



**VERİ ZARFLAMA ANALİZİNDE KARAR VERME  
BİRİMLERİNİN SIRALANMASINA YENİ YAKLAŞIMLAR**

**NEW APPROACHES TO RANK DECISION MAKING  
UNITS IN DATA ENVELOPMENT ANALYSIS**

**MELİKE KÜBRA EKİZ**

**DR. ÖĞR. ÜYESİ CEREN TUNCER ŞAKAR**

**Tez Danışmanı**

Hacettepe Üniversitesi  
Lisansüstü Eğitim- Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin  
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı İçin Öngördüğü

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

olarak hazırlanmıştır.

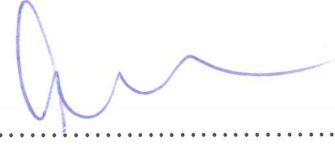
MELİKE KÜBRA EKİZ'İN hazırladığı “Veri Zarflama Analizinde Karar Verme Birimlerinin Sıralanmasına Yeni Yaklaşımlar” adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI' nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Nilgün FIĞLALI  
Başkan



.....

Dr. Öğr. Üyesi Ceren TUNCER ŞAKAR  
Danışman




.....

Doç. Dr. Özlem Müge TESTİK  
Üye




.....

Dr. Öğr. Üyesi Diclehan TEZCANER ÖZTÜRK  
Üye



.....

Dr. Öğr. Üyesi Barbaros YET  
Üye



.....

Bu tez Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak .... / ..... / ..... tarihinde onaylanmıştır.

Prof. Dr. Menemşe GÜMÜŞDERELİOĞLU  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI

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

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

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

- Enstitü / Fakülte yönetim kurulu kararı ile tezimin erişime açılması mezuniyet tarihimden itibaren 2 yıl ertelenmiştir.
- Enstitü / Fakülte yönetim kurulu gerekçeli kararı ile tezimin erişime açılması mezuniyet tarihimden itibaren .... ay ertelenmiştir.
- Tezim ile ilgili gizlilik kararı verilmiştir.

11 / 12 / 2018



MELİKE KÜBRA EKİZ

## ETİK

Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada,

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite de veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

11/12/2018



MELİKE KÜBRA EKİZ

## ÖZET

# VERİ ZARFLAMA ANALİZİNDE KARAR VERME BİRİMLERİNİN SIRALANMASINA YENİ YAKLAŞIMLAR

**MELİKE KÜBRA EKİZ**

**Yüksek Lisans, Endüstri Mühendisliği Bölümü**

**Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Ceren TUNCER ŞAKAR**

**Aralık 2018, 62 sayfa**

Tez kapsamında birden fazla girdi ve çıktıya sahip Karar Verme Birimlerinin (KVB) görece etkinliklerinin değerlendirilmesinde kullanılan Veri Zarflama Analizi (VZA) kapsamında iki yeni sıralama yöntemi önerilmiştir. Değişen Süper Etkinlik (Changed Super Efficiency - CSE) ve Süper Etkinlik Skoru Alanı Grafiği (Area of Super Efficiency Score Graph - ASES) olarak adlandırılan yöntemler etkin ve etkin olmayan KVB'leri sıralayabilmektedir. Önerilen iki yöntem de kendi etkinlik puanını hesaplayan prosedürler içermektedir ve tam sıralama gerçekleştirmektedir. Ayrıca her iki yöntem de, daha önceki yöntemler gibi sadece belirli etkin KVB'leri değil her türlü etkin KVB'yi adil bir şekilde sıralamaktadır.

CSE yöntemi, hem KVB'lerin başlangıç skorlarını hem de birbirlerine etkilerini dikkate alan kapsamlı bir değerlendirme prosedürü içermektedir. Sonuç olarak KVB'ler, başlangıçta iyi skorlar elde ettiklerinde ve başkaları üzerinde etkili olduklarında tercih edilmektedir. Önerilen ASES yönteminde ise bir KVB değerlendirilirken diğer KVB'lerin veri setinden çıkarılması ile etkinlik skoru değişimi ele alınmıştır. Her iki yöntem de KVB'lerin veri setindeki pozisyonları, rakipleri, etkin sınıra yakınlığı, kümelenme veya aşırı uç nokta olma durumlarını dikkate almaktadır. Önerilen yöntemler öncelikle tez

kapsamında oluşturulmuş olan örnek verilere uygulanmış ve grafikler yardımı ile analizler gerçekleştirilmiştir. Uygulama aşamasında ise gerçek veriler kullanılarak sıralamalar elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Veri Zarflama Analizi, Etkinlik, Sıralama.

## **ABSTRACT**

# **NEW APPROACHES TO RANK DECISION MAKING UNITS IN DATA ENVELOPMENT ANALYSIS**

**Melike Kübra EKİZ**

**Master, Department of Industrial Engineering**

**Supervisor: Asst. Prof. Dr. Ceren TUNCER ŞAKAR**

**December 2018, 62 pages**

In this thesis, two new ranking methods have been proposed in the scope of Data Envelopment Analysis (DEA) which is used to evaluate the relative effectiveness of Decision Making Units (DMUs) with multiple inputs and outputs. The methods called CSE (Changed Super Efficiency) and ASES (Area of Super Efficiency Score Graph) are able to rank efficient and inefficient DMUs. The two proposed methods also include procedures that calculate their own efficiency score and perform a complete ranking. In addition, as opposed to previous methods, both methods rank all types of efficient DMUs fairly, not just special types.

The CSE method includes a comprehensive evaluation procedure that takes into account both the initial scores of the DMUs and their impact on each other. As a result, DMUs are preferred when they achieve good scores at the beginning and have effect on others. In the proposed ASES method, DMUs are evaluated by analyzing the change in their efficiency scores by removal of other DMUs from the data set. Both methods take the positions of the DMUs in the data set, their competitors, proximity to the efficient frontier, clustering and extreme points into account. The proposed methods are first applied to example problems



and analyzed with the help of graphs. In applications, rankings were carried out using real data.

**Keywords:** Data Envelopment Analysis, Efficiency, Ranking.

## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tezim boyunca bilgi, tecrübe ve desteğini esirgemeyen, çalışmalarımı titizlikle inceleyerek görüş ve önerilerini benimle paylaşarak bana yol gösteren değerli hocam ve tez danışmanım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Ceren TUNCER ŞAKAR'a teşekkür ediyorum.

Desteğini benden hiçbir zaman esirgemeyen, önceliklerini her zaman benim önceliklerime göre değiştiren ve bunun karşılığını hiçbir zaman tam olarak ödeyemeyeceğim arkadaşım Muhammet BOZDEMİR'e ve hayatım boyunca her koşulda bana destek veren ve sabır gösteren, bugünlere gelmemde katkıları olan canım aileme sonsuz teşekkür ederim.

Melike Kübra EKİZ

Aralık 2018, Ankara

# İÇİNDEKİLER

ÖZET .....	i
ABSTRACT .....	iii
TEŞEKKÜR .....	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
ÇİZELGELER.....	vii
ŞEKİLLER .....	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR .....	ix
1.GİRİŞ.....	1
2.LİTERATÜR TARAMASI .....	3
2.1. Etkin Olmayan KVB'lere İlişkin Modeller.....	4
2.2. Etkin KVB'lere İlişkin Modeller .....	7
2.3. Tam Sıralamaya İlişkin Modeller .....	11
2.4. Çevre ile İlgili Çalışmalar.....	15
2.5. Eğitim ve Diğer Alanlar ile İlgili Çalışmalar.....	19
3.YAPILAN ANALİZLER VE ÖNERİLEN MODELLER .....	23
3.1.CSE Modeli İçin Yapılan Analizler.....	23
3.2. CSE Yöntemi .....	288
3.3.ASES Modeli ve Yapılan Analizler.....	33
4.UYGULAMALAR.....	40
4.1. CSE Uygulaması.....	40
4.2. ASES Uygulaması .....	46
5.CSE VE ASES YÖNTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI.....	53
6.SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	556
KAYNAKLAR.....	57
ÖZGEÇMİŞ.....	62

## ÇİZELGELER

Çizelge 3.1.1.	14 KVB'den oluşan örnek veri setine ait girdi ve çıktılar .....	24
Çizelge 3.2.1.	CSE ve SE modelleri ile 14 KVB'den elde edilen sonuçlar .....	32
Çizelge 3.2.2.	CCR, SE, $D_k$ , CD ve CSE yöntemleri ile elde edilen sıralamalar .....	33
Çizelge 3.3.1.	10 KVB'den oluşan örnek veri setine ait girdi ve çıktılar .....	35
Çizelge 3.3.2.	Örnek verinin CCR, $D_k$ , AES, SE ve ASES sıralamaları .....	39
Çizelge 4.1.1.	Kadınlar için MBA 2018 çıktıları .....	40
Çizelge 4.1.2.	Önerilen model ve SE modelinden elde edilen sıralamalar .....	42
Çizelge 4.1.3.	CCR, SE, $D_k$ , CD ve önerilen CSE modellerinden elde edilen sıralamalar .....	44
Çizelge 4.2.1.	Çevre ile ilgili çıktılar ve alt kategorileri .....	47
Çizelge 4.2.2.	Ülkelerin çıktı değerleri .....	48
Çizelge 4.2.3.	Vaka çalışmasının CCR, $D_k$ , AES, SE ve ASES sıralamaları .....	49
Çizelge 5.1.	14 KVB'den oluşan veriden elde edilen etkinlik skorları ve sıralamalar..	53
Çizelge 5.2.	10 KVB'den oluşan veriden elde edilen etkinlik skorları ve sıralamalar..	54

## ŞEKİLLER

Şekil 3.1.1.	14 KVB'den oluşan örnek veri seti ve etkin sınır .....	25
Şekil 3.1.2.	Etkin 3 numaralı KVB'nin veri setinden çıkarılması ile oluşan etkin sınır ..	26
Şekil 3.1.3.	11 numaralı KVB'nin veri setinden çıkarılması ile oluşan etkin sınır .....	27
Şekil 3.3.1.	10 KVB'den oluşan örnek veri kümesi .....	36
Şekil 3.3.2.	Etkin KVB'lerin etkinlik değişimi .....	37
Şekil 3.3.3.	Etkin olmayan KVB'lerin etkinlik değişimi .....	38
Şekil 4.2.1.	1, 2, 3 ve 4 numaralı etkin KVB'lerin etkinlik değişimi .....	50
Şekil 4.2.2.	5, 6, 7 ve 8 numaralı etkin olmayan KVB'lerin etkinlik değişimi .....	51
Şekil 4.2.3.	10, 11, 14 ve 15 numaralı etkin olmayan KVB'lerin etkinlik değişimi .....	52

## SİMGELELER VE KISALTMALAR

### Kısaltmalar

AES	Area of Efficiency Score Graph
APEC	Asya Pasifik Ekonomik İşbirliği
AR – DEA	Assurance Region Data Envelopment Analysis
ASES	Area of Super Efficiency Score Graph
BCC Modeli	Banker, Charnes ve Cooper Modeli
CCR Modeli	Charnes, Cooper ve Rhodes Modeli
CD	Cross Dependence
CRS	Constant Return to Scale
CSE	Changed Super Efficiency
FT	Financial Times
KV	Karar Verici
KVB	Karar Verme Birimi
MBA	Masters of Business Administration
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development
SBM	Slacks Based Model
SE	Süper Etkinlik
VRS	Variable Return to Scale
VZA	Veri Zarflama Analizi

# 1.GİRİŞ

Verimlilik kavramı en basit hali ile belirli bir zaman aralığında üretilmiş olan çıktılardan girdilere oranı olarak tanımlanmaktadır. Etkinlik ile sıklıkla karıştırılan verimlilik tek başına bir şey ifade etmemektedir. Etkinlik kavramı ise kaynakların en iyi şekilde kullanılması ile çıktılardan elde edilmesi olarak tanımlanmaktadır. Diğer bir ifadeyle, mevcut girdi ile oluşabilecek maksimum çıktıya ya da mevcut çıktı ile minimum girdiyi elde etmek olarak da tanımlanabilir. Etkinlik kavramının bir anlam ifade edebilmesi için birden fazla Karar Verme Birimi (KVB) gerekmektedir. KVB, benzer girdileri kullanarak benzer çıktılar üretmek amacıyla olan şirket, banka, hastane, okul, kamu kurumları gibi etkinliği incelenen örgütsel birimdir.

Veri Zarflama Analizi (VZA), bir veya birden fazla girdi ve çıktıya sahip KVB'lerin görece etkinliklerini ölçmekte kullanılan doğrusal programlama tabanlı parametrik olmayan bir yöntemdir. Literatürde ilk olarak hastane, okul gibi kar amacı gütmeyen kuruluşların etkinliklerinin ölçülmesinde kullanılmasına rağmen rekabetin gittikçe arttığı günümüz dünyasında şirketler, fabrikalar, bankalar vb. örgütlerin de etkinliklerini ölçmekte de kullanılmaktadır.

Klasik VZA modellerinden biri olan CCR modeli, Charnes, Cooper ve Rhodes [1] tarafından gerçekleştirilen çalışma ile literatüre giriş yapmıştır. Bu model farklı birimlerde birçok girdi ve çıktıya sahip KVB'lerin etkinliğini, ağırlıklı çıktılardan ağırlıklı girdilere oranı ile elde etmektedir. VZA'da girdi ve çıktılardan aldıkları ağırlıklar herhangi bir Karar Verici (KV) tarafından belirlenmemektedir. Her değerlendirmede ağırlıklar değişebilmekte ve KVB'lerin üstünlükleri olan girdi ve çıktılara göre ağırlıklar alabilmektedir. Girdi ve çıktı odaklı olarak ikiye ayrılan VZA modellerinde amaç fonksiyonu girdilerin minimize edilmesi veya çıktılardan maksimize edilmesi üzerinedir.

Klasik VZA modelleri olarak bilinen CCR ve Banker, Charnes ve Cooper [2] tarafından geliştirilmiş olan BCC modelleri, KVB'leri etkin ve etkin olmayan olarak ayırmakta ve etkin olmayan KVB'ler için 1'den küçük skorlar üretmektedir. Etkin KVB'ler ise etkin sınırı oluşturmakta ve skor olarak 1 değerini almaktadır. Bundan dolayı klasik VZA modelleri ile etkin KVB'ler birbirinden ayırt edilememekte ve sıralanamamaktadır. Literatürde etkin olmayan KVB'leri sıralamak için farklı modeller de önerilmiştir. Bu

modeller ilerleyen bölümlerde detaylı olarak anlatılacaktır. Etkin KVB'leri sıralamak adına Andersen ve Petersen [3] tarafından Süper Etkinlik (SE) modeli geliştirilmiştir. Etkin KVB'leri sıralamada sıklıkla kullanılan SE modeli, etkin KVB'leri 1'in üzerinde skorlar atayarak sıralama gerçekleştirmektedir. Etkin olmayan KVB'ler için ise klasik VZA modelleri ile aynı skorları üreterek tam sıralama gerçekleştirmektedir. Fakat SE modeli dışbükey kombinasyon olarak ifade edilebilen etkin KVB'ler için 1 skorunu üretmektedir. Bundan dolayı bu KVB'ler üst sıralardaki KVB'ler kadar iyi olsalar dahi etkin KVB'ler arasında son sırada yer almaktadır.

Bu çalışmada etkin ve etkin olmayan KVB'ler için iki yeni sıralama yöntemi önerilmektedir. Önerilen iki yöntem de kendi etkinlik puanını hesaplayan prosedürler içermektedir ve tam sıralama gerçekleştirmektedir. Her iki yöntem de, daha önceki yöntemler gibi sadece belirli etkin KVB'leri değil her türlü etkin KVB'yi adil bir şekilde sıralamaktadır. Birinci yöntem, hem KVB'lerin başlangıç skorlarını hem de birbirlerine etkilerini dikkate alan kapsamlı bir değerlendirme prosedürünü içermektedir. Sonuç olarak KVB'ler, başlangıçta iyi skorlar elde ettiklerinde ve başkaları üzerinde etkili olduklarında tercih edilmektedir. Önerilen ikinci yöntem ise KVB değerlendirilirken diğer KVB'lerin veri setinden çıkarılması ile etkinlik skoru değişimini ele alan bir yöntemdir. Her iki yöntem de KVB'lerin veri setindeki pozisyonları, rakipleri, etkin sınıra yakınlığı, kümelenme veya aşırı uç nokta olma durumlarını dikkate almaktadır. Önerilen yöntemler öncelikle tez kapsamında oluşturulan örnek veriye uygulanmış ve grafikler yardımı ile analizler gerçekleştirilmiştir. Uygulama aşamasında ise gerçek veriler kullanılarak sıralama gerçekleştirilmiştir.

Çalışmamız şu şekilde ilerlemektedir. Bölüm 2'de geniş literatür taramasına yer verilmiştir. Bölüm 3'te önerilen yöntemler örnek problemler ile savunularak anlatılmış, Bölüm 4'te ise gerçekleştirilen uygulamalara yer verilmiştir. Bölüm 5'te önerilen yöntemlerin karşılaştırılması yer alırken son olarak bölüm 6'da sonuçlardan ve gelecek çalışmalara yön vermek adına önerilerden bahsedilmiştir.



## 2.LİTERATÜR TARAMASI

Benzer girdiler ile benzer çıktılar üreten birimlerin görece etkinliklerinin ölçülmesinde kullanılan VZA'nın avantajları ve dezavantajları aşağıda yer almaktadır.

VZA'nın avantajları şu şekilde sıralanabilir:

- Farklı birimlere sahip birçok girdi ve çıktının normalizasyonuna, dönüşüm işlemine ya da bir varsayım yapmaya gerek kalmaksızın görece etkinliklerini ölçebilmektedir.
- Girdiler ve çıktılar arasında fonksiyonel ilişki kurmaya gerek yoktur.
- Doğrusal programlama tabanlı olduğundan standart çözümler kullanılarak çözüme ulaşılabilmektedir.
- Etkin olmayan KVB'lerin etkin olabilmesi için referans kümesi tanımlamaktadır. Bu kümede yer alan KVB'lerin girdi ve çıktılarını baz alarak etkin olmayan KVB'nin girdi ve çıktılarında yapılması gereken iyileşmeleri söylemektedir. Bu şekilde rol model olarak kullanılan etkin KVB'ler, etkin olmayan KVB'nin referans kümesini oluşturmaktadır.

VZA'nın dezavantajları ise şu şekilde sıralanabilir:

- Her bir KVB için çözüm gerçekleştirileceği için büyük problemlerde çözüm süresi uzamaktadır.
- Çözülen problemin verilerine göre ağırlıklar verildiği için ölçüm hatasına oldukça duyarlıdır. Kullanılan verinin tam ve güvenilir olması gerekmektedir.
- Parametrik olmayan bir yöntem olmasından dolayı elde edilen sonuçlara istatistiksel hipotez testlerini uygulamak zordur.

VZA birçok avantajından dolayı etkinlik ölçümü ve sıralama problemleri için literatürde sıklıkla kullanılmaktadır. VZA'da klasik yaklaşım dışında birçok sıralama yöntemi önerilmiş ve farklı alanlarda uygulamalar gerçekleştirilmiştir [4, 5, 6]. Farklı amaçlarla ve alanlarda önerilmiş olan VZA modelleri Aldamak & Zolfaghari [7] tarafından, VZA tekniğinin ayrıştırma gücünü daha iyi analiz edebilmek adına irdelenmiş ve gruplara ayrılmıştır.

Tez kapsamında incelenen sıralama modelleri; etkin olmayan KVB'lere, etkin KVB'lere ve tam sıralamaya ilişkin modeller olarak üç gruba ayrılmıştır. Konu bakımından ele alınan uygulama çalışmaları ise çevre ile ilgili çalışmalar ve eğitim ve diğer alanlar ile ilgili çalışmalar olmak üzere iki gruba ayrılmıştır.

## 2.1. Etkin Olmayan KVB'lere İlişkin Modeller

Etkin olmayan KVB'lere ilişkin yöntemlerden ilki klasik VZA modellerinden biri olan CCR modelidir. CCR modeli ölçeğe göre sabit getiri (Constant Return to Scale - CRS) varsayımı altında çalışmaktadır. CRS, girdileri  $(x_1, x_2)$ , çıktıları  $(y_1, y_2)$  olan bir birimin girdilerinin  $(tx_1, tx_2)$ ;  $t > 0$  olarak ifade edilmesi durumunda çıktıların da  $(ty_1, ty_2)$  olması durumudur. CCR modelinde amaç fonksiyonu girdi minimizasyonu ise girdi odaklı model, çıktı maksimizasyonu ise çıktı odaklı model olarak ifade edilmektedir. Aşağıda VZA modellerine ait temel ortak parametreler ve karar değişkenleri yer almaktadır.

Parametreler:

N KVB kümesi ( $k = 1, 2, \dots, n$ )

M girdi kümesi ( $i = 1, 2, \dots, m$ )

S çıktı kümesi ( $r = 1, 2, \dots, s$ )

$x_{ik}$  KVB k'nin i. girdisi

$y_{rk}$  KVB k'nin r. çıktısı

Karar Değişkenleri:

$\theta_k$  KVB k'nin etkinlik skoru

$\beta_k$  KVB k'nin etkinlik skorunu elde etmek için kullanılan yardımcı değişken

$\lambda_k$  KVB k için girdi ve çıktıların ağırlıklarını içeren matris

Aşağıda çıktı odaklı CCR modeli (M1) yer almaktadır [1].  $\theta_0$  etkinlik skorunun büyükten küçüğe sıralanması ile sıralama elde edilmektedir.

$$\text{Maks } \theta_0 = 1/\beta_0$$

s.t.

$$\sum_{k \in N} \lambda_k x_{ik} \leq x_{i0} \quad \forall i \in M \quad (M1)$$

$$\sum_{k \in N} \lambda_k y_{rk} \geq \beta_0 y_{r0} \quad \forall r \in S$$

$$\lambda_k \geq 0 \quad \forall k \in N$$

CCR modeline  $\sum_{k \in N} \lambda_k = 1$  kısıtının eklenmesi ile oluşan BBC modeli ise ölçeğe göre değişken getiri (Variable Return to Scale - VRS) varsayımı altında çalışmaktadır. VRS'de girdilerin belirli bir oranda artması durumunda çıktılarının artan, sabit veya azalan doğrultuda değişmesi söz konusudur. Aşağıda çıktı odaklı BCC modeli (M2) yer almaktadır [2].  $\theta_0$  etkinlik skorunun büyükten küçüğe sıralanması ile sıralama elde edilmektedir.

$$\text{Maks } \theta_0 = 1/\beta_0$$

s.t.

$$\sum_{k \in N} \lambda_k x_{ik} \leq x_{i0} \quad \forall i \in M \quad (M2)$$

$$\sum_{k \in N} \lambda_k y_{rk} \geq \beta_0 y_{r0} \quad \forall r \in S$$

$$\sum_{k \in N} \lambda_k = 1$$

$$\lambda_k \geq 0 \quad \forall k \in N$$

Formülasyonda yer alan  $x_{i0}$  ve  $y_{r0}$   $KVB_0$  değerlendirilirken  $i$ . girdiyi ve  $r$ . çıktıyı ifade etmektedir. M1 ve M2 modelleri etkin ve etkin olmayan KVB'leri birbirinden ayırt etmekte ve etkin olmayan KVB'ler için 0-1 arasında etkinlik skoru belirlemektedir. Etkin KVB'ler için ise sadece 1 değerini üretmektedir.

Sinuany-Stern ve ark. [8] etkinlik skoru yerine her KVB'nin etkin olması için veri setinden çıkarılması gereken minimum KVB sayısı ile değerlendirme gerçekleştirmiştir. KVB  $k$ 'nin etkin olabilmesi için çıkarılması gereken minimum KVB sayısını  $D_k$  olarak tanımlıyoruz. Etkin KVB'ler için bu değer sıfır olurken,  $n$  veri setindeki KVB sayısı olmak üzere, etkin olmayan KVB'ler için bu değer 1 ile  $n-1$  arasında olmaktadır. Etkin olmayan KVB'lerde bu sayı ne kadar düşük ise o KVB daha çok tercih edilmektedir.  $D_k$  modeli (M3) aşağıda yer almaktadır.

$$D_k = \text{Min } Z = \sum_{j \in N} B_j$$

s.t.

$$\sum_{i \in M} v_i x_{ik} = 1 \quad (M3)$$

$$\sum_{r \in S} u_r y_{rk} = 1$$

$$\sum_{r \in S} u_r y_{rj} \leq \sum_{i \in M} v_i x_{ij} + B_j \times C \quad \forall j \in N \setminus \{k\}$$

$$B_j \in \{0,1\} \quad \forall j \in N \setminus \{k\}$$

$$u_r, v_i \geq 0, \quad \forall i \in M, r \in S$$

Burada C yeterince büyük pozitif bir sayıyı,  $v_i$  girdi ağırlıklarını ve  $u_r$  çıktı ağırlıklarını ifade etmektedir.  $B_j=1$  olduğunda, KVB  $j$ 'nin ağırlıklı çıktıların ağırlıklı girdilerden büyük olduğu anlamına gelmektedir. Diğer bir ifade ile, KVB  $k$ 'nın etkin olabilmesi için veri setinden çıkarılması gereken her KVB  $j$ 'nin  $B_j$  değerinin 1 olması gerekmektedir. M3 modelinde amaç fonksiyonu, veri setinden çıkarılması gereken minimum KVB sayısını bulur ve böylece KVB  $k$ 'nin etkinliği 1'e ulaşabilir.

Köksalan ve Tuncer [9] ise etkin olmayan KVB'leri sıralamak için The Area of the Efficiency Score Graph (AES) yöntemini önermişlerdir. AES yöntemi, bir KVB değerlendirme altında iken  $(0, \dots, D_k)$  tane KVB'nin veri setinden çıkarılması ile etkinlik değişimini incelemektedir. Yöntemde KVB'ler veri setinden çıkarıldıkça yüksek etkinlik düzeylerini koruyan ve etkinlik puanlarını daha hızlı bir şekilde geliştirmeyi başaran birimler daha üst sıralarda kendilerine yer bulabilmektedir. Aşağıda AES modeli (M4) yer almaktadır.

$$\rho_{kt} = Maks Z = \sum_{r \in S} u_r y_{rk}$$

s.t.

$$\sum_{i \in M} v_i x_{ik} = 1 \quad (M4)$$

$$\sum_{r \in S} u_r y_{rk} \leq 1$$

$$\sum_{r \in S} u_r y_{rj} \leq \sum_{i \in M} v_i x_{ij} + B_j \times M \quad \forall j \in N \setminus \{k\}$$

$$\sum_{j \in N} B_j \leq R_k$$

$$B_j \in \{0,1\} \quad \forall j \in N \setminus \{k\}$$

$$u_r, v_i \geq 0, \quad \forall i \in M, r \in S$$

Model herhangi bir KVB'nin veri setinden çıkarılmasına izin vererek çıktı maksimizasyonunu sağlamaktadır. Modelde yer alan  $R_k$  parametresi, çıktı maksimizasyonunu sağlamak için veri setinden çıkarılan KVB sayısını ifade etmektedir.  $R_k$  parametresi  $(0, \dots, D_k)$  arasında değerler almaktadır. Modelde yer alan  $\rho_{kt}$  karar değişkeni,  $t = 1, \dots, D_k$  olmak üzere  $t$  veri setinden çıkarılan KVB sayısı iken KVB  $k$ 'nin etkinlik skorunu ifade etmektedir. Etkin olmayan KVB'leri sıralamak için aşağıda yer alan formülasyon ile AES skoru elde edilmektedir. KVB'nin AES skoru ne kadar büyük ise o KVB tercih edilmektedir.

$$AES = \sum_{t=0}^{D_k} \rho_{kt} / n$$

## 2.2. Etkin KVB'lere İlişkin Modeller

Klasik modellerin etkin KVB'leri birbirinden ayırt edememesi ve sıralayamaması üzerine Andersen ve Petersen [3] tarafından Süper Etkinlik (SE) modeli geliştirilmiştir. Etkin KVB'leri sıralayan SE modeli, etkin olmayan KVB'ler için klasik modeller ile aynı skoru üretmekte ve KVB'leri bu skora göre sıralamaktadır. SE ve benzeri modeller etkin KVB'ler için ayrı bir sıralama prosedürü içermesine rağmen etkin olmayan KVB'leri de sıraladığından dolayı bu modeller tam sıralamaya ilişkin modeller bölümünde anlatılacaktır.

Jahanshahloo ve ark. [10], ekstrem etkin KVB'leri sıralamak için değerlendirme altında olan KVB'yi, kullanılan girdi sayısı  $m$  ve çıktı sayısı  $r$  olmak üzere, tüm girdilere karşılık gelen tüm çıktılarının kümesi olarak tanımlanan üretim imkanları kümesinden çıkarmış ve  $l_1$  normda etkinlik skorunu ölçen bir model önermiştir. Diğer yandan geliştirilen model, doğrusal olmayan programlama ile ifade edildiğinden çözümü zordur. Aşağıda  $l_1$  norm modeli (M5) yer almaktadır.

$$\begin{aligned}
& \text{Min} \sum_{i \in M} |x_i - x_{ik}| + \sum_{r \in S} |y_r - y_{rk}| \\
& \text{s.t.} \\
& \sum_{j \in N \setminus \{k\}} \lambda_j x_{ij} \leq x_i \quad \forall i \in M \\
& \sum_{j \in N \setminus \{k\}} \lambda_j y_{rj} \geq y_r \quad \forall r \in S \\
& x_i \geq 0, y_r \geq 0, \quad \forall i \in M, r \in S \\
& \lambda_j \geq 0 \quad \forall j \in N \setminus \{k\}
\end{aligned} \tag{M5}$$

Rezai Balf ve ark. [11], ekstrem etkin KVB'leri sıralamak için değerlendirilme aşamasında olan KVB'yi üretim imkanları kümesinden çıkarmış ve  $l_\infty$  normda etkinlik skorunu ölçen bir model önermiştir.  $k$  değerlendirme altında olan KVB olmak üzere  $\vartheta_k$  karar değişkeni girdi ve çıktılardaki minimum uzaklığı ifade etmektedir. Model ile elde edilen  $\vartheta_k$  değerlerin, n büyükten küçüğe sıralanması ile bir sıralama elde edilmektedir. Önerilen model her zaman olurlu çözümler üretmektedir. Aşağıda  $l_\infty$  norm modeli (M6) yer almaktadır.

$$\begin{aligned}
& \text{Min} \vartheta_k \\
& \text{s.t.} \\
& \vartheta_k \geq \sum_{j \in N \setminus \{k\}} \lambda_j x_{ij} - x_{ik} \quad \forall i \in M \\
& \vartheta_k \geq y_{rk} - \sum_{j \in N \setminus \{k\}} \lambda_j y_{rj} \quad \forall r \in S \\
& \vartheta_k \geq 0, \lambda_j \geq 0 \quad \forall j \in N \setminus \{k\}
\end{aligned} \tag{M6}$$

Ziari ve Raissi [12], ekstrem etkin KVB'leri sıralamak için değerlendirme aşamasında KVB'ler arasındaki mesafeyi en aza indirgeyerek etkinlik skorunu ölçen bir model önermiştir. Aşağıda önerilen model (M7) yer almaktadır. Burada girdi yönünde  $\alpha = (\alpha_1, \dots, \alpha_m)$ , çıktı yönünde  $\gamma = (\gamma_1, \dots, \gamma_m)$  ve KVB'lerin ağırlıkları için  $\lambda = (\lambda_1, \dots, \lambda_{k-1}, \dots, \lambda_k)$  modelin karar değişkenleri olarak tanımlanmıştır.

$$\begin{aligned}
& \text{Min} \sum_{i \in M} \alpha_i + \sum_{r \in S} \gamma_r \\
& \text{s.t.}
\end{aligned}$$

$$\sum_{j \in N \setminus \{k\}} \lambda_j x_{ij} \leq x_{ik} - \alpha_i \quad \forall i \in M \quad (M7)$$

$$\sum_{j \in N \setminus \{k\}} \lambda_j y_{rj} \geq y_{rk} + \gamma_r \quad \forall r \in S$$

$$\alpha_i \geq 0, \gamma_r \geq 0, \quad \lambda_j \geq 0 \quad \forall j \in N \setminus \{k\}$$

Sharifzadeh ve Ziari [13] ise etkin KVB'leri sıralamak için değerlendirme aşamasında KVB'ler arasındaki girdi ve çıktı yönlerinde en fazla mesafeyi en aza indirgeyen bir model önermiştir. Aşağıda önerilen model (M8) yer almaktadır. Burada  $\varphi_1, \varphi_2$  girdi ve çıktı yönleri olmak üzere,  $\lambda = (\lambda_1, \dots, \lambda_{k-1}, \dots, \lambda_k)$  modelin karar değişkenleridir. Model ile değerlendirilen KVB'nin etkinlik skoru ne kadar yüksek ise o kadar tercih sebebidir.

$$\text{Min } Z = \text{Max } \{\varphi_1, \varphi_2\}$$

s.t.

$$\sum_{j \in N \setminus \{k\}} \lambda_j x_{ij} \leq x_{ik} + \varphi_1 \quad \forall i \in M \quad (M8)$$

$$\sum_{j \in N \setminus \{k\}} \lambda_j y_{rj} \geq y_{rk} - \varphi_2 \quad \forall r \in S$$

$$\varphi_1 \geq 0, \quad \varphi_2 \geq 0, \quad \lambda_j \geq 0 \quad \forall j \in N \setminus \{k\}$$

Jahanshahloo ve ark. [14], etkin KVB'leri sıralamak için Çapraz Bağımlılık (Cross Dependence) modelini geliştirmiştir. Model, etkin bir KVB'nin ( $b \in J_e$ ) referans setinden çıkarılması ile etkin olmayan KVB'nin ( $a \in J_n$ ) yeni oluşan etkin sınıra daha yakın olması mantığından ortaya çıkmıştır. KVB a'nın etkin sınıra daha yakın olması etkinlik skorunun artması anlamına gelmektedir. Aşağıda Çapraz Bağımlılık modeli (M9) yer almaktadır. Burada etkin KVB'ler kümesi  $J_e$  ve etkin olmayan KVB'ler kümesi  $J_n$ 'dir.  $\delta_{a,b}$  KVB b çıkarıldıktan sonra a'nın aldığı yeni etkinlik skorunu ifade etmektedir.

$$\text{Maks } \delta_{a,b}$$

s.t.

$$\sum_{k \in J_e \setminus \{b\}} \lambda_k x_{ik} \leq x_{ia} \quad \forall i \in M \quad (M9)$$

$$\sum_{k \in J_e \setminus \{b\}} \lambda_k y_{rk} \geq \delta_{a,b} y_{ra} \quad \forall r \in S$$

$$\lambda_k \geq 0 \quad \forall k \in N \setminus \{b\}$$

Etkin KVB'leri sıralamak için aşağıda yer alan formülasyon ile sıralama skoru elde edilmektedir. KVB'nin bu skoru ne kadar büyük ise o KVB tercih edilmektedir. Burada  $a \in J_n$ ,  $b \in J_e$  ve  $\tilde{n}$  ise  $J_n$  kümesinde yer alan DMU sayısını ifade etmektedir.

$$\Omega_b = \frac{\sum_{a \in J_n} \delta_{a,b}}{\tilde{n}}$$

Shetty ve Pakkala [15] ise etkin KVB'leri sıralamak için sanal (ortalama) bir KVB'den yararlanmıştır. Bu sanal KVB'nin girdi ve çıktı değerleri, tüm KVB'lerin girdi ve çıktılarının ortalamından oluşmaktadır. Model, etkin bir KVB'nin ( $b \in J_e$ ) referans setinden çıkarılması ile sanal KVB'nin yeni oluşan etkin sınıra daha yakın olması mantığından ortaya çıkmıştır. Sanal KVB'nin etkin sınıra daha yakın olması etkinlik skorunun artması anlamına gelmektedir. Aşağıda önerilen model (M10) yer almaktadır. Burada etkin KVB'ler kümesi  $J_e$ 'dir.

*Maks*  $\delta_{sanal,b}$

s.t.

$$\sum_{k \in J_e \setminus \{b\}} \lambda_k x_i \leq x_{i,sanal} \quad \forall i \in M \quad (M10)$$

$$\sum_{k \in J_e \setminus \{b\}} \lambda_k y_{rk} \geq \delta_{sanal,b} y_{rsanal} \quad \forall r \in S$$

$$\lambda_k \geq 0 \quad \forall k \in N \setminus \{b\}$$

$\delta_{sanal,b}$  karar değişkeni b çıkarıldıktan sonra sanal KVB'nin aldığı yeni etkinlik skorunu ifade etmektedir. Etkin KVB'ler M10 modeli kullanılarak elde edilen skor ile büyükten küçüğe doğru sıralanmaktadır.

Akrabian [16] etkin KVB'ler arasında ekstremetkin KVB'leri sıralamaya yönelik bir model önermiştir. Model, aşırı etkin KVB'nin üretim imkanları kümesinden çıkarılması ile KVB'ler arasındaki mesafeyi girdi ve çıktı eksenleri boyunca ölçmektedir. Jahanshahloo ve ark. [17], etkin KVB'leri sıralamak için gradyan çizgisini kullanan bir model önermiştir.



### 2.3. Tam Sıralamaya İlişkin Modeller

Tezin bu bölümünde etkin ve etkin olmayan KVB'leri sıralamaya yönelik prosedürler içeren çalışmalara değinilmiştir. Literatürde birçok varyasyonu ve uygulaması bulunan Çapraz Etkinlik (Cross Efficiency) modeli Doyle & Green [18] tarafından tam sıralama elde etmek için geliştirilmiştir. Model, KVB'leri sadece kendi ağırlıkları ile değil set içindeki tüm KVB'lerin ağırlıkları ile değerlendirmektedir. Bir KVB'nin iyi skor elde etmesi için tüm KVB'lerin ağırlıkları ile olumlu bir performansa sahip olması gerekmektedir. Bu yaklaşımın bir sonucu olarak, her KVB'nin farklı bir skoru vardır ve KVB'ler için tam sıralama yapılması mümkündür. Lim ve ark. [19] ise Çapraz Etkinlik VZA modelini borsada portfolyo seçimine uygulamıştır.

Tam sıralama gerçekleştirmek için kullanılan yöntemlerden bir diğeri ise Andersen ve Petersen [3] tarafından önerilen SE modelidir. Etkin ve etkin olmayan KVB'leri sıralamak için en yaygın yöntem olarak kullanılan SE modelinde, etkin KVB değerlendirilirken etkin sınırdan çıkarılmakta ve oluşan yeni etkin sınırın dışında kalarak 1'in üzerinde skor almaktadır. Etkin olmayan KVB'ler ise klasik modeller ile aynı skoru elde etmektedir. Aşağıda CRS varsayımı altındaki SE modeli (M11) yer almaktadır.

$$\text{Maks } \theta'_0 = 1/\beta'_0 \\ \text{s.t.}$$

$$\sum_{k \in N \setminus \{0\}} \lambda_k x_{ik} \leq x_{i0} \quad \forall i \in M \quad (\text{M11})$$

$$\sum_{k \in N \setminus \{0\}} \lambda_k y_{rk} \geq \beta'_0 y_{r0} \quad \forall r \in S$$

$$\lambda_k \geq 0 \quad \forall k \in N \setminus \{0\}$$

Yukarıda yer alan modele  $\sum_{k \in N} \lambda_k = 1$  kısıtının eklenmesi ile model, VRS varsayımı altında çalışmaktadır. VRS varsayımı altında girdi ve çıktı odaklı çalışan SE modelinde olursuz çözümler oluşabilmektedir.

Cook ve ark. [20] ve Lovell ve Rouse [21] SE modelinde oluşan olursuz çözümleri ortadan kaldırmak adına modeller önermişlerdir. Bir KVB için SE modeli olurlu çözüm üretmiş ise önerilen modeller de SE modeli ile aynı etkinlik skorunu üretmektedir. SE modeli ile

değerlendirilen KVB için olursuz çözüm üretilmesi durumunda ise önerilen modeller ile olurlu çözümler elde edilmektedir.

Chen [22] tarafından gerçekleştirilen çalışmada VRS varsayımı altında oluşan olursuz çözümler için hem girdi hem de çıktı odaklı olarak iki aşamalı bir model önerilmiştir. Bir KVB girdi odaklı modelde olurlu değil ise çıktı odaklı model de olurlu olmalıdır. Olursuz çözüme sahip bir KVB için girdi eksikliği veya çıktı fazlalıklarından birisi söz konusudur. SE modeli ile oluşan olursuz çözümlerin en yüksek etkinliğe sahip KVB'lerde görüldüğüne değinilmiştir.

Lee ve ark. [23] ise olursuz çözümlerin sadece girdi eksikliği veya çıktı fazlalığından değil aynı anda her ikisinden de kaynaklanacağını vurgulamıştır. Önerilen modelde öncelikle KVB'nin VRS varsayımı altında çalışan SE modelinde olurlu çözüm üretilip üretilmediğine bakılmaktadır. Model olurlu çözüm üretmiş ise SE modeli ile etkinlik skorları ölçülmektedir. Fakat SE modeli olursuz ise model, girdi eksikliği ve çıktı fazlalığına göre etkinlik skoru ölçmektedir. İki aşamalı olarak gerçekleştirilen bu yaklaşım Chen ve Liang [24] tarafından önerilen model ile tek aşamaya indirgenmiştir. Lee ve ark. tarafından önerilen iki aşamalı model ile Chen ve Liang tarafından önerilen tek aşamalı model Lee ve Zhu [25] tarafından tekrar incelenmiş ve modellerin pozitif girdiler sonucunda olurlu çözümler ürettiği fakat bazı girdilerin sıfır değerini alması durumunda olursuz çözümler ürettiği ispatlanmıştır. Amirteimoari ve Kardrostami [26], oluşan olursuz çözümler için mesafe ölçümüne dayalı bir model önermiştir.

Mehrabian ve ark. [27], SE modelinde oluşan olursuz çözümleri ortadan kaldırmak adına MAJ modelini önermiştir. Aşağıda MAJ modeli (M12) yer almaktadır. Model tarafından elde edilen etkinlik skoru ne kadar yüksek ise o kadar tercih sebebidir.

$$\text{Min } 1 + w$$

s.t.

$$\sum_{j \in N \setminus \{k\}} \lambda_j x_{ij} \leq x_{ik} + w \quad \forall i \in M \quad (\text{M12})$$

$$\sum_{j \in N \setminus \{k\}} \lambda_j y_{rj} \geq y_{rk} \quad \forall r \in S$$

$$\lambda_j \geq 0 \quad j \in N \setminus \{k\}$$

Chen ve Deng [28] tarafından gerçekleştirilen çalışmada ise etkin ve etkin olmayan KVB'ler için bir sıralama yöntemi önerilmektedir. Yöntemde öncelikle süper BCC modeli ile KVB'ler değerlendirilmiştir. Olursuz çözüm üreten ve etkinlik skoru 1 veya 1'in üzerinde skorlar alan KVB'ler  $V_E$  kümesinde yer alırken aksi durumda olan KVB'ler  $V_I$  kümesinde yer almıştır. Aşağıda yer alan girdi odaklı VRS varsayımı altında çalışan model (M13) ile etkin KVB'nin (b) veri setinden çıkarılması ile her bir etkin olmayan KVB'nin (a) etkinlik skoru hesaplanmıştır.

*Maks*  $\delta_{a,b}$

s.t.

$$\sum_{k \in V_E \setminus \{b\}} \lambda_k x_{ik} \leq x_{ia} \quad \forall i \in M \quad (M13)$$

$$\sum_{k \in V_E \setminus \{b\}} \lambda_k y_{rk} \geq \delta_{a,b} y_{ra} \quad \forall r \in S$$

$$\sum_{k \in V_E \setminus \{b\}}^n \lambda_k = 1$$

$$\lambda_k \geq 0 \quad \forall k \in V_E \setminus \{b\}$$

Etkin ve etkin olmayan KVB'ler için sırası ile  $w_b$  ve  $w_a$  ağırlıkları önerilen ağırlık belirleme modelleri ile elde edilmiştir. Aşağıda yer alan formülasyon kullanılarak elde edilen  $E_a$  ve  $E_b$  skorları kendi kümelerinde büyükten küçüğe doğru sıralanmış, etkin ve etkin olmayan KVB'ler için tam bir sıralama elde edilmiştir.

$$E_a = \sum_{b \in V_E} w_b \delta_{a,b}$$

$$E_b = \sum_{a \in V_I} w_a \delta_{a,b}$$

Du ve ark. [29] tarafından gerçekleştirilen çalışmada ise öncelikle M1 modeli ile etkin ve etkin olmayan KVB'ler birbirinden ayrılmıştır. M9 modeli kullanılarak etkin bir KVB'nin veri setinden çıkarılması ile etkin olmayan KVB'nin aldığı yeni etkinlik skoru hesaplanmıştır. Aşağıdaki formülasyon kullanılarak etkin KVB'nin etkin olmayan KVB üzerindeki etkinlik iyileşmesi hesaplanmıştır.

$$\tau_b = \sum_{a \in J_n} \delta_{a,b} - \theta_a \quad b \in J_e$$

Etkin bir diğ er KVB'nin (c) veri setinden çıkarılması ile etkin olmayan KVB'nin yeni etkinlik skoru aşağıda yer alan model (M14) ile hesaplanmıştır.

*Maks*  $\delta_{a,b,c}$

s.t.

$$\sum_{k \in J_e \setminus \{b,c\}} \lambda_k x_{ik} \leq x_{ia} \quad \forall i \in M \quad (M14)$$

$$\sum_{k \in J_e \setminus \{b,c\}} \lambda_k y_{rk} \geq \delta_{a,b,c} y_{ra} \quad \forall r \in S$$

$$\sum_{k \in J_e \setminus \{b,c\}}^n \lambda_k = 1$$

$$\lambda_k \geq 0 \quad \forall k \in J_e \setminus \{b,c\}$$

Bu model ile etkin KVB'lerin birbirleri üzerindeki etkileri analiz edilebilmektedir. Fakat M14 modeli ile etkinlik skoru en fazla 1 değerini alabilmektedir. Diğ er bir ifade ile, b'nin veri setinden çıkarılması ile a'nın yeni etkinlik skoru 1'e ulaşmış ise c'nin etkinlik iyileşmesi ölçülememektedir. c'nin veri setinden çıkarılması ile b'nin etkinlik iyileşmesi aşağıda yer alan formülasyon ile hesaplanmaktadır.

$$\tau_{c,b} = \sum_{a \in J_n} \delta_{a,b,c} - \delta_{a,b}$$

Etkin KVB'ler için elde edilen etkinlik iyileşmeleri toplanarak tek skor elde edilmiştir. Önerilen yöntem ile etkin KVB'ler *I* skoruna göre sıralanırken etkin olmayan KVB'ler CCR skoru ile sıralanmıştır.

$$\pi_b = \sum_{c \in J_e \setminus \{b\}} |\tau_{c,b} - \tau_c| \quad b \in J_e$$

$$I_b = \tau_b + \pi_b$$

Izadikhah ve Saen [30] tarafından gerç ekleştirilen çalışmada ise etkin olmayan KVB'lerin girdi ve çıktıları kullanılarak sanal KVB elde edilmiştir. Önerilen yöntemde öncelikle M1

modeli kullanılarak etkin ve etkin olmayan KVB'ler birbirinden ayırt edilmektedir. M10 modeli kullanılarak etkin KVB'nin veri setinden çıkarılması ile sanal KVB'nin aldığı yeni etkinlik skoru hesaplanmaktadır. Etkin bir diğer KVB'nin (c) veri setinden çıkarılması ile sanal KVB'nin yeni etkinlik skoru aşağıda yer alan model (M15) ile hesaplanmıştır.

*Maks*  $\delta_{sanal,bc}$   
s.t.

$$\sum_{k \in J_e \setminus \{b,c\}} \lambda_k x_i \leq x_{isanal} \quad \forall i \in M \quad (M15)$$

$$\sum_{k \in J_e \setminus \{b,c\}} \lambda_k y_{rk} \geq \delta_{sanal,bc} y_{rsanal} \quad \forall r \in S$$

$$\lambda_k \geq 0 \quad \forall k \in N\{b, c\}$$

Bu model ile etkin KVB'lerin birbirleri üzerindeki etkileri analiz edilebilmektedir. Fakat M15 modeli ile etkinlik skoru en fazla 1 değerini alabilmektedir. Diğer bir ifade ile, b'nin veri setinden çıkarılması ile sanal KVB'nin yeni etkinlik skoru 1'e ulaşmış ise c'nin etkinlik iyileşmesi ölçülememektedir. c'nin veri setinden çıkarılması ile b'nin etkinlik iyileşmesi Du ve ark. [29] tarafından önerilen yöntem ile aynı adımları içermektedir.

#### 2.4. Çevre ile İlgili Çalışmalar

Son yıllarda bazı gelişmekte olan ülkeler aşırı tüketim anlayışı ile aşırı üretim gerçekleştirerek hızlı ve istikrarlı bir gelişme göstermiştir. Bu gelişmenin temelini oluşturan ekonomik faaliyetler için genellikle petrol, kömür gibi kütle fosil yakıtları tüketilmektedir. Bu tüketimin doğal bir sonucu olarak CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub>, sera gazı gibi istenmeyen çıktılar üretilmektedir. Çevreyi olumsuz şekilde etkileyen bu çıktılarından dolayı küresel ısınma, toprak-hava-su kirliliği, anormal yağışlar, kuraklık, tayfunlar ve fırtınalar gibi olaylar ortaya çıkmaktadır. Bu olaylar herhangi bir ülkenin ekonomik büyümesi üzerinde olumsuz etki yaratabileceği gibi var olan düzenin sürdürülebilmesini de zorlaştırmaktadır. Ayrıca bu maddeler, küresel iklimi ve insanların yaşam koşullarını ciddi şekilde etkilemektedir ve doğal ekolojik ortamı yok etmektedir [31].

VZA uygulanmaya başlanıldığı andan itibaren günümüze kadar geçen sürede birçok farklı alanda kullanılmıştır. Son yıllarda en sık tercih edilen konulardan birisi de çevre olmuştur. Çalışmamızda ele aldığımız çevre konusu ile ilgili literatürde var olan çalışmalarda

genellikle girdilerin minimize edilmesi veya çıktıların maksimize edilmesi klasik anlayışının dışına çıkmış ve bazı girdilerin maksimize edilmesi (geri dönüşüm ürünlerinin kullanılması) veya bazı çıktıların minimize edilmesi (atık, karbon emisyonu vb.) üzerinde durulmuştur. Girdilerin maksimize edilmesi veya çıktıların minimize edilmesi durumu istenmeyen (undesirable, bad) girdi/çıkıtı olarak adlandırılmaktadır. İstenmeyen çıktıları yönelik birçok yöntem literatürde yer almaktadır. Bu yöntemler dolaylı ve doğrudan olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Dolaylı yöntemler ile istenmeyen çıktılar, belirlenen monoton indirgeme fonksiyonu ile dönüştürülerek istenen çıktı durumuna getirilir.  $\alpha$  istenmeyen çıktı olmak üzere, monoton indirgeme fonksiyonuna örnek olarak  $1/\alpha$  ve  $-\alpha$  ve  $\mu$  belirlenen sabit bir sayı olmak üzere  $\mu - \alpha$  verilebilir. Monoton indirgeme fonksiyonu ile dönüştürülen çıktının maksimize edilmesi, istenmeyen çıktının minimize edilmesi anlamına gelmektedir [32]. Ayrıca etkin olmayan bir KVB'nin etkinliğe ulaşabilmesi için istenmeyen çıktısı ve istenen girdisi azalmalı ya da istenen çıktısı ile istenmeyen girdisinin artması gerekmektedir [33]. Doğrudan yöntemlerde ise istenmeyen çıktılar direkt olarak kullanılmaktadır. Fakat bu yöntemlerde bazı varsayımlar söz konusudur [34]. Örneğin, istenmeyen çıktının girdi olarak ele alınması bir varsayımdır [35].

Geçtiğimiz yıllar boyunca Çin'in ekonomik durumundaki hızlı ilerleyiş doğal kaynakların kötü bir şekilde kullanılmasına sebep olmuştur. Bundan dolayı ciddi bir çevre kirliliği sorunu ortaya çıkmıştır [36]. Wu ve ark. [37], Çin'in hızlı ekonomik gelişiminden dolayı ülkenin kirlilik ve atık gibi çevresel sorunlarının arttığını vurgulamış ve aşırı kirliliği önlemek adına sabit bir toplam kirliliğe izin vermiştir. Çin'de gerçekleştirilen çalışmada eğer bir eyalet artan kirlilik gösteriyor ise toplam kirlilik seviyesini korumak için diğer eyaletler kirliliklerini aynı miktarda azaltmaktadır. Önerilen yöntem ile ekonomik olarak gelişmiş eyaletler daha az gelişmiş eyaletlere göre iyi etkinlik skoruna sahiptir. Özellikle tüm etkin KVB'ler gelişmiş eyaletlerden oluşmaktadır.

Sueyoshi ve Yuan [38], hava kirliliğini önlemek adına havada bulunan katı parçacıkların ve sıvı damlacıkların boyutlarını gösteren PM2.5 ve PM10 istenmeyen çıktıları ele almıştır. VZA modeli kullanılan çalışmada Çin hükümetinin ekonomik kaynaklarını kuzeybatı bölgesinde konumlanan şehirlere dağıtması gerektiği önerilmiştir. Ayrıca büyük şehirlerde çevresel kirliliği önlemeye yönelik enerji tüketimine ilişkin daha katı uygulamalar yapılması gerektiği önerilmiştir.

Bi ve ark. [39], Çin'de gerçekleştirilen çevre düzenlemesi sonucunda termal enerji üretiminin etkinlik değişimi üzerine gevşek değişken tabanlı (slacks based model – SBM) bir VZA modeli önermiştir. Çalışmada öncelikle çevresel kısıtlar olmadan değerlendirme yapılmıştır. Böylelikle çevresel kısıtların etkinliği nasıl etkilediği analiz edilmiş ve enerji etkinliği ile ayrıştırılması sağlanmıştır. Çalışmada NO<sub>x</sub> ve SO<sub>2</sub> emisyonu ile baca dumanı (soot) istenmeyen çıktı olarak ele alınmıştır. Sonuç olarak termal üretim sektörünün enerji etkinliğinin çevresel etkinlikten etkilendiği görülmüştür.

Sueyoshi ve Yuan [40], ekonomik ve çevresel performansın sosyal sürdürülebilirliği için bir yaklaşım önermiştir. Önerilen yaklaşım ile dört önemli bulgu ele alınmıştır. Bu bulgulardan ilki, Çin hükümetinin geçmişte ekonomik refahı önemsemesi ancak çevre kirliliğini yeterince önemsememesidir. İkincisi ise sosyal sürdürülebilirliğin iki bileşeni olan ekonomik ve çevresel performansı geliştirmek için artan bir eğilimin olduğudur. Üçüncü olarak, Çin hükümetinin ekonomi ve enerji politikasını geliştirmek için özellikle büyük illere odaklanmasıdır. Bu nedenle, hükümetin ekonomi ve enerji kaynaklarını diğer illere tahsis etmesi, Çin'in endüstriyel ve bölgesel dengesizliklerini azaltabilmesi açısından önemli bir strateji olmaktadır. Sonuç olarak, Çin sosyal sürdürülebilirlik düzeyini artırmaktadır. Son olarak, metropol alanlarda trafik kontrolüne ve yakıt karışımına (kömür, doğal gaz kullanımı ve güneş, su ve nükleer gibi yenilenebilir enerji tüketimi) ilişkin sıkı bir düzenlemeye ihtiyaç duyulmaktadır.

Bian ve ark. [41], kentlerdeki hızlı ekonomik büyümenin bir sonucu olarak ortaya çıkan su kirliliği konusunu, su kullanımı ve atık su arındırma başlıkları ile ele almıştır. Çin'de gerçekleştirilen çalışmada bölgelerin etkinliği VZA yaklaşımına model ile ölçülmüştür. Wu ve ark. [42] ise çöp, atık, birikinti ve diğer atık (katı, sıvı, yarı akışkan ve gaz formda) verilerinden bir istenmeyen çıktı oluşturmuş ve önerilen bulanık VZA modeli ile termal güç üreten firmaları değerlendirmiştir. Li ve Shi [43] ise atık gaz, atık su ve endüstriyel atığı dikkate almıştır. Çin'de bulunan 36 alt sektörü 4 kategoride toplamış (madencilik sektörü, hafif sanayi, ağır sanayi ve elektrik, gaz ve su endüstrisi) ve önerilen model ile değerlendirmiştir.

Wu ve ark. [44], istenmeyen çıktıları değerlendirmek için iki aşamalı bir model önermiştir. Önerilen modelin ilk aşamasında girdiler değerlendirilirken istenmeyen çıktılar ikinci aşamanın girdileri olarak kabul edilmiştir. Çalışmada istenmeyen çıktı olarak atık su, atık gaz ve katı atık belirlenmiştir. Wu ve ark. da [45] istenmeyen çıktıları değerlendirmek için

iki aşamalı bir sistem önermişlerdir. İki aşamalı sistem, kısa vadeli çıkarların olduğu üretim alt sistemi ve uzun vadeli çıkarların olduğu kirlilik arıtma alt sisteminden oluşmaktadır. Çalışmada çıkar tercih parametresi ile etkinlik puanlarının değişimi arasındaki ilişki gösterilmiştir.

Yang ve Pollitt [46], çevre faktörünü düşünerek kömür ile çalışan enerji santrallerini değerlendirmiştir. Çalışmada SO<sub>2</sub> emisyonu istenmeyen çıktı olarak ele alınmış ve KVB'lerin performanlarını etkileyen ve aynı zamanda yönetimin kontrolü dışında olan faktörleri ifade eden kontrol edilemeyen değişkenler önerilen modele dâhil edilmiştir. Yang ve Pollitt [47] ise kömür ile çalışan enerji santrallerinin çevresel performanslarını, SO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> istenmeyen çıktıları ile değerlendirmiştir. Liu ve ark. [48], kömür ile çalışan enerji santrallerinin çevresel etkinliklerini değerlendirmek adına çapraz etkinlik yaklaşımını kullanmıştır. SO<sub>2</sub> emisyonu istenmeyen çıktı olarak belirlenmiştir. Değerlendirmede Çin'de bulunan ve kömür ile çalışan enerji santrallerinden çoğunun iyi performansa sahip olmadığı sonucu ortaya çıkmıştır.

Ozkan ve Ulutas [49] ise Türkiye'de faaliyet gösteren 11 çimento üretim tesisinin görece etkinliğini ölçmüştür. Tesis yeri probleminde nakliye ve arazi maliyetinin en aza indirilmesi, tesisin şehre yakın olması, uzun vadeli genişleme planı yapılması gibi çeşitli faktörler dikkate alınmaktadır. Fakat çimento üretimi gibi tesislerde, makinelerin çalışması ve ocaklarda gerçekleşen patlamalar sonucunda; toz, gaz, gürültü ve titreşim gibi kirlilik emisyonları ile çevreye zarar verilmektedir. Bundan dolayı çalışmada tesislerin hastaneye ve okula olan uzaklığı ve CO<sub>2</sub> miktarı istenmeyen çıktı olarak ele alınmıştır. Öncelikle klasik model ile değerlendirilen tesisler, istenmeyen çıktılar ve ağırlıklar eklenerek tekrar değerlendirilmiştir. Klasik yaklaşım ve istenmeyen çıktılar ile kısıtlamaların eklendiği durum ile elde edilen sıralamalar arasında önemli farklılıklar söz konusudur.

Zhou ve ark. [50], istenmeyen çıktıların birim maliyetini azaltmak adına gölge fiyatı tahmini gerçekleştiren parametrik ve parametrik olmayan modelleri sistematik olarak incelemiştir. Sonuç olarak Çin ve büyük miktarlarda CO<sub>2</sub> emisyonuna sahip diğer büyük gelişmekte olan ülkelerin, küresel ısınmaya karşı artan endişesinin bir sonucu olarak çevre konusuna artan ilgisine vurgu yapılmıştır. Apergis ve ark. [51], seçtikleri 20 OECD ülkesini CO<sub>2</sub> emisyonu istenmeyen çıktısını kullanarak iki aşamalı SBM tabanlı model ile değerlendirmiştir. Chodakowska ve Nazarko [52], 24 Avrupa ülkesinin çevresel etkinliğini



önerilen model ile ölçmüş ve klasik VZA modeli ile karşılaştırmıştır. Jin ve ark. [53] ise literatürde var olan çalışmaların çoğunun çevresel performans değerlendirmesine yönelik rassal faktörleri göz ardı eden deterministik modeller olduğunu vurgulamıştır. Çalışmada rassal faktörleri göz önüne alan stokastik bir VZA modeli önerilmiştir. Önerilen model, Asya Pasifik Ekonomik İşbirliği (APEC) ekonomilerinin çevresel performansını değerlendirmede kullanılmıştır. CO<sub>2</sub> emisyonu istenmeyen çıktı olarak belirlenen çalışmada, APEC ekonomilerinin stokastik saf çevresel performansının rassal faktörlerden etkilendiği görülmüştür.

Valadkhani ve ark. [54], dünyanın CO<sub>2</sub> emisyonunun çoğunu oluşturan 46 ülkenin etkinliğini çok yönlü VZA yaklaşımı ile değerlendirmiştir. Kyoto Protokolü öncesi ve sonrası olarak ekonomik, çevre ve enerji yönleriyle ülkeler değerlendirilmiştir. Çoğu ülke, etkinlik puanını son dönemde artırmıştır. Ayrıca ekonomik ve çevresel etkinliğin arasında pozitif bir ilişki olduğu ancak çevresel etkinliğin belirli bir ekonomik etkinlik eşiğine ulaşmadan gerçekleştirilemeyeceği ortaya çıkmıştır. Vlontzos ve ark. [55], Avrupa Birliği ülkelerinin tarımsal enerji ve çevresel etkinliklerini CO<sub>2</sub> emisyonu ve brüt besin dengesi istenmeyen çıktıları ile değerlendirmiştir. Çalışmada en önemli bulgu, Almanya, İsveç ve Avusturya gibi güçlü çevre koruma standartlarına sahip ülkelerin Danimarka, Belçika, İspanya, Fransa ve İrlanda gibi ülkelere kıyasla tarımsal enerji ve çevre açısından daha düşük etkinlik skoruna sahip olmalarıdır.

Song ve ark. [56], çevresel etkinlik değerlendirmesine yönelik mevcut çalışmalarını gözden geçirmiştir. Çevresel etkinlik değerlendirmesinde istenmeyen çıktı konusunda birçok avantaja sahip olan VZA yönteminin sıklıkla tercih edildiğine değinmiştir.

## **2.5. Eğitim ve Diğer Alanlar ile İlgili Çalışmalar**

VZA uygulanmaya başlanıldığı andan itibaren günümüze kadar geçen sürede birçok farklı alanda kullanılmıştır. En sık tercih edilen alanlardan biri olan eğitim alanında teknoloji ile eğitim kurumlarının ilişkisi, öğrencilerin çevre ile olan ilişkileri, büyük veri setlerinde oluşan durumlar, farklı ülkelerin eğitim çıktılarının karşılaştırılması vb. konular üzerine çalışmalar bulunmaktadır [57]. Tezin bu bölümünde başta eğitim olmak üzere VZA'nın farklı alanlarda uygulamaları yer almaktadır.

Kao ve Pao [58] tarafından gerçekleştirilen çalışmada Tayvan'da bulunan 168 üniversite, uluslararası geçerliliği olan SCI/SSCI dergi yayınları ve atıfları ile Tayvan Ulusal Bilim

Konseyi tarafından finanse edilen proje sayısı dikkate alınarak değerlendirilmiştir. Değerlendirme sonucunda devlet üniversitelerinin genel olarak özel üniversitelerden daha iyi performans gösterdiği belirtilmiştir. Palomares-Montero ve Garcia-Aracil [59], son yıllarda üniversitelerin farklı gösterge sistemleri kullanması ile çok sayıda göstergenin ortaya çıktığını vurgulamış ve yüksek öğretim kurumlarının değerlendirilmesinde en önemli göstergelerin hangileri olduğunu tespit etmeye çalışmıştır. İspanya'da gerçekleştirilen çalışmada yüksek öğretim sistemindeki akademik ve idari uzmanların fikirleri alınmış ve fikir birliği oluşturmak için Delphi tekniği kullanılmıştır. Sonuç olarak çalışma, yüksek öğretim kurumlarının değerlendirilmesinde öncelikli kritik göstergelerin bir listesi sağlanmıştır. Kou ve Hung [60] ise Tayvan'da bulunan National Cheng Kung Üniversitesi'ndeki akademik bölümlerin etkinliklerini VZA ile değerlendirmiştir. Çalışmada ağırlıkları sınırlandırmak adına üniversitedeki üst düzey yöneticilerinin fikirlerinden yararlanılmıştır. Benzer özelliklere sahip bölümler etkinlik ve kümeleme analizi ile kategorize edilmiştir. Ayrıca etkinliği düşük olan bölümler için etkinliklerini artırmaya yönelik önerilerde bulunulmuştur.

Kong ve Fu [61], Tayvan'da bulunan özel ve kamuya açık olan işletme okullarının etkinliğini ölçmek için öğrenci bazlı performans değerlendirmesini içeren bir AR-DEA (Assurance Region Data Envelopment Analysis) modeli önermiştir. Önerilen model ile devlet okullarının ortalama olarak özel okullardan daha iyi performans gösterdiği sonucuna varılmıştır. Ancak, bazı özel işletme okullarının kamuya açık okullardan daha iyi etkinliğe sahip olduğu vurgulanmıştır. Kao [62] tarafından gerçekleştirilen çalışmada her üç yılda bir eğitim hedefi, öğretmenler, müfredatlar, ekipman ve yönetim olