

T.C.

ÇANKIRI KARATEKİN ÜNİVERSİTESİ

SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ

İŞLETME ANABİLİM DALI

DİNAMİK VERİ ZARFLAMA ANALİZİ İLE TARIMSAL ETKİNLİK ÖLÇÜMÜ

Hazırlayanın Adı SOYADI
SİBEL YILMAZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Danışman
Dr. Öğr. Üyesi PEMBE GÜÇLÜ

Çankırı-2023

T.C.

ÇANKIRI KARATEKİN ÜNİVERSİTESİ

SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ

İŞLETME ANABİLİM DALI

DİNAMİK VERİ ZARFLAMA ANALİZİ İLE TARIMSAL ETKİNLİK ÖLÇÜMÜ

Hazırlayanın Adı SOYADI
SİBEL YILMAZ

ORCID: 0000-0002-2599-0544

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Danışman
Dr. Öğr. Üyesi PEMBE GÜÇLÜ

Çankırı-2023

İÇİNDEKİLER

Sayfa

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİMİ iii

TEZ KABUL VE ONAY iv

ÖNSÖZ v

ÖZET vi

ABSTRACT vii

KISALTMALAR viii

TABLO LİSTESİ ix

ŞEKİL LİSTESİ x

1. GİRİŞ 1

2. VERİ ZARFLAMA ANALİZİ 4

2.1. Veri Zarflama Analizi ile İlgili Temel Kavramlar 4

2.2. Veri Zarflama Analizi Uygulama Aşamaları 7

2.2.1. Etkinliği Hesaplanacak Olan Karar Verme Birimlerinin Belirlenmesi 8

2.2.2. Girdi ve Çıktı Değişkenlerinin Belirlenmesi 9

2.2.3. Veri Toplama ve Veri Setinin Analize Hazırlanması 10

2.2.4. VZA Modelinin Seçilmesi ve Etkinliğin Ölçülmesi 12

2.2.5. Etkinlik Değerlerinin Belirlenmesi 13

2.2.6. Referans Gruplarının Oluşturulması 13

2.2.7. Etkin Olmayan Karar Birimleri İçin Doğru Hedefin Belirlenmesi 13

2.2.8. Sonuçların Değerlendirilmesi 13

2.3. Temel Veri Zarflama Analizi Modelleri 14

2.3.1. CCR (Charnes-Cooper-Rhodes) Modeli 14

2.3.2. BCC (Banker-Charnes-Cooper) Modeli 20

2.4. Boşluk Tabanlı (Slacks Based) Ölçüm Modeli 25

2.5. Ağ (Network) Veri Zarflama Modeli 28

2.5.1. Temel İki Aşamalı Yapı 30

2.5.2. Genel İki Aşamalı Yapı 31

2.5.3. Seri Network VZA modeli 31

2.5.4. Paralel Network VZA modeli 32

3. DİNAMİK VERİ ZARFLAMA ANALİZİ MODELİ 34

3.1. Dinamik Veri Zarflama Analizinin Genel Yapısı 34

3.2. Fare ve Grosskopf (FG) Dinamik VZA Modeli 36

3.3. Nemoto ve Goto (NG) Dinamik VZA Modeli 39

3.4. Tone ve Tsutsui (TT) Dinamik VZA Modeli 42

3.4.1. Girdi Odaklı TT Modeli 46

3.4.2. Çıktı Odaklı TT Modeli 47

3.4.3. Yönelimsiz TT Modeli 48

3.4.3.1. Serbest Bağlantı Değişkenlerinin Etkinlik Modeline Dâhil Edilmesi .. 49

4. DVZA İLE AVRUPA BİRLİĞİ ÜLKELERİNİN TARIMSAL ETKİNLİKLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ 51

4.1. Tarımsal Etkinlik 51

4.2. Karar Birimlerinin Belirlenmesi 53

4.3. Girdi ve Çıktı Değişkenlerinin Seçilmesi ve Tanımı 54

4.4. Notasyon ve Veri Seti 60

4.5. Yönelimsiz DVZA Modeli 65

4.6. Araştırma Verilerinin Analiz Edilmesi 66

5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME 71

KAYNAKÇA 74

EKLER 85

ÖZGEÇMİŞ 88

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİMİ

Yüksek Lisans tezi olarak hazırladığım *Dinamik Veri Zarflama Analizi ile Tarımsal Etkinlik Ölçümü* adlı çalışmanın öneri aşamasından sonuçlanmasına kadar geçen süreçte bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle uyduğumu, tez içindeki tüm bilgileri bilimsel ahlak ve gelenek çerçevesinde elde ettiğimi, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu çalışmamda doğrudan veya dolaylı olarak yaptığım her alıntıya kaynak gösterdiğimi ve yararlandığım eserlerin kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu beyan ederim.

.../02/2023

İmza

Sibel YILMAZ

TEZ KABUL VE ONAY

ÇANKIRI KARATEKİN ÜNİVERSİTESİ

SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE

Sibel YILMAZ tarafından hazırlanan *Dinamik Veri Zarflama Analizi ile Tarımsal Etkinlik Ölçümü* başlıklı bu çalışma, 17/02/2023 tarihinde yapılan tez savunma sınavı sonucunda *oy birliği* ile başarılı bulunularak jürimiz tarafından *İşletme Ana Bilim Dalı'*nda Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

TEZ JÜRİSİ ÜYELERİ (Unvanı, Adı ve Soyadı)

Danışman **:** Dr. Öğr. Üyesi Pembe GÜÇLÜ İmza: .....

Üye **:** Dr. Öğr. Üyesi Hülya ÜNLÜ İmza: .....

Üye **:** Dr. Öğr. Üyesi Aysel ÇETİNDERE FİLİZ İmza: .....

ONAY

Bu Tez, Çankırı Karatekin Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Yönetim Kurulunun …… tarih ve ……. sayılı oturumunda belirlenen jüri tarafından kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Coşkun POLAT

Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Bu çalışmanın hazırlanmasında bana yol gösteren, rehberliği ve desteğini hiçbir zaman benden esirgemeyen, çalışmalarımı titizlikle ele alıp inceleyen ve çalışmamın her aşamasında bana yol gösteren değerli hocam ve tez danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Pembe GÜÇLÜ' ye sonsuz teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

Lisans ve yüksek lisans öğretim sürem boyunca bana yol gösteren, yardım ve desteklerini esirgemeyen değerli bölüm hocalarıma teşekkürlerimi sunarım.

Eğitim hayatım boyunca her zaman yanımda olan aileme ve hiçbir koşulda kendimi yalnız hissetmememi sağlayan arkadaşlarıma teşekkür ederim.

.../02/2023

Sibel YILMAZ

ÖZET

Tezin Başlığı : Dinamik Veri Zarflama Analizi ile Tarımsal Etkinlik Ölçümü
Tezin Yazarı : Sibel YILMAZ
Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Pembe GÜÇLÜ
Anabilim Dalı : İşletme
Tezin Türü : Yüksek Lisans
Kabul Tarihi :17.02.2023

Çok dönemli etkinlik problemlerinin çözülmesinde karar birimlerinin etkinliklerini her dönem için ayrı ayrı ölçen klasik veri zarflama analizi (VZA) ara ürünleri ve dönemler arası bağlantıları modele dâhil etmemektedir. Boşluk tabanlı dinamik VZA dönemler arası geçişi modele dâhil ederek karar birimlerinin tüm dönemler için genel etkinliğini analiz etmektedir. Dinamik VZA (DVZA) ekonomik karar birimlerinin tarım sektörü gibi zamana bağlı olarak etkinlik düzeylerinin hesaplanmasında dönemler arası girdi/çıktı bağlılığını dikkate almaktadır. Bu çalışmada kullanılan dinamik VZA modelinin amacı, yönelimsiz model ile girdi ve çıktı odaklı etkinliği tek bir amaç fonksiyonunda birleştirerek, ara ürün ile dönemler arası zaman bağlantısını sağlayarak karar verme birimlerinin dinamik etkinlik değerlerini ölçmektir. Bu çalışmada, DVZA ile 2016-2017 ve 2018 dönemlerini kapsayan tarımsal etkinlik değerlendirilmesi Avrupa Birliği (AB) ülkeleri bazında yapılmıştır. Ülkelerin tarımsal etkinlik analizi için göstergeler literatür taramasına dayalı olarak seçilmiş; iki normal girdi (tarımsal iş gücü ve arazi), bir istenmeyen girdi (kimyasal gübre), bir normal çıktı (tarımsal çıktı), bir istenmeyen çıktı (CO2) ve bir bağlantı değişkeni ile (kamusal tarım harcamaları) model değişkenleri olarak belirlenmiştir. Boşluk tabanlı statik veri zarflama analizi (SBM) modelleri ve boşluk tabanlı DVZA modelleri Microsft Excel Solver ile çözülmüştür. Analiz sonucunda, 12 AB ülkesinin tarımsal etkinlik skorlarının her iki modele göre 1'e eşit olduğu ve bu ülkelerin tarımsal açıdan etkin olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Veri zarflama analizi, Dinamik veri zarflama analizi, Tarımsal etkinlik

ABSTRACT

Thesis Thitle **:** Agricultural Productivity Measurement with Dynamic Data Envelopment Analysis
Author **:** Sibel YILMAZ
Supervisor **:** Asst. Prof. Dr. Pembe GÜÇLÜ
Department **:** Business Administration
Thesis Type **:** Master's Thesis
Date **:**17.02.2023

In solving multi-period efficiency problems, classical data envelopment analysis (DEA), which measures the efficiency of decision units separately for each period, does not include intermediates and inter-period connections in the model. The gap-based dynamic DEA analyzes the overall effectiveness of the decision units for all periods by including the transition between periods in the model. Dynamic DEA (DDEA) takes into account the inter-period input/output dependency in calculating the efficiency levels of economic decision units, such as the agricultural sector, depending on time. The purpose of the dynamic DEA model used in this study is to measure the dynamic efficiency values of the decision-making units by combining the undirected model with the input and output-oriented efficiency in a single objective function by providing the time connection between the intermediate product and the periods. In this study, the evaluation of agricultural productivity covering the periods of 2016-2017 and 2018 with DDEA was carried out on the basis of European Union (EU) countries. Indicators for agricultural efficiency analysis of countries were selected based on a literature review; two normal inputs (agricultural labor force and land), one unwanted input (chemical fertilizer), one normal output (agricultural output), one unwanted output (CO2), and one link variable (public agricultural expenditure) were determined as model variables. Gap-based static data envelopment analysis (SBM) models and void-based DDEA models were solved with the Microsoft Excel Solver. As a result of the analysis, it has been determined that the agricultural efficiency scores of 12 EU countries are equal to 1 according to both models, and these countries are agriculturally efficient.

Keywords: Data envelopment analysis, Dynamic data envelopment analysis, Agricultural activity

KISALTMALAR

vd.	Ve diğerleri
AB	Avrupa Birliği
AWU	Yıllık İş Birimi
BCC	Banker, Charnes, Cooper
CCR	Charnes, Cooper, Rhodes
CAP	Ortak Tarım Politikası
CO2	Karbondioksit
COFOG	Hükümet İşlevlerinin Sınıflandırılması
DTÖ	Dünya Ticaret Örgütü
DVZA	Dinamik Veri Zarflama Analizi
EAA	Tarım Ekonomik Hesaplar
EUROSTAT	Avrupa İstatistik Ofisi
FAO	Gıda ve Tarım Örgütü
FAOSTAT	Gıda ve Tarım Örgütü Kurumsal İstatistik Veri Tabanı
ISIC	Uluslararası Standart Endüstriyel Sınıflandırma
KVB	Karar Verme Birimi
OECD	Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü
PPS	Üretim Olasılıkları Seti (Production Possibility Set)
SBM	Boşluk Tabanlı Ölçüm Modeli (Slacks Based Model)
SFA	Stokastik Sınır Analizi Modeli
TFV	Toplam Faktör Verimliliği
TRUP	Tarım Reformu Uygulama Projesi
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
UNSD	Birleşmiş Milletler İstatistik Bölümü
USDA	Amerika Birleşik Devletleri Tarım Bakanlığı
VZA	Veri Zarflama Analizi
WDI	Dünya Kalkınma Göstergeleri
WORLDBANK	Dünya Bankası Açık Verileri

TABLO LİSTESİ

Tablo No Sayfa

Tablo 2.1: CCR ve BCC modellerinde kullanılan değişken ve parametreler 15

Tablo 3.1: Üretim imkanı seti ve modellerinde terimler ve kısıtlar 44

Tablo 4.1: Çalışmaya dâhil edilen AB ülkeleri ve kodları 55

Tablo 4.2: Girdi ve çıktı değişkenlerinin literatür özeti 56

Tablo 4.3: Uygulamada kullanılan girdi-çıktı kümesi 62

Tablo 4.4: İstenen ve istenmeyen girdiye ait veri seti 64

Tablo 4.5: İstenen ve istenmeyen çıktıya ait veri seti 65

Tablo 4.6: Bağlantıya ait veri seti 66

Tablo 4.7: Korelasyon analiz sonucu 68

Tablo 4.8: Boşluk tabanlı DVZA etkinliği (1. Küme) 70

Tablo 4.9: Boşluk tabanlı DVZA etkinliği (2. Küme) 70

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil No Sayfa

Şekil 2.1: Veri zarflama analizi uygulama aşamaları 7

Şekil 2.2: Kara kutu modeli 28

Şekil 2.3: Network VZA modeli 29

Şekil 2.4: Temel iki aşamalı yapı 30

Şekil 2.5: Genel iki aşamalı yapı 31

Şekil 2.6: Seri network VZA modeli 31

Şekil 2.7: Paralel network VZA modeli 32

Şekil 3.1: Klasik VZA modelinin üç dönem için performansı 36

Şekil 3.2: Dinamik VZA modelinin üç dönem için performansı 37

Şekil 4.1: Kümeleme analizi ağaç diyagramı 69

1. GİRİŞ

Farrell (1957)'in çalışması temel alınarak ortaya atılan ve parametrik olmayan bir yöntem olan Veri Zarflama Analizi (VZA), ilk olarak etkinlik ölçümünde kullanılmıştır. Tek girdi ve çıktı ile modellenen yöntem, daha sonra Charnes, Cooper ve Rhodes (CCR) (1978) tarafından geliştirilen ölçeğe göre sabit getiri varsayımı altında çoklu girdi/çıktı veri setlerine uygun hale gelmiştir. Banker, Charnes ve Cooper (BCC) (1984) tarafından modele konvekslik kısıtı eklenerek ölçeğe göre değişken getiri varsayımı altında çok sayıda girdi ve çıktı veri setlerinden oluşan modeller için uygulanmaya başlanmıştır. Birden fazla girdi ve çıktı değişkenlerinin modele dâhil edilmesine olanak sağlayan bu modeller bir grup benzer karar biriminin etkinliğini ölçmektedir. Veri zarflama analizinde en yaygın olarak CCR ve BCC modelleri kullanılmaktadır (Özdemir, 2022, s. 1769).

Etkinlik tahminlerinde radyal modeller, girdi-çıktı değişkenlerinin birbirinden bağımsız şekilde değerlendirilmesine izin vermemektedir. Bu çalışmada, radyal olmayan girdi-çıktı değişkenlerinin orantısal olmayacak şekilde azalışlarına/artışlarına imkân veren boşluk tabanlı (SBM) dinamik veri zarflama analizi kullanılacaktır ayrıca model girdi fazlalıkları ve çıktı eksikliğine göre değişmeyen birimlerin bulunmasına izin vermektedir. Boşluk tabanlı model, etkinlik ölçümlerinde girdi-çıktı boşluğunu doğrudan açıklayabilen ve istenmeyen çıktıların azaltılmasına olanak sağlayan bir yaklaşımdır (Zhang ve Choi, 2013, ss. 225-226).

Veri zarflama analizi tek bir zaman dönemini ele alarak değerlendirme yaptığı için üretim sürecinin dinamik ve zamana göre değişken olduğu durumlar da sapmalı sonuçlar verebilmektedir. Dönemler arası girdi-çıktı bağlılığını dikkate alarak sürece ait etkinliği ölçmek için Sengupta (1995) ve Fare ve Grosskopf (1996) tarafından dinamik veri zarflama analizi (DVZA) önerilmiştir. Dinamik VZA modelinde, belirli bir zaman dilimindeki sistemin çıktılarının bazıları ya da hepsi bir sonraki dönemin girdisi olarak kullanılabilmektedir.

Veri zarflama analizinde seçilecek karar verme birimlerinin benzer nitelikte olması ve karar birimlerinin sayısı önem arz etmektedir. VZA'de girdi ve çıktı değişkenlerinin, çalışmanın amacına uygun seçilmesi gerekmektedir. Çünkü girdi ve çıktı değişkenlerinin üretim sürecinden farklı bir kritere sahip olması etkinlik ölçüm

sonuçlarının hata oranlarını arttırmaktadır. Bununla birlikte uygulamalarda yer alan istenmeyen girdi ve çıktı değişkenleri için farklı çalışmalarda farklı fikirler ortaya atılmıştır.

Tarım sektörü, doğal kaynakları en fazla kullanan sektörlerden biridir ve çevre ile iç içedir. Tarımda, toprak yapısının bozulması, su kaynaklarının kirlenmesi, hava kirliliği gibi çeşitli problemler ortaya çıkmaktadır. Tarım, sadece doğal kaynaklarda değil sosyal ve ekonomik alanlarda da sorunlar yaratmaktadır.

Çevresel, ekonomik ve sosyal sorunların artmasıyla birlikte 1987 yılında ‘‘Brundlant Raporunda’’ ‘‘sürdürülebilir kalkınma’’ kavramı ortaya çıkmıştır (WCED, 1987). Sürdürülebilir kalkınma, insan faaliyetlerinin çevre üzerindeki etkilerini azaltmak için gerçekleştirilen eylemleri nitelendirmek için kullanılmıştır.

‘‘Çiftlikten sofraya (veya topraktan çatala), Biyoçeşitlilik ve Avrupa Yeşil Mutabakat Anlaşması’’ stratejileri sürdürülebilirlikle ilgili toplumsal kaygıları içermektedir. Bu stratejiler, çiftçiler için sürdürülebilir geçim kaynakları, tüketiciler için yüksek kalite ve sağlıklı gıda sağlamayı, sağlıklı ekosistemleri ve biyolojik çeşitliliği, sürdürülebilir gıda üretimine teşvik etmeyi amaçlamaktadır (Avrupa Komisyonu, 2020). Avrupa birliğinin (AB), ‘‘Ortak Tarım Politikasının’’ (CAP) hedeflerine sürdürülebilirlik prensibi entegre edilmiştir. CAP çiftçilere doğrudan ödemelerle desteklenen yeşillendirme uygulamalarını içermektedir. CAP stratejik planlarında çevre ve iklim mevzuatı bağlamında belirlenen uzun vadeli hedeflere nasıl katkıda bulunacağını göstermeyi hedeflemektedir.

Tarım sektöründe gerçekleşecek büyüme ve etkinlik artışları ülkeler için sürdürülebilir ekonomik büyümenin temel kaynağını oluşturmaktadır. Tarımsal girdilerdeki kısıtlamaların varlığı ve iklim değişikliklerindeki olumsuzluklar tarımda üretimi arttırmanın ve tarımsal etkinliğin yükseltilmesi gerekliliğini ortaya çıkarmaktadır.

Bu çalışma ile, istenen ve istenmeyen girdi ve çıktıları aynı anda ele alındığı, girdi ve çıktıya yönelik etkinlikleri tek bir amaç fonksiyonunda toplayan yönelimsiz dinamik veri zarflama modeli ile AB ülkelerinin çok yıllık tarımsal genel etkinliğinin değerlendirilmesi amaçlanmaktadır. Çalışmada VZA’ya tabi tutulacak AB ülkelerinin birbirleri arasında homojen olması açısından öncelikle kümeleme analizi uygulanmıştır. Elde edilen kümeler ayrı ayrı statik (SBM) ve dinamik veri zarflama

analizlerine tabi tutulmuştur. Uygulamada ele alınan modelde istenen girdi, çıktı ve bağlantı değişkenlerine ek olarak hem istenmeyen girdi (kimyasal gübre), hem de istenmeyen çıktı (CO2) ele alınmıştır. Literatürde istenmeyen girdi ve çıktı değişkenlerini aynı anda dinamik veri zarflama analizinde kullanan çalışmaya rastlanamadığından, bu yönü ile çalışmanın VZA literatürüne katkı sunması beklenmektedir.

Bu kapsamda yapılandırılan tezin ikinci bölümünde, veri zarflama analizi açıklanarak, veri zarflama analizi uygulama aşamaları, veri zarflama analizi temel modelleri, SBM ölçüm modeli ve ağ (network) veri zarflama modelleri incelenmiştir. Üçüncü bölümde dinamik VZA yöntemi açıklanarak literatürdeki model yapılarından bahsedilmiştir. Dördüncü bölümde, tarımsal etkinlik kavramına değinildikten sonra Avrupa Birliği ülkelerinin tarımsal etkinliklerini değerlendirebilmek için Avrupa Birliğine bağlı ülkelerin etkinlikleri SBM modeli ve dinamik VZA yöntemi ile ölçülerek sonuçları arasında karşılaştırma yapılmıştır.

2. VERİ ZARFLAMA ANALİZİ

Bu bölümde Veri zarflama analizinde kullanılan temel kavramlara, uygulama aşamalarına, temel modellere, Boşluk tabanlı (SBM) ölçüm modeline ve Ağ (network) veri zarflama modellerine yer verilecektir.

2.1. Veri Zarflama Analizi ile İlgili Temel Kavramlar

Literatürde etkinlik ölçüm yöntemleri oran analizi ve sınır etkinliği analizi olarak ikiye ayrılmaktadır. Oran analizi ve regresyon analizi gibi parametrik yöntemlerin yetersiz kaldığı etkinlik ölçümlerinde sınır etkinliği analizi uygulanmakta olup sınır etkinliği de parametrik ve parametrik olmayan analiz olarak ikiye ayrılmaktadır. Veri Zarflama Analizi (VZA) herhangi bir parametreye bağlı kalmadan karşılaştırma ve performans ölçümü yapmayı sağlayan bir yöntemdir. VZA homojen yapıdaki karar birimlerinin etkinliklerini kendi aralarında karşılaştırırken tek bir zamanda ölçülen performans etkinliğine ilişkin yöntem geliştirmeyen diğer tekniklere göre üstünlük sağlamaktadır (Kök ve Deliktaş, 2003, ss. 219-220).

Veri zarflama analizi (Data Envelopment Analysis – DEA) ilgili yazında doğrusal programlama temeline dayanan ve parametrik olmayan bir yöntemdir. Veri zarflama analizi parametrik olmayan uygulamalarda en çok tercih edilen yöntem olmakla birlikte, birden fazla girdi ve çıktı değişkeninin birlikte değerlendirmeye alınmasını sağlamaktadır. Matematiksel modeller girdi ve çıktı değişkenlerine uygulandıktan sonra en iyi performans gösteren değişkenleri sıralamaktadır (Derici ve Atalay, 2018, s. 1390).

VZA, benzer karar verme birimlerinin göreceli olarak etkinliğini ölçmeye yarayan bir etkinlik ölçüm modelidir. Çok girdili ve çok çıktılı bir etkinlik durumu Eşitlik 1'de ki gibi tanımlanmaktadır (Talluri, 2000, s. 8):

$$Etkinlik = \frac{ağırlıklandırılmış\ çıktı}{ağırlıklandırılmış\ girdi} \quad (1)$$

Charnes, Cooper ve Rhodes tarafından 1978 yılında yapılmış olan çalışmanın temeli Farrell'in 1957'deki performans etkinliğinin teorik çalışmasına dayanmaktadır. Parametrik olmayan uygulamalar için etkinliğin değerlendirilmesinde daha sonraki

yıllarda bu çalışma baz alınarak diğer araştırmaların temelini oluşturmaktadır (Charnes vd., 1978, s. 429).

Veri zarflama analizi, ilk olarak kâr amacı gütmeyen kuruluşlarda karşılaştırmalı etkinliğin ölçülebilmesi amacıyla uygulanırken daha sonraki yıllarda birden fazla çıktı üretiminin gerçekleştiği veya girdi fiyatlarının belirlenmesinden kaynaklı oluşan sorunların yaşandığı endüstrilerde ve özel sektörü kapsayan birçok alanda uygulanmaya başlanmıştır. Yapılan araştırmaların birçoğunda VZA'nın uygulandığı çalışma alanlarından bazı alt başlıklar ise şu şekilde sıralanmaktadır; hastane, hapishane, havaalanı, okul, üniversite, tarım, eczacılık, madencilik ve restoran gibi çeşitli alanların performans ve etkinlik ölçümleri ile ilgili uygulamalar literatürde yer almaktadır (Donthu ve Yoo, 1998, s. 91).

Veri zarflama analizini daha iyi anlayıp uygulamak adına bazı temel kavramların bilinmesi gerekmektedir. Bu temel kavramlar ise performans, verimlilik-etkinlik, karar verme birimi, etkinlik sınırı ve referans kümesi olarak karşımıza çıkmaktadır.

Performans

Performans kavramı ile ilgili; yazın da birçok tanım yapılmakla birlikte bu tanımların genelde birbirileri ile yakın anlamlar taşıdığı görülmektedir. Performans, belirli bir amaç ve planlanmış faaliyet sonucunda gerçekleştirilmek istenen sonuca yönelik olarak neye ulaşabildiğinin ve neyin sağlanabildiğinin nicel ya da nitel ifadesi olarak tanımlanmaktadır (Karaman, 2009, s. 413). İşletme, amaçlarını gerçekleştirebilmek için nitel ve nicel değerlerin performans değerlendirmesini yaparak geleceğe yönelik birtakım çıkarımlarda bulunulmasını sağlayabilmektedir. İşletmeler ekonomik amaçlarını gerçekleştirmek için dış çevreden sağladığı kaynakları (girdiler), üretim teknolojisi kullanarak çıktıya dönüştürmektedir ve işletme girdi/çıktı dönüşümünü sağlarken performans değerlendirmesinde ne kadar rasyonel davrandığı incelenmektedir (Gülcü vd., 2004, s. 90; Aktaş, 2001, s. 163).

Genel bir ifadeyle bir kurumun belirli bir zaman diliminde göstermiş olduğu sonuçlara performans denilmektedir. Başarılı bir yönetim süreci için performansın tanımlanıp, geliştirilmesi ve değerlendirilmesi zorunlu bir hale gelmektedir. Performans, işletme amaçlarının geliştirilmesi, göstergelerin seçimi ve geri bildirimin oluşturulması gibi süreçleri kapsayan bilimsel disiplinlerden oluşmaktadır. Performans ölçümü

konusunda uygulanan yöntemler ikiye ayrılmaktadır. İlk yöntem, oran analizidir. Oran analizi, tek girdi ve tek çıktı ile sınırlandırılmış bir uygulamadır. İkinci yöntem ise etkin üretim sınırını kapsayan süreçtir. Etkin üretim sınırı, parametrik ve parametrik olmayan yöntemler olarak kendi içinde ikiye ayrılmaktadır. Parametrik yöntemler, etkinlik ölçümü gerçekleştirecek işletmelerin girdileri ve çıktıları arasında fonksiyonel bir ilişki olduğu varsayımını göz önüne almaktadırlar. Parametrik olmayan yöntemler ise birden fazla girdi ve çıktının etkinlik ölçümü için uygun bir yapıya sahiptir ve parametrik olmayan yöntemler etkinlik ölçümü yaparken genel olarak matematiksel programlama çözüm tekniği kullanılmaktadır (Aktaş, 2001, s. 163; Yeşilyurt, 2018, ss. 2942-2946).

Verimlilik-Etkinlik

Verimlilik, basit anlamı ile girdinin çıktıya oranı olarak açıklanırken, etkinlik girdilerin ne derecede iyi bir çıktıyı ortaya koyabileceğinin analizini yapmaktadır (Gülcü vd., 2004, s. 91). Verimlilik, üretim sonucu oluşan çıktı ile üretimde kullanılan girdi arasındaki ilişki düzeyinin göstergesidir. Etkinlik, doğru işlerin yapılması olarak tanımlanırken verimlilik, işleri doğru yapmak şeklinde açıklanmaktadır. Verimlilik, kaynakların üretim gücünü değerlendirirken, etkinlik girdileri kullanarak ne derece çıktı elde edebileceğini göstermektedir (İleri, 2014, ss. 10-11; Yükçü ve Atağan, 2009, ss. 4-8).

Referans noktasına ihtiyaç duyulmadan göreli olmayan bir karar verme birimi için hesaplanabilen performans göstergesi verimlilik olarak adlandırılmaktadır. Etkinlik kavramı ise göreli bir anlam içermekle birlikte hesaplanabilmesi için birden fazla karar verme birimine ihtiyaç duymaktadır (Budak, 2011, s. 96).

Karar Verme Birimi (KVB)

Aynı türden girdiler ile benzer çıktılar elde etmekle birlikte etkinliği araştırılan birimler olarak banka, halk kütüphaneleri, personel, firma ve işletme gibi kurumlar karar verme birimi olarak ele alınmaktadır (Budak, 2011, s. 96).

Etkinlik Sınırı

Her bir karar birimi için 0 ile 1 arasında etkinlik değerleri değişmektedir. Karar verme birimi 1'e eşit ise KVB etkin durumundadır. Etkinlik değeri 1'den küçük karar

birimleri etkinsizdir. Etkin olarak belirlenen KVB etkinlik sınırını belirlemektedir ve etkin olmayan KVB ise etkinlik sınırına olan uzaklığı ifade etmektedir. Etkin olmayan karar birimleri için referans kümesi oluşturulmaktadır (Behdioğlu ve Özcan, 2009, s. 304; Budak, 2011, s. 96).

