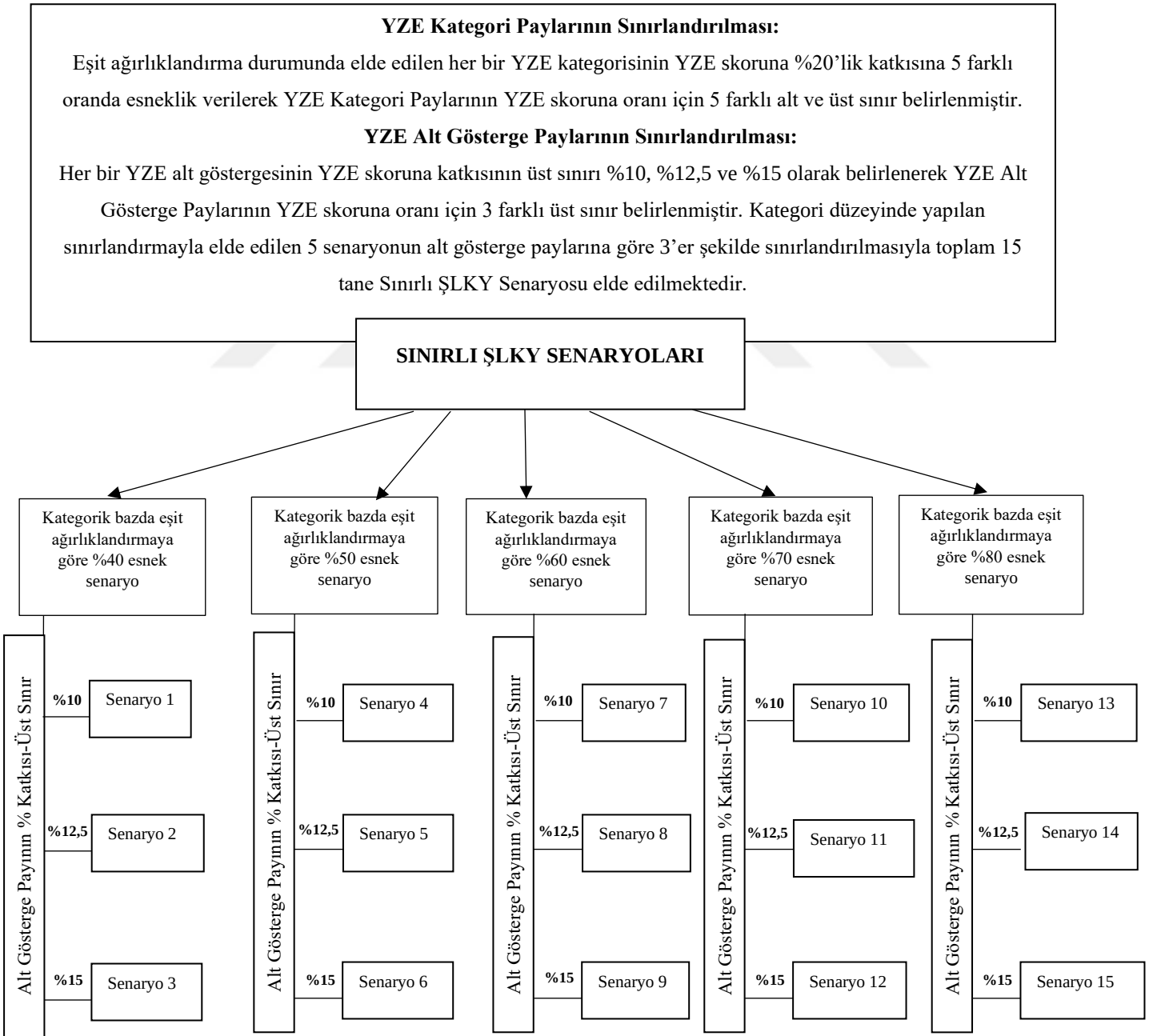
Çalışmada VZA tabanlı ŞLKY ağırlıklandırma yöntemiyle endojen olarak elde edilen YZE alt göstergelerinin ağırlıklarının tam esnekliğinin sınırlandırılması, orijinal metodolojiye biri kategori düzeyinde diğeri alt gösterge düzeyinde olmak üzere 2 çeşit ek ağırlık kısıtlaması dahil edilerek gerçekleştirilmektedir. Kategori düzeyinde YZE kategori paylarının, alt gösterge düzeyinde YZE alt gösterge paylarının YZE skoruna oranı sınırlandırılmaktadır. Kategori paylarının YZE skoruna oranı için 5, alt gösterge paylarının YZE skoruna oranı için 3 farklı alt ve üst sınır belirlenerek 15 alternatif sınırlı senaryo oluşturulmaktadır. Çalışmada bu senaryolar “Sınırlı ŞLKY

⁴⁶⁴ Cherchye, Moesen, Rogge, Van Puyenbroeck, “Constructing a Knowledge Economy Composite Indicator with Imprecise Data”, p.8.

⁴⁶⁵ Cherchye, Moesen, Rogge, Van Puyenbroeck, Saisana, Saltelli, Liska, Tarantola, **a.g.e.**, pp.242-243.

Senaryoları” olarak adlandırılmaktadır. “Sınırlı ŞLKY Senaryoları” oluşturma basamakları Şekil 3.1’de ifade edilmektedir. “Sınırlandırılmamış ŞLKY Senaryosu” ve “Sınırlı ŞLKY Senaryoları” için YZE kategorilerinin ve YZE alt göstergelerinin YZE skoruna yüzde olarak katkılarının alt ve üst sınırları Tablo 3.7’de belirtilmektedir. “Sınırlandırılmamış ŞLKY Senaryosu” ve “Sınırlı ŞLKY Senaryoları” ile elde edilen YZE skorları ve ülke sıralamaları **EK-1**’de listelenmektedir.

Şekil 3.1: “Sınırlı ŞLKY Senaryoları” Oluşturma Basamakları



Tablo 3.7: ŞLKY Alternatif Ağırlıklandırma Senaryolarına Göre YZE Kategorilerinin ve YZE Alt Göstergelerinin YZE Skoruna Katkılarının Alt ve Üst Sınırları (%)

ŞLKY Alternatif Ağırlıklandırma Senaryoları		Kategori Paylarının Sınırlandırılması		Alt Gösterge Paylarının Sınırlandırılması	
		Alt Limit (%)	Üst Limit (%)	Alt Limit (%)	Üst Limit (%)
Sınırlandırılmamış ŞLKY Senaryosu		0	100	0	100
Sınırlı ŞLKY Senaryoları	Senaryo 1	12	28	0	10
	Senaryo 2			0	12,5
	Senaryo 3			0	15
	Senaryo 4	10	30	0	10
	Senaryo 5			0	12,5
	Senaryo 6			0	15
	Senaryo 7	8	32	0	10
	Senaryo 8			0	12,5
	Senaryo 9			0	15
	Senaryo 10	6	34	0	10
	Senaryo 11			0	12,5
	Senaryo 12			0	15
	Senaryo 13	4	36	0	10
	Senaryo 14			0	12,5
	Senaryo 15			0	15

3.2.6.3. ŞLKY Alternatif Ağırlıklandırma Senaryolarının Ayırt Edici Gücünün İncelenmesi

İyi tanımlanmış bir kompozit endeksin ülkeler arasındaki ayırt edici gücünün yeterli olması gerekmektedir. Bu bölümde 16 tane ŞLKY alternatif ağırlıklandırma senaryoları ile elde edilen YZE skorlarının ülkeler arasındaki ayırt edici gücü incelenmektedir. Çalışmada farklı senaryolarla elde edilen YZE skorlarının ülkeler arasındaki ayırt edici gücünün performansı YZE skorlarının minimum değeri, ortalaması ve standart sapması ile her bir senaryo ile elde edilen YZE skoru 1 olan ülke sayısı karşılaştırılarak değerlendirilmektedir. Daha yüksek standart sapma, daha yüksek ayırt edici gücün kanıtı olarak yorumlanmaktadır.⁴⁶⁶

Öncelikle “Sınırlandırılmamış ŞLKY Senaryosu” ile “Sınırlı ŞLKY Senaryoları” ile elde edilen YZE skorları karşılaştırılmaktadır. Tablo 3.8’de ŞLKY alternatif ağırlıklandırma senaryoları ile elde edilen YZE skorlarının tanımlayıcı istatistikleri bulunmaktadır. “Sınırlandırılmamış ŞLKY Senaryosu” ile elde edilen YZE skorlarının minimum değeri (0,50691) ve ortalaması (0,8407) sınırlı senaryolara göre belirgin bir şekilde yüksek iken standart sapması ise 0,12324 değeri ile sınırlı senaryolara göre çok düşüktür. “Sınırlandırılmamış ŞLKY Senaryosu” ile elde edilen YZE skorları 120 ülkenin tamamı için 0,5’in üzerindedir. 120 ülkeden 62 tanesinin YZE skoru ortalamadan (0,8407) ve 105 tanesi 0,7’den yüksek veya eşittir. 120 ülkenin %18,3333’ünün (22 ülke) YZE skoru maksimum değer olan 1’e eşittir. “Sınırlandırılmamış ŞLKY Senaryosu” ile elde edilen YZE skorları ülkeler arasındaki yapay zeka yetenek, kapasite ve potansiyel farklılıklarını yeterince yansıtamamaktadır. Bu nedenlerden dolayı “Sınırlandırılmamış ŞLKY Senaryosu” ile elde edilen YZE skorlarının ülkelerin göreceli performanslarını ortaya koymadaki ayırt edici gücünün sınırlı senaryolara göre çok düşük olduğu sonucuna varılmaktadır.

Çalışmada **Senaryo 15**, ŞLKY ağırlıklandırma yönteminin metodolojisine dahil edilen ek ağırlık kısıtlamaları ile alt göstergelerin tam esnekliğinin diğer sınırlı senaryolara göre en düşük düzeyde sınırlandırıldığı yani kategori payının ve alt gösterge payının

⁴⁶⁶ Cherchye, Kuosmanen, **a.g.e.**, pp.22-23.

YZE skoruna yüzde olarak katkısının en geniş aralıkta tutulduğu sınırlı senaryodur. Buna rağmen **Senaryo 15** ile “Sınırlandırılmamış ŞLKY Senaryosu” karşılaştırıldığında, **Senaryo 15** ile elde edilen YZE skorlarının belirgin bir şekilde minimum değerinin (0,08563) ve ortalamasının (0,62821) düşük, standart sapmasının (0,25004) yüksek olduğu görülmektedir. Bununla birlikte YZE skoru 1 olan ülke sayısı ise **Senaryo 15** ile 22’den 7’ye düşmektedir. YZE alt göstergelerinin tam esnekliğinin düşük düzeylerde bile sınırlandırılması YZE skorlarının ülkeler arasındaki ayırt edici gücüne olumlu katkı sağlamaktadır. Tablo 3.8’deki tanımlayıcı istatistikler, ŞLKY ağırlıklandırma yönteminin metodolojisine gerek kategori bazında gerekse alt gösterge bazında ek ağırlık kısıtlamaları dahil edilerek uygun şekillerde alt gösterge ağırlıklarının sınırlandırılmasının önemini ve gerekliliğini vurgulamaktadır.

Tablo 3.8: ŞLKY Alternatif Ağırlıklandırma Senaryoları ile Elde Edilen YZE Skorlarının Tanımlayıcı İstatistikleri

ŞLKY Alternatif Ağırlıklandırma Senaryoları		YZE Skorlarının Tanımlayıcı İstatistikleri				
		Minimum	Ortalama	Standart Sapma	YZE Skoru 1 Olan Ülke Sayısı	YZE Skoru 1 Olan Ülkelerin Yüzdesi
Sınırlandırılmamış ŞLKY Senaryosu		0,50691	0,8407	0,12324	22	18,33333
Sınırlı ŞLKY Senaryoları	Senaryo 1	0,00295	0,42662	0,28195	1	0,83333
	Senaryo 2	0,03130	0,45801	0,27799	5	4,16667
	Senaryo 3	0,03139	0,46301	0,28053	6	5
	Senaryo 4	0,03582	0,47853	0,27414	5	4,16667
	Senaryo 5	0,03716	0,48918	0,27730	6	5
	Senaryo 6	0,03731	0,49594	0,28037	6	5
	Senaryo 7	0,04359	0,51069	0,27220	6	5
	Senaryo 8	0,04572	0,52615	0,27430	6	5
	Senaryo 9	0,04596	0,53401	0,27724	6	5
	Senaryo 10	0,05566	0,54615	0,26757	6	5
	Senaryo 11	0,05942	0,56928	0,26648	6	5
	Senaryo 12	0,05981	0,57841	0,26866	6	5
	Senaryo 13	0,07698	0,58165	0,25548	6	5
	Senaryo 14	0,08482	0,61680	0,24869	6	5
	Senaryo 15	0,08563	0,62821	0,25004	7	5,83333

Tablo 3.8’de “Sınırlı ŞLKY Senaryoları” ile elde edilen YZE skorlarının tanımlayıcı istatistikleri incelendiğinde minimum değerlerinin 0,00295 ile 0,08563, ortalamalarının 0,42662 ile 0,62821 ve standart sapmalarının 0,28195 ile 0,24869 arasında değiştiği görülmektedir. “Sınırlandırılmamış ŞLKY Senaryosu” ile karşılaştırıldığında “Sınırlı ŞLKY Senaryoları” ile elde edilen YZE skorlarının minimum değerlerinin ve ortalamalarının belirgin bir şekilde düşük ve standart sapmalarının yüksek olması “Sınırlı ŞLKY Senaryoları” ile elde edilen YZE skorlarının ülkelerin göreceli yapay zeka yetenek, kapasite ve potansiyelini ortaya koymadaki ayırt edici güçlerinin çok daha yüksek olduğu anlamına gelmektedir.

Tablo 3.8’deki “YZE skoru 1 olan ülke sayısı” ve “YZE Skoru 1 Olan Ülkelerin Yüzdesi” sütunları incelendiğinde de genel olarak “Sınırlı ŞLKY Senaryoları” ile elde edilen YZE skorlarının ülkeler arasındaki yapay zeka yetenek, kapasite ve potansiyel farklılıklarını yeterince yansıtabildikleri sonucuna varılmaktadır. “Sınırlandırılmamış ŞLKY Senaryosu” ile geliştirilen YZE’de 22 ülkenin YZE skoru 1 iken “Sınırlı ŞLKY Senaryoları” ile geliştirilen YZE’lerde YZE skoru 1 olan ülke sayısı 1 ile 7 arasında değişmektedir.

Sonuç olarak “Sınırlı ŞLKY Senaryoları” ile ülkelerin performanslarının az sayıda YZE alt göstergesi cinsinden ifade edildiği ve çok sayıda ülkenin YZE skorunun gerçekte olduğundan çok daha yüksek değerler aldığı aşırı durumlar ortadan kaldırılarak ülkelerin yapay zeka yetenek, kapasite ve potansiyeli arasındaki farklılıkları daha iyi ortaya koyabilen, güvenilirliği daha yüksek ve gerçekçi YZE skorları elde edilmektedir.

Çalışmada “Sınırlı ŞLKY Senaryoları” ile elde edilen YZE skorları arasında karşılaştırma yapıldığında **Senaryo 1**’in ülkeler arasındaki ayırt edici gücünün diğer sınırlı senaryolara göre daha yüksek olduğunu söylemek mümkündür. **Senaryo 1**, sınırlı senaryolar içinde YZE skorlarının minimum değeri (0,00295) ve ortalaması (0,42662) en düşük olan senaryodur. Sınırlı senaryolar arasında çok küçük farklılıklar olsa da daha yüksek standart sapmanın daha yüksek ayırt edici gücün kanıtı olarak yorumlanmasından hareketle en yüksek standart sapma değerine (0,28195) sahip olan **Senaryo 1**’in ülkelerin yapay zeka yetenek, kapasite ve potansiyeli arasındaki

farklılıkları daha net ve belirgin bir şekilde ortaya koyabildiği sonucuna varılmaktadır. Bununla birlikte **Senaryo 1** ile maksimum YZE skoru olan 1 değerinin tek ülkeyle (ABD) temsil edilebilmesi, **Senaryo 1**'in ülkeler arasındaki ayırt edici gücünün diğer sınırlı senaryolara göre daha yüksek olduğu anlamını taşımaktadır. “Sınırlı ŞLKY Senaryoları” ile geliştirilen YZE’lerde YZE skoru 1 olan ülkeler Tablo 3.9’da verilmektedir. Sınırlı senaryoların tümünde olduğu gibi “Sınırlandırılmamış ŞLKY Senaryosu” ile geliştirilen YZE’de de ABD’nin YZE skorunun 1 olarak elde edilmesi sonucun sağlamlığı açısından önemli bir göstergedir.⁴⁶⁷

Tablo 3.9: “Sınırlı ŞLKY Senaryoları” ile YZE Skoru 1 Olan Ülkeler

Sınırlı ŞLKY Senaryoları	YZE Skoru 1 Olan Ülkeler						
	ABD	İsviçre	Hollanda	Finlandiya	Singapur	İzlanda	Lüksemburg
Senaryo 1	x						
Senaryo 2	x	x	x	x		x	
Senaryo 3	x	x	x	x	x	x	
Senaryo 4	x	x	x	x	x		
Senaryo 5	x	x	x	x	x	x	
Senaryo 6	x	x	x	x	x	x	
Senaryo 7	x	x	x	x	x	x	
Senaryo 8	x	x	x	x	x	x	
Senaryo 9	x	x	x	x	x	x	
Senaryo 10	x	x	x	x	x	x	
Senaryo 11	x	x	x	x	x	x	
Senaryo 12	x	x	x	x	x	x	
Senaryo 13	x	x	x	x	x	x	
Senaryo 14	x	x	x	x	x	x	
Senaryo 15	x	x	x	x	x	x	x

⁴⁶⁷ “Sınırlandırılmamış ŞLKY Senaryosu” ve “Sınırlı ŞLKY Senaryoları” ile elde edilen YZE skorları ve ülke sıralamaları için bkz. **EK-1**.

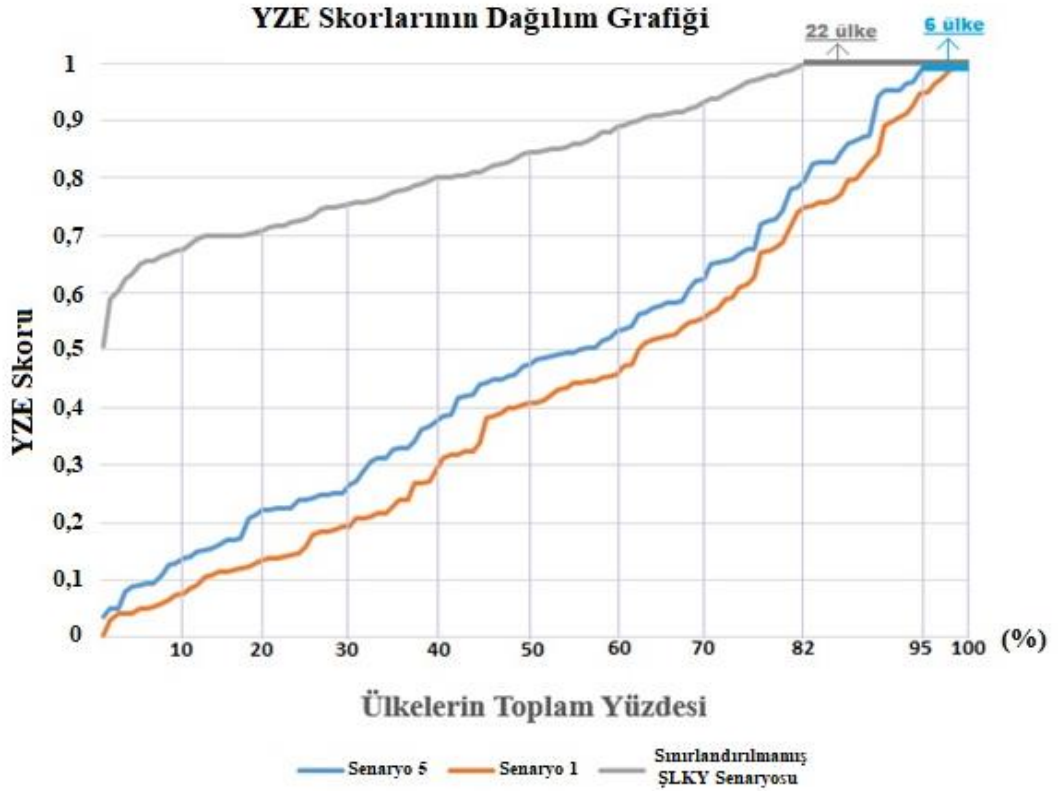
Çalışmada **Senaryo 1**'in ülkeler arasındaki ayırt edici gücünün diğer senaryolara göre daha yüksek olduğunu vurgulamak amacıyla Şekil 3.2'de YZE skorlarının dağılım grafiği hazırlanmıştır. Yapılan karşılaştırmaları basitleştirmek için grafikte sınırlı senaryolardan sadece 1 tane sınırlı senaryo (**Senaryo 5**) kullanılmaktadır. **Senaryo 5** hem kategorik düzeyde hem de alt gösterge düzeyinde **Senaryo 1**'e göre farklı alt ve üst limitler uygulandığında kategori ve alt gösterge payının YZE skoruna yüzde olarak katkısının en dar aralıkta tutulduğu sınırlı senaryodur. Bu nedenle **Senaryo 1**'in ayırt edici gücünün karşılaştırılması için **Senaryo 5**'in seçilmesi yeterli görülmektedir. Bununla birlikte Tablo 3.8'deki "ortalama sütunu" incelendiğinde görüldüğü gibi ağırlıklandırma senaryolarının sınırları gevşetildikçe (**Senaryo 1**'den **Senaryo 15**'e doğru) ülkelerin YZE skorları yükselmekte ve sonuçlar "Sınırlandırılmamış ŞLKY Senaryosu" ile elde edilen değerlere yaklaşmaktadır.⁴⁶⁸ Bu nedenle farklı senaryolarla elde edilen YZE skorlarının dağılımını incelemek için 1 tane sınırlı senaryo seçilmesi yeterli olmaktadır. "Sınırlandırılmamış ŞLKY Senaryosu", **Senaryo 1** ve **Senaryo 5** ile hazırlanan YZE skorlarının dağılım grafiği ayırt edici gücü en yüksek olan ağırlıklandırma senaryosunun belirlenmesinde şu ana kadar vurgulanan birçok açıklamanın grafiksel olarak gösterilmesini sağlamaktadır.

Şekil 3.2'deki YZE skorlarının dağılım grafiğinde **Senaryo 1**'in ayırt edici gücü en yüksek olan ağırlıklandırma senaryosu olduğu grafiksel olarak ifade edilmektedir. Grafikte "Sınırlandırılmamış ŞLKY Senaryosu" ile elde edilen YZE skorlarının 0,5'lerden başlayarak 120 ülkenin yaklaşık %20'lik kısmının maksimum YZE skoruna sahip olduğu görülmektedir. "Sınırlandırılmamış ŞLKY Senaryosu" ile elde edilen YZE skorları ülkeler arasındaki yapay zeka yetenek, kapasite ve potansiyel farklılıklarının yeterince yansıtılamadığı bir dağılım sergilemektedir. **Senaryo 1** ve **Senaryo 5** ise ülkeler arasındaki göreceli performans farklılıklarını özetleyecek şekilde daha dengeli bir dağılım sergilemektedir. **Senaryo 5**'te YZE skoru 1 olan ülke sayısı %5 (6 ülke) iken **Senaryo 1**'de maksimum YZE skorunun tek ülkeyle temsil edilmesi **Senaryo 1**'in ülkeler arasındaki ayırt edici gücünün diğer sınırlı senaryolara

⁴⁶⁸ "Sınırlandırılmamış ŞLKY Senaryosu" ve "Sınırlı ŞLKY Senaryoları" ile elde edilen YZE skorları için bkz. **EK-1**.

göre daha yüksek olduğu anlamına gelmektedir.

Şekil 3.2: “Sınırlandırılmamış ŞLKY Senaryosu”, Senaryo 1 ve Senaryo 5 ile Elde Edilen YZE Skorlarının Dağılım Grafiği



Çalışmada **Bölüm 3.2.8**'de ülkelerin yapay zeka yetenek, kapasite ve potansiyelini en iyi açıklayan temel göstergelerin yani ana sürücülerin, güçlü ve zayıf yönlerin belirlenmesi ve ülke bazında YZE kategorilerinin göreceli önemlerinin saptanması amaçlanmaktadır. Bununla birlikte **Bölüm 3.2.9**'da YZE skorları ile ülkelerin ekonomik gelişme göstergeleri arasındaki ilişki kurularak ülkelerin yapay zeka yetenek, kapasite ve potansiyelinin ekonomik performansları üzerindeki etkisi araştırılmaktadır. Çalışmada **Senaryo 1** ile elde edilen YZE skorlarının ülkelerin göreceli yapay zeka yetenek, kapasite ve potansiyelini ortaya koymadaki ayırt edici gücü daha yüksek olduğu için ilerleyen bölümlerdeki analizlerde **Senaryo 1** ile elde edilen YZE skorları ve ülke sıralamaları kullanılmaktadır.

3.2.6.4. YZE Skorları ile YZE Alt Gösterge Payları Arasındaki Korelasyonun İncelenmesi

İyi tanımlanmış bir kompozit endeksin her bir bileşeninin temsil ettiği bilgiyi yeterince yansıtması gerekmektedir. Bu nedenle kompozit endeks skorları ile endeks bileşenleri arasındaki korelasyonun incelenmesi gerekmektedir. Böylelikle kompozit endeks skorunun az sayıda endeks bileşeni tarafından temsil edilip edilmediğinin veya az sayıda endeks bileşeninin aşırı düzeyde kompozit endeks skoruna hakim olup olmadığının belirlenmesi sağlanmaktadır. Bu şekilde kompozit endeksin, bileşenlerinin dengeli bir dağılımını temsil edip etmediği de açıklanabilmektedir.⁴⁶⁹

ŞLKY ağırlıklandırma yönteminin metodolojisine dahil edilen ek ağırlık kısıtlamaları ile alt gösterge ağırlıklarının tam esnekliği çeşitli ağırlıklandırma senaryolarıyla sınırlandırıldığında genel olarak kompozit endeks ile endeksin bileşenleri daha yüksek oranda ilişkili hale gelmektedir.⁴⁷⁰ Aynı durum kompozit endeks skorlarının ayırt edici gücü için de geçerlidir. Alt gösterge ağırlıklarının tam esnekliğinin düşük düzeylerde bile sınırlandırılması kompozit endeks skorlarının ülkeler arasındaki ayırt edici gücüne olumlu katkı sağlamaktadır.

Kompozit endeks skorları ile endeksin bileşenleri arasındaki korelasyonun incelenmesi endeksin ayırt edici gücünün analizini tamamlayıcı bir yöntemdir. Bir kompozit endeksin ayırt edici gücünün yüksek olması endeksin pratik anlamda daha kullanışlı olmasını sağlamakla birlikte ayırt edici gücü yüksek olan bir kompozit endeks, bileşenlerinin yakaladığı bilgiyi yeterince yansıtamadığı takdirde ülkelerin performansları hakkında çeşitli değerlendirmeler yapılmasına yeterli düzeyde fayda sağlayamamaktadır. Kompozit endeks skorları ile endeksin bileşenleri arasındaki korelasyonun incelenmesi, kompozit endeks sonuçlarının yorumlanmasına ve ülke performansları hakkında çeşitli çıkarımlarda bulunulmasına yardımcı olmaktadır.⁴⁷¹

Çalışmada **Bölüm 3.2.6.3**'te ŞLKY alternatif ağırlıklandırma senaryolarıyla elde

⁴⁶⁹ Cherchye, Kuosmanen, **a.g.e.**, pp.23-25.

⁴⁷⁰ Zhou, Ang, Poh, **a.g.e.**, p.296.

⁴⁷¹ Cherchye, Kuosmanen, **a.g.e.**, p.24.

edilen YZE skorlarının ülkelerin göreceli yapay zeka yetenek, kapasite ve potansiyelini ortaya koymadaki ayırt edici gücü analiz edilmiştir. Analizin sonucuna göre **Senaryo 1**'in ülkeler arasındaki ayırt edici gücünün diğer senaryolara göre daha yüksek olduğu sonucuna varılmıştır. Bu bölümde ise korelasyon analiziyle “Sınırlandırılmamış ŞLKY Senaryosu”, **Senaryo 1** ve **Senaryo 5** olmak üzere 3 farklı senaryo için YZE skorları ile YZE alt gösterge payları arasındaki ilişki incelenerek elde edilen YZE skorlarının her bir YZE alt göstergesinin temsil ettiği bilgiyi yeterince yansıtıp yansıtamadığı araştırılmaktadır. Amaç, ülkelerin yapay zeka yetenek, kapasite ve potansiyeli arasındaki farklılıkların daha açık ve belirgin bir şekilde belirlenmesini sağladığı için diğer senaryolara göre ayırt edici gücü daha yüksek olan **Senaryo 1**'in aynı şekilde diğer senaryolara göre 16 YZE alt göstergesinin temsil ettiği bilgiyi daha iyi düzeyde ve kapsamda yansıtabildiğinin ve dolayısıyla daha dengeli bir biçimde temsil ettiğinin açıklanmasıdır.

Tablo 3.10'un üst kısmında “Sınırlandırılmamış ŞLKY Senaryosu”, **Senaryo 1** ve **Senaryo 5** ile elde edilen YZE skorları arasındaki Pearson ve Spearman sıra korelasyon katsayıları bulunmaktadır. “Sınırlandırılmamış ŞLKY Senaryosu” ile **Senaryo 1** ve **Senaryo 5** arasındaki Pearson korelasyon katsayıları sırasıyla 0,778 ve 0,804 iken Spearman sıra korelasyon katsayıları sırasıyla 0,779 ve 0,814'tür. Bu korelasyon katsayıları, “Sınırlandırılmamış ŞLKY Senaryosu” ile elde edilen YZE skorlarının ve ülke sıralamalarının **Senaryo 1** ve **Senaryo 5** ile elde edilen YZE skorlarından ve ülke sıralamalarından büyük ölçüde farklılaştığını göstermektedir. **Senaryo 1** ve **Senaryo 5** ile elde edilen YZE skorları arasındaki Pearson ve Spearman sıra korelasyon katsayıları sırasıyla 0,975 ve 0,964'tür. Bu korelasyon katsayılarına göre **Senaryo 1** ve **Senaryo 5** ile elde edilen YZE skorları arasında güçlü bir ilişki olduğu görülmektedir. Ayrıca **Senaryo 1** ve **Senaryo 5**'in ülke sıralamalarının çok büyük ölçüde tutarlı olduğunu söylemek de mümkündür. Daha önce de açıklandığı gibi ülkelerin performanslarının az sayıda YZE alt göstergesi cinsinden ifade edildiği ve çok sayıda ülkenin YZE skorunun gerçekte olduğundan çok daha yüksek değerler aldığı aşırı durumları ortadan kaldırmak, güvenilirliği yüksek ve gerçekçi YZE skorları elde etmek amacıyla endojen olarak elde edilen YZE alt göstergelerinin ağırlıklarının tam esnekliği “Sınırlı ŞLKY Senaryoları” ile sınırlandırılmaktadır. Bu nedenle

“Sınırlandırılmamış ŞLKY Senaryosu” ile elde edilen YZE skorları ve ülke sıralamaları, “Sınırlı ŞLKY Senaryoları” ile elde edilen YZE skorlarından ve ülke sıralamalarından büyük ölçüde farklılık gösterirken “Sınırlı ŞLKY Senaryoları” ile elde edilen sonuçlar arasında güçlü bir ilişkinin olması beklenen bir durumdur.

İdeal bir kompozit endeks, bileşenlerinin tamamı veya en azından çoğunluğu ile en azından orta düzeyde bir korelasyon göstermelidir. Kompozit endeksin birkaç bileşeniyle arasında yüksek korelasyon olması diğer bileşenleriyle düşük veya negatif bir korelasyon göstermesine neden olmaktadır. Bu durumda kompozit endeksin bileşenlerinin genel endekste orantısız yani dengeli olmayan bir şekilde temsil edildiği anlamına gelmektedir.⁴⁷²

Tablo 3.10’da “Sınırlandırılmamış ŞLKY Senaryosu”, **Senaryo 1** ve **Senaryo 5** ile elde edilen YZE skorları ile ilgili YZE alt gösterge payları arasındaki Pearson ve Spearman sıra korelasyon katsayıları yer almaktadır. Tabloda “Sınırlandırılmamış ŞLKY Senaryosu” ile elde edilen YZE skorları ve YZE alt gösterge payları arasındaki Pearson korelasyon katsayıları incelendiğinde 4 katsayının negatif değerler aldığı ve büyük çoğunluğunun düşük seviyelerde olduğu görülmektedir. Tabloya göre “Sınırlandırılmamış ŞLKY Senaryosu” ile elde edilen YZE skorları ve YZE alt gösterge payları arasındaki Pearson korelasyon katsayılarının 13 tanesi 0,3’ün altındadır. Spearman sıra korelasyon katsayıları incelendiğinde ise 5 tanesinin 0,45’in altında, 1 tanesinin negatif ve diğerlerinin orta düzeyde olduğu görülmektedir. Bu durum “Sınırlandırılmamış ŞLKY Senaryosu” ile elde edilen YZE skorları ve YZE alt gösterge payları arasında tutarsız sıralamalar olduğu anlamına gelmektedir. Sonuç olarak “Sınırlandırılmamış ŞLKY Senaryosu” için YZE alt göstergelerinin büyük çoğunluğunun endeks skorlarında yeterince temsil edilmediğini söylemek mümkündür.

YZE alt göstergelerine atanan ağırlıklar incelendiğinde 1920 tane (120 ülke x 16 YZE alt göstergesi) alt gösterge ağırlığının “Sınırlandırılmamış ŞLKY Senaryosu” ile %65,72916’sının 0 olarak atandığı görülmektedir. Ağırlıkları 0 olarak atanan alt

⁴⁷² A.e.

göstergeler kompozit endeks skoruna katkıda bulunmadıkları için %65,72916'lık gibi yüksek bir oran YZE skorlarının YZE alt göstergelerinin temsil ettiği bilgiyi büyük ölçüde yansıtamadığı anlamına gelmektedir. Bu durumda ülkelerin YZE skorlarının az sayıda YZE alt göstergesi cinsinden ifade edilerek belirli YZE alt göstergelerine YZE'de çok fazla vurgu yapılmasına yani az sayıda YZE alt göstergesinin aşırı düzeyde YZE skoruna hakim olmasına neden olmaktadır. Sonuç olarak "Sınırlandırılmamış ŞLKY Senaryosu" ile 16 YZE alt göstergesinin temsil ettiği bilgi yeterli düzeyde ve kapsamda yansıtılamamakta ve dengeli bir biçimde temsil edilememektedir. Bu bulgular "Sınırlandırılmamış ŞLKY Senaryosu" ile elde edilen YZE skorları ve YZE alt gösterge payları arasındaki korelasyon analizi sonuçlarıyla örtüşmektedir.

Tablo 3.10'da Pearson korelasyon katsayıları incelendiğinde **Senaryo 1**'de YZE skorları ile YZE alt gösterge payları arasındaki korelasyon katsayılarının 13 tanesinin, **Senaryo 5**'te 10 tanesinin 0,45'in üzerinde olduğu görülmektedir. YZE skoru ile YZE alt gösterge payları arasındaki Spearman sıra korelasyon katsayıları incelendiğinde ise **Senaryo 1**'de 11 tanesinin, **Senaryo 5**'te 7 tanesinin 0,45'in üzerinde olduğu görülmektedir. Bu verilere göre **Senaryo 1** ve **Senaryo 5** için YZE skorlarında YZE alt göstergelerinin büyük çoğunluğunun yeterince temsil edildiğini söylemek mümkündür. Bununla birlikte **Senaryo 1** ile elde edilen YZE skorları, **Senaryo 5**'e göre hem daha yüksek derecelerde hem de daha çok sayıda YZE alt göstergesi için YZE alt göstergelerinin temsil ettiği bilgiyi yansıtabilmektedir. Ayrıca Spearman sıra korelasyon katsayıları da **Senaryo 1**'de YZE skorları ile YZE alt gösterge payları arasında büyük ölçüde tutarlı bir sıralama olduğunu işaret etmektedir. Bu verilere dayanarak **Senaryo 1** ile elde edilen YZE skorlarının **Senaryo 5**'e göre 16 YZE alt göstergesinin temsil ettiği bilgiyi daha yüksek derecelerde ve daha geniş kapsamda yansıttığı ve dolayısıyla daha dengeli bir biçimde temsil ettiği sonucuna varılmaktadır.

Tablo 3.10: Pearson ve Spearman Sıra Korelasyon Katsayıları Matrisi

	Pearson Korelasyon Katsayıları			Spearman Sıra Korelasyon Katsayıları		
	Sınırlandırılmamış ŞLKY Senaryosu	Senaryo 1	Senaryo 5	Sınırlandırılmamış ŞLKY Senaryosu	Senaryo 1	Senaryo 5
Sınırlandırılmamış ŞLKY Senaryosu	100	0,778	0,804	100	0,779	0,814
Senaryo 1	0,778	100	0,975	0,779	1	0,964
Senaryo 5	0,804	0,975	100	0,814	0,964	100
Yapay Zeka İle İlgili Araştırma Çalışmaları						
AYDS	0,175	0,248	0,226	0,616	0,203	0,396
DBDAS	0,222	0,927	0,886	0,652	0,92	0,9
HIKDS	0,283	0,706	0,325	0,646	0,812	0,338
İnovasyon Ekosistemi						
İD	-0,241	0,892	0,706	0,134	0,904	0,721
İK	0,234	0,739	0,585	0,676	0,705	0,339
Beşeri Sermaye						
ANDBD	-0,157	0,895	0,49	0,076	0,892	0,494
BİVMM	0,035	0,451	0,382	0,413	0,207	0,186
FVMEK	-0,027	0,651	0,468	0,302	0,529	0,293
YÖKO	0,231	0,456	0,517	0,541	0,362	0,42
Geniş Bant Bağlantısı						
AMGBAS	0,252	0,374	0,28	0,652	0,251	0,166
SGBAS	0,311	0,846	0,77	0,649	0,793	0,708
IKBUBG	0,137	0,098	0,084	0,536	-0,114	0,055
HSGBAS	0,35	0,722	0,67	0,644	0,642	0,634
Dijital Teknoloji Olgunluk Düzeyi						
EDGE	0,109	0,985	0,895	0,468	0,989	0,897
KSGE	0,282	0,89	0,729	0,536	0,831	0,689
FDTE	-0,394	0,756	0,3	-0,062	0,71	0,219

YZE alt göstergelerine atanan ağırlıklar incelendiğinde 1920 tane alt gösterge ağırlığının **Senaryo 5** ile %29,53125'inin ve **Senaryo 1** ile %21,04166'sının 0 olarak atandığı görülmektedir. Bu oranlar her iki senaryo ile elde edilen YZE skorlarının YZE alt göstergelerinin temsil ettiği bilgiyi büyük ölçüde yansıtabildiği anlamına gelmektedir. Bununla birlikte **Senaryo 1**'in YZE alt göstergelerini temsil etme gücü **Senaryo 5**'e göre daha yüksektir. Bu bulgular **Senaryo 1** ve **Senaryo 5** ile elde edilen YZE skorları ile ilgili YZE alt gösterge payları arasındaki korelasyon analizi sonuçlarıyla örtüşmektedir.

“Sınırlandırılmamış ŞLKY Senaryosu” ile geliştirilen YZE’de, alt gösterge payı yüzdelерinin ortalamaları bazı YZE alt göstergeleri için %18,08349, %16,44419 ve %15,35888 gibi yüksek değerler alırken bazıları için ise %0,33348 ve %0,82272 gibi %1’in dahi altında değerler almaktadır. Bu senaryoda YZE alt göstergelerinin endeks skoruna katkıları arasında belirgin farklar oluşmakta dolayısıyla YZE alt gösterge payları dengesiz bir dağılım sergilemektedir. Çalışmada “Sınırlandırılmamış ŞLKY Senaryosu” ile geliştirilen YZE’de ağırlıklara tam serbestlik tanınmasıyla oluşan YZE alt gösterge paylarının dağılımındaki aşırılıklar “Sınırlı ŞLKY Senaryoları” ile düzeltilmektedir.⁴⁷³

YZE kategori ve alt gösterge paylarının YZE skoruna oranı için belirlenen çeşitli alt ve üst sınırlarla “Sınırlı ŞLKY Senaryoları” ile elde edilen YZE skorlarında YZE alt göstergelerinin ve kategorilerinin yeterince temsil edilmesi sağlanmaktadır. Böylece YZE alt göstergelerinin YZE skoruna katkılarının dağılımındaki aşırılıklar düzeltilerek YZE alt göstergeleri YZE skorlarında dengeli bir şekilde temsil edilebilmektedir. **Senaryo 1** ve **Senaryo 5** ile geliştirilen YZE’lerde alt gösterge payı yüzdelерinin ortalamaları **Senaryo 1**’de 11 ve **Senaryo 5**’te 10 YZE alt göstergesi için %3 ile %9 arasında değişmektedir. **Senaryo 1**’de 16 YZE alt göstergesinden sadece 2 tanesinin, **Senaryo 5**’te ise 3 tanesinin YZE skoruna sağladığı katkının oranları ortalama olarak %3’ün altındadır. Bununla birlikte **Senaryo 1**’de göreceli önemi en fazla olan alt gösterge ile en az olan alt göstergenin YZE skoruna katkılarının yüzdelерinin ortalamaları arasında yaklaşık %9,38’lik bir fark oluşurken **Senaryo 5**’te

⁴⁷³ Gonzalez, Carcaba, Ventura, **a.g.e.**, pp.1175-1176.

bu fark biraz daha açılarak yaklaşık %10,77 seviyesine çıkmaktadır. Bu verilerden yola çıkılarak **Senaryo 1** ile elde edilen YZE skorlarının **Senaryo 5**'e göre 16 YZE alt göstergesini daha dengeli bir biçimde temsil ettiği sonucuna varılmaktadır. Bununla birlikte **Senaryo 1**'in sınırlı senaryolar içinde kategori ve alt gösterge payının YZE skoruna yüzde olarak katkısının en dar aralıkta tutulduğu senaryo olması, diğer sınırlı senaryolara göre de **Senaryo 1**'de YZE alt göstergelerinin ve dolayısıyla YZE kategorilerinin YZE skoruna katkılarının daha dengeli dağılmasını sağlamaktadır.

Gerek YZE alt gösterge paylarının dağılımlarından hareketle gerekse YZE alt göstergelerine 0 olarak atanan ağırlıkların yüzdesi bilgisiyle **Senaryo 1** ile elde edilen YZE skorlarının diğer senaryolara göre 16 YZE alt göstergesinin temsil ettiği bilgiyi daha geniş kapsamda yansıtabildiği ve daha dengeli bir biçimde temsil ettiği sonucuna varılmaktadır. Bu bulgular YZE skorları ile YZE alt gösterge payları arasındaki korelasyon analizi sonuçlarıyla örtüşmektedir.

Senaryo 1 ile eşit ağırlıklandırma gibi yüksek derecede sınırlandırmanın yapıldığı bir ağırlıklandırma şeması uygulanmadan ülkelerin yapay zeka yetenek, kapasite ve potansiyelini en iyi açıklayan temel göstergelerin yani ana sürücülerin, güçlü ve zayıf yönlerin belirlenebildiği, ülke bazında YZE alt göstergelerinin ve dolayısıyla kategorilerinin göreceli önemlerinin saptanabildiği ve her ülkenin kendine özgü optimal ağırlıklandırma şemasına hak kazandığı ŞLKY'nin endojen ağırlıklandırma metodolojisinin avantajlarının yansıtıldığı, güvenilirliği yüksek ve gerçekçi YZE skorları elde edilmektedir.

Çalışmada **Senaryo 1** ile elde edilen YZE skorlarının ülkelerin göreceli yapay zeka yetenek, kapasite ve potansiyelini ortaya koymadaki ayırt edici gücünün daha yüksek olmasının yanında 16 YZE alt göstergesinin temsil ettiği bilgiyi daha geniş kapsamda yansıttığı ve dolayısıyla daha dengeli bir biçimde temsil ettiği için ilerleyen bölümlerdeki analizlerde **Senaryo 1** ile elde edilen YZE skorları ve ülke sıralamaları kullanılmaktadır.

İlerleyen bölümlerdeki çeşitli analizlerde ve grafiklerde yorumlamaların ve değerlendirmelerin yapılmasını kolaylaştırmak amacıyla 120 ülke 6 grup halinde ifade

edilmektedir. Ülkelerin dahil olduğu YZE grubu belirlenirken **Senaryo 1** ile elde edilen YZE skorları baz alınmıştır. Her grubun YZE skorlarının aldığı değer aralığı aşağıda belirtilmektedir:

- 1.Grup Ülkeler:** $0,80 \leq \text{YZE Skoru} \leq 1$
- 2.Grup Ülkeler:** $0,60 \leq \text{YZE Skoru} < 0,80$
- 3.Grup Ülkeler:** $0,45 \leq \text{YZE Skoru} < 0,60$
- 4.Grup Ülkeler:** $0,30 \leq \text{YZE Skoru} < 0,45$
- 5.Grup Ülkeler:** $0,15 \leq \text{YZE Skoru} < 0,30$
- 6.Grup Ülkeler:** $0 \leq \text{YZE Skoru} < 0,15$

Tablo 3.11’de 120 ülkenin **Senaryo 1** ile elde edilen YZE skorları, ülke sıralamaları ve dahil oldukları YZE grubu gösterilmektedir. Bununla birlikte Tablo 3.11’de listelenen YZE skorları ve ülke sıralamaları Şekil 3.3’te her bir YZE ülke grubu için çubuk grafiği ile gösterilmektedir. **Senaryo 1** ile elde edilen YZE skorlarının çubuk grafiği ile gösterilmesi görselleştirmeyi zenginleştirerek çeşitli karşılaştırmalar yapılmasını ve yorumlar geliştirilmesini kolaylaştırmaktadır.

Tablo 3.11: 120 Ülkenin Senaryo 1 ile Elde Edilen YZE Skorları, Ülke Sıralamaları ve YZE Grupları

GRUP	Ülke Sıralamaları	Ülke	YZE Skoru
GRUP 1 ($0,80 \leq \text{YZE} \leq 1$)	1	ABD	1
	2	İsviçre	0,99255
	3	Hollanda	0,98695
	4	Singapur	0,97206
	5	Birleşik Krallık	0,96317
	6	Finlandiya	0,94905
	7	Kanada	0,94564
	8	Almanya	0,92488
	9	Belçika	0,91252
	10	İsrail	0,90512
	11	Fransa	0,89767
	12	Avustralya	0,89132
	13	Çin	0,84251
	14	İspanya	0,82586
	15	Güney Kore	0,81329

Tablo 3.11: Devamı

GRUP 2 ($0,60 \leq YZE < 0,80$)	16	İsveç	0,79806
	17	Japonya	0,79671
	18	İzlanda	0,77075
	19	Yeni Zelanda	0,76249
	20	Danimarka	0,75752
	21	Slovenya	0,75707
	22	Yunanistan	0,75086
	23	İtalya	0,74749
	24	Avusturya	0,74101
	25	Norveç	0,71608
	26	Portekiz	0,6869
	27	Türkiye	0,67919
	28	İrlanda	0,67327
	29	Polonya	0,66877
	30	Çek Cumhuriyeti	0,62734
	31	Suudi Arabistan	0,61596
	32	Katar	0,60854
GRUP 3 ($0,45 \leq YZE < 0,60$)	33	Malezya	0,591
	34	Şili	0,58877
	35	Lüksemburg	0,57255
	36	Macaristan	0,56401
	37	Kıbrıs	0,55587
	38	İran İslam Cumhuriyeti	0,55057
	39	Brezilya	0,54758
	40	Litvanya	0,54033
	41	Slovakya	0,52734
	42	Meksika	0,52393
	43	Arjantin	0,52198
	44	Birleşik Arap Emirlikleri	0,52004
	45	Sırbistan	0,51174
	46	Uruguay	0,50083
	47	Mısır	0,47608
	48	Kuveyt	0,47333
	49	Romanya	0,45837
	50	Ürdün	0,45421
	51	Rusya Federasyonu	0,45108

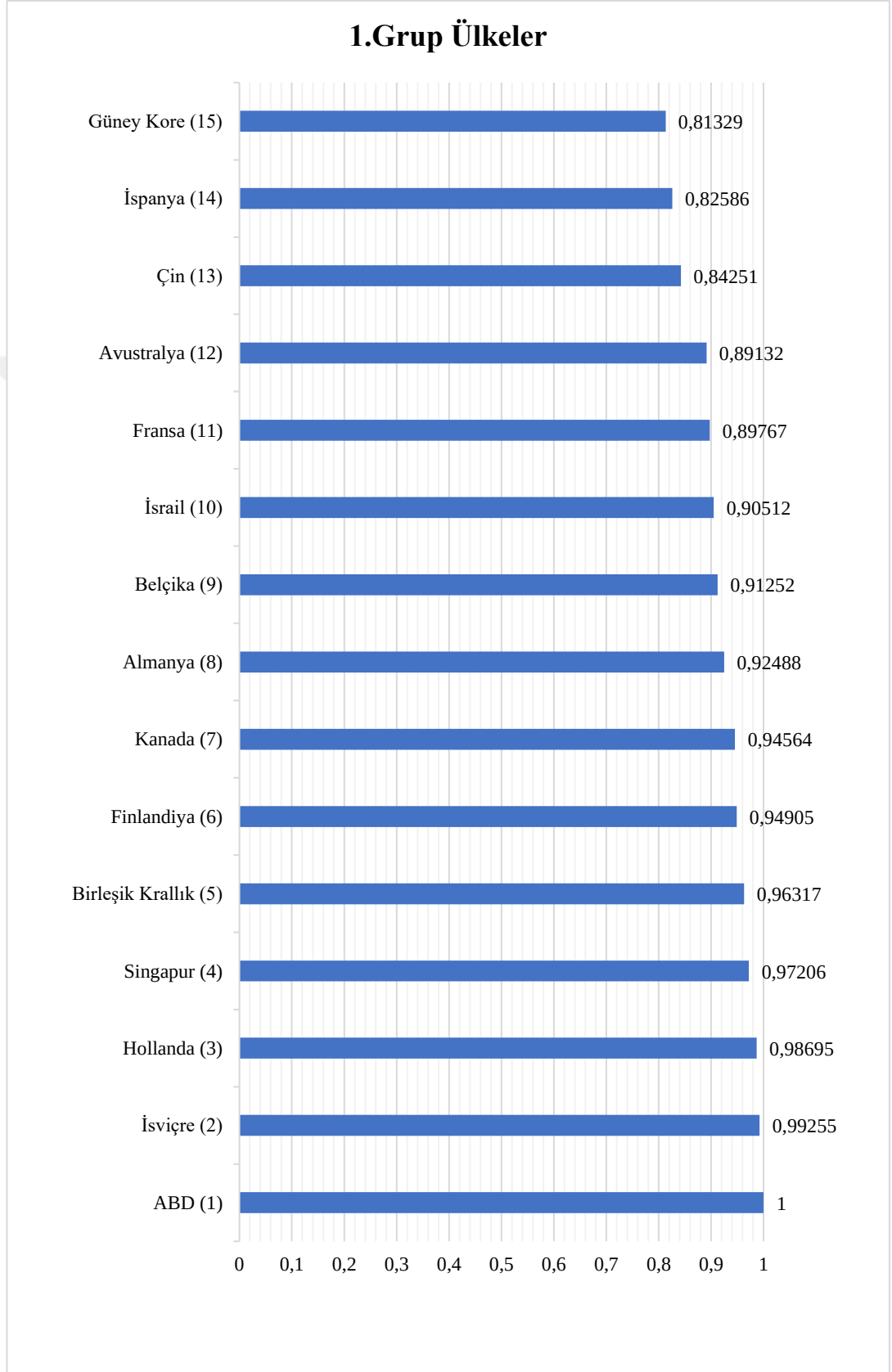
Tablo 3.11: Devamı

GRUP 4 (0,30 ≤ YZE < 0,45)	52	Hırvatistan	0,44661
	53	Tayland	0,44484
	54	Lübnan	0,44237
	55	Malta	0,44196
	56	Azerbaycan	0,43424
	57	Bulgaristan	0,43241
	58	Umman	0,42391
	59	Cezayir	0,4146
	60	Güney Afrika	0,40858
	61	Hindistan	0,40788
	62	Vietnam	0,40641
	63	Tunus	0,3994
	64	Gürcistan	0,39887
	65	Venezuela	0,3902
	66	Estonya	0,38519
	67	Kolombiya	0,38304
	68	Fas	0,33846
	69	Brunei	0,32483
	70	Trinidad ve Tobago	0,3244
	71	Pakistan	0,3194
	72	Bosna Hersek	0,31697
	73	Jamaika	0,31264
GRUP 5 (0,15 ≤ YZE < 0,30)	74	Ukrayna	0,29254
	75	Endonezya	0,27237
	76	Letonya	0,26918
	77	Bangladeş	0,26914
	78	Ekvador	0,2398
	79	Namibya	0,23842
	80	Panama	0,22853
	81	Paraguay	0,21641
	82	Arnavutluk	0,21499
	83	Filipinler	0,20999
	84	Kosta Rika	0,20844
	85	Sri Lanka	0,20769
	86	Kazakistan	0,19377
	87	Moldova	0,19255
	88	Mauritius	0,18852
	89	Uganda	0,18413
	90	Peru	0,18295
	91	Ermenistan	0,17858
	92	Gana	0,15807

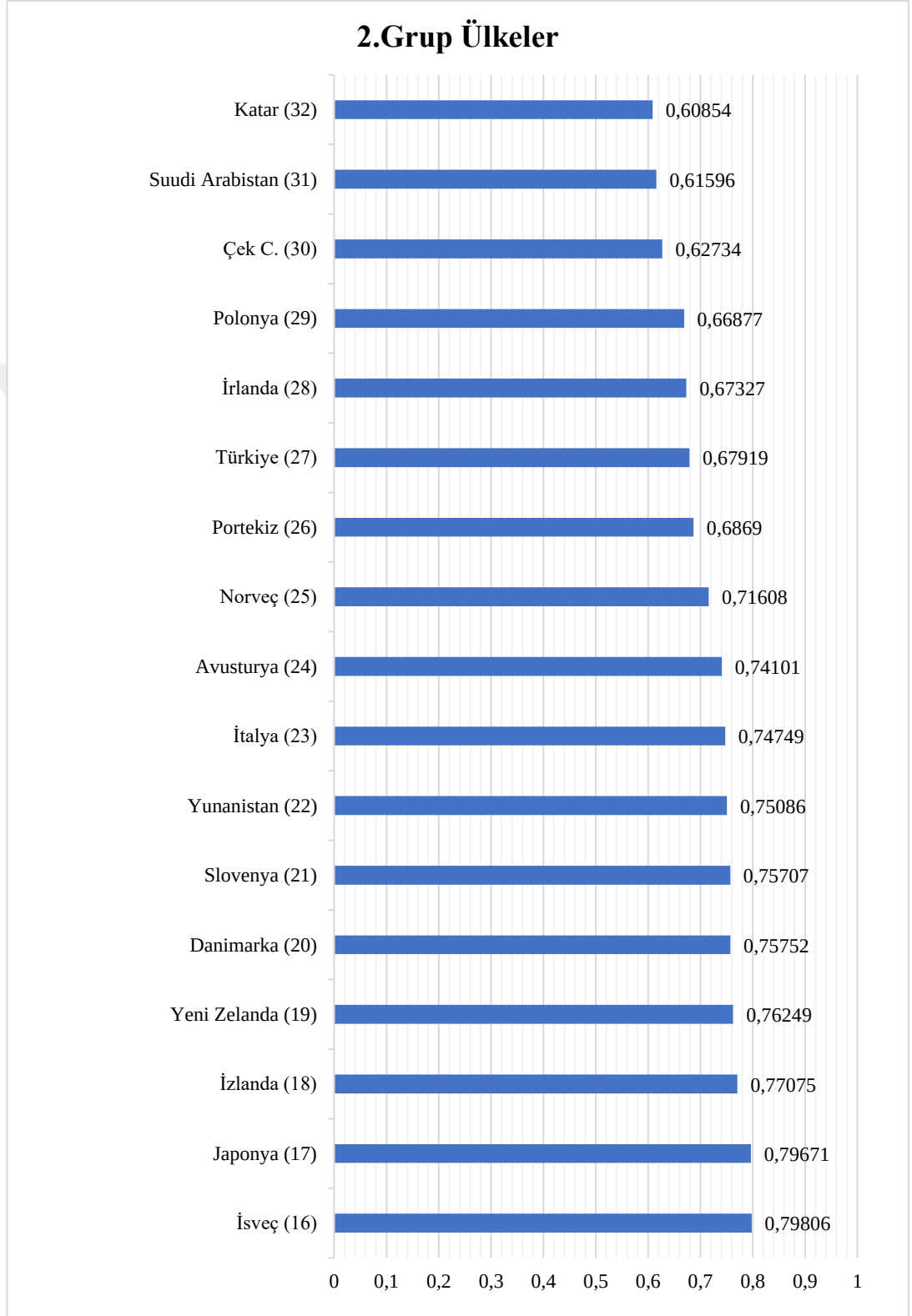
Tablo 3.11: Devamı

GRUP 6 (0 ≤ YZE < 0,15)	93	El Salvador	0,14717
	94	Karadağ	0,14305
	95	Kamerun	0,14064
	96	Senegal	0,13899
	97	Yemen	0,13741
	98	Benin	0,136
	99	Moğolistan	0,12869
	100	Honduras	0,12379
	101	Zimbabve	0,12112
	102	Ruanda Cumhuriyeti	0,11596
	103	Guatemala	0,11586
	104	Etiyopya	0,11381
	105	Botsvana	0,10957
	106	Tanzanya	0,10622
	107	Nepal	0,09062
	108	Kamboçya	0,08618
	109	Mali	0,07626
	110	Çad	0,07293
	111	Zambiya	0,06566
	112	Liberya	0,05851
	113	Tacikistan	0,05213
	114	Malavi	0,05159
	115	Mozambik	0,04911
	116	Nijerya	0,04289
	117	Dominik Cumhuriyeti	0,04173
	118	Kırgızistan	0,04163
	119	Lesotho	0,02991
	120	Kongo Demokratik C.	0,00295

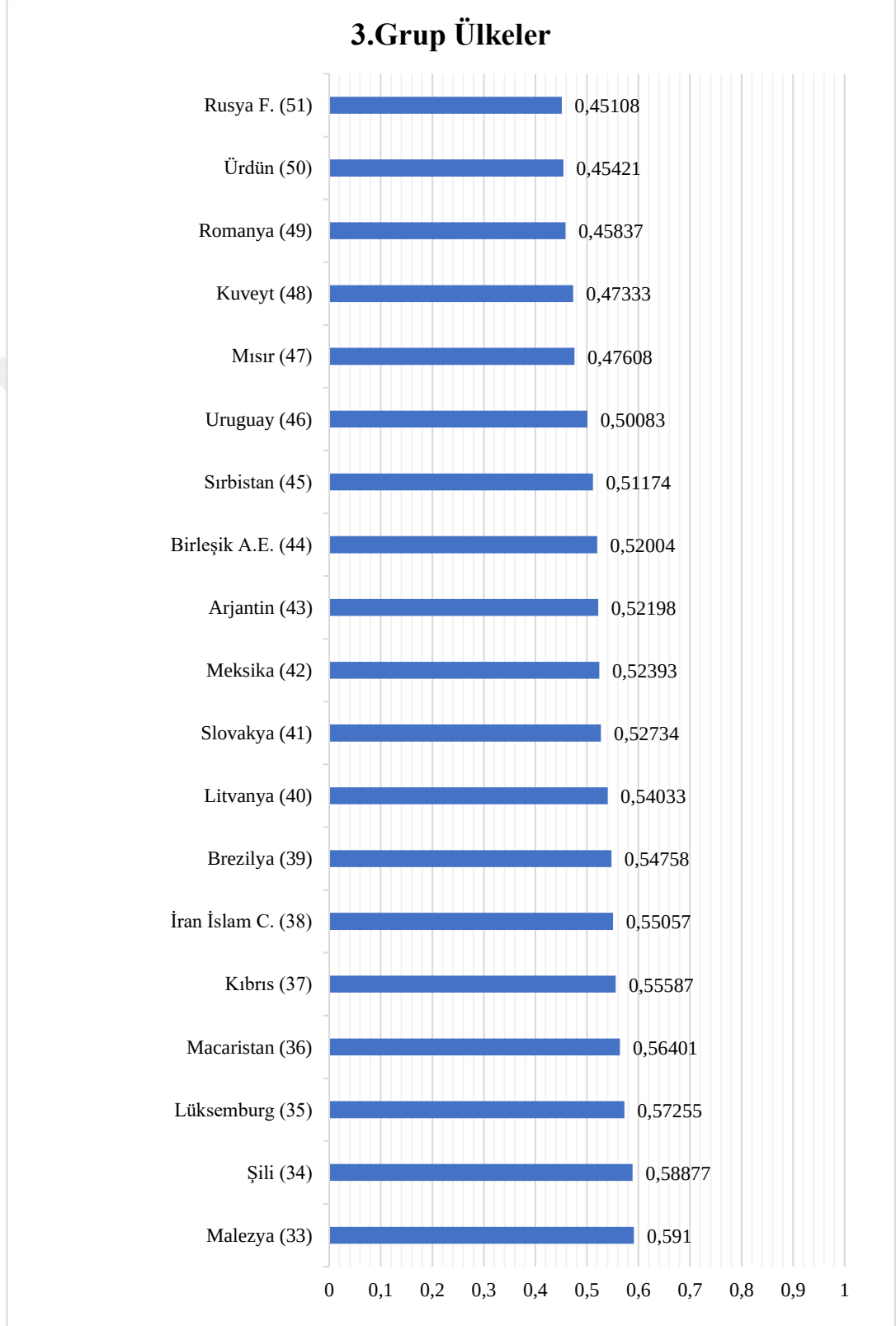
Şekil 3.3: Senaryo 1'e Göre 120 Ülkenin YZE Skorları ve Ülke Sıralamaları



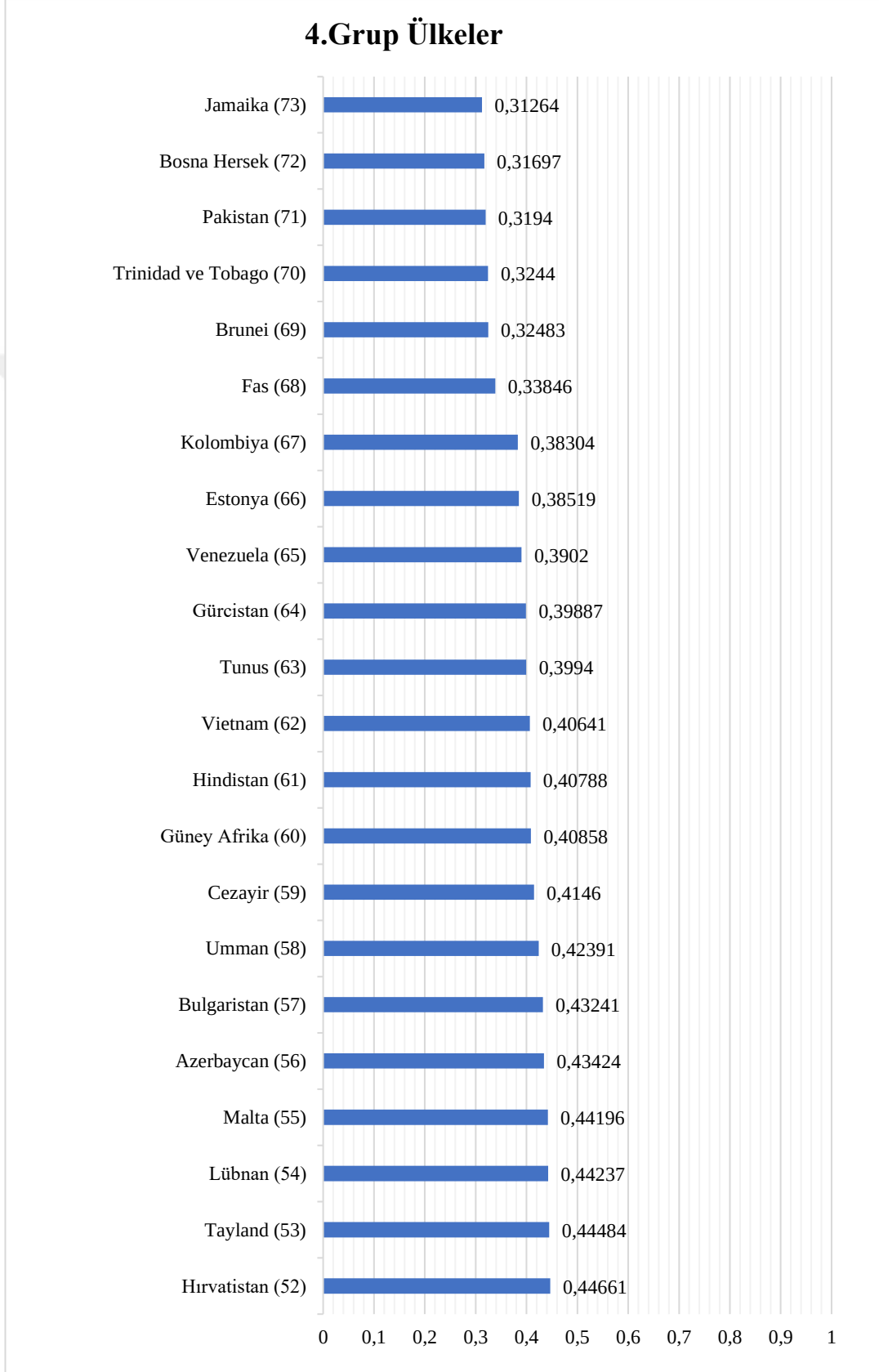
Şekil 3.3: Devamı



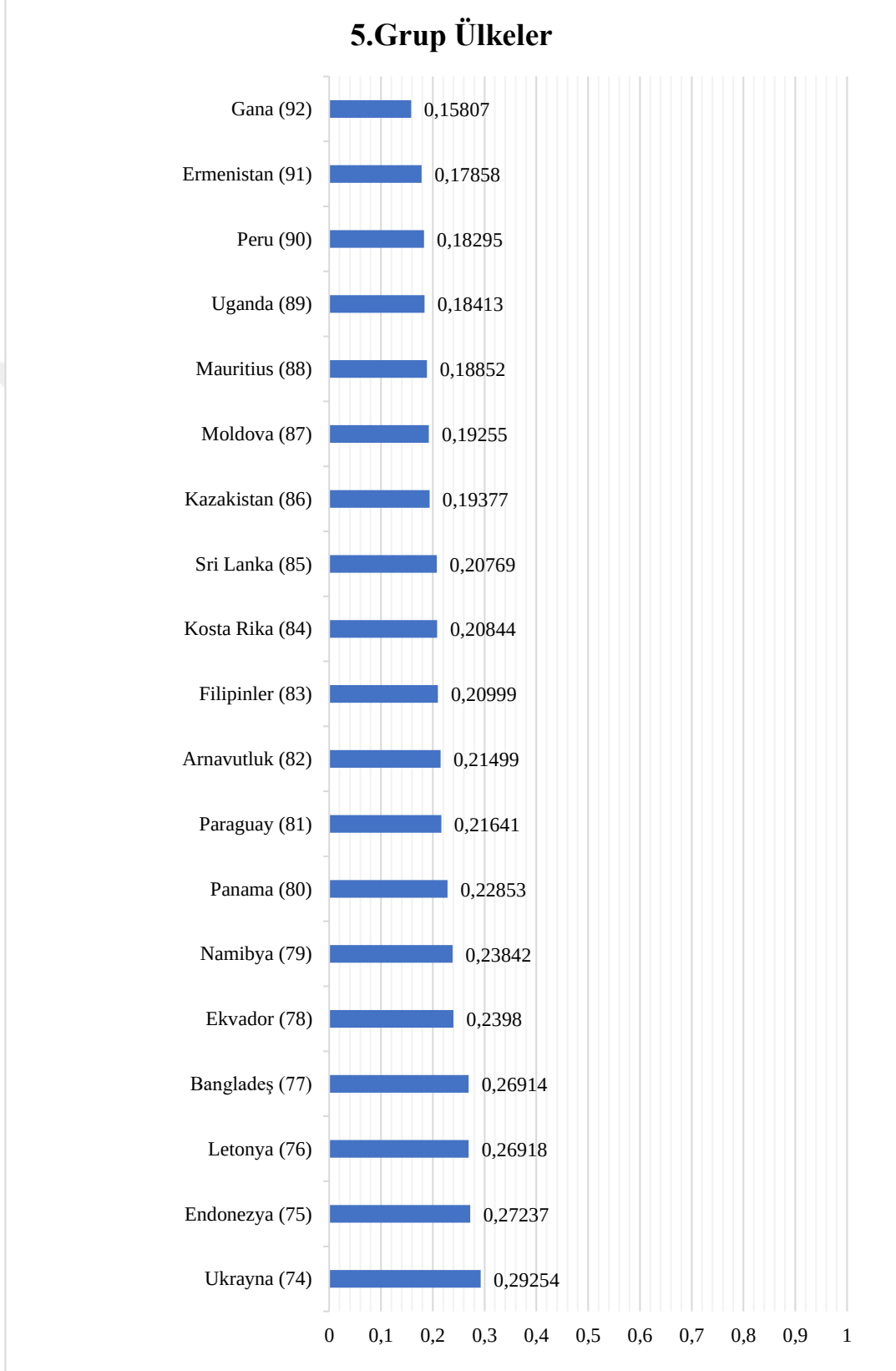
Şekil 3.3: Devamı



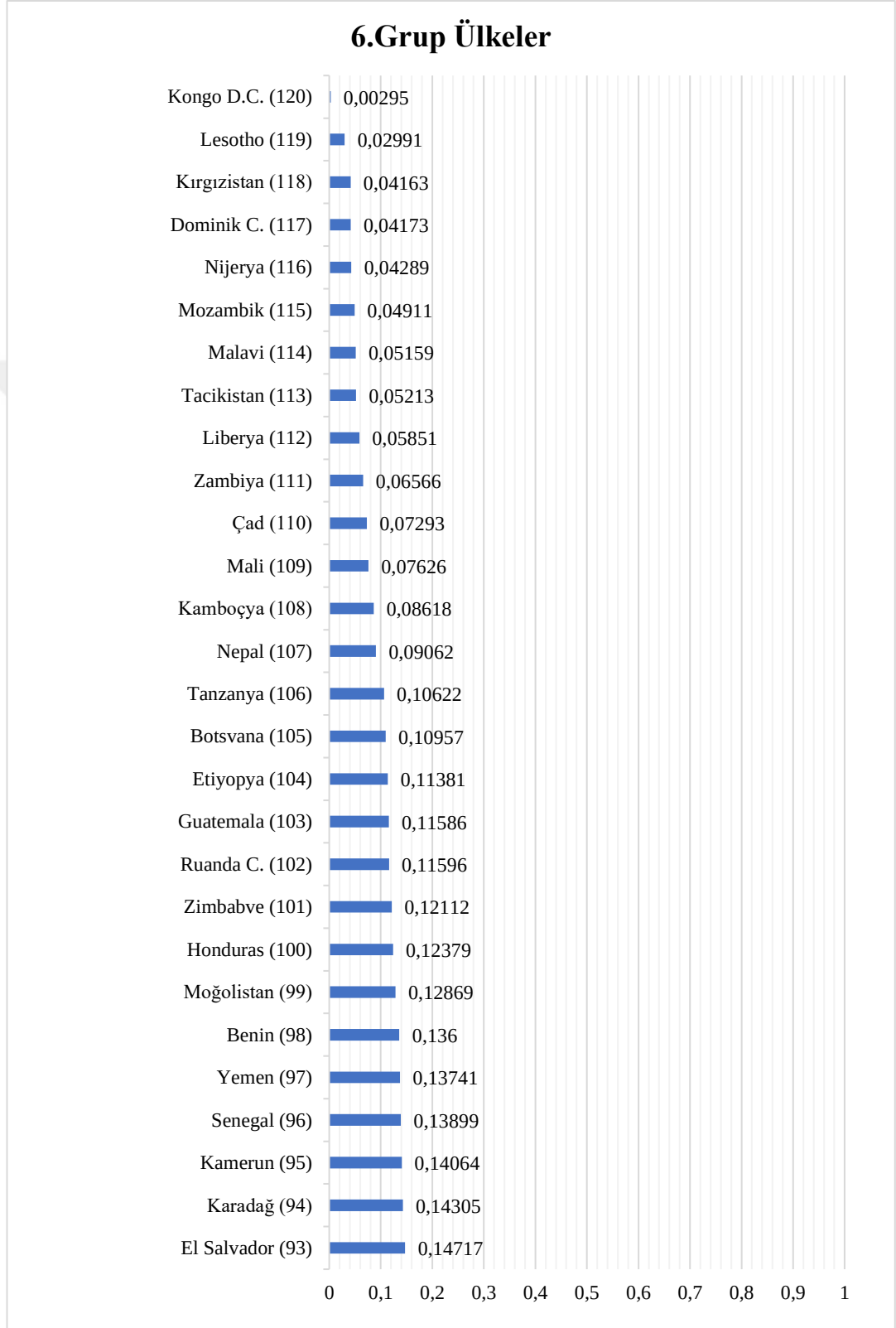
Şekil 3.3: Devamı



Şekil 3.3: Devamı



Şekil 3.3: Devamı



3.2.7. Belirsizlik ve Duyarlılık Analizleri

Kompozit endeksin geliştirilmesi alt göstergelerin seçilmesi, eksik verilerin tamamlanması, alt göstergelerin normalizasyonu, alt göstergelerin ağırlıklandırılması ve toplulaştırılması gibi öznel kararların verilmesi gereken aşamaları içermektedir. Bu nedenle kompozit endeks sonuçlarının sağlamlığı ve ilgili politika mesajları çeşitli eleştirilere ve itirazlara maruz kalabilmektedir.⁴⁷⁴

Belirsizlik ve duyarlılık analizlerinin bir kombinasyonunun uygulanması endeks skorlarıyla elde edilen ülke sıralamalarının sağlamlığını ölçmeye, endeksin şeffaflığını artırmaya, endeks geliştirilirken izlenen adımlardaki çeşitli yöntemler ve yaklaşımlar altında performansları azalan veya artan ülkeleri belirlemeye ve kompozit endeksin sonuçları hakkındaki muhtemel tartışmaların ve eleştirilerin belirli bir çerçeveye oturtularak çözümlenmesine ve savunulmasına yardımcı olmaktadır.⁴⁷⁵

Kompozit endeks geliştirilirken çeşitli aşamalarda kullanılan farklı yaklaşımların ve yöntemlerin oluşturduğu potansiyel belirsizlik kaynakları tanımlanmalıdır. Belirsizlik analizi ile kompozit endeksin geliştirilmesi sırasında oluşan belirsizlik kaynaklarının kompozit endeksin yapısı boyunca nasıl yayıldığı incelenmekte, kompozit endeks skorları ve ülke sıralamaları üzerindeki etkisi değerlendirilmektedir. Belirsizlik analizinin amacı belirsizlik kaynaklarından dolayı oluşan kompozit endeks skorlarındaki ve ülke sıralamalarındaki genel belirsizliğin ölçülmesidir. Duyarlılık analizi ise her bir belirsizlik kaynağının kompozit endeks sonuçlarının varyansına ne kadar katkıda bulunduğunu incelemektedir.⁴⁷⁶

Çalışmada belirsizlik kaynağı olarak sadece YZE alt göstergelerinin ağırlıklandırılması ve toplulaştırılması aşamasında YZE alt gösterge ve kategori paylarının YZE skoruna oranı için uygulanan çeşitli alt ve üst sınırlara odaklanılmaktadır. Diğer aşamaların belirsizlik ve duyarlılık analizlerine dahil edilmeme gerekçeleri aşağıda açıklanmaktadır:

⁴⁷⁴ Nardo, Saisana, Saltelli, Tarantola, Hoffmann, Giovannini, **a.g.e.**, p.34.

⁴⁷⁵ Esty, Levy, Srebotnjak, De Sherbinin, **a.g.e.**, p.37.

⁴⁷⁶ Saisana, Saltelli, Tarantola, **a.g.e.**, pp.307-308.

1. Çalışmada YZE'nin geliştirilmesinde **Bölüm 1.3**'te yapılan detaylı literatür araştırmasına dayandırılarak seçilen 120 ülke için 5 kategoride 16 tane YZE alt göstergesi kullanılmaktadır. İlgili bölümde yapılan detaylı literatür araştırmasında belirtildiği gibi yapay zekanın benimsenme ve özünsenme dinamiklerini etkileyen çok sayıda faktör olmakla birlikte 120 ülkenin mümkün olan en geniş kapsamda mevcut yapay zeka durumlarını göreceli olarak ölçmek için kullanışlı ve erişilebilir olmalarından dolayı YZE'nin oluşturulmasında 5 kategoride 16 alt gösterge seçilmiştir. Çalışmada YZE alt göstergelerinin seçilmesinde 120 ülke için karşılaştırılabilir verilerin mevcut olması ve güvenilir kaynaklardan elde edilmiş olması göz önüne alınmıştır. Bununla birlikte 16 YZE alt göstergesinin ölçülebilirlikleri, ölçülen kavramla olan ilgileri ve birbirleriyle olan ilişkileri değerlendirilmiştir. Ülkelerin yapay zeka teknolojilerini alımı, kullanımı, uygulaması ve geliştirmesi konusunda yetenek, kapasite ve potansiyelini açıklayan “yapay zeka yatırımları ve girişimleri, yapay zeka ile ilgili patentler ve konferanslar, yapay zeka ile ilgili derslere ve eğitimlere katılım oranı, yapay zeka ile ilgili meslek sayısı/iş ünvanları” gibi ilgili birçok gösterge olmasına rağmen, bu göstergeler 120 ülke için karşılaştırılabilir düzeyde ve eksiksiz olarak elde edilemediğinden kapsam dışı bırakılmışlardır. YZE kategorilerinin ve YZE alt göstergelerinin belirlenmesi süreci ve uygulanan yaklaşımlar gerekçelendirilerek **Bölüm 3.2.1** ve **Bölüm 3.2.2**'de detaylı olarak anlatılmaktadır. Bu bölümlerde yapılan açıklamalara dayandırılarak alt göstergelerin seçimi ile ilgili yaklaşım ve seçimler belirsizlik kaynağı olarak ele alınmamaktadır.
2. Çalışmada “Eksik Verilerin Tamamlanması” aşamasında Küresel Rekabet Edebilirlik Endeksi ve Küresel İnovasyon Endeksi gibi küresel anlamda geçerliliği olan, önemli ve güvenilir çalışmalarda da uygulanan çeşitli yaklaşımlar izlenmiştir. Bu şekilde istatistiksel yöntemlere başvurulmasına gerek kalmadan elde edilen eksiksiz bir veri setiyle 120 ülke için 5 kategoride 16 alt gösterge kullanılarak YZE hesaplanabilmektedir. Analizde kullanılan veriler ilgili YZE alt göstergeleri için ulaşılabilen en güncel veriler olup, 2017-2019 yıllarına ait kaynaklardan elde edilmektedir. **Bölüm 3.2.3**'te ilgili yaklaşımlar detaylı bir şekilde ele alınmaktadır.

3. Çalışmada YZE oluşturmak için YZE alt göstergelerinin ağırlıklandırılmasında VZA tabanlı ŞLKY ağırlıklandırma yöntemi uygulanmaktadır. VZA'nın dolayısıyla ŞLKY ağırlıklandırma yönteminin “birimlerin değişmezliği özelliği”, normalizasyon aşamasını gereksiz kılmaktadır. Bu nedenle geliştirilen YZE’de YZE alt göstergeleri normalize edilmeden kullanılmışlardır. Bununla birlikte YZE alt göstergelerinin ve kategorilerinin YZE skoruna katkılarının belirlenmesinde, göreceli önemlerinin değerlendirilmesinde ve ek ağırlık kısıtlamalarının metodolojiye dahil edilmesinde “alt gösterge payları” yaklaşımı kullanıldığı için YZE alt göstergelerinin normalize edilmesi gerekmemektedir. **Bölüm 2.3**’te VZA tabanlı ŞLKY ağırlıklandırma yönteminin “birimlerin değişmezliği özelliği” ile “alt gösterge payları” ve “alt gösterge payı kısıtlamaları” yaklaşımlarının normalizasyon aşamasını neden gereksiz kıldığı ayrıntılı bir biçimde anlatılmaktadır.

Çalışmada VZA tabanlı ŞLKY ağırlıklandırma yöntemiyle endojen olarak elde edilen YZE alt göstergelerinin ağırlıklarının tam esnekliğinin sınırlandırılması, orijinal metodolojiye biri kategori düzeyinde diğeri alt gösterge düzeyinde olmak üzere 2 çeşit ek ağırlık kısıtlaması dahil edilerek gerçekleştirilmektedir. Kategori düzeyinde YZE kategori paylarının, alt gösterge düzeyinde YZE alt gösterge paylarının YZE skoruna oranı sınırlandırılmaktadır. Kategori paylarının YZE skoruna oranı için 5, alt gösterge paylarının YZE skoruna oranı için 3 farklı alt ve üst sınır belirlenerek 15 tane sınırlı senaryo oluşturulmaktadır. **Bölüm 3.2.6.2**’de YZE alt gösterge ve kategori paylarının YZE skoruna oranının alt ve üst sınırlarının belirlenmesinde kullanılan yaklaşımlar detaylı bir şekilde ele alınmaktadır. Çalışmada ŞLKY ağırlıklandırma yönteminin metodolojisinde normalizasyon ve ağırlıkların negatif olmaması kısıtları dışında alt gösterge ağırlıkları ile ilgili herhangi bir sınırlandırılmanın yapılmadığı “Sınırlandırılmamış ŞLKY Senaryosu” ve 15 tane “Sınırlı ŞLKY Senaryoları” ile birlikte toplam 16 farklı senaryo için YZE skorları hesaplanmaktadır.

Çalışmada 16 senaryonun YZE skorları ve ülke sıralamaları üzerindeki etkilerini değerlendirmek amacıyla öncelikle ülkelerin **EK-1**’de listelenen 16 senaryo ile elde edilen YZE skorları ve ülke sıralamaları karşılaştırılmaktadır. Bu şekilde her bir ülke

için YZE skorlarının ve ülke sıralamalarının değer aralığını görmek mümkün olmaktadır. **EK-1** incelendiğinde “Sınırlandırılmamış ŞLKY Senaryosu” ile elde edilen YZE skorlarının sınırlı senaryolarla belirgin bir şekilde düştüğü görülmektedir. “Sınırlı ŞLKY Senaryoları” ile elde edilen ülke sıralamalarının genel olarak tutarlı olduğunu söylemek mümkündür. Çalışmada **Senaryo 1**, YZE alt gösterge ve kategori payının YZE skoruna oranının en dar aralıkta tutulduğu ve **Senaryo 15** ise en geniş aralıkta tutulduğu sınırlı senaryodur. **Senaryo 1**’den **Senaryo 15**’e doğru sınırlar genişledikçe ülkelerin büyük çoğunluğu için YZE skorları yükselmektedir.

Çeşitli ağırlıklandırma senaryolarıyla oluşan kompozit endeks sonuçlarının sağlamlıklarının değerlendirilmesi kompozit endeks skorları arasındaki Pearson ve Spearman sıra korelasyon katsayıları incelenerek yapılabilmektedir.⁴⁷⁷ Tablo 3.12’de 16 farklı senaryo ile elde edilen YZE skorları arasındaki Pearson (esas köşegenin üstündeki değerler) ve Spearman sıra (esas köşegenin altındaki değerler) korelasyon katsayıları bulunmaktadır. Çalışmada **Senaryo 1** ile elde edilen YZE’nin, ülkelerin göreceli yapay zeka yetenek, kapasite ve potansiyelini ortaya koymadaki ayırt edici gücü daha yüksek olduğu ve 16 YZE alt göstergesinin temsil ettiği bilgiyi daha geniş kapsamda yansıttığı ve dolayısıyla daha dengeli bir biçimde temsil ettiği için ilerleyen bölümlerde analizlerde kullanılması önerilmektedir. Bu bölümde de **Senaryo 1** ile elde edilen YZE skorlarının ve ülke sıralamalarının çeşitli ağırlıklandırma senaryolarına olan duyarlılıklarının test edilerek sağlamlığının değerlendirilmesi amaçlanmaktadır.

Çalışmada **Senaryo 1** ile geliştirilen YZE’nin sağlamlığının değerlendirilmesi amacıyla **Senaryo 1** ve diğer sınırlı senaryolarla elde edilen YZE skorları arasındaki korelasyon katsayıları incelenmektedir. Tablo 3.12’de **Senaryo 1** ve diğer sınırlı senaryolar ile elde edilen YZE skorları arasındaki Pearson ve Spearman sıra korelasyon katsayılarının 0,935 ile 0,981 arasında değiştiği görülmektedir. Her iki analize göre korelasyonun yüksek olması **Senaryo 1** ile elde edilen YZE skorları ve ülke sıralamaları ile diğer sınırlı senaryolarla elde edilen YZE skorları ve ülke sıralamalarının oldukça tutarlı (consistent) olduğu anlamına gelmektedir. **Senaryo 1**

⁴⁷⁷ Gonzalez, Carcaba, Ventura, **a.g.e.**, pp.1173-1175.

ile diğer sınırlı senaryolar arasındaki yüksek korelasyon katsayıları **Senaryo 1** ile elde edilen YZE'nin sağlamlığının bir göstergesidir.⁴⁷⁸

Tablo 3.12 incelendiğinde “Sınırlandırılmamış ŞLKY Senaryosu” ve “Sınırlı ŞLKY Senaryoları” ile elde edilen YZE skorları arasındaki korelasyon katsayılarının her iki analiz için yaklaşık 0,778 ile 0,859 arasında değiştiği görülmektedir. “Sınırlı ŞLKY Senaryoları” ile elde edilen YZE skorları arasındaki korelasyon katsayılarının büyük çoğunluğu 0,97’den büyük olmakla birlikte en küçük korelasyon katsayısı 0,935 değerini almaktadır. “Sınırlı ŞLKY Senaryoları” ile elde edilen YZE skorları arasındaki Pearson ve Spearman sıra korelasyon katsayılarının çok yüksek değerler alması sınırlı senaryolar ile elde edilen hem YZE skorlarının hem de ülke sıralamalarının büyük çoğunluğunun önemli ölçüde benzer olduğu anlamına gelmektedir. “Sınırlı ŞLKY Senaryoları” ile daha kararlı ve tutarlı YZE skorları ve ülke sıralamaları elde edilmektedir. Bununla birlikte “Sınırlandırılmamış ŞLKY Senaryosu” ve “Sınırlı ŞLKY Senaryoları” ile elde edilen YZE skorları arasındaki korelasyon katsayılarının daha düşük olması ise orijinal ŞLKY ağırlıklandırma metodolojisi ile elde edilen YZE skorları ve ülke sıralamaları ile sınırlı senaryolarla elde edilen YZE skorları ve ülke sıralamaları arasında tutarsızlıklar (inconsistency) oluştuğuna işaret etmektedir.

Duyarlılık analizi sonuçları genellikle ülkelerin kompozit endeks sonuçlarının her bir belirsizlik kaynağına göre aldığı değerleri gösteren dağılım grafikleri ile ifade edilmektedir. Dağılım grafikleri belirsizlik kaynakları ile kompozit endeks sonuçları arasındaki ilişkinin ortaya çıkarılmasına yani her bir belirsizlik kaynağının kompozit endeks sonuçları üzerindeki etkilerinin belirlenmesine yardımcı olmaktadır.⁴⁷⁹

Çalışmada 16 ağırlıklandırma senaryosu ile YZE ülke sıralamaları arasındaki ilişkinin ortaya çıkarılması amacıyla dağılım grafiği hazırlanmıştır. Dağılım grafiği ile genel olarak her bir ağırlıklandırma senaryosunun ülke sıralamaları üzerindeki etkilerinin belirlenmesi ve ülke sıralamalarının varyansına ne düzeyde katkıda bulunduğunun ifade edilmesi amaçlanmaktadır. Şekil 3.4’te 120 ülkenin “Sınırlandırılmamış ŞLKY

⁴⁷⁸ Zhou, Ang, Poh, **a.g.e.**, p.296.

⁴⁷⁹ Nardo, Saisana, Saltelli, Tarantola, Hoffmann, Giovannini, **a.g.e.**, p.35.

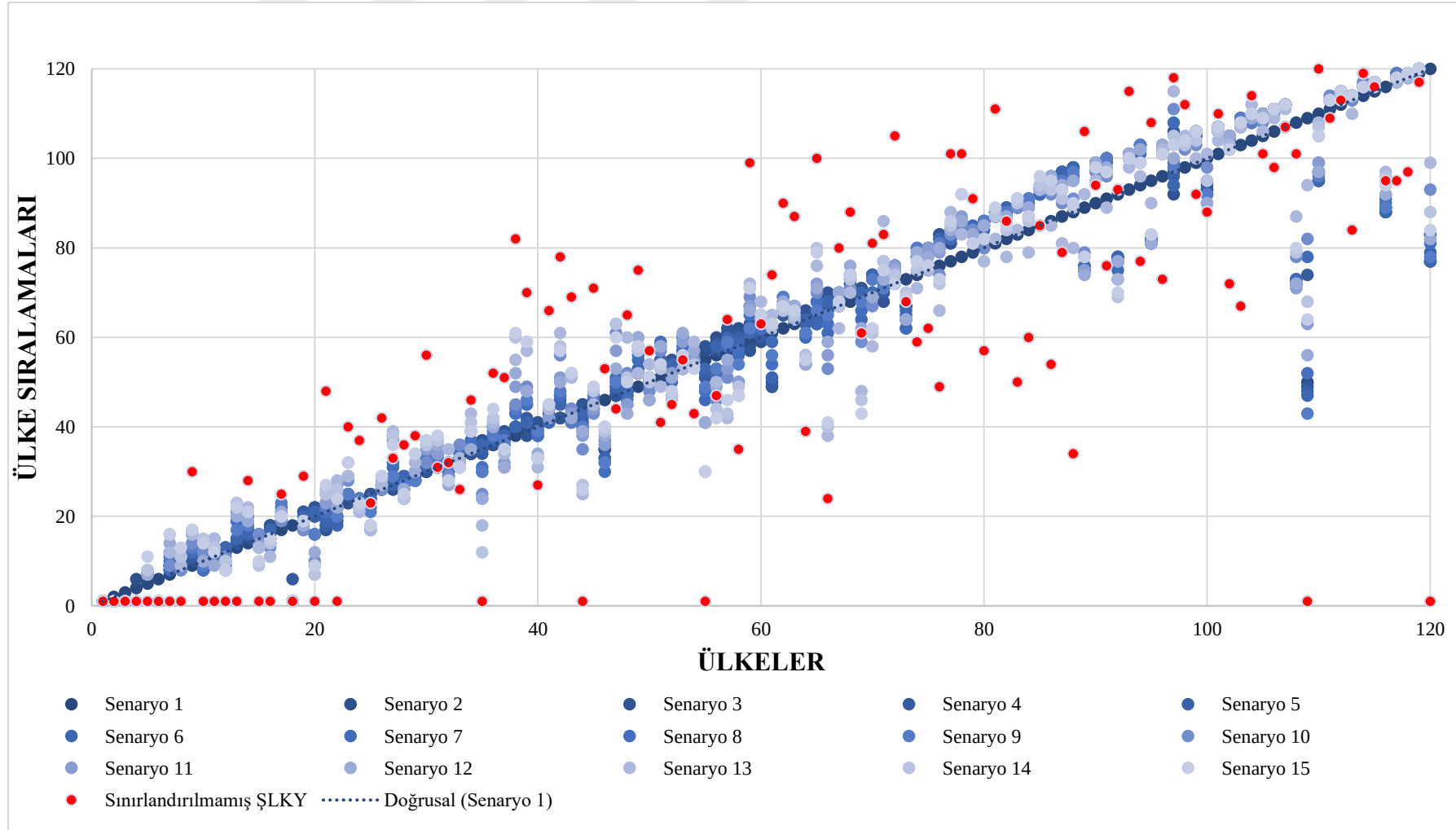
Senaryosu” ve “Sınırlı ŞLKY Senaryoları” ile elde edilen ülke sıralamalarını gösteren dağılım grafiği bulunmaktadır.

Dağılım grafiğinde ülkeler yatay eksene **Senaryo 1** ile elde edilen ülke sıralamasına göre yerleştirilmişlerdir. Dağılım grafiği incelendiğinde “Sınırlı ŞLKY Senaryoları” çoğu ülke için kararlı ve tutarlı ülke sıralamaları elde edilmesini sağlarken, “Sınırlandırılmamış ŞLKY Senaryosu” ile elde edilen ülke sıralamalarının büyük çoğunluğu sınırlı senaryolarla elde edilen ülke sıralamalarına göre önemli ölçüde tutarsızlık göstermektedir. “Sınırlandırılmamış ŞLKY Senaryosu” genel olarak ülke sıralamalarında büyük derecede oynaklık sergilenmesine neden olmaktadır. Çalışmada **Senaryo 1**, YZE alt gösterge ve kategori payının YZE skoruna oranının en dar aralıkta tutulduğu ve **Senaryo 15** ise en geniş aralıkta tutulduğu sınırlı senaryodur. **Senaryo 1** ile elde edilen ülke sıralamaları diğer sınırlı senaryolarla elde edilen ülke sıralamalarıyla oldukça tutarlı bir dağılım sergilemekle birlikte **Senaryo 1**’den **Senaryo 15**’e doğru sınırlar genişledikçe çoğu ülke için ülke sıralamalarının oynaklık derecesinin arttığı görülmektedir. YZE alt göstergelerinin ve kategorilerinin YZE skoruna yüzde olarak katkılarının sınırları daraltıldıkça çok daha kararlı ve tutarlı ülke sıralamaları elde edilmektedir. Dağılım grafiği vasıtasıyla, **Senaryo 1** ile elde edilen ülke sıralamaları ile diğer sınırlı senaryolarla elde edilen ülke sıralamalarının oldukça tutarlı olduğu gösterilerek **Senaryo 1** ile geliştirilen YZE’nin sağlamlığı grafiksel olarak da ifade edilmektedir. Dağılım grafiği sonuçları Tablo 3.12’de açıklanan korelasyon katsayılarıyla örtüşmektedir.

Tablo 3.12: ŞLKY Alternatif Ağırlıklandırma Senaryoları ile Elde Edilen YZE Skorlarının Pearson (üst-sağ) ve Spearman Sıra (sol-alt) Korelasyon Katsayıları Matrisi

YZE Skorlarının Pearson ve Spearman Sıra Korelasyon Katsayıları		Sınırlanmamış ŞLKY Senaryosu	Sınırlı ŞLKY Senaryoları														
			Senaryo 1	Senaryo 2	Senaryo 3	Senaryo 4	Senaryo 5	Senaryo 6	Senaryo 7	Senaryo 8	Senaryo 9	Senaryo 10	Senaryo 11	Senaryo 12	Senaryo 13	Senaryo 14	Senaryo 15
Sınırlanmamış ŞLKY Senaryosu		1	0,778	0,794	0,794	0,799	0,804	0,804	0,812	0,814	0,815	0,829	0,828	0,827	0,849	0,848	0,848
Sınırlı ŞLKY Senaryoları	Senaryo 1	0,779	1	0,977	0,976	0,981	0,975	0,973	0,979	0,970	0,966	0,971	0,959	0,954	0,956	0,941	0,935
	Senaryo 2	0,804	0,964	1	0,999	0,997	0,998	0,998	0,991	0,992	0,991	0,975	0,978	0,977	0,949	0,953	0,951
	Senaryo 3	0,803	0,964	0,999	1	0,997	0,998	0,998	0,990	0,992	0,991	0,975	0,978	0,977	0,948	0,952	0,951
	Senaryo 4	0,807	0,974	0,996	0,996	1	0,998	0,997	0,998	0,996	0,993	0,987	0,986	0,984	0,965	0,966	0,964
	Senaryo 5	0,814	0,964	0,999	0,999	0,997	1	0,999	0,995	0,997	0,997	0,983	0,987	0,987	0,959	0,965	0,964
	Senaryo 6	0,812	0,962	0,999	0,999	0,996	0,999	1	0,994	0,998	0,997	0,982	0,987	0,987	0,957	0,965	0,964
	Senaryo 7	0,818	0,974	0,992	0,991	0,998	0,994	0,993	1	0,997	0,995	0,995	0,994	0,992	0,978	0,979	0,977
	Senaryo 8	0,823	0,965	0,996	0,996	0,997	0,999	0,998	0,997	1	0,999	0,991	0,996	0,995	0,970	0,979	0,978
	Senaryo 9	0,826	0,960	0,997	0,996	0,995	0,999	0,998	0,994	0,999	1	0,988	0,995	0,996	0,967	0,978	0,978
	Senaryo 10	0,829	0,974	0,980	0,979	0,990	0,985	0,983	0,996	0,990	0,986	1	0,995	0,992	0,992	0,991	0,988
	Senaryo 11	0,834	0,964	0,988	0,988	0,993	0,992	0,991	0,996	0,996	0,995	0,995	1	0,999	0,982	0,992	0,992
	Senaryo 12	0,836	0,962	0,989	0,989	0,992	0,993	0,992	0,995	0,997	0,996	0,993	0,999	1	0,978	0,991	0,992
	Senaryo 13	0,850	0,966	0,953	0,952	0,968	0,959	0,956	0,978	0,967	0,962	0,990	0,978	0,975	1	0,991	0,987
	Senaryo 14	0,855	0,957	0,969	0,968	0,978	0,974	0,972	0,986	0,982	0,979	0,993	0,991	0,989	0,991	1	0,999
	Senaryo 15	0,859	0,952	0,968	0,968	0,976	0,974	0,972	0,984	0,982	0,980	0,990	0,991	0,990	0,987	0,999	1

Şekil 3.4: ŞLKY Alternatif Ağırlıklandırma Senaryolarına Göre Ülke Sıralamalarının Dağılım Grafiği



Ülkelerin çeşitli belirsizlik kaynaklarına göre elde edilen kompozit endeks skorlarının dağılımlarının grafiklerle gösterilmesi ülke bazında değerlendirmeler yapılmasına yardımcı olmaktadır.⁴⁸⁰ Grafikler yorumlanarak çeşitli belirsizlik kaynaklarından hangi ülkelerin daha çok hangi ülkelerin daha az etkilendiğini belirlemek mümkün olmaktadır.⁴⁸¹

Çalışmada “Sınırlı ŞLKY Senaryoları” ile elde edilen YZE skorlarının ve ülke sıralamalarının dağılımları kutu-bıyık grafikleriyle gösterilerek ülke bazında değerlendirmeler yapılması amaçlanmaktadır. 15 farklı “Sınırlı ŞLKY Senaryoları” ile geliştirilen YZE’lerin ülke sıralamalarının dağılımı Şekil 3.5’te ve YZE skorlarının dağılımı Şekil 3.6’da bulunmaktadır.

Belirsizlik kaynağı olarak ele alınan YZE alt gösterge ve kategori paylarının YZE skoruna oranı için uygulanan çeşitli alt ve üst sınırların YZE skorları ve ülke sıralamaları üzerindeki etkisinin ülke bazında daha net bir şekilde ifade edilebilmesi için grup içi karşılaştırmalar yapılmaktadır. Bu nedenle grafikler 6 YZE ülke grubu için ayrı ayrı hazırlanmıştır. 15 sınırlı senaryo ile elde edilen YZE skorlarının ve ülke sıralamalarının aldığı değer aralığını, medyanını ve kartillerarası aralığını (üçüncü kartil ile birinci kartil arasındaki fark) gösteren kutu-bıyık grafikleri çeşitli değerlendirmeler yapılmasına yardımcı olmaktadır. Kutu-bıyık grafiklerinde (x) ile gösterilen nokta serinin ortalamasını, (-) ile gösterilen nokta ise serinin medyanını göstermektedir.

Şekil 3.5’te 1.Grup ülkelerin sınırlı senaryolara göre ülke sıralamalarının grafiği incelendiğinde ABD’nin her senaryoda birinci sırada olduğu görülmektedir. İsviçre ve Hollanda’nın ise ülke sıralamalarının belirsizlik kaynaklarından çok az miktarda etkilendiğini söylemek mümkündür. Bu grupta çeşitli ağırlıklandırma senaryolarından en fazla etkilenen ülkelerin sıralamaları ise Çin’in 13 ile 23, Kanada’nın 7 ile 16, İspanya’nın 14 ile 22, Belçika’nın 9 ile 17, İsrail’in 8 ile 15 ve Güney Kore’nin 9 ile 16 arasında değişmektedir.

⁴⁸⁰ Saisana, Saltelli, Tarantola, **a.g.e.**, pp.316-317.

⁴⁸¹ Cherchye, Moesen, Rogge, Van Puyenbroeck, Saisana, Saltelli, Liska, Tarantola, **a.g.e.**, pp.244-246.

Şekil 3.6’da 1.Grup ülkelerin sınırlı senaryolara göre YZE skorlarının grafiği incelendiğinde ülkelerin YZE skorlarının değer aralığına bakılarak çoğu ülke için tutarlı ve kararlı sonuçlar elde edildiğini söylemek mümkündür. Bu grupta YZE skorlarının değer aralığı en geniş olan (en oynak- the most volatile) ülke Çin olmakla birlikte Çin’in 15 senaryo ile elde edilen ülke sıralamalarının medyanı (19.sıra), **Senaryo 1** ile elde edilen ülke sıralamasından (13.sıra) sadece 6 sıralama geridedir.

Şekil 3.5’te 2.Grup ülkelerin sınırlı senaryolara göre ülke sıralamalarının grafiği incelendiğinde Avusturya, Portekiz, Yeni Zelanda ve İrlanda’nın ülke sıralamalarının belirsizlik kaynaklarından çok az miktarda etkilendiği görülmektedir. Bu grupta çeşitli ağırlıklandırma senaryolarından en fazla etkilenen ülkeler ise İzlanda, Danimarka ve Türkiye’dir. Ülke sıralamalarının aralığı en geniş olan İzlanda hariç bu gruptaki tüm ülkeler için 15 senaryo ile elde edilen ülke sıralamalarının medyanı, **Senaryo 1** ile elde edilen ülke sıralamalarından en fazla 4 sıra ileride veya geridedir.

Şekil 3.5’te 3.Grup ülkelerin sınırlı senaryolara göre ülke sıralamalarının grafiği incelendiğinde belirsizlik kaynaklarından en az etkilenen ülkeler Slovakya ve Malezya iken en fazla etkilenen ülkeler ise Lüksemburg, İran İslam Cumhuriyeti, Brezilya ve Birleşik Arap Emirlikleri’dir. Uruguay hariç bu gruptaki tüm ülkeler için 15 senaryo ile elde edilen ülke sıralamalarının medyanı, **Senaryo 1** ile elde edilen ülke sıralamalarından en fazla 6 sıra ileride veya geridedir. Bu fark Lüksemburg ve İran İslam Cumhuriyeti için 5, Brezilya için 6 ve Birleşik Arap Emirlikleri için 4’tür.

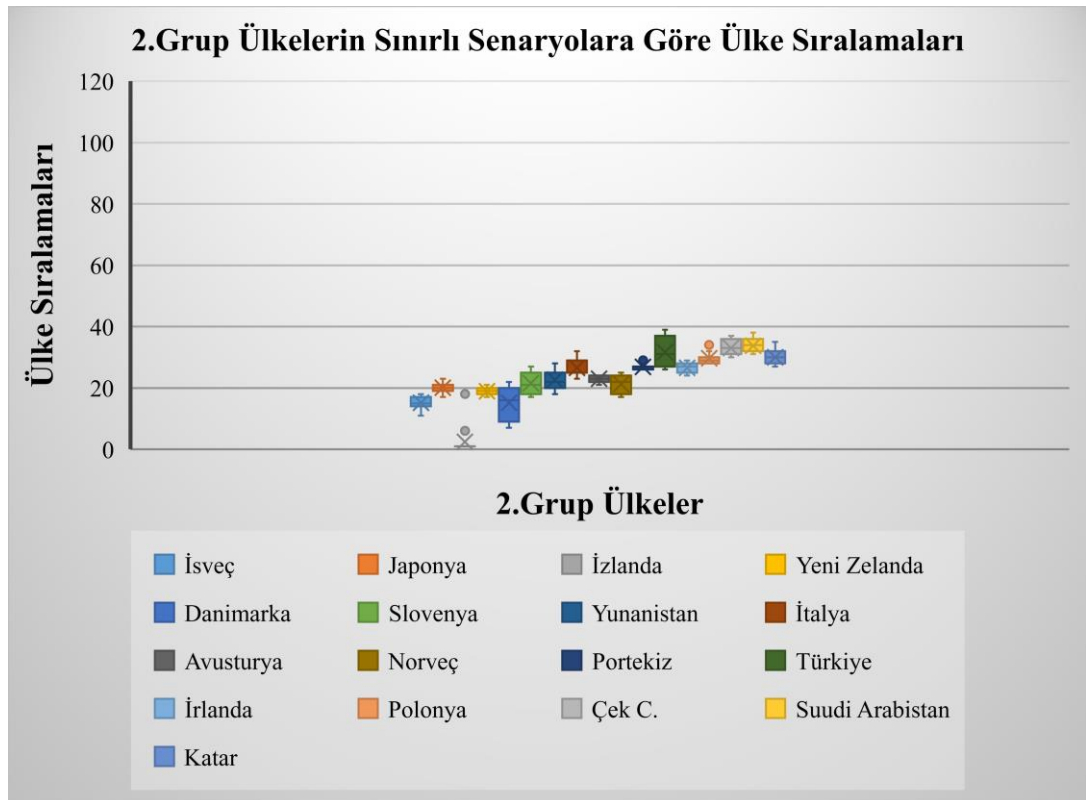
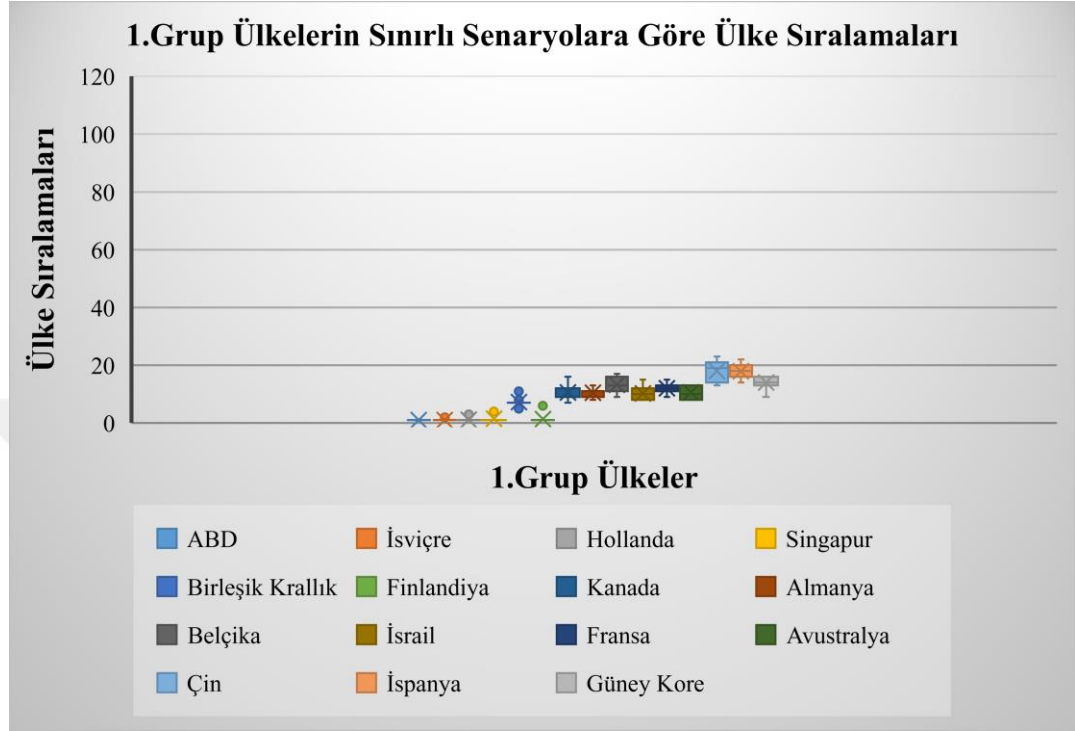
Sınırlı senaryolara göre ülke sıralamalarının kutu-bıyık grafikleri gruplar bazında incelenmeye devam edildiğinde 4.Grupta Estonya, Brunei ve Malta’nın, 5.Grupta Gana, Mauritius, Uganda ve Letonya’nın ve 6.Grupta Mali, Kongo Demokratik Cumhuriyeti ve Kamboçya’nın çeşitli ağırlıklandırma senaryolarından en fazla etkilenen ülkeler olduğu görülmektedir. 15 senaryo ile elde edilen ülke sıralamalarının medyan değerinin, **Senaryo 1** ile elde edilen ülke sıralamalarından farkı 4.Gruptaki 22 ülkeden 19 tanesi için en çok 5, Gana ve Uganda hariç 5.Gruptaki tüm ülkeler ve 6.Gruptaki 28 ülkeden 22 tanesi için en çok 8’dir.

Şekil 3.5 ve Şekil 3.6 genel olarak incelendiğinde çoğu ülke için “Sınırlı ŞLKY Senaryoları” ile elde edilen YZE skorlarının ve ülke sıralamalarının yeterli düzeyde tutarlı ve kararlı bir seyrinde olduğunu söylemek mümkündür. Elde edilen YZE skorları ve ülke sıralamaları, çeşitli ağırlıklandırma senaryolarından ülke bazında farklı miktarlarda etkilenmekle birlikte çok net bir şekilde en iyi ülke grubunun ve en kötü ülke grubunun tanımlanmasına imkan vermektedir.

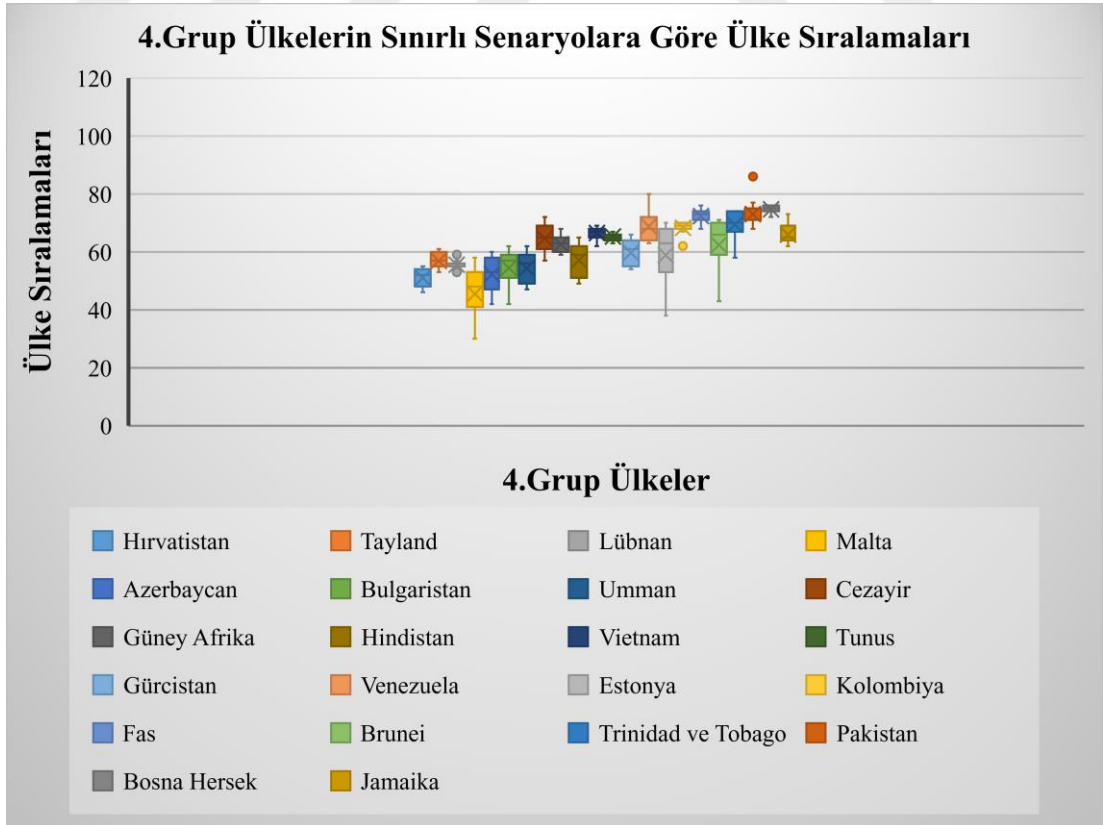
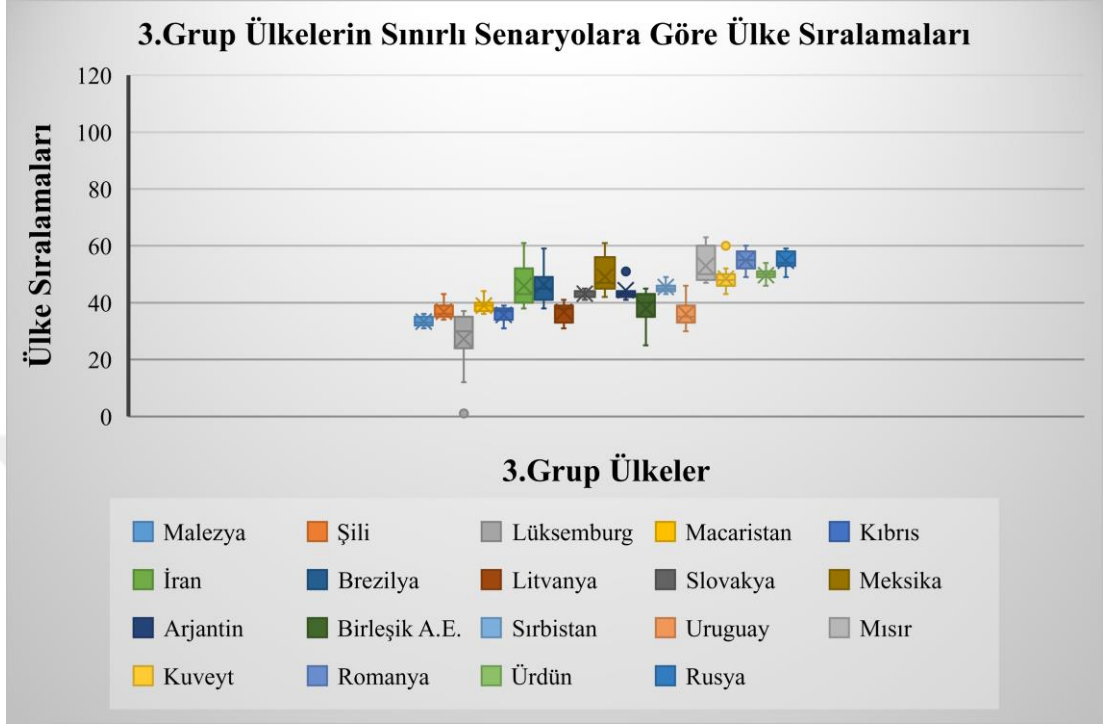
“Sınırlı ŞLKY Senaryoları” ile elde edilen ülke sıralamalarının medyan değerinin, **Senaryo 1** ile elde edilen ülke sıralamalarından farkı 120 ülke için genel olarak değerlendirildiğinde 16 ülke için 0, 63 ülke için en çok 3, 86 ülke için en çok 5 ve 110 ülke için en çok 8’dir. Bununla birlikte **Senaryo 1** ile elde edilen ülke sıralamaları ve “Sınırlı ŞLKY Senaryoları” ile elde edilen ülke sıralamalarının medyan değeri arasındaki Spearman sıra korelasyon katsayısı 0,97 olarak hesaplanmaktadır. Bu verilerden yola çıkılarak **Senaryo 1** ile elde edilen YZE sonuçlarının küresel düzeyde ülkelerin yapay zeka yetenek, kapasite ve potansiyelinin güvenilir bir resmini sunduğu sonucuna varılmaktadır.⁴⁸²

⁴⁸² Saisana, Saltelli, **a.g.e.**, pp.21-23.

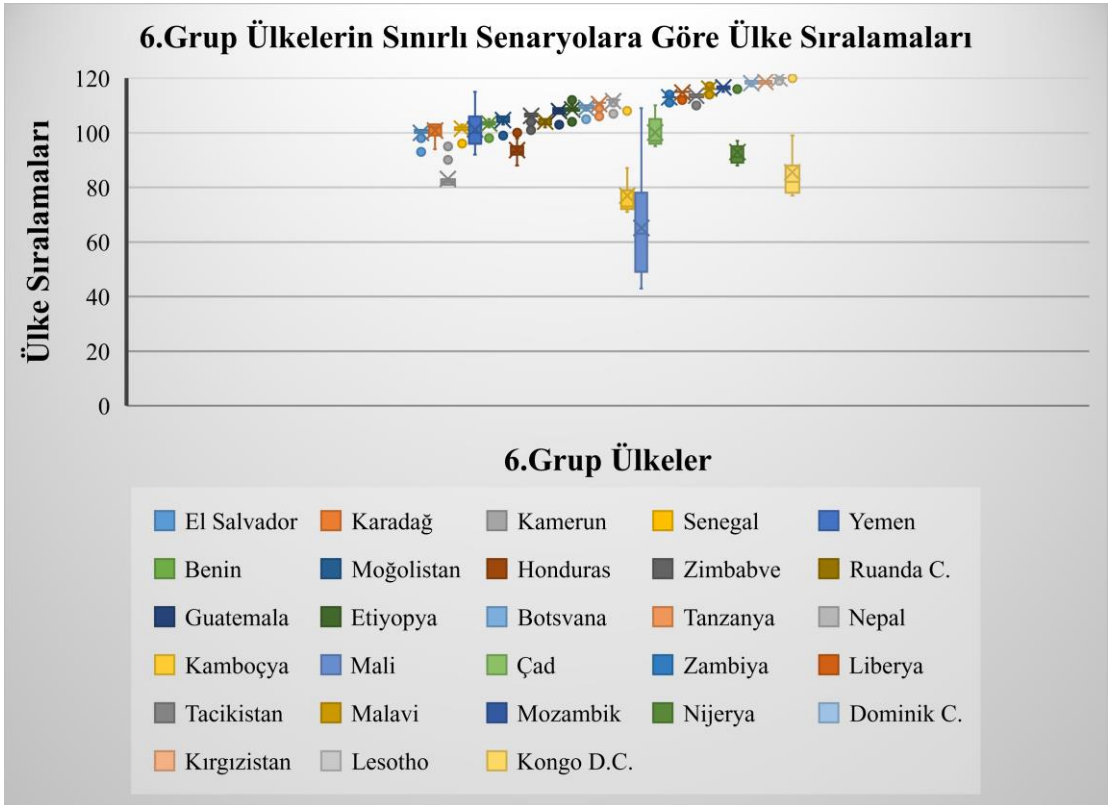
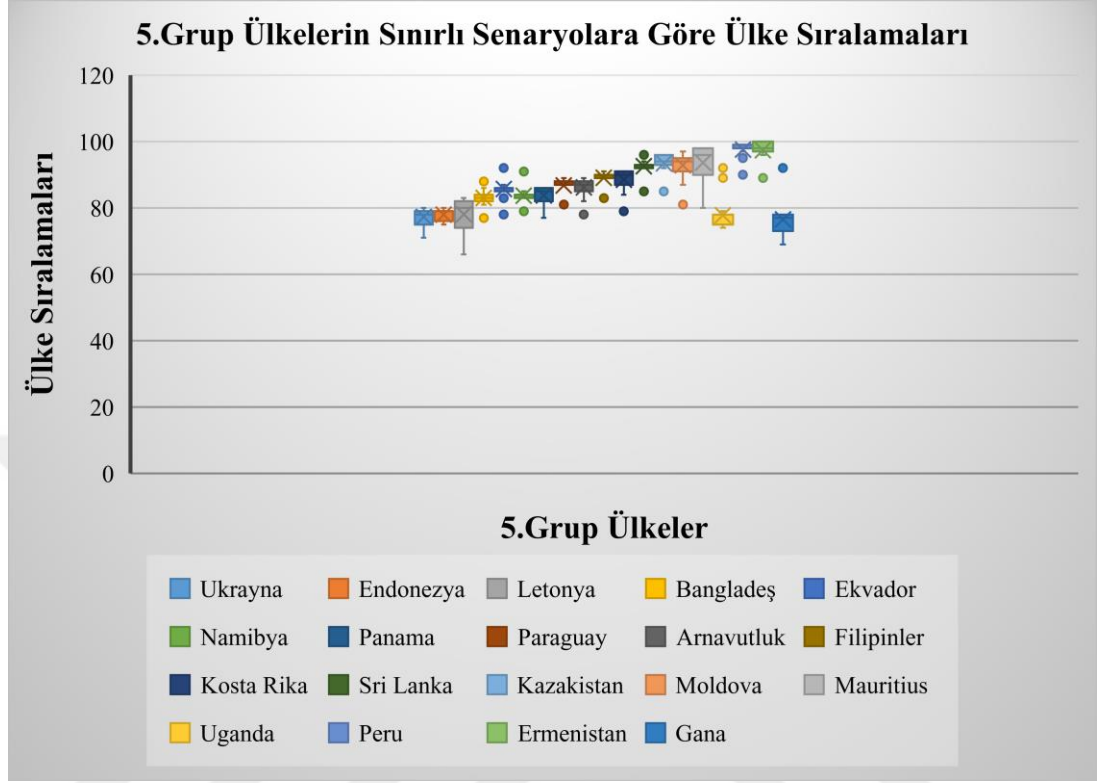
Şekil 3.5: “Sınırlı ŞLKY Senaryoları” ile Elde Edilen Ülke Sıralamalarının Kutu-Bıyık Grafikleri



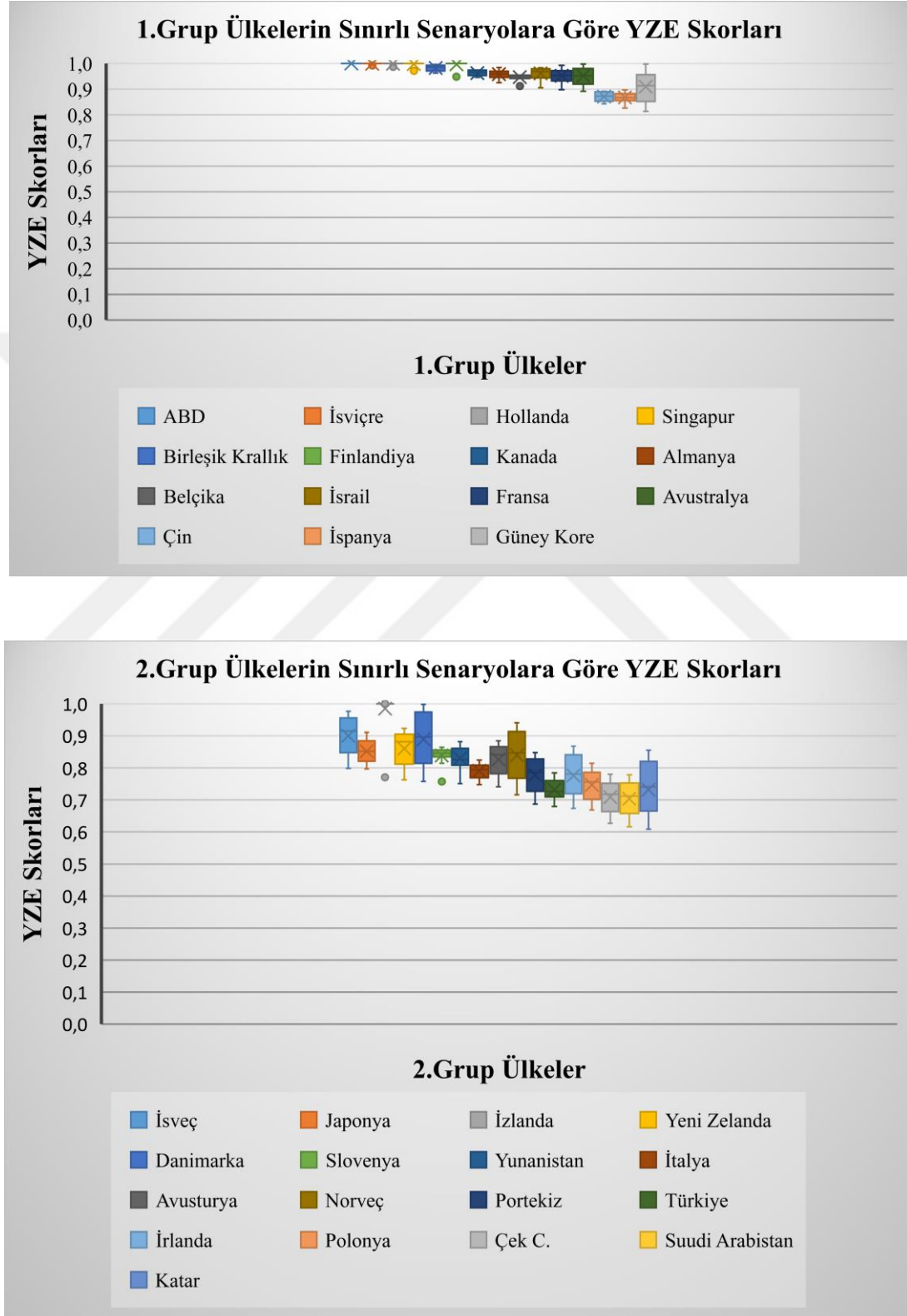
Şekil 3.5: Devamı



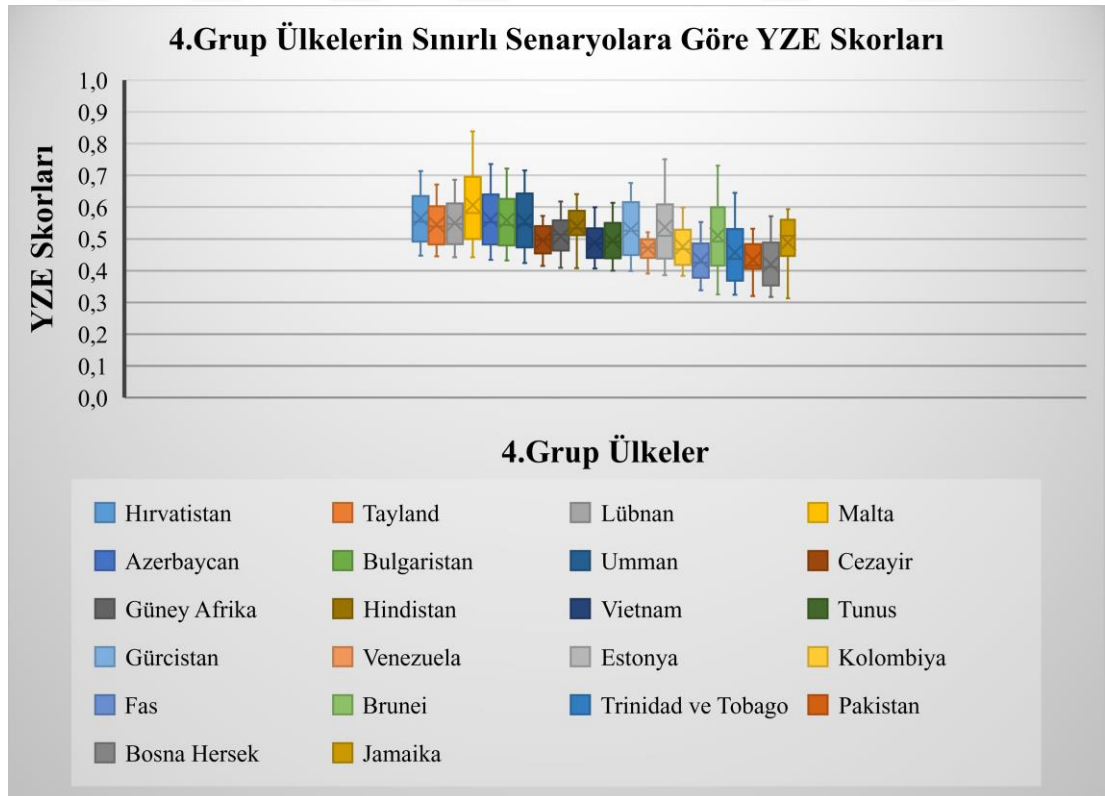
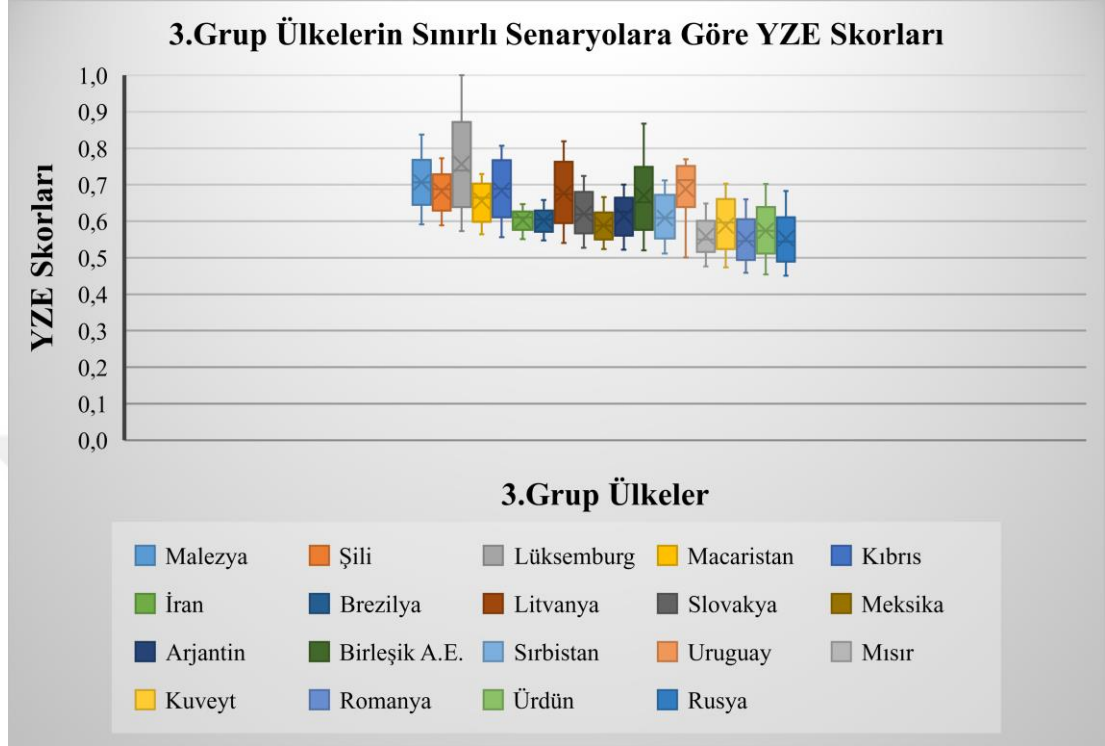
Şekil 3.5: Devamı



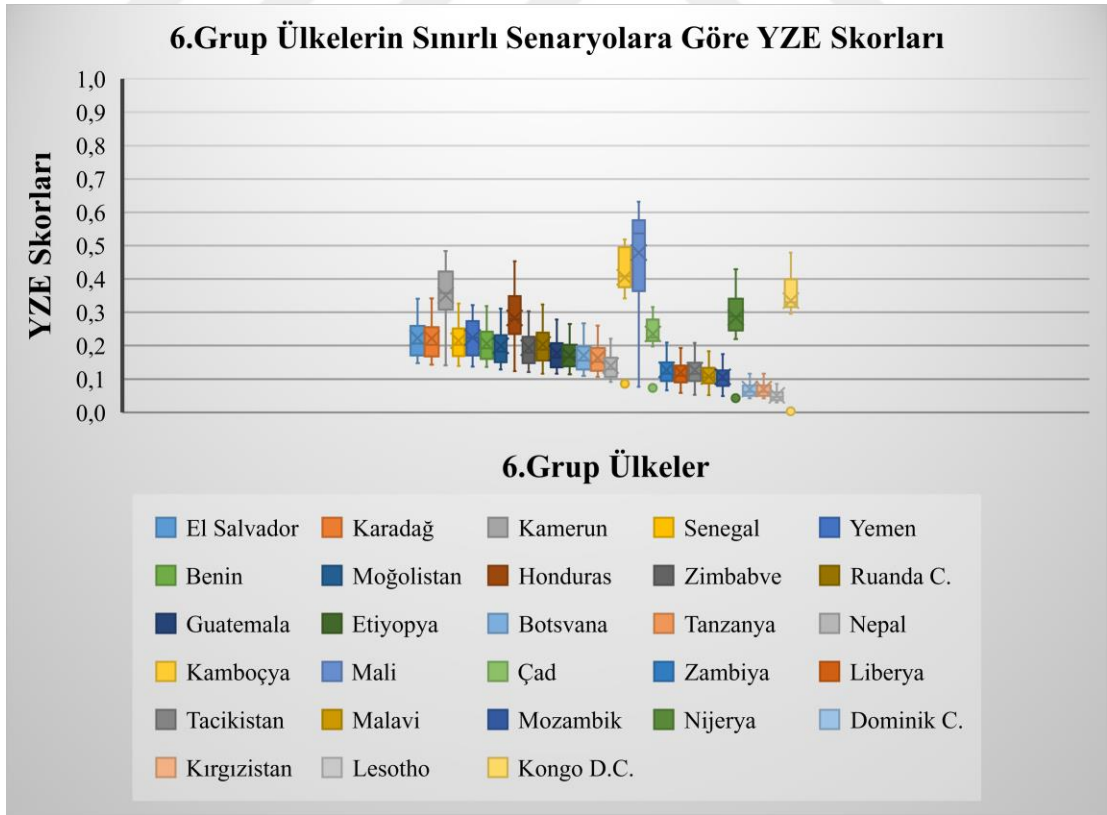
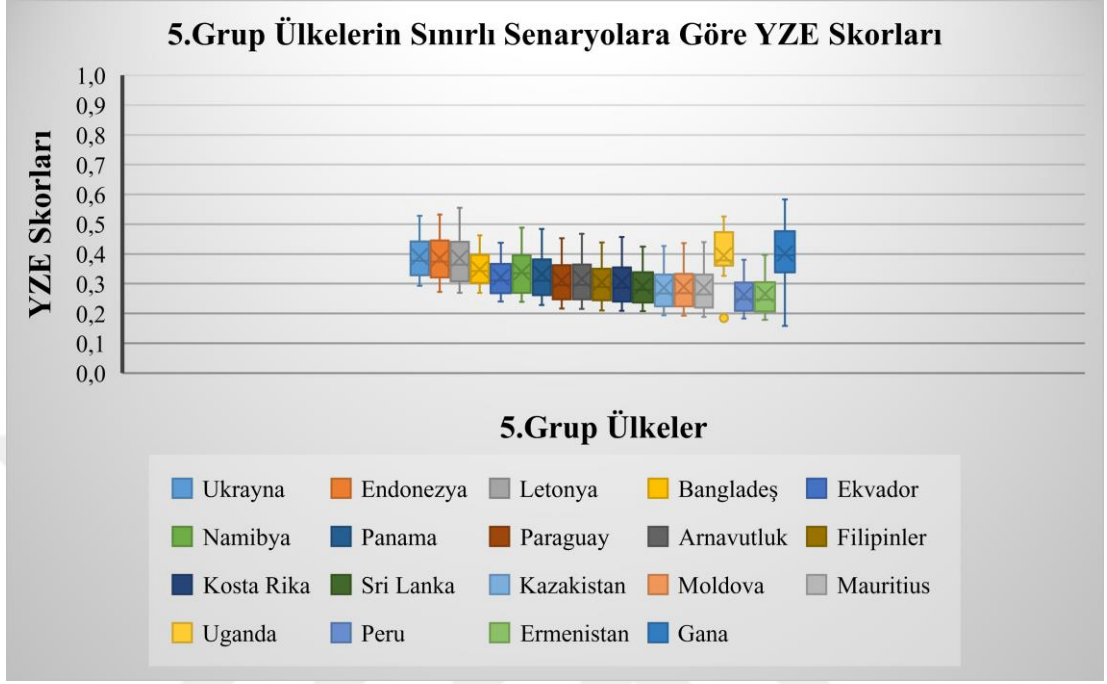
Şekil 3.6: “Sınırlı ŞLKY Senaryoları” ile Elde Edilen YZE Skorlarının Kutu-Bıyık Grafikleri



Şekil 3.6: Devamı



Şekil 3.6: Devamı



3.2.8. Kompozit Endeksin Yeniden Yapılandırılması ve Analizlerin Genişletilmesi

Kompozit endeksler çeşitli analizlere ve politika geliştirme çalışmalarına rehberlik etmek için özet göstergeler olarak kullanılmaktadır. Bununla birlikte kompozit endekslerin gerek bileşenleri gerekse alt göstergeleri düzeyinde ayrıştırılarak yeniden yapılandırılması ülkelerin performans analizlerinin genişletilmesini sağlamaktadır. Kompozit endeksin bileşenlerine ve alt göstergelerine ayrıştırılması, bileşenlerinin ve alt göstergelerinin kompozit endekse katkılarının tespit edilmesini ve ülkelerin ulusal performans profilleri çıkarılarak ülke bazında güçlü ve zayıf yönlerin belirlenmesini sağlamaktadır.⁴⁸³

Ülkelerin iyi veya kötü performanslarını belirleyen ana sürücülerini ortaya çıkarmak amacıyla ülke performanslarının bileşenler ve alt göstergeler düzeyinde profilinin çıkarılması gerekmektedir. Böylelikle ülkelerin kompozit endeks skorlarını tetikleyen ana sürücülerin belirlenmesi yanında, kompozit endeksin bileşenlerinin ve alt göstergelerinin göreceli önemlerinin açıklanması ve kompozit endekse az sayıda alt göstergenin aşırı düzeyde hakim olup olmadığının ortaya çıkarılması da sağlanmaktadır. Ayrıca kompozit endeksin gerek bileşenleri gerekse alt göstergeleri düzeyinde ayrıştırılarak yeniden yapılandırılması, kompozit endeks skoru ile bileşenler ve alt göstergeler arasında korelasyon veya nedensellik olup olmadığının test edilmesini de mümkün kılmaktadır.⁴⁸⁴

Çalışmada geliştirilen YZE ile ülkelerin yapay zeka teknolojilerini alımı, kullanımı, uygulaması ve geliştirmesi konusunda yetenek, kapasite ve potansiyeli ölçülmektedir. YZE ile yapay zekanın benimsenmesini ve özümsemişliğini etkileyen faktörler bağlamında ülkelerin mevcut durumlarının göreceli olarak belirlenmesi ve konumlarının karşılaştırılması sağlanmaktadır. Çalışmada 120 ülke için 5 kategoride 16 YZE alt göstergesi kullanılarak geliştirilen YZE ile her bir ülkenin mevcut yapay zeka yetenek düzeyine, kapasitesine ve potansiyeline genel bir bakış sağlayan özet bir

⁴⁸³ Freudenberg, **a.g.e.**, p.27.

⁴⁸⁴ Nardo, Saisana, Saltelli, Tarantola, Hoffmann, Giovannini, **a.g.e.**, p.21.

gösterge olarak çeşitli analizlere ve politika geliştirme çalışmalarına rehberlik etmenin yanında, YZE'nin gerek kategorileri gerekse alt göstergeleri düzeyinde ayrıştırılmasıyla ülkelerin performans analizlerinin genişletilmesi de amaçlanmaktadır.

Çalışmada **Bölüm 3.2.6.4**'te çeşitli ŞLKY ağırlıklandırma senaryolarına göre elde edilen YZE skorları, YZE alt göstergeleri düzeyinde ayrıştırılmışlardır. Bu bölümde yapılan korelasyon analiziyle “Sınırlandırılmamış ŞLKY Senaryosu”, **Senaryo 1** ve **Senaryo 5** olmak üzere 3 farklı senaryo için YZE skorları ile YZE alt gösterge payları arasındaki ilişki incelenerek elde edilen YZE skorlarının her bir YZE alt göstergesinin temsil ettiği bilgiyi yeterince yansıtip yansıtamadığı araştırılmıştır. Korelasyon analizi değerlendirildiğinde **Senaryo 1**'in diğer senaryolara göre 16 YZE alt göstergesinin temsil ettiği bilgiyi daha geniş kapsamda yansıttığı ve dolayısıyla daha dengeli bir biçimde temsil ettiği sonucuna varılmaktadır.

Bölüm 3.2.6.4'te “Sınırlandırılmamış ŞLKY Senaryosu”, **Senaryo 1** ve **Senaryo 5** olmak üzere 3 farklı senaryo için YZE skorlarında 16 YZE alt göstergesinin katkılarının dengeli dağılıp dağılmadığını araştırmak amacıyla YZE alt gösterge payı yüzdelerinin ortalamaları da karşılaştırılmıştır. YZE skorunu oluşturan YZE alt gösterge paylarının dengeli dağılıp dağılmadığının değerlendirilmesi ülkelerin performanslarının az sayıda alt gösterge tarafından temsil edilip edilmediğinin belirlenmesini veya YZE skoruna az sayıda alt göstergenin aşırı düzeyde hakim olup olmadığının ortaya çıkarılmasını sağlamaktadır. YZE alt gösterge payı yüzdelerinin ortalamaları değerlendirildiğinde **Senaryo 1** ile elde edilen YZE skorlarının diğer senaryolara göre 16 YZE alt göstergesini daha dengeli bir biçimde temsil ettiği sonucuna varılmaktadır.

Çalışmada **Senaryo 1** ile elde edilen YZE skorları hem YZE alt göstergeleri hem de YZE kategorileri düzeyinde ayrıştırılarak YZE alt gösterge ve kategori payları elde edilmiştir. Bu bölümde ise **Senaryo 1** ile elde edilen YZE, ülkelerin göreceli yapay zeka yetenek, kapasite ve potansiyelini ortaya koymadaki ayırt edici gücü daha yüksek olduğu, 16 YZE alt göstergesinin temsil ettiği bilgiyi daha geniş kapsamda yansıttığı ve dolayısıyla daha dengeli bir biçimde temsil ettiği için **Senaryo 1** ile elde edilen

YZE alt gösterge ve kategori payları kullanılarak ülke bazında YZE alt göstergelerinin ve kategorilerinin göreceli önemlerinin açıklanması ve ülkelerin ana sürücülerinin, güçlü ve zayıf yönlerinin belirlenmesi amaçlanmaktadır.

VZA tabanlı ŞLKY ağırlıklandırma yönteminde her bir alt gösterge payı kompozit endeksin bir başarı boyutunu temsil etmek üzere alt gösterge paylarının toplamı kompozit endeks skorunu vermektedir. Kompozit endeksi oluşturan alt gösterge paylarının her biri ilgili alt göstergenin kompozit endeks skoruna ne kadar katkıda bulunduğunu göstermektedir. Bir ülkenin alt gösterge paylarının toplamı ülkenin kompozit endeks skorunu verirken alt gösterge paylarının göreceli büyüklüğü ise alt göstergelerin göreceli önemini yansıtmaktadır. ŞLKY ağırlıklandırma yönteminde alt gösterge paylarının göreceli büyüklüğü dolayısıyla alt göstergelerin göreceli önemi ülkelere özgüdür.⁴⁸⁵

Çalışmada YZE alt gösterge paylarının göreceli büyüklüğü, YZE alt gösterge paylarının yüzdeleri ile ifade edilmektedir. YZE alt gösterge paylarının yüzdeleri (YZE alt göstergesinin YZE skoruna yüzde olarak katkısı), YZE alt göstergelerinin göreceli önemlerini yansıtmaktadır. ŞLKY ağırlıklandırma yönteminde endojen ağırlıklandırmadan dolayı ülkelere özgü ağırlıklandırma şemaları elde edildiği için YZE alt gösterge ve kategori paylarının dağılım modeli de ülkeye özgüdür. Bu nedenle YZE alt göstergelerinin ve kategorilerinin göreceli önemi de ülkeden ülkeye farklılık gösterebilmektedir.

Çalışmada öncelikle genel olarak bir değerlendirme yapmak açısından **Senaryo 1** için 120 ülkenin YZE alt gösterge payı yüzdelerinin ortalamaları Şekil 3.7’de ve YZE kategori payı yüzdelerinin ortalamaları ise Şekil 3.8’de gösterilmektedir. 120 ülke için 16 YZE alt gösterge paylarının paylaşılması zor olacağı için ülke bazında YZE alt gösterge paylarının paylaşılması ve dolayısıyla YZE alt göstergelerinin göreceli önemlerinin değerlendirilmesi Tablo 3.13’te **Senaryo 1** ile elde edilen YZE skorlarına göre sadece ilk 5 ülke ve Türkiye için yapılmaktadır. YZE kategori payları ise 120 ülke için Şekil 3.9’da grafiksel olarak paylaşılarak ülke bazında YZE kategorilerinin

⁴⁸⁵ Cherchye, Moesen, Rogge, Van Puyenbroeck, a.g.e., pp.123-125.

göreceli önemlerinin açıklanması ve ülkelerin ana sürücülerinin, güçlü ve zayıf yönlerinin belirlenmesi amaçlanmaktadır.

Şekil 3.7 incelendiğinde 16 YZE alt göstergesinden 2 tanesinin (**AYDS** ve **IKBUBG**) YZE skoruna yüzde olarak katkılarının ortalamalarının %3'ün altında ve 3 tanesinin (**EDGE**, **İD** ve **ANDBD**) %9'un üzerinde olduğu görülmektedir. Genel olarak göreceli önemi en fazla olan alt göstergeler **EDGE**, **İD** ve **ANDBD** iken göreceli önemi en az olan alt göstergeler ise **AYDS**, **IKBUBG**, **HSGBAS** ve **HIKDS**'dir. YZE alt gösterge paylarının dağılım modeli ülkeye özgü olmakla birlikte ülke bazında YZE alt gösterge payı yüzdeleri incelendiğinde **Senaryo 1**'e göre her ülke için YZE alt göstergelerinin en az 10 tanesinin YZE skoruna katkısının %3'ten büyük olduğu belirlenmiştir.

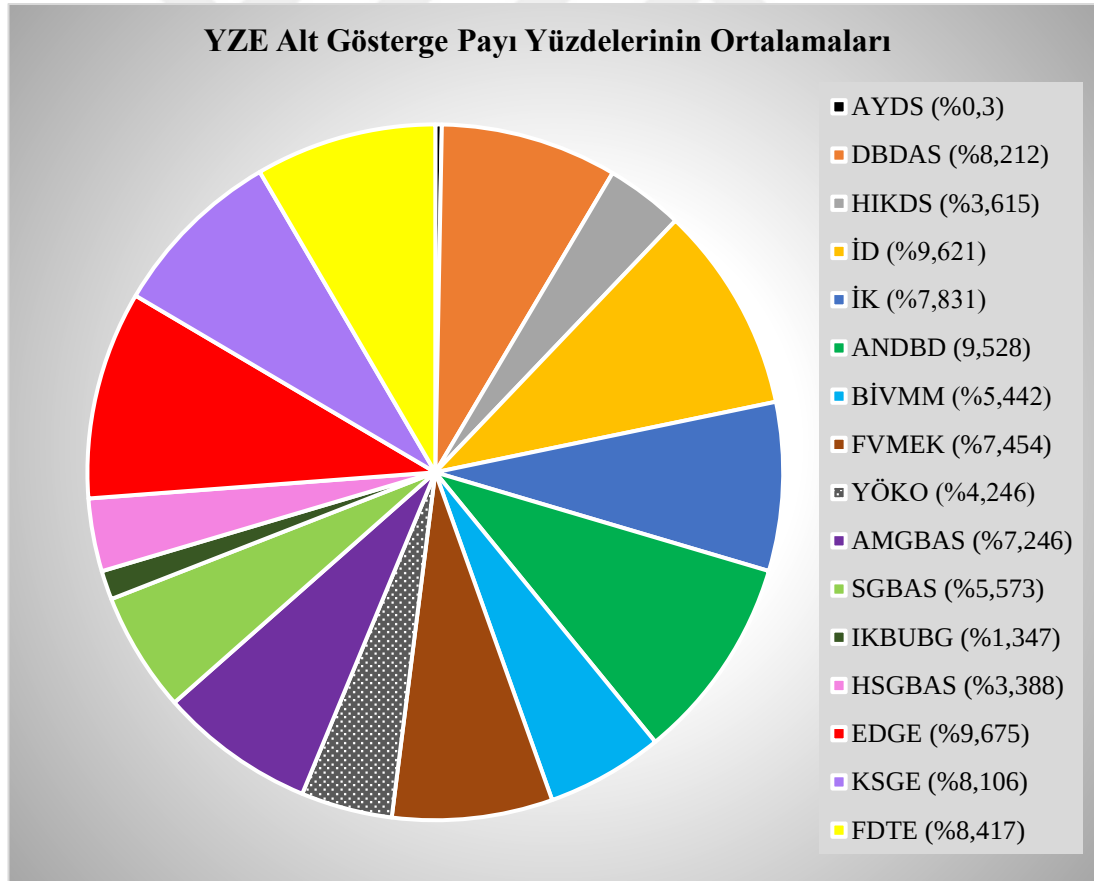
Şekil 3.8 incelendiğinde YZE kategorilerinin YZE skoruna yüzde olarak katkılarının ortalamalarının yaklaşık %26,67 ile %12,13 arasında değiştiği görülmektedir. Genel olarak YZE kategorilerinin göreceli önemi, YZE skoruna katkısı en fazla olandan en az olana doğru “Beşeri Sermaye, Dijital Teknoloji Olgunluk Düzeyi, Geniş Bant Bağlantısı, İnovasyon Ekosistemi ve Yapay Zeka İle İlgili Araştırma Çalışmaları” şeklinde sıralanmaktadır. YZE kategori paylarının dağılım modeli ülkeye özgü olup, YZE kategorilerinin göreceli önemi ülkeden ülkeye farklılık gösterebilmektedir. Ülke bazında YZE kategori payı yüzdeleri incelendiğinde **Senaryo 1**'e göre çoğu ülke için 5 kategoriden 4'ünün alt veya üst sınıra eşit olduğu görülmektedir.

Çalışmada 120 ülke için 16 tane YZE alt göstergesinin YZE skoruna katkılarını yani YZE alt gösterge paylarını (120x16=1920 tane) paylaşmak ve değerlendirmek zor olacağı için ülke bazında YZE alt göstergelerinin YZE skoruna katkılarının değerlendirilmesi belirli ülkeler için yapılmaktadır. Tablo 3.13'te **Senaryo 1** ile elde edilen YZE skorlarına göre ilk 5 ülkenin ve Türkiye'nin YZE alt gösterge payları bulunmaktadır. Bir ülkenin YZE alt gösterge paylarının toplamı, o ülkenin YZE skorunu vermektedir.⁴⁸⁶ Tablo 3.13 incelendiğinde YZE alt göstergelerinin göreceli önemlerinin ülkeden ülkeye farklılık gösterdiği görülmektedir. YZE skorları birbirine çok yakın olan ülkeler için de farklı YZE alt gösterge payı dağılım modelleri elde

⁴⁸⁶ Cherchye, Moesen, Rogge, Van Puyenbroeck, Saisana, Saltelli, Liska, Tarantola, **a.g.e.**, pp.242.

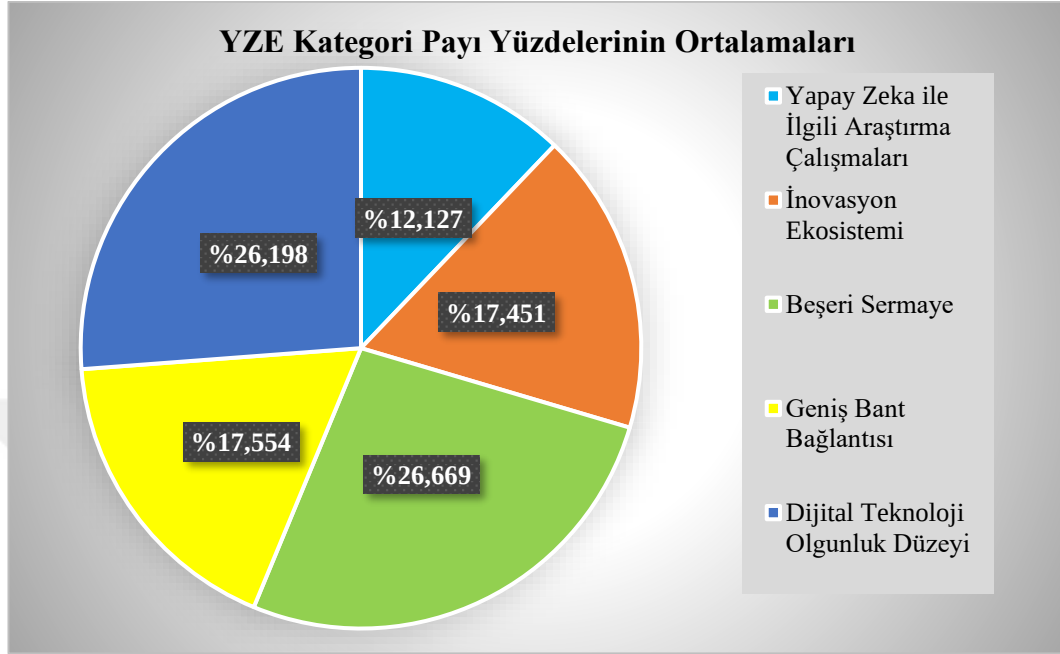
edilmektedir. (Örneğin ABD ve İsviçre) ABD'nin **HIKDS** alt göstergesinin YZE skoruna katkısı %9,5'ten fazla iken aynı YZE alt göstergesi İsviçre'nin YZE skorunun sadece yaklaşık %2'sini oluşturmaktadır. **SGBAS** alt gösterge payının yüzdesi ABD için yaklaşık %9 iken Türkiye'nin YZE skorunun sadece yaklaşık %1,56'sı bu alt gösterge tarafından temsil edilmektedir. **AYDS** alt göstergesinin YZE skoruna katkısı ABD için yaklaşık %9,5 iken İsviçre, Hollanda, Singapur, Birleşik Krallık ve Türkiye bu alt göstergeyi tamamen ihmal ederek YZE skorlarını en üst seviyeye çıkarmışlardır.⁴⁸⁷ (Bölüm 3.2.6.2'de ŞLKY ağırlıklandırma yönteminin metodolojisine dayandırılarak gerekçelendirilmek suretiyle **Senaryo 1**'de her bir YZE alt göstergesinin YZE skoruna katkısının %0 ile %10 arasında değiştiği belirtilmiştir.)

Şekil 3.7: 120 Ülkenin Senaryo 1 ile Elde Edilen YZE Alt Gösterge Payı Yüzdelерinin Ortalamaları



⁴⁸⁷ A.e., pp.242-243.

Şekil 3.8: 120 Ülkenin Senaryo 1 ile Elde Edilen YZE Kategori Payı Yüzdelelerinin Ortalamaları



Tablo 3.13: Senaryo 1 ile Elde Edilen YZE Skorlarına Göre İlk 5 Ülkenin ve Türkiye'nin YZE Alt Gösterge Payları ve YZE Skorları

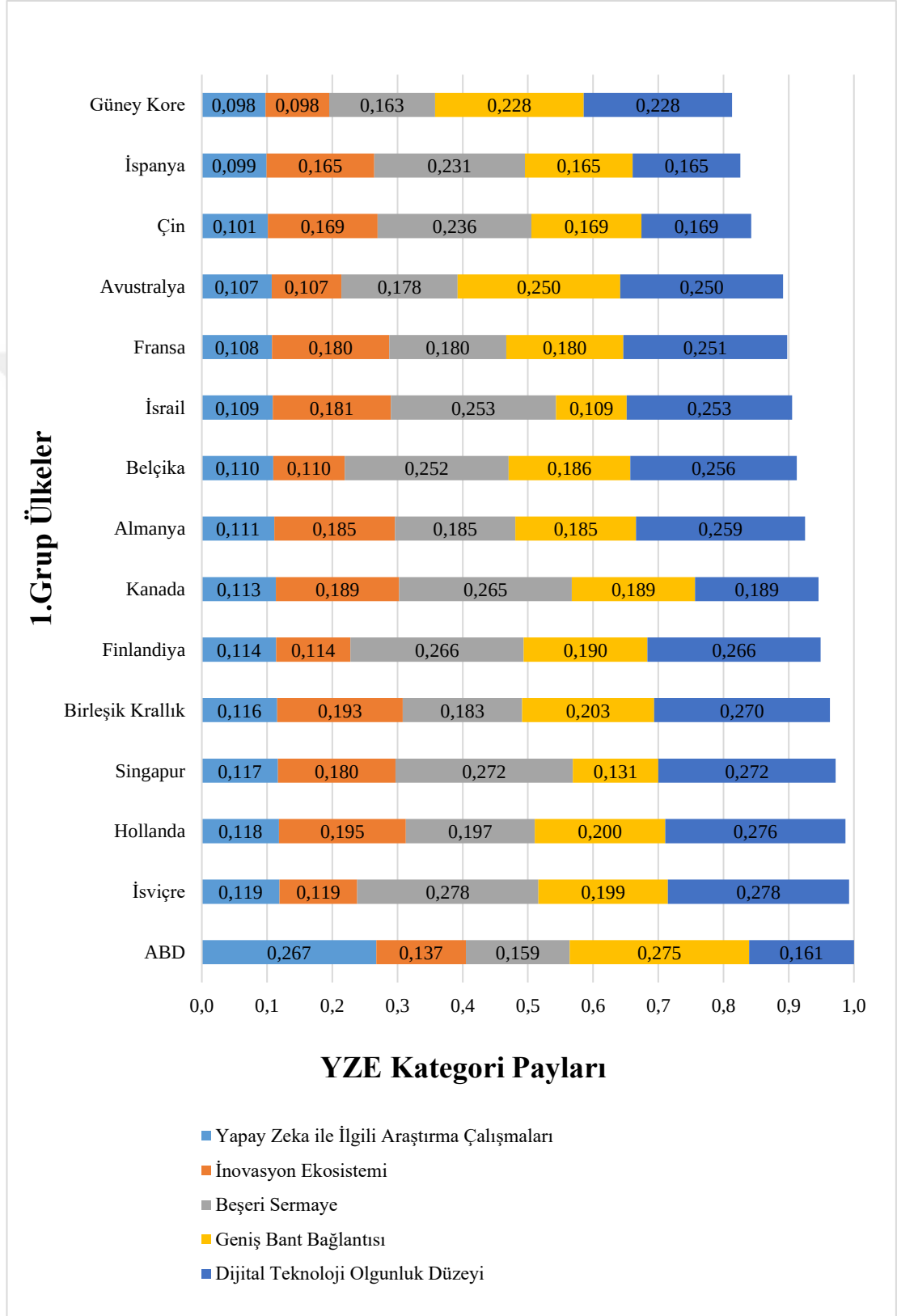
YZE Alt Göstergeleri	ABD	İsviçre	Hollanda	Singapur	Birleşik Krallık	Türkiye
AYDS	0,09459	0	0	0	0	0
DBDAS	0,07745	0,09925	0,0987	0,09721	0,09254	0,06792
HIKDS	0,09543	0,01985	0,01974	0,01944	0,02304	0,01358
İD	0,04483	0,01985	0,0987	0,09721	0,09632	0,06792
İK	0,0925	0,09925	0,09583	0,08292	0,09632	0,06792
ANDBD	0,01328	0,09925	0,0987	0,09721	0,09632	0,05434
BİVMM	0,03266	0,0794	0	0	0,0864	0,06792
FVMEK	0,01738	0,09925	0,0987	0,09721	0	0
YÖKO	0,09598	0	0	0,07776	0	0,06792
AMGBAS	0,0942	0	0	0,09721	0	0,06792
SGBAS	0,08968	0,09925	0,0987	0	0,09632	0,0106
IKBUBG	0,0031	0	0,00286	0,03373	0,00992	0,00298
HSGBAS	0,08809	0,09925	0,0987	0	0,09632	0
EDGE	0,05023	0,09925	0,0987	0,09721	0,09632	0,06792
KSGE	0,08092	0,0794	0,07896	0,09721	0,09632	0,06792
FDTE	0,02968	0,09925	0,0987	0,07776	0,07705	0,05434
YZE	1	0,99255	0,98695	0,97206	0,96317	0,67919

Çalışmada ülkelerin iyi veya kötü performanslarını açıklayan güçlü ve zayıf yönlerinin belirlenmesi ve ülke bazında YZE kategorilerinin göreceli önemlerinin açıklanması amacıyla Şekil 3.9’da 120 ülke için YZE kategori payları grafiksel olarak gösterilmektedir. Bilindiği gibi bir ülkenin YZE kategori paylarının toplamı o ülkenin YZE skorunu vermektedir. YZE kategori paylarının dağılım modeli ülkeye özgü olup, YZE kategorilerinin göreceli önemi de ülkeden ülkeye farklılık gösterebilmektedir. YZE skorunun kategori düzeyinde ayrıştırılmasıyla her bir ülkenin ulusal yapay zeka yetenek, kapasite ve potansiyelinin profili çıkarılarak ülke bazında ana sürücülerin belirlenmesi ve YZE kategorilerinin göreceli önemlerinin saptanması sağlanmaktadır. YZE kategori paylarının karşılaştırılmasını ve yorumlanmasını kolaylaştırmak için grafik 6 YZE ülke grubu için ayrı ayrı hazırlanmıştır.

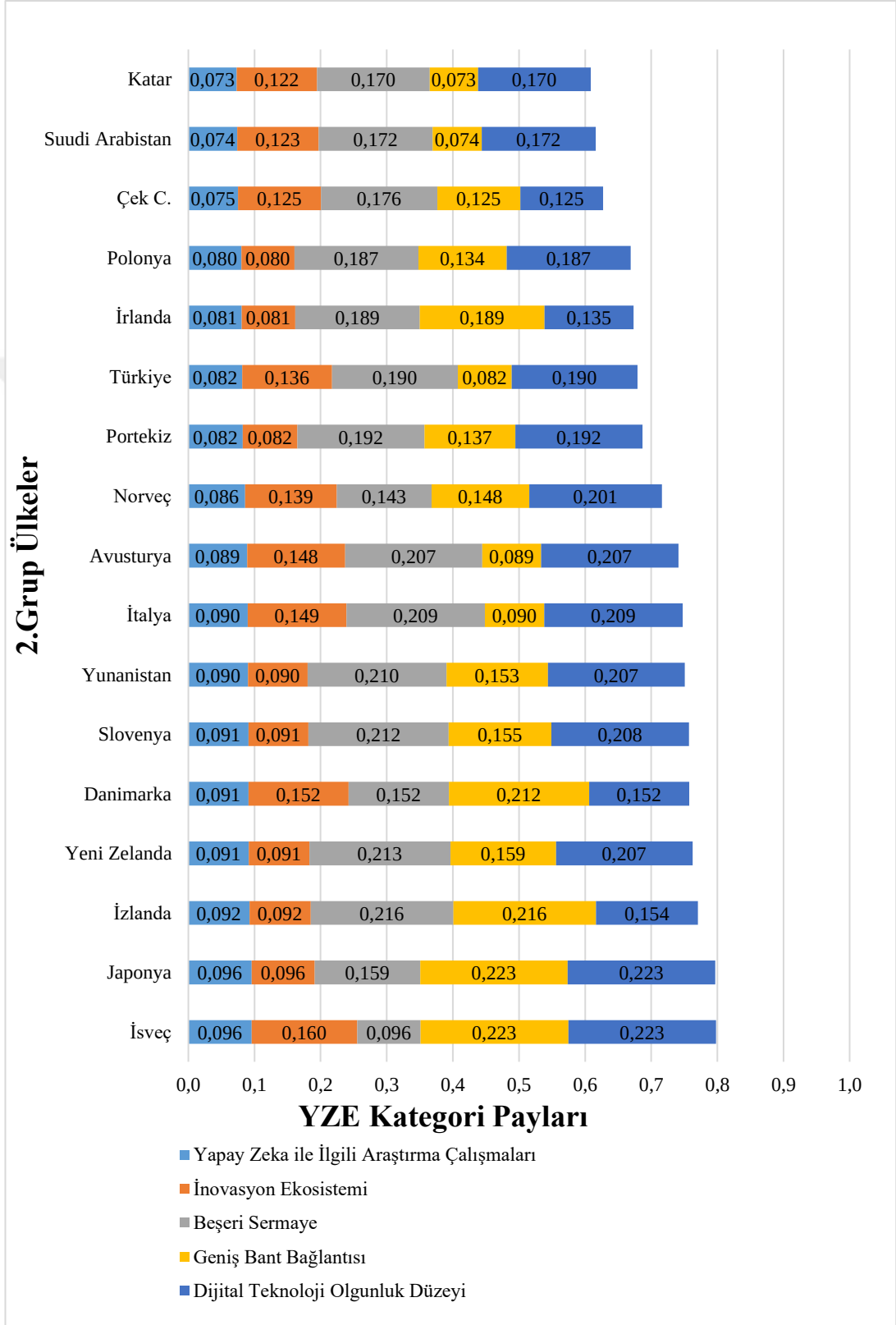
Şekil 3.9’da 1.Grup ülkelerin YZE kategori payları incelendiğinde YZE skorları birbirine çok yakın olan iki ülkeden ABD’nin “Yapay Zeka ile İlgili Araştırma Çalışmaları” ve “Geniş Bant Bağlantısı” kategorilerinde, İsviçre’nin “Beşeri Sermaye” ve “Dijital Teknoloji Olgunluk Düzeyi” kategorilerinde güçlü olduğu görülmektedir. “Dijital Teknoloji Olgunluk Düzeyi” kategorisi Güney Kore, Avustralya, Fransa, İsrail, Belçika, Almanya, Finlandiya, Birleşik Krallık, Singapur, Hollanda ve İsviçre için güçlü oldukları bir bileşen iken “Yapay Zeka ile İlgili Araştırma Çalışmaları” kategorisi ise zayıf oldukları bir bileşendir. “Beşeri Sermaye” kategorisi İsviçre, Singapur, Finlandiya, Kanada, Belçika, İsrail, Çin ve İspanya’nın “Geniş Bant Bağlantısı” kategorisi ise ABD, Avustralya ve Güney Kore’nin iyi performanslarının ana sürücüsü olma özelliğini taşımaktadır.

2.Grup ülkeler arasında bulunan Türkiye’nin güçlü yönleri “Dijital Teknoloji Olgunluk Düzeyi” ve “Beşeri Sermaye” kategorileri iken zayıf yönleri “Yapay Zeka ile İlgili Araştırma Çalışmaları” ve “Geniş Bant Bağlantısı” kategorileridir. Şekil 3.9 incelendiğinde YZE kategorilerinin göreceli önemlerinin ülkeden ülkeye farklılık gösterdiği görülmektedir. (YZE kategori paylarının dağılım modeli ülkeye özgüdür.) YZE kategori paylarına bakılarak her bir ülke için güçlü ve zayıf olduğu yönler, iyi veya kötü performanslarının altında yatan nedenler kolaylıkla açıklanabilmektedir.

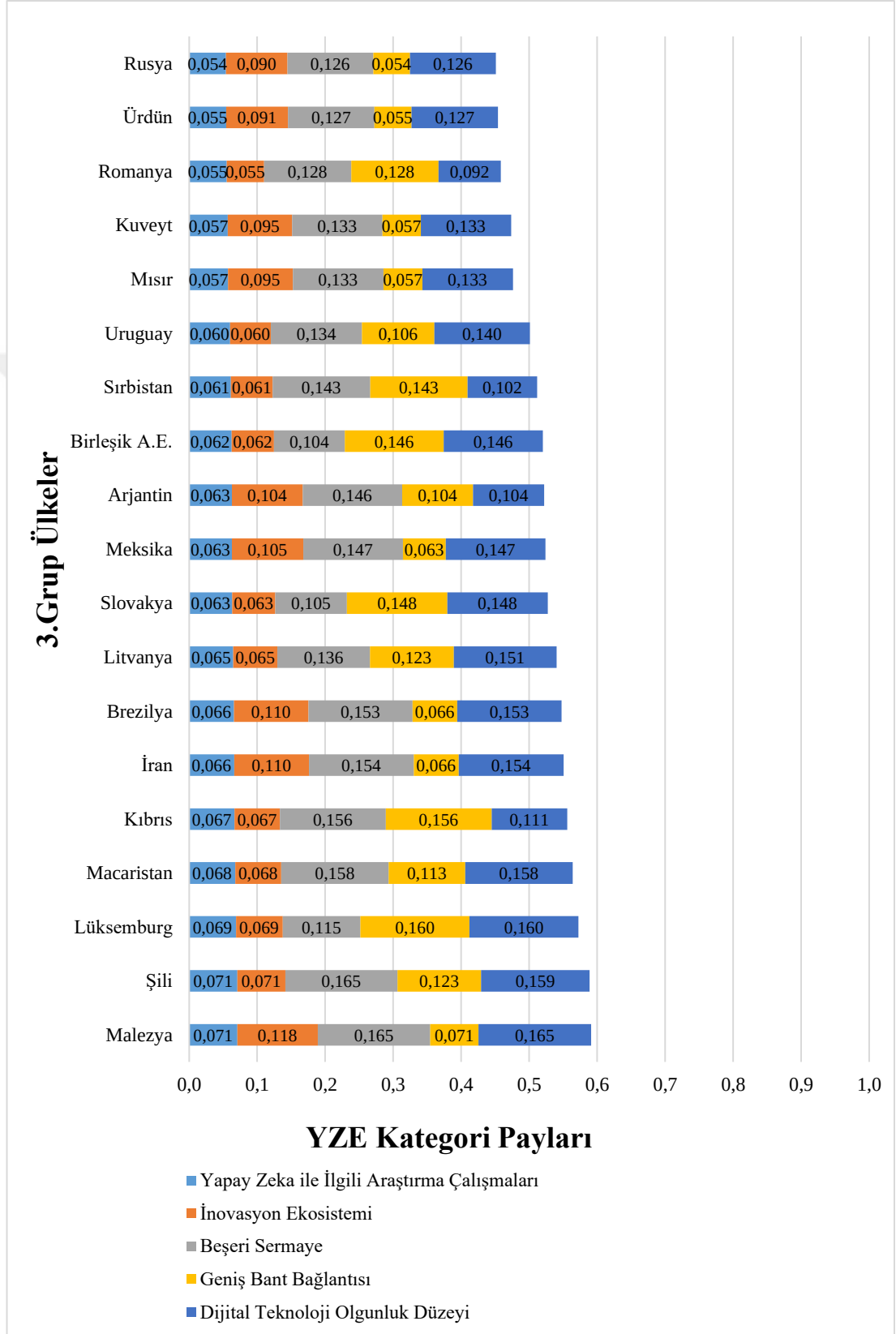
Şekil 3.9: Senaryo 1'e Göre 120 Ülkenin YZE Kategori Payları



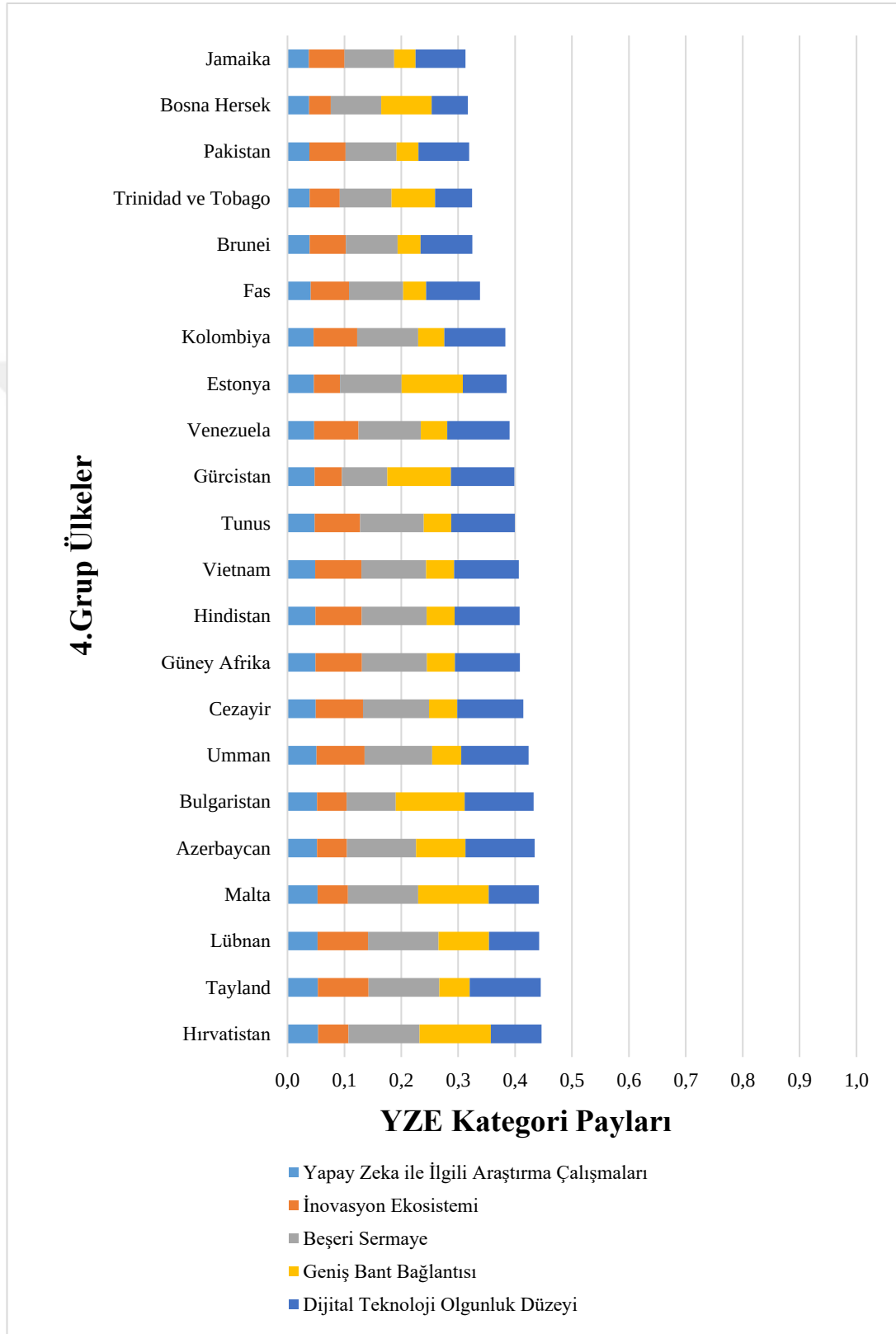
Şekil 3.9: Devamı



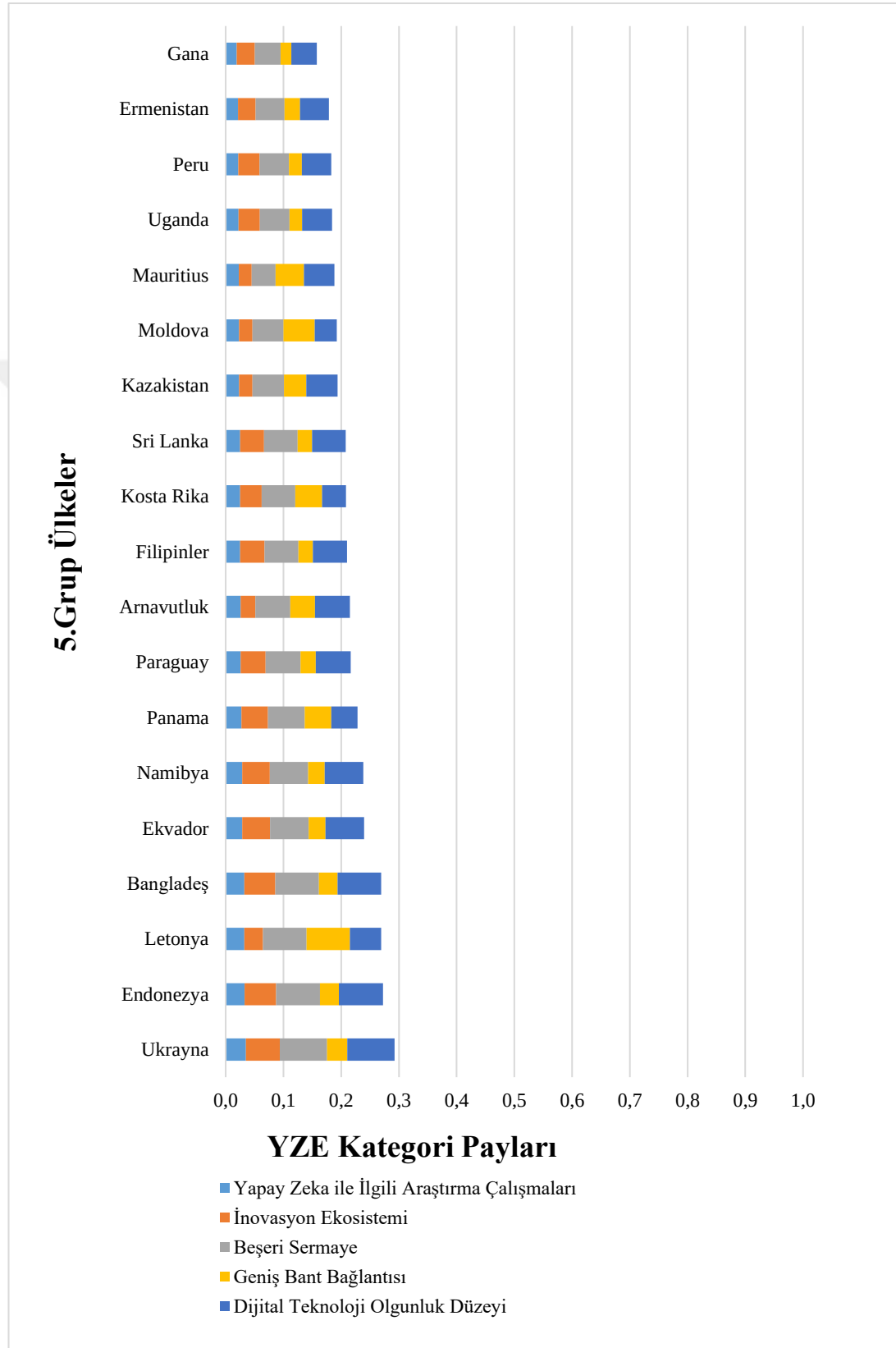
Şekil 3.9: Devamı



Şekil 3.9: Devamı (Ülkelerin veri değerleri grafik üzerinde gösterilmemektedir.)



Şekil 3.9: Devamı (Ülkelerin veri değerleri grafik üzerinde gösterilmemektedir.)



Şekil 3.9: Devamı (Ülkelerin veri değerleri grafik üzerinde gösterilmemektedir.)



3.2.9. Kompozit Endeksin İlgili Diğer Göstergelerle İlişkisinin Kurulması

Bir kompozit endeksin veya bileşenlerinin mevcut olan basit veya kompozit ilgili diğer göstergelerle ilişkisinin kurulması ve regresyon analizi aracılığıyla ilişkilerin tanımlanması değerli sonuçlara ulaşılmasına temel hazırlayarak veriye dayalı çeşitli anlatılar geliştirilmesini sağlamaktadır.⁴⁸⁸ Ayrıca kompozit endeksin teorik anlamda ilgili olan diğer göstergelerle ilişkisinin kurulması kompozit endeksin açıklayıcı gücünün test edilmesine de imkan vermektedir.⁴⁸⁹

Çalışmada daha önceki bölümlerde **Senaryo 1** ile elde edilen YZE skorlarının diğer ağırlıklandırma senaryolarına göre ülkelerin göreceli yapay zeka yetenek, kapasite ve potansiyelini ortaya koymadaki ayırt edici gücünün daha yüksek olduğu ve 16 YZE alt göstergesinin temsil ettiği bilgiyi daha geniş kapsamda yansıttığı ve dolayısıyla daha dengeli bir biçimde temsil ettiği ifade edilmiştir. Bununla birlikte yapılan belirsizlik ve duyarlılık analizleriyle **Senaryo 1** ile elde edilen YZE skorlarının ve ülke sıralamalarının çeşitli ağırlıklandırma senaryolarına olan duyarlılıkları test edilerek sağlamlığı değerlendirilmiş ve **Senaryo 1** ile elde edilen YZE sonuçlarının küresel düzeyde ülkelerin yapay zeka yetenek, kapasite ve potansiyelinin güvenilir bir resmini sunduğu sonucuna varılmıştır. Yukarıdaki nedenlere dayandırılarak **Senaryo 1** ile elde edilen YZE skorlarının ve YZE kategorileri paylarının teorik anlamda ilgili olan diğer göstergelerle ilişkinin kurulmasına imkan verecek kalite ve yeterlilikte olduğunu söylemek mümkündür.

Bu bölümde ülkelerin yapay zeka yetenek, kapasite ve potansiyel seviyelerinin ekonomik gelişmeleri üzerindeki etkisinin araştırılması amacıyla YZE skorları ve YZE kategori payları ile ekonomik gelişme göstergeleri arasındaki ilişkinin analizi yapılmaktadır. **Bölüm 1.2**'de yapılan detaylı literatür araştırmasına göre ilişki analizinde ekonomik gelişme göstergeleri olarak kişi başına düşen GSYİH ve işgücü verimliliği kullanılmaktadır. **Senaryo 1** ile elde edilen YZE skorları, ülkelerin

⁴⁸⁸ Nardo, Saisana, Saltelli, Tarantola, Hoffmann, Giovannini, **a.g.e.**, p.21.

⁴⁸⁹ **A.e.**, p.39.

ekonomik gelişme göstergeleriyle anlamlı ve sağlıklı bir bağımlılık ilişkisinin kurulabilmesi için yeterli düzeyde gerçekçi ve güvenilirliği yüksek özellikler taşımaktadır.

3.2.9.1. Yapay Zeka Endeksi'nin Ekonomik Gelişme Göstergeleriyle İlişkisinin Kurulması

Çalışmalar yapay zekanın daha hızlı bir ekonomik büyümenin yolunu açtığını ve işgücü verimliliğinde büyük ve hızlı sıçramalar sağladığını göstermektedir. Yapay zekanın potansiyel ekonomik etkilerinin analiz edildiği birçok çalışmada, yapay zekanın “ulusal ekonomik büyümeyi artırma etkisi” ve “işgücü verimliliğini yeniden canlandırma etkisi” vurgulanmaktadır. Yapay zeka, insanların yaşama ve çalışma şekillerini temelden değiştirerek ülkelerin ekonomik büyüme ve küresel rekabet gücü için itici bir güç olma potansiyeli taşımaktadır. **Bölüm 1.2**'de yapılan literatür araştırmasında yapay zekanın ekonomik etkisi detaylı bir şekilde incelenmektedir.

Çalışmalarda ülkeler arasındaki değişen şartların yapay zekanın benimsenmesinin ve özümsemesinin düzeyini belirlediği ve dolayısıyla ülkelerin yapay zeka kaynaklı ekonomik büyümeden elde edeceği kazancı şekillendirdiği vurgulanmaktadır. Yapay zeka yeteneklerini, kapasitesini ve yapay zekanın alımını ve gelişmesini sağlayan etkinleştirici ve kolaylaştırıcı faktörleri güçlendirmek için aktif adımlar atan ülkelerin yapay zekayı benimseme konusunda önemli yol alabileceği ifade edilmektedir. Yapay zekanın potansiyel ekonomik etkisi ile ilgili analizler ülkelerin yapay zeka kaynaklı ekonomik kazanımlarının seviyesinin yapay zekayı benimseme ve özümseme oranlarına bağlı olduğunu göstermektedir.⁴⁹⁰ **Bölüm 1.3**'te yapılan literatür araştırmasında yapay zekanın benimsenmesini ve özümsemesini etkileyen faktörler detaylı bir şekilde incelenmektedir.

Ülkeler yapay zeka yetenek, kapasite ve potansiyelini artırıcı önlemler almadıkça ve uygun stratejiler izlemedikçe zamanla ülkeler arasındaki yapay zekayı özümseme seviyelerindeki farklılıkların belirgin bir şekilde artarak ülkeler arasında telafi

⁴⁹⁰ Bughin, Seong, Manyika, Chui, Joshi, **a.g.e.**, pp.30-34.

edilemez uçurumlar oluşması beklenmektedir. Çalışmalarda yapay zekanın özümseme seviyesi arttıkça, potansiyel ekonomik etkisi de arttığı için zamanla ülkelerin yapay zeka kaynaklı ekonomik büyümeden elde edilecek kazançları arasında da telafi edilemez uçurumlar oluşacağı olasılığı vurgulanmaktadır. Yapay zekanın dünya ekonomisi üzerindeki potansiyel etkisinin sürdürülebilir bir şekilde yakalanması için bu olasılığın yönetilmesi gerekmektedir.⁴⁹¹

Çalışmada ülkelerin yapay zeka yetenek, kapasite ve potansiyel seviyelerinin ekonomik performansları üzerindeki etkisinin araştırılması amacıyla YZE ile ekonomik gelişme göstergeleri arasındaki ilişkinin analizi yapılmaktadır. İlişki analizinde ekonomik gelişme göstergeleri olarak **Bölüm 1.2**'de yapılan detaylı literatür araştırmasına göre kişi başına düşen GSYİH ve işgücü verimliliği kullanılmaktadır. İlişkiye dayanan tahmin tekniklerinden olan Regresyon ve Korelasyon Analizi kullanılarak YZE skorlarının hem kişi başına düşen GSYİH (GDP per capita) ile hem de işçi başına düşen GSYİH (GDP per worker) ile ölçülen işgücü verimliliği ile bağlantısı kurulmaktadır. Regresyon ve Korelasyon Analizi aracılığıyla bağımlı değişkendeki değişkenliğin hangi bağımsız değişkenlere bağımlı olduğu ortaya çıkarılarak bu bağımsız değişkenlerin bağımlı değişken üzerindeki artış veya azalış yönündeki etkileri belirlenmektedir.⁴⁹²

Çalışmada ülkelerin ekonomik gelişme düzeylerinde yapay zeka yetenek, kapasite ve potansiyel seviyelerinin oynadığı rolün araştırılması amacıyla YZE skorlarının bağımsız değişken (**YZE**) olarak kullanıldığı 2 regresyon modeli geliştirilmektedir. Geliştirilen modellerde kullanılan bağımlı değişkenlerden biri (**KişiBaşınaGSYİH2019**) Uluslararası Para Fonu (International Monetary Fund) veri tabanından elde edilen, cari ABD doları cinsinden ifade edilen 2019 yılı kişi başına düşen GSYİH (GDP per capita, current US\$) değerleridir.⁴⁹³ Diğer bağımlı değişken (**İşçiBaşınaGSYİH2019**) ise Uluslararası Çalışma Örgütü (International Labour Organization) veri tabanından elde edilen satın alma gücü paritesine göre ayarlanmış

⁴⁹¹ A.e., pp.34-35.

⁴⁹² Neyran Orhunbilge, **Uygulamalı Regresyon ve Korelasyon Analizi**, 2.Baskı, İstanbul Üniversitesi Basım ve Yayınevi Müdürlüğü, İstanbul, 2002, s.11-12.

⁴⁹³ International Monetary Fund, "GDP Per Capita Current Prices", (Çevrimiçi), <https://www.imf.org/external/datamapper/NGDPDPC@WEO/ADVEC?year=2019>, 17.01.2020.

ve ABD doları cinsinden ifade edilen 2019 yılı istihdam edilen kişi (işçi) başına düşen GSYİH (Output per worker, GDP constant 2011 international \$ in PPP) değerleridir.⁴⁹⁴

Tablo 3.14’te regresyon modellerinde kullanılan bağımlı ve bağımsız değişkenlerin tanımlayıcı istatistikleri bulunmaktadır. Tablo incelendiğinde son derece yüksek değerlere sahip olan ve böylece ortalamayı artıran ülkeler nedeniyle bağımlı değişkenlerde çarpıklığın varlığı dikkat çekmektedir. Analize konu olan 120 ülkenin orijinal bağımlı değişkenlerinde aykırı değerleri olduğu için analizlerde bağımlı değişkenlere logaritmik dönüşüm uygulanmaktadır.

Tablo 3.14: Bağımlı ve Bağımsız Değişkenlerin Tanımlayıcı İstatistikleri

	Minimum Değer	Maksimum Değer	Ortalama	Standart Sapma	Çarpıklık
YZE	0,00295	1	0,42662	0,28313	0,405
KişiBaşınaGSYİH2019	370,747	113196,5	18239,07375	22067,52839	1,745
İşçiBaşınaGSYİH2019	2547	199367,5	50614,817	39828,2502	1,087

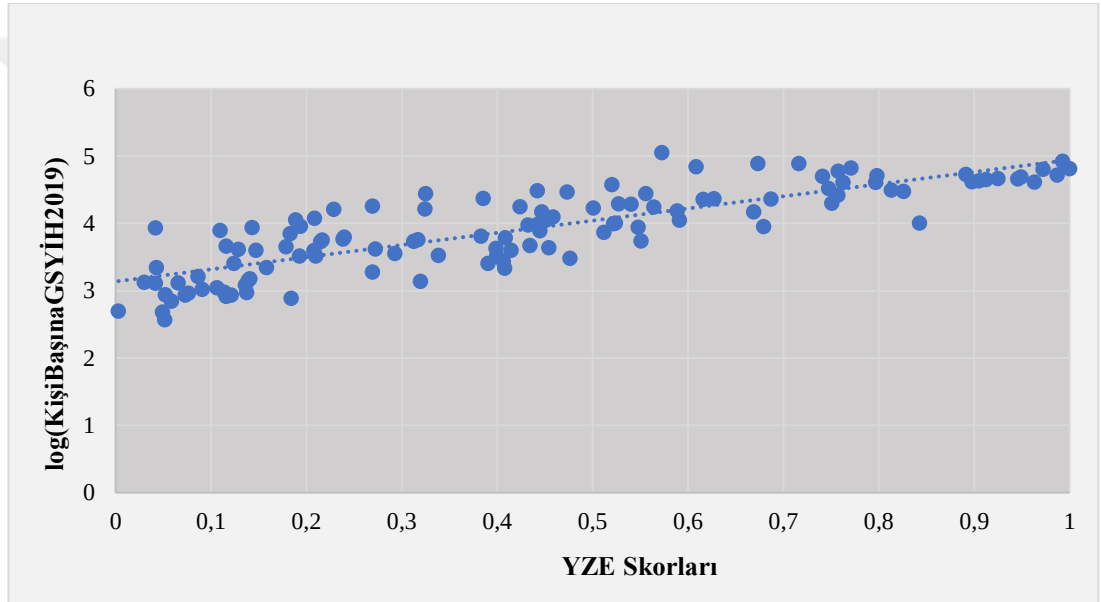
Çalışmada öncelikle ülkelerin yapay zeka yetenek, kapasite ve potansiyelinin ekonomik performansları üzerindeki etkisinin araştırılması amacıyla YZE skorları ile kişi başına düşen GSYİH ve işçi başına düşen GSYİH ile ölçülen ekonomik gelişme göstergeleri arasındaki ilişki serpilme diyagramlarıyla gösterilmektedir. Şekil 3.10’da YZE skorları ve logaritmik ölçekte ifade edilen kişi başına düşen GSYİH değerlerinin, Şekil 3.11’de YZE skorları ve logaritmik ölçekte ifade edilen işçi başına düşen GSYİH değerlerinin serpilme diyagramları bulunmaktadır.

Şekil 3.10 incelendiğinde YZE skorları ile logaritmik ölçekte ifade edilen kişi başına düşen GSYİH arasında 0,836 korelasyon katsayısıyla pozitif ve güçlü bir ilişki olduğu görülmektedir. Serpilme diyagramı ve korelasyon analizi sonuçlarından yola çıkılarak ülkelerin yapay zeka yetenek, kapasite ve potansiyel düzeyleri ile kişi başına düşen GSYİH ile ölçülen ekonomik gelişme düzeyleri arasında pozitif ve güçlü bir ilişki

⁴⁹⁴ International Labour Organization, “Output per worker, GDP constant 2011 international \$ in PPP”, (Çevrimiçi), https://www.ilo.org/shinyapps/bulkexplorer23/?lang=en&segment=indicator&id=GDP_211P_NOC_NB_A, 17.01.2020.

olduğu sonucuna varılmaktadır. Bu güçlü ve aynı yönde ilişki ülkelerin kişi başına düşen GSYİH değerlerini artırma politikası olarak yapay zeka yetenek, kapasite ve potansiyel düzeylerini artırma politikasını izleyebilecekleri anlamına gelmektedir. Ülkelerin yapay zeka yetenek, kapasite ve potansiyel düzeyi ne kadar yüksekse kişi başına düşen GSYİH düzeyi de o kadar yüksektir.

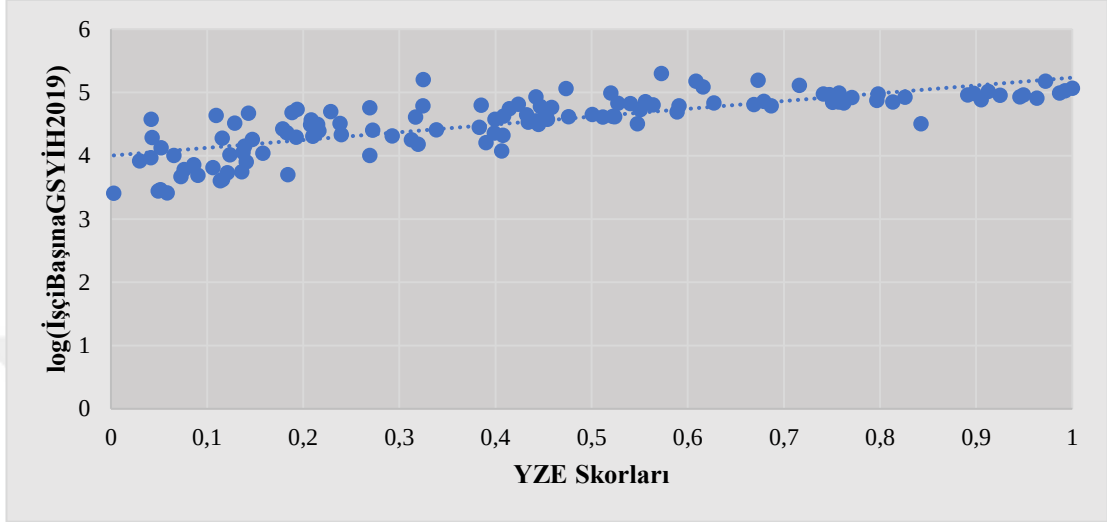
Şekil 3.10: YZE Skorları ile Kişi Başına Düşen GSYİH (logaritmik ölçekte) Arasındaki İlişkinin Serpilme Diyagramı
(Korelasyon Katsayısı:0,836)



Aynı şekilde Şekil 3.11 incelendiğinde YZE skorları ile logaritmik ölçekte ifade edilen işçi başına düşen GSYİH ile ölçülen işgücü verimliliği arasında 0,776 korelasyon katsayısıyla pozitif ve güçlü bir ilişki olduğu görülmektedir. Serpilme diyagramı ve korelasyon analizi sonuçlarından yola çıkılarak ülkelerin yapay zeka yetenek, kapasite ve potansiyel düzeyleri ile işçi başına düşen GSYİH ile ölçülen ekonomik gelişme düzeyleri arasında pozitif ve güçlü bir ilişki olduğu sonucuna varılmaktadır. Bu güçlü ve aynı yönde ilişki ülkelerin işçi başına düşen GSYİH değerlerini artırma politikası olarak yapay zeka yetenek, kapasite ve potansiyel düzeylerini artırma politikasını izleyebilecekleri anlamına gelmektedir. Ülkelerin yapay zeka yetenek, kapasite ve potansiyel düzeyi ne kadar yüksekse işçi başına düşen GSYİH düzeyi de o kadar yüksektir.

Şekil 3.11: YZE Skorları ile İşçi Başına Düşen GSYİH (logaritmik ölçekte) Arasındaki İlişkinin Serpilme Diyagramı

(Korelasyon Katsayısı:0,776)



Çalışmada ayrıca YZE kategori paylarının da ekonomik gelişme göstergeleriyle ilişkisi araştırılmaktadır. Korelasyon analizi sonuçlarından yola çıkılarak tüm YZE kategori paylarının ekonomik gelişme göstergeleriyle aralarında pozitif ve istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki olduğu görülmektedir. YZE skorları ve YZE kategori payları ile bağımlı değişkenler arasındaki korelasyon katsayıları Tablo 3.15'te bulunmaktadır.

Tablo 3.15: YZE Skorları ve YZE Kategori Payları ile Bağımlı Değişkenler (logaritmik ölçekte) Arasındaki Korelasyon Katsayıları

(Tüm korelasyon katsayıları %1 düzeyinde anlamlıdır.)

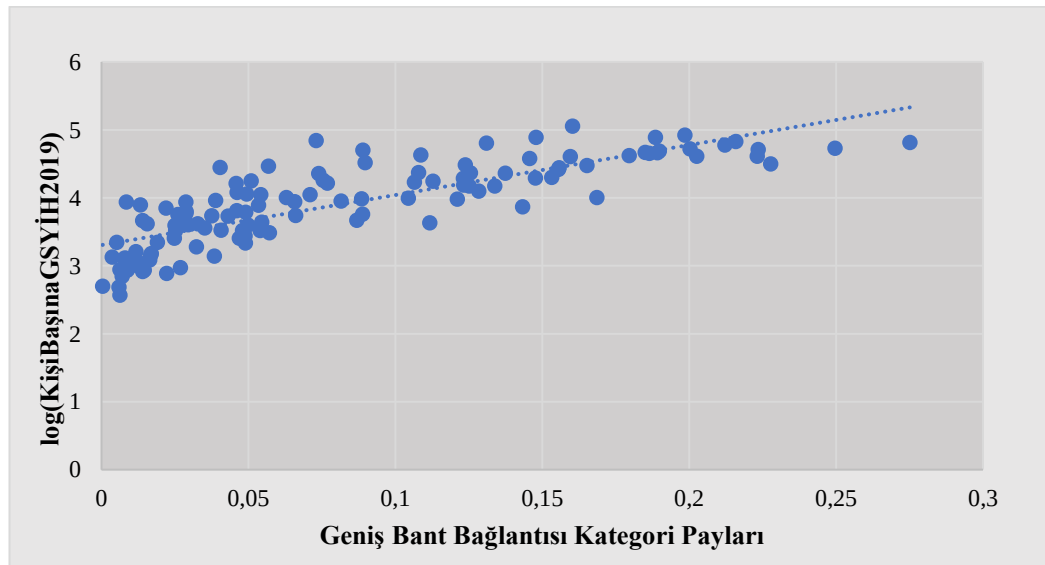
	log(KişiBaşınaGSYİH2019)	log(İşçiBaşınaGSYİH2019)
YZE	0,836	0,776
Yapay Zeka ile İlgili Araştırma Çalışmaları	0,779	0,717
İnovasyon Ekosistemi	0,718	0,683
Beşeri Sermaye	0,785	0,749
Geniş Bant Bağlantısı	0,821	0,723
Dijital Teknoloji Olgunluk Düzeyi	0,793	0,745

Tablo 3.15 incelendiğinde YZE kategori paylarının logaritmik ölçekte ifade edilen kişi başına düşen GSYİH değerleri ile arasındaki en küçük korelasyon katsayısının 0,718 olduğu görülmektedir. Buna göre YZE kategori paylarının logaritmik ölçekte ifade edilen kişi başına düşen GSYİH ile aralarında güçlü bir ilişki olduğunu söylemek mümkündür. Korelasyon katsayıları birbirine çok yakın olmakla birlikte kişi başına düşen GSYİH ekonomik gelişme göstergesi ile en yüksek korelasyon katsayısına sahip YZE kategorisi 0,821 korelasyon katsayısı değeri ile “Geniş Bant Bağlantısı” kategorisidir.

Geniş bant bağlantısı yapay zeka teknolojilerinin alımı, uygulanması ve geliştirilmesi için temel ve ön koşul niteliğindedir. Güvenilir ve yüksek kapasiteli geniş bant bağlantısı olmadan yapay zeka teknolojilerinin geliştirilmesinin mümkün olmadığı belirtilmektedir. Kaliteli, güvenilir ve yüksek kapasiteli geniş bant bağlantısı, merkezi konumu ve anahtar unsur olma özelliğiyle yapay zekanın dijital bileşenlerinin işlevlerinin toplulaştırılarak ve birbirlerini tamamlayarak yapay zeka teknolojilerinin alımı, uygulanması ve geliştirilmesi için temel teşkil etmektedir. Şekil 3.12’de “Geniş Bant Bağlantısı” kategori payları ile kişi başına düşen GSYİH (logaritmik ölçekte) arasındaki ilişki serpilme diyagramı ile gösterilmektedir.

Şekil 3.12: Geniş Bant Bağlantısı Kategori Payları ile Kişi Başına Düşen GSYİH (logaritmik ölçekte) Arasındaki İlişkinin Serpilme Diyagramı

(Korelasyon Katsayısı:0,821)



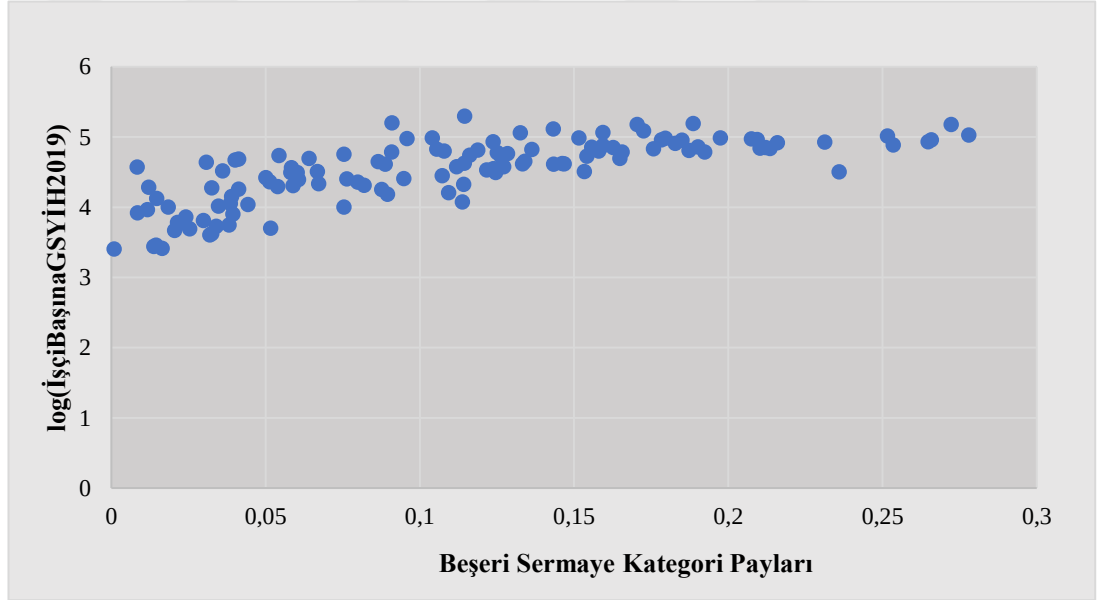
“Geniş Bant Bağlantısı” kategori payları ile kişi başına düşen GSYİH (logaritmik ölçekte) arasındaki pozitif ve güçlü ilişkiye göre daha yüksek kişi başına düşen GSYİH düzeyinin daha kaliteli ve yüksek kapasiteli geniş bant bağlantısı ile ilişkili olduğu sonucuna varılmaktadır. Başka bir deyişle yapay zeka teknolojilerini benimsemeye ve uygulamada geniş bant bağlantısı yeterliliği ve kapasitesi ile kişi başına düşen GSYİH arasında aynı yönde ve güçlü bir ilişki olduğu görülmektedir. Bu güçlü ve aynı yönde ilişki ülkelerin kişi başına düşen GSYİH değerlerini artırma politikası olarak geniş bant bağlantısı kalitesini ve kapasitesini artırma politikasını izleyebilecekleri anlamına gelmektedir.

Tablo 3.15 incelendiğinde YZE kategori paylarının logaritmik ölçekte ifade edilen işçi başına düşen GSYİH değerleri ile arasındaki en küçük korelasyon katsayısının 0,683 olduğu görülmektedir. Buna göre “İnovasyon Ekosistemi” kategorisi dışında YZE kategori paylarının logaritmik ölçekte ifade edilen işçi başına düşen GSYİH ile aralarında güçlü bir ilişki olduğunu söylemek mümkündür. Korelasyon katsayıları birbirine çok yakın olmakla birlikte işgücü verimliliği ekonomik gelişme göstergesi ile en yüksek korelasyon katsayısına sahip YZE kategorisi 0,749 korelasyon katsayısı değeri ile “Beşeri Sermaye” kategorisidir.

Beşeri sermaye ülkelerin yapay zeka ve ilgili alanlarda önemli ilerlemeler kaydetmesini sağlayan “yapay zeka araştırmacıları ve bilim adamları”, çeşitli alanlarda ve uygulamalarda yapay zeka çözümleri ve yöntemleri geliştiren “yapay zeka uzmanları” ve geliştirilen yapay zeka sistemlerinin çalışmasını, uygulanmasını ve kullanılmasını sağlayan “yetenekli işgücünün” mevcudiyetini ve dolayısıyla ülkelerin yapay zeka teknolojilerini kullanma, uygulama ve geliştirme yetenek, kapasite ve potansiyelini belirlemektedir. Şekil 3.13’te “Beşeri Sermaye” kategori payları ile işçi başına düşen GSYİH (logaritmik ölçekte) arasındaki ilişki serpilme diyagramı ile gösterilmektedir. “Beşeri Sermaye” kategori payları ile işçi başına düşen GSYİH (logaritmik ölçekte) arasındaki pozitif ve güçlü ilişkiye göre daha yüksek işçi başına düşen GSYİH düzeyinin daha yetenekli ve kabiliyetli yapay zeka teknolojilerinin gelişmesini, çalışmasını, uygulanmasını ve kullanılmasını sağlayan yapay zeka araştırmacıları ve bilim adamları, yapay zeka uzmanları ve işgücünün

mevcudiyeti ile ilişkili olduğu sonucuna varılmaktadır. Başka bir deyişle yapay zeka teknolojilerini geliştirmede, benimsemede ve uygulamada beşeri sermaye yeterliliği ve kapasitesi ile işçi başına düşen GSYİH cinsinden ifade edilen işgücü verimliliği arasında aynı yönde ve güçlü bir ilişki olduğu görülmektedir. Bu güçlü ve aynı yönde ilişki ülkelerin işgücü verimliliğini artırma politikası olarak yapay zeka teknolojilerini benimseyen, uygulayan ve geliştiren beşeri sermaye kalitesini ve kapasitesini artırma politikasını izleyebilecekleri anlamına gelmektedir.

Şekil 3.13: Beşeri Sermaye Kategori Payları ile İşçi Başına Düşen GSYİH (logaritmik ölçekte) Arasındaki İlişkinin Serpilme Diyagramı
(Korelasyon Katsayısı:0,749)



Çalışmada serpilme diyagramları ve korelasyon analizi ile ülkelerin yapay zeka yetenek, kapasite ve potansiyel seviyeleriyle ekonomik performansları arasındaki pozitif ve güçlü ilişkinin varlığı tespit edilmiş ve ülkelerin ekonomik gelişme düzeylerini artırıcı politikaları YZE ve YZE kategorileri bağlamında ifade edilmiştir. Bununla birlikte bu bölümde geliştirilen iki doğrusal regresyon modeliyle ülkelerin ekonomik gelişme düzeylerinde yapay zeka yetenek, kapasite ve potansiyel seviyelerinin oynadığı rolün araştırılması amacıyla ekonomik gelişme göstergeleriyle YZE skorları arasındaki ilişkiler matematiksel olarak ifade edilmektedir. Çalışmanın amacı bir başlangıç analizi geliştirmek olduğu için ilişkiler matematiksel olarak ifade

edilirken tek bağımsız değişkenli (YZE skorları) basit regresyon analizi uygulanmaktadır.

ArCo Teknoloji Yetenek Endeksi çalışmasında da ülkelerin teknolojik yeteneklerinin ekonomik gelişmesindeki rolü regresyon analiziyle araştırılmaktadır. Çalışmada geliştirilen basit regresyon modelleriyle ArCo Teknoloji Yetenek Endeksi ile kişi başına düşen GSYİH ile temsil edilen ekonomik büyüme arasındaki ilişkinin analizi yapılmaktadır.⁴⁹⁵ Ayrıca ülkelerin ekonomik özgürlük seviyesi ve teknoloji yetenek düzeylerinin işgücü verimliliği üzerindeki etkisinin araştırıldığı çalışmada da regresyon analizi uygulanmaktadır. Çalışmada ülkelerin ekonomik özgürlük seviyesini ölçmek için Dünya Ekonomik Özgürlük Endeksi ve teknoloji yetenek düzeyini ölçmek için ise ArCo Teknoloji Yetenek Endeksi kullanılmaktadır. Çalışmada geliştirilen regresyon modelleriyle ArCo Teknoloji Yetenek Endeksi ve Dünya Ekonomik Özgürlük Endeksi ile işçi başına düşen GSYİH ile ölçülen işgücü verimliliği arasındaki ilişkinin analizi yapılmaktadır.⁴⁹⁶

Çalışmada geliştirilen birinci doğrusal regresyon modelinde **(Model A)** bağımlı değişken olarak ülkelerin kişi başına düşen GSYİH değerleri **(KişiBaşınaGSYİH2019)**, ikinci doğrusal regresyon modelinde **(Model B)** bağımlı değişken olarak ülkelerin istihdam edilen kişi (işçi) başına düşen GSYİH değerleri **(İşçiBaşınaGSYİH2019)** kullanılmaktadır. Çalışmada her iki regresyon modelinde bağımsız değişken olarak sadece YZE skorlarının **(YZE)** kullanılmasıyla uygulanan basit regresyon analizi bir başlangıç analizi olarak geliştirilmektedir. Gelecekteki çalışmalarda YZE'nin ekonomik gelişme göstergeleri ile arasındaki ilişkinin çeşitli zaman dilimleri için YZE skorları hesaplanarak “Zaman Serileri Analizleri” veya birden fazla bağımlı (örneğin kişi başına düşen GSYİH ve işçi başına düşen GSYİH) ve bağımsız değişken (örneğin YZE kategorileri ve ülkelerin otomasyon potansiyeli) kullanılarak “Kanonik Korelasyon Analizi” gibi daha geniş istatistiksel ve ekonometrik yöntemlerle incelenmesi planlanmaktadır.

⁴⁹⁵ Archibugi, Coco, **a.g.e.**

⁴⁹⁶ N'Da, Robin, Tribunella, **a.g.e.**

Geliştirilen doğrusal regresyon modellerinin matematiksel ifadesi aşağıdaki gibidir:

- **Model A:**

$$\log(\text{KişiBaşınaGSYİH2019}) = \beta_0 + \beta_1 \cdot \text{YZE}$$

- **Model B:**

$$\log(\text{İşçiBaşınaGSYİH2019}) = \beta_0 + \beta_1 \cdot \text{YZE}$$

Model A, ülkelerin kişi başına düşen GSYİH değerleri ile yapay zeka yetenek, kapasite ve potansiyel seviyelerinin, **Model B** ise ülkelerin işçi başına düşen GSYİH değerleri ile yapay zeka yetenek, kapasite ve potansiyel seviyelerinin ilişkilendirildiği temel modellerdir.

Tablo 3.16: YZE Skorları ile Ekonomik Gelişme Göstergeleri (logaritmik ölçekte) Arasındaki Bağlantı

(Regresyon Katsayıları %1 düzeyinde anlamlıdır.)

	Korelasyon Katsayısı	Sabit	Regresyon Katsayısı	p değeri	Standard Hata	Regresyon Katsayısının t-istatistiği	R ²
Model A	0,836	3,137	1,808	0,000	0,338	16,527	0,698
Model B	0,776	4,002	1,233	0,000	0,285	13,36	0,602

Tablo 3.16’da **Model A**’nın satırı incelendiğinde ülkelerin kişi başına düşen GSYİH (logaritmik ölçekte) ile ifade edilen ekonomik gelişme seviyelerinin %83,6 (**Korelasyon Katsayısı**) oranında YZE skorları ile ifade edilen yapay zeka yetenek, kapasite ve potansiyel seviyelerine bağımlı olduğu anlaşılmaktadır. Diğer bir deyişle kişi başına düşen GSYİH (logaritmik ölçekte) bağımlı değişkenindeki değişkenliğin %69,8’i (**R²**) YZE skorları değişkeniyle açıklanabilmektedir. Tabloya göre ülkelerin YZE skorundaki 0,1 birimlik artışın (azalışın) kişi başına düşen GSYİH değerinde (logaritmik ölçekte) 0,1808 kadar artışa (azalışa) yol açacağı görülmektedir.⁴⁹⁷

⁴⁹⁷ Molnar, a.g.e.

Tablo 3.16’da **Model B**’nin satırı incelendiğinde ülkelerin işçi başına düşen GSYİH (logaritmik ölçekte) ile ifade edilen ekonomik gelişme seviyelerinin %77,6 (**Korelasyon Katsayısı**) oranında YZE skorları ile ifade edilen yapay zeka yetenek, kapasite ve potansiyel seviyelerine bağımlı olduğu anlaşılmaktadır. Diğer bir deyişle işçi başına düşen GSYİH (logaritmik ölçekte) bağımlı değişkenindeki değişkenliğin %60,2’si (**R²**) YZE skorları değişkeniyle açıklanabilmektedir. Tabloya göre ülkelerin YZE skorundaki 0,1 birimlik artışın (azalışın) işçi başına düşen GSYİH değerinde (logaritmik ölçekte) 0,1233 kadar artışa (azalışa) yol açacağı görülmektedir.

YZE skorları ile ifade edilen ülkelerin yapay zeka yetenek, kapasite ve potansiyel düzeylerinin ekonomik gelişme göstergelerinden hem kişi başına düşen GSYİH ile hem de işçi başına düşen GSYİH ile bağımlılığının incelenmesi iki ekonomik gelişme göstergesi arasında karşılaştırmalar yapılmasını sağlamaktadır. Çalışmanın önemli bir diğer sonucu, YZE skorlarının kişi başına düşen GSYİH ve işçi başına düşen GSYİH bağımlı değişkenleri üzerindeki etkilerinin karşılaştırılmasıyla elde edilebilmektedir. **Model A** ve **Model B**’nin **R²** değerleri karşılaştırıldığında YZE skorlarının kişi başına düşen GSYİH bağımlı değişkenini açıklama gücünün işçi başına düşen GSYİH bağımlı değişkenini açıklama gücüne göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Ayrıca **Model A** ve **Model B**’nin **Regresyon Katsayıları** karşılaştırıldığında YZE skorlarındaki 0,1 birimlik artışın kişi başına düşen GSYİH bağımlı değişkeninde yol açacağı artışın (azalışın) işçi başına düşen GSYİH bağımlı değişkeninde yaratacağı artışa (azalışa) göre daha yüksek olduğu görülmektedir.

YZE skorları ile ekonomik gelişme göstergeleri arasındaki ilişki analizi değerlendirildiğinde ülkelerin yapay zeka yetenek, kapasite ve potansiyel düzeyleriyle ekonomik gelişme düzeyleri arasında istatistiksel olarak anlamlı ve güçlü ilişkiler olduğu sonucuna varılmaktadır. İlişki analizinin sonuçları **Bölüm 1.2** ve **Bölüm 1.3**’te yapılan detaylı literatür araştırmasıyla örtüşerek makul ve beklentilerle tutarlı çıkarımlar elde edildiğini göstermektedir. Genel olarak ülkelerin yapay zeka yetenek, kapasite ve potansiyel düzeylerinin ülkelerin ekonomik performanslarının bir belirleyicisi olduğunu, tatmin edici düzeyde bir yaşam kalitesi veya daha yüksek bir gelir gibi önemli hedeflere ulaşmak için temel bir bileşen olduğunu söylemek

mümkündür. YZE skorları 0,8'den büyük olan ülkelerin oluşturduğu 1.Grup ülkelerin kişi başına düşen GSYİH değerlerinin Çin hariç yaklaşık olarak 30 bin dolardan, YZE skorları 0,6'dan büyük olan ülkelerin oluşturduğu 2.Grup ülkelerin kişi başına düşen GSYİH değerlerinin Türkiye ve Polonya hariç yaklaşık olarak 20 bin dolardan yüksek olması bu çıkarımı doğrular niteliktedir. 1.Grup ülkelerin işçi başına düşen GSYİH değerlerinin yine Çin hariç yaklaşık olarak 71 bin dolardan, 2.Grup ülkelerin işçi başına düşen GSYİH değerlerinin Portekiz hariç 64 bin dolardan yüksek olması işgücü verimliliği için de YZE skorlarının önemli bir belirleyici olduğu anlamını taşımaktadır.

Yapay zeka yetenek, kapasite ve potansiyel düzeyinin ülkelerin ekonomik performansları üzerindeki rolünün belirlenmesi ve açıklanması çok önemli ve etkin politikalar geliştirilmesini sağlamaktadır. YZE skorları ile ekonomik gelişme göstergeleri arasındaki güçlü ilişki ülkelerin kişi başına düşen GSYİH değerlerini ve işgücü verimliliğini artırma politikası olarak yapay zeka yetenek, kapasite ve potansiyel düzeylerini artırma politikasını izleyebilecekleri anlamına gelmektedir. Ülkelerin kişi başına düşen GSYİH değerlerini ve işgücü verimliliğini artırma politikası olarak öncelikle zayıf olan YZE kategorilerini belirlemeleri ve geliştirmeleri, böylelikle yapay zeka yetenek, kapasite ve potansiyel düzeylerini artırma politikasını izlemeleri önerilmektedir. **Bölüm 3.2.8**'de Şekil 3.9'da 120 ülkenin YZE kategori payları bulunmaktadır. YZE kategori payları incelendiğinde ülkelerin iyi veya kötü performanslarını açıklayan güçlü ve zayıf yönleri belirlenmektedir.

3.2.10. Kompozit Endeks Sonuçlarının Sunumu ve Görselleştirilmesi

Kompozit endeks sonuçlarının en etkili şekilde değerlendirilmesini ve yorumlanmasını sağlayacak şekilde sunumu ve görselleştirilmesi büyük önem taşımaktadır. Seçilen görselleştirme tekniklerinin kompozit endeks sonuçlarının yorumlanabilirliğini etkilediği veya yorum geliştirmeye yardımcı olduğu göz önüne alınarak uygun görselleştirme teknikleri belirlenmelidir.⁴⁹⁸

⁴⁹⁸ Nardo, Saisana, Saltelli, Tarantola, Hoffmann, Giovannini, **a.g.e.**, p.21.

Kompozit endeks sonuçlarının sunumunun ve görselleştirilmesinin vurgulanmak istenen amaca göre çeşitli yolları vardır. Bunlardan biri her ülke için endeks skorunun ve ülke sıralamasının tablo biçiminde sunulmasıdır. Çalışmada 120 ülkenin göreceli yapay zeka yetenek, kapasite ve potansiyelinin seviyesini belirten YZE sonuçları (YZE skorları ve YZE ülke sıralamaları) vurgulanmak istenen amaca göre çeşitli şekillerde tablolaştırılmıştır.

Bölüm 3.2.6.2'de kategori paylarının YZE skoruna oranı için 5, alt gösterge paylarının YZE skoruna oranı için 3 farklı alt ve üst sınır belirlenerek 15 tane “Sınırlı ŞLKY Senaryoları” oluşturulmaktadır. Çalışmada ŞLKY ağırlıklandırma yönteminin metodolojisinde normalizasyon ve ağırlıkların negatif olmaması kısıtları dışında alt gösterge ağırlıkları ile ilgili herhangi bir sınırlandırılmanın yapılmadığı “Sınırlandırılmamış ŞLKY Senaryosu” ve 15 tane “Sınırlı ŞLKY Senaryoları” ile birlikte toplam 16 farklı senaryo için YZE skorları hesaplanmaktadır. **EK-1'**de 120 ülke için 16 farklı senaryo ile elde edilen YZE skorları ve ülke sıralamaları tablolaştırılmıştır. **EK-1**, “Sınırlandırılmamış ŞLKY Senaryosu” ile elde edilen YZE skorlarının ve ülke sıralamalarının “Sınırlı ŞLKY Senaryoları” ile elde edilen YZE skorlarından ve ülke sıralamalarından nasıl farklılaştığını net bir şekilde göstermektedir. **EK-1** incelendiğinde “Sınırlandırılmamış ŞLKY Senaryosu” ile elde edilen YZE skorlarının sınırlı senaryolarla belirgin bir şekilde düştüğü görülmektedir. **EK-1**, daha tutarlı ve kararlı sonuçlar elde edilmesinde orijinal ŞLKY ağırlıklandırma yönteminin metodolojisine dahil edilen ek ağırlık kısıtlamalarının önemini vurgulanmasını kolaylaştırmaktadır.

Bölüm 3.2.7'de **EK-1** vasıtasıyla 16 senaryo ile elde edilen YZE skorları ve ülke sıralamalarının karşılaştırılması sağlanarak farklı ağırlıklandırma senaryolarının YZE skorları ve ülke sıralamaları üzerindeki etkileri değerlendirilmektedir. **EK-1**, sınırlı senaryoların YZE skorları ve ülke sıralamaları üzerindeki etkisinin modellenmesini sağlamaktadır. **EK-1'e** göre “Sınırlı ŞLKY Senaryoları” ile elde edilen ülke sıralamalarının genel olarak tutarlı olduğunu söylemek mümkündür. Çalışmada **Senaryo 1**, YZE alt gösterge ve kategori payının YZE skoruna oranının en dar aralıkta tutulduğu ve **Senaryo 15** ise en geniş aralıkta tutulduğu sınırlı senaryodur. **EK-1**

incelendiğinde **Senaryo 1**'den **Senaryo 15**'e doğru sınırlar genişledikçe ülkelerin büyük çoğunluğu için YZE skorlarının yükseldiği görülmektedir. **EK-1**'de listelenen 16 senaryo ile elde edilen YZE skorları ve ülke sıralamaları incelendiğinde her bir ülke için YZE skorlarının ve ülke sıralamalarının değer aralığını görmek mümkündür.

Bölüm 3.2.6.4'te **Senaryo 1** ile elde edilen YZE skorları ve ülke sıralamaları çeşitli analizlerde ve grafiklerde yorumlamaların ve değerlendirmelerin yapılmasını kolaylaştırmak amacıyla 120 ülke 6 grup halinde ifade edilerek tablolastırılmıştır. Tabloda her grubun YZE skorlarının aldığı değer aralığı belirtilmektedir. Ülkelerin YZE skorlarına göre gruplandırılması yoluyla benzer özellikler taşıyan ülkelerin elde edilmesi gerek grup içi gerekse gruplar arası karşılaştırmaların yapılmasına olanak sağlayarak çeşitli analizlerin geliştirilmesine ve yorumlanmasına temel hazırlamaktadır.

Kompozit endeks skorunun ve ülke sıralamasının tablo biçiminde sunulması kapsamlı bir yaklaşım olmakla birlikte çok ayrıntılı olması ve görsel olarak yeterli olmaması durumunda çeşitli karşılaştırmalar yapılması ve yorumlar geliştirilmesi zorlaşmaktadır. Tabloların kompozit endeks skorları ve ülke sıralamaları ile ilgili tüm bilgiyi kapsamaları grafiksel bir sunumla hızlıca ve net bir şekilde vurgulanabilecek önemli noktaları ve birtakım problemleri gizleyebilmektedir. İyi tasarlanmış bir veri grafiği paragraflarca ifade edilen sonuç cümlelerinden ve yorumlamalardan daha fazla etki yaratabilmektedir. Kompozit endekslerin bileşenlerinin, yapılandırılmasının ve sonuçlarının gerek karar vericilere gerekse kullanıcılara hızlı ve doğru bir şekilde iletilmesi konusunda veri grafikleri daha işlevsel ve daha etkin bir araç vazifesi görmektedir. Kompozit endeks sonuçlarının grafiksel olarak görselleştirilmesi önemli ve hassas noktaların hızlıca ve net bir şekilde gösterilmesini ve vurgulanmasını sağlamaktadır.⁴⁹⁹

Çalışmada YZE skorları ve YZE ülke sıralamaları vurgulanmak istenen amaca göre çeşitli şekillerde grafiklerle gösterilmiştir. **Bölüm 3.2.7**'de 16 ağırlıklandırma senaryosu ile YZE ülke sıralamaları arasındaki ilişkinin ortaya çıkarılması amacıyla

⁴⁹⁹ A.e., pp.40-43.

dağılım grafiği hazırlanmıştır. Dağılım grafiği “Sınırlandırılmamış ŞLKY Senaryosu” ile elde edilen ülke sıralamaları ile “Sınırlı ŞLKY Senaryoları” ile elde edilen ülke sıralamaları arasındaki tutarsızlıkların hızlıca ve net bir şekilde göz önüne serilmesini sağlamaktadır. Dağılım grafiği vasıtasıyla, **Senaryo 1** ile elde edilen ülke sıralamaları ile diğer sınırlı senaryolarla elde edilen ülke sıralamalarının oldukça tutarlı olduğu net ve etkin bir şekilde gösterilerek **Senaryo 1** ile geliştirilen YZE’nin sağlamlığı ifade edilmektedir.

Bölüm 3.2.7’de “Sınırlı ŞLKY Senaryoları” ile elde edilen YZE skorlarının ve ülke sıralamalarının dağılımları kutu-bıyık grafikleriyle gösterilerek ülke bazında değerlendirmeler yapılması amaçlanmaktadır. Kutu-bıyık grafikleri YZE skorlarının ve ülke sıralamalarının aldığı değer aralığını, medyanını ve kartillerarası aralığını göstererek belirsizlik kaynaklarından hangi ülkelerin daha çok hangi ülkelerin daha az etkilendiğinin hızlıca ve belirgin bir şekilde göz önüne serilmesini sağlamaktadır.

Bölüm 3.2.6.4’te Senaryo 1 ile elde edilen YZE skorları her bir YZE ülke grubu için çubuk grafiği ile gösterilmektedir. YZE skorlarının çubuk grafiği ile gösterilmesi görselleştirmeyi zenginleştirerek çeşitli karşılaştırmalar yapılmasını ve yorumlar geliştirilmesini kolaylaştırmaktadır. Bununla birlikte **Senaryo 1** ile elde edilen YZE kategori payları da **Bölüm 3.2.8’de** çubuk grafiği ile gösterilmektedir. YZE kategori paylarının çubuk grafiği ile gösterilmesi daha işlevsel ve daha etkin bir şekilde ülkelerin performanslarına ışık tutulmasını sağlamaktadır. YZE kategori paylarının çubuk grafiği incelendiğinde YZE kategorilerinin göreceli önemlerinin ülkeden ülkeye farklılık gösterdiği kolaylıkla görülmektedir. Çubuk grafiği vasıtasıyla her bir ülke için güçlü ve zayıf olduğu yönler, iyi veya kötü performanslarının altında yatan nedenler hızlıca ve net bir şekilde açıklanabilmektedir.

SONUÇ

Çalışmanın amacı ülkelerin yapay zeka teknolojilerini alımı, kullanımı, uygulaması ve geliştirmesi konusunda yetenek, kapasite ve potansiyelinin ölçülmesidir. Çalışmada bu amaçla yapay zekanın benimsenmesini ve özümzenmesini etkileyen faktörler yani yapay zekanın alımını, kullanılmasını, uygulanmasını ve geliştirilmesini sağlayan koşullar, öncüller ve itici güçler bağlamında ülkelerin mevcut yapay zeka yetenek düzeyine, kapasitesine ve potansiyeline genel bir bakış sağlayan Yapay Zeka Endeksi (YZE) geliştirilmiştir. YZE, ülkelerin yapay zeka teknolojilerini alımı, kullanımı, uygulaması ve geliştirmesi konusunda yetenek, kapasite ve potansiyelinin seviyesini belirten bir kompozit endekstir.

Yapay zeka ile ilgili endeks çalışmaları incelendiğinde ya az sayıda ülkeyi kapsadığı ya da performansı değerlendirilen ülkeler arasında Türkiye'nin olmadığı görülmektedir. Çalışma daha önce yapılmış yapay zeka ile ilgili çoğu kompozit endeks çalışmasından farklı olarak Türkiye'nin de aralarında bulunduğu 120 ülkeyi kapsamaktadır.

YZE'nin teorik çerçevesi oluşturulurken 120 ülke için mümkün olan en geniş kapsamda ülkelerin yapay zeka yetenek, kapasite ve potansiyelinin ölçülmesi amaçlanmaktadır. YZE kategorileri ve alt göstergeleri, ülkelerin mevcut yapay zeka durumlarını göreceli olarak ölçmek için kullanışlı olup olmadıkları göz önüne alınarak belirlenmişlerdir. YZE alt göstergelerinin seçilmesinde 120 ülke için karşılaştırılabilir verilerin mevcut olması ve güvenilir kaynaklardan elde edilmiş olması dikkate alınmıştır. Bununla birlikte 16 YZE alt göstergesinin ölçülebilirlikleri, ölçülen kavramla olan ilgileri ve birbirleriyle olan ilişkileri değerlendirilmiştir.

Bölüm 1.3'te yapılan detaylı literatür araştırmasında anlatıldığı gibi ülkelerin yapay zeka teknolojilerini alımı, kullanımı, uygulaması ve geliştirmesi konusunda yetenek, kapasite ve potansiyelini açıklayan “yapay zeka yatırımları ve girişimleri, yapay zeka ile ilgili patentler ve konferanslar, yapay zeka ile ilgili derslere ve eğitimlere katılım oranı, yapay zeka ile ilgili meslek sayısı/iş ünvanları” gibi ilgili birçok gösterge

olmasına rağmen, bu göstergeler 120 ülke için karşılaştırılabilir düzeyde ve eksiksiz olarak elde edilemediğinden kapsam dışı bırakılmışlardır.

Çalışmada YZE kategorilerinin ülkelerin yapay zeka yetenek, kapasite ve potansiyeline nasıl katkıda bulunduğu ve ilgili kategoriyle neyin ölçülmek amaçlandığı detaylı bir şekilde anlatılmaktadır. Bununla birlikte her bir YZE alt göstergesinin ilgili olduğu YZE kategorisinin ölçtüğü kavramla olan ilgisi, kavramın amacına uygunluğu ve dolayısıyla ilgili olduğu YZE kategorisi bağlamında ülkelerin yapay zeka yetenek, kapasite ve potansiyeline katkısı literatüre dayandırılarak ifade edilmektedir.

Çalışmada YZE'nin oluşturulmasında 120 ülkenin mümkün olan en geniş kapsamda mevcut yapay zeka durumlarını göreceli olarak ölçmek için kullanışlı ve erişilebilir olmalarından dolayı 5 kategoride 16 alt gösterge seçilmiştir. Sonuç olarak YZE, uluslararası düzeyde karşılaştırılabilir ve erişilebilir YZE kategorileri ve YZE alt göstergeleri için hesaplanmaktadır. Erişilebilir veri miktarı ve kapsamı arttıkça, daha güncel ve daha hassas veriler elde edildikçe YZE kategorilerinin ve YZE alt göstergelerinin güncellenmesi ve böylelikle elde edilen bulguların doğruluğunun artırılması önerilmektedir.

YZE'nin geliştirilmesinde “Yapay Zeka ile İlgili Araştırma Çalışmaları, İnovasyon Ekosistemi, Beşeri Sermaye, Geniş Bant Bağlantısı ve Dijital Teknoloji Olgunluk Düzeyi” olmak üzere 5 kategoride ülkelerin yapay zeka teknolojilerini alımı, kullanımı, uygulaması ve geliştirmesi için koşul, öncül veya itici güç olma özelliği taşıyan 16 alt gösterge kullanılmaktadır. “Yapay Zeka ile İlgili Araştırma Çalışmaları” kategorisi “Yapay Zeka ile İlgili Atıf Yapılabilir Doküman Sayısı (**AYDS**), Yapay Zeka ile İlgili Doküman Başına Düşen Atıf Sayısı (**DBDAS**), Yapay Zeka ile İlgili h-indeksi Kategorisindeki Doküman Sayısı (**HIKDS**)” olmak üzere 3 alt gösterge ile temsil edilmektedir. “İnovasyon Ekosistemi” kategorisi “İş Dinamizmi (**İD**) ve İnovasyon Kabiliyeti (**İK**)” alt göstergeleri ile ölçülmektedir. “Aktif Nüfusun Dijital Beceri Düzeyi (**ANDBD**), Bilim İnsanlarının ve Mühendislerin Mevcudiyeti (**BİVMM**), Fen ve Matematik Eğitiminin Kalitesi (**FVMEK**), Yüksek Öğrenim Kayıt Oranı (**YÖKO**)” alt göstergeleri “Beşeri Sermaye” kategorisini temsil eden alt

göstergelerdir. “Geniş Bant Bağlantısı” kategorisini temsil eden alt göstergeler ise “Aktif Mobil Geniş Bant Abone Sayısı (**AMGBAS**), Sabit Geniş Bant Abone Sayısı (**SGBAS**), İnternet Kullanıcısı Başına Uluslararası Bant Genişliği (**IKBUBG**), Hızı 10 Mbit/s’ye Eşit veya Üzeri Olan Sabit Geniş Bant Abone Sayısı (**HSGBAS**)” olarak belirlenmiştir. “Dijital Teknoloji Olgunluk Düzeyi” kategorisi ise “E-Devlet Gelişmişlik Endeksi (**EDGE**), Küresel Siber Güvenlik Endeksi (**KSGE**), Firma Düzeyinde Teknoloji Emilimi (**FDTE**)” olmak üzere 3 alt gösterge ile ölçülmektedir.

Çalışmada **Bölüm 3.2.4**’te “Çok Değişkenli Analiz” aşamasında YZE oluşturulmadan önce bir hazırlık aşaması olarak veri kümesinin uygunluğunun değerlendirilmesi ve verilerin altında yatan yapının araştırılması amacıyla verilerin temel özellikleri ve aralarındaki ilişkiler incelenmektedir.

Çalışmada YZE alt göstergelerinin ağırlıklandırılmasında Veri Zarflama Analizi (VZA) tabanlı Şüphenin Lehte Kullanılması Yaklaşımı (ŞLKY) ağırlıklandırma yöntemi uygulanmaktadır. VZA’nın dolayısıyla ŞLKY ağırlıklandırma yönteminin birimlerin değişmezliği özelliği, kompozit endeks skorlarının alt göstergelerin ölçüm birimlerinden bağımsız olmasını sağlamaktadır. VZA’nın birimlerin değişmezliği özelliğinden dolayı ŞLKY ağırlıklandırma yöntemi ile kompozit endeks geliştirilmesi normalizasyon aşamasını gereksiz kılmaktadır. Bu nedenle farklı ölçüm birimlerine sahip olmalarına rağmen 16 tane YZE alt göstergesi normalize edilmeden analizde kullanılmıştır. YZE’nin geliştirilmesinde VZA tabanlı ŞLKY ağırlıklandırma yönteminin kullanılmasıyla alt göstergelerin normalize edilmesi ihtiyacı ortadan kaldırılarak kompozit endeks skorlarının özneliliğinin ve güvenilirliğinin sorgulandığı önemli birçok eleştirinin oluşması engellenmektedir.

Çalışmada YZE alt göstergelerinin ve kategorilerinin YZE skoruna katkılarının belirlenmesi ve göreceli önemlerinin değerlendirilmesi de amaçlanmaktadır. Çalışmada bu amaçlar alt gösterge payları yaklaşımı kullanılarak gerçekleştirilmektedir. YZE alt göstergelerinin ve kategorilerinin YZE skoruna katkılarının belirlenmesinde ve göreceli önemlerinin değerlendirilmesinde alt gösterge payları yaklaşımının kullanılması, YZE alt göstergelerinin normalize edilmesi gerekliliğini ortadan kaldırmaktadır. Bunun nedeni alt gösterge paylarının alt

göstergelerin ölçüm birimlerinden tamamen bağımsız olmasıdır. Bununla birlikte YZE alt gösterge ağırlıklarının tam esnekliğinin uygun bir şekilde sınırlandırılması için ŞLKY ağırlıklandırma yönteminin metodolojisine doğrudan alt göstergelerin ağırlıkları ile ilgili kısıtlar ilave edilmesi yerine alt gösterge paylarıyla ilgili kısıtlar eklenmiştir. Ek ağırlık kısıtlamalarının metodolojiye dahil edilmesinde de alt gösterge payları yaklaşımı kullanıldığı için YZE alt göstergelerinin normalize edilmesi gerekmemektedir.

Çoğu kompozit endeks çalışmasında alt göstergelerin ağırlıklandırılmasında tüm ülkelere önceden belirlenmiş aynı ağırlıklandırma şemalarının uygulandığı görülmektedir. Sabit ve tek tip ağırlıklar kullanıldığında ülkelerin farklı politika önceliklerine ve kendilerine özgü çeşitli yeteneklere sahip olduğu göz ardı edilmektedir. Tüm ülkelere aynı ağırlıklandırma şemasının uygulanmasının çeşitli dezavantajları olduğu gibi performansı ölçülen kavram ile ilgili geniş bir bilgi yelpazesine sahip uzmanlar arasında bile belirli bir ağırlıklandırma şeması üzerinde uzlaşıya varılması da pek mümkün görünmemektedir. Bu nedenlerden dolayı tüm ülkelere önceden belirlenmiş aynı ağırlıklandırma şemaları uygulandığında kompozit endeks sonuçlarının güvenilirliği zayıflamaktadır.

Çalışmada YZE alt göstergelerinin ağırlıklandırılmasında belirli bir ağırlıklandırma şeması kullanılması yerine ülkelerin politika önceliklerini ve kendilerine özgü yeteneklerini hesaba katan, ülkelerin gözlenen performanslarından yola çıkılarak her ülke için kompozit endeks değerini maksimize eden ülkeye özgü optimal ağırlıkların yapılandırıldığı VZA tabanlı ŞLKY ağırlıklandırma yöntemi uygulanmaktadır. ŞLKY ağırlıklandırma yöntemi, ülkelerin nispeten iyi performans gösterdiği YZE alt göstergelerinin ve kategorilerinin vurgulanmasına ve önceliklendirilmesine olanak tanımaktadır. Bununla birlikte ŞLKY ağırlıklandırma yöntemi ülke bazında politika önceliklerinin belirlenmesini dolayısıyla YZE alt göstergelerinin ve kategorilerinin optimum öncelik sırasının ortaya koyulmasını sağlamaktadır. Böyle bir yaklaşım tüm ülkelere önceden belirlenmiş aynı ağırlıklandırma şemaları uygulandığında ortaya çıkan alt göstergelerin ve kategorilerin göreceli önemi hakkındaki itirazların üstesinden gelinmesine yardımcı olmaktadır. **Bölüm 2.3.2**'de ve **Bölüm 3.2.6**'da VZA

tabanlı ŞLKY ağırlıklandırma yönteminin sağladığı avantajlar ve YZE'nin geliştirilmesinde tercih edilme sebepleri detaylı bir şekilde anlatılmaktadır.

Çalışmada ŞLKY ağırlıklandırma yönteminin metodolojisinde normalizasyon ve ağırlıkların negatif olmaması kısıtları dışında alt gösterge ağırlıkları ile ilgili herhangi bir sınırlandırılmanın yapılmadığı model “Sınırlandırılmamış ŞLKY Senaryosu” olarak adlandırılmaktadır. Bu senaryonun doğrusal programlama problemi 120 ülke için çözüldüğünde 22 ülkenin YZE skoru 1 olarak hesaplanmıştır. Analizin sonucunda değerlendirilen her ülkeye 16 tane alt gösterge ağırlığı atanmak üzere 120 ülke için $120 \times 16 = 1920$ tane alt gösterge ağırlığı elde edilmiştir. Tüm ağırlıkların gözlenen verilerden endojen olarak elde edildiği bu modelde ağırlıkların %65,72916 tanesi sıfır olarak atanmıştır. Bu senaryoda ağırlıklara atanan sıfır değerleri, bazı YZE alt göstergelerinin YZE skoru hesaplanırken göz ardı edildiği ve önemsenmediği anlamına gelmektedir. YZE teorik çerçevesine göre seçilen 16 YZE alt göstergesinin ülkelerin yapay zeka yetenek, kapasite ve potansiyelini belirlemek ve birbirleriyle karşılaştırmak için önemli ve belirleyici olduğu düşünüldüğünde %65,72916'lık yüksek bir oran, YZE alt göstergelerinin çoğunun endekse katkıda bulunmadığı ve ülkelerin YZE skorlarının az sayıda alt göstergeye dayandırılarak hesaplandığı anlamını taşımaktadır. Bu durum birçok ülkenin performansının gerçekte olduğundan çok daha iyi görünmesine neden olmaktadır. Bununla birlikte “Sınırlandırılmamış ŞLKY Senaryosu” ile elde edilen YZE skorlarının ortalamasının 0,8407, minimum YZE skorunun 0,50691 ve maksimum YZE skoru (1) elde eden ülke oranının %18,33333 (22 ülke) gibi yüksek değerler olması, bu senaryonun ülkeler arası ayırt edici gücünün az olduğu anlamına gelmektedir.

Yapılan değerlendirmelere göre “Sınırlandırılmamış ŞLKY Senaryosu” ile elde edilen YZE skorlarının YZE teorik çerçevesini yeterince yansıtamadığı ve bu senaryonun birçok ülkenin performansının gerçekte olduğundan çok daha iyi görünmesine neden olduğu ve 120 ülkenin yapay zeka yetenek, kapasite ve potansiyelinin karşılaştırılması için ayırt edici gücünün yeterli olmadığı sonucuna varılmaktadır. Çalışmada yukarıda bahsedilen sorunların üstesinden gelmek amacıyla YZE alt gösterge ağırlıklarının tam esnekliğinin uygun bir şekilde sınırlandırılması için ŞLKY ağırlıklandırma yönteminin

metodolojisine ek ağırlık kısıtlamaları dahil edilmektedir.

Çalışmada ŞLKY ağırlıklandırma yönteminin metodolojisine ilave edilen kısıtlarla YZE teorik çerçevesini en iyi şekilde yansıtan, ülkelerin yapay zeka yetenek, kapasite ve potansiyelini kapsamlı ve dengeli bir şekilde temsil eden ve ülkeler arasındaki karşılaştırmaların sağlıklı bir şekilde yapılabilmesi için ayırt edici gücü yüksek olan, kullanışlı, güvenilirliği yüksek ve gerçekçi bir YZE geliştirmek amacıyla endojen olarak elde edilen YZE alt göstergelerinin ağırlıklarının tam esnekliği uygun bir şekilde sınırlandırılmaktadır. Bu amaçla ŞLKY ağırlıklandırma yönteminin metodolojisine YZE alt gösterge paylarıyla ilgili kısıtlar eklenmiştir. Ek ağırlık kısıtlamalarının alt gösterge payları yaklaşımı kullanılarak metodolojiye dahil edilmesinin sağladığı avantajlar **Bölüm 3.2.6.2**'de detaylı bir şekilde anlatılmaktadır.

Çalışmada VZA tabanlı ŞLKY ağırlıklandırma yöntemiyle endojen olarak elde edilen YZE alt göstergelerinin ağırlıklarının tam esnekliğinin sınırlandırılması, orijinal metodolojiye biri kategori düzeyinde diğeri alt gösterge düzeyinde olmak üzere 2 çeşit ek ağırlık kısıtlaması dahil edilerek gerçekleştirilmektedir. Kategori düzeyinde YZE kategori paylarının, alt gösterge düzeyinde YZE alt gösterge paylarının YZE skoruna oranı sınırlandırılmaktadır. Kategori paylarının YZE skoruna oranı için 5, alt gösterge paylarının YZE skoruna oranı için 3 farklı alt ve üst sınır belirlenerek 15 alternatif sınırlı senaryo oluşturulmaktadır. Çalışmada bu senaryolar “Sınırlı ŞLKY Senaryoları” olarak adlandırılmaktadır.

Çalışmada ŞLKY ağırlıklandırma yönteminin metodolojisinde normalizasyon ve ağırlıkların negatif olmaması kısıtları dışında alt gösterge ağırlıkları ile ilgili herhangi bir sınırlandırılmanın yapılmadığı “Sınırlandırılmamış ŞLKY Senaryosu” ve 15 tane “Sınırlı ŞLKY Senaryoları” ile birlikte toplam 16 farklı senaryo için YZE skorları hesaplanmaktadır. “Sınırlandırılmamış ŞLKY Senaryosu” ve “Sınırlı ŞLKY Senaryoları” ile elde edilen YZE skorları ve ülke sıralamaları **EK-1**'de listelenmektedir.

Çalışmada kategori paylarının kompozit endeks skoruna oranının alt ve üst sınırları eşit ağırlıklandırma ile esnek ağırlıklandırmayı birleştiren bir yaklaşım doğrultusunda

belirlenmektedir. Buna göre YZE kategorilerinin YZE için eşit önemde oldukları varsayıldığında elde edilen her bir YZE kategorisinin YZE skoruna sağladığı eşit katkının (1/5) etrafında belirli bir oranda esnekliğe izin verilerek, her bir YZE kategori payının YZE skoruna oranının alt ve üst sınırları hesaplanmaktadır. ŞLKY ağırlıklandırma yöntemi metodolojisine kategori düzeyinde dahil edilen bu ek ağırlık kısıtlamasıyla “Yapay Zeka ile İlgili Araştırma Çalışmaları, İnovasyon Ekosistemi, Beşeri Sermaye, Geniş Bant Bağlantısı ve Dijital Teknoloji Olgunluk Düzeyi” YZE kategorilerinin her birinin YZE’de yeterince temsil edilmesi garanti altına alınmaktadır.

Alt gösterge düzeyinde yapılan kısıtlama ile ülkelerin performanslarının az sayıda alt göstergeye dayandırılarak elde edilen YZE skorlarıyla teorik çerçevenin yeterince yansıtılamaması riskinin engellenmesi amaçlanmaktadır. YZE skorunun az sayıda YZE alt göstergesi tarafından temsil edildiği gerçekçi olmayan durumlara çözüm bulmak ve belirli YZE alt göstergelerine YZE’de çok fazla vurgu yapılmasını önlemek yani az sayıda YZE alt göstergesinin aşırı düzeyde YZE skoruna hakim olmasını engellemek amacıyla YZE alt göstergelerinin YZE skoruna katkısı üstten sınırlandırılmaktadır. **Bölüm 3.2.6.2**’de YZE alt gösterge ve kategori paylarının YZE skoruna oranının alt ve üst sınırlarının belirlenmesinde kullanılan yaklaşımlar detaylı bir şekilde ele alınmaktadır. “Sınırlandırılmamış ŞLKY Senaryosu” ve “Sınırlı ŞLKY Senaryoları” için YZE kategorilerinin ve YZE alt göstergelerinin YZE skoruna yüzde olarak katkılarının alt ve üst sınırları Tablo 3.7’de belirtilmektedir.

Çalışmada 16 tane ŞLKY alternatif ağırlıklandırma senaryoları ile elde edilen YZE skorlarının ülkeler arasındaki ayırt edici gücü incelenmektedir. ŞLKY alternatif ağırlıklandırma senaryoları ile elde edilen YZE skorlarının ülkeler arasındaki ayırt edici gücünün performansı YZE skorlarının minimum değeri, ortalaması ve standart sapması ile her bir senaryo ile elde edilen YZE skoru 1 olan ülke sayısı karşılaştırılarak değerlendirilmektedir.

“Sınırlandırılmamış ŞLKY Senaryosu” ile elde edilen YZE skorlarının minimum değeri (0,50691) ve ortalaması (0,8407) sınırlı senaryolara göre belirgin bir şekilde yüksek iken standart sapması ise 0,12324 değeri ile sınırlı senaryolara göre çok

düşüktür. “Sınırlandırılmamış ŞLKY Senaryosu” ile elde edilen YZE skorları 120 ülkenin tamamı için 0,5’in üzerindedir. 120 ülkeden 62 tanesinin YZE skoru ortalamadan (0,8407) ve 105 tanesi 0,7’den yüksek veya eşittir. 120 ülkenin %18,3333’ünün (22 ülke) YZE skoru maksimum değer olan 1’e eşittir. Yapılan değerlendirmeler sonucunda “Sınırlandırılmamış ŞLKY Senaryosu” ile elde edilen YZE skorlarının ülkeler arasındaki yapay zeka yetenek, kapasite ve potansiyel farklılıklarını yeterince yansıtamadığı görülmektedir. Bu nedenlerden dolayı “Sınırlandırılmamış ŞLKY Senaryosu” ile elde edilen YZE skorlarının ülkelerin göreceli performanslarını ortaya koymadaki ayırt edici gücünün sınırlı senaryolara göre çok düşük olduğu sonucuna varılmaktadır.

“Sınırlı ŞLKY Senaryoları” ile elde edilen YZE skorlarının tanımlayıcı istatistikleri incelendiğinde minimum değerlerinin 0,00295 ile 0,08563, ortalamalarının 0,42662 ile 0,62821 ve standart sapmalarının 0,28195 ile 0,24869 arasında değiştiği görülmektedir. “Sınırlandırılmamış ŞLKY Senaryosu” ile karşılaştırıldığında “Sınırlı ŞLKY Senaryoları” ile elde edilen YZE skorlarının minimum değerlerinin ve ortalamalarının belirgin bir şekilde düşük ve standart sapmalarının yüksek olması “Sınırlı ŞLKY Senaryoları” ile elde edilen YZE skorlarının ülkelerin göreceli yapay zeka yetenek, kapasite ve potansiyelini ortaya koymadaki ayırt edici güçlerinin çok daha yüksek olduğu anlamına gelmektedir. “Sınırlandırılmamış ŞLKY Senaryosu” ile geliştirilen YZE’de 22 ülkenin YZE skoru 1 iken “Sınırlı ŞLKY Senaryoları” ile geliştirilen YZE’lerde YZE skoru 1 olan ülke sayısı 1 ile 7 arasında değişmektedir. Sonuç olarak “Sınırlı ŞLKY Senaryoları” ile ülkelerin performanslarının az sayıda YZE alt göstergesi cinsinden ifade edildiği ve çok sayıda ülkenin YZE skorunun gerçekte olduğundan çok daha yüksek değerler aldığı aşırı durumlar ortadan kaldırılarak ülkelerin yapay zeka yetenek, kapasite ve potansiyeli arasındaki farklılıkları daha iyi ortaya koyabilen, güvenilirliği daha yüksek ve gerçekçi YZE skorları elde edilmektedir.

Çalışmada “Sınırlı ŞLKY Senaryoları” ile elde edilen YZE skorları arasında karşılaştırma yapıldığında **Senaryo 1**’in ülkeler arasındaki ayırt edici gücünün diğer sınırlı senaryolara göre daha yüksek olduğunu söylemek mümkündür. **Senaryo 1**,

sınırlı senaryolar içinde YZE skorlarının minimum değeri (0,00295) ve ortalaması (0,42662) en düşük olan senaryodur. Sınırlı senaryolar arasında çok küçük farklılıklar olsa da daha yüksek standart sapmanın daha yüksek ayırt edici gücün kanıtı olarak yorumlanmasından hareketle en yüksek standart sapma değerine (0,28195) sahip olan **Senaryo 1**'in ülkelerin yapay zeka yetenek, kapasite ve potansiyeli arasındaki farklılıkları daha net ve belirgin bir şekilde ortaya koyabildiği sonucuna varılmaktadır. Bununla birlikte **Senaryo 1** ile maksimum YZE skoru olan 1 değerinin tek ülkeyle (ABD) temsil edilebilmesi, **Senaryo 1**'in ülkeler arasındaki ayırt edici gücünün diğer sınırlı senaryolara göre daha yüksek olduğu anlamını taşımaktadır.

Çalışmada korelasyon analiziyle çeşitli senaryolar için YZE skorları ile YZE alt gösterge payları arasındaki ilişki incelenerek elde edilen YZE skorlarının her bir YZE alt göstergesinin temsil ettiği bilgiyi yeterince yansıtıp yansıtamadığı araştırılmaktadır. Pearson ve Spearman sıra korelasyon katsayıları incelendiğinde **Senaryo 1** ile elde edilen YZE skorlarının diğer senaryolara göre 16 YZE alt göstergesinin temsil ettiği bilgiyi daha iyi düzeyde ve daha geniş kapsamda yansıtabildiği ve dolayısıyla daha dengeli bir biçimde temsil ettiği sonucuna varılmaktadır.

Senaryo 1 ile eşit ağırlıklandırma gibi yüksek derecede sınırlandırmanın yapıldığı bir ağırlıklandırma şeması uygulanmadan ülkelerin yapay zeka yetenek, kapasite ve potansiyelini en iyi açıklayan temel göstergelerin yani ana sürücülerin, güçlü ve zayıf yönlerin belirlenebildiği, ülke bazında YZE alt göstergelerinin ve dolayısıyla kategorilerinin göreceli önemlerinin saptanabildiği ve her ülkenin kendine özgü optimal ağırlıklandırma şemasına hak kazandığı ŞLKY'nin endojen ağırlıklandırma metodolojisinin avantajlarının yansıtıldığı, güvenilirliği yüksek ve gerçekçi YZE skorları elde edilmektedir.

Çalışmada **Senaryo 1** ile elde edilen YZE skorlarının diğer senaryolara göre ülkelerin göreceli yapay zeka yetenek, kapasite ve potansiyelini ortaya koymadaki ayırt edici gücünün daha yüksek olmasının yanında 16 YZE alt göstergesinin temsil ettiği bilgiyi daha geniş kapsamda yansıttığı ve dolayısıyla daha dengeli bir biçimde temsil ettiği için çeşitli analizlerde **Senaryo 1** ile elde edilen YZE skorları ve ülke sıralamaları kullanılmaktadır. Çalışmada **Senaryo 1** ile elde edilen YZE skorları ve ülke

sıralamaları 120 ülke 6 grup halinde ifade edilerek Tablo 3.11’de listelenmiştir. **Senaryo 1** ile elde edilen YZE skorlarına göre ilk 5 sıradaki ülkeler sırasıyla ABD, İsviçre, Hollanda, Singapur ve Birleşik Krallık’tır. Türkiye’nin YZE skoru ise 0,67919 olup ülke sıralaması 27’dir.

Çalışmanın “Belirsizlik ve Duyarlılık Analizleri” aşamasında belirsizlik kaynağı olarak sadece YZE alt gösterge ve kategori paylarının YZE skoruna oranı için uygulanan çeşitli alt ve üst sınırlara odaklanılmaktadır. Diğer aşamaların belirsizlik ve duyarlılık analizlerine dahil edilmeme gerekçeleri ve yapılan analizlerin sonuçları **Bölüm 3.2.7**’de detaylı bir şekilde ele alınmaktadır.

Çalışmada **Senaryo 1** ile elde edilen YZE skorlarının diğer ağırlıklandırma senaryolarına göre ülkelerin göreceli yapay zeka yetenek, kapasite ve potansiyelini ortaya koymadaki ayırt edici gücünün daha yüksek olduğu ve 16 YZE alt göstergesinin temsil ettiği bilgiyi daha geniş kapsamda yansıttığı ve dolayısıyla daha dengeli bir biçimde temsil ettiği ifade edilmiştir. Bununla birlikte yapılan belirsizlik ve duyarlılık analizleriyle **Senaryo 1** ile elde edilen YZE skorlarının ve ülke sıralamalarının çeşitli ağırlıklandırma senaryolarına olan duyarlılıkları test edilerek sağlamlığı değerlendirilmiş ve **Senaryo 1** ile elde edilen YZE sonuçlarının küresel düzeyde ülkelerin yapay zeka yetenek, kapasite ve potansiyelinin güvenilir bir resmini sunduğu sonucuna varılmıştır. Yukarıdaki nedenlere dayandırılarak **Senaryo 1** ile elde edilen YZE’nin gerek ülkelerin performans analizlerinin genişletilmesine gerekse YZE skorlarının ve YZE kategorileri paylarının teorik anlamda ilgili olan diğer göstergelerle ilişkinin kurulmasına imkan verecek kalite ve yeterlilikte olduğunu söylemek mümkündür.

Çalışmada **Senaryo 1** ile elde edilen YZE skorları hem YZE alt göstergeleri hem de YZE kategorileri düzeyinde ayrıştırılarak YZE alt gösterge ve kategori payları elde edilmiştir. **Bölüm 3.2.8**’de, **Senaryo 1** ile elde edilen YZE alt gösterge ve kategori payları kullanılarak ülke bazında YZE alt göstergelerinin ve kategorilerinin göreceli önemlerinin açıklanması ve ülkelerin ana sürücülerinin, güçlü ve zayıf yönlerinin belirlenmesi sağlanmaktadır. Bu bölümde yapılan çeşitli analizler ve sonuçları aşağıdaki gibi sıralanmaktadır:

1. Çalışmada genel olarak bir değerlendirme yapmak açısından **Senaryo 1** için 120 ülkenin YZE alt gösterge payı yüzdelerinin ortalamaları ve YZE kategori payı yüzdelerinin ortalamaları incelenmektedir. Buna göre,
 - 120 ülkenin YZE alt gösterge payı yüzdelerinin ortalamalarına göre 16 YZE alt göstergesinden 2 tanesinin (**AYDS** ve **IKBUBG**) YZE skoruna yüzde olarak katkılarının ortalamalarının %3'ün altında ve 3 tanesinin (**EDGE**, **İD** ve **ANDBD**) %9'un üzerinde olduğu görülmektedir. Genel olarak göreceli önemi en fazla olan alt göstergeler **EDGE**, **İD** ve **ANDBD** iken göreceli önemi en az olan alt göstergeler ise **AYDS**, **IKBUBG**, **HSGBAS** ve **HIKDS**'dir.
 - 120 ülkenin YZE kategori payı yüzdelerinin ortalamalarına göre YZE kategorilerinin göreceli önemi YZE skoruna katkısı en fazla olandan en az olana doğru "Beşeri Sermaye, Dijital Teknoloji Olgunluk Düzeyi, Geniş Bant Bağlantısı, İnovasyon Ekosistemi ve Yapay Zeka İle İlgili Araştırma Çalışmaları" şeklinde sıralanmaktadır.
 - YZE alt gösterge paylarının dağılım modeli ülkeye özgü olmakla birlikte ülke bazında YZE alt gösterge payı yüzdeleri incelendiğinde **Senaryo 1**'e göre her ülke için YZE alt göstergelerinin en az 10 tanesinin YZE skoruna katkısının %3'ten büyük olduğu belirlenmiştir.
2. Çalışmada 120 ülke için 16 YZE alt gösterge paylarının paylaşılması zor olacağı için ülke bazında YZE alt gösterge paylarının paylaşılması ve YZE alt göstergelerinin göreceli önemlerinin değerlendirilmesi **Senaryo 1** ile elde edilen YZE skorlarına göre sadece ilk 5 ülke ve Türkiye için yapılmaktadır. Buna göre,
 - YZE alt göstergelerinin göreceli önemlerinin ülkeden ülkeye farklılık gösterdiği görülmektedir. YZE skorları birbirine çok yakın olan ülkeler için de farklı YZE alt gösterge payı dağılım modelleri elde edilmektedir. (Örneğin ABD ve İsviçre)
 - ABD'nin **HIKDS** alt göstergesinin YZE skoruna katkısı %9,5'ten fazla iken aynı YZE alt göstergesi İsviçre'nin YZE skorunun sadece yaklaşık %2'sini oluşturmaktadır.

- **SGBAS** alt gösterge payının yüzdesi ABD için yaklaşık %9 iken Türkiye'nin YZE skorunun sadece yaklaşık %1,56'sı bu alt gösterge tarafından temsil edilmektedir.
- **AYDS** alt göstergesinin YZE skoruna katkısı ABD için yaklaşık %9,5 iken İsviçre, Hollanda, Singapur, Birleşik Krallık ve Türkiye bu alt göstergeyi tamamen ihmal ederek YZE skorlarını en üst seviyeye çıkarmışlardır.

3. Çalışmada ülkelerin iyi veya kötü performanslarını açıklayan güçlü ve zayıf yönlerinin belirlenmesi ve ülke bazında YZE kategorilerinin göreceli önemlerinin açıklanması amacıyla 120 ülke için YZE kategori payları grafiksel olarak gösterilmektedir. Buna göre,

- YZE kategori paylarının dağılım modeli ülkeye özgü olup, YZE kategorilerinin göreceli önemi de ülkeden ülkeye farklılık gösterebilmektedir.
- YZE skorunun kategori düzeyinde ayrıştırılmasıyla her bir ülkenin ulusal yapay zeka yetenek, kapasite ve potansiyelinin profili çıkarılarak ülke bazında ana sürücülerin belirlenmesi ve YZE kategorilerinin göreceli önemlerinin saptanması sağlanmaktadır.
- 1.Grup ülkelerin YZE kategori payları incelendiğinde YZE skorları birbirine çok yakın olan iki ülkeden ABD'nin "Yapay Zeka ile İlgili Araştırma Çalışmaları" ve "Geniş Bant Bağlantısı" kategorilerinde, İsviçre'nin "Beşeri Sermaye" ve "Dijital Teknoloji Olgunluk Düzeyi" kategorilerinde güçlü olduğu görülmektedir.
- "Dijital Teknoloji Olgunluk Düzeyi" kategorisi Güney Kore, Avustralya, Fransa, İsrail, Belçika, Almanya, Finlandiya, Birleşik Krallık, Singapur, Hollanda ve İsviçre için güçlü oldukları bir bileşen iken "Yapay Zeka ile İlgili Araştırma Çalışmaları" kategorisi ise zayıf oldukları bir bileşendir.
- "Beşeri Sermaye" kategorisi İsviçre, Singapur, Finlandiya, Kanada, Belçika, İsrail, Çin ve İspanya'nın "Geniş Bant Bağlantısı" kategorisi ise ABD, Avustralya ve Güney Kore'nin iyi performanslarının ana sürücüsü olma özelliğini taşımaktadır.
- 2.Grup ülkeler arasında bulunan Türkiye'nin güçlü yönleri "Dijital Teknoloji Olgunluk Düzeyi" ve "Beşeri Sermaye" kategorileri iken zayıf yönleri ise

“Yapay Zeka ile İlgili Araştırma Çalışmaları” ve “Geniş Bant Bağlantısı” kategorileridir.

Çalışmada **Bölüm 3.2.9**'da ülkelerin yapay zeka yetenek, kapasite ve potansiyel seviyelerinin ekonomik gelişmeleri üzerindeki etkisinin araştırılması amacıyla **Senaryo 1** ile elde edilen YZE skorları ve YZE kategori payları ile ekonomik gelişme göstergeleri arasındaki ilişkinin analizi yapılmaktadır. **Bölüm 1.2**'de yapılan detaylı literatür araştırmasına göre ilişki analizinde ekonomik gelişme göstergeleri olarak kişi başına düşen GSYİH ve işgücü verimliliği kullanılmaktadır. **Senaryo 1** ile elde edilen YZE skorları, ülkelerin ekonomik gelişme göstergeleriyle anlamlı ve sağlıklı bir bağımlılık ilişkisinin kurulabilmesi için yeterli düzeyde gerçekçi ve güvenilirliği yüksek özellikler taşımaktadır. Bu bölümde yapılan çeşitli analizler ve sonuçları aşağıdaki gibi sıralanmaktadır:

1. Çalışmada Korelasyon Analizi kullanılarak YZE skorlarının hem kişi başına düşen GSYİH ile hem de işçi başına düşen GSYİH ile ölçülen işgücü verimliliği ile bağlantısı kurulmaktadır. Buna göre,
 - YZE skorları ile logaritmik ölçekte ifade edilen kişi başına düşen GSYİH ve işçi başına düşen GSYİH arasındaki korelasyon katsayıları sırasıyla 0,836 ve 0,776'dır. Korelasyon analizi sonuçlarından yola çıkılarak ülkelerin yapay zeka yetenek, kapasite ve potansiyel düzeyleri ile kişi başına düşen GSYİH ve işçi başına düşen GSYİH ile ölçülen ekonomik gelişme düzeyleri arasında pozitif ve güçlü ilişkiler olduğu sonucuna varılmaktadır. Bu güçlü ve aynı yöndeki ilişkiler ülkelerin kişi başına düşen GSYİH ve işçi başına düşen GSYİH değerlerini artırma politikası olarak yapay zeka yetenek, kapasite ve potansiyel düzeylerini artırma politikasını izleyebilecekleri anlamına gelmektedir.
2. Çalışmada Korelasyon Analizi kullanılarak YZE kategori paylarının hem kişi başına düşen GSYİH ile hem de işçi başına düşen GSYİH ile ölçülen işgücü verimliliği ile bağlantısı kurulmaktadır. Korelasyon analizi sonuçlarından yola çıkılarak tüm YZE kategori paylarının ekonomik gelişme göstergeleriyle aralarında pozitif ve istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki olduğu görülmektedir.

Buna göre,

- YZE kategori payları ile logaritmik ölçekte ifade edilen kiři başına dūřen GSYİH değerleri arasındaki en yüksek korelasyon katsayısına sahip YZE kategorisi 0,821 korelasyon katsayısı ile “Geniř Bant Bağlantısı” kategorisidir. Yapay zeka teknolojilerini benimsemede ve uygulamada geniş bant bağlantısı yeterliliği ve kapasitesi ile kiři başına dūřen GSYİH arasında aynı yönde ve güçlü bir ilişki olduğu görölmektedir. Bu güçlü ve aynı yönde ilişki ölkelerin kiři başına dūřen GSYİH değerlerini artırma politikası olarak geniş bant bağlantısı kalitesini ve kapasitesini artırma politikasını izleyebilecekleri anlamına gelmektedir.
- YZE kategori payları ile logaritmik ölçekte ifade edilen iřçi başına dūřen GSYİH değerleri arasındaki en yüksek korelasyon katsayısına sahip YZE kategorisi 0,749 korelasyon katsayısı ile “Beřeri Sermaye” kategorisidir. Yapay zeka teknolojilerini geliştirmede, benimsemede ve uygulamada beşeri sermaye yeterliliği ve kapasitesi ile iřçi başına dūřen GSYİH cinsinden ifade edilen işgücü verimliliği arasında aynı yönde ve güçlü bir ilişki olduğu görölmektedir. Bu güçlü ve aynı yönde ilişki ölkelerin işgücü verimliliğini artırma politikası olarak yapay zeka teknolojilerini benimseyen, uygulayan ve geliştiren beşeri sermaye kalitesini ve kapasitesini artırma politikasını izleyebilecekleri anlamına gelmektedir.

3. Çalışmada geliştirilen iki doğrusal regresyon modeliyle ölkelerin ekonomik gelişme düzeylerinde yapay zeka yetenek, kapasite ve potansiyel seviyelerinin oynadığı rolün araştırılması amacıyla ekonomik gelişme göstergeleriyle YZE skorları arasındaki ilişkiler matematiksel olarak ifade edilmektedir. Çalışmanın amacı bir başlangıç analizi geliştirmek olduğu için ilişkiler matematiksel olarak ifade edilirken tek bağımsız değişkenli (YZE skorları) basit regresyon analizi uygulanmaktadır. Buna göre,

- Ölkelerin kiři başına dūřen GSYİH (logaritmik ölçekte) ile ifade edilen ekonomik gelişme seviyelerinin %83,6 oranında YZE skorları ile ifade edilen yapay zeka yetenek, kapasite ve potansiyel seviyelerine bağımlı olduğu bulgusuna ulaşılmaktadır. Dięer bir deyişle kiři başına dūřen GSYİH

(logaritmik ölçekte) bağımlı değişkenindeki değişkenliğin %69,8'i YZE skorları değişkeniyle açıklanabilmektedir.

- Ülkelerin YZE skorundaki 0,1 birimlik artışın (azalışın) kişi başına düşen GSYİH değerinde (logaritmik ölçekte) 0,1808 kadar artışa (azalışa) yol açacağı görölmektedir.
- Ülkelerin işçi başına düşen GSYİH (logaritmik ölçekte) ile ifade edilen ekonomik gelişme seviyelerinin %77,6 oranında YZE skorları ile ifade edilen yapay zeka yetenek, kapasite ve potansiyel seviyelerine bağımlı olduğu bulgusuna ulaşılmaktadır. Diğer bir deyişle işçi başına düşen GSYİH (logaritmik ölçekte) bağımlı değişkenindeki değişkenliğin %60,2'si YZE skorları değişkeniyle açıklanabilmektedir.
- Ülkelerin YZE skorundaki 0,1 birimlik artışın (azalışın) işçi başına düşen GSYİH değerinde (logaritmik ölçekte) 0,1233 kadar artışa (azalışa) yol açacağı görölmektedir.
- Geliştirilen iki basit regresyon modelinin R^2 değerleri karşılaştırıldığında YZE skorlarının kişi başına düşen GSYİH bağımlı değişkenini açıklama gücünün işçi başına düşen GSYİH bağımlı değişkenini açıklama gücüne göre daha yüksek olduğu görölmektedir.
- Geliştirilen iki basit regresyon modelinin **Regresyon Katsayıları** karşılaştırıldığında YZE skorlarındaki 0,1 birimlik artışın kişi başına düşen GSYİH bağımlı değişkeninde yol açacağı artışın (azalışın), işçi başına düşen GSYİH bağımlı değişkeninde yaratacağı artışa (azalışa) göre daha yüksek olduğu görölmektedir.

YZE skorları ile ekonomik gelişme göstergeleri arasındaki ilişki analizi değerlendirildiğinde ülkelerin yapay zeka yetenek, kapasite ve potansiyel düzeyleriyle ekonomik gelişme düzeyleri arasında istatistiksel olarak anlamlı ve güçlü ilişkiler olduğu sonucuna varılmaktadır. İlişki analizinin sonuçları **Bölüm 1.2** ve **Bölüm 1.3**'te yapılan detaylı literatür araştırmasıyla örtüşerek makul ve beklentilerle tutarlı çıkarımlar elde edildiğini göstermektedir. Genel olarak ülkelerin yapay zeka yetenek, kapasite ve potansiyel düzeylerinin ülkelerin ekonomik performanslarının bir

belirleyicisi olduğunu, tatmin edici düzeyde bir yaşam kalitesi veya daha yüksek bir gelir gibi önemli hedeflere ulaşmak için temel bir bileşen olduğunu söylemek mümkündür. Yapay zeka yetenek, kapasite ve potansiyel düzeyinin ülkelerin ekonomik performansları üzerindeki rolünün belirlenmesi ve açıklanması çok önemli ve etkin politikalar geliştirilmesini sağlamaktadır. YZE skorları ile ekonomik gelişme göstergeleri arasındaki güçlü ilişki ülkelerin kişi başına düşen GSYİH değerlerini ve işgücü verimliliğini artırma politikası olarak yapay zeka yetenek, kapasite ve potansiyel düzeylerini artırma politikasını izleyebilecekleri anlamına gelmektedir. Ülkelerin kişi başına düşen GSYİH değerlerini ve işgücü verimliliğini artırma politikası olarak öncelikle zayıf olan YZE kategorilerini belirlemeleri ve geliştirmeleri, böylelikle yapay zeka yetenek, kapasite ve potansiyel düzeylerini artırma politikasını izlemeleri önerilmektedir.

Çalışmada **Bölüm 3.2.10**'da YZE skorlarının ve ülke sıralamalarının vurgulanmak istenen amaca göre çeşitli şekillerde tablolar ve grafiklerle gösterilmesinin YZE sonuçlarının en etkili şekilde değerlendirilmesine ve yorumlanmasına sağladığı katkı açıklanmaktadır.

Gelecekteki çalışmalarda YZE'nin ekonomik gelişme göstergeleri ile arasındaki ilişkinin çeşitli zaman dilimleri için YZE skorları hesaplanarak "Zaman Serileri Analizleri" veya birden fazla bağımlı (örneğin kişi başına düşen GSYİH ve işçi başına düşen GSYİH) ve bağımsız değişken (örneğin YZE kategorileri ve ülkelerin otomasyon potansiyeli) kullanılarak "Kanonik Korelasyon Analizi" gibi daha geniş istatistiksel ve ekonometrik yöntemlerle incelenmesi planlanmaktadır.

KAYNAKÇA

- Accenture : “Country Spotlights: Why Artificial Intelligence Is the Future of Growth?”, 2016, (Çevrimiçi), https://www.accenture.com/t20170202T122451Z_w_/u/s-en/acnmedia/PDF-33/Accenture-Why-AI-is-the-Future-of-Growth--Country-Spotlights.pdf?la=en, 12.06.2020.
- Acemoğlu, D., Restrepo, P. : “Artificial intelligence, automation and work”, **NBER Working Paper**, No.24196, National Bureau of Economic Research, January 2018, (Çevrimiçi), <https://www.nber.org/papers/w24196>, 06.06.2020.
- Acemoğlu, D., Restrepo, P. : “The Race between Man and Machine: Implications of Technology for Growth, Factor Shares, and Employment”, **American Economic Review**, 108(6), 2018, pp.1488-1542.
- Adriaanse, A. : **Environmental Policy Performance Indicators: A Study on the Development of Indicators for Environmental Policy in the Netherlands**, SDV Publishers, The Hague, 1993.
- Aghion, P., Jones, B. F., Jones, C. I. : “Artificial Intelligence and Economic Growth”, **NBER Working Paper**, No.23928, National Bureau of Economic Research, October 2017, (Çevrimiçi), <http://www.nber.org/papers/w23928>, 06.06.2020.
- Agrawal A., Gans J., Goldfarb, A. : **Prediction machines: the simple economics of artificial intelligence**, Harvard Business Press, 2018.
- Agrawal, A., Gans J., Goldfarb, A. : **The Economics of Artificial Intelligence: An Agenda**, University of Chicago Press, 2019.
- Ali, T. M. : “Technological Achievements and Economic Development: The Significance of Technological Achievement Gap in Selected East and South Asian Countries”, **STI Policy Review**, 8(1), 2017, pp.113–156.

- Allison, P. D. : “Missing Data (Chapter 4)”, **The SAGE Handbook of Quantitative Methods in Psychology**, Ed. by. Roger E. Millsap, Alberto Maydeu-Olivares, SAGE Publications Ltd, 2009, (Çevrimiçi), <https://statisticalhorizons.com/wp-content/uploads/2012/01/Millsap-Allison.pdf>, 10.08.2020.
- Alpar, R. : **Uygulamalı Çok Değişkenli İstatistiksel Yöntemler**, Detay Yayıncılık, 2013.
- Archibugi, D.,
Coco, A. : “A New Indicator of Technological Capabilities for Developed and Developing Countries (ArCo)”, **World Development**, 32(4), 2004, pp.629-654, (Çevrimiçi), <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2003.10.008>, 15.08.2020.
- Asia Cloud Computing Association (ACCA) : **Cloud Readiness Index 2018**, Asia Cloud Computing Association, 2018.
- Bandura, R. : “A Survey of Composite Indices Measuring Country Performance: 2008 Update”, **UNDP/ODS Working Paper**, United Nations Development Programme, Office of Development Studies, New York, 2008.
- Barton, D.,
Woetzel, J.,
Seong, J.,
Tian, Q. : “Artificial Intelligence: Implications for China”, **Discussion Paper**, McKinsey Global Institute, April 2017, (Çevrimiçi), <https://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/featured%20insights/China/Artificial%20intelligence%20Implications%20for%20China/MGI-Artificial-intelligence-implications-for-China.ashx>, 15.06.2020.
- Batı, K. : “Bulut Bilişim ve Etkileri”, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, 2015.
- Bellman, R. : **An Introduction to Artificial Intelligence: Can Computers Think?**, Boyd and Fraser Publishing Company, 1978.

- Berg, A.,
Buffie, E. F.,
Zanna, L. F. : “Should We Fear the Robot Revolution? (The Correct Answer is Yes)”, **IMF Working Paper**, No.18/116, International Monetary Fund, May 2018, (Çevrimiçi), <https://www.imf.org/~media/Files/Publications/WP/2018/wp18116.ashx>, 04.06.2020.
- Booyesen, F. : “An Overview and Evaluation of Composite Indices of Development”, **Social Indicators Research**, 59(2), 2002, pp.115-151.
- Bris, A., Cabolis, C. : **IMD World Digital Competitiveness Ranking 2018**, IMD World Competitiveness Center, 2018, (Çevrimiçi), <https://www.imd.org/wcc/world-competitiveness-center-rankings/world-digital-competitiveness-rankings-2018/>, 15.08.2020.
- Bris, A., Cabolis, C. : **IMD World Digital Competitiveness Ranking 2019**, IMD World Competitiveness Center, 2019, (Çevrimiçi), <https://www.imd.org/wcc/world-competitiveness-center-rankings/world-digital-competitiveness-rankings-2019/>, 15.08.2020.
- Brynjolfsson, E.,
McAfee, A. : **The second machine age: Work, progress, and prosperity in a time of brilliant Technologies**, WW Norton & Company, 2014.
- Bughin, J., Hazan, E.,
Ramaswamy, S.,
Chui, M.,
Allas, T.,
Dahlström, P.,
Henke, N.,
Trench, M. : “Artificial Intelligence: The Next Digital Frontier?”, **Discussion Paper**, McKinsey Global Institute, June 2017, (Çevrimiçi), [https://www.mckinsey.com/~media/McKinsey/Industries/Advanced%20Electronics/Our%20Insights/How%20artificial%20intelligence%20can%20deliver%20real%20valu](https://www.mckinsey.com/~media/McKinsey/Industries/Advanced%20Electronics/Our%20Insights/How%20artificial%20intelligence%20can%20deliver%20real%20value%20to%20companies/MGI-Artificial-Intelligence-Discussion-paper.ashx)
[e%20to%20companies/MGI-Artificial-Intelligence-](https://www.mckinsey.com/~media/McKinsey/Industries/Advanced%20Electronics/Our%20Insights/How%20artificial%20intelligence%20can%20deliver%20real%20valu)
[Discussion-paper.ashx](https://www.mckinsey.com/~media/McKinsey/Industries/Advanced%20Electronics/Our%20Insights/How%20artificial%20intelligence%20can%20deliver%20real%20valu), 08.06.2020.

- Bughin, J.,
Seong, J.,
Manyika, J.,
Chui, M.,
Joshi, R.
- : “Notes from the AI Frontier: Modeling the Impact of AI on the World Economy”, **Discussion Paper**, McKinsey Global Institute, September 2018, (Çevrimiçi), <https://www.mckinsey.com/~media/McKinsey/Featured%20Insights/Artificial%20Intelligence/Notes%20from%20the%20frontier%20Modeling%20the%20impact%20of%20AI%20on%20the%20world%20economy/MGI-Notes-from-the-AI-frontier-Modeling-the-impact-of-AI-on-the-world-economy-September-2018.ashx>, 15.06.2020.
- Bughin, J.,
Van Zeebroeck, N.
- : “Artificial intelligence: Why a digital base is critical”, **The McKinsey Quarterly**, 2018(3), 2018, pp.13-16, (Çevrimiçi), <https://www.mckinsey.com/~media/McKinsey/Business%20Functions/McKinsey%20Analytics/Our%20Insights/Artificial%20intelligence%20Why%20a%20digital%20base%20is%20critical/Artificial-intelligence-Why-a-digital-base-is-critical.ashx>, 23.06.2020.
- Cambrian Futures
- : “Nation AI Readiness Index (NAIR)”, (Çevrimiçi), <https://www.cambrian.ai/nair-index>, 15.06.2020.
- Charnes, A.,
Cooper, W. W.
- : “Preface to Topics in Data Envelopment Analysis”, **Annals of Operations Research**, 2, 1985, pp.59-94.
- Charnes, A.,
Cooper, W. W.,
Rhodes, E.
- : “Measuring the Efficiency of Decision Making Units”, **European Journal of Operational Research**, 2(6), 1978, pp.429-444.
- Cheema, J.
- : “Handling Missing Data in Educational Research Using SPSS”, Doctoral Dissertation, George Mason University, USA, 2012, (Çevrimiçi), http://mars.gmu.edu/bitstream/handle/1920/7840/Jehanzeb_Cheema_Dissertation_Spring_2012_GMU.pdf?sequence=1&isAllowed=y, 10.11.2020.
- Chen, N.,
Christensen, L.,
Gallagher, K.,
Mate, R.,
Rafert, G.
- : **Global Economic Impacts Associated with Artificial Intelligence**, Analysis Group, 2016, (Çevrimiçi), http://www.analysisgroup.com/uploadedfiles/content/insights/publishing/ag_full_report_economic_impact_of_ai.pdf, 12.06.2020.

- Cherchye, L.,
Kuosmanen, T. : “Benchmarking Sustainable Development: A Synthetic Meta-Index Approach”, **WIDER Research Paper**, No.2004/28, The United Nations University World Institute for Development Economics Research (UNU-WIDER), Helsinki, 2004.
- Cherchye, L.,
Lovell, C. A. K.,
Moesen, W.,
Van Puyenbroeck, T. : “One market, one number? A composite indicator assessment of EU internal market dynamics”, **European Economic Review**, 51(3), 2007, pp.749-779.
- Cherchye, L.,
Moesen, W.,
Rogge, N.,
Van Puyenbroeck, T. : “An Introduction to ‘Benefit of the Doubt’ Composite Indicators”, **Social Indicators Research**, 82(1), 2007, pp.111-145.
- Cherchye, L.,
Moesen, W.,
Rogge, N.,
Van Puyenbroeck, T. : “Constructing a Knowledge Economy Composite Indicator with Imprecise Data”, **Center for Economic Studies Discussions Paper Series**, No.ces09.15, KU Leuven, Faculty of Economics and Business, Department of Economics, 2009, pp.1-24.
- Cherchye, L.,
Moesen, W., Rogge, N.,
Van Puyenbroeck, T.,
Saisana, M.,
Saltelli, A., Liska, R.,
Tarantola, S. : “Creating Composite Indicators with DEA and Robustness Analysis: The Case of the Technology Achievement Index”, **Journal of the Operational Research Society**, 59(2), 2008, pp.239-251.
- Cherchye, L.,
Moesen, W.,
Van Puyenbroeck, T. : “Legitimately diverse, yet comparable: on synthesizing social inclusion performance in the EU”, **Journal of Common Market Studies (JCMS)**, 42(5), 2004, pp.919-955.
- Cheung, O. L. : “Impact of Innovative Environment on Economic Growth: An Examination of State Per Capita GDP and Personal Income”, **Journal of Business & Economics Research (JBER)**, 12(3), 2014, pp.257-270.
- Cockburn, I. M.,
Henderson, R.,
Stern, S. : “The Impact of Artificial Intelligence on Innovation”, **NBER Working Paper**, No.24449, National Bureau of Economic Research, March 2018, (Çevrimiçi), <http://www.nber.org/papers/w24449>, 06.06.2020.

- Commission of the European Communities : **Commission Staff Working Paper, 2001 Innovation Scoreboard**, SEC(2001), 1414, Brussels, 2001, (Çevrimiçi), https://ec.europa.eu/regional_policy/archive/innovation/pdf/library/innovation_scoreboard.pdf, 13.07.2020.
- Commission of the European Communities : **Communication from the Commission, Structural Indicators**, COM(2001), 619 Final, Brussels, 2001, (Çevrimiçi), <https://ec.europa.eu/transparency/regdoc/rep/1/2001/EN/1-2001-619-EN-F1-1.Pdf>, 13.07.2020.
- Cooper, W. W., Seiford, L. M., Tone, K. : **Data Envelopment Analysis: A Comprehensive Text with Models, Applications, References and DEA-Solver Software**, Second Edition, Springer Science & Business Media, New York, USA, 2007.
- Cornell University, INSEAD, WIPO : **The Global Innovation Index 2019: Creating Healthy Lives-The Future of Medical Innovation**, Ithaca, Fontainebleau, Geneva, 2019, (Çevrimiçi), https://www.wipo.int/edocs/pubdocs/en/wipo_pub_gii_2019.pdf, 05.11.2019.
- Cronbach, L. J. : “Coefficient Alpha and the Internal Structure of Tests”, **Psychometrika**, 16(3), 1951, pp.297-334.
- Cylus, J., Papanicolas, I., Smith, P. C. : “Using Data Envelopment Analysis to Address the Challenges of Comparing Health System Efficiency”, **Global Policy**, 8(s2), 2017, pp.60-68.
- De Witte, K., Rogge, N. : “To publish or not to publish? On the aggregation and drivers of research performance”, **Scientometrics**, 85(3), 2010, pp.657-680.
- Despotis, D. K. : “A reassessment of the human development index via data envelopment analysis”, **Journal of the Operational Research Society**, 56(8), 2005, pp.969-980.

- DigitalEurope, PwC : **Accelerate to a trusted Digital Single Market**, February 2018, (Çevrimiçi), <https://www.digitaleurope.org/wp/wp-content/uploads/2018/02/PwC-pdf-version-final-2.pdf>, 15.04.2020.
- Dunteman, G. H. : **Principal Components Analysis**, Sage University Paper Series on Quantitative Applications in the Social Sciences, No.69, Sage Publications, USA, 1989.
- Dyson, R. G., Thanassoulis, E. : “Reducing Weight Flexibility in Data Envelopment Analysis”, **Journal of the Operational Research Society**, 39(6), 1988, pp.563-576.
- Ebert, U., Welsch, H. : “Meaningful Environmental Indices: A Social Choice Approach”, **Journal of Environmental Economics and Management**, 47(2), 2004, pp.270-283.
- Esty, D. C., Levy, M., Srebotnjak, T., De Sherbinin, A. : **2005 Environmental Sustainability Index: Benchmarking National Environmental Stewardship**, New Haven: Yale Center for Environmental Law and Policy, 2005.
- European Commission : **Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions, Strengthening European Identity through Education and Culture**, COM(2017), 673 Final, Strasbourg, 2017, (Çevrimiçi), <https://www.eumonitor.eu/9353000/1/j9vvik7m1c3gyxp/vkjb Paci9iyl>, 15.04.2020.
- European Commission : **Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions on the Digital Education Action Plan**, COM(2018), 22 Final, Brussels, 2018, (Çevrimiçi), <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52018DC0022>, 15.04.2020.

- European Commission : **The EU Economy Review 2004, European Economy**, No:6, Office for Official Publications of the EC, Luxembourg, 2004, (Çevrimiçi), https://ec.europa.eu/economy_finance/publications/pages/publication451_en.pdf, 15.08.2020.
- Executive Office of the President of the United States : **Artificial Intelligence, Automation, and the Economy**, Executive Office of the President, Washington, D.C., December 2016, (Çevrimiçi), <https://obamawhitehouse.archives.gov/sites/whitehouse.gov/files/documents/Artificial-Intelligence-Automation-Economy.PDF>, 24.06.2020.
- Farrell, M. J. : “The Measurement of Productive Efficiency”, **Journal of the Royal Statistical Society: Series A (General)**, 120(3), 1957, pp.253-281.
- Foster, J., Sen, A. : **On Economic Inequality**, 2nd expanded edition, Clarendon Press, Oxford, 1997.
- Freudenberg, M. : “Composite Indicators of Country Performance: A Critical Assessment”, **OECD Science, Technology and Industry Working Papers**, 2003/16, OECD Publishing, 2003, (Çevrimiçi), <https://doi.org/10.1787/405566708255>, 10.04.2020.
- Frey C. B., Osborne, M. A. : “The Future of Employment: How Susceptible are Jobs to Computerisation”, Oxford University, 2013, (Çevrimiçi), https://www.oxfordmartin.ox.ac.uk/downloads/academic/The_Future_of_Employment.pdf, 02.06.2020.
- Gaaloul, H., Khalfallah, S. : “Application of the “Benefit-Of-the-Doubt” Approach for the Construction of a Digital Access Indicator: A Revaluation of the “Digital Access Index””, **Social Indicators Research**, 118(1), 2014, pp.45-56.
- Giampietro, M., Mayumi, K., Munda, G. : “Integrated Assessment and Energy Analysis: Quality Assurance in Multi-Criteria Analysis of Sustainability”, **Energy**, 31(1), 2006, pp.59-86.

- Gillham, J.,
Rimmington, L.,
Dance, H., Verweij, G.,
Rao, A., Roberts, K. B.,
Paich, M. : **The Macroeconomic Impact of Artificial Intelligence**, PwC, February 2018, (Çevrimiçi), <https://www.pwc.co.uk/economic-services/assets/macroeconomic-impact-of-ai-technical-report-feb-18.pdf>, 15.06.2020.
- Golany, B. : “A Note on Including Ordinal Relations Among Multipliers in Data Envelopment Analysis”, **Management Science**, 34(8), 1988, pp.1029-1033.
- Golany, B.,
Roll, Y. : “An Application Procedure for DEA”, **Omega**, 17(3), 1989, pp.237-250.
- Gomez-Limon, J. A.,
Riesgo, L. : “A Composite Indicator to Measure Agricultural Sustainability: Alternative Approaches”, **Decision Support Systems in Agriculture, Food and the Environment: Trends, Applications and Advances**, Ed. by. B. Manos, N. Matsatsinis, K. Paparrizos, J. Papathanasiou, IGI Global, 2010, pp.219-245.
- Gonzalez, E.,
Carcaba, A.,
Ventura, J. : “Weight Constrained DEA Measurement of the Quality of Life in Spanish Municipalities in 2011”, **Social Indicators Research**, 136(3), 2018, pp.1157-1182.
- Groth, O. J.,
Nitzberg, M.,
Zehr, D.,
Straube, T.,
Kaatz-Dubberke, T. : **Comparison of National Strategies to Promote Artificial Intelligence Part 1**, Cambrian, Konrad-Adenauer-Stiftung, 2019, (Çevrimiçi), <https://www.kas.de/documents/252038/4521287/Comparison+of+National+Strategies+to+Promote+Artificial+Intelligence+Part+1.pdf/397fb700-0c6f-88b6-46be-2d50d7942b83?version=1.0&t=1559816454483>, 15.06.2020.
- Gugerty, L. : “Newell and Simon's Logic Theorist: Historical Background and Impact on Cognitive Modeling”, **Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting**, 50(9), 2006, pp.880-884.

- Gwartney, J.,
Lawson, R.,
Block, W. : **Economic Freedom of the World (1975–1995)**, The Fraser Institute, Canada, 1996.
- Herweijer, C.,
Combes, B.,
Ramchandani, P.,
Sidhu, J. : **Fourth Industrial Revolution for the Earth: Harnessing Artificial Intelligence for the Earth**, PwC, January 2018, (Çevrimiçi), <https://www.pwc.com/gx/en/sustainability/assets/ai-for-the-earth-jan-2018.pdf>, 20.06.2020.
- Hollanders, H.,
Es-Sadki, N. : **European Innovation Scoreboard 2017**, European Union, 2017, (Çevrimiçi), <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/24829>, 15.03.2020.
- International Labour Organization : “Output per worker, GDP constant 2011 international \$ in PPP”, (Çevrimiçi), https://www.ilo.org/shinyapps/bulkexplorer23/?lang=en&segment=indicator&id=GDP_211P_NOC_NB_A, 17.01.2020.
- International Monetary Fund : “GDP Per Capita Current Prices”, (Çevrimiçi), <https://www.imf.org/external/datamapper/NGDPDPC@WEO/ADVEC?year=2019>, 17.01.2020.
- International Telecommunication Union : **Global Cybersecurity Index 2018**, International Telecommunication Union, Geneva, 2019, (Çevrimiçi), <http://www.itu.int/pub/D-STR-GCI.01-2018>, 05.11.2019.
- International Telecommunication Union : **Measuring the Information Society Report 2018-Volume 2 (ICT Country Profiles)**, ITU, Geneva, 2018, (Çevrimiçi), <https://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Pages/publications/misr2018.aspx>, 05.11.2019.
- Jacobs, R.,
Smith, P.,
Goddard, M. : “Measuring Performance: An Examination of Composite Performance Indicators”, **CHE Technical Paper Series 29**, Centre for Health Economics, University of York, 2004.

- Kalaycı, Ş. : **SPSS Uygulamalı Çok Değişkenli İstatistik Teknikleri**, Vol.5, Asil Yayın Dağıtım, Ankara, 2010.
- Little, R. J. A., Rubin, D. B. : **Statistical Analysis with Missing Data** (Vol. 793), John Wiley & Sons, 2019.
- Lovell, C. A. K., Pastor, J. T., Turner, J. A. : “Measuring macroeconomic performance in the OECD: A comparison of European and non-European countries”, **European Journal of Operational Research**, 87(3), 1995, pp.507-518.
- Luger, G. F. : **Artificial Intelligence: Structures and Strategies for Complex Problem Solving**, Sixth Edition, Pearson Education, 2009.
- Manyika, J., Chui, M., Miremadi, M., Bughin, J., George, K., Willmott, P., Dewhurst, M. : **A Future That Works: Automation, Employment and Productivity**, McKinsey Global Institute, January 2017, (Çevrimiçi), https://www.mckinsey.com/~media/McKinsey/Featured%20Insights/Digital%20Disruption/Harnessing%20automation%20for%20a%20future%20that%20works/MGI-A-future-that-works_Full-report.ashx, 12.06.2020.
- McCarthy J., Hayes P. J. : “Some Philosophical Problems from the Standpoint of Artificial Intelligence”, **Machine Intelligence**, Vol.4, Ed. by. Donald Michie, Bernard Meltzer, Edinburg University Press, 1969, pp.463-502, (Çevrimiçi), <http://www-formal.stanford.edu/jmc/mcchay69.pdf>, 23.07.2020.
- McCarthy, J. : “What is Artificial Intelligence?”, 2007, (Çevrimiçi), <http://perma.cc/U3RT-Q7JK>, 06.09.2020.
- McCarthy, J., Minsky, M. L., Rochester, N., Shannon, C. E. : “A Proposal for the Dartmouth Summer Research Project on Artificial Intelligence, August 31, 1955”, **AI Magazine**, 27(4), 2006, pp.12-14, (Çevrimiçi), <https://doi.org/10.1609/aimag.v27i4.1904>, 06.09.2020.

- McCorduck, P. : **Machines Who Think: A Personal Inquiry into the History and Prospects of Artificial Intelligence**, Second Edition, A K Peters Ltd., 2004.
- Melyn, W.,
Moesen, W. : “Towards a Synthetic Indicator of Macroeconomic Performance: Unequal Weighting When Limited Information is Available”, **Public Economic Research Paper 17**, CES, KU Leuven, 1991, pp.1-24.
- Milgrom, P. R.,
Tadelis, S. : “How Artificial Intelligence and Machine Learning Can Impact Market Design”, **NBER Working Paper**, No.24282, National Bureau of Economic Research, February 2018, (Çevrimiçi), <http://www.nber.org/papers/w24282>, 06.06.2020.
- Miller, H., Stirling, R.,
Chung, Y.,
Lokanathan, S.,
Martinho-Truswell, E.,
New, J., Rutenberg, I.,
Scrollini, F. : **Government Artificial Intelligence Readiness Index 2019**, Oxford Insights, 2019, (Çevrimiçi), <https://www.oxfordinsights.com/ai-readiness2019>, 15.06.2020.
- Molnar, L. : “Analysis of the Relationship Among Innovation Performance, Economic Development and Social Welfare”, **Theory Methodology Practice: Club of Economics in Miskolc**, 11(1), 2015, pp.71-78, (Çevrimiçi), <https://doi.org/10.18096/TMP.2015.01.07>, 15.08.2020.
- Munda, G.,
Nardo, M. : **Constructing Consistent Composite Indicators: The Issue of Weights**, EUR 21834 EN, European Communities, 2005.
- N'Da, K.,
Robin, A.,
Tribunella, T. : “Economic Freedom and the Impact of Technology on Productivity”, **Journal of Global Information Management (JGIM)**, 17(3), 2009, pp.42-58.
- Nardo, M., Saisana, M.,
Saltelli, A.,
Tarantola, S. : **Tools for Composite Indicators Building**, EUR 21682 EN, European Communities, 2005.

- Nardo, M., Saisana, M., Saltelli, A., Tarantola, S., Hoffmann, A., Giovannini, E. : **Handbook on Constructing Composite Indicators: Methodology and User Guide**, OECD Publishing, 2008, (Çevrimiçi), <https://www.oecd.org/sdd/42495745.pdf>, 01.04.2020.
- National Science and Technology Council (US), Committee on Technology, Subcommittee on Machine Learning and Artificial Intelligence : **Preparing for the Future of Artificial Intelligence**, Executive Office of the President, Washington, D.C., October 2016, (Çevrimiçi), https://obamawhitehouse.archives.gov/sites/default/files/whitehouse_files/microsites/ostp/NSTC/preparing_for_the_future_of_ai.pdf, 02.08.2020.
- Newell, A., Simon, H. A. : “GPS: A Program That Simulates Human Thought”, **Lernende Automaten**, Ed. by. H. Billings, R. Oldenbourg, Munchen, 1961, pp.109-124, (Çevrimiçi), <http://digitalcollections.library.cmu.edu/awweb/awarchive?type=file&item=33607>, 04.06.2020.
- Newell, A., Simon, H. A. : “The logic theory machine: A complex information processing system”, **IRE Transactions on Information Theory**, 2(3), 1956, pp.61-79.
- NG, A. : “Artificial Intelligence Is the New Electricity”, Stanford University Graduate School of Business MSx Program Future Forum, January 2018, (Çevrimiçi), <https://singjupost.com/andrew-ng-artificial-intelligence-is-the-new-electricity-at-stanford-gsb-transcript/?singlepage=1&pdf=6249>, 15.06.2020.
- Nicoletti, G., Scarpetta, S., Boylaud, O. : “Summary Indicators of Product Market Regulation with an Extension to Employment Protection Legislation”, **OECD Economics Department Working Papers**, No.226, ECO/WKP (99)18, OECD, 2000, (Çevrimiçi), <http://www.oecd.org/economy/outlook/1880867.pdf>, 10.08.2020.
- Nilsson, N. J. : “Eye on the Prize”, **AI Magazine**, 16(2), 1995, pp.9-17.

- Nilsson, N. J. : **The Quest for Artificial Intelligence: A History of Ideas and Achievements**, Web Version, 2010, (Çevrimiçi), <http://ai.stanford.edu/~nilsson/QAI/qai.pdf>, 06.09.2020.
- Nunnally, J. C. : **Psychometric Theory**, Second Edition, McGraw-Hill, 1978.
- OECD : **Key Issues for Digital Transformation in the G20**, OECD, 2017, (Çevrimiçi), <https://www.oecd.org/g20/key-issues-for-digital-transformation-in-the-g20.pdf>, 15.04.2020.
- OECD Public Governance and Territorial Development Directorate : **Recommendation on Digital Government Strategies**, OECD, 2014, (Çevrimiçi), <https://www.oecd.org/gov/digital-government/Recommendation-digital-government-strategies.pdf>, 15.04.2020.
- Okuda, A., Vakataki Ofa, S. : “Artificial intelligence and broadband development through the Asia-Pacific Information Superhighway”, **Journal of Infrastructure, Policy and Development**, 2(2), 2018, pp.319-342, (Çevrimiçi), <http://dx.doi.org/10.24294/jipd.v2i2.1047>, 15.04.2020.
- Ookla, LLC : “Speedtest Global Index”, (Çevrimiçi), <https://www.speedtest.net/global-index>, 15.04.2020.
- Orhunbilge, N. : **Çok Değişkenli İstatistik Yöntemler**, İstanbul Üniversitesi, Yayın No.4942, İşletme Fakültesi, Yayın No.286, 2010.
- Orhunbilge, N. : **Uygulamalı Regresyon ve Korelasyon Analizi**, 2.Baskı, İstanbul Üniversitesi Basım ve Yayınevi Müdürlüğü, İstanbul, 2002.
- Pedraja-Chaparro, F., Salinas-Jimenez, J., Smith, P. : “On the Role of Weight Restrictions in Data Envelopment Analysis”, **Journal of Productivity Analysis**, 8(2), 1997, pp.215-230.

- Perrault, R.,
Shoham, Y.,
Brynjolfsson, E.,
Clark, J.,
Etchemendy, J.,
Grosz, B.,
Lyons, T., Manyika, J.,
Mishra, S.,
Niebles, J. C.
- : **The AI Index 2019 Annual Report**, AI Index Steering Committee, Human-Centered AI Institute, Stanford University, Stanford, CA, December 2019, (Çevrimiçi), <https://hai.stanford.edu/research/ai-index-2019>, 15.05.2020.
- Poole, D. L.,
Mackworth, A. K.
- : **Artificial Intelligence: Foundations of Computational Agents**, Cambridge University Press, 2010.
- Pramanik, P. K. D.,
Pal, S.,
Brahmachari, A.,
Choudhury, P.
- : “Processing IoT Data: From Cloud to Fog-It's Time to Be Down to Earth (Chapter 7)”, **Applications of Security, Mobile, Analytic, and Cloud (SMAC) Technologies for Effective Information Processing and Management**, Ed. By. P. Karthikeyan, M. Thangavel, IGI Global, 2018, pp.124-148.
- Purdy, M.,
Daugherty, P.
- : **How AI Boosts Industry Profits and Innovation?**, Accenture, 2017, (Çevrimiçi), <https://www.accenture.com/fr-fr/acnmedia/36DC7F76EAB444CAB6A7F44017CC3997.pdf>, 18.06.2020.
- Purdy, M.,
Daugherty, P.
- : **Why Artificial Intelligence Is the Future of Growth?**, Accenture, 2016, (Çevrimiçi), https://www.accenture.com/t20170524T055435_w/ca-en/acnmedia/PDF-52/Accenture-Why-AI-is-the-Future-of-Growth.pdf, 12.06.2020.
- Rao, A. S.,
Verweij, G.
- : **Sizing the prize: What’s the real value of AI for your business and how can you capitalise?**, PwC, 2017, (Çevrimiçi), <https://www.pwc.com/gx/en/issues/analytics/assets/pwc-ai-analysis-sizing-the-prize-report.pdf>, 15.06.2020.
- Ricca, E. G.,
Tarantola, S.
- : “A Composite Indicator of Sustainable Well-Being: The Relative Importance of Weights in the European Strategy for Sustainable Development”, **46th Scientific Meeting of the Italian Statistical Society**, May 2012.

- Rich, E., Knight, K., Nair, S. B. : **Artificial Intelligence**, Third Edition, Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited, 2009.
- Russell, S. J., Norvig, P. : **Artificial Intelligence: A Modern Approach**, Third Edition, Prentice Hall, 2009.
- Saaty, R. W. : “The Analytic Hierarchy Process: What it is and How it is Used”, **Mathematical Modelling**, Vol.9, No.3-5, 1987, pp.161-176.
- Saisana, M., Saltelli, A. : **Uncertainty and Sensitivity Analysis of the 2010 Environmental Performance Index**, JRC Scientific and Technical Reports, EUR 24269 EN, European Communities, 2010, (Çevrimiçi), <https://ec.europa.eu/jrc/en/publication/eur-scientific-and-technical-research-reports/uncertainty-and-sensitivity-analysis-2010-environmental-performance-index>, 15.04.2020.
- Saisana, M., Saltelli, A., Tarantola, S. : “Uncertainty and sensitivity analysis techniques as tools for the quality assessment of composite indicators”, **Journal of the Royal Statistical Society A**, 168(2), 2005, pp.307-323.
- Saisana, M., Tarantola, S. : **State-of-the-art Report on Current Methodologies and Practices for Composite Indicator Development**, EUR 20408 EN, European Commission-Joint Research Centre, Italy, 2002, (Çevrimiçi), <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/9253d939-b47b-4428-b792-619e6b6c8645>, 07.11.2020.
- Saisana, M., Tarantola, S., Schulze, N., Cherchye, L., Moesen, W., Van Puyenbroeck, T. : **State-of-the-Art Report on Composite Indicators for the Knowledge-based Economy**, KEI Project Report, Workpackage 5, 2005, (Çevrimiçi), <https://www.uni-trier.de/fileadmin/fb4/projekte/SurveyStatisticsNet/KEI-WP5-D5.1.pdf>, 10.08.2020

- Salzman, J. : **Methodological Choices Encountered in the Construction of Composite Indices of Economic and Social Well-Being**, Center for the Study of Living Standards, 2003.
- Say, C. : **50 Soruda Yapay Zeka**, 1. Baskı, Bilim ve Gelecek Kitaplığı, İstanbul, 2018.
- Schwab, K. : “The Fourth Industrial Revolution: What It Means, How to Respond”, World Economic Forum, January 2016, (Çevrimiçi), <https://www.weforum.org/agenda/2016/01/the-fourth-industrial-revolution-what-it-means-and-how-to-respond>, 15.06.2020.
- Schwab, K. : **The Global Competitiveness Report 2017-2018**, World Economic Forum, Geneva, 2017, (Çevrimiçi), <http://www3.weforum.org/docs/GCR2017-2018/05FullReport/TheGlobalCompetitivenessReport2017%E2%80%932018.pdf>, 05.11.2019.
- Schwab, K. : **The Global Competitiveness Report 2018**, World Economic Forum, Geneva, 2018, (Çevrimiçi), <http://www3.weforum.org/docs/GCR2018/05FullReport/TheGlobalCompetitivenessReport2018.pdf>, 05.11.2019.
- Schwab, K. : **The Global Competitiveness Report 2019**, World Economic Forum, Geneva, 2019, (Çevrimiçi), http://www3.weforum.org/docs/WEF_TheGlobalCompetitivenessReport2019.pdf, 05.11.2019.
- Scimago Lab : “Scimago Journal & Country Rank (SJR)”, (Çevrimiçi), <https://www.scimagojr.com/countryrank.php?category=1702>, 01.11.2019.
- Sharpe, A. : **Literature Review of Frameworks for Macro-indicators**, CSLS Research Report, 2004-03, Centre for the Study of Living Standards, 2004.

- Sherman, H. D.,
Zhu, J. : **Service Productivity Management: Improving Service Performance Using Data Envelopment Analysis (DEA)**, Springer Science & Business Media, Boston, 2006.
- Shoham, Y.,
Perrault, R.,
Brynjolfsson, E.,
Clark, J., LeGassick, C. : **The AI Index 2017 Annual Report**, AI Index Steering Committee, Human-Centered AI Initiative, Stanford University, Stanford, CA, November 2017, (Çevrimiçi), <https://hai.stanford.edu/ai-index-2017>, 15.05.2020.
- Shoham, Y.,
Perrault, R.,
Brynjolfsson, E.,
Clark, J., Manyika, J.,
Niebles, J. C.,
Lyons, T.,
Etchemendy, J.,
Grosz, B., Bauer, Z. : **The AI Index 2018 Annual Report**, AI Index Steering Committee, Human-Centered AI Initiative, Stanford University, Stanford, CA, December 2018, (Çevrimiçi), <https://hai.stanford.edu/ai-index-2018>, 15.05.2020.
- Stanford University : “One Hundred Year Study on Artificial Intelligence (AI100)”, (Çevrimiçi), <https://ai100.stanford.edu>, 15.05.2020.
- Stanford University,
Human-Centered AI
Institute : “Global AI Vibrancy Tool”, (Çevrimiçi), <http://vibrancy.aiindex.org/>, 10.06.2020.
- Stirling, R.,
Miller, H.,
Martinho-Truswell, E. : **Government Artificial Intelligence Readiness Index 2017**, Oxford Insights, 2017, (Çevrimiçi), <https://www.oxfordinsights.com/government-ai-readiness-index>, 15.06.2020.
- Stone, P., et al. : **Artificial Intelligence and Life in 2030, One Hundred Year Study on Artificial Intelligence: Report of the 2015-2016 Study Panel**, Stanford University, Stanford, CA, September 2016, (Çevrimiçi), <https://ai100.stanford.edu/2016-report>, 15.05.2020.
- Storrie, D.,
Bjurek, H. : “Benchmarking European Labour Market Performance with Efficiency Frontier Techniques”, **Centre for European Labour Market Studies (CELMs) Discussion Paper**, Göteborg University, 2000.

- Szuwarzynski, A. : “Benefit of the doubt approach to assessing the research performance of Australian universities”, **Higher Education Quarterly**, 73(2), 2019, pp.235-250.
- T.C. Ulaştırma
Denizcilik ve
Haberleşme Bakanlığı : **Ulusal Genişbant Stratejisi ve Eylem Planı (2017-2020)**, 2017, (Çevrimiçi),
https://www.gmka.gov.tr/dokumanlar/yayinlar/2017-2020_Ulusal-Genisbant-Stratejisi-ve-Eylem-Plani.pdf,
15.04.2020.
- Tarantola, S.,
Castaings, W. : **The 2008 European e-Business Readiness Index**, JRC Scientific and Technical Reports, EUR 23770 EN, European Communities, 2009.
- Tarantola, S.,
Saisana, M.,
Saltelli, A.,
Schmiedel, F.,
Leapman, N. : **Statistical Techniques and Participatory Approaches for the Composition of the European Internal Market Index 1992-2001**, EUR 20547 EN, European Communities, Italy, 2002.
- Thanassoulis, E.,
Portela, M. C.,
Allen, R. : “Incorporating Value Judgements in DEA”, **Handbook on Data Envelopment Analysis**, Ed. by. W. W. Cooper, L. Seiford, J. Zhu, Kluwer Academic Publishers, 2004, pp.99-138.
- Tufte, E. R. : **The Visual Display of Quantitative Information**, Second Edition, Graphics Press, Connecticut, USA, 2001.
- Turing, A. M. : “Computing Machinery and Intelligence”, **Mind**, Vol.59, No.236, 1950, pp.433-460., (Çevrimiçi),
<https://doi.org/10.1093/mind/LIX.236.433>, 06.09.2020.
- United Nations
Department of
Economic and Social
Affairs : **United Nations E-Government Survey 2018 : Gearing E-Government to Support Transformation Towards Sustainable and Resilient Societies**, United Nations, New York, 2018, (Çevrimiçi), https://www.un-ilibrary.org/democracy-and-governance/united-nations-e-government-survey-2018_d54b9179-en, 05.11.2019.

United Nations
Economic and Social
Commission for Asia
and the Pacific

: **Artificial Intelligence and Broadband Divide: State of ICT Connectivity in Asia and the Pacific**, 2017, (Çevrimiçi), <https://www.unescap.org/resources/artificial-intelligence-and-broadband-divide-state-ict-connectivity-asia-and-pacific-2017>, 14.07.2020.

Van Stel, A.,
Carree, M., Thurik, R.

: “The Effect of Entrepreneurial Activity on National Economic Growth”, **Small Business Economics**, 24(3), 2005, pp.311-321.

Vinuesa, R.,
Azizpour, H.,
Leite I., et al.

: “The role of artificial intelligence in achieving the Sustainable Development Goals”, **Nature Communications**, 11(233), 2020, pp.1-10, (Çevrimiçi), <https://doi.org/10.1038/s41467-019-14108-y>, 18.07.2020.

Winston, P. H.

: **Artificial Intelligence**, Third Edition, Addison-Wesley Publishing Company, 1992.

Wong, Y. H. B.,
Beasley, J. E.

: “Restricting Weight Flexibility in Data Envelopment Analysis”, **Journal of the Operational Research Society**, 41(9), 1990, pp.829-835.

World Economic
Forum, Yale Center for
Environmental Law and
Policy, Center for
International Earth
Science Information
Network

: **2002 Environmental Sustainability Index**, 2002, (Çevrimiçi), https://sedac.ciesin.columbia.edu/es/esi/ESI2002_21MAR02a.pdf, 12.08.2020.

Zhou, P.,
Ang, B. W.,
Poh, K. L.

: “A Mathematical Programming Approach to Constructing Composite Indicators”, **Ecological Economics**, 62(2), 2007, pp.291-297.

EKLER

EK-1: ŞLKY Alternatif Ağırlıklandırma Senaryolarına Göre YZE Skorları ve Ülke Sıralamaları

(Ülkeler Senaryo 1'e Göre Sıralanmaktadır.)

Ülke Adı	Sınırlandırılmamış ŞLKY		Sınırlı ŞLKY Senaryoları					
			Senaryo 1		Senaryo 2		Senaryo 3	
	YZE Skoru	Sıra	YZE Skoru	Sıra	YZE Skoru	Sıra	YZE Skoru	Sıra
ABD	1	1	1	1	1	1	1	1
İsviçre	1	1	0,99255	2	1	1	1	1
Hollanda	1	1	0,98695	3	1	1	1	1
Singapur	1	1	0,97206	4	0,99617	6	1	1
Birleşik Krallık	1	1	0,96317	5	0,98278	7	0,98799	7
Finlandiya	1	1	0,94905	6	1	1	1	1
Kanada	1	1	0,94564	7	0,95968	9	0,96550	9
Almanya	1	1	0,92488	8	0,93881	11	0,94640	12
Belçika	0,96848	30	0,91252	9	0,95106	10	0,95417	10
İsrail	1	1	0,90512	10	0,96546	8	0,97750	8
Fransa	1	1	0,89767	11	0,93043	12	0,95323	11
Avustralya	1	1	0,89132	12	0,90876	13	0,91940	13
Çin	1	1	0,84251	13	0,87058	14	0,88726	14
İspanya	0,97732	28	0,82586	14	0,85081	15	0,86570	15
Güney Kore	1	1	0,81329	15	0,83891	16	0,85208	16
İsveç	1	1	0,79806	16	0,81036	18	0,81856	18
Japonya	0,98719	25	0,79671	17	0,80266	19	0,80610	20
İzlanda	1	1	0,77075	18	1	1	1	1
Yeni Zelanda	0,97290	29	0,76249	19	0,77796	21	0,78555	21
Danimarka	1	1	0,75752	20	0,76893	22	0,77517	22
Slovenya	0,89217	48	0,75707	21	0,81463	17	0,82319	17
Yunanistan	1	1	0,75086	22	0,79178	20	0,81628	19
İtalya	0,91427	40	0,74749	23	0,76217	23	0,76959	23
Avusturya	0,93315	37	0,74101	24	0,75532	24	0,76593	24
Norveç	0,99891	23	0,71608	25	0,73079	25	0,73683	25

EK-1: Devamı

Ülke Adı	Sınırlı ŞLKY Senaryoları							
	Senaryo 4		Senaryo 5		Senaryo 6		Senaryo 7	
	YZE Skoru	Sıra	YZE Skoru	Sıra	YZE Skoru	Sıra	YZE Skoru	Sıra
ABD	1	1	1	1	1	1	1	1
İsviçre	1	1	1	1	1	1	1	1
Hollanda	1	1	1	1	1	1	1	1
Singapur	1	1	1	1	1	1	1	1
Birleşik Krallık	0,97109	7	0,98536	7	0,99268	7	0,97139	7
Finlandiya	1	1	1	1	1	1	1	1
Kanada	0,95277	8	0,96510	9	0,97380	9	0,95339	8
Almanya	0,94215	10	0,95283	10	0,95873	11	0,95270	9
Belçika	0,94157	11	0,95106	12	0,95464	12	0,94157	12
İsrail	0,94367	9	0,96737	8	0,97987	8	0,94368	11
Fransa	0,91848	13	0,95175	11	0,97076	10	0,93252	13
Avustralya	0,92025	12	0,93939	13	0,95264	13	0,94476	10
Çin	0,85340	14	0,87172	15	0,88924	15	0,85340	19
İspanya	0,84463	17	0,86641	16	0,88045	16	0,85553	18
Güney Kore	0,84776	16	0,87488	14	0,89521	14	0,88366	15
İsveç	0,84797	15	0,85976	17	0,87189	17	0,89849	14
Japonya	0,82060	19	0,82649	21	0,83149	22	0,84469	20
İzlanda	0,99991	6	1	1	1	1	1	1
Yeni Zelanda	0,81198	21	0,82816	19	0,84080	20	0,86625	17
Danimarka	0,81447	20	0,82779	20	0,83821	21	0,87856	16
Slovenya	0,83387	18	0,84552	18	0,85385	19	0,83390	21
Yunanistan	0,78228	22	0,82557	22	0,86105	18	0,80833	24
İtalya	0,76629	25	0,78055	25	0,79030	25	0,78428	25
Avusturya	0,78159	23	0,79578	23	0,80996	23	0,82268	23
Norveç	0,76756	24	0,78485	24	0,79634	24	0,82599	22

EK-1: Devamı

Ülke Adı	Sınırlı ŞLKY Senaryoları							
	Senaryo 8		Senaryo 9		Senaryo 10		Senaryo 11	
	YZE Skoru	Sıra	YZE Skoru	Sıra	YZE Skoru	Sıra	YZE Skoru	Sıra
ABD	1	1	1	1	1	1	1	1
İsviçre	1	1	1	1	1	1	1	1
Hollanda	1	1	1	1	1	1	1	1
Singapur	1	1	1	1	1	1	1	1
Birleşik Krallık	0,98578	7	0,99468	7	0,97139	7	0,98621	7
Finlandiya	1	1	1	1	1	1	1	1
Kanada	0,96552	10	0,97381	11	0,95382	9	0,96574	12
Almanya	0,96219	11	0,96833	12	0,95990	8	0,96968	11
Belçika	0,95106	13	0,95464	13	0,94157	14	0,95106	16
İsrail	0,96929	8	0,98137	9	0,94368	12	0,97042	10
Fransa	0,95896	12	0,97962	10	0,93880	15	0,96546	13
Avustralya	0,96595	9	0,98210	8	0,95203	11	0,97322	8
Çin	0,87285	19	0,89012	17	0,85340	21	0,87399	21
İspanya	0,87532	18	0,88855	18	0,85846	20	0,87894	19
Güney Kore	0,91407	15	0,93745	14	0,92273	16	0,95693	14
İsveç	0,91494	14	0,91819	15	0,94225	13	0,95554	15
Japonya	0,85178	20	0,85708	23	0,87024	19	0,87858	20
İzlanda	1	1	1	1	1	1	1	1
Yeni Zelanda	0,88159	17	0,88725	19	0,89514	17	0,90455	18
Danimarka	0,89628	16	0,90864	16	0,95359	10	0,97158	9
Slovenya	0,85022	21	0,86072	22	0,83391	23	0,85423	23
Yunanistan	0,84866	22	0,87529	20	0,81226	27	0,85158	25
İtalya	0,79881	25	0,80690	25	0,79419	28	0,80886	29
Avusturya	0,84082	24	0,85667	24	0,85328	22	0,86578	22
Norveç	0,84713	23	0,86216	21	0,89355	18	0,90782	17

EK-1: Devamı

Ülke Adı	Sınırlı ŞLKY Senaryoları							
	Senaryo 12		Senaryo 13		Senaryo 14		Senaryo 15	
	YZE Skoru	Sıra	YZE Skoru	Sıra	YZE Skoru	Sıra	YZE Skoru	Sıra
ABD	1	1	1	1	1	1	1	1
İsviçre	1	1	1	1	1	1	1	1
Hollanda	1	1	1	1	1	1	1	1
Singapur	1	1	1	1	1	1	1	1
Birleşik Krallık	0,99516	7	0,97139	8	0,98664	8	0,99563	11
Finlandiya	1	1	1	1	1	1	1	1
Kanada	0,97381	14	0,95382	12	0,96574	16	0,97381	16
Almanya	0,97686	11	0,96658	9	0,97681	11	0,98470	13
Belçika	0,95464	16	0,94157	16	0,95106	17	0,95464	17
İsrail	0,98227	10	0,94368	14	0,97079	15	0,98318	14
Fransa	0,98634	9	0,94291	15	0,97155	13	0,99295	12
Avustralya	0,99192	8	0,95888	10	0,98060	10	0,99852	8
Çin	0,89099	20	0,85340	23	0,87514	23	0,89187	22
İspanya	0,89295	19	0,86126	22	0,88247	21	0,89740	21
Güney Kore	0,97394	13	0,94769	13	0,98109	9	0,99767	10
İsveç	0,95900	15	0,95442	11	0,97132	14	0,97619	15
Japonya	0,88426	21	0,89555	20	0,90477	20	0,91115	20
İzlanda	1	1	1	1	1	1	1	1
Yeni Zelanda	0,91226	18	0,90503	19	0,91499	19	0,92291	19
Danimarka	0,97444	12	0,97917	7	0,99522	7	0,99846	9
Slovenya	0,86301	25	0,83391	26	0,85579	25	0,86425	27
Yunanistan	0,87840	22	0,81623	28	0,85453	26	0,88154	24
İtalya	0,81750	29	0,79823	29	0,81511	32	0,82388	32
Avusturya	0,87308	23	0,86142	21	0,87668	22	0,88399	23
Norveç	0,91338	17	0,92701	17	0,93782	18	0,94065	18

EK-1: Devamı

Ülke Adı	Sınırlandırılmamış ŞLKY		Sınırlı ŞLKY Senaryoları					
			Senaryo 1		Senaryo 2		Senaryo 3	
	YZE Skoru	Sıra	YZE Skoru	Sıra	YZE Skoru	Sıra	YZE Skoru	Sıra
Portekiz	0,91213	42	0,68690	26	0,70161	27	0,70877	27
Türkiye	0,95125	33	0,67919	27	0,70243	26	0,71885	26
İrlanda	0,93646	36	0,67327	28	0,67991	29	0,68238	29
Polonya	0,92211	38	0,66877	29	0,68429	28	0,69762	28
Çek Cumhuriyeti	0,85466	56	0,62734	30	0,63842	30	0,64225	30
Suudi Arabistan	0,96832	31	0,61596	31	0,62885	31	0,63648	31
Katar	0,95803	32	0,60854	32	0,62114	32	0,62964	32
Malezya	0,98345	26	0,59100	33	0,61246	33	0,62141	33
Şili	0,89883	46	0,58877	34	0,60648	34	0,61925	34
Lüksemburg	1	1	0,57255	35	0,58315	37	0,59297	37
Macaristan	0,87218	52	0,56401	36	0,58499	36	0,59388	36
Kıbrıs	0,87921	51	0,55587	37	0,56462	38	0,56803	39
İran İslam C.	0,76235	82	0,55057	38	0,56061	40	0,56702	40
Brezilya	0,80464	70	0,54758	39	0,56128	39	0,56908	38
Litvanya	0,97767	27	0,54033	40	0,54926	41	0,55176	41
Slovakya	0,82125	66	0,52734	41	0,53440	44	0,54006	44
Meksika	0,78147	78	0,52393	42	0,53804	42	0,54653	42
Arjantin	0,80925	69	0,52198	43	0,53732	43	0,54554	43
Birleşik Arap E.	1	1	0,52004	44	0,52520	45	0,52871	45
Sırbistan	0,80365	71	0,51174	45	0,52087	46	0,52388	46
Uruguay	0,86418	53	0,50083	46	0,58983	35	0,59811	35
Mısır	0,90779	44	0,47608	47	0,50343	47	0,51530	47
Kuveyt	0,82572	65	0,47333	48	0,49601	48	0,51118	48
Romanya	0,79464	75	0,45837	49	0,46883	52	0,47320	52
Ürdün	0,85000	57	0,45421	50	0,47765	51	0,48557	51

EK-1: Devamı

Ülke Adı	Sınırlı ŞLKY Senaryoları							
	Senaryo 4		Senaryo 5		Senaryo 6		Senaryo 7	
	YZE Skoru	Sıra	YZE Skoru	Sıra	YZE Skoru	Sıra	YZE Skoru	Sıra
Portekiz	0,72712	26	0,74164	26	0,75312	26	0,76878	27
Türkiye	0,70688	28	0,72609	28	0,74566	27	0,70932	31
İrlanda	0,71967	27	0,72718	27	0,73092	29	0,77196	26
Polonya	0,70201	29	0,71846	29	0,73570	28	0,73442	28
Çek Cumhuriyeti	0,66328	31	0,67568	31	0,68184	31	0,70159	33
Suudi Arabistan	0,65783	32	0,66772	32	0,67768	32	0,69696	34
Katar	0,66502	30	0,67580	30	0,68659	30	0,71765	29
Malezya	0,64505	33	0,65602	34	0,66738	34	0,68381	35
Şili	0,62901	36	0,64912	36	0,66544	35	0,67189	37
Lüksemburg	0,63864	34	0,65175	35	0,66542	36	0,71679	30
Macaristan	0,59862	38	0,62230	37	0,63833	37	0,63686	40
Kıbrıs	0,61071	37	0,62080	38	0,62544	38	0,67380	36
İran İslam C.	0,57657	40	0,58503	40	0,59374	40	0,59898	43
Brezilya	0,57141	42	0,58230	41	0,59233	41	0,58951	45
Litvanya	0,59505	39	0,60535	39	0,61047	39	0,65958	38
Slovakya	0,56660	43	0,57361	44	0,58079	44	0,60856	41
Meksika	0,55042	46	0,56415	45	0,57662	45	0,57234	47
Arjantin	0,56032	44	0,57804	43	0,58913	42	0,60314	42
Birleşik Arap E.	0,57657	41	0,58166	42	0,58631	43	0,64495	39
Sırbistan	0,55300	45	0,56164	46	0,56613	46	0,59769	44
Uruguay	0,63846	35	0,65918	33	0,67461	33	0,70179	32
Mısır	0,51596	48	0,53345	49	0,55045	49	0,54267	51
Kuveyt	0,52357	47	0,54153	47	0,56004	48	0,56999	48
Romanya	0,49396	52	0,50427	53	0,51168	52	0,53326	55
Ürdün	0,51165	50	0,52147	50	0,53168	50	0,55557	49

EK-1: Devamı

Ülke Adı	Sınırlı ŞLKY Senaryoları							
	Senaryo 8		Senaryo 9		Senaryo 10		Senaryo 11	
	YZE Skoru	Sıra	YZE Skoru	Sıra	YZE Skoru	Sıra	YZE Skoru	Sıra
Portekiz	0,78631	26	0,79914	26	0,81550	26	0,82615	27
Türkiye	0,73814	32	0,76092	29	0,71166	38	0,74884	37
İrlanda	0,78086	27	0,78369	27	0,82848	24	0,83593	26
Polonya	0,75622	28	0,77348	28	0,75820	30	0,78635	30
Çek Cumhuriyeti	0,71755	33	0,72215	34	0,73949	32	0,75217	35
Suudi Arabistan	0,71172	34	0,72266	33	0,73294	34	0,75273	34
Katar	0,74100	29	0,75267	31	0,76391	29	0,82014	28
Malezya	0,70627	35	0,71694	36	0,72752	36	0,76484	31
Şili	0,69822	36	0,71737	35	0,68808	39	0,72879	39
Lüksemburg	0,73865	31	0,75476	30	0,81673	25	0,85228	24
Macaristan	0,66470	39	0,68393	38	0,68031	40	0,70335	40
Kıbrıs	0,68872	37	0,69513	37	0,75030	31	0,76482	32
İran İslam C.	0,61100	43	0,61694	44	0,61044	45	0,62617	49
Brezilya	0,60495	45	0,61579	46	0,60589	49	0,62944	48
Litvanya	0,67364	38	0,68269	39	0,73897	33	0,75322	33
Slovakya	0,61903	42	0,62716	42	0,65682	42	0,67216	42
Meksika	0,59251	47	0,60672	48	0,58780	56	0,62387	51
Arjantin	0,62543	41	0,63888	41	0,63157	44	0,66426	43
Birleşik Arap E.	0,65158	40	0,65766	40	0,72998	35	0,74061	38
Sırbistan	0,60934	44	0,61464	47	0,65019	43	0,66275	44
Uruguay	0,74004	30	0,75034	32	0,71298	37	0,75145	36
Mısır	0,56691	50	0,58654	50	0,54911	61	0,60074	57
Kuveyt	0,59625	46	0,61660	45	0,60025	52	0,66095	45
Romanya	0,54550	56	0,55469	57	0,57935	58	0,59408	60
Ürdün	0,57415	49	0,58422	51	0,60732	48	0,63866	46

EK-1: Devamı

Ülke Adı	Sınırlı ŞLKY Senaryoları							
	Senaryo 12		Senaryo 13		Senaryo 14		Senaryo 15	
	YZE Skoru	Sıra	YZE Skoru	Sıra	YZE Skoru	Sıra	YZE Skoru	Sıra
Portekiz	0,83129	28	0,82786	27	0,84114	29	0,84724	29
Türkiye	0,77230	33	0,71401	39	0,75986	38	0,78402	36
İrlanda	0,84063	26	0,85073	24	0,86312	24	0,86776	25
Polonya	0,80105	30	0,76845	32	0,80044	34	0,81410	34
Çek Cumhuriyeti	0,76101	37	0,75201	36	0,77087	36	0,78050	37
Suudi Arabistan	0,76103	36	0,74328	37	0,76964	37	0,77815	38
Katar	0,83140	27	0,76391	35	0,84522	28	0,85476	28
Malezya	0,77446	32	0,76804	33	0,82567	31	0,83757	31
Şili	0,76108	35	0,69273	43	0,73908	41	0,77233	39
Lüksemburg	0,87183	24	0,92532	18	0,97181	12	1	1
Macaristan	0,71292	40	0,69866	41	0,71656	42	0,72981	44
Kıbrıs	0,77622	31	0,76763	34	0,78866	35	0,80647	35
İran İslam C.	0,63207	52	0,61922	55	0,64032	60	0,64655	61
Brezilya	0,64118	48	0,61205	57	0,64334	59	0,65834	59
Litvanya	0,76264	34	0,78624	31	0,81187	33	0,81923	33
Slovakya	0,68133	44	0,68055	44	0,71059	45	0,72446	45
Meksika	0,64012	50	0,59337	61	0,64372	58	0,66626	57
Arjantin	0,68922	42	0,63710	51	0,67439	52	0,69997	52
Birleşik Arap E.	0,74863	39	0,84006	25	0,85447	27	0,86727	26
Sırbistan	0,67186	45	0,68022	45	0,69867	48	0,71165	49
Uruguay	0,76088	38	0,71366	40	0,75913	39	0,76986	40
Mısır	0,62769	53	0,55197	63	0,61486	63	0,64841	60
Kuveyt	0,68575	43	0,60025	60	0,67519	51	0,70300	50
Romanya	0,60560	60	0,63416	52	0,64968	57	0,65964	58
Ürdün	0,64828	46	0,62674	54	0,68823	50	0,70256	51

EK-1: Devamı

Ülke Adı	Sınırlandırılmamış ŞLKY		Sınırlı ŞLKY Senaryoları					
			Senaryo 1		Senaryo 2		Senaryo 3	
	YZE Skoru	Sıra	YZE Skoru	Sıra	YZE Skoru	Sıra	YZE Skoru	Sıra
Rusya Federasyonu	0,91389	41	0,45108	51	0,45716	53	0,46143	54
Hırvatistan	0,90477	45	0,44661	52	0,45504	54	0,45956	55
Tayland	0,85934	55	0,44484	53	0,45352	55	0,46159	53
Lübnan	0,90828	43	0,44237	54	0,45124	56	0,45718	56
Malta	1	1	0,44196	55	0,44521	57	0,44671	58
Azerbaycan	0,89800	47	0,43424	56	0,44055	60	0,44657	59
Bulgaristan	0,82688	64	0,43241	57	0,43829	61	0,43939	62
Umman	0,93651	35	0,42391	58	0,43331	62	0,44026	61
Cezayir	0,70514	99	0,41460	59	0,44285	58	0,45374	57
Güney Afrika	0,83333	63	0,40858	60	0,44161	59	0,44421	60
Hindistan	0,79968	74	0,40788	61	0,48747	49	0,49116	50
Vietnam	0,74628	90	0,40641	62	0,41049	65	0,41434	65
Tunus	0,75035	87	0,39940	63	0,41159	64	0,41907	64
Gürcistan	0,92103	39	0,39887	64	0,40710	66	0,41217	66
Venezuela	0,70245	100	0,39020	65	0,42014	63	0,43134	63
Estonya	0,99237	24	0,38519	66	0,38683	69	0,38740	70
Kolombiya	0,77479	80	0,38304	67	0,38808	68	0,39274	69
Fas	0,75000	88	0,33846	68	0,34940	72	0,35387	72
Brunei	0,84529	61	0,32483	69	0,36802	71	0,37135	71
Trinidad ve Tobago	0,76960	81	0,32440	70	0,32998	74	0,33216	74
Pakistan	0,76116	83	0,31940	71	0,38652	70	0,39298	68
Bosna Hersek	0,70000	105	0,31697	72	0,32467	76	0,33057	75
Jamaika	0,81116	68	0,31264	73	0,40010	67	0,40154	67
Ukrayna	0,84671	59	0,29254	74	0,29434	79	0,29601	80
Endonezya	0,84186	62	0,27237	75	0,29191	80	0,29697	79

EK-1: Devamı

Ülke Adı	Sınırlı ŞLKY Senaryoları							
	Senaryo 4		Senaryo 5		Senaryo 6		Senaryo 7	
	YZE Skoru	Sıra	YZE Skoru	Sıra	YZE Skoru	Sıra	YZE Skoru	Sıra
Rusya Federasyonu	0,48968	54	0,49668	55	0,50389	55	0,53383	54
Hırvatistan	0,49135	53	0,49998	54	0,50680	54	0,54367	50
Tayland	0,48287	56	0,49246	57	0,50117	57	0,52350	58
Lübnan	0,48372	55	0,49435	56	0,50335	56	0,53093	57
Malta	0,49948	51	0,50524	52	0,50779	53	0,57331	46
Azerbaycan	0,48221	57	0,48990	58	0,49785	58	0,53832	52
Bulgaristan	0,47895	58	0,48579	59	0,48781	60	0,53527	53
Umman	0,47311	59	0,48285	60	0,49258	59	0,53136	56
Cezayir	0,44091	63	0,47097	62	0,48463	61	0,46867	67
Güney Afrika	0,46345	60	0,47475	61	0,47803	62	0,48892	63
Hindistan	0,51188	49	0,51711	51	0,52245	51	0,52216	59
Vietnam	0,43972	65	0,44443	67	0,44925	67	0,47035	66
Tunus	0,43860	66	0,44763	66	0,45704	65	0,47179	65
Gürcistan	0,44954	61	0,45906	63	0,46701	64	0,51268	60
Venezuela	0,44033	64	0,45587	64	0,47221	63	0,46544	68
Estonya	0,43826	67	0,43997	68	0,44088	68	0,50669	61
Kolombiya	0,41788	68	0,42389	69	0,43008	69	0,45631	69
Fas	0,37753	71	0,38363	73	0,38987	73	0,41489	71
Brunei	0,41541	69	0,42073	70	0,42581	70	0,48352	64
Trinidad ve Tobago	0,36824	73	0,37604	74	0,38024	74	0,42559	70
Pakistan	0,40561	70	0,41616	71	0,42428	71	0,40950	72
Bosna Hersek	0,35312	76	0,36249	76	0,37125	76	0,39797	74
Jamaika	0,44634	62	0,44876	65	0,45106	66	0,50241	62
Ukrayna	0,32819	78	0,33043	78	0,33269	80	0,37179	77
Endonezya	0,32078	79	0,32795	80	0,33546	79	0,36102	79

EK-1: Devamı

Ülke Adı	Sınırlı ŞLKY Senaryoları							
	Senaryo 8		Senaryo 9		Senaryo 10		Senaryo 11	
	YZE Skoru	Sıra	YZE Skoru	Sıra	YZE Skoru	Sıra	YZE Skoru	Sıra
Rusya Federasyonu	0,54369	59	0,55209	58	0,58673	57	0,60052	58
Hırvatistan	0,55449	51	0,56370	52	0,60822	47	0,62234	52
Tayland	0,53872	60	0,54732	60	0,57158	60	0,59456	59
Lübnan	0,54656	55	0,55758	55	0,58836	55	0,61110	55
Malta	0,58141	48	0,58795	49	0,67038	41	0,68463	41
Azerbaycan	0,55170	53	0,56018	53	0,60921	46	0,63134	47
Bulgaristan	0,54382	58	0,54817	59	0,60464	51	0,61759	53
Umman	0,54517	57	0,55762	54	0,60583	50	0,62597	50
Cezayir	0,50290	65	0,51851	62	0,49622	69	0,53948	67
Güney Afrika	0,51327	62	0,51710	63	0,51734	63	0,55858	65
Hindistan	0,55060	54	0,55665	56	0,53286	62	0,58872	62
Vietnam	0,48451	69	0,49023	69	0,50493	66	0,53252	68
Tunus	0,49060	67	0,49949	67	0,51040	65	0,54270	66
Gürcistan	0,52623	61	0,53693	61	0,59172	54	0,61238	54
Venezuela	0,48734	68	0,50653	66	0,46909	70	0,49322	72
Estonya	0,50984	63	0,51131	65	0,59849	53	0,60609	56
Kolombiya	0,46698	70	0,47450	70	0,50253	68	0,51982	70
Fas	0,42530	74	0,43244	74	0,46035	71	0,47713	74
Brunei	0,49107	66	0,49820	68	0,57671	59	0,58964	61
Trinidad ve Tobago	0,43659	73	0,44404	73	0,50410	67	0,52038	69
Pakistan	0,45006	71	0,46027	71	0,40950	77	0,48358	73
Bosna Hersek	0,41027	76	0,42183	76	0,45575	72	0,47242	76
Jamaika	0,50969	64	0,51281	64	0,51510	64	0,55979	64
Ukrayna	0,37661	78	0,37955	80	0,42875	75	0,43779	78
Endonezya	0,37415	79	0,38252	79	0,41280	76	0,43550	80

EK-1: Devamı

Ülke Adı	Sınırlı ŞLKY Senaryoları							
	Senaryo 12		Senaryo 13		Senaryo 14		Senaryo 15	
	YZE Skoru	Sıra	YZE Skoru	Sıra	YZE Skoru	Sıra	YZE Skoru	Sıra
Rusya Federasyonu	0,61050	58	0,65126	49	0,67045	53	0,68272	54
Hırvatistan	0,63486	51	0,67253	46	0,69992	47	0,71395	48
Tayland	0,60285	61	0,62940	53	0,66088	55	0,67091	56
Lübnan	0,62491	57	0,60544	59	0,66497	54	0,68638	53
Malta	0,69549	41	0,79208	30	0,82819	30	0,83841	30
Azerbaycan	0,64036	49	0,64673	50	0,71266	44	0,73540	42
Bulgaristan	0,62524	55	0,69465	42	0,71270	43	0,72122	46
Umman	0,64245	47	0,65744	47	0,69863	49	0,71597	47
Cezayir	0,55730	66	0,50523	72	0,55372	71	0,57215	71
Güney Afrika	0,56312	65	0,52627	68	0,60658	64	0,61790	65
Hindistan	0,59564	63	0,54401	65	0,63251	62	0,64051	63
Vietnam	0,53944	68	0,53095	67	0,59109	66	0,59914	67
Tunus	0,55062	67	0,55020	64	0,60492	65	0,61341	66
Gürcistan	0,62580	54	0,61538	56	0,65640	56	0,67633	55
Venezuela	0,51454	71	0,47280	76	0,49889	80	0,52076	79
Estonya	0,60846	59	0,73079	38	0,74712	40	0,75120	41
Kolombiya	0,52915	70	0,55916	62	0,58614	67	0,59803	68
Fas	0,48545	76	0,51445	70	0,54286	73	0,55326	74
Brunei	0,59973	62	0,65231	48	0,70742	46	0,73050	43
Trinidad ve Tobago	0,53120	69	0,60628	58	0,63411	61	0,64503	62
Pakistan	0,50049	73	0,40950	86	0,51141	77	0,53213	75
Bosna Hersek	0,48817	75	0,49232	74	0,53615	74	0,57079	72
Jamaika	0,57841	64	0,51510	69	0,57421	70	0,59382	69
Ukrayna	0,44177	79	0,50632	71	0,52270	75	0,52840	77
Endonezya	0,44495	78	0,48194	75	0,51959	76	0,53173	76

EK-1: Devamı

Ülke Adı	Sınırlandırılmamış ŞLKY		Sınırlı ŞLKY Senaryoları					
			Senaryo 1		Senaryo 2		Senaryo 3	
	YZE Skoru	Sıra	YZE Skoru	Sıra	YZE Skoru	Sıra	YZE Skoru	Sıra
Letonya	0,88725	49	0,26918	76	0,27170	83	0,27247	83
Bangladeş	0,70000	101	0,26914	77	0,27524	81	0,27757	81
Ekvador	0,70000	101	0,23980	78	0,24321	85	0,24566	85
Namibya	0,73333	91	0,23842	79	0,25709	84	0,25870	84
Panama	0,85000	57	0,22853	80	0,23039	86	0,23175	86
Paraguay	0,66667	111	0,21641	81	0,22067	87	0,22368	87
Arnavutluk	0,75444	86	0,21499	82	0,21716	89	0,21891	89
Filipinler	0,87931	50	0,20999	83	0,21604	90	0,21767	90
Kosta Rika	0,84615	60	0,20844	84	0,21060	91	0,21198	91
Sri Lanka	0,75833	85	0,20769	85	0,20927	92	0,21041	93
Kazakistan	0,85982	54	0,19377	86	0,19559	96	0,19676	96
Moldova	0,77649	79	0,19255	87	0,19379	97	0,19420	97
Mauritius	0,94686	34	0,18852	88	0,18945	98	0,18991	98
Uganda	0,69932	106	0,18413	89	0,32669	75	0,32998	76
Peru	0,72176	94	0,18295	90	0,18612	99	0,18835	99
Ermenistan	0,78887	76	0,17858	91	0,17913	100	0,17947	100
Gana	0,72414	93	0,15807	92	0,30085	78	0,30350	78
El Salvador	0,65007	115	0,14717	93	0,14881	101	0,14955	101
Karadağ	0,78742	77	0,14305	94	0,14410	103	0,14455	103
Kamerun	0,68595	108	0,14064	95	0,27507	82	0,27682	82
Senegal	0,80000	73	0,13899	96	0,14778	102	0,14868	102
Yemen	0,60345	118	0,13741	97	0,20419	94	0,21137	92
Benin	0,66373	112	0,13600	98	0,13854	104	0,13921	104
Moğolistan	0,72903	92	0,12869	99	0,12945	106	0,13011	106
Honduras	0,75000	88	0,12379	100	0,20855	93	0,20878	94

EK-1: Devamı

Ülke Adı	Sınırlı ŞLKY Senaryoları							
	Senaryo 4		Senaryo 5		Senaryo 6		Senaryo 7	
	YZE Skoru	Sıra	YZE Skoru	Sıra	YZE Skoru	Sıra	YZE Skoru	Sıra
Letonya	0,30824	80	0,31109	82	0,31234	82	0,35965	80
Bangladeş	0,30210	82	0,30540	83	0,30877	83	0,32920	82
Ekvador	0,26851	85	0,27261	85	0,27676	85	0,30455	86
Namibya	0,26945	84	0,29097	84	0,29334	84	0,30569	85
Panama	0,26209	86	0,26456	86	0,26676	86	0,30708	84
Paraguay	0,24801	87	0,25236	87	0,25686	87	0,28720	88
Arnavutluk	0,24775	88	0,25058	88	0,25260	89	0,29057	87
Filipinler	0,24481	90	0,24709	90	0,24940	90	0,28374	89
Kosta Rika	0,23994	91	0,24282	91	0,24509	91	0,28266	90
Sri Lanka	0,23729	92	0,23916	93	0,24105	93	0,27033	92
Kazakistan	0,22389	94	0,22595	94	0,22764	96	0,26393	94
Moldova	0,22354	95	0,22490	95	0,22560	97	0,26577	93
Mauritius	0,21934	96	0,22073	98	0,22146	98	0,26184	96
Uganda	0,36118	75	0,36620	75	0,37137	75	0,37768	76
Peru	0,20921	98	0,21260	99	0,21611	99	0,24261	98
Ermenistan	0,20679	99	0,20752	100	0,20793	100	0,24516	97
Gana	0,33803	77	0,34171	77	0,34547	78	0,38744	75
El Salvador	0,17045	100	0,17281	101	0,17408	101	0,20246	100
Karadağ	0,16746	102	0,16868	103	0,16899	103	0,20143	101
Kamerun	0,30807	81	0,31117	81	0,31434	81	0,34785	81
Senegal	0,16923	101	0,17083	102	0,17218	102	0,19701	102
Yemen	0,14866	106	0,22387	96	0,23457	94	0,15981	108
Benin	0,15965	103	0,16107	104	0,16222	104	0,18732	103
Moğolistan	0,15052	105	0,15146	106	0,15241	106	0,18078	105
Honduras	0,23460	93	0,24087	92	0,24180	92	0,26275	95

EK-1: Devamı

Ülke Adı	Sınırlı ŞLKY Senaryoları							
	Senaryo 8		Senaryo 9		Senaryo 10		Senaryo 11	
	YZE Skoru	Sıra	YZE Skoru	Sıra	YZE Skoru	Sıra	YZE Skoru	Sıra
Letonya	0,36354	80	0,36573	81	0,43070	74	0,43726	79
Bangladeş	0,34298	83	0,34723	83	0,36164	83	0,39110	84
Ekvador	0,31010	86	0,31542	85	0,35177	85	0,35954	87
Namibya	0,33512	84	0,33829	84	0,35320	84	0,39507	83
Panama	0,31061	85	0,31381	86	0,37056	80	0,37609	85
Paraguay	0,29466	88	0,30028	87	0,34110	88	0,35401	88
Arnavutluk	0,29617	87	0,29826	88	0,35130	86	0,36177	86
Filipinler	0,28856	89	0,29128	90	0,33739	89	0,34677	91
Kosta Rika	0,28668	91	0,28985	91	0,34389	87	0,34988	89
Sri Lanka	0,27900	93	0,28159	93	0,31407	94	0,33478	93
Kazakistan	0,26748	95	0,26952	94	0,32142	92	0,32752	96
Moldova	0,26779	94	0,26892	95	0,32752	90	0,33079	94
Mauritius	0,26409	96	0,26544	97	0,32472	91	0,32859	95
Uganda	0,41659	75	0,42329	75	0,37768	79	0,47340	75
Peru	0,24787	98	0,25236	99	0,28871	97	0,29716	98
Ermenistan	0,24659	100	0,24707	100	0,30101	96	0,30363	97
Gana	0,39541	77	0,40040	77	0,45376	73	0,46913	77
El Salvador	0,20596	101	0,20818	101	0,24915	100	0,25466	101
Karadağ	0,20264	102	0,20325	103	0,25135	99	0,25359	102
Kamerun	0,35818	82	0,36239	82	0,36956	81	0,42193	81
Senegal	0,20231	103	0,20429	102	0,23571	101	0,24803	103
Yemen	0,24706	99	0,25921	98	0,17053	111	0,27326	100
Benin	0,19227	104	0,19399	104	0,22659	102	0,23846	104
Moğolistan	0,18248	106	0,18360	106	0,22627	103	0,22949	106
Honduras	0,28472	92	0,28712	92	0,27905	98	0,34808	90

EK-1: Devamı

Ülke Adı	Sınırlı ŞLKY Senaryoları							
	Senaryo 12		Senaryo 13		Senaryo 14		Senaryo 15	
	YZE Skoru	Sıra	YZE Skoru	Sıra	YZE Skoru	Sıra	YZE Skoru	Sıra
Letonya	0,44081	80	0,53632	66	0,54847	72	0,55454	73
Bangladeş	0,39664	84	0,39723	88	0,45493	85	0,46245	86
Ekvador	0,36662	86	0,41633	83	0,42762	92	0,43767	92
Namibya	0,39952	83	0,37957	91	0,48115	81	0,48781	81
Panama	0,38080	85	0,46713	77	0,47654	82	0,48417	82
Paraguay	0,36136	88	0,41991	82	0,44271	87	0,45266	89
Arnavutluk	0,36406	87	0,44411	78	0,46334	84	0,46713	85
Filipinler	0,35005	91	0,41605	84	0,43390	90	0,43854	91
Kosta Rika	0,35461	89	0,43897	79	0,44884	86	0,45665	87
Sri Lanka	0,33851	93	0,37469	93	0,41843	94	0,42427	96
Kazakistan	0,33029	96	0,41092	85	0,42183	93	0,42644	95
Moldova	0,33280	94	0,42654	81	0,43258	91	0,43647	93
Mauritius	0,33099	95	0,42713	80	0,43480	89	0,43910	90
Uganda	0,49153	74	0,37768	92	0,50255	78	0,52574	78
Peru	0,30321	99	0,35645	95	0,37060	98	0,37973	98
Ermenistan	0,30436	98	0,38980	89	0,39501	97	0,39623	97
Gana	0,47608	77	0,49468	73	0,57537	69	0,58309	70
El Salvador	0,25866	101	0,32371	98	0,33352	100	0,34095	100
Karadağ	0,25481	102	0,33403	96	0,33878	99	0,34134	99
Kamerun	0,42777	81	0,37977	90	0,47021	83	0,48345	83
Senegal	0,25112	103	0,29332	102	0,32043	101	0,32581	101
Yemen	0,28694	100	0,17948	115	0,30512	105	0,32105	103
Benin	0,24124	104	0,27722	105	0,31385	103	0,31892	104
Moğolistan	0,23084	106	0,30234	100	0,30875	104	0,31081	106
Honduras	0,35336	90	0,29751	101	0,41817	95	0,45278	88

EK-1: Devamı

Ülke Adı	Sınırlandırılmamış ŞLKY		Sınırlı ŞLKY Senaryoları					
			Senaryo 1		Senaryo 2		Senaryo 3	
	YZE Skoru	Sıra	YZE Skoru	Sıra	YZE Skoru	Sıra	YZE Skoru	Sıra
Zimbabve	0,67241	110	0,12112	101	0,12823	107	0,12863	107
Ruanda C.	0,80150	72	0,11596	102	0,13336	105	0,13384	105
Guatemala	0,81667	67	0,11586	103	0,11717	109	0,11761	109
Etiyopya	0,65517	114	0,11381	104	0,12061	108	0,12112	108
Botsvana	0,70000	101	0,10957	105	0,11022	110	0,11066	110
Tanzanya	0,70911	98	0,10622	106	0,10757	111	0,10810	111
Nepal	0,69442	107	0,09062	107	0,09196	112	0,09247	112
Kamboçya	0,70000	101	0,08618	108	0,34193	73	0,34512	73
Mali	1	1	0,07626	109	0,48210	50	0,49837	49
Çad	0,50691	120	0,07293	110	0,19715	95	0,20298	95
Zambiya	0,67488	109	0,06566	111	0,07999	113	0,08014	113
Liberya	0,65677	113	0,05851	112	0,07666	115	0,07689	115
Tacikistan	0,75862	84	0,05213	113	0,07949	114	0,07959	114
Malavi	0,58937	119	0,05159	114	0,07443	116	0,07461	116
Mozambik	0,63333	116	0,04911	115	0,06795	117	0,06804	117
Nijerya	0,71667	95	0,04289	116	0,21969	88	0,22189	88
Dominik C.	0,71667	95	0,04173	117	0,04180	119	0,04183	119
Kırgızistan	0,71313	97	0,04163	118	0,04181	118	0,04188	118
Lesotho	0,62314	117	0,02991	119	0,03130	120	0,03139	120
Kongo D. C.	1	1	0,00295	120	0,30356	77	0,31769	77

EK-1: Devamı

Ülke Adı	Sınırlı ŞLKY Senaryoları							
	Senaryo 4		Senaryo 5		Senaryo 6		Senaryo 7	
	YZE Skoru	Sıra	YZE Skoru	Sıra	YZE Skoru	Sıra	YZE Skoru	Sıra
Zimbabve	0,14730	107	0,14960	107	0,15037	107	0,17517	106
Ruanda C.	0,15531	104	0,15610	105	0,15689	105	0,18412	104
Guatemala	0,13484	109	0,13664	109	0,13762	109	0,16011	107
Etiyopya	0,13825	108	0,13939	108	0,14015	108	0,15548	109
Botswana	0,12835	110	0,12905	110	0,12976	110	0,15427	110
Tanzanya	0,12491	111	0,12581	111	0,12671	111	0,14620	111
Nepal	0,10600	112	0,10744	112	0,10835	112	0,12608	112
Kamboçya	0,37477	72	0,38814	72	0,39327	72	0,40739	73
Mali	0,36393	74	0,53623	48	0,56040	47	0,36393	78
Çad	0,21372	97	0,22255	97	0,23168	95	0,22431	99
Zambiya	0,09434	113	0,09455	113	0,09477	113	0,11404	114
Liberya	0,08977	115	0,09015	115	0,09051	115	0,10829	115
Tacikistan	0,09368	114	0,09397	114	0,09418	114	0,11430	113
Malavi	0,08688	116	0,08734	116	0,08763	116	0,09578	117
Mozambik	0,07942	117	0,08013	117	0,08030	117	0,09609	116
Nijerya	0,24549	89	0,24922	89	0,25306	88	0,27358	91
Dominik C.	0,04964	118	0,04973	118	0,04979	119	0,06121	118
Kırgızistan	0,04949	119	0,04973	119	0,04985	118	0,06098	119
Lesotho	0,03582	120	0,03716	120	0,03731	120	0,04359	120
Kongo D. C.	0,29580	83	0,32986	79	0,34781	77	0,31538	83

EK-1: Devamı

Ülke Adı	Sınırlı ŞLKY Senaryoları							
	Senaryo 8		Senaryo 9		Senaryo 10		Senaryo 11	
	YZE Skoru	Sıra	YZE Skoru	Sıra	YZE Skoru	Sıra	YZE Skoru	Sıra
Zimbabve	0,17952	107	0,18071	107	0,21598	106	0,22440	107
Ruanda C.	0,18819	105	0,18935	105	0,22606	104	0,23689	105
Guatemala	0,16375	109	0,16552	109	0,19704	107	0,20427	108
Etiyopya	0,16500	108	0,16617	108	0,17762	109	0,20212	109
Botswana	0,15563	110	0,15658	110	0,19332	108	0,19599	110
Tanzanya	0,15149	111	0,15281	111	0,17622	110	0,19036	111
Nepal	0,12920	112	0,13050	112	0,15513	112	0,16200	112
Kamboçya	0,44533	72	0,45628	72	0,40739	78	0,49543	71
Mali	0,55404	52	0,61860	43	0,36393	82	0,56451	63
Çad	0,25545	97	0,26755	96	0,22431	105	0,27822	99
Zambiya	0,11559	113	0,11591	113	0,14402	114	0,14866	113
Liberya	0,10941	115	0,10995	115	0,13642	115	0,13913	115
Tacikistan	0,11489	114	0,11522	114	0,14656	113	0,14777	114
Malavi	0,10563	116	0,10611	116	0,10521	117	0,13360	116
Mozambik	0,09757	117	0,09792	117	0,12162	116	0,12473	117
Nijerya	0,28792	90	0,29306	89	0,30892	95	0,34085	92
Dominik C.	0,06138	118	0,06148	119	0,07982	118	0,08014	118
Kırgızistan	0,06132	119	0,06152	118	0,07930	119	0,07991	119
Lesotho	0,04572	120	0,04596	120	0,05566	120	0,05942	120
Kongo D. C.	0,36115	81	0,38277	78	0,31538	93	0,39899	82

EK-1: Devamı

Ülke Adı	Sınırlı ŞLKY Senaryoları							
	Senaryo 12		Senaryo 13		Senaryo 14		Senaryo 15	
	YZE Skoru	Sıra	YZE Skoru	Sıra	YZE Skoru	Sıra	YZE Skoru	Sıra
Zimbabve	0,22638	107	0,28158	104	0,29921	106	0,30296	107
Ruanda C.	0,23873	105	0,29274	103	0,31960	102	0,32295	102
Guatemala	0,20762	108	0,25611	107	0,27144	108	0,27810	108
Etiyopya	0,20405	109	0,19673	112	0,26079	110	0,26431	110
Botsvana	0,19738	110	0,25885	106	0,26453	109	0,26694	109
Tanzanya	0,19244	111	0,22175	109	0,25604	111	0,25982	111
Nepal	0,16406	112	0,20159	111	0,21711	112	0,22083	112
Kamboçya	0,51191	72	0,40739	87	0,50134	79	0,51821	80
Mali	0,62493	56	0,36393	94	0,57540	68	0,63139	64
Çad	0,30716	97	0,22431	108	0,28553	107	0,31584	105
Zambiya	0,14920	113	0,19540	113	0,20825	113	0,20930	113
Liberya	0,14002	115	0,18430	114	0,19101	115	0,19271	115
Tacikistan	0,14837	114	0,20419	110	0,20704	114	0,20829	114
Malavi	0,13445	116	0,10723	119	0,18171	116	0,18345	116
Mozambik	0,12545	117	0,16564	116	0,17284	117	0,17444	117
Nijerya	0,34808	92	0,33170	97	0,41762	96	0,42853	94
Dominik C.	0,08033	118	0,11460	117	0,11542	118	0,11586	118
Kırgızistan	0,08032	119	0,11338	118	0,11469	119	0,11567	119
Lesotho	0,05981	120	0,07698	120	0,08482	120	0,08563	120
Kongo D. C.	0,42555	82	0,31538	99	0,43542	88	0,47910	84

ÖZGEÇMİŞ

Refika Avcı Parlu, İlköğrenimini Eskişehir’de, orta ve lise öğrenimini İstanbul’da tamamlamıştır. 1997 yılında Boğaziçi Üniversitesi Eğitim Fakültesi Matematik Bölümü’nden mezun olmuştur. 2003 yılında FMV Işık Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Yönetim Bilişim Sistemleri (MIS) Yüksek Lisans Programı’nı “Integration of Technology and Education in Schools from an Instructional Perspective And Specifically Designed Computer Applications for Mathematics Teaching” adlı projesiyle tamamlamıştır.

1997 yılından itibaren eğitim alanında faaliyet gösteren çeşitli özel kuruluşlarda matematik öğretmeni, koordinatör ve danışman olarak çalışmıştır. TÜBİTAK tarafından düzenlenen Lise Öğrencileri Araştırma Projeleri Yarışmaları’nda danışman öğretmen olarak çeşitli dereceler almıştır. Resmi ve özel eğitim kurumları tarafından düzenlenen çeşitli organizasyonlarda çok sayıda seminer ve çalıştaya katılmış, yaptığı sunumlarla ve hazırladığı projelerle deneyimlerini eğitim kamuoyu ile paylaşmıştır. Çalıştığı kurumlarda ulusal ve uluslararası sınavlara hazırladığı öğrencileri ile çok sayıda dereceler almıştır. Halen özel bir kurumda eğitim koordinatörü olarak görev yapmaktadır.