Referans Kümesi

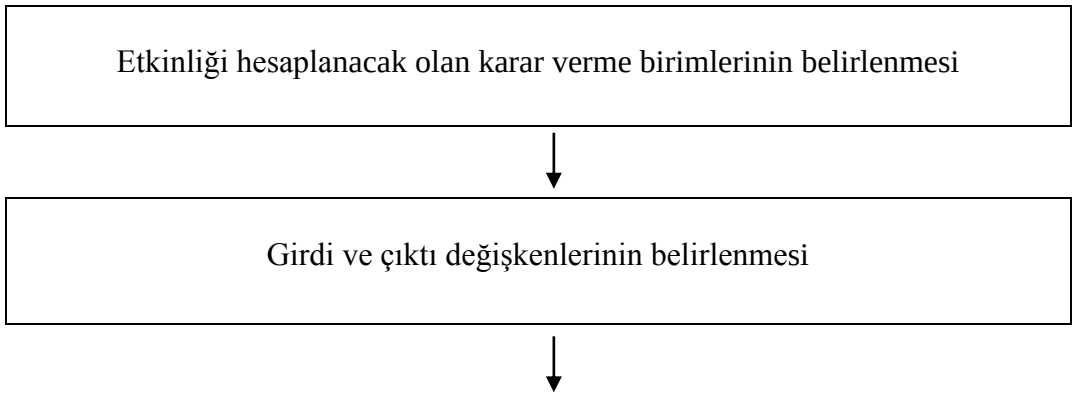
Etkinlik analizi sonucu değerlendirmede etkin çıkmayan bir karar verme biriminin, etkin hale gelebilmesi için kriter olarak kullanılan etkin karar birimlerinin oluşturmuş olduğu kümeye **referans kümesi** adı verilmektedir. Etkin olan karar verme birimlerinin referans kümesi yoktur. Referans kümesinin temel amacı; etkin olmayan karar verme birimlerine etkin olan karar verme birimlerinin uyguladığı yöntemler doğrultusunda etkili karar verme birimi oluşturmaktır (Behdioğlu ve Özcan, 2009, s. 304; Budak, 2011, s. 97).

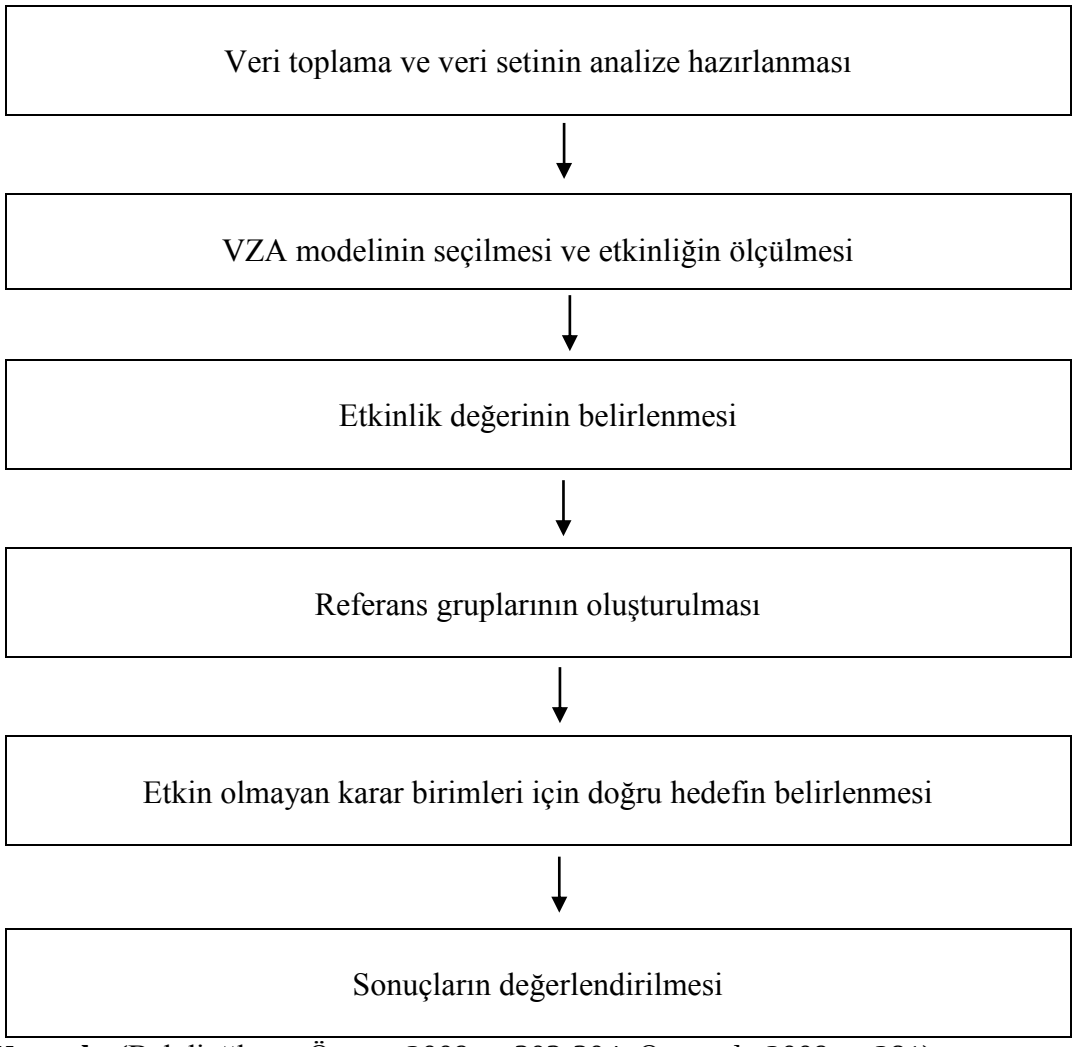
Seçilen KVB girdi ve çıktı değişkenlerinin en az girdi ile çıktıyı maksimum boyuta taşımak hem de çıktıyı girdi setini değiştirmeden üretim miktarındaki olabilecek artışı göstermektedir. VZA bu iki ölçümde ölçeğe göre sabit getiri (CRS) hem de değişken getiri (VRS) hipotezi altında ölçüm uyguladığı zaman farklı sonuçlar ortaya çıkmaktadır. Ölçümün yapıldığı sonuçlara göre girdi ve çıktı miktarlarında ne kadarlık bir azalış veya artış olacağına dair bir varsayım elde edilebilmektedir (Behdioğlu ve Özcan, 2009, s. 303; Kök ve Deliktaş, 2003, s. 221).

2.2. Veri Zarflama Analizi Uygulama Aşamaları

Veri zarflama analizi uygularken belirli aşamaların takip edilmesi gerekmektedir. Bu aşamalara Şekil 2.1'de yer verilmiştir.

Şekil 2.1: Veri zarflama analizi uygulama aşamaları





Kaynak: (Behdioğlu ve Özcan, 2009, s. 303-304; Oruç vd., 2009, s. 281)

2.2.1. Etkinliği Hesaplanacak Olan Karar Verme Birimlerinin Belirlenmesi

Veri zarflama analizinde ilk adım etkinlik analizi yapılacak uygulama için aynı girdileri kullanarak benzer çıktılar elde edebilen karar verme birimlerinin seçilmesidir. Bu karar verme birimlerinin homojen olması, aynı hedefe yönelik benzer işlevleri görmesi elde edilebilecek sonuçların anlamlı olması açısından önem arz etmektedir (Babacan vd., 2009, s. 26). Karar verme birimi aşamasında bir diğer önemli faktör ise KVB'lerin sayısı ile değişken sayısı arasındaki ilişkidir.

Yazında KVB sayısı ile ilgili olarak birçok düşünce ortaya konulmuştur. m girdi sayısı, p çıktı sayısı olmak üzere Boussofiane vd. (1991) göre karar verme birimi sayısı en az $m + p + 1$ den az olmamalıdır ayrıca uygulama içine alınan karar birimi sayısının, toplam değişken sayısının en az iki katı olması gerekmektedir. Golany ve Roll (1989) ile Dyson ve ark. (2001) ise KVB sayısının, girdi ve çıktı değişkeni

sayısının en az iki katı olması $(2(m+n))$ gerektiğini önermektedirler. Bununla birlikte Bowlin, Friedman ve Sinuany-Stern (1998) girdi ve çıktı değişkenlerinin KVB sayısından üç kat fazla olması gerektiğini $(m+p) < n/3$ belirtmektedirler (Acer ve Timor, 2017, s. 343; Özer vd., 2010, s. 240; Sarkis, 2007, s. 307).

2.2.2. Girdi ve Çıktı Değişkenlerinin Belirlenmesi

VZA verilerin temel alınarak uygulandığı ölçüm esasına dayanan yöntem olduğundan bu aşama analizin temelini oluşturur. Girdi ve çıktı değişkenlerinin seçimi, yapılacak olan analiz üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. VZA yönteminde yapılacak ölçümün sağlıklı olabilmesi, girdi ve çıktı değişkenlerinin birbirileri ile benzer olmasına ve çalışmanın amacına uygun olarak girdi/çıktı değişkenlerinin seçilmesine bağlıdır. Seçilen girdi/çıktı birleşimi üretim sürecini iyi bir şekilde temsil etmiyorsa etkinlik ölçümlerinin sonuçları hatalı çıkabilmektedir.

Girdi ve çıktı sayılarının azaltılması veya arttırılması halinde KVB sayısı da azaltılmalı veya arttırılmalıdır (Behdioğlu ve Özcan, 2009, s. 304; Sherman, 1982, ss. 2-3). Aynı karar verme birimi için farklı girdi ve çıktılar uygulandığında ölçüm sonuçları farklı etkinlik skorları verebilmektedir (Özer vd., 2010, s. 241).

Uygula malarda sık sık istenmeyen girdi-çıktı değişkenlerine rastlanmaktadır (Akther, Fukuyama ve Weber, 2013; Chen, Chang, Yu ve Hsu, 2012; Fukuyama ve Weber 2010; Jahanshahloo, Lotfi, Shoja, Tahidi ve Razavyen, 2005). Etkin KVB'lerin istenen girdileri ve istenmeyen çıktıları minimum ve istenilen çıktıları ve istenmeyen girdileri maksimum yapması hedeflenir. Yazında istenmeyen girdi ve çıktıların VZA'da ele alınma şekli ile ilgili çeşitli görüşler yer almaktadır (Liu vd., 2010, s. 178; Jahanshahloo vd., 2005, s. 918). Ortaya atılan görüşlerden biri istenmeyen faktörleri görmezden gelmektir. İkinci bir görüş, istenmeyen çıktıları girdi, istenmeyen girdileri çıktı olarak uygulamaya dâhil etmektir. Üçüncü görüş, doğrusal olmayan VZA'daki istenmeyen çıktıları uygulamaktır. Dördüncü alternatif yol ise istenmeyen çıktılara monoton azalan bir dönüşüm uygulanarak uyarlanmış değişkeni çıktı olarak dahil etmektir (Jahanshahloo vd., 2005, ss. 923-924).

Mevcut birçok VZA modelinde istenmeyen değişkenleri uygulamaya dâhil etmek için Genişletilmiş Güçlü Atılabilirlik varsayımı kullanılmaktadır (Seiford ve Zhu, 2002; Fare ve Grosskopf, 2004). Genişletilmiş Güçlü Tek Atılabilirlik (Extended Strong

Disposability) varsayımı Güçlü Tek Kullanımlık (Strong Disposability) varsayımının genişletilmiş halini oluşturmaktadır (Liu vd., 2010, ss. 176-178).

Genişletilmiş Güçlü Atılabilirlik varsayımında istenmeyen çıktılar belirli bir seviyeye kadar ‘‘serbestçe’’ arttırılabilmektedir. Bu tür serbest atılabilirlik belli bir düzeye kadar geçerli olmakla birlikte çoğu zaman istenen girdilerin ve istenmeyen çıktıların VZA modellerinde sınırlandırılması gerekmektedir. Temel olarak, istenmeyen çıktılar tek başına serbestçe azalttırılamazken, bazı istenen çıktılar orantılı bir şekilde azaltılabilmektedir. Üretim olasılık setinin (PPS) yapısı veri dönüşümlerinden kaçınmaksa Güçlü Tek Atılabilirlik varsayımını Genişletilmiş Güçlü Tek Atılabilirlik modeline eşdeğer olduğu varsayılmaktadır. Genişletilmiş Güçlü Atılabilirlik ve Tek Kullanımlık Atılabilirlik bağımsız yapıdadırlar ve VZA modelinde hangi varsayımın kullanılacağı ele aldığı uygulamaların konusuna bağlı kalmaktadır (Liu vd., 2010, ss. 180-181).

2.2.3. Veri Toplama ve Veri Setinin Analize Hazırlanması

Girdi ve çıktılar belirlendikten sonra tüm karar verme birimleri için girdi-çıktı veri kümesi elde edilmelidir. KVB için gerekli veri kümesinde eksikler olması durumunda sürece nasıl devam edilmesi gerektiğine yönelik farklı yaklaşımlar bulunmaktadır. Literatürde eksik veriye sahip olan KVB’nin veri setinden çıkarılması, kalan KVB’lerin göreceli etkinliğini değiştirmektedir. Eksik veri ile analizin uygulanmasını mümkün kılan yöntemlerin geliştirildiği görülmektedir (Kuosmanen, 2009; Kao ve Liu, 2000) bazı yazarlar farklı alternatifler geliştirmişlerdir (Smirlis, Maragos ve Despotis, 2006; Sarkis, 2007). Yönetim sürecinde oluşan eksik veri için ‘‘en iyi tahmin’’ yoluna başvurularak yöneticilerden tahmini değer toplanır ve süreç öznel bir yapıya sahiptir. Yöneticilerden alınan öznel değerler beta olasılık dağılımına dayalı beklenen değer hesaplamasına uygulanmaktadır. Beta dağılımında beklenen değer (2) numaralı eşitlik ile hesaplanmaktadır.

$$V_e = \frac{V_0 + 4V_m + V_p}{6} \qquad (2)$$

V_e tahmini (beklenen) değer, V_o iyimser değer, V_m en olası değer, V_p ise karamsar değer olarak ele alınmaktadır. Verilen girdi ve çıktı değişkenleri arasında iyimser değer en

iyi değer, kötümser değer en kötü değer ve ortalama en olası değer olacaktır. Eksik veri, verimlilik puanını, etkileyecek olan KVB için en iyi nokta olabilmektedir. Buna bağlı olarak verilerde değişiklik ve duyarlılık analizine başvurulması gerekli olabilmektedir. Kao ve Liu (2000), eksik veri tahminlerine ulaşmak için bulanık matematiksel yaklaşım tekniğini önermişlerdir. Bulanık matematiksel yaklaşım tekniğinde uygulamada kullanılacak olası değerlere ulaşmak zordur ve bununla birlikte çözümlerin göreli duyarlılığını belirlemek bir dizi değer varyasyonuna bağlı kalmaktadır (Sarkis, 2007, ss. 317-318).

Veri setindeki değerlerin değişken içi ve değişkenler arasında benzer büyüklükte olması veri setinin güvenirliği ve uygunluğu açısından önemlidir. Bu sebeple veri setinin homojenliğini sağlamak adına normalizasyon işlemine başvurulabilmektedir. Literatürde farklı normalizasyon teknikleri bulunmakla birlikte en fazla kullanılan yöntemlerden birisi ortalama normalizasyonudur. Ortalama normalizasyonunun ilk adımında, her girdi ve çıktı değişkeni için veri kümesinin ortalaması (V_i) bulunmaktadır (Eşitlik 3). İkinci adımda her bir girdi çıktı değerini hesaplanmış olan faktörün ortalamasına bölünmektedir (Eşitlik 4) (Sarkis, 2007, s. 311).

$$V_i = \frac{\sum_{n=1}^{N} V_{ni}}{N} \tag{3}$$

V_i: girdi veya çıktı için ortalama değer, N: KVB sayısı, V_{ni}: belirli bir girdi veya çıktı i için KVB n'nin değeri şeklindedir.

$$VNorm_{ni} = \frac{V_{ni}}{V_i} \tag{4}$$

$\boldsymbol{VNorm_{ni}}$: KVB n ile ilişkili değer ve i sütunundaki girdi-çıktı için normalleştirilmiş değer olarak ifade edilmektedir.

Temel VZA modelleri, veri setinde negatif sayıların bulunması sebebiyle analizi tamamlayamamaktadır ve veri setinde negatif sayı olmamalıdır. Bu temel VZA modellerinin ‘‘pozitiflik’’ şartını tanımlamaktadır. Ancak bazı gerçek hayat uygulamalarında veri setinde negatif sayılarda bulunabilmektedir. Temel VZA modellerinin bu noktadaki yetersizliğini gidermek adına veri setindeki negatif değerlerin ele alınması ile ilgili de farklı yaklaşımlar geliştirilmiştir.

VZA'da (oran modeller) negatif olan değerleri yok etmek için negatif sayıya sahip girdi ve çıktı setindeki tüm değerlere büyük bir pozitif sabit sayının eklenmesi yaygın kullanılan yöntemlerden biri olmuştur. Bazı durumlarda ise negatif sayıların veya sıfır değerlerinin olduğu veri setinde diğer sayılardan büyüklük olarak daha küçük bir sayı elde edilmesi tavsiye edilmektedir. Elde edilen sonuçlar ise modeller tarafından kullanılan ölçeğe bağlı olarak değişebilmektedir. Bu uygulama ''çeviri varyansı'' olarak tanımlanmaktadır (Sarkis, 2007, s. 312).

VZA modelinde çeviri değişmezliği özelliği ile negatif verilerin kullanımı sağlanmaktadır. Herhangi bir değişken negatif bir değere sahip ise ortaya çıkan tüm değişkenlerin (girdi ve çıktı) değerleri pozitif olacak şekilde çevrilir ve ağırlıklı toplama yöntemi ile veri setinin analizi gerçekleştirilir. Elde edilen sonuçlar orijinal veri seti analizi ile aynı değere sahiptir. Analizin negatif veri ile yapılamamasının nedeni, VZA yazılım paketlerinin negatif verilere uygun olmamasıdır. İstenmeyen girdi ve çıktı değişkenlerinin varlığında, amaç fonksiyonunda karşılık gelen boşluk veya fazla değişkenleri ele almadığı zaman aynı sonuç ortaya çıkmaktadır (Pastor ve Ruiz, 2007, ss. 65-68).

2.2.4. VZA Modelinin Seçilmesi ve Etkinliğin Ölçülmesi

Birbirleri ile kıyaslanarak yapılacak analizlerin karar birimleriyle ilgili girdi ve çıktı seçiminin var olan karar problemi için en doğru VZA modeli seçilmelidir.

Veri zarflama literatüründe Charnes-Cooper-Rhodes (CCR) (Charnes, Cooper ve Rhodes, 1978) ve Banker-Charnes-Cooper (BCC) (Banker, Charnes ve Cooper, 1984) modelleri ilk modeller olması itibariyle temel veri zarflama modelleri bilinmektedir ve radyal VZA modelleri olarak yazında en fazla kullanılan VZA modelleridir. Diğer yandan gerçek etkinlik uygulamalarının çeşitli gereksinim ve gereklilikleri doğrultusunda aylak tabanlı (slaks based) model (SBM) (Tone, 2001), şans kısıtlı VZA modeli (Land, Lovell ve Thore, 1993; Kuosmanen ve Post, 2001), çok amaçlı VZA modelleri (Shimshak, Lenard ve Klimberg, 2009), çok aşamalı VZA modelleri (Kao, 2014), ağ yapılı VZA modelleri (Fukuyama ve Mirdehghan, 2012; Tone ve Tsutsui, 2009; Kao, 2009), dinamik VZA modelleri (Fare ve Grosskopf, 1996; Nemoto ve Goto, 1999; Tone ve Tsutsui, 2010; Tone ve Tsutsui, 2014) gibi genel veri yapısına

uygun özel modeller geliştirilmiştir. VZA modelleri ile ilgili ayrıntılı bilgi 2.3, 2.4, 2.5. ve 3. numaralı bölümlerde verilmiştir.

2.2.5. Etkinlik Değerlerinin Belirlenmesi

Seçilen VZA modelinin uygulanması sonucunda her bir karar verme birimi için 0 ile 1 arasında etkinlik değerleri gerçekleşmektedir. Etkinlik değeri 1'e eşit olan birimler etkin olarak ifade edilir ve etkinlik sınırlarını belirler. Karar verme biriminin etkinlik skoru 1'den küçük ise göreli etkinsiz olarak değerlendirilir (Acer ve Timor, 2017, s. 345).

2.2.6. Referans Gruplarının Oluşturulması

VZA'da etkin olmayan karar verme birimleri göreli olarak etkin birimlerin uyguladığı yöntemleri uygulayarak kendilerini etkin birimlere benzetme durumunda bulunabilirler. Referans kümesinde yer alan, etkin olmayan karar birimi yalnızca girdi ve çıktı değişkenleri ile değil, yönetsel uygulamalar bakımından da değerlendirilebilir (Baysal vd., 2004, ss. 440-441).

2.2.7. Etkin Olmayan Karar Birimleri İçin Doğru Hedefin Belirlenmesi

VZA'dan çıkan sonuçlar gözlem kümesinde yer alan KVB'lerin benzerliklerinden hareket ederek etkin olmayan birimleri göstermekle birlikte karar verme birimlerinin etkin duruma geçebilmesi için hedefler belirleyebilir. Ana hedef genel olarak etkin olmayan karar verme birimlerinin referans kümesinde bulunan etkin birimlerin ağırlıklı ortalamasıdır (Behdioğlu ve Özcan, 2009, s. 304).

2.2.8. Sonuçların Değerlendirilmesi

VZA sonucu elde edilen bulguları karar verme birimi inceledikten sonra karar verme birimi için bütün girdiler ve çıktılar dikkate alınarak genel bir değerlendirme yapılır. Analizler fikir vermek için veya sonuçların anlamlı olup olmadığını ölçmek için uygulanabilir. Tahmini etkinlik sınırının ait olduğu hizmet veya üretim sektörüne yönelik değerlendirmelerde bulunulabilir. VZA ile elde edilen bilgilerin ileri ki çalışmalar da kullanılabilir olması önemli kazanımlar arasındadır (Behdioğlu ve Özcan, 2009, s. 304).

2.3. Temel Veri Zarflama Analizi Modelleri

VZA modelleri literatürde ‘‘ölçeğe göre sabit getiri ve ölçeğe göre değişken getiri’’ olarak iki ayrı grupta ele alınarak incelenirken bu iki grup kendi içerisinde de girdiye yönelik ve çıktıya yönelik olarak sınıflandırılmıştır (Derici ve Atalay, 2018, s. 1390; Güran ve Ayrancı, 2019, s. 76). Charnes-Cooper-Rhodes tarafından 1978 yılında ölçeğe göre sabit getiri modeli geliştirilmiş olup, 1984 yılında Banker-Charnes-Cooper tarafından ölçeğe göre değişken getiri modeli yazına kazandırılmıştır. Araştırmacıların baş harflerinin bir araya gelmesi ile CCR ve BCC modelleri literatüre işlenmiştir. VZA’da en çok tercih edilen iki temel model CCR modeli ve BCC modeli olmuştur (Bowlin, 1998, s. 5).

CCR ve BCC modelleri girdi ve çıktı odaklı olarak şekillenmektedir. Girdi odaklı modeller, çıktı seviyelerini sabit tutup girdi seviyesini azaltmayı amaçlarken, çıktı odaklı modeller olası girdi miktarı ile en fazla ne kadar çıktı elde edebileceğini ölçmektedir. En fazla çıktının en az girdi seviyesi ile üretilmesi amaçlanıyor ise bu durumda toplamsal veya yönelimsiz modeller kullanılması gerekmektedir (Charnes vd., 1978, s. 430; Özden, 2008, s. 170).

2.3.1. CCR (Charnes-Cooper-Rhodes) Modeli

1978’ de Charnes, Cooper ve Rhodes tarafından ortaya atılan çalışmada, m adet girdisi ve s adet çıktısı olan n adet karar birimi için maksimize edilecek olan çıktı/girdi oranının matematiksel gösterimi eşitlik 5’deki gibi, modelin kısıtlayıcıları da eşitlik 6’daki gibidir (Altan, 2010, ss. 193-194; Charnes vd., 1978, s. 430; Ulucan, 2000, ss. 409-410):

Girdi yönelimli kesirli CCR modeli

$$Max\ h_0 = \frac{\sum_{r=1}^{s} u_{rk}.\ y_{rk}}{\sum_{i=1}^{m} v_{ik}.\ x_{ik}} \qquad (5)$$

Kısıtlayıcılar;

$$\frac{\sum_{r=1}^{s} u_{rk.y_{rj}}}{\sum_{i=1}^{m} v_{ik.}\ x_{ij}} \leq 1 \qquad (6)$$

Eşitlik (5)'de u_{rk}, k. karar birimi tarafından r. çıktıya verilen ağırlık değerini, y_{rk}, k. Karar birimi tarafından üretilen r. çıktı değerini, v_{ik}, k. karar birimi tarafından i. girdiye verilen ağırlık değerini ve x_{ik}, k. karar birimi tarafından kullanılan i. girdi değerini ifade etmektedir. Eşitlik (7) ile belirtilen kısıtlar k organizasyonel karar biriminin ağırlıklarını diğer KVB'ler de kullandığı zaman etkinliklerinin $\%\,100$'ü geçmemesini sağlayan kısıt olarak sağlanmaktadır.

$$u_{rk}\,,\, v_{ik} \geq 0 \qquad (7)$$

$j = 1, 2, 3, \dots, s$
$i = 1, 2, 3, \dots, m$
$r = 1, 2, 3, \dots, s$

Kullanılacak girdi ve çıktı ağırlıklarının negatif olmamasını sağlayan kısıt eşitlik (7)'deki gibidir.

Referans kümesi olarak kullanılan KVB'lerin tümünden elde edilen verilerle bu problemin çözümü etkinliği ölçülen sıfırıncı KVB'ye ait r. çıktıya verilen faktör ağırlığı (u_{rk}) ve etkinliği ölçülen sıfırıncı KVB'ye ait i. girdiye verilen faktör ağırlıkları (v_{ik}) olarak sırasıyla belirlenir ve referans kümesindeki herhangi bir KVB'nin etkinliği diğerlerine bağlı olarak değerlendirilebilmektedir. Modelin optimize edilmiş çözümü ilgili j. karar verme birimi için en iyi ağırlıklandırmayı sağlamaktadır (Charnes vd., 1978, s. 430; Ulucan, 2000, s. 409).

Etkinlik ölçümü uygulanırken bazı faktör ağırlıkları tanımlandığı zaman ağırlıkların değerlerinin sıfır olma ihtimali olabileceği için Charnes vd. (1978), Eşitlik (7)'de bulunan $u_{rj} \geq 0$ ve $v_{ij} \geq 0$ kısıtlarının, $u_{rj} > 0$ ve $v_{ij} > 0$ şeklinde uygulanması gerektiğini ortaya koymuşlardır. Burada $'' \geq ''$ yerine $'' > ''$ gelmesi ile tekrardan belirlenirken modeli Arşimedgil Olmayan Model olarak tanımlamışlardır. Eşitlik 7'deki kısıt $u_{rj} > \varepsilon$ ve $v_{ij} > \varepsilon$ şeklinde değiştirilmektedir. (Özkan ve Özcan, 2018, s. 492). Aşağıda yer alan Tablo 2.1'de CCR ve BCC modellerinde kullanılan indisler ve parametreler gösterilmektedir.

Tablo 2.1: CCR ve BCC modellerinde kullanılan notasyon

s	Çıktı sayısı,
m	Girdi sayısı,
n	Karar verme birimi.
X_{ik}	k. KVB'nin kullandığı i. girdi,
Y_{rk}	k. KVB tarafından elde edilen r. çıktı,
X_{ij}	j. KVB'nin kullandığı i. girdi,
Y_{ij}	j. KVB tarafından elde edilen i. çıktı,
u_{rk}	k. KVB'ye ait r. çıktıya verilen faktör ağırlığı,
v_{ik}	k. KVB'ye ait i. girdiye verilen faktör ağırlığı,
s_i^-	k KVB'nin i. girdisine ait boşluk değeri,
s_r^+	k KVB'nin r. çıktısına ait boşluk değeri,
λ_j	j. KVB'nin aldığı ağırlık değeri,
ε	Pozitif çok küçük bir sayı
α	Büzülme kat sayısı
u_k	Serbest değişkenli (pozitif, negatif ve sıfır) değerleri içerir
β	Radyal çıktı genişlemesini belirleyen katsayı
ρ_0	Serbest değişkenli

Kaynak: (Altan, 2010, s. 194).

Eşitlik (5) ile verilen CCR modeli kesirli bir yapı göstermektedir. Bu model doğrusal yapıya dönüştürüldüğünde Eşitlik (8) ile ifade edilen çarpan modele dönüşmektedir (Charnes vd., 1978, s. 434; Budak, 2011, s. 99; Zhu ve Cook, 2007, ss. 3-5):

Girdi yönelimli temel (primal) CCR modeli (Çarpan model)

$$Max\ z = \sum_{r=1}^{s} u_r\, y_{rj} \tag{8}$$

Kısıtlar;

$$-\sum_{i=1}^{m} v_i\, x_{ij} + \sum_{r=1}^{s} u_r\, y_{rj} \leq 0 \tag{9}$$

$$\sum_{i=1}^{m} v_i \, x_{ik} = 1 \tag{10}$$

$$u_r, v_i \geq 0 \quad \forall r, i \tag{11}$$

$j = 1,2,3, \dots n$

$i = 1,2,3, \dots, m$

$r = 1,2,3, \dots, s$

Modelde amaç fonksiyonu, k karar birimi için ağırlıklı çıktıyı maksimize etmeyi ifade ederken, ilk kısıt sıfıra eşit veya sıfırdan küçük olabileceğini ikinci kısıt ise ağırlıklı değerin normalize edilip 1'e eşit olduğunu ifade etmektedir. Girdi odaklı CCR modelinin dual dönüşümü sonucu elde edilen zarflama modeli (12), (13), (14) ve (15) Eşitlikleri ile verilmiştir.

Girdi yönelimli dual CCR modeli (Zarflama model)

$$\min \alpha - \varepsilon \sum_{i=1}^{m} S_i^- - \varepsilon \sum_{r=1}^{p} S_r^+ \tag{12}$$

Kısıtlar;

$$\sum_{i=1}^{n} x_{ij} \, \lambda_j + S_i^+ - \alpha X_{ik} = 0 \tag{13}$$

$$\sum_{j=1}^{n} y_{rj} \, \lambda_j - S_i^+ - Y_{rk} = 0 \tag{14}$$

$$\lambda_j \geq 0, S_i^- \geq 0, S_r^+ \geq 0 \tag{15}$$

$j = 1,2,3, \dots, n$

$i = 1,2,3, \dots, m$

$r = 1,2,3, \dots, s$

Girdi odaklı CCR zarflama modelinde amaç fonksiyonu belirli bir çıktı seviyesinde ölçülmüş bir verime sahip olan k karar birimleri girdilerinin miktarlarını ne derecede azaltabileceğini incelemektedir. Kısıtlarda bulunan (S_i^- ve S_i^+) simgeleri boşluk değişkenlerini ifade etmektedir ve sırasıyla belirli bir oranda çıktı üretmek için i girdisinde ne kadar azalma ya da arttırma yapılabileceğini ifade etmektedir. Boşluk değişkenleri değeri 0 ise ve büzülme kat sayısı (α) 1'e eşitse ilgili KVB etkin olmaktadır ayrıca α 1'e eşitse ve boşluk değerlerinin optimal değerleri 0 sağlamıyor ise etkinsizlik söz konusudur.

Girdiler sabit iken çıktıları arttırarak etkin olmama durumunu ortadan kaldırmaya çalışan çıktı odaklı CCR modelleri Eşitlik (16), (17) ve (18)'de verilmiştir (Budak, 2011, s. 99; Charnes vd., 1978, ss. 432-434; Özkan ve Özcan, 2018, ss. 492-493).

Çıktı yönelimli kesirli CCR model

$$\min \frac{(\sum_{i=1}^{m} v_i x_{ik})}{(\sum_{r=1}^{s} u_r y_{rk})} \tag{16}$$

Kısıtlar;

$$\frac{(\sum_{i=1}^{m} v_i x_{ij})}{(\sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj})} \geq 1 \tag{17}$$

$$u_r \geq \varepsilon, v_i \geq \varepsilon \tag{18}$$

$j = 1,2,3, \dots, n$

$i = 1,2,3, \dots, m$

$r = 1,2,3, \dots, s$

Çıktı odaklı kesirli CCR modelinin amacı, ağırlıklı girdinin ağırlıklı çıktıya oranını en aza indirmektir. Çıktıya yönelik kesirli CCR modelinde amaç fonksiyonunun en küçük değeri 1'dir. Etkinlik kriterleri bu modelde 1 olarak belirlenmiştir. Amaç fonksiyon değeri 1'den büyük ise karar birimi etkin olmamaktadır.

Çıktı yönelimli temel (primal) CCR model (Çarpan model)

$$\min q = \sum_{i=1}^{m} v_i \, x_{ik} \tag{19}$$

Kısıtlar;

$$\sum_{j=1}^{m} v_{ij}\, x_{ij} - \sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj} \geq 0 \qquad (20)$$

$$\sum_{j=1}^{n} v_r\, y_{rk} = 1 \qquad (21)$$

$$u_r, v_i \geq 0 \quad \forall r, i \qquad (22)$$

$j = 1, 2, 3, \dots, n$

$i = 1,2,3, \dots, m$

$r = 1,2,3, \dots, s$

KVB'nin amaç fonksiyonu 1'e eşit olduğunda etkin olduğu ifade edilmektedir. Amaç fonksiyon değeri 1'den büyükse birim etkinsiz sayılmaktadır. Etkinsiz KVB'leri etkin kılmak için referans kümelerinin belirlenmesi gerekmektedir. Referans kümeleri belirlemek zarflama modeline bağlıdır.

Çıktı yönelimli dual CCR model (Zarflama model)

$$\max \beta + \varepsilon \sum_{i=1}^{m} s_i^- + \varepsilon \sum_{r=1}^{s} s_r^+ \qquad (23)$$

Kısıtlar,

$$\beta + \varepsilon \sum_{j=1}^{n} x_{ij}\, \lambda_j + (s_i^-) + x_{ik} \qquad (24)$$

$$\beta + \varepsilon \sum_{j=1}^{n} \lambda_j\, y_{rj} - (s_r^+) - \beta y_{rk} \qquad (25)$$

$$\lambda_j, s_i^-, s_r^+ \geq 0 \qquad (26)$$

$j = 1, 2, 3, \dots, n$

$i = 1, 2, 3, \dots, m$

$r = 1, 2, 3, \ldots, s$

Bu modelde (λ, s^-, s^+) dual değişkenleri ifade etmektedir. β simgesi radyal çıktı genişlemesini belirleyen katsayıyı göstermektedir ve alacağı sayısal değerler 1'e eşit veya 1'den daha büyük olabilmektedir. Çıktı yönelimli CCR zarflama modelin amaç fonksiyonu, kullanılan girdiler ile etkinliği ölçülen KVB'ye ait çıktıların radyal olarak ne kadar azaltılabileceği ölçülmektedir. KVB etkin ise $(\beta = 1)$ çıktı vektöründe arttırma yapılmamaktadır. KVB etkin değil ise β katsayısı 1'den büyük olur ve bu durum çıktı vektöründe arttırma yapılacağı anlamına gelmektedir. s^+ veya s^- sırasıyla çıktı vektörünü arttırmak ve girdi vektörünü azaltmak durumunda etkin hale gelebilmektedir.

KVB'nin tam verimliliği için aylak değişken (Slack Variable: Si) $(\leq)$ durumundaki her bir kısıtı eşitliğe dönüştürdüğü zaman gölge (slack) değişken dâhil edilmektedir. Ayrıca CCR modelin optimal çözüm elemanları $\theta^*, \lambda^*, s^{-*}, s^{+*}$ ve Max-Slack çözümü olarak isimlendirilmektedir (Babacan, vd., 2009, s. 2; Patır, 2007, s. 174).

2.3.2. BCC (Banker-Charnes-Cooper) Modeli

1984 yılında Banker-Charnes-Cooper tarafından ölçeğe göre değişken getiri (VRS) varsayımı altında girdiye yönelik BCC modelini geliştirmişlerdir (Peker ve Baki, 2009, s. 76). CCR modelinden farkı ise BCC modeline konvekslik kısıtının eklenmesidir. Konvekslik kısıtı Eşitlik 27'de gösterilmiştir.

$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_{jk} = 1 \qquad (27)$$

BCC modeli ölçek etkinlik ve teknik etkinlik olarak birimlerin etkinliğini ikiye bölmektedir. Bu model etkin bulunmayan KVB'lerin etkinsizliklerinin faaliyet etkinsizliğinden mi veya ölçek etkinsizliğinden mi kaynaklandığını ortaya çıkarmaktadır. KVB'lerin hesaplanan ağırlıkların (λ_j) toplamı 1'den küçük ise artan getiri, büyük ise ölçeğe göre azalan getiri ve eşit ise sabit getiri anlamına gelmektedir (Özden, 2008, ss. 173-174; Yıldız, 2006, s. 216).

Banker-Charnes-Cooper (BCC) modeli etkinlik sınırının ölçeğe göre değişken getiri özelliğini taşıdığı için girdi yönelimli model ile hesaplanan görece teknik etkinlik

değeri ile çıktı yönelimli hesaplanan görece teknik etkinlik değerleri birbirinden farklı sonuçlar verebilmektedir. Ölçeğe göre değişken getiri özelliği taşıyan BCC modeli herhangi bir KVB'nin girdiye göre ölçek getirisi artan yönelimli olurken çıktıya göre ölçek getirisi azalan yönelimli olabilmektedir (Özden, 2008, s. 174; Yavuz ve İşçi, 2013, s. 162).

BCC modellerinin kesirli, temel ve dual modelleri aşağıdaki gibi ifade edilmektedir (Banker, Cooper, Seiford, Thrall ve Zhu, 2004, ss. 346-348; Budak, 2011, s. 100; Durunay, 2017, ss. 134-135; Özden, 2008, s. 174; Peker ve Baki, 2009, s. 76).

Girdi yönelimli kesirli BCC modeli

$$\max \frac{\sum_{r=1}^{s} u_r y_{rk} - u_k}{\sum_{i=1}^{m} v_i x_{ik}} \tag{28}$$

Kısıtlar;

$$\frac{\sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj} - u_k}{\sum_{i=1}^{m} v_i x_{ij}} \tag{29}$$

$$\frac{u_r}{\sum_{i=1}^{m} v_i x_{ik}} \geq \varepsilon \tag{30}$$

$$\frac{v_i}{\sum_{i=1}^{m} v_i x_{ik}} \geq \varepsilon \tag{31}$$

$j = 1,2,3,\dots,n$

$r = 1,2,3,\dots,s$

$i = 1,2,3,\dots,m$

u_k, simgesi serbest değişken değerler (pozitif, negatif veya sıfır) yerine kullanılmaktadır. Girdiye yönelik CCR modeli ile BCC modeli aynı değerleri taşımaktadır. Ancak kesirli BCC modeline ek olarak ölçeğe göre değişken değer alan u_k simgesi modele eklenerek modellerin farklılaşmasına sebep olmuştur. KVB'nin etkinliği, amaç fonksiyonu sonucuna göre belirlenmektedir. Amaç fonksiyon değeri 1'e eşit ise etkin olduğu kabul edilmektedir.

Girdi yönelimli temel BCC modeli (Çarpan model)

$$\max \sum_{r=1}^{s} u_r y_{rk} - u_k \quad (32)$$

Kısıtlar;

$$\sum_{r=1}^{s} u_r\, y_{rj} \; - \sum_{i=1}^{m} v_i x_{ij} - u_k \; \leq 0 \quad (33)$$

$$\sum_{i=1}^{m} v_i x_{ij} = 1 \quad (34)$$

$$v_i \geq \varepsilon, u_r \geq \varepsilon \quad (35)$$

$j = 1,2,3, \dots, n$

$r = 1,2,3, \dots, s$

$i = 1,2,3, \dots, i$

BCC çarpan modelinde, girdilerin ağırlıklı toplamının normalize edildiği ve 1'e eşit olması gerektiği Eşitlik (34)'de gösterilmektedir. Amaç fonksiyonu, işlemlerin daha kolay hesaplanabilmesini sağlamaktadır. Karar birimlerinin etkin olma durumu amaç fonksiyonun 1'e eşit olmasına bağlıdır.

Girdi yönelimli dual BCC model (Zarflama model)

$$\alpha - \varepsilon \sum_{i=1}^{m} s_i^- - \varepsilon \sum_{r=1}^{s} s_r^+ \quad (36)$$

Kısıtlar;

$$\sum_{j=1}^{n} x_{ij}\, \lambda_j + s_i^- - \alpha x_{ik} = 0 \quad (37)$$

$$\sum_{j=1}^{n} y_{rj}\, \lambda_j - s_r^+ - y_{rk} = 0 \quad (38)$$

$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j = 1 \quad (39)$$

$$\lambda_j, s_i^-, s_i^+ \geq 0 \quad (40)$$

$j = 1,2,3, \ldots, n$

$i = 1,2,3, \ldots, m$

$r = 1,2,3, \ldots, s$

$\sum_{i=1}^{n} \lambda_{jk}$=1 konvekslik kısıtının dual modelde varlığı, üretim imkânlar kümesinin konveks şeklinde olmasını sağlamaktadır. BCC modelinde optimal sonuç 1 ise KVB etkindir. Birimin etkin olabilmesi için $\alpha = 1, s^{-*} = 0, s^{+*} = 0$ koşullarının sağlanması gerekmektedir. s^{-*} ve s^{+*} sırasıyla; en yüksek girdi fazlalığını ve en yüksek çıktı eksikliğini göstermektedir. Ancak ölçülen KVB birimi etkin değil ise (α) büzülme katsayısının 1'den küçük olması gerekmektedir bu durumda, girdi vektörü üzerinde radyal olarak azalmaya gidilebileceğini göstermektedir.

Çıktı yönelimli kesirli BCC model

$$\min \frac{\sum_{i=1}^{m} v_i x_{ik} - \rho_0}{\sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj}} \quad (41)$$

Kısıtlar;

$$\frac{\left(\sum_{i=1}^{m} v_i x_{ij}\right) - \rho_0}{\left(\sum_{r=1}^{p} v_r y_{rj}\right)} \geq 1 \quad (42)$$

$$v_i \geq \varepsilon, u_r \geq \varepsilon \quad (43)$$

$j = 1,2,3, \ldots, n$

$i = 1,2,3, \ldots, m$

$r = 1,2,3, \ldots, s$

Çıktıya yönelik kesirli BCC modelinde amaç fonksiyonunun alabileceği en küçük değer 1'dir. Modelde, amaç fonksiyonunun değeri 1'e eşit ise KVB etkin kabul

edilmektedir. Fakat amaç fonksiyonunun değeri 1'den büyük ise KVB'nin etkinsizliği söz konusudur.

Çıktı yönelimli temel BCC model (Çarpan model)

$$\min \sum_{i=1}^{m} v_i x_{ik} - \rho_0 \tag{44}$$

Kısıtlar;

$$\sum_{r=1}^{s} u_r y_{rk} = 1 \tag{45}$$

$$\sum_{r=1}^{s} u_r y_{rk} - \sum_{i=1}^{m} v_i x_{ij} + \rho_0 \leq 0 \tag{46}$$

$$u_r \geq \varepsilon, v_i \geq \varepsilon \tag{47}$$

$j = 1,2,3, \dots, n$

$i = 1,2,3, \dots, m$

$r = 1,2,3, \dots, s$

Zarflama (dual) modelde yer alan konvekslik kısıtı, ρ_0 değişkeninin doğrusal modelin amaç fonksiyonuna yazılmasını sağlamıştır. Amaç fonksiyonunun çözümünden sonra alabileceği en küçük değer 1'dir ve bu değer 1'e eşit ise KVB'nin etkin olduğu anlamına gelmektedir. Amaç fonksiyonunun 1'den büyük olması KVB'nin etkinsizliğini göstermektedir.

Çıktı yönelimli dual BCC model (Zarflama model)

$$\max \beta + \varepsilon \sum_{i=1}^{m} s_i^- + \varepsilon \sum_{r=1}^{s} s_r^+ \tag{48}$$

Kısıtlar;

$$\sum_{j=1}^{n} x_{ij}\,\lambda_j + s_i^- - x_{ik} = 0 \quad (49)$$

$$\sum_{j=1}^{n} y_{rj}\,\lambda_j - s_r^+ - \beta y_{rk} = 0 \quad (50)$$

$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j = 1 \quad (51)$$

$$s_i^- \geq 0, s_r^+ \geq 0 \quad (52)$$

$j = 1,2,3,\dots,n$

$i = 1,2,3,\dots,m$

$r = 1,2,3,\dots,s$

β, etkinliği ölçülen karar birimine ait çıktıların ne kadar arttırılabileceğini belirleyen genişleme kat sayısını ifade etmektedir. Ölçülen KVB etkin ise göreli etkinliği 1'e eşit olacaktır. KVB'nin etkinlik değeri 1'den büyük ise etkin olmayan karar birimini gösterir. Etkinsiz olan KVB için, β genişleme kat sayısı 1'den büyük olmaktadır ve bu durum çıktı vektöründe radyal bir artış yapılabileceği anlamına gelmektedir.

2.4. Boşluk Tabanlı (Slacks Based) Ölçüm Modeli

Karar verme birimlerinin etkinliğini ölçmek için aylak tabanlı ölçüm modeli 2001 yılında Tone tarafından geliştirilmiştir. VZA'da girdilerdeki fazlalıklara ve çıktılardaki eksikliğe yani girdi ve çıktı verimsizliklerine aylak tabanlı model adı verilmektedir (Tone, 2001, ss. 499-500). SBM (slacks-based measure) verimliliğin aylak tabanlı ölçüm modeli toplamsal modellerin bir sonucudur. Radyal verimlilik yaklaşımı (BCC ve CCR modelleri) girdi ve çıktılarda orantılı olarak azalma/artış olduğunu öne sürerken SBM modeli, orantılı değişim görüşünü gevşetir ve girdiler ve çıktılar için maksimum azalma/artış oranını elde etmeyi amaçlamaktadır. Bundan dolayı SBM modeli radyal olmayan aylak tabanlı ölçüm modellerini doğrudan ele almaktadır (Zhao vd., 2011, ss. 1145-1146).

SBM etkinlik ölçümünde her birinin n KVB'lerde KVBj $(j = 1, \dots, n)$ olduğundan, $m \rightarrow$ girdileri $(x_j, \dots, x_{mj})$ ve $s \rightarrow$ çıktıları $(yj, \dots, y_{sj})$ değerlendirilmektedir.

Gözlemlenen bu faaliyetlerde (KVB'ler), diğer tüm olası faaliyetlerle birlikte üretim olasılık setini (PPS) oluşturmaktadır. Eşitlik (53)'de gösterilmektedir (Tone, Toloo ve Izadikhah, 2020).

$$\mathrm{T}\,(x,y) = \left\{ (x,y) | x \geq \sum_{j=1}^{n} \lambda_j x_j, y \leq \sum_{j=1}^{n} \lambda_j\, y_j, \lambda_j \geq 0, j = 1, \dots, n \right\} \subset \mathbb{R}_+^{m+s} \qquad (53)$$

Üretim olasılıkları seti uygulanabilir tüm faaliyetleri kapsamaktadır. PPS'nin sınırı, etkin sınırdır ve etkin sınırda bulunan her bir KVB etkin kabul edilmektedir. SBM modeli, her bir KVB'nin performansının boşluklarını, girdi fazlalıkları ve çıktı eksikliklerine göre değerlendirmektedir. KVB boşluğu yok ise (sıfır-boşluğu) SBM etkilidir.

Tone (2001), KVB'nin etkinlik puanını ölçmek için doğrusal kesirli programlama programı SBM modelini çözmüştür. Eşitlik (54) bu modeli göstermektedir.

$$\rho_p^* = \min \frac{1 - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^{m} \frac{s_i^-}{x_{ip}}}{1 + \frac{1}{s} \sum_{r=1}^{m} \frac{s_r^+}{y_{rp}}} \qquad (54)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j x_{ij} + s_i^- = x_{ip} \qquad (55)$$

$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j y_{rj} - s_r^+ = y_{rp} \qquad (56)$$

$$\lambda_j, s_i^-, s_r^+ \geq 0 \qquad \forall j, \forall i, \forall r \qquad (57)$$

$i = 1,2,3, \dots, m$

$r = 1,2,3, \dots, s$

Burada λ_j ağırlık değerini ifade etmektedir. s_i^- ve s_r^+ boşlukları ifade etmektedir (girdi fazlalığı ve çıktı eksikliği). SBM model (54)'de bütün karar değişkenlerinin $\lambda_j\ \forall j, s_i^- \forall i$ ve $s_r^+ \forall r$ negatif değer olmamasına dikkat edilir.

Tone, Chank ve Wu (2020), $x_{ip} = 0$ $(y_{rp} = 0)$ olduğunda SBM modelinden x_{ip} (y_{rp})'nin çıkarılması ile yanlış sonuçlar elde edilebileceğine değinmişlerdir. i^{th} girdisi (r^{th} çıktısı) ile $x_i + \alpha$ $(y_r + \alpha)$ eşdeğer bir şekilde değiştirmek için SBM modelinin çeviri değişmezliği özelliğini kullanmışlardır. α simgesi pozitif küçük bir sayıyı göstermektedir. $y_{rj} > 0$ $(\forall r)$ ve $x_{ij} > 0$ $(\forall i)$ olarak varsaymak genel özellik kaybını oluşturmaktadır. Optimum amaç fonksiyonu değeri ρ_p^* en fazla 1 olan pozitif bir sayıyı ifade etmektedir ayrıca monoton ve birim değişmez özelliklerini taşımaktadır. $s_i^- \leq x_{ip}(\forall i)$ sebebi ile her zaman $0 < \rho_\rho^* \leq 1$ değerine sahip olmaktadır.

KVBp, $\rho_\rho^* = 1$ ise SBM verimli olmaktadır. Eğer $\rho_\rho^* = 1$ ise, $s_i^{-*} = 0$ $(\forall i)$ ve $s_r^{+*} = 0$ $(\forall r)$ burada SBM için girdi fazlalığı ve çıktı eksikliği olmadığı anlamına gelmektedir.

Eşitlik (54)'de SBM etkili birimler arasında ayrım yapmakta zorlanırken, Andersen ve Petersen (1993) modelinden farklı olarak, etkililiği fazla olan birim KVB'yi referans setinden çıkarmaktadır. Eşitlik (58), KVBp etkililiği fazla bir birim ve $\mathrm{T}_p^s(x, y)$ teknolojisi Andersen ve Petersen (1993) yaklaşımı olsun;

$$\mathrm{T}_p^s(x,y) = \left\{ (x,y) \middle| x \geq \sum_{j=1(j\neq p)}^{n} \lambda_j x_j, y \leq \sum_{j=1(j\neq p)}^{n} \lambda_j, y_j, \lambda_j \geq 0, j = 1, \dots, n(j \neq p) \right\} \qquad (58)$$

Eşitlik (56)'da KVBp etkinliği fazla olduğu bir birim olduğundan, KVBp $\notin$ $\mathrm{T}_p^s(x, y)$'dir. KVBp referans setinden çıkarıldığı zaman Eşitlik (55)'de uygulanabilir yeni S olsun ve Eşitlik (59)'da ki gibidir;

$$S = \left\{ (\lambda^p, s^+, s^-) \middle| \sum_{j=1(j\neq p)}^{n} \lambda_j x_{ij} + s_i^- = x_{ip}, \forall p; \sum_{j=1(j\neq p)}^{n} \lambda_j y_{rj} - s_r^+ = y_{rp}, \forall r \right\} \qquad (59)$$

içinde bulunulan durumda $\lambda^p = (\lambda, \dots, \lambda_{p-1}, \lambda_{p+1}, \dots, \lambda_n), s^- = (s_1^-, \dots, s_m^-)$ ve $s^+ = (s_1^+, \dots, s_s^+)$ oluşmaktadır.

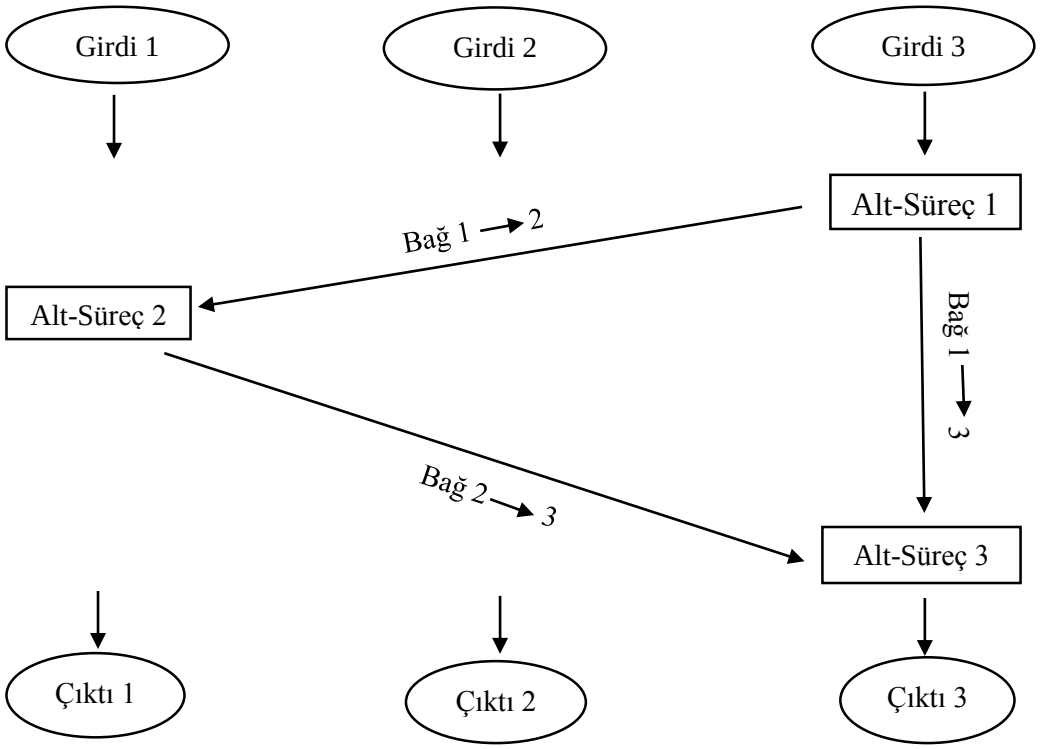
Burada $(\lambda^p, s^-, s^+) \in S$ olsun. $\sum_{j=1(j\neq p)}^{n} \lambda_j x_{ij} \leq x_{ip}(\forall i)$ ve $\sum_{j=1(j\neq p)}^{n} \lambda_j y_{rj} \geq y_{rp}(\forall r)$ fonksiyonu KVBp $\in T_p^s(x, y)$'ye yol açmaktadır. Bu sebeple $S \neq \emptyset$ olmaktadır.

Etkinlik problemlerinin içsel yapılarındaki farklılıklar özünde temel veri zarflama modellerini kullanan yeni VZA modellerinin geliştirilmesini gerektirmiştir. İçsel yapı farklılıklarını ele alan modeller genel olarak Ağ (Network)VZA modelleri olarak adlandırılmaktadır.

2.5. Ağ (Network) Veri Zarflama Modeli

Veri zarflama analizi (VZA), içyapısı bakımından girdileri çıktılara dönüştüren ve KVB'nin verimliliğini ölçmede kullanılan bir tekniktir. VZA modelinde KVB'nin iç üretim süreci, girdilerin ve çıktıların verimliliğini ölçerken bir ''kara kutu'' olarak düşünülmektedir (Şekil 2.2). Literatürde birçok üretim sistemi ağ (network) yapısına sahiptir. Ağ yapısına sahip üretim sisteminde KVB alt-süreçlerden oluşmaktadır. Böylece ara ürünler, bir diğer alt-sürecin çıktıları ve bir başka alt-sürecin girdileri olarak ele alınmaktadır (Fukuyama ve Mirdehghan, 2012, ss. 85-86).

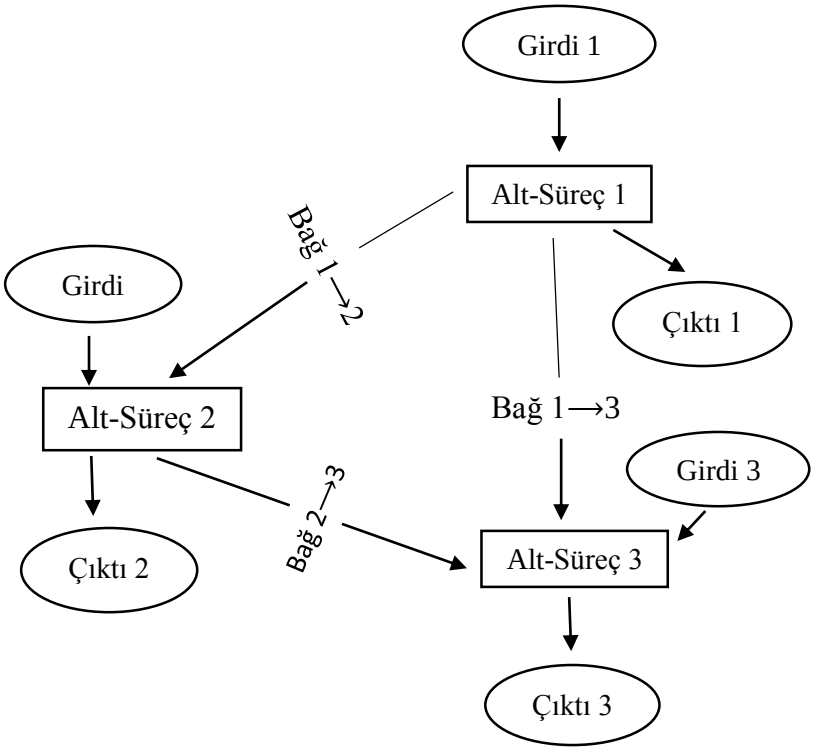
Şekil 2.2: Kara Kutu Modeli



Kaynak: (Tone ve Tsutsui, 2009, s. 244).

Çoğu üretim sisteminde uygulamalar, birbirleri ile ilişki içerisinde olan birkaç alt-sürece sahip olan bir network model yapısından oluşmaktadır. Kara kutu olarak adlandırılan ağ modellerinde dönüşüm sürecinin kapalı olarak uygulanması, hem alt-süreçlerin hem de bu alt-süreçleri birbirlerine bağlayan yapıların ihmal edilmesine sebep olmaktadır. Örnek olarak üç alt-sürece sahip olan ve bu alt-süreçlerin açık bir dönüşüm süreci içerisinde bulunan Şekil 2.1.'deki kara kutu modeli incelendiğinde, her alt-sürecin kendi çıktılarını üretmek için kendi girdilerini kullandığı görülmektedir. Şekilde Bağlantı 1⟶2, Bağlantı 1⟶3 ve Bağlantı 2⟶3'te alt-süreçlere ait ara ürünler bulunmaktadır. Bağlantı 1⟶ 2 olarak gösterilen ara ürün, alt-süreç 1'deki çıktının, alt-süreç 2'ye girdisi olduğunu gösteren ara ürünü ifade etmektedir (Fukuyama ve Mirdehghan, 2012, s. 86; Tone ve Tsutsui, 2009, s.244).

Şekil 2.3: Network VZA modeli



Kaynak: (Tone ve Tsutsui, 2009, s. 244).

Geleneksel veri zarflama analizi ve network veri zarflama analizi arasındaki fark, geleneksel VZA tek bir süreç olarak düşünülürken, network VZA, ara ürünlere ek olarak girdi ve çıktıları üreten çok sayıda aşamanın olduğunun düşünülmesidir. Ara ürünler bazı aşamalar için girdi değişkenini oluştururken bazı aşamalar için çıktı değişkeni olarak tanımlanmaktadır (Lozano vd., 2013, s. 1666).

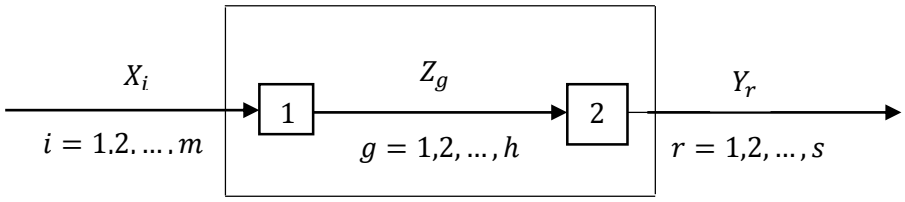
Fare ve Grosskopf (1996) tarafından ilk defa network VZA modelleri ‘‘The American Economic Review’’ kitabında ele alınmıştır. Yazarlar, kara kutu olarak adlandırılan yapıyı ilk kez incelemişlerdir ve ortaya konulan modeller birçok yazar tarafından geliştirilmiştir (Tone ve Tsutsui, 2009, s. 244).

Fare ve Grosskopf (2000) dönüşüm işleminin yapısına göre network VZA'yı üç model olarak ele almaktadırlar. Durağan model, dinamik model ve paralel model olarak sınıflandırmaktadırlar. Kao (2014) ise bu dönüşüm işlemini bir sistem olarak görmüştür ve modelleri yedi farklı yapıda önermektedir. Etkinlik ölçmek için geliştirilen modeller; temel iki aşamalı, genel iki aşamalı, seri yapılı, paralel yapılı, hiyerarşik yapılı, karma yapılı ve dinamik yapılı olarak kategorize edilmiştir.

2.5.1. Temel İki Aşamalı Yapı

İlk olarak bu sistem yapısı Charnes vd. (1986) tarafından fark edilmiştir. En basit ağ yapısına sahip olan temel iki aşamalı yapı, iki parça halinde oluşturulan sistem yapısının iki bölüme ayrılmasıdır. VZA uygulamasındaki temel iki aşamalı yapının girdi sistemi üzerindeki etkisini değerlendirebilmek için girdinin ilişkili olduğu bölümü tanımak gerekmektedir. Bu durum girdinin ölçüm üzerindeki etkisini gösterebilmektedir. Temel iki aşamalı yapı Şekil 2.4.'de gösterilmektedir (Kao, 2014, ss. 4-5).

Şekil 2.4: Temel iki aşamalı yapı



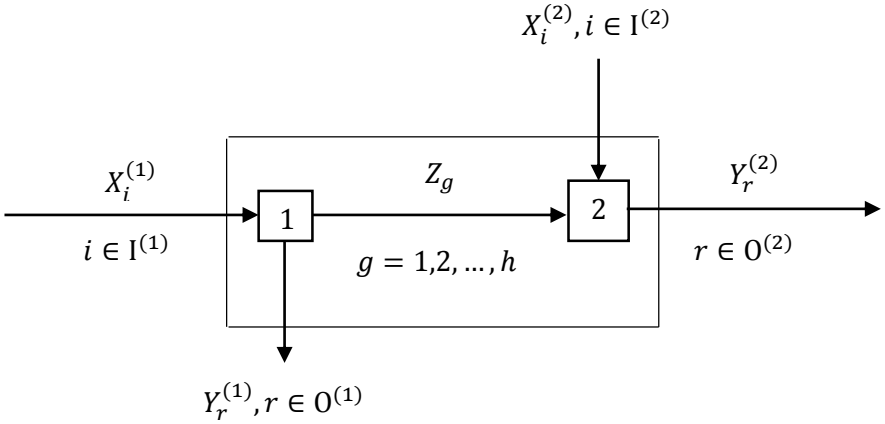
Kaynak: (Kao, 2014, s. 4)

Modelde, tüm girdiler X_i, nihai çıktılar Y_r ve ara ürünler Z_g olarak simgelenmiştir. Bu çalışmaların sistem verimliliği, iki süreçten bağımsız olarak her karar verme birimi için hesaplanmaktadır.

2.5.2. Genel İki Aşamalı Yapı

Genel iki aşamalı yapı, her iki aşama için dışarıdan sağlanan dış girdileri tüketmesine ve nihai çıktılar üretmesine izin veren temel iki aşamalı yapının genelleştirilmesidir. Üretilen ara ürünler için ikinci kısım tarafından tüketilen bir üretim türünü sağlamaktadır. Ancak, ara ürünler haricinde sisteme dışarıdan girdi dahil edilmemektedir. Genel iki aşamalı yapı, birinci bölümde nihai çıktılara, ikinci bölümde dış girdilere izin vermektedir. Şekil 2.5 genel iki aşamalı yapıyı göstermektedir.

Şekil 2.5: Genel iki aşamalı yapı



Kaynak: (Kao, 2014, s. 6)

2.5.3. Seri Network VZA modeli

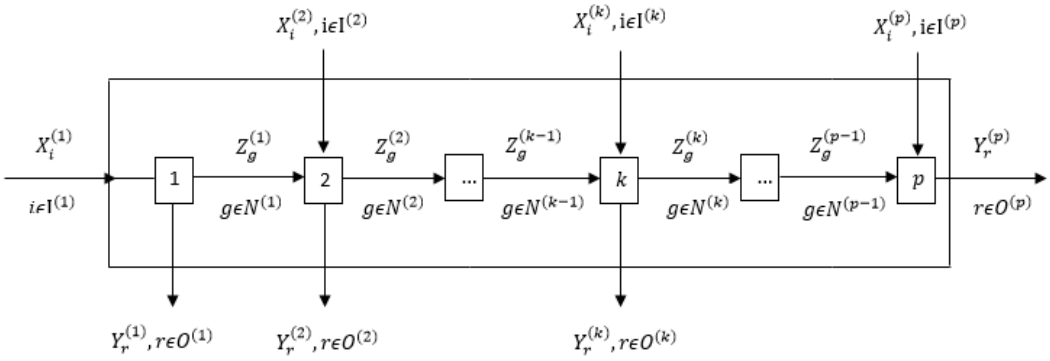
Geleneksel VZA modeli her aşama için ayrı ayrı uygulandığı zaman iki aşamalı probleme yakın bir uygulama olarak gösterilmektedir. Kao ve Hwang (2008), iki aşamalı sürecin aşamalarına birbirinden bağımsız çalışan aşamalar olduğuna dikkat çekmektedirler. Yazarlar, böylece geleneksel VZA modelini tüm süreç içindeki iki aşamanın seri ilişkisini dikkate alarak farklılaştırmışlardır. Bu bakımdan tüm sürecin verimliliği iki aşamanın verimliliklerinin ürünü olarak ayrıştırılabilir fakat verimlilik ayrıştırması geleneksel VZA yaklaşımında uygulanamamaktadır (Chen vd., 2009, s. 1170).

Seiford ve Zhu (1999), seri bağlı iki süreçten oluşan bir sistemin, her bir sürecin verimliliğini bağımsız olarak hesaplamak için geleneksel VZA modelini uygulamışlardır. Kao ve Hwang (2008) ise iki sürecin arasındaki seri ilişkiyi de dikkate alarak sistemin verimliliğini ölçmek için ilişkisel model geliştirmişlerdir.

İlişkisel modelin farklı bir sonucu, sistem verimliliğinin iki sürecin verimliliğinin ürünü olmasıdır (Kao, 2009, s. 951).

Seri bağlı bir sistem ve sistemin özellikleri Şekil 2.6'da gösterilmektedir (Kao, 2014, s. 7):

Şekil 2.6: Seri network VZA modeli



Kaynak: (Kao, 2014, s. 7)

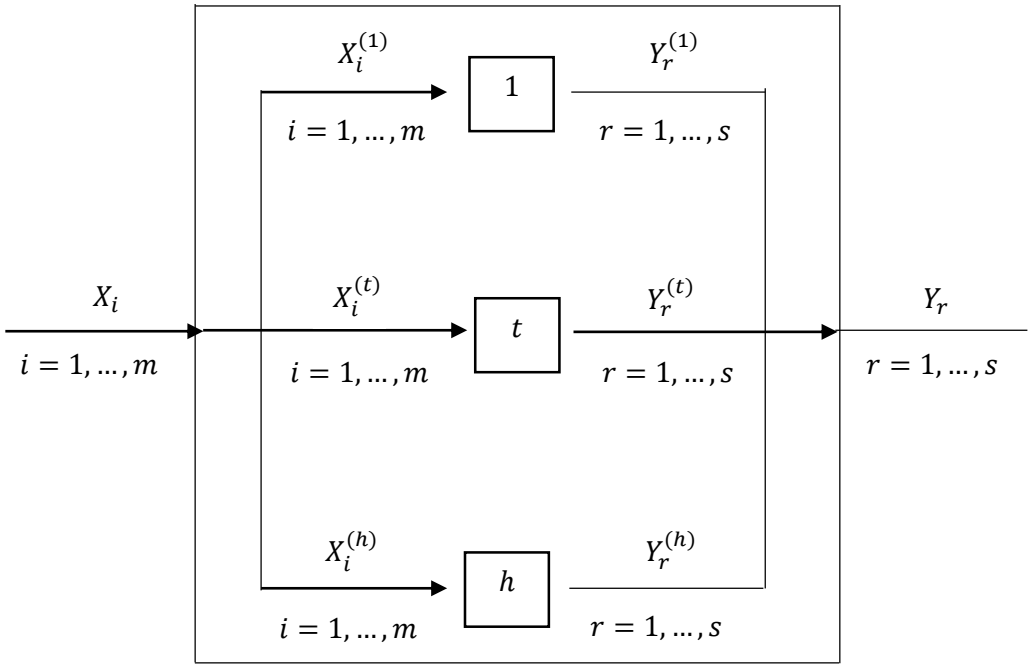
Şekil 2.6'da h adet süreçli bir seri sistem tanımlanmıştır. Süreçte X_{ij} ve Y_{rj} sırasıyla sistemin girdi ve çıktılarını ifade ederken, Z_{pj}^{t}, j.ninci KVB için, t sürecinin $(t-1, \dots, h-1)$, p.ninci ara ürünü, $(p-1, \dots, q)$ olarak değerlendirilmekte ve t sürecinin ara ürünleri, t sürecinin çıktıları ve aynı zamanda $t+1$ sürecinin girdilerini oluşturmaktadır. Ara ürün sayısı q her bir süreç için farklılaşabilmektedir, $W_p^{(t)}$ ise t sürecinin p.ninci ara ürünüyle ilişkili çarpan ya da önemini değerlendirirken, son süreç olan h ara ürünleri aynı zamanda sistemin çıktılarını ifade etmektedir.

2.5.4. Paralel Network VZA modeli

Paralel yapı modellerinde, sistem bileşenleri ayrı ayrı dikkate alınmaktadır. Bu durum karar vericinin sistem içindeki verimsiz bileşenleri tespit etmesine yardımcı olmaktadır (Kao, 2009, ss. 952-953). Seri ve paralel yapılar, sistem etkinsizliğinin ağırlıklı olarak süreç/bileşen etkinlikleri ortalamasından oluştuğunu göstermektedir. Paralel modellerde farklı girdi değişkenleri farklı çıktı birimleri üzerinde sistem etkinliklerinin ölçülmesini sağlamaktadır. Paralel sistemdeki bir süreç verimli ise üretim için bu süreci kullanmak tercih edilebilmektedir. Paralel sistemin bütün bileşen süreçleri verimli ise sonuç verimli çıkmaktadır. Paralel VZA'da kısıt sayısı KVB sayısı

ile sistemdeki süreç sayısı çarpımına eşit olacak bir şekilde oluşturulmalıdır. Paralel yapılı network sistemi Şekil 2.7'deki gibi gösterime sahiptir (Kao, 2009, ss. 952-953):

Şekil 2.7: Paralel network VZA modeli



Kaynak: (Kao, 2009, s. 952**)**

Burada $X_{ij}^{(t)}$ j'inci KVB'nin i'inci sürecinin i'inci girdisi olurken $Y_{rj}^{(t)}$ r'inci çıktıyı ifade etmektedir. Bütün süreçler için i'inci girdi toplamı KVB'nin i'inci girdisine eşit olmaktadır.

Ağ yapılı VZA çalışmaları ile sistem performansı ölçülürken her KVB aynı sayıda işleme sahip olmalıdır ve her bir KVB'nin karşılık gelen süreci aynı işlevi yerine getirmelidir. Farklı karar birimlerinde ise süreçlerin birebir örtüşmesi önemsenmez ise aynı çıktıların üretilmesi için sisteme aynı girdilerin dâhil edilmesi ile sistem ve süreç verimlilikleri ölçülebilmektedir. Hiyerarşik yapı birkaç düzeye sahip olabilmektedir. Ancak hiyerarşik yapıda, sadece bir seviye mevcut ve merkez ile alt birimler arasında etkileşim yok ise sistem paralel yapı olarak uygulanabilmektedir (Kao, 2014, s. 9). Karma yapılı modellerde tek bir model üzerinden üretim ve tüketim süreçleri birleştirilir ve birden fazla faaliyete ilişkin etkinliklerin ölçülmesi sağlanmaktadır. Karma yapılı modeller; seri, paralel ve hem seri hem paralel sistemleri içermektedir (Yu ve Fan, 2009, s. 505).

3. DİNAMİK VERİ ZARFLAMA ANALİZİ MODELİ

Bu bölümde, dinamik veri zarflama analizinin genel yapısından, Fare ve Grosskopf (1996) dinamik VZA modelinden, Nemoto ve Goto (1999) dinamik VZA modelinden ve Tone ve Tutsui (2010)'nin geliştirmiş oldukları dinamik VZA modellerinden bahsedilecektir.

3.1. Dinamik Veri Zarflama Analizinin Genel Yapısı

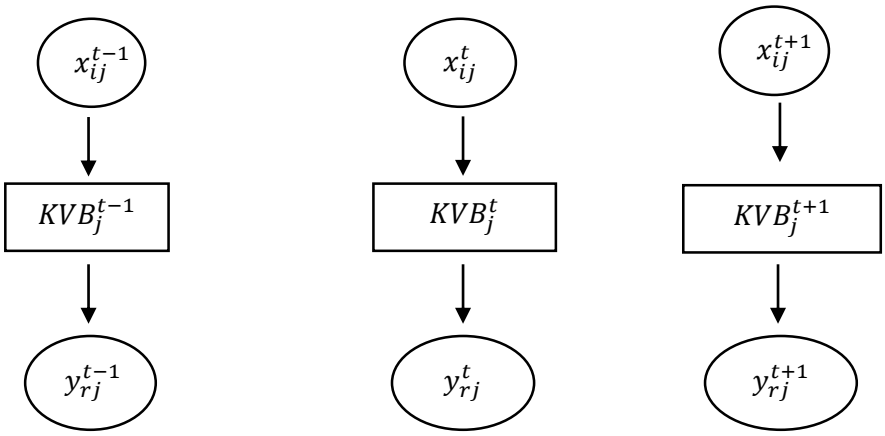
Klasik VZA modeli durağan bir yapıya sahip olmakla birlikte bu modellerde optimal olarak çözülen karar değişkenleri zaman içinde değişim göstermemektedir. Bu nedenle, mevcut VZA modeli yalnızca mevcut girdilere dayanmaktadır. Statik (klasik) VZA modelleri, etkinliği kar maksimizasyonunda ya da maliyet minimizasyonunda sapmalar olarak ele alınmaktadır. Bu şekilde tanımlanan üretim etkinsizliği klasik modellerde dönemler arası girdi-çıktı bağlılığının dikkate alınmadığını göstermektedir. Uygulamalarda KVB'lerin karar değişkenlerini optimal veya istenen seviyelere ayarlamak birden fazla zamana yayılabilmekte, üretim sürecinin dinamik ve zamana göre değişken olduğu durumlar da görülebilmektedir (Nemoto ve Goto, 1999, s. 51; Sengupta, 1996, s. 277).

Daha önce farklı yapılarından bahsedilmiş olan tek periyotlu bir sistemin aktarma (carry-over) değişkeni ile bağlanarak yinelenmesi ile ilgili olan dinamik yapıların etkinliğinin VZA ile ölçülmesine yönelik ilk adımlar Sengupta (1995) ve Fare ve Grooskopf (1996) tarafından atılmıştır. Sengupta (1995), dinamik VZA modeli oluşturmada dönemler arası optimizasyonun birinci derece koşullarının önemini ele almaktadır. Bu koşullar doğrusal programlama (DP) probleminde birtakım kısıtlamaları dâhil etmeyi önermektedir. Fare ve Grosskopf (1996) ise klasik VZA tarafından uygulanan daha gerçekçi üretim süreçlerini tanımlayan çok dönemli DP problemleri biçiminde birkaç tür dönemler arası uygulamayı genişletmişlerdir. Sonraki zamanlarda dinamik VZA yöntemi başka yazarlar (Chen, 2009; Nemoto ve Goto, 1999; Nemoto ve Goto, 2003; Park ve Park, 2007; Sueyoshi ve Sekitani, 2005; Tone ve Tsutsui, 2010; Tone ve Tsutsui, 2014) tarafından geliştirilmiştir.

Şekil 3. 1: Klasik VZA modelinin üç dönem için performansı

Şekil 3.1 herhangi bir $''j''$ karar verme biriminin (Dönem t Dönem $t+1$ üç zaman periyodunun klasik verimlilik değerlendirme yapısını göstermektedir. Klasik VZA

modelde her dönem için girdiler ve çıktılar ayrı ayrı analiz edilmektedir. Ayrıca dönemler arasında KVBj ilişkisi görülmemektedir. Klasik VZA modelinde KVB



Kaynak: (Mariz, Almeida ve Aloise, 2008, s. 471)

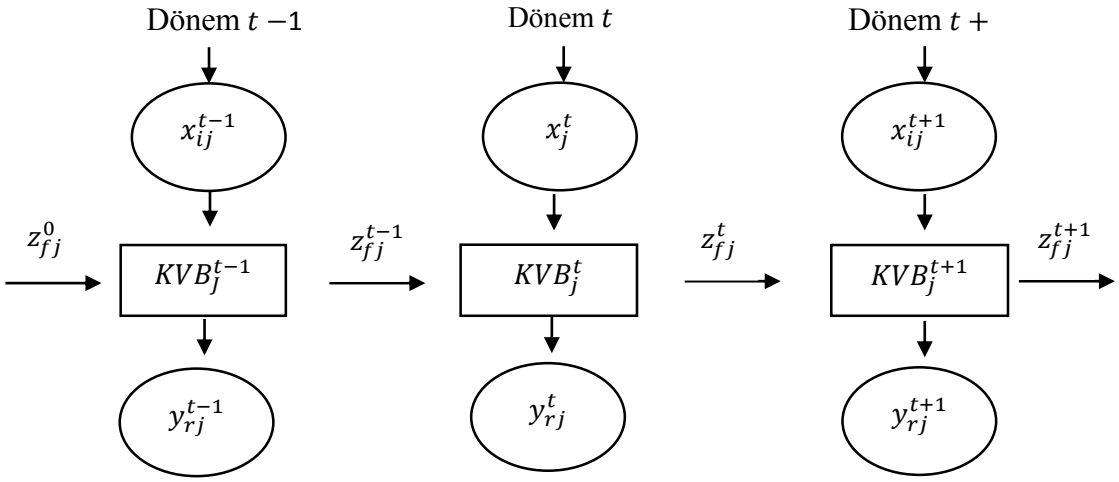
verimlilik ölçümünün performansını her yıl değerlendirmek için t modeli kullanılmaktadır. Statik VZA modellerinde dikkat edilmesi gereken birkaç sınırlamalar bulunmaktadır. Bu modeller, bir sonraki dönemlerin çıktı değişkenleri üzerindeki etkilerini göz ardı etmektedir. Statik VZA'da KVB orta ve uzun vadeli etkilerin olmadığını varsaymaktadır. Bu nedenle, bu özellikleri taşıyan modeller klasik model olarak ele alınmaktadır. KVB'lerin zamana bağlı olarak karşılıklı bağımlılığa tabi olmasından dolayı etkinlik değerlendirmeleri, birimlerin kaynak tahsisi ve üretim kararlarındaki performansını optimize etmeyi amaçlamaktadır (Mariz, Almeida ve Aloise, 2008, s. 471).

$(t-1; t; t+1)$ üç zaman periyodu için performans değerlendirmesinin dinamik yapısı Şekil 3.2'de gösterilmektedir. Şekil 3.1'de gösterilmeyen z_{fj}^{t} ara ürünleri KVB'lerin zamansal bağlantılarını temsil etmektedir. $''t''$ döneminden kalan her bir KVBj, $''t+1''$ döneminde girdi olarak kullanılan $''g''$ ara ürünlerine sahip olmaktadır. z_{fk}^{0} başlangıç dönemindeki girdiyi ve ilk analiz döneminden önceki dönemde üretilen ara girdiyi simgelemektedir. Şekil 3.2 aşağıdaki gibidir;

Şekil 3.2: Dinamik VZA modelinin üç dönem için performansı

Kaynak: (Mariz, Almeida ve Aloise, 2008, s. 471)

Her bir dönem için dinamik modelin üretimi $(t-1; t; t+1)$, nihai çıktılar ve ara



ürünler $(y_{rj}^{t-1} + z_{fj}^{t-1}; y_{rj}^t + z_{fj}^t; y_{rj}^{t+1} + z_{fj}^{t+1})$ ve nihai girdiler ve ara ürünlerden $(x_{ij}^{t-1} + z_{fj}^0; x_{ij}^t + z_{fj}^{t-1}; x_{ij}^{t+1} + z_{fj}^t)$ oluşmaktadır. z_{fj}^t girdiler ve çıktılar üzerindeki eş zamanlı rol nedeniyle bugün (t) veya yarın $(t+1)$ nihai sonuçların üretilmesinde açık bir mübadele bulunmaktadır (Mariz, Almeida ve Aloise, 2008, s. 472; Sueyoshi ve Sekitani, 2005, ss. 537-539).

Dinamik veri zarflama analizi için Fare ve Grosskopf (1996), Nemoto ve Goto (1999) ve Tone ve Tsutsui (2010) teorik gelişiminde ve model uygulamalarında ana itici güç olarak gösterilmektedir. Tone ve Tsutsui'nin (2010) modeli, uygulamalarda ağırlıklı olarak kullanılmaktadır (Mariz, Almeida ve Aloise, 2018, s. 480).

3.2. Fare ve Grosskopf (FG) Dinamik VZA Modeli

Fare ve Grosskopf (1996), dinamik VZA'nın (DVZA) gelişimine, üretken faaliyetlerin analizi ile uyumlu ağlar vizyonu uygulamasını sürdürürlerken literatüre katkıda bulunmuşlardır. Yazarlar, statik VZA modeline üretken ortamın dinamik yönlerini tanıtmaktadırlar ve bir dönemdeki kararların başka dönemdeki çıktıları etkilediğine inanmaktadırlar. Fare ve Grosskopf (1996) modeli dinamik bir yapıya sahip olduğu için dönemler arasında ara girdiler/çıktılar ile birbirini takip eden bir dizi statik teknolojiye sahip olduğunu varsaymaktadırlar. Aynı zamanda yazarlar, birkaç ağ VZA çalışmasına da öncülük etmişlerdir ve analiz dönemler arasında üretim süreçlerinin

tanımlanmasına uygun bir çalışma olarak sürdülmektedir (Nemoto ve Goto, 1999, ss. 51-54; Mariz, Almeida ve Aloise, 2018, s. 480).

Fare ve Grosskopf (1996), girdiler ve çıktılar arasında uygulanabilir ilişkiler için temel teknolojiyi baz alarak bir dizi olasılık tanımlamaktadırlar. Yazarların, dinamik bağlamda üç analiz dönemi için girdi değişkenlerine ve ilk ara ürünleri olan $P(x^{t-1}, x^t, x^{t+1}, z^0)$'a göre üretim olanağı oluşturmuşlardır. FG modeli farklı amaç fonksiyonlarının kullanımına izin vermektedir. Amaç fonksiyonu, her analiz durumuna ve optimize edilecek olan değişkenlere göre ayarlanmaktadır ve parametrelerin değiştirilmesi gerektiğini vurgulamaktadırlar. P^t her bir teknoloji, dışsal girdiler x_{ij}^t ve ara girdiler z_{rj}^{t-1} kullanılarak, nihai çıktılar olan y_{rj}^t ve ara ürünler z_{rj}^t üretilmektedir. FG modelinin üç periyodu $t-1, t, t+1)$ değerlendirilerek dinamik modelin referans teknolojisi aşağıda gösterilmektedir (Fare ve Grooskopf, 1996, ss. 161-168; Mariz, Almeida ve Aloise, 2018, ss. 481-482):

x_i^t: t döneminde i girdisi,

y_r^t: t döneminde r çıktısı,

z_r^t: t döneminde r ara girdisi,

λ_j^t: t döneminde j. KVB'nin yoğunluk değişkeni,

x_{ij}^t: t döneminde j. KVB'nin i girdisi,

y_{rj}^t: t döneminde j. KVB'nin r çıktısı,

z_{rj}^t: t döneminde j. KVB'nin r ara girdisi olmak üzere;

$$P\,(x^{t-1}, x^t, x^{t+1}, z^0) = \{(y^{t-1}, y^t, (y^{t+1} + z^{t+1}))\} \tag{60}$$

$$y_r^{t-1} + z_r^{t-1} \leq \sum_{j=1}^{n} \lambda_j^{t-1}\left(y_{rj}^{t-1} + z_{rj}^{t-1}\right), \;\; r = 1, \dots, s \tag{61}$$

$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j^{t-1}\, x_{ij}^{t-1} \leq x_i^{t-1}, \;\; i = 1, \dots, m \tag{62}$$

$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j^{t-1}\, z_{rj}^{0} \leq z_r^{0}, \;\; r = 1, \dots, s \tag{63}$$

$$\lambda_j^{t-1} \geq 0, \quad j = 1, \dots, n \tag{64}$$

$$y_r^t + z_r^t \leq \sum_{j=1}^{n} \lambda_j^t \left(y_{rj}^t + z_{rj}^t\right), \quad r = 1, \dots, s \tag{65}$$

$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j^t \, x_{ij}^t \leq x_i^t, \quad i = 1, \dots, m \tag{66}$$

$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j^t \, z_{rj}^{t-1} \leq z_r^{t-1}, \quad r = 1, \dots, s \tag{67}$$

$$\lambda_j^t \geq 0, \quad j = 1, \dots, n \tag{68}$$

$$y_r^{t+1} + z_r^{t+1} \leq \sum_{j=1}^{n} \lambda_j^{t+1} \left(y_{rj}^{t+1} + z_{rj}^{t+1}\right), \quad r = 1, \dots, s \tag{69}$$

$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j^{t+1} \, x_{ij}^{t+1} \leq x_i^{t+1}, \quad i = 1, \dots, m \tag{70}$$

$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j^{t+1} \, z_{rj}^{t} \leq z_r^{t}, \quad r = 1, \dots, s \tag{71}$$

$$\lambda_j^{t+1} \geq 0, \quad j = 1, \dots, n\} \tag{72}$$

Yazarlar, bu modeli dönemler arasındaki etkileşimin ara girdiler/çıktılar ile gerçekleştiği bir dizi sonsuz klasik teknolojiden geliştirmişlerdir. Ayrıca model her t döneminde tekrarlanan seri daralmaya sahip olmakla birlikte, p periyodu ($t = 1, \dots, p$) olan bir çözümlemede, (61) ve (64) arasındaki daralmalar, analizin ilk periyoduna ($t = 1$); (65) ve (68) arasındaki ara dönemleri kapsamaktadır ($t = 2, \dots, p-1$); ve (69) ve (72) dinamik değerlendirmenin ($t = p$) son tekrarı özetlenmektedir (Mariz, Almeida ve Aloise, 2018, ss. 482-483).

Fare ve Grosskopf tarafından ele alınan makalede, çıktılar ($z_r^t; y_r^t$) aynı tür ara ürün $''r''$ indeksine sahip olmaktadırlar. Bu modelde, geçiş öğesi, çıktılarla aynı özelliğe sahiptir ve sadece bir sonraki dönemde kullanılacak bitmiş bir ürünün miktarı (63), (65) ve (69) kısıtlamalarında, toplamı her bir eleman ($z_r^t; y_r^t$) iki kısıtlamaya bölünerek

değiştirilebilmektedir. Elde edilen model şu şekildedir (Mariz, Almeida ve Aloise, 2018, s. 483);

$$y_r^{t-1} \leq \sum_{j=1}^{n} \lambda_j^{t-1} y_{rj}^{t-1}, \;\; r = 1, \dots, s \tag{73}$$

$$z_f^{t-1} \leq \sum_{j=1}^{n} \lambda_j^{t-1} z_{fj}^{t-1}, \;\; f = 1, \dots, g \tag{74}$$

3.3. Nemoto ve Goto (NG) Dinamik VZA Modeli

Nemoto ve Goto (1999) tarafından ele alınan modelde girdilerin, yarı sabit girdilerin (ara girdi) ve yarı sabit yatırımın dinamik verimsizliğini ölçmek amaçlanmaktadır. Modeli, Fare ve Grosskopf'un modelinden farklılaştıran yönü ise yatırım ayarlamalarının uygun koşullarını sağlaması olduğu gösterilmektedir. Bu model, ekonometrik bir yaklaşım göstererek şirketin maliyetlerini en aza indirmeyi amaçlayarak dinamik verimliliğini değerlendirmektedir. Modelde girdi değişkeninin toplamını yarı sabit girdi ile çarpan amaç fonksiyonundaki her $''t''$ dönemi için iskonto (indirim) faktörü sabitini (γ) kullanmaktadır. Bu faktör, 0 ile 1 arasında değer almaktadır ve hesaplaması: $\gamma = 1/(1+b)$ şeklinde yapılmaktadır. $''b''$ burada nominal iskonto oranını ifade etmektedir (Nemoto ve Goto, 2003, ss. 193-197; Mariz, Almeida ve Aloise, 2018, s. 483).

Nemoto ve Goto (1999)'nun modeli şu şekildedir (Mariz, Almeida ve Aloise, 2018, s. 484):

x_i^t: t. dönemde i girdisi,

z_f^t: t döneminde f ara girdisi,

τ^t: t döneminde yoğunluk değişkeni,

γ^t: iskonto (indirim) faktörü,

v_{ik}^t: t döneminde analiz edilen KVB için f ara girdilerinin ağırlığı k,

w_{fk}^t: t döneminde analiz edilen KVB için f ara girdilerinin ağırlığı k,

z_{fj}^t: t döneminde j.nci KVB'nin ara girdisi f,

z_f^{-0}: 0 başlangıç döneminde KVB'ler için kullanılan ara girdi f,

x_{ij}^t: t döneminde j.nci KVB'nin i girdisi,

y_{rj}^t: t döneminde j.nci KVB'nin r çıktısı,

y_{rk}^t: t döneminde KVB analiz k'nın r çıktısı.

$$\min \sum_{t=1}^{p} \gamma^t \left(v_{ik}^t x_i^t + w_{fk}^t z_f^{t-1}\right) \tag{75}$$

$$x_i^t - \sum_{j=1}^{n} x_{ij}^t \tau^t \geq 0 \quad i = 1, \dots, m; \quad t = 1,2, \dots, p \tag{76}$$

$$z_f^{-0} - \sum_{j=1}^{n} z_{fj}^0 \tau^1 \geq 0 \quad f = 1, \dots, g \tag{77}$$

$$z_f^{t-1} - \sum_{j=1}^{n} z_{fj}^{t-1} \tau^t \geq 0 \quad f = 1, \dots, g; \quad t = 2,3, \dots, p \tag{78}$$

$$\sum_{j=1}^{n} z_{fj}^t \tau^t - z_f^t \geq 0 \quad f = 1, \dots, g; \quad t = 1,2, \dots, p-1 \tag{79}$$

$$\sum_{j=1}^{n} y_{rj}^t \tau^t - y_{rk}^t \geq 0 \quad r = 1, \dots, s; \quad t = 1,2, \dots, p \tag{80}$$

$$\tau^t \geq 0 \tag{81}$$

$$x_i^t \geq 0, z_f^t \geq 0 \quad t = 1,2, \dots, p \tag{82}$$

Amaç fonksiyonunda (75), girdilerin ağırlık değişkenleri ve ara girdiler ile başlangıç dönemi arasındaki bağlantılar minimize edilmeye çalışılmıştır. Yazarlar, (79) kısıtında gösterildiği üzere, analizin son kısmında bir ara girdinin varlığını dikkate almamaktadırlar. $''t+1''$ döneminde yani analiz edilen son dönemde sadece çıktıların üretimi ve yarı sabit ve değişken girdilerin kullanımı ele alınmaktadır. z_f^{-0} başlangıç ara ürünü, karar verici tarafından tüm KVB'ler için tanımlanan ve z_f^0 başlangıç koşullarının vektörünü temsil etmektedir. z_f^t yarı sabit girdi ve x_i^t değişken girdi, modelde optimal çözüm yolu ile ilişkilendirilmektedir ve optimizasyon modelinin yanıtı olarak değerlendirilmektedir. Yazarlar, verimsizliği karşılaştırmak ve ölçmek için her bir KVB ve $(x_{ij}^t; z_{fj}^t)$ dönem için bu değişkenlerin önceki değerlerini bildirilmesi gerektiğini vurgulamaktadırlar. Nemoto ve Goto (1999)'a göre (τ^t) ağırlık, bütün KVB'ler için aynıdır ve sadece değerlendirme periyodunu ele almaktadır. Fare ve Grosskopf (1996) ve Tone ve Tsutsui (2010) yazarlarının yapılandırma modelleri, yoğunluk değişkeni (λ_j^t) KVB'ye bağlamaktadır (Mariz, Almeida ve Aloise, 2018, ss. 484-485).

Nemoto ve Goto (1999) tarafından ele alınan araştırmada, parametreler ve optimize edilen değerler $(*)$ arasındaki fark ile girdi ve yarı sabit girdi hesaplanmaktadır. Hesaplama denklemleri aşağıdaki gibi gösterilmektedir (Mariz, Almeida ve Aloise, 2018, s. 485):

Girdi verimsizliği:

$$\mathrm{I}_{xk}^t = \gamma^t \times \sum_{i=1}^{m} v_{ik}^t \, (x_{ik}^t - x_i^{t*}) \tag{83}$$

Yarı sabit girdi verimsizliği:

$$\mathrm{I}_{zk}^t = \gamma^t \times \sum_{f=1}^{g} \left(w_{fk}^t - z_f^{t*}\right) \tag{84}$$

Burada toplam verimsizlik, girdilerin ve yatırımların tahmin edilen optimal kullanımının varyasyonunu değerlendirmektedir. Denklem (83) ve (84) girdi ve yarı sabit girdinin verimsizlikleri ile yarı sabit girdilere yapılan yatırımların verimsizliğinin toplamı ile hesaplama yapılmaktadır. İkinci değer burada sadece yukarıdaki modelin

optimizasyon sonucunu değil, aynı zamanda t döneminin yarı sabit girdisi ile ilişkili dual modelin (ϑ^*) optimal yoğunluk değişkenini de hesaplamak gerekmektedir. Yoğunluk modeli (Mariz, Almeida ve Aloise, 2018, s. 485):

Ara girdi yatırımlarının verimsizlik ölçümü Eşitlik (85)'de ki gibidir:

$$\mathrm{I}_{hk}^{t} = \left(\vartheta^{t*} \times \sum_{f=1}^{g} z_{fk}^{t} - \vartheta^{t-1*} \times \sum_{f=1}^{g} z_{fk}^{t-1} \right) - \left(\vartheta^{t*} \times \sum_{f=1}^{g} z_{f}^{t*} - \vartheta^{t*} \times \sum_{f=1}^{g} z_{f}^{t-1*} \right) \tag{85}$$

t döneminin toplam verimsizliği Eşitlik (86)'da gösterilmiştir:

$$\mathrm{I}_{k}^{t} = \mathrm{I}_{xk}^{t} + \mathrm{I}_{zk}^{t} + \mathrm{I}_{hk}^{t} \tag{86}$$

Nomoto ve Goto (1999)'nun modelinin sonucunda, yalnızca tek bir t döneminin toplam verimsizliğinin ölçüldüğü görülmektedir. Toplam verimsizlikte pozitif sonuç, girdilerin ve yatırımların aşırı kullanımını gösterirken negatif sonuç yetersiz girdi ve yatırımları göstermektedir (Mariz, Almeida ve Aloise, 2018, s. 486).

3.4. Tone ve Tsutsui (TT) Dinamik VZA Modeli

Tone ve Tsutsui, 2010 yılında yapmış oldukları çalışmada uzun vadeli performansların karşılaştırılmasına olanak sağlayan ve girdiler ve çıktılardaki orantısız değişikliklerine izin veren boşluk tabanlı dinamik veri zarflama analizi modelini öne sürmüşlerdir. Ayrıca dönemler arası aktarma faaliyetlerini (bağlantıları) istenen (desirable), istenmeyen (undesirable), isteğe bağlı (free), sabit (fixed) dört türe ayırmış, modelleri girdi odaklı, çıktı odaklı ve yönelimsiz olarak çeşitlendirmiştir. Tablo 3.1, Tone ve Tsutsui'nin dinamik veri zarflama analizinde kullanılan terimlerini ve kısıtlarını göstermektedir.

Tablo 3.1: Üretim imkânı seti ve modellerinde terimler ve kısıtlar

İndisler	
t	Dönem
j	Karar verme birimi
i	Girdi/Çıktı değişkeni

m	Girdi Sayısı $(i = 1, \dots, m)$
p	İsteğe bağlı olmayan (sabit) girdi sayısı $(i = 1, \dots, p)$
s	Çıktı sayısı $(i = 1, \dots, s)$
r	İsteğe bağlı olmayan (sabit) çıktı $(i = 1, \dots, r)$
Parametreler	
X_{ijt}	t döneminde j. KVB'nin i. isteğe bağlı girdi değeri
X_{ijt}^{fix}	t döneminde j. KVB'nin i. isteğe bağlı olmayan (sabit) girdi değeri
Y_{ijt}	t döneminde j. KVB'nin i. isteğe bağlı çıktı değeri
Y_{ijt}^{fix}	t döneminde j. KVB'nin i. isteğe bağlı olmayan çıktı değeri
$Z^{good}, Z^{bad}, Z^{free,}\, Z^{fix}$	Dört grup bağlantı değişkeninin sembolize durumu
$z_{ijt}^{good}(i = 1, \dots, ngood; j = 1, \dots, n; t = 1, \dots, T)$ t döneminde j. KVB'nin i. İstenen bağlantı değişkeni değeri	

Üretim olanakları $\{x_{it}\}$, $\{x_{it}^{fix}\}$, $\{y_{it}\}$, $\{y_{it}^{fix}\}$, $\{z_{it}^{good}\}$, $\{z_{it}^{bad}\}$, $\{z_{it}^{free}\}$ ve $\{z_{it}^{fix}\}$ olarak aşağıdaki biçimde ifade edilmektedir (Tone ve Tsutsui, 2010, ss. 146-147);

$$x_{it} \geq \sum_{j=1}^{n} x_{ijt}\, \lambda_j^t \qquad (i = 1, \dots, m; \quad t = 1, \dots, T) \tag{87}$$

$$x_{it}^{fix} = \sum_{j=1}^{n} x_{ijt}^{fix}\, \lambda_j^t \qquad (i = 1, \dots, p; \quad t = 1, \dots, T) \tag{88}$$

$$y_{it} \leq \sum_{j=1}^{n} y_{ijt} \lambda_j^t \qquad (i = 1, \dots, s; \quad t = 1, \dots, T) \tag{89}$$

$$y_{it}^{fix} = \sum_{j=1}^{n} y_{ijt}^{fix}\, \lambda_j^t \qquad (i = 1, \dots, r; \quad t = 1, \dots, T) \tag{90}$$

$$z_{it}^{good} \leq \sum_{j=1}^{n} z_{ijt}^{good}\, \lambda_j^t \quad (i = 1, \dots, ngood; \quad t = 1, \dots, T) \tag{91}$$

$$z_{iot}^{bad} \geq \sum_{j=1}^{n} z_{ijt}^{bad}\, \lambda_j^t \quad (i = 1, \dots, nbad; \quad t = 1, \dots, T) \tag{92}$$

$$z_{it}^{free}: free \qquad (i = 1, \dots, nfree; \quad t = 1, \dots, T) \tag{93}$$

$$z_{it}^{fix} = \sum_{j=1}^{n} \lambda_j^t \qquad (i = 1, \dots, nfix; \quad t = 1, \dots, T) \tag{94}$$

$$\lambda_j^t \geq 0 \qquad (j = 1, \dots, n: \quad t = 1, \dots, T) \tag{95}$$

$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j^t = 1 \qquad (t = 1, \dots, T) \tag{96}$$

Tanımlanan üretim olanaklarından geçen $\lambda^t \epsilon R^n \, (t = 1, \dots, T)$, t dönemi için yoğunluk vektörüdür. $ngood, nbad, nfree$ ve $nfix$ sırasıyla iyi (istenen), kötü (istenmeyen), serbest ve sabit sayısını ifade etmektedir. Sıralamadaki son kısıtlama Eşitlik (96) ölçeğe göre değişken varsayımını karşılamaktadır. Bu kısıtlama silinir ise ölçeğe göre sabit getiri modeli ortaya çıkmaktadır. Eşitlik ve eşitsizliklerin sağ tarafında görülen $x_{ijt}, x_{ijt}^{fix}, y_{ijt}, y_{ijt}^{fix}, z_{ijt}^{good}, z_{ijt}^{bad}$ ve z_{ijt}^{fix} gözlemlenen pozitif parametre değerlerini gösterirken, sol taraftaki $x_{it}, x_{it}^{fix}, y_{it}, y_{it}^{fix}, z_{it}^{good}, z_{it}^{free}$ ve z_{it}^{fix} değişkenleri yoğunluk değişkeni λ_j^t ile $x_{it}, x_{it}^{fix}, y_{it}, y_{it}^{fix}, z_{it}^{good}, z_{it}^{free}$ ilişkilendirilmiştir.

t ve $t + 1$ dönemleri arasındaki bağlantı akışının sürekliliği Eşitlik (97)'deki kısıt ile sağlanmaktadır.

$$\sum_{j=1}^{n} z_{ijt}^{\alpha} \lambda_j^t = \sum_{j=1}^{n} z_{ijt}^{\alpha} \lambda_j^{t+1} \quad (\forall i; t = 1, \dots, T-1) \tag{97}$$

Burada α simgesi ''iyi, kötü, sabit ve serbest'' yerine kullanılmıştır. Bu kısıt, t ve $t + 1$ dönemlerini birbirine bağladığı için modelin dinamik olması açısından önemlidir. $s_{it}^{-}, s_{it}^{+}, s_{it}^{good}, s_{it}^{bad}$ ve s_{it}^{free} sırasıyla girdi fazlalığı, çıktı eksikliği, bağlantı eksikliği, bağlantı fazlalığı ve bağlantı sapmasını ifade eden boşluk değişkenlerini ifade etmektedir. KVB_o $(o = 1, \dots, n)$ üretimi için Eşitlik (107)'de gösterilmiştir.

$$X_{iot} = \sum_{j=1}^{n} X_{ijt} \lambda_j^t + s_{it}^{-} \qquad (i = 1, \dots, m; t = 1, \dots, T) \tag{98}$$

$$X_{iot}^{fix} = \sum_{j=1}^{n} X_{ijt}^{fix}\,\lambda_j^t \qquad (i = 1, \dots, p; t = 1, \dots, T) \tag{99}$$

$$Y_{iot} = \sum_{j=1}^{n} Y_{ijt}\,\lambda_j^t - s_{it}^{+} \qquad (i = 1, \dots, s; t = 1, \dots, T) \tag{100}$$

$$Y_{iot}^{fix} = \sum_{j=1}^{n} Y_{ijt}^{fix}\,\lambda_j^t \qquad (i = 1, \dots, r; t = 1, \dots, T) \tag{101}$$

$$Z_{iot}^{good} = \sum_{j=1}^{n} Z_{ijt}^{good}\,\lambda_j^t - s_{it}^{good} \qquad (i = 1, \dots, ngood; t = 1, \dots, T) \tag{102}$$

$$Z_{iot}^{bad} = \sum_{j=1}^{n} Z_{ijt}^{bad}\,\lambda_j^t + s_{it}^{bad} \qquad (i = 1, \dots, nbad; t = 1, \dots, T) \tag{103}$$

$$Z_{iot}^{free} = \sum_{j=1}^{n} Z_{ijt}^{free}\,\lambda_j^t + s_{it}^{free} \qquad (i = 1, \dots, nfree; t = 1, \dots, T) \tag{104}$$

$$Z_{iot}^{fix} = \sum_{j=1}^{n} Z_{ijt}^{fix}\,\lambda_j^t \qquad (i = 1, \dots, nfix; t = 1, \dots, T) \tag{105}$$

$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j^t = 1 \qquad (i = 1, \dots, T) \tag{106}$$

$$\lambda_j^t \geq 0, s_{it}^{-} \geq 0, s_{it}^{+} \geq 0, s_{it}^{good} \geq 0, s_{it}^{bad} \geq 0 \text{ ve } s_{it}^{free}: free(\forall i, t) \tag{107}$$

Tone ve Tsutsui (2010), bir KVB_0 $(0 = 1,..,n)$ genel etkinliğini $\left(\{\lambda^t\},\{s_t^-\},\{s_t^{good}\},\{s_t^{baad}\},\{s_t^{free}\}\right)$ değişkenlerini ele alarak girdi yönelimli, çıktı yönelimli ve yönelimsiz olarak üç farklı odakta modellemiştir.

3.4.1. Girdi Odaklı TT Modeli

θ_0^* girdi odaklı genel verimlilik amaç fonksiyonu Eşitlik (108)'de gösterilmektedir (Tone ve Tsutsui, 2010, s. 147);

$$\theta_0^* = min\frac{1}{T}\sum_{t=1}^{T} w^t \left[1 - \frac{1}{m + nbad}\left(\sum_{i=0}^{m}\frac{w_i^- s_{it}^-}{x_{iot}} + \sum_{i=1}^{nbad}\frac{s_{it}^{bad}}{z_{iot}^{bad}}\right)\right] \qquad (108)$$

Kısıt (97) ve (107)'e bağlı olarak, w^t ve w_i^-, t döneminin ve i girdisinin ağırlıklarıdır ve önlemleri ile aşağıdaki şartları Eşitlik (109) sağlayacak şekilde dışsal olarak belirlenir.

$$\sum_{t=1}^{T} w^t = 1 \;\; ve \;\; \sum_{i=1}^{m} w_i^- = m. \qquad (109)$$

Bütün ağırlıklar eşit ise $w^t = 1(\forall t)$ ve $w_i^- = 1(\forall i)$ olarak belirlenebilmektedir.

Amaç fonksiyonu Tone'un 2010 yılında ortaya koyduğu girdi odaklı boşluk tabanlı VZA modeline dayanmaktadır ve girdi değişkenlerindeki fazlalıkların yanı sıra istenmeyen bağlantı değişkenlerindeki fazla kullanımları da ana amaç olarak değerlendirmektedir. İstenmeyen bağlantı değişkenleri girdi olarak değerlendirilmese de bu değişkenlerdeki fazlalıklar, benzer özelliklere sahip olmaları sebebiyle amaç fonksiyonunda girdi fazlalıkları ile aynı şekilde ele alınmaktadır. Bu değişkenler ardışık iki dönemin bağlantısını Eşitlik (109) ile gösterildiği şekilde sağlamaktadır. Eşitlik (108) köşeli parantezleri içindeki her bir terim, t döneminin çıktılarının ve bağlantılarının göreli boşluklarıyla (slaks) ölçülen etkinliği ile ilgilidir ve tüm boşluklar sıfıra eşitse değeri 1'e eşittir. Bu nedenle, Eşitlik (108)'in sağ tarafı, bütün dönemlerin 1'den büyük veya 1'e eşit olan dönem etkinliklerinin ağırlıklı ortalamasıdır. Genel etkinlik skorunun çarpmaya göre tersi olarak tanımlandığı için genel çıktı etkinliği 0 ile 1 arasında değer alır.

Eşitlik (108)'e bağlı olarak Eşitlik (97) ve (107) kullanılarak elde edilen optimal çözüm değerlerinden $\left(\{\lambda_0^{t*}\},\{s_{0t}^{-*}\},\{s_{0t}^{+*}\},\{s_{0t}^{good}\},\{s_{0t}^{bad*}\},\{s_{0t}^{free}\}\right)$ faydalanılarak t döneminde bir KVB'nin girdi odaklı etkinlik skoru θ_{0t}^* Eşitlik (110) ile hesaplanır.

$$1-\frac{1}{m+nbad}\left(\sum_{i=1}^{m}\frac{w_i^- s_{i0t}^{-*}}{x_{i0t}}+\sum_{i=1}^{nbad}\frac{s_{i0t}^{bad*}}{z_{i0t}^{bad}}\right),\quad (t=1,\dots,T) \tag{110}$$

Eşitlik (110) dönemsel girdi odaklı etkinliği göstermektedir. T dönemlik girdi odaklı genel etkinlik (θ_0^*) dönemlerin ağırlıklı ortalaması olarak Eşitlik (111)'deki gibi hesaplanır;

$$\theta_0^*=\frac{1}{T}\sum_{t=1}^{T}w^t\theta_{ot*}^* \tag{111}$$

3.4.2. Çıktı Odaklı TT Modeli

τ_0^* çıktıya yönelik genel etkinliği simgelerse Eşitlik (112) gibi hesaplanmaktadır (Tone ve Tsutsui, 2010, s. 148; Mariz, Almeida ve Aloise, 2018, ss. 489).

$$\frac{1}{\tau_0^*}=max\frac{1}{T}\sum_{t=1}^{T}w^t\left[1+\frac{1}{s+ngood}\left(\sum_{i=1}^{s}\frac{w_i^+ s_{it}^+}{y_{i0t}}+\sum_{i=1}^{ngood}\frac{s_{it}^{good}}{z_{i0t}^{good}}\right)\right] \tag{112}$$

Eşitlik (97) ve (107)'ye bağlı olarak, w_i^+ i çıktısının ağırlığı olarak hesaplanmaktadır ve aşağıdaki koşulu sağlamaktadır;

$$\sum_{i=1}^{s}w_i^+=s \tag{113}$$

Ele alınan amaç fonksiyonu, çıktı odaklı boşluk tabanlı modelin bir uzantısıdır ve temel olarak çıktı istenen bağlantı değişkenlerindeki eksiklikler (shortfalls) ile ilgilenmektedir. İstenen bağlantı değişkenleri çıktı olarak değerlendirilmese de bu değişkenlerdeki eksiklikler, çıktı değişkenlerindeki eksiklikleri ile benzer şekilde ele alınmaktadır. Arka arkaya gelen dönemler Eşitlik (97)'deki kısıt ile birbirine bağlanmaktadır. Eşitlik (112) köşeli parantez içerisinde bulunan her bir terim t döneminin çıktı ve istenen bağlantı değişkenlerin göreli boşlukları ile ölçülen etkinliği

ile ilgilidir ve bütün boşluk değerleri sıfır ise etkinlik değeri bire eşit olmaktadır. Eşitlik (112) sağ tarafı tüm dönemlerin 1 veya 1'den büyük değer alan dönem etkinliklerinin ağırlıklı ortalamasını göstermektedir. Çıktı genel etkinliği eşitliğin sağ tarafından elde edilen sonucun çarpmaya göre tersi ile ifade edildiği için 0 ile 1 arasında değer almaktadır.

Eşitlik (112), (97) ve (107)'den oluşan modelin optimal çözümünden elde edilen değişken değerleri $\left(\{\lambda_0^{t*}\},\{s_{0t}^{-*}\},\{s_{0t}^{+*}\},\{s_{0t}^{good*}\},\{s_{0t}^{bad*}\},\{s_{0t}^{free*}\}\right)$ ile spesifik bir KVB'nin t dönemindeki çıktı odaklı dönem etkinliği τ_{0t}^* Eşitlik (114) ile hesaplanabilmektedir.

$$\tau_{0t}^* = \frac{1}{1+\frac{1}{s+ngood}\left(\sum_i^s \frac{w_i^+ s_{i0t}^{+*}}{y_{i0t}} + \sum_{i=1}^{ngood} \frac{s_{i0t}^{good*}}{z_{i0t}^{good}}\right)}, \quad (t=1,\dots,T) \tag{114}$$

Bir KVB'nin çıktıya yönelik genel etkinlik, dönemlerin çıktı odaklı etkinliklerinin (τ_{0t}^*) ağırlıklı harmonik ortalaması olarak Eşitlik (115) ile hesaplanmaktadır;

$$\frac{1}{\tau_0^*} = \frac{1}{T}\sum_{t=1}^{T} \frac{w^t}{\tau_{0t}^*} \tag{115}$$

3.4.3. Yönelimsiz TT Modeli

Yönelimsiz etkinlik durumu, girdi ve çıktı odaklı durumların birleşimi olarak tanımlanmaktadır. Yönelimsiz modeller girdi faktörünü azaltmaya çalışırken çıktı değişkenlerini maksimize etmeyi amaçlamaktadır. Yönelimsiz sınıfındaki modeller girdi ve çıktıya yönelik modelleri tek bir çerçevede ele almayı amaçlamaktadır. Yönelimsiz modelin amaç fonksiyonunun genel matematiksel gösterimi Eşitlik (116)'da ki gibidir;

$$min \frac{\frac{1}{T}\sum_{t=1}^{T} w^t \left[1 - \frac{1}{m+nbad}\left(\sum_{i=1}^{m} \frac{w_i^- s_{it}^-}{x_{i0t}} + \sum_{i=1}^{nbad} \frac{s_{it}^{bad}}{z_{i0t}^{bad}}\right)\right]}{\frac{1}{T}\sum_{t=1}^{T} w^t \left[1 + \frac{1}{s+ngood}\left(\sum_{i=1}^{s} \frac{w_i^+ s_{it}^+}{y_{i0t}} + \sum_{i=1}^{ngood} \frac{s_{it}^{good}}{z_{i0t}^{good}}\right)\right]} \tag{116}$$

Model, Eşitlik (97) ve (107)'de verilen kısıtları içermektedir.

Bu amaç fonksiyonu, Tone (2001)'un yönlendirilmemiş SBM modelinin bir uzantısıdır ve hem girdi kaynaklarındaki hem de istenmeyen (kötü) bağlantılardaki fazlalıkları ile çıktı değişkenlerindeki ve istenen (iyi) bağlantı değişkenlerindeki eksiklikleri tek bir birleşik modelde ele alır.

Amaç fonksiyonunu payı, ortalama girdi etkinliğini, paydası ortalama çıktı etkinliğinin tersidir. Yönsüz genel etkinlik değeri, 0 ile 1 arasında değişir ve tüm boşluklar sıfır olduğunda 1'e ulaşır.

Değişkenlerin optimal çözüm değerleri $\left(\{\lambda_0^{t*}\},\{s_{0t}^{-*}\},\{s_{0t}^{+*}\},\{s_{0t}^{good*}\},\{s_{0t}^{bad*}\},\{s_{0t}^{free*}\}\right)$ ile KVB'nin dönemsel yönelimsiz etkinliği Eşitlik (116), (97) ve (107) ile hesaplanır.

$$\rho_{0t} = \frac{1 - \frac{1}{m + nbad}\left(\sum_{i=1}^{m} \frac{w_i^- s_{i0t}^{-*}}{x_{i0t}} + \sum_{i=1}^{nbad} \frac{s_{i0t}^{bad*}}{z_{i0t}^{bad}}\right)}{1 + \frac{1}{s + ngood}\left(\sum_{i=1}^{s} \frac{w_i^+ s_{i0t}^{+*}}{y_{i0t}} + \sum_{i=1}^{ngood} \frac{s_{i0t}^{good*}}{z_{i0t}^{good}}\right)} \quad (t = 1, \dots, T) \qquad (117)$$

3.4.3.1. Serbest Bağlantı Değişkenlerinin Etkinlik Modeline Dâhil Edilmesi

Eşitlik (107)'de gösterildiği gibi, boşluk serbest simgede bağımsızdır, bu durumda $s_{iot}^{free} > 0$ ise z_{iot}^{free} mevcut değeri fazladır ve $s_{iot}^{free*} < 0$ ise z_{iot}^{free} bu durumda yetersiz kalmaktadır. Eşitlik (108), (112) ve (116) amaç fonksiyonları, ilgili amaç fonksiyonlarında bulunan istenen (iyi) ve istenmeyen (kötü) bağlantılardaki boşlukları hesaba dâhil ederken, serbest bağlantılardaki boşluklar açık bir şekilde hesaba katılmamaktadır (Tone ve Tsutsui, 2010, s. 149).

Serbest bağlantılardaki boşlukların amaç fonksiyonunda hesaba dâhil edilmesi durumunda; (ex-post) düzeltilmiş puan ve 0-1 karma tam sayılı kesirli program (MIP) yaklaşımları kullanılmaktadır.

0-1 Karma Tam Sayılı Kesirli Program (MIP) Yaklaşımı

Serbest bağlantı değişkenlerinin boşluğu her iki durumda fazlalığa veya eksikliğe ait olduğundan negatif olmayan iki değişkenin farkı olarak değerlendirilebilmektedir.

$$s_{it}^{free} = s_{it}^{free-} - s_{it}^{free+}, s_{it}^{free-} \geq 0, s_{it}^{free-} \times s_{it}^{free+} = 0. \quad (118)$$

0-1 tam sayılı kesirli program (MIP) değişkenleri Eşitlik (119)'da ki gibi gösterilerek somutlaştırılabilmektedir:

$$s_{it}^{free-} \leq \mathrm{M}\delta_{it} \text{ ve } s_{it}^{free+} \leq \mathrm{M}(1-\delta_{it}), \quad (119)$$

δ_{it} $(i = 1, \dots, nfree; t = 1, \dots, T)$ 0-1 tam sayılı kesirli program değişkenini ifade etmektedir ve M burada büyük bir pozitif sayıya eşittir.

s_{it}^{free} için yönlendirme kullanılarak, amaç fonksiyonu (116), Eşitlik (120)'deki gibi değişmektedir:

$$\rho_o^{=*} = \min \frac{\frac{1}{T}\sum_{t=1}^{T} w^t \left[1 - \frac{1}{m + nbad + nfree}\left(\sum_{i=1}^{m} \frac{W_i^- S_{it}^-}{X_{iot}} + \sum_{i=1}^{nbad} \frac{S_{it}^{bad}}{Z_{iot}^{bad}} + \sum_{iot}^{nfree} \frac{S_{it}^{free-}}{Z_{iot}^{free}}\right)\right]}{\frac{1}{T}\sum_{t=1}^{T} w^t \left[1 + \frac{1}{s + ngood + nfree}\left(\sum_{i=1}^{s} \frac{W_i^+ S_{it}^+}{Y_{iot}} + \sum_{i=1}^{ngood} \frac{S_{it}^{good}}{Z_{iot}^{good}} + \sum_{i=1}^{nfree} \frac{S_{it}^{free+}}{Z_{iot}^{free}}\right)\right]}. \quad (120)$$

Eşitlik (97), (107) ve (119)'a bağlı kalarak Eşitlik (120) minimize edilmektedir. Bu durumu, yönlendirilmemiş SBM modeli ile aynı şekilde 0-1 karma tam sayılı doğrusal programa dönüştürülebilmektedir. Yeni dönem etkinliği Eşitlik (117) benzer şekilde $\rho_o^{=*}$'nun bileşenleri olarak yeniden açıklanabilmektedir. Birden fazla optimum durumun ortaya çıkmasından dolayı $s_{iot}^{-*}, s_{iot}^{+*}, s_{iot}^{good*}, s_{iot}^{bad*}, s_{iot}^{free*-}, s_{iot}^{free*+}$ ve δ_{it}^* yeni dönem verimliliği olan $\rho_{ot}^{=*}$ benzersiz olarak belirlenmektedir. Ek olarak düzeltilmiş puanın MIP çözümü için uygun bir sonuç olduğu belirtilmektedir. Bu sebeple, birincisinin genel etkinlik puanı, ikincisinden daha az olmamaktadır.

Bölüm 2 ve Bölüm 3'de temel olarak Veri zarflama analizi modellerinden bahsedilmiştir. Bölüm 4'de ise Dinamik veri zarflama yöntemi ile Avrupa birliği (AB) ülkelerinin tarımsal etkinliklerinin değerlendirilmesi yapılacaktır.

4. DVZA İLE AVRUPA BİRLİĞİ ÜLKELERİNİN TARIMSAL ETKİNLİKLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu bölümde, dinamik veri zarflama analizi ile Avrupa Birliği ülkelerinin tarımsal etkinlikleri değerlendirilecektir. Bölüm içeriği; tarımsal etkinlik, karar birimlerinin belirlenmesi, girdi/çıktı değişkenlerinin seçilmesi ve tanıtılması, notasyon ve veri seti, yönelimsiz DVZA modeli ve araştırma verilerinin analiz edilmesi kısımlarından oluşmaktadır.

4.1. Tarımsal Etkinlik

Tarım, dünya nüfusunun gıda arzının temel kaynağını oluşturmaktadır. İnsanların temel gıda ihtiyaçlarını karşılamak doğrultusunda tarım, doğa kaynaklarını kullanıp işleyerek elde ettikleri ekonomik faaliyetleri kapsamaktadır. Birçok ülkenin ekonomik kalkınmasında önemli bir itici güç olarak değerlendirilmektedir. Az gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde tarım, kırsal geçim kaynağının temelini sağlamaktadır (Bayav vd., 2022, s. 416; Le vd., 2019, s. 249).

Tarım sektörü, ekonomik etkinlikle sınırlı kalmayıp aynı zamanda kültürel, ekolojik, sosyal ve sağlık hizmetleri gibi alanlarda önem taşıyan toplumsal bir sürekliliği de ifade etmektedir. Tarım, tarımsal üretimin yanında diğer alanlara da katkı sağlamaktadır. En önemli temel ihtiyaçlarımızın karşılanmasına önemli derecede katkı sağlayan tarım, bütün ülkeler için önem arz eden uzun vadeli planların yer verildiği bir dilimi oluşturmaktadır (Kaya ve Aktan, 2011, s. 262).

Küreselleşme ve kentleşmenin giderek arttığı bir dünyada, çiftçilerinde artış gösteren miktarlarda gıda üretebilmeleri gerekmektedir. Nüfus artışıyla ve artan rekabetle birlikte, ülkelerin yoğun ve etkin bir üretiminin yanında tarımda verimlilikte büyümenin önemli olduğu düşünülmektedir. Sürdürülebilir ekonomi, tarımsal ilerlemelerin temel kaynağı olarak gösterilmektedir (Avrupa Çevre Ajansı (https://www.eea.europa.eu); Karaman ve Özalp, 2017, s. 210).

Tarımsal verimlilik, sürdürülebilir üretim ve karlılık, büyüme-gelişme ve kaynak kullanımlarının temel faktörü olarak ele alınmaktadır. Tarımda verimlilik ve sürdürülebilirliğin devamlı olarak sağlanması üretim girdilerinin etkin bir şekilde kullanılması ile olası hale gelmektedir. Az gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerin, tarımda üretim ve verimini arttırmaya yönelik girişimleri ile birlikte aşırı kaynak

kullanımı ortaya çıkmaktadır. Bu durum çevreye önemli derecede olumsuz etki yaratmakta ve doğal kaynakların yıkımına sebep olmaktadır (Bayav vd., 2022, s. 416).

Sürdürülebilirlik değerlendirmesi, genel anlamda birtakım kriterleri karşılayan süreçler bütünü olarak düşünülmektedir ve toplum ve doğa düzenini birleştiren, yerel ve küresel boyutları ele alan ve kısa ve uzun vadeli dönemleri kapsamakla birlikte bir girişimin sürdürülebilirliğinin olup olmadığını belirleyen süreçleri (Hacking ve Guthrie, 2008; Ness vd., 2007; Pope vd., 2004) değerlendirmektedir (Hou vd., 2018, s. 1006).

Tarımda sürdürülebilirlik, tarımsal ekosistemin uzun dönemde üretkenliğinin devam edebilmesi ile ilgilenmektedir. Sürdürülebilir tarımı birçok yazar, ekolojik (çevresel), ekonomik ve sosyal sürdürülebilirlik olarak birbirinden ayırmaktadır. Sürdürülebilir ekolojik ölçüt, ekonomik ve sosyal sürdürülebilirliğin ön koşulunu oluşturduğu için genel sürdürülebilirliğin temelini oluşturmaktadır. Ekolojik sürdürülebilirlik, küresel ekosistemin ve doğal sermayenin, girdi ve atık kaynağı olarak açıklanmaktadır. Doğal (toprak, güneş enerjisi, yağmur) ve insan yapımı (gübreler, ilaçlar, tohum) sermaye girdileri ile tarımsal ekosistemin üretim düzeyi birbirine önemli derecede bağlı kalmaktadır (Van der Wolf, vd., 2002, ss. 131-132).

Van der Wolf vd. (2002)'ne göre 1970'li yıllarda tarımla uğraşanların başlıca endişesi üretim artışı olmuştur. Yetmişli yıllardan itibaren üretimin giderek artması çevre kirliliğinin artmasına neden olmakla birlikte uzun dönemde tarımın, sürdürülebilir olup olmadığını anlamak güç olmaya başlamıştır. Bu durumun başlıca temel sebebi ise insan yapımı girdi kaynaklarının artmasıyla birlikte tarımsal ekosistemde verim artmış fakat doğal kaynaklar da tahribatlar (örneğin, arazi yıkıntıları) ortaya çıkmıştır ve temel üretim kapasitesinde azalmalara yol açmıştır (Van der Wolf vd., 2002, s. 132).

Tarımda yüksek teknolojilerin kullanılması, kimyasal ilaç ve gübrelerin yaygınlaşması ile birlikte üretime teşvik programlarının artması sonucunda tarımsal üretimde artışlar meydana gelmektedir. Bununla birlikte tarımsal faaliyetlerle ilgili olumsuz yönlerde ortaya çıkmaktadır. Tarımsal toprakta, antropojenik faaliyetlerin yaygınlaşmasıyla tarım arazilerinde ve çevrede kimyasal bozulmalar yaygınlaşmaktadır. Tarımsal üretimdeki bu negatif etkiler sadece tarım alanını değil; sağlık, sosyal ve ekonomi alanlarını da olumsuz etkilemektedir. Sürdürülebilir tarım veya sürdürülebilir tarımsal

uygulamalar kavramları adı altında günümüz de girdi kaynak kullanımları tarımsal faaliyetlerde yoğun olarak kullanılmaya devam etmektedir (Hou vd., 2018, s. 1005; Özkan ve Armağan, 2018, s. 110).

Tarım sektöründe, gıda üretiminin sürdürülebilirliği konusunda toplumda farkındalıklar giderek artmaktadır. Avrupa birliği komisyonu pestisit kullanımını azaltmaya yönelik bazı stratejiler geliştirmiştir. AB'nin belirli bölgelerinde tarım arazisindeki böcek popülasyonlarının azalması sonucunda tarımsal sistemlerde biyo-çeşitlilikteki düşüşlerin kimyasal gübre kullanımından kaynaklandığı yer almaktadır (Avrupa Komisyonu, 2020, ss. 2-3).

Avrupa Birliği komisyonuna üye devletler, pestisit kullanımından kaynaklanan riskleri ve etkileri azaltmak için uzun vadeli bir stratejinin parçası olarak ölçülebilir hedefler ve göstergeler oluşturarak iyileştirmeye gidilmesi gerektiği sonucuna değinmişlerdir. Tehlikeli aktif maddelere olan bağlılıkların azaltılmasına yönelik çiftçilere sunulan zararlı böceklerin azaltılmasına ilişkin, kimyasal olmayan gübre ve düşük riskli ilaçların genişletilmesinin gerekli olduğunu belirtmektedirler (Avrupa Komisyonu, 2020, ss. 10-15).

4.2. Karar Birimlerinin Belirlenmesi

Avrupa Birliği, yirmi yedi üye ülkeden oluşan ve topraklarının büyük kısmı Avrupa kıtasında olan, siyasi ve ekonomik bir örgüt topluluğudur. Avrupa Birliği, siyasi ve ekonomik birliğin sağlanmasını amaçlamaktadır. Birliğin temel amaçları içinde yer alan ekonomi politikasında ‘‘ortak tarım politikası’’ büyük bir öneme sahiptir ve AB üye ülkelerinin tamamında geçerli olan bir projedir. AB bütçesinin büyük bir bölümü tarım desteği için ayrılmıştır ve politika kapsamında; tarımsal üretimi arttırmak, tarımda uğraşan kesim için iyi bir yaşam standardı sunmak ve tüketiciler için uygun fiyatlar belirlemek gibi stratejiler yer almaktadır (https://www.avrupa.info.tr/tr/tarim-ve-kirsal-kalkinma-113).

Veri zarflama analizinde etkinlikleri ölçülecek olan karar verme birimleri (KVB) ile ilgili dikkat edilmesi gereken kurallar vardır. Boussofione vd. (1991) karar verme birim sayısı en az $(m + p + 1)$ girdi sayısı (m) ve çıktı sayısı (p)'den az olmaması gerektiğini ve KVB'nin toplam değişken sayısından iki kat fazla olması gerektiğini savunmaktadır.

Toplamda 27 Avrupa Birliği ülkesi ve birliğe katılmayı bekleyen aday ülkeler (35) bulunmaktadır. Verisi eksik olan ya da bulunmayan ülkeler çıkarılarak 26 ülke analize dâhil edilmiştir. Tablo (4.1) araştırmada ele alınan ülkeleri ve kodları göstermektedir.

Tablo 4.1: Çalışmaya dâhil edilen AB ülkeleri ve kodları

ÜLKE	**KOD**	**ÜLKE**	**KOD**
Almanya	KVB1	Hırvatistan	KVB14
İspanya	KVB2	Kıbrıs	KVB15
Fransa	KVB3	Letonya	KVB16
İtalya	KVB4	Litvanya	KVB17
Polonya	KVB5	Lüksemburg	KVB18
Romanya	KVB6	Macaristan	KVB19
Belçika	KVB7	Hollanda	KVB20
Bulgaristan	KVB8	Avusturya	KVB21
Çekya	KVB9	Portekiz	KVB22
Danimarka	KVB10	Slovenya	KVB23
Estonya	KVB11	Slovakya	KVB24
İrlanda	KVB12	Finlandiya	KVB25
Yunanistan	KVB13	İsveç	KVB26

4.3. Girdi ve Çıktı Değişkenlerinin Seçilmesi ve Tanımı

Uygulamada kullanılacak olan girdi ve çıktı değişkenlerinin belirlenmesinde literatürdeki çalışmalar öncülük etmiştir (Tablo 4.2). Girdi ve çıktı değişkenleri seçilirken birbirleri ile karşılıklı ilişki dereceleri ve değişkenlerin anlamlı olup olmadığı değerlendirilerek uygulamaya dâhil edilmiştir. Araştırmadaki değişkenlerin verileri https://databank.worldbank.org ve https://ec.europa.eu adreslerinden elde edilmiştir.

Tablo 4.2: Girdi ve çıktı değişkenlerinin literatür özeti

Yazar	Yöntem	Değişkenler	Veri Kaynağı
Chen, Yu, Chang ve HSU (2008)	Veri zarflama analizi, Malmquist indeksi	**Girdi:** İşçilik, arazi, tarımsal makine, çeki hayvanı **Çıktı:** Brüt katma değer (çiftçilik, ormancılık, hayvancılık ve balıkçılık)	Çin istatistik yıllığı, Çin tarım yıllığı, Çin'in kırsal istatistik yıllığı
Coelli ve Rao (2005)	Veri zarflama analizi, Malmquist toplam verimlilik indeksi	**Girdi:** Arazi, traktör sayısı, iş gücü, hayvancılık, sulama **Çıktı:** Mahsul üretimi, hayvancılık	FAO
Mao, W. ve Koo, W. W. (1996)	Veri zarflama analizi, Malmquist verimlilik indeksi	**Girdi:** Toprak, Emek, Makineler, Gübre, Çeki hayvanı **Çıktı:** Net değer (çitçilik, ormancılık, hayvancılık, balıkçılık)	Çin İstatistik Yıllığı, Çin Kırsal İstatistik Yıllığı
Tunca ve Deliktaş (2015)	Dinamik veri zarflama analizi (çıktı eksenli)	**Girdi:** Arazi, traktör, emek, gübre, hayvansal girdi **Çıktı:** Bitkisel üretim, hayvansal üretim	FAO
Avcı ve Kaya (2008)	Veri zarflama analizi, Malmquist toplam faktör verimliliği endeksi	**Girdi:** İş gücü (aktif nüfus sayısı), traktör sayısı, işlenen toprak miktarı (hektar), gübre (ton) **Çıktı:** Katma değer (ABD doları)	FAO-WDI

Serrao (2003)	Veri zarflama analizi, Stokastik sınır analizi (SFA), Malmquist toplam faktör verimliliği	**Girdi:** Arazi, traktör, emek **Çıktı:** Mahsul ve hayvancılık değeri	FAO
Lusigi ve Thirtle (1997)	Veri zarflama analizi, Deterministik sınırlar: Düzeltilmiş sıradan en küçük kareler, Stokastik sınır analizi	**Geleneksel girdi:** Hayvancılık, iş gücü **Modern girdi:** Gübre, makine, arazi kalitesi **Çıktı:** Gıda ve gıda dışı çıktı	USDA-FAO
Nin, Arndt, ve Preckel (2003)	Veri zarflama analiz, Malmquist indeksi	**Girdi:** Toprak, iş gücü, traktör, gübre, hayvan stoku **Çıktı:** Bitki üretimi, hayvancılık üretimi	FAO
Arnade (1998)	Veri zarflama analizi, Malmquist verimlilik indeksi	**Girdi:** Sulanmayan tarım arazisi, sulanan tarım arazisi, tarım işçiliği, traktör, gübre, hayvancılık **Çıktı:** Tarımsal çıktı (sabit uluslararası dolar – tarımsal üretimin toplam değeri)	USDA-FAO
Karaman ve Özalp (2017)	Veri zarflama analizi, Malmquist toplam faktör verimlilik endeksi	**Girdi:** Arazi, traktör (adet), iş gücü, gübre, hayvansal girdi, sulama (elektrik), yem **Çıktı:** Hayvansal çıktı, bitkisel çıktı	TÜİK-Yem Üreticiler Derneği

Galanopoulas, Lindberg, Surry ve Mattas (2006)	Veri zarflama analizi, Malmquist toplam faktör verimliliği	**Girdi:** Arazi, iş gücü, gübre, makine, hayvancılık sermayesi **Çıktı:** Tarımsal ürün değeri	FAO
Rao, Coelli ve Alauddin (2005)	Veri zarflama analizi, Malmquist verimlilk indeksi	**Girdi:** traktör, gübre, hayvancılık **Çıktı:** Mahsuller ve hayvancılık Arazi, iş gücü	FAO
Yu, B., Fulginiti, L. E. ve Perrin, R. K. (2002)	Veri zarflama analizi, Toplam faktör verimliliği	**Girdi:** Arazi, Tarım işçiliği, Tarım makinaları, Gübre **Çıktı:** Tarımsal üretim miktarı (uluslararası dolar)	FAO
Lissitsa, A., Rungsuriyawiboon, S. ve Parkhomenko, S. (2007)	Veri zarflama analizi, Malmquist toplam verimlilik indeksi	**Girdi:** Arazi, Traktör, Emek, Gübre, Hayvancılık **Çıktı:** Üretim teknolojisi, Mahsul ve hayvancılık	FAO
Nin-Pratt, A., Yu, B. ve Fan, S. (2010)	Veri zarflama analizi, Malmquist toplam faktör verimliliği	**Girdi:** Toprak, İş gücü, Traktör, Gübre, Yem, Hayvan stoku **Çıktı:** Bitki üretimi, Hayvancılık üretimi	FAO
Le, Lee, Peng ve Chunk (2019)	Veri zarflama analizi, Malmquist toplam faktör verimliliği, Slack-based tabanlı ölçüm modeli	**Girdi:** İş gücü, sermaye stoğu, tarım arazisi, gübre tüketimi **Çıktı:** Tarımsal üretimin toplam değeri, CO2 ve eşdeğerleri	FAOSTAT

İşgücü: Tarım Ekonomik Hesaplar (EAA), tarım sektöründeki gelir hakkında ayrıntılı bilgi sağlamaktadır. Amaç, tarım endüstrisinin üretim sürecini ve bu üretimden elde edilen birincil geliri analiz etmektir. EAA, çıktı değeri (hem üretici fiyatlarında hem de temel fiyatlarda ölçülür), ara tüketim, sübvansiyonlar ve vergiler, sabit sermaye tüketimi, rant ve faiz, sermaye oluşumu vb. hakkında ayrıntılı olarak verilere yer vermektedir. Değerler hem cari fiyatlarla hem de sabit fiyatlardan oluşmaktadır. Tarımda çalışılan toplam saat sayısı, bu işin çıktısının tarım endüstrisinin çıktısına dâhil edildiği takvim yılı boyunca bir çalışan veya serbest meslek sahibi olarak fiilen çalışılan toplam saat sayısını temsil etmektedir. Yıllık iş birimi (AWU), bir tarım biriminde tam zamanlı olarak bir yıl boyunca tarımsal faaliyetlerde bulunan bir kişinin çalışma süresiyle ölçülen girdisine karşılık gelmektedir. Toplam işgücü girdisi, çalışılan toplam saatin, ekonomik bölge içindeki tam zamanlı işlerde çalışılan yıllık ortalama saat sayısına bölünmesine tekabül etmektedir.

Tarım arazisi (hektar): Ekilebilir, kalıcı mahsuller ve kalıcı meralar altındaki arazi alanının payını ifade etmektedir. Ekilebilir arazi, Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) tarafından geçici ekilen arazi (çift kırpılmış alanlar bir kez sayılır), biçme veya mera için geçici çayırlar, pazar veya mutfak bahçeleri altındaki arazi ve geçici olarak nadasa bırakılan arazi olarak tanımlanan araziyi içermekle birlikte terk edilen araziler dâhil edilmemiştir. Bu değişken çiçekli çalılar, meyve ağaçları, fındık ağaçları ve asmaların altındaki araziyi içermektedir ancak odun veya kereste için yetiştirilen ağaçların altındaki araziyi kapsamamaktadır. Kalıcı mera, doğal ve ekili ürünler de dâhil olmak üzere beş yıl veya daha fazla yem için kullanılan araziyi ifade etmektedir. Tarım arazisinin üç bileşeni bulunmaktadır. Bunlar: a) ekilebilir arazi b) daimi mera - doğal ve ekili ürünler dâhil olmak üzere beş yıl veya daha fazla yem için kullanılan arazi ve c) kalıcı mahsullerden oluşmaktadır. Tarım arazisi göstergesi ile arazi kullanım göstergeleri, ülkelerin tarımsal uygulamalarının çevresel sürdürülebilirliğini de açıklayabilmektedir.

Gübre tüketimi (ekilebilir arazi hektar): Ekilebilir arazi birimi başına kullanılan bitki besin maddelerinin miktarını ölçmektedir. Gübre ürünleri azotlu, potasyumlu ve fosfatlı gübreleri (yer kaya fosfatı dâhil) kapsamaktadır ancak geleneksel besinler - hayvan ve bitki gübreleri - dâhil değildir. Bazı gübreler ayrıca çinko ve bitki büyümesi için gerekli olan diğer metaller gibi belirli "mikro besinler" içermektedir. Araziye

öncelikle toprak özelliklerini geliştirmek için (bitki gıdası) uygulanan malzemelere genellikle toprak ıslahı adı verilmektedir. Gübreler ve toprak iyileştirmeleri büyük ölçüde hammadde, kompost ve diğer organik maddelerden ve kanalizasyon çamuru ve belirli endüstriyel atıklar gibi atıklardan elde edilmektedir.

Tarımsal çıktı: Çıktı mahsulü (mahsul üretiminin brüt değeri) ve tarımsal toplam faktör verimlilik endeksinin toplamlarından oluşmaktadır. Çıktı mahsulü; Brüt Üretim (Tarım, Ormancılık ve Balıkçılık)-- Brüt Üretim (Tarım), FAOSTAT, Makro Göstergeler veri tabanı, toplam ekonomiye ilişkin ülke düzeyinde bir dizi makroekonomik gösterge sağlamaktadır. Tarım; tarım, ormancılık ve balıkçılık; imalat; gıda ürünleri ve içeceklerin imalatı; tütün üretimi ürünleri; ve yiyecek, içecek ve tütün ürünleri imalatını kapsamaktadır. Tarımsal Toplam Faktör Verimliliği Endeksi (TFV), 2015=100. Tahmini = Toplam çıktı endeksinin toplam girdi endeksine oranından oluşmaktadır.

CO2 emisyonu: Tarımsal azot oksit ve tarımsal metan emisyonlarının verilerinin toplamları CO2 emisyonu verilerini oluşturmaktadır. Tarımsal azot oksit emisyonları (bin metrik ton CO2 eşdeğeri), gübre kullanımı (sentetik ve hayvan gübresi), hayvan atık yönetimi, tarımsal atık yakma (enerji dışı, yerinde) ve savan yakma yoluyla üretilen emisyonlardır. CO2 emisyonları, enerji kullanımı için yanan petrol, kömür ve gazdan, odun ve atık maddelerin yakılmasından ve çimento üretimi gibi endüstriyel işlemlerden kaynaklanmaktadır. Bir ülkenin karbondioksit emisyonları sadece bir sera gazının göstergesidir. Ülkelerin iklim değişikliğini nasıl etkilediğine dair daha eksiksiz bir fikir için metan ve azot oksit gibi gazlar dikkate alınmalıdır. Tarım ekonomilerinde özellikle metan ve azot oksit gazları önemli bir yere sahiptirler. Karbondioksit (CO2), küresel ısınmaya ve iklim değişikliğine katkıda bulunan sera gazlarının en büyük payını oluşturmaktadır. Tarımsal metan emisyonları (bin metrik ton CO2 eşdeğeri), hayvanlar, hayvan atıkları, pirinç üretimi, tarımsal atıkların yakılması (enerji dışı, yerinde) ve savanların yakılmasından kaynaklanan emisyonlardır. Metan emisyonları büyük ölçüde tarımsal faaliyetlerden, endüstriyel üretim depolama alanlarından ve atık su arıtımından ve tropik orman ve diğer bitki örtüsü yangınları gibi diğer kaynaklardan kaynaklanmaktadır.

Kamusal Tarım Harcamaları: FAO'nun istatistik bölümü ve Uluslararası para fonu (IMF) ile ortaklaşa geliştirilen bir uygulamadır. Anket yolu ile tarımda kamu

harcamaları hakkında yıllık veriler toplanmaktadır. Devlet İşlerinin Sınıflandırılması (COFOG), OECD tarafından geliştirilen ve Birleşmiş Milletler İstatistik Bölümü (UNSD) tarafından yayınlanarak devletlerin işlevlerinin amaçlarına göre sınıflandırılmıştır. Kamu harcamaları, COFOG'a göre sınıflandırılmaktadır. Bazı sınıflandırmalar; tarım (mahsuller ve hayvancılık), ekilebilir arazinin korunması, tarım endüstrisinin denetimi, çiftlik gelirlerini iyileştirme-planların uygulanabilmesi ve destekler, çiftçilere verilen hibeler, atık yönetimi, kirlilik azaltma ve biyoçeşitliliğin korunması şeklindedir.

Uygulamada kullanılan girdi-çıktı değişkenleri kodları ve kaynakları ile birlikte Tablo 4.3'de sunulmuştur.

Tablo 4.3: Uygulamada kullanılan girdi-çıktı kümesi

Girdi/Çıktı/Bağlantı	**Değişken**	**Kaynağı**
Girdi	İşgücü (X_1)	EUROSTAT
	Tarım Arazisi (X_2)	WORLD DATA
İstenmeyen Girdi	Kimyasal Gübre (X^{bad})	WORLD DATA
Çıktı	Tarımsal Çıktı (Y_1)	USDA
İstenmeyen Çıktı	CO2 (Y^{bad})	WORLD DATA
Bağlantı	Hükümet Tarım Harcamaları (Z^{good})	FAOSTAT

4.4. Notasyon ve Veri Seti

İndisler

n : KVB sayısı $(j = 1, \dots, n)$

T : Dönem sayısı $(t = 1, \dots, T)$

m : Girdi sayısı $(i = 1, \dots, m)$

p : İstenmeyen girdi sayısı $(i = 1, \dots, p)$

s : İstenen çıktı sayısı $(i = 1, \dots, s)$

r : İstenmeyen çıktı sayısı $(i = 1, \dots, r)$

$(ngood)$: İyi bağlantı değişkeni sayısı $(i = 1, \dots, nfree)$

Parametreler

X_{ijt} : t döneminde j. KVB'nin i. girdisinin gözlenen değeri

X_{ijt}^{bad} : t döneminde j. KVB'nin i. istenmeyen girdisinin gözlenen değeri

Y_{ijt} : t döneminde j. KVB'nin i. (istenen) çıktısının gözlenen değeri

Y_{ijt}^{bad} : t döneminde j. KVB'nin i. (istenmeyen) çıktısının gözlenen değeri

Z_{ijt}^{good} : t döneminde j. KVB'nin i. iyi bağlantı değişkeninin gözlenen değeri

Verilen parametrelere ilişkin girdi-çıktı ve serbest bağlantının verileri Tablo 4.4, Tablo 4.5 ve Tablo 4.6'da verilmiştir.

Tablo 4.4: İstenen ve istenmeyen girdiye ait veri seti

KVB	X1			X2			Xbad		
	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3
KVB1	480,00	477,60	474,00	16657000	16687000	16645000	197,25	178,12	166,48
KVB2	829,51	871,97	865,29	26265700	26295530	26183324	143,97	155,50	157,70
KVB3	752,91	745,66	741,08	28718021	28697499	28660100	163,14	170,45	172,68
KVB4	1184,50	1159,00	1177,00	12812000	12826570	12405000	131,50	130,33	130,59
KVB5	1937,10	1675,80	1675,80	14374000	14462000	14512000	189,69	179,26	177,60
KVB6	1579,00	1502,00	1474,00	13521000	13378000	13414000	59,91	60,18	59,19
ORT.	***1127,17***	***1072,01***	***1067,86***	***18724620***	***18724433***	***18636571***	***147,57***	***145,64***	***144,04***
STD. S.	***501,82***	***419,70***	***417,72***	***6350533***	***6357045***	***6383713***	***45,53***	***41,71***	***40,86***
MIN	***480,00***	***477,60***	***474,00***	***12812000***	***12826570***	***12405000***	***59,91***	***60,18***	***59,19***
MAKS	***1937,10***	***1675,80***	***1675,80***	***28718021***	***28697499***	***28660100***	***197,25***	***179,26***	***177,60***
KVB7	55,35	55,28	55,66	1350800	1327000	1354000	294,82	298,34	293,43
KVB8	253,90	236,40	220,20	5021000	5029520	5030000	123,82	126,47	126,87
KVB9	104,48	104,60	104,34	3488000	3521000	3523000	196,38	182,42	174,36
KVB10	54,98	54,79	52,48	2625630	2631289	2632000	137,44	132,85	108,11
KVB11	20,30	20,33	20,09	1003000	1002000	1004000	79,29	87,29	87,75
KVB12	160,70	160,70	160,70	4461000	4489000	4516000	1207,33	1349,01	1544,89
KVB13	451,60	439,70	428,20	6136000	6102000	6103600	125,66	130,38	133,26
KVB14	174,00	174,00	174,78	1546000	1497000	1484000	119,04	213,55	221,00
KVB15	22,20	21,76	21,09	109390	121420	130947	204,04	173,54	157,71
KVB16	76,25	74,71	70,51	1931000	1933000	1938000	104,19	103,48	101,15
KVB17	148,80	146,70	143,37	2953900	2935300	2947000	131,85	141,11	133,52
KVB18	3,45	3,43	3,42	130651	131158	131559	262,11	252,22	234,68
KVB19	434,28	421,42	391,60	5282000	5303000	5296000	122,11	138,21	150,68
KVB20	149,17	152,59	156,41	1815000	1819000	1822000	291,69	290,56	265,95
KVB21	119,57	118,63	117,15	2670170	2654620	265830	139,72	134,88	135,06
KVB22	251,03	239,98	238,53	3619030	3587801	3573990	194,97	207,53	198,51
KVB23	79,97	78,75	78,02	617480	615040	612000	258,41	256,95	261,76
KVB24	48,70	43,50	42,47	1886000	1879000	1889000	125,76	121,69	129,30
KVB25	67,00	63,40	63,40	2275000	2270000	2272000	86,16	89,54	91,62
KVB26	58,33	58,10	57,87	3031500	3021000	3009000	96,30	104,60	100,35
ORT.	***136,70***	***133,44***	***130,01***	***2597628***	***2593457***	***2476696***	***215,05***	***226,73***	***232,50***
STD. S.	***122,77***	***118,79***	***113,35***	***1647682***	***1649406***	***1724769***	***237,07***	***265,21***	***307,16***
MIN	***3,45***	***3,43***	***3,42***	***109390***	***121420***	***130947***	***79,29***	***87,29***	***87,75***
MAKS	***451,60***	***439,70***	***428,20***	***6136000***	***6102000***	***6103600***	***1207,33***	***1349,01***	***1544,89***

Tablo 4.5: İstenen ve istenmeyen çıktıya ait veri seti

KVB	Y			Ybad		
	T1	T2	T3	T1	T2	T3
KVB1	21364260,00	30765618,00	27654593,00	62300,00	60960,00	58300,00
KVB2	43836747,00	40762168,00	49184639,00	40250,00	40840,00	41360,00
KVB3	39853426,00	44504143,00	41594730,00	74780,00	74990,00	73830,00
KVB4	27399338,00	34674276,00	34389665,00	32440,00	32360,00	31970,00
KVB5	27411366,00	27592563,00	26032236,00	31600,00	31950,00	32160,00
KVB6	20502947,00	24433583,00	24994232,00	15480,00	15580,00	15590,00
ORT.	***30061347,33***	***33788725,17***	***33975015,83***	***42808,33***	***42780,00***	***42201,67***
STD. S.	***8820029,10***	***7062619,58***	***8881202,90***	***19952,55***	***19737,72***	***19034,70***
MIN	***20502947,00***	***24433583,00***	***24994232,00***	***15480,00***	***15580,00***	***15590,00***
MAKS	***43836747,00***	***44504143,00***	***49184639,00***	***74780,00***	***74990,00***	***73830,00***
KVB7	12745010,00	4437887,00	12215568,00	9590,00	9320,00	9400,00
KVB8	14142664,00	14528431,00	4326076,00	5280,00	5310,00	5260,00
KVB9	13780971,00	12908541,00	12564494,00	7130,00	6800,00	6700,00
KVB10	12732433,00	13725415,00	11952073,00	10520,00	10460,00	10210,00
KVB11	439158,00	10523502,00	8668117,00	1810,00	1850,00	1840,00
KVB12	10893961,00	11214220,00	10701737,00	24370,00	25000,00	25350,00
KVB13	18546747,00	18833827,00	14108815,00	7650,00	7730,00	7890,00
KVB14	3054948,00	12046750,00	10385216,00	2580,00	2710,00	2780,00
KVB15	10496459,00	10968569,00	10541590,00	400,00	410,00	420,00
KVB16	10317498,00	10559994,00	7874985,00	2840,00	2810,00	2720,00
KVB17	11169591,00	11852864,00	9052552,00	5160,00	5110,00	4920,00
KVB18	10031812,00	10014551,00	10251022,00	660,00	660,00	650,00
KVB19	17508556,00	16461605,00	15528421,00	7410,00	7430,00	7790,00
KVB20	15409274,00	15784399,00	14671286,00	20330,00	19410,00	18570,00
KVB21	12339232,00	12698697,00	13155027,00	7490,00	7430,00	7410,00
KVB22	12688772,00	14536507,00	12970710,00	7080,00	7330,00	7020,00
KVB23	10985322,00	10483618,00	1399726,00	1640,00	1630,00	1620,00
KVB24	12977433,00	12040615,00	12260560,00	2630,00	2490,00	2550,00
KVB25	11206747,00	11186717,00	10434785,00	6000,00	5940,00	5930,00
KVB26	11714206,00	12101814,00	11252698,00	7360,00	7500,00	7240,00
ORT.	***11659039,70***	***12345426,15***	***10715772,90***	***6896,50***	***6866,50***	***6813,50***
STD. S.	***3994915,63***	***2878533,76***	***3273425,83***	***5924,43***	***5912,45***	***5879,22***
MIN	***439158,00***	***4437887,00***	***1399726,00***	***400,00***	***410,00***	***420,00***
MAKS	***18546747,00***	***18833827,00***	***15528421,00***	***24370,00***	***25000,00***	***25350,00***

Tablo 4.6: Bağlantı değişkenine ait veri seti

KVB	Z		
	T1	T2	T3
KVB1	434334,89	468629,03	497375,53
KVB2	418497,01	430314,76	471603,55
KVB3	577697,68	607570,78	631733,90
KVB4	577691,05	597474,82	623229,85
KVB5	110195,00	132002,12	132518,70
KVB6	47294,22	50199,41	57391,58
ORT.	***360951,64***	***381031,82***	***402308,85***
STD. S.	***209726,51***	***215922,60***	***226213,77***
MIN	***47294,22***	***50199,41***	***57391,58***
MAKS	***577697,68***	***607570,78***	***631733,90***
KVB7	130585,28	134361,30	144346,20
KVB8	12878,28	13771,19	16619,52
KVB9	51379,84	56160,18	71491,02
KVB10	122015,50	123654,27	132443,59
KVB11	8196,03	9029,09	10449,32
KVB12	80596,43	74224,01	82491,02
KVB13	73817,93	73657,47	78457,89
KVB14	15662,80	16019,56	17853,48
KVB15	5989,15	6433,08	8992,73
KVB16	5913,27	6649,20	7813,58
KVB17	9839,82	10437,05	16256,67
KVB18	17996,14	19432,44	21569,59
KVB19	42263,67	48637,94	53684,83
KVB20	206840,41	211422,09	233087,35
KVB21	130619	134748,47	143636,41
KVB22	69441,78	75644,58	76778,32
KVB23	12714,91	12841,48	13873,52
KVB24	24228,04	24233,92	27122,98
KVB25	51507,95	51217,49	54836,44
KVB26	152635,40	158764,90	164034,40
ORT.	***57605,40***	***63066,99***	***68791,94***
STD. S.	***56445,73***	***58527,30***	***62433,17***
MIN	***5913,27***	***6433,08***	***7813,58***
MAKS	***206840,41***	***211422,09***	***233087,35***

Karar Değişkenleri

S_{it}^{-} : t döneminde i. girdinin boşluğu

S_{it}^{+} : t döneminde i. çıktının boşluğu

S_{it}^{badx} : t döneminde i. istenmeyen girdinin boşluğu

S_{it}^{bady} : t döneminde i. istenmeyen çıktının boşluğu

S_{it}^{good} : t döneminde i. iyi bağlantı değişkeninin boşluğu

λ_j^t : j. KVB'nin t dönemindeki yoğunluk değeri

4.5. Yönelimsiz DVZA Modeli

26 AB ülkesinin tarımsal etkinliklerini değerlendirmede kullanılacak olan dinamik veri zarflama modeli aşağıda verilmiştir. Yönelimsiz modelin amaç fonksiyonunun payı dönemlerin ortalama girdi etkinliğini, paydası ise dönemlerin ortalama çıktı etkinliğini göstermektedir.

$$min \frac{\frac{1}{T}\sum_{t=1}^{T}\left[1-\frac{1}{m+r+n_{good}}\left(\sum_{i=1}^{m}\frac{s_{it}^{-}}{X_{iot}}+\sum_{i=1}^{r}\frac{s_{it}^{bady}}{Y_{iot}^{bad}}+\sum_{i=1}^{ngood}\frac{s_{it}^{good}}{Z_{iot}^{good}}\right)\right]}{\frac{1}{T}\sum_{t=1}^{T}\left[1+\frac{1}{s+p}\left(\sum_{i=1}^{s}\frac{s_{it}^{+}}{Y_{iot}}+\sum_{i=1}^{p}\frac{s_{it}^{badx}}{X_{iot}^{bad}}\right)\right]} \quad (121)$$

Kısıtlar;

$$\sum_{j=1}^{ngood} Z_{ijt}^{good}.\lambda_j^t = \sum_{j=1}^{ngood} Z_{ijt}^{good}.\lambda_j^{t+1} \quad \begin{pmatrix} i=1,2,\dots,ngood \\ t=1,2,\dots,T-1 \end{pmatrix} \quad (122)$$

$$X_{iot} = \sum_{j=1}^{n} X_{ijt}\ .\lambda_j^t + s_{it}^{-} \quad \begin{pmatrix} i=1,2,\dots,m \\ t=1,2,\dots,T \end{pmatrix} \quad (123)$$

$$Y_{iot} = \sum_{j=1}^{n} Y_{ijt}\ .\lambda_j^t - s_{it}^{+} \quad \begin{pmatrix} i=1,2,\dots,s \\ t=1,2,\dots,T \end{pmatrix} \quad (124)$$

$$Y_{iot}^{bad} = \sum_{j=1}^{n} Y_{ijt}^{bad}\ .\lambda_j^t + s_{it}^{bady} \quad \begin{pmatrix} i=1,2,\dots,r \\ t=1,2,\dots,T \end{pmatrix} \quad (125)$$

$$Z_{iot}^{good} = \sum_{j=1}^{n} Z_{ijt}^{good} \cdot \lambda_j^t + s_{it}^{good} \qquad (i = 1,2,\dots,T) \tag{126}$$

$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j^t = 1 \qquad (t = 1,2,\dots,T) \tag{127}$$

$$s_{it}^{-}, s_{it}^{+}, s_{it}^{badx}, s_{it}^{bady}, s_{it}^{good} \geq 0 \quad \forall i,t \tag{128}$$

$$\lambda_j^t \geq 0 \quad \forall i,t \tag{129}$$

4.6. Araştırma Verilerinin Analiz Edilmesi

Veri seti farklı birimlerden oluştuğu için normalizasyon işlemine tabi tutulmuştur. Normalize süreci, veri dengesizliklerinin önlenmesine yardımcı olmaktadır. Çalışmada ortalama normalizasyonu uygulandığı için öncelikle her bir girdinin, çıktının ve bağlantı değişkeninin veri setinin ortalaması hesaplanmıştır. Daha sonra her bir KVB'nin ilgili girdi-çıktı ve bağlantı değerleri kendi ortalama değerlerine bölünerek normalize işlemi yapılmıştır. Normalizasyon tabloları Ek'te verilmiştir.

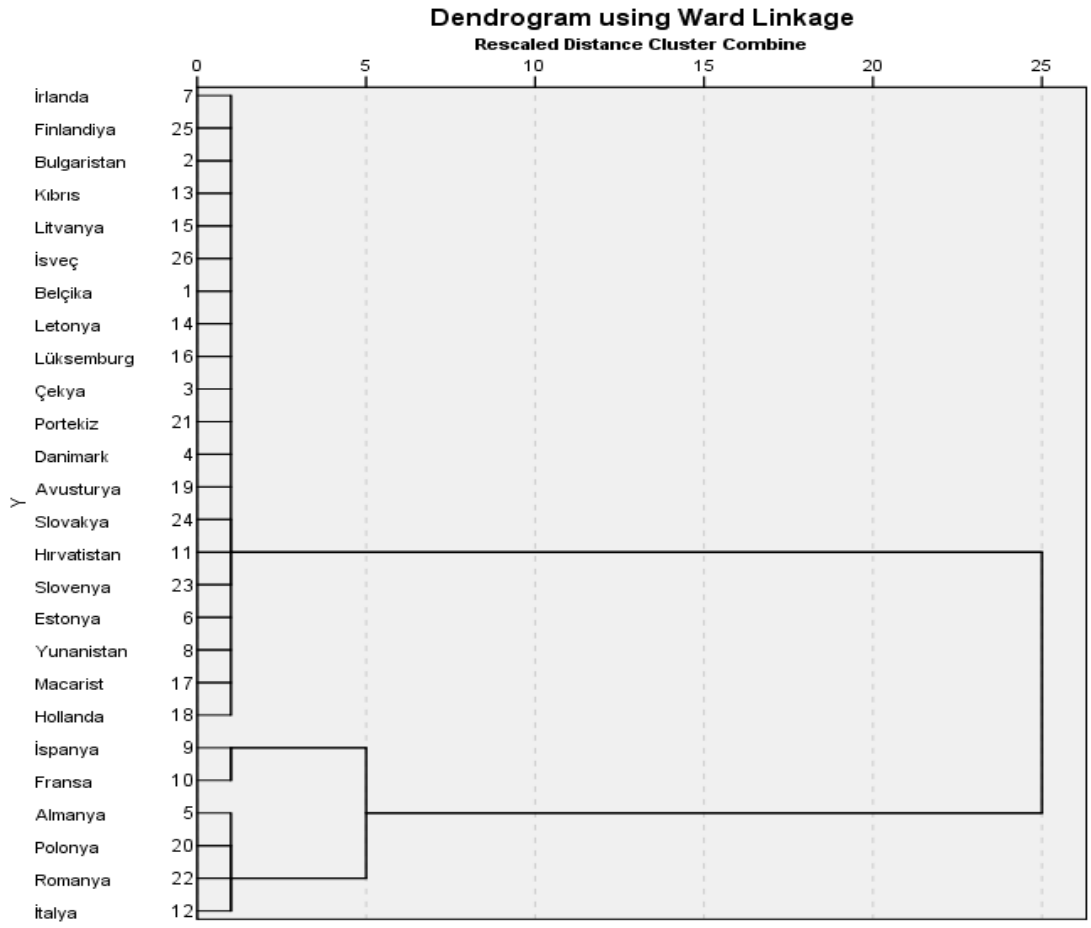
Veri zarflama analizinin sağlıklı bir şekilde yapılabilmesi için girdi ve çıktı değişkenlerinin kendi aralarında yüksek düzeyde korelasyonlu olmaması gerekmektedir (Filiz ve Kolukısaoğlu, 2012, s. 62). Değişkenler arasındaki ilişki düzeylerini kontrol etmek amacıyla yapılan korelasyon analizi sonuçlarına göre (Tablo 4.7) veri setinde elenmesi ya da değiştirilmesi gereken bir değişken bulunmadığı, mevcut değişkenler ile analize devam edilebileceği görülmüştür.

Tablo 4.7: Korelasyon analizi sonucu

	X_{11}	X_{21}	X^{bad}	Y_{11}	Y^{bad}	Z^{good}
X_{11}	1					
X_{21}	0,701**	1				
X^{bad}	-0,127	-0,078	1			
Y_{11}	0,698**	0,939**	-0,120	1		
Y^{bad}	0,532**	0,893**	0,117	0,830**	1	
Z^{good}	0,029	-0,001	-0,043	0,021	-0,030	1
**Korelasyon 0.01 önem düzeyinde anlamlıdır.						

VZA'da karar verme birimleri belirli özellikleri açısından kendi içlerinde homojen gruplar olması gerekliliğinden dolayı KVB olarak seçilmiş olan 26 ülke kümeleme analizine tabi tutulmuştur. Analiz öklidyen uzaklıkların kareleri baz alınarak Ward Yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar Şekil 4.1'deki dendogram (ağaç diagramı) ile sunulmuştur.

Şekil 4.1: Kümeleme analizi ağaç diyagramı



Analiz sonucunda İspanya, Fransa, Almanya, Polonya, Romanya ve İtalya bir küme, kalan diğer ülkeler ikinci küme olacak şekilde gruplandırılmıştır. DVZA iki ayrı küme için ayrı yarı yapılmış, elde edilen sonuçlar Tablo 5.2'de ve Tablo 5.3'de sunulmuştur.

Tablo 5.2 ve 5.3'de ülkelerin tarımsal etkinliğini ölçmek için analizde radyal olmayan SBM model ve boşluk tabanlı dinamik veri zarflama analizi kullanılmıştır. İki model de karar birimi 1'e eşit ise etkin, 1'den farklı bir değere sahip ise etkinsiz kabul edilmektedir. Veri setinde yer alan istenmeyen girdi ve çıktı değişkenleri modelde istenmeyen girdi, çıktı olarak ve istenmeyen çıktı, girdi olarak analize dâhil edilmiştir.

Tablo 4.8: Boşluk tabanlı DVZA etkinliği (1. Küme)

Ülkeler	Ülke Kodları	Boşluk Tabanlı Model Etkinlikleri			Boşluk Tabanlı DVZA Etkinliği
		2016	2017	2018	
Almanya	KVB1	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
İspanya	KVB2	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
Fransa	KVB3	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
İtalya	KVB4	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
Polonya	KVB5	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
Romanya	KVB6	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000

Tablo 4.9: Boşluk tabanlı DVZA etkinliği (2. Küme)

Ülkeler	Ülke Kodları	Boşluk Tabanlı Model Etkinlikleri			Boşluk Tabanlı DVZA Etkinliği
		2016	2017	2018	
Belçika	KVB7	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
Bulgaristan	KVB8	1,4067E-07	1,2226E-07	2,7431E-07	0,8008
Çekya	KVB9	0,5402	0,6906	0,5577	0,9174
Danimarka	KVB10	0,8396	1,0000	0,8390	0,8982
Estonya	KVB11	1,3292E-06	1,7798E-07	1,8307E-07	0,5627
İrlanda	KVB12	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
Yunanistan	KVB13	1,0000	1,0000	0,6531	0,9382
Hırvatistan	KVB14	0,0300	0,5177	0,0452	0,5194
Kıbrıs	KVB15	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
Letonya	KVB16	1,4546E-07	1,9185E-07	2,3438E-07	1,0000
Litvanya	KVB17	1,3453E-07	1,3145E-07	1,0049E-07	0,4277
Lüksemburg	KVB18	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
Macaristan	KVB19	0,7924	0,8483	1,0000	1,0000
Hollanda	KVB20	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
Polonya	KVB21	0,9053	1,0000	1,0000	0,9684
Romanya	KVB22	0,5652	0,9163	0,6130	0,7071
Slovenya	KVB23	1,0000	0,4533	0,3546	1,0000
Slovakya	KVB24	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
Finlandiya	KVB25	0,5338	0,7123	0,7536	0,2488
İsveç	KVB26	1,0000	1,0000	1,0000	0,0290

Boşluk tabanlı modelin analiz sonucuna göre, 2016 yılında karar verme birimi olarak seçilen 26 ülkeden 10 ülkenin etkinlik skoru 1'den farklı değere sahiptir ve etkin olmayan karar birimlerini ifade etmektedir. Analiz sonucunda geriye kalan 16 ülkenin

etkinlik değerlerinin 1'e eşit olduğu görülmektedir. Etkin olmayan karar birimlerinden bazılarının değerleri KVB9 (0,5502), KVB21 (0,9053) ve KVB11 (1,3292) şeklindedir.

2017 yılına ait analiz sonucunda 16 karar biriminin etkinlik skorunun 1'e eşit olduğu gözlemlenmiştir. 2016 yılında etkin olan karar biriminin 2017 yılında etkinsiz olduğu görülmektedir. Etkin olmayan karar birimi ise KVB23 (0,4533) olduğu Tablo 4.9'da görülmektedir. KVB10 (0,8396) ve KVB21 (0,9053) birimleri 2016 yılında etkinlik değerine sahip değilken 2017 yılında etkinlik değerlerinin 1 olduğu analiz sonucunda ortaya çıkmıştır.

2018 yılı sonuçlarına göre, 11 karar biriminin analiz sonucu etkin olmayan değere sahiptir. 2016 ve 2017 yıllarında etkinlik değeri 1 olup 2018 yılında etkinlik değeri 1'den farklı olan karar birimi, KVB13 (0,613)'dür. 2016 yılında etkinlik skoruna sahip olan ve 2018 yılında etkinlik değerini kaybeden karar birimleri; KVB13 (0,6531) ve KVB23 (0,3546)'dür. Aynı durum 2017 yılında ise KVB13 (0,6531) ve KVB10 (0,8390) için geçerlidir. KVB19, 2018 yılında etkinlik skoru 1'eşittir ve 2017-2018 yıllarında etkinlik değerine sahip değildir.

Karar verme birimlerinin etkinliğini belirlemek için uygulanan bir diğer yöntem ise boşluk tabanlı dinamik veri zarflama analizi olmuştur. Boşluk tabanlı etkinlik ölçümünde analize dâhil edilen 26 ülkeden oluşan karar birimi bu yöntemde de kullanılmıştır.

Boşluk tabanlı DVZA modelinin sonuçları incelendiğinde, 11 karar birimi etkin olmayan skorlara sahiptir. 15 karar biriminin etkinlik değerleri 1'e eşit ve etkindir. Etkinlik skoruna sahip olmayan karar birimlerinden bazıları ise; KVB8 (0,5634), KVB25 (0,1636), KVB26 (0,2166) ve KVB14 (0,3312)'dür.

AB ülkelerinin tarımsal etkinlik analizine göre, SBM modeli ve Boşluk Tabanlı DVZA sonuçlarının farklılık gösterdiği görülmektedir. Sonuçlara göre, SBM modelinde etkin olmayan ve Boşluk Tabanlı DVZA'da etkin olan karar birimi bulunmaktadır. KVB16, üç dönem boyunca SBM modelinde etkinlik değerine sahip değilken Boşluk Tabanlı DVZA'da etkinlik skoru 1'e eşittir. Aynı zamanda üç dönem boyunca SBM modelinde

etkin durumda olup, dinamik SBM'de etkin olmayan karar birimi (KVB26 (0,2166)) bulunmaktadır.

Her iki analiz içinde etkinlik skorları 1'e eşit olan karar birimleri bulunmaktadır. Bu karar birimlerinden bazıları; KVB1 (Almanya), KVB4 (İtalya), KVB7 (Belçika), KVB12(İrlanda), KVB18 (Lüksemburg) ve KVB22 (Romanya) örnek olarak verilebilir.

Boşluk tabanlı DVZA yönteminde, modele ara girdi dâhil edilmektedir. Ara girdilerin modele dâhil edilmesi KVB'lerin zamansal bağlantılarını göstermektedir. Uygulamada kullanılan Z^{good} ara ürünü istenilen taşımayı (faaliyeti) sağlamaktadır. İstenen bağlantı değeri gözlemlenen değerden daha az olmayacak şekilde sınırlandırılmaktadır.

5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Dinamik veri zarflama analizi, ekonomik karar birimlerinin tarım sektörleri gibi zamana bağlı olan etkinlik düzeylerinin ölçülmesinde dönemler arası bağlantı değişkenini göz önüne almaktadır. Tarım sektörü, ülkelerin ekonomik kalkınması açısından önemli bir yere sahiptir. Uzun vadeli bir etkinlik planlaması için veri zarflama analizi tek başına yeterli olmamaktadır. Uzun dönemli etkinlik değerlendirilmesi için dinamik VZA, tüm dönem boyunca uzun süreli optimizasyona dayalı olarak döneme özgü etkinlik ölçümünü sağlamaktadır.

Bu çalışmada, dinamik VZA ile AB ülkelerinin 2016-2017 ve 2018 yıllarına ait değişken verileri elde edilerek tarımsal etkinlik ölçümleri yapılmıştır. Belirlenen değişken seti sırasıyla; girdi (iş gücü, arazi), istenmeyen girdi (kimyasal gübre), çıktı (tarımsal çıktı), istenmeyen çıktı (C02) ve bağlantı değişkeni (kamu tarım harcamaları) şeklinde oluşturulmuştur.

SBM ve boşluk tabanlı DVZA ile AB ülkelerinin tarımsal etkinliklerini değerlendiren bu çalışma, ülkelerin göreceli etkinliklerini ölçmek ve etkinliğin zaman içinde değişimlerini değerlendirmektedir. Çalışma için oluşturulan karar birimlerinin kendi içlerinde homojenliğinin sağlanması için 26 karar birimi kümeleme analizine tabi tutulmuştur. Kümeleme analizi içinde küme 1'de; Almanya (KVB1), İspanya (KVB2), Fransa (KVB3), İtalya (KVB4), Polonya (KVB5) ve Romanya (KVB6) ülkeleri yer almaktadır. Küme 2'de ise; Belçika (KVB7), Bulgaristan (KVB8), Çekya (KVB9), Danimarka (KVB10), Estonya (KVB11), İrlanda (KVB12), Yunanistan (KVB13), Hırvatistan (KVB14), Kıbrıs (KVB15), Letonya (KVB16), Litvanya (KVB17), Lüksemburg (KVB18), Macaristan (KVB19), Hollanda (KVB20), Polonya (KVB21), Romanya (KVB22), Slovenya (KVB23), Slovakya (KVB24), Finlandiya (KVB25) ve İsveç (KVB26) ülkeleri bulunmaktadır.

Çalışma da uygulanan analizler ile AB ülkelerinin 2016-2017 ve 2018 dönemlerine ait verileri üzerinden yapılan değerlendirmeler sonucunda tüm yıllar itibariyle iki küme için karar birimlerinde etkinliğe ulaşan 1,0000 düzeyi ile 12 ülke yer almaktadır. Dönemler bazında ele alındığı zaman genel olarak dönemler arasında azalış ve artışlar gözlemlenmektedir.

Azalış ve artışlara bakıldığı zaman analiz sonucunda bazı ülkeler (Almanya (KVB1), İspanya (KVB2), Fransa (KVB3), İtalya (KVB4), Polonya (KVB5), Romanya (KVB6), Belçika (KVB7), Danimarka (KVB10), İrlanda (KVB12) ve Hollanda (KVB20)) etkin bir tarım sektörüne sahipken, bazı ülkelerin (Bulgaristan (KVB8), Çekya (KVB9), Estonya (KVB11), Hırvatistan (KVB14), Macaristan (KVB19), Finlandiya (KVB25)) etkin olmadığı ve sıfıra yakın skorlara sahip olduğu görülmektedir. Etkin olan ülkelerin etkin olmayan ülkelere göre daha fazla kimyasal gübre kullandıkları ve hükümet tarım harcamalarının yüksek olduğu gözlemlenmektedir.

Etkin olmayan ülkelerin Litvanya (KVB17) ve Romanya (KVB22) gibi gözlemlenen değerlerine bakıldığı zaman tarımda istihdam ve sermaye yatırımı düşüklüğü nedeniyle düşük bir genel etkinliğe sahip oldukları söylenebilir.

Bununla birlikte uygulama analiz sonuçlarında boşluk tabanlı statik (SBM) ve boşluk tabanlı dinamik veri zarflama analizinde farklı değerler ortaya çıkmıştır ve ülkelerin tarımsal etkinlik değerlerinin ilgili değişkenlerle ve model içinde bir değer oluşturduğu görülmektedir. Bu durumda herhangi bir değişken veya model değiştirildiği zaman çalışma sonucu da farklılık gösterebildiği ifade edilebilir.

Bu tez çalışmasında kullanılan değişkenlerle birlikte arzu edilen (istenen) bağlantı değişkeni olarak kamunun tarım harcamaları ele alınmıştır. Bağlantı değişkenine bağlı olarak Avrupa ülkelerinin, tüm hükümetlerinin ekonomik büyümeyi sürdürürken CO2 salınımını azaltması veya kontrol altına alması gerektiği gözlemlenmektedir. Aynı zamanda AB ülkelerinin tarım arazilerini kullanırken daha dikkatli olmaları gerekmektedir. Tarım arazilerinde kullanılan kimyasal gübre tüketiminin artması ile birlikte etkinlik oranlarında artışlar meydana gelmesine rağmen kimyasal gübrelerin çevresel ve iklim üzerindeki olumsuz etkileri göz ardı edilmemelidir.

Tarımın, çevresel sonuçları Avrupa Komisyonu, çiftlikten çatala, biyoçeşitlililk ve CAP projeleri kapsamında, üye ülkelerin kimyasal pestisit kullanımını ve karbon azaltma uygulamaları için farklı stratejiler uygulanacağını belirtmiştir. Bu durum karşısında Avrupa Birliği, ortak tarım politikasının gücü büyüdükçe, çevreye verilen zararlarda da önemli artışların olduğunu göz ardı etmemektedir. Yeni ortak tarım politikası önlemlerinin 2023-2027 dönemi için, çevre bakımı, daha canlı kırsal alanlar,

rekabet gücünü arttırmak, üreticiler için daha adil gelir sağlamak ve biyoçeşitliliği koruma gibi on temel hedef çerçevesinde yeni bir çalışma uygulanmaya başlanmıştır (https://agriculture.ec.europa.eu).

Konu güncelliğini ve önemini korurken ülkelerin tarımsal etkinliklerinin ve tarımsal sürdürülebilirliklerinin derinlemesine incelenebilmesi ve yol haritalarının oluşturulabilmesi için çeşitli değişkenler ve modeller ile etkinlik ölçümlerinin yapılması faydalı sonuçlar doğuracaktır. Gelecek çalışmalarda zaman faktörünü dikkate alan diğer bir yöntem olan Malmquist endeksi ile tarımsal etkinlik analizi gerçekleştirilerek, sonuçları dinamik veri zarflama analizi sonuçları ile karşılaştırılabilir. Yine farklı girdi-çıktı karmalarının oluşturulması, istenmeyen girdi/çıktı değişkenlerinin çeşitlendirilmesi, dönemler arası bağlantı sayı ve çeşidinin farklılaştırılması ve farklı statik ve dinamik model yapıları ile ülkelerin tarımsal etkinliklerinin karşılaştırmalı değerlendirmeleri yapılabilir. Endüstri-tarım, teknoloji-tarım ve enerji-tarım vb. süreçler birlikte ele alınarak iki veya daha çok aşamalı dinamik veri zarflama modelleri geliştirilebilir. İstenmeyen girdi ve çıktı değişkenlerinin farklı ele alınma biçimleri ile (normalize veriler kullanılarak istenmeyen girdiler ve çıktılar modele dâhil edilmekte veya istenmeyen çıktılara monoton azalan bir dönüşüm uygulanarak uyarlanmış değişkeni çıktı olarak uygulayarak) etkinlik ölçümleri gerçekleştirilip, farklı yöntemlerin sonuçları karşılaştırılabilinir. Aynı zamanda sayılan bu dinamik veri zarflama modelleri istenmeyen, sabit ve/veya serbest bağlantı değişkenleri ile çeşitlendirilebilir.

KAYNAKÇA

Acer, A. ve Timor, M. (2017). Kümeleme ve veri zarflama analizi (vza) ile konteynar terminal etkinliklerinin belirlenmesi. *Alphanumeric Journal,* 5(2), 339-352. Doi: 10.17093/alphanumeric.356455.

Aktaş, H. (2001). İşletme performansının ölçülmesinde parametrik olmayan bir yaklaşım. *Yönetim ve Ekonomi Dergisi,* 8(1), 163-176.

Akther, S., Fukuyama, H., & Weber, W. L. (2013). Estimating two-stage network slacks-based inefficiency: An application to Bangladesh banking. *Omega*, *41*(1), 88-96.

Andersen, P., & Petersen, N. C. (1993). A procedure for ranking efficient units in data envelopment analysis. *Management science*, *39*(10), 1261-1264.

Alhas Eroğlu, N. ve Bozoğlu, M. (2017). Destekleme politikalarının Türkiye'deki tarımsal etkinlik ve toplam faktör verimliliğine etkileri. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 32 (1) , 35-39. DOI: 10.7161/omuanajas.288864

Altan, M. S. (2010). Türk sigortacılık sektöründe etkinlik: Veri zarflama analizi yöntemi ile bir uygulama. *Gazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 12(1), 185-204.

Arnade, C. (1998). Using a programming approach to measure international agricultural efficiency and productivity. *Journal of Agricultural Economics*, *49*(1), 67-84.

Avcı, M. A., ve Kaya, A. A. (2008). Geçiş Ekonomileri ve Türk Tarım Sektöründe Etkinlik ve Toplam Faktör Verimliliği Analizi (1992-2004). *Ege Academic Review*, *8*(2), 843-860.

Babacan, A., Kısakürek, M. M. ve Özcan, S. (2009). İMKB'ye kote edilmiş firmaların VZA yöntemi ile performans ölçümleri. *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi,* (24).

Banker, R. D., Charnes, A., ve Cooper, W. W. (1984). Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. *Management Science*, 30(9), 1078-1092.

Banker, R. D., Cooper, W. W., Seiford, L. M., Thrall, R. M., & Zhu, J. (2004). Returns to scale in different DEA models. *European Journal of Operational Research, 154*(2), 345-362. Doi: https://doi.org/10.1016/S0377-2217(03)00174-7

Bayav, A., ve Karlı, B. (2020). Türkiye'de tarım sektöründe yapılan etkinlik çalışmalarının incelenmesi (1994-2016). *Meyve Bilimi, 7*(2), 32-41.

Bayav, A. , Gündüz, O. ve Karlı, B. (2022). Tarımsal etkinlik düzeyinin coğrafik bölgeler itibarıyla farklılaşması: Veri zarflama metafrontıer yaklaşımı. *Verimlilik Dergisi*, (3) , 415-426 . DOI: 10.51551/verimlilik.967858

Baysal, M. E., Uygur, M. ve Toklu, B. (2004). Veri zarflama analizi ile TCDD limanlarında bir etkinlik ölçümü çalışması. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi,* 19(4).

Behdioğlu, S. ve Özcan, G. (2009). Veri zarflama analizi ve bankacılık sektöründe bir uygulama. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 14(3), 301-326.

Boussofiane, A., Dyson, R. G., ve Thanassoulis, E. (1991). Applied data envelopment analysis. *European journal of operational research, 52*(1), 1-15.

Bowlin, W. F. (1998). Measuring performance: An introduction to Data Envelopment Analysis (DEA). *The Journal of Cost Analysis,* 15(2), 3-27.

Budak, H. (2011). Veri zarflama analizi ve Türk bankacılık sektöründe uygulaması. *Marmara Fen Bilimleri Dergisi,* 23(3), 95-110.

Charnes, A., Cooper, W.W. ve Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research,* 2(6), 429-444. Doi: 10.1016/0377-2217(78)90138-8.

Chen, P. C., Chang, C. C., Yu, M. M., & Hsu, S. H. (2012). Performance measurement for incineration plants using multi-activity network data envelopment analysis: The case of Taiwan. *Journal of environmental management, 93*(1), 95-103.

Chen, Y., Cook, W. D., Li, N. ve Zhu, J. (2009). Additive efficiency decomposition in two-stage DEA. *European Journal of Operational Research,* 196(3), 1170-1176. Doi: 10.1016/j.ejor.2008.05.011.

Chen, P.C., Yu, M. M., Chang, C. C., ve HSU, S. H. (2008). Total factor productivity growth in China's agricultural sector. *China Economic Review*, *19*(4), 580-593.

Coelli, T. J., ve Rao, D. P. (2005). Total factor productivity growth in agriculture: a Malmquist index analysis of 93 countries, 1980–2000. *Agricultural Economics*, *32*, 115-134.

Çakmak, E. H., Dudu, H., ve Öcal, N. (2008). *Türk Tarım Sektöründe Etkinlik.*

Çekiç, B., Menten, C. ve Atıcı, K. B. (2020). Türkiye tarım sektöründe ürünler bazında etkinlik değerlendirmesi. *Verimlilik Dergisi*, (1) , 117-141.

Derici, S. ve Atalay, E. (2018). Veri zarflama analizi (Vza) ile Türkiye'deki zincir tekno(Loji) market mağazalarının etkinlik ölçümü. *Atatürk Üniversitesi Enstitüsü Dergisi,* 22(3), 1387-1399.

Donthu, N. ve Yoo, B. (1998). Retail productivity assessment using data envelopment analysis. *Journal of Retailing,* 74(1), 89-105. Doi: 10.1016/S0022-4359(99)80089-X.

Duranay, S. (2017). Türk mevduat bankalarının veri zarflama analizi (VZA) ile göreli etkinliklerinin ölçülmesi. *Bilge Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi,* 1(2), 130-142.

European Commission (2020). Report From the Commision to the European Parliament and the Council, *Brussels.*

Fare, R. ve Grosskopf, S. (1996). *Intertemporal Production Frontiers: Dynamic DEA.* Kluwer Academic Publishers, Boston.

Färe, R., ve Grosskopf, S. (2004). Modeling undesirable factors in efficiency evaluation: Comment. *European Journal of Operational Research*, 157(1), 242-245.

Filiz, Z., ve Kolukısaoğlu, S. (2012). Doğrusal olmayan kanonik korelasyon analizi ve bir uygulama. *Uluslararası Yönetim İktisat ve İşletme Dergisi*, *8*(16), 59-74.

Fukuyama, H. ve Mirdehghan, S. M. (2012). Identifying the efficiency status in network DEA. *European Journal of Operational Research*, 220(1), 85-92. Doi: 10.1016/j.ejor.2012.01.024.

Fukuyama, H., & Weber, W. L. (2010). A slacks-based inefficiency measure for a two-stage system with bad outputs. *Omega*, *38*(5), 398-409.

Galanopoulos, K., Lindberg, E., Surry, Y. R., ve Mattas, K. (2006). *Agricultural productivity growth in the Mediterranean and tests of convergence among countries* (No. 736-2016-50790).

Gökkür, S., (2019). Tarımda Etkinlik Nasıl Sağlanır?, Apelasyon, ISSN:2149-4908, Kasım 2019, Sayı 72. Erişim Adresi: http://apelasyon.com/Yazi/1079-tarimda-etkinlik-nasil-saglanir

Gülcü, A., Coşkun, A., Yeşilyurt, C., Coşkun, S. ve Esener, T. (2004). Cumhuriyet Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi'nin veri zarflama analizi yöntemiyle göreceli etkinlik analizi. *Cumhuriyet Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 5(2), 87-104.

Güran, M. C. ve Ayrancı, E. (2019). OECD ülkelerinde yükseköğretimde etkinlik değişimi: 2000-2012 dönemi için Malmquist Toplam Faktör Verimlilik Endeksi uygulaması. *Sosyoekonomi*, 27(41), 71-88.

Hacking, T., ve Guthrie, P. (2008). A framework for clarifying the meaning of Triple Bottom-Line, Integrated, and Sustainability Assessment. *Environmental Impact Assessment Review*, *28*(2-3), 73-89. Doi: https://doi.org/10.1016/j.eiar.2007.03.002

Hou, D., Ding, Z., Li, G., Wu, L., Hu, P., Guo, G. ve Wang, X. (2018). A sustainability assessment framework for agricultural land remediation in China. *Land Degradation & Development*, 29(4), 1005-1018.

İleri, H. (2014). Verimlilik, verimlilik ile ilgili kavramlar ve işletmeler açısından verimliliğin önemi. *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Meslek Yüksekokulu Dergisi*, 1(2), 9-24.

Jahanshahloo, G. R., Lotfi, F. H., Shoja, N., Tahidi, G. ve Razavyen, S. (2005). Undesirable inputs and outputs in DEA models. *Applied Mathematics and Computation*, 169(2), 917-925. Doi: 10.1016/j.amc.2004.09.069.

Kao, C., ve Liu, S. T. (2000). Data envelopment analysis with missing data: an application to university libraries in Taiwan. *Journal of the Operational Research Society*, 51(8), 897-905.

Kao, C. (2009). Efficiency decomposition in network data envelopment analysis: A relational model. *European Journal of Operational Research,* 192(3), 949-962. Doi: 10.1016/j.ejor.2007.10.008.

Kao, C. (2014). Network data envelopment analysis: A review. European journal of operational research, 239(1), 1-16. Doi: https://doi.org/10.1016/j.ejor.2014.02.039

Karaman, R. (2009). İşletmelerde performans ölçümünün önemi ve modern bir performans ölçme aracı olarak balancet scorecard. *Sosyal Ekonomik Araştırmalar Dergisi,* 8(16), 410-427.

Karaman, S., ve Özalp, A. (2017). Türkiye tarım sektörü bölgesel toplam faktör verimliliğinin malmquist endeks ile belirlenmesi. *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, *34*(1), 209-217.

Kaya, A. ve Aktan, H. E. (2011). Türk tarım sektörü verimliliğinin parametrik olmayan bir yöntemle analizi. *Uluslararası Alanya İşletme Fakültesi Dergisi*, *3*(1), 261-282.

Kayalıdere, K. ve Kargın, S. (2004). Çimento ve tekstil sektörlerinde etkinlik çalışması ve veri zarflama analizi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 6(1).

Kuosmanen, T., & Post, T. (2001). Measuring economic efficiency with incomplete price information: With an application to European commercial banks. *European journal of operational research*, *134*(1), 43-58.

Kuosmanen, T. (2009). Data envelopment analysis with missing data. *Journal of the Operational Research Society*, *60*(12), 1767-1774.

Kök, R. ve Deliktaş, E. (2003). *Endüstri İktisadında Verimlilik Ölçme ve Strateji Geliştirme Teknikleri.* Erişim Adresi: http://hdl.handle.net/20.500.12397/13893.

Land, K. C., Lovell, C. K., & Thore, S. (1993). Chance- constrained data envelopment analysis. *Managerial and decision economics*, *14*(6), 541-554. Doi: 10.1002/mde.4090140607

Latruffe, L., Diazabakana, A., Bockstaller, C., Desjeux, Y., Finn, J., Kelly, E., ve Uthes, S. (2016). Measurement of sustainability in agriculture: a review of indicators. *Studies in Agricultural Economics*, *118*(3), 123-130.

Le, T. L., Lee, P. P., Peng, K. C., ve Chung, R. H. (2019). Evaluation of total factor productivity and environmental efficiency of agriculture in nine East Asian countries. *Agricultural Economics*, 65(6), 249-258.

Liu, W. B., Meng, W., Li, X. X. ve Zhang, D. Q. (2010). Dea models with undesirable inputs and outputs. *Annals of Operations Research*, 173(1), 177-194.

Lozano, S., Gutierrez, E. ve Moreno, P. (2013). Network DEA approach to airports performance assessment considering undesirable outputs. *Applied Mathematical Modelling*, 37(4), 1665-1676. Doi: 10.1016/j.apm.2012.04.041.

Lusigi, A., ve Thirtle, C. (1997). Total factor productivity and the effects of R&D in African agriculture. *Journal of International Development: The Journal of the Development Studies Association*, *9*(4), 529-538.

Mariz, F. B. A. R., Almeida, M. R. ve Aloise, D. (2018). A review of Dynamic data envelopment analysis: state of the art and applications. *International Transactions in Operational Research*, 25(2), 469-505. Doi: 10.1111/itor.12468.

Nemoto, J. ve Goto, M. (1999). Dynamic data envelopment analysis: modeling intertemporal behavior of a firm in the presence of productive inefficiencies. *Economics Letters*, 64(1), 51-56. Doi: 10.1016/S0165-1765(99)00070-1.

Nemoto, J. ve Goto, M. (2003). Measurement of Dynamic efficiency in production: An application of data envelopment analysis to Japanese electric utilities. *Journal of Productivity Analysis*, 19(2), 191-210. Doi: 10.1023/A:1022805500570.

Ness, B., Urbel-Piirsalu, E., Anderberg, S., & Olsson, L. (2007). Categorising tools for sustainability assessment. *Ecological economics*, *60*(3), 498-508. Doi: https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2006.07.023

Niemeijer, D. ve de Groot, R. S. (2008). A conceptual framework for selecting environmental indicator sets. *Ecological Indıcators,*8(1), 14-25. Doi: https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2006.11.012

Nin, A., Arndt, C., ve Preckel, P. V. (2003). Is agricultural productivity in developing countries really shrinking? New evidence using a modified nonparametric approach. *Journal of Development Economics*, *71*(2), 395-415.

Oruç, K. O. Güngör, İ. ve Demiral, M. F. (2009). Üniversitelerin etkinlik ölçümünde bulanık veri zarflama analizi uygulaması. *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi,* (22), 279-294.

Özdemir, K. (2022). Entegre Rapor Yayınlayan Bankaların Finansal Etkinliklerinin Veri Zarflama Analizi ile Ölçülmesi: Türkiye Örneği. *İşletme Araştırmaları Dergisi*, *14*(3), 1767-1780.

Özden, Ü. (2008). Veri zarflama analizi (VZA) ile Türkiye'deki vakıf üniversitelerinin etkinliğinin ölçülmesi. *İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Dergisi,* 37(2), 167-185.

Özden, A. (2010). Günümüzde etkinlik kavramı ve ölçüm metotları. *Türkiye IX. Tarım Ekonomisi Kongresi*, *22*(24), 740-747.

Özer, A., Öztürk, M. ve Kaya, A. (2010). İşletmelerde etkinlik ve performans ölçmede VZA, kümeleme ve TOPSİS analizlerinin kullanımı: İMKB işletmeleri üzerine bir uygulama. *Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi,* 14(1), 233-260.

Özkan, M. ve Özcan, A. (2018). Veri zarflama analizi (VZA) ile seçilmiş çevresel göstergeler üzerinden bir değerlendirme: OECD performans incelemesi. *Yönetim Bilimleri Dergisi,* 16(32), 485-508.

Pastor, J. T., & Ruiz, J. L. (2007). Variables with negative values in DEA. In *Modeling data irregularities and structural complexities in data envelopment analysis* (ss. 63-84). Springer, Boston, MA.

Patır, S. (2007). Doğrusal programlamada primal ve dual ilişkisinin irdelenmesi ve bir örnek uygulanması. *Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi,* 6(21), 172-191.

Peker, İ. ve Baki, B. (2009). Veri zarflama analizi ile Türkiye havalimanlarında bir etkinlik ölçümü uygulaması. *Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 18(2), 72-88.

Pope, J., Annandale, D., & Morrison-Saunders, A. (2004). Conceptualising sustainability assessment. *Environmental impact assessment review*, *24*(6), 595-616. Doi: https://doi.org/10.1016/j.eiar.2004.03.001

Rao, D. P., Coelli, T. J., ve Alauddin, M. (2005). *Agricultural productivity growth, employment and poverty in developing countries, 1970-2000*. Geneva: International Labour Office.

Ren, F., Tian, Z., Chen, H., ve Shen, Y. (2020). Energy consumption, CO2 emissions, and agricultural disaster efficiency evaluation of China based on the two-stage dynamic DEA method. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(2), 1901–*1918.* Doi:10.1007/s11356-020-09980-x

Sarkis, J. (2007). Preparing Your Data for DEA. *In Modeling Data İrregularities and Structural Complexities in Data Envelopment Analysis*, 305-320, Springer, Boston, MA. Doi: 10.1007/978-0-387-71607-7_17.

Seiford, L. M., ve Zhu, J. (2002). Modeling undesirable factors in efficiency evaluation. *European Journal of Operational Research*, 142(1), 16-20.

Sengupta, J. K. (1996). Dynamic data envelopment analysis. *International journal of Systems Science*, 27(3), 277-284. Doi: 10.1080/00207729608929214.

Sherman, H. D. (1982). Data envelopment analysis as a new managerial audit methodologytest and evaluation.

Shimshak, D. G., Lenard, M. L., ve Klimberg, R. K. (2009). Incorporating quality into data envelopment analysis of nursing home performance: a case study. *Omega*, *37*(3), 672-685.

Smirlis, Y. G., Maragos, E. K., ve Despotis, D. K. (2006). Data envelopment analysis with missing values: An interval DEA approach. Applied Mathematics and Computation, 177(1), 1-10.

Sueyoshi, T. ve Sekitani, K. (2005). Ruturns to scale in dynamic DEA. *European Journal of Operational Research,* 161(2), 536-544. Doi: 10.1016/j.ejor.2003.08.055.

Tallori, S. (2000). Data envelopment analysis: models and extensions. *Decision Line,* 31(3), 8-11.

Tone, K. (2001). A slacks-based measure of efficiency in data envelopment analysis. *European Journal of Operational Research,* 130(3), 498-509. Doi: 10.1016/S0377-2217(99)00407-5.

Tone, K. ve Tsutsui, M. (2009). Network DEA: A slacks-based measure approach. *European Journal of Operational Research,* 197(1), 243-252. Doi: 10.1016/j.ejor.2008.05.027.

Tone, K. ve Tsutsui, M. (2010). Dynamic DEA: A slacks-based measure approach. *Omega*, 38(3-4), 145-156. Doi: 10.1016/j.omega.2009.07.003.

Tone, K., Toloo, M., & Izadikhah, M. (2020). A modified slacks-based measure of efficiency in data envelopment analysis. *European Journal of Operational Research*, *287*(2), 560-571. Doi: https://doi.org/10.1016/j.ejor.2020.04.019

Tunca, H., ve Deliiktas, E. (2015). OECD Ülkelerinde Tarimsal Etkinlik Ölçümü: Dinamik Veri Zarflama Analizi/Measurement of Agriculture Efficiency in OECD Countries: Dynamic Data Envelopment Analysis. *Ege Akademik Bakis*, *15*(2), 217.

Ulucan, A. (2000). Şirket performanslarının ölçülmesinde veri zarflama analizi yaklaşımı: Genel ve sektörel bazda değerlendirmeler. *Hacettepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi,* 18(1), 405-418.

Van der Werf, H. M., ve Petit, J. (2002). Evaluation of the environmental impact of agriculture at the farm level: a comparison and analysis of 12 indicator-based methods. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, *93*(1-3), 131-145.

Yang, C. ve Liu, H. M. (2012). Managerial efficiency in Taiwan bank branches: A network DEA. *Economic Modelling*, 29(2), 450-461. Doi: 10.1016/j.econmod.2011.12.004.

Yavuz, S. ve İşçi, Ö. (2013). Veri zarflama analizi ile Türkiye'de gıda imalatı yapan firmaların etkinliklerinin ölçülmesi. *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, (36).

Yeşilyurt, C. (2018). Performans ölçümünde kullanılan parametreli ve parametresiz etkinlik ölçüm yöntemlerinin karşılaştırılması. *Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, *22*(Özel Sayı 3), 2941-2953.

Yıldız, A. (2006). Yatırım fonları performanslarının veri zarflama analizi yöntemiyle değerlendirilmesi. *Ankara Üniversitesi SBF Dergisi,* 61(2), 211-234.

Yu, M. M., ve Fan, C. K. (2009). Measuring the performance of multimode bus transit: A mixed structure network DEA model. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 45(3), 501-515.

Yükçü, S. ve Atağan, G. (2009). Etkinlik, etkililik ve verimlilik kavramlarının yarattığı karışıklık. *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi,* 23(4), 1-13.

Zhang, N., & Choi, Y. (2013). Environmental energy efficiency of China's regional economies: A non-oriented slacks-based measure analysis. *The social science journal*, *50*(2), 225-234. Doi: https://doi.org/10.1016/j.soscij.2013.01.003

Zhao, Y., Triantis, K., Murray-Tuite, P. ve Edara, P. (2011). Performance measurement of a transportation network with a downtown space reservation system: A network-DEA approach. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review,* 47(6), 1140-1159. Doi: 10.1016/j.tre.2011.02.008.

Zhou, H., Yang, Y., Chen, Y., ve Zhu, J. (2018). Data envelopment analysis application in sustainability: The origins, development and future directions. *European Journal of Operational Research*, *264*(1), 1-16.

Zhu, J. ve Cook, W. D. (2007). *Modeling data irregularities and structural complexities in data envelopment analysis.* Springer Science, New York.

Avrupa Birliği (2023), https://www.avrupa.info.tr/tr/tarim-ve-kirsal-kalkinma-113, Erişim Tarihi: 16 Ocak 2023

EUROSTAT (2022), https://ec.europa.eu/eurostat/cache/metadata/en/aact_esms.htm, Erişim Tarihi: 24 Nisan 2022

FAOSTAT, (2015), https://www.fao.org/faostat/en/#data/IG, Erişim Tarihi: 12 Ocak 2023

USDA (2019), https://www.usda.gov/topics/data, Erişim Tarihi: 08 Nisan 2022

World Data (2022), https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators, Erişim Tarihi: 28 Mayıs 2022

EKLER

EK-1: Girdilere Ait Normalize Veri Seti

KVB	GİRDİ-İ.G			GİRDİ-A			İ.GİRDİ-G		
	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3
KVB1	0,4258	0,4455	0,4439	0,8896	0,8912	0,8931	1,3366	1,2230	1,1558
KVB2	0,7359	0,8134	0,8103	1,4027	1,4043	1,4049	0,9755	1,0677	1,0948
KVB3	0,6680	0,6956	0,6940	1,5337	1,5326	1,5378	1,1055	1,1704	1,1988
KVB4	1,0509	1,0812	1,1022	0,6842	0,6850	0,6656	0,8911	0,8949	0,9066
KVB5	1,7186	1,5632	1,5693	0,7677	0,7724	0,7787	1,2854	1,2309	1,2330
KVB6	1,4009	1,4011	1,3803	0,7221	0,7145	0,7198	0,4059	0,4132	0,4109
KVB7	0,4049	0,4143	0,4281	0,5200	0,5117	0,5467	1,3709	1,3158	1,2621
KVB8	1,8573	1,7716	1,6937	1,9329	1,9393	2,0309	0,5757	0,5578	0,5457
KVB9	0,7643	0,7839	0,8025	1,3428	1,3576	1,4225	0,9132	0,8046	0,7499
KVB10	0,4022	0,4106	0,4036	1,0108	1,0146	1,0627	0,6391	0,5859	0,4650
KVB11	0,1485	0,1524	0,1545	0,3861	0,3864	0,4054	0,3687	0,3850	0,3774
KVB12	1,1755	1,2043	1,2360	1,7173	1,7309	1,8234	5,6141	5,9498	6,6448
KVB13	3,3035	3,2952	3,2935	2,3622	2,3528	2,4644	0,5843	0,5750	0,5732
KVB14	1,2728	1,3040	1,3443	0,5952	0,5772	0,5992	0,5535	0,9419	0,9505
KVB15	0,1624	0,1631	0,1622	0,0421	0,0468	0,0529	0,9488	0,7654	0,6783
KVB16	0,5578	0,5599	0,5423	0,7434	0,7453	0,7825	0,4845	0,4564	0,4351
KVB17	1,0885	1,0994	1,1027	1,1372	1,1318	1,1899	0,6131	0,6224	0,5743
KVB18	0,0252	0,0257	0,0263	0,0503	0,0506	0,0531	1,2188	1,1124	1,0094
KVB19	3,1768	3,1582	3,0120	2,0334	2,0448	2,1383	0,5678	0,6096	0,6481
KVB20	1,0912	1,1435	1,2030	0,6987	0,7014	0,7357	1,3563	1,2815	1,1439
KVB21	0,8747	0,8890	0,9011	1,0279	1,0236	0,1073	0,6497	0,5949	0,5809
KVB22	1,8363	1,7984	1,8346	1,3932	1,3834	1,4430	0,9066	0,9153	0,8538
KVB23	0,5850	0,5902	0,6001	0,2377	0,2372	0,2471	1,2016	1,1333	1,1258
KVB24	0,3562	0,3260	0,3267	0,7260	0,7245	0,7627	0,5848	0,5367	0,5561
KVB25	0,4901	0,4751	0,4876	0,8758	0,8753	0,9174	0,4007	0,3949	0,3941
KVB26	0,4267	0,4354	0,4451	1,1670	1,1649	1,2149	0,4478	0,4614	0,4316

EK-2: Çıktılara Ait Normalize Veri Seti

KVB	ÇIKTI-T.Ç			İ.ÇIKTI-CO2		
	T1	T2	T3	T1	T2	T3
KVB1	0,7107	0,9105	0,8140	1,4553	1,4250	1,3815
KVB2	1,4582	1,2064	1,4477	0,9402	0,9547	0,9801
KVB3	1,3257	1,3171	1,2243	1,7469	1,7529	1,7495
KVB4	0,9114	1,0262	1,0122	0,7578	0,7564	0,7576
KVB5	0,9118	0,8166	0,7662	0,7382	0,7468	0,7621
KVB6	0,6820	0,7231	0,7357	0,3616	0,3642	0,3694
KVB7	1,0931	0,3595	1,1400	1,3906	1,3573	1,3796
KVB8	1,2130	1,1768	0,4037	0,7656	0,7733	0,7720
KVB9	1,1820	1,0456	1,1725	1,0339	0,9903	0,9833
KVB10	1,0921	1,1118	1,1154	1,5254	1,5233	1,4985
KVB11	0,0377	0,8524	0,8089	0,2625	0,2694	0,2701
KVB12	0,9344	0,9084	0,9987	3,5337	3,6409	3,7206
KVB13	1,5908	1,5256	1,3166	1,1093	1,1258	1,1580
KVB14	0,2620	0,9758	0,9692	0,3741	0,3947	0,4080
KVB15	0,9003	0,8885	0,9837	0,0580	0,0597	0,0616
KVB16	0,8849	0,8554	0,7349	0,4118	0,4092	0,3992
KVB17	0,9580	0,9601	0,8448	0,7482	0,7442	0,7221
KVB18	0,8604	0,8112	0,9566	0,0957	0,0961	0,0954
KVB19	1,5017	1,3334	1,4491	1,0745	1,0821	1,1433
KVB20	1,3217	1,2786	1,3691	2,9479	2,8268	2,7255
KVB21	1,0583	1,0286	1,2276	1,0861	1,0821	1,0875
KVB22	1,0883	1,1775	1,2104	1,0266	1,0675	1,0303
KVB23	0,9422	0,8492	0,1306	0,2378	0,2374	0,2378
KVB24	1,1131	0,9753	1,1442	0,3814	0,3626	0,3743
KVB25	0,9612	0,9061	0,9738	0,8700	0,8651	0,8703
KVB26	1,0047	0,9803	1,0501	1,0672	1,0923	1,0626

EK-3: Bağlantıya Ait Normalize Veri Seti

KVB	BAĞLANTI-T.H.		
	T1	T2	T3
KVB1	1,0565	1,2299	1,2363
KVB2	1,018	1,1293	1,7222
KVB3	1,4052	1,5945	1,5703
KVB4	1,4052	1,568	1,5491
KVB5	0,268	0,3464	0,3294
KVB6	0,115	0,1317	0,1427
KVB7	2,2669	2,1305	2,0983
KVB8	0,2236	0,2184	0,2416
KVB9	0,8919	0,8905	1,0392
KVB10	2,1181	1,9607	1,9253
KVB11	0,1423	0,1432	0,1519
KVB12	1,3991	1,1769	1,1991
KVB13	1,2814	1,1679	1,1405
KVB14	0,2719	0,254	0,2595
KVB15	0,104	0,102	0,1307
KVB16	0,1027	0,1054	0,1136
KVB17	0,1708	0,1655	0,2363
KVB18	0,3124	0,3081	0,3135
KVB19	0,7337	0,7712	0,7804
KVB20	3,5906	3,3523	3,3883
KVB21	2,2675	2,1366	2,088
KVB22	1,2055	1,1994	1,1161
KVB23	0,2207	0,2036	0,2017
KVB24	0,4206	0,3843	0,3943
KVB25	0,8942	0,8121	0,7971
KVB26	2,6497	2,5174	2,3845

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı	Sibel YILMAZ
Doğum Yeri	Antalya/ Gazipaşa
Doğum Tarihi	23.08.1997

LİSANS EĞİTİM BİLGİLERİ

Üniversite	Çankırı Karatekin Üniversitesi
Fakülte	İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi
Bölüm	İşletme

YÜKSEK LİSANS BİLGİLERİ

Üniversite	Çankırı Karatekin Üniversitesi
Enstitü	Sosyal Bilimler Enstitüsü
Anabilim Dalı	İşletme Anabilim Dalı

YABANCI DİL BİLGİSİ

İngilizce	KPDS (...) YÖKDİL (...) TOEFL (...) EILTS (...)

İLETİŞİM

Adres	Antalya /Gazipaşa
E-mail	sblylmz706@gmail.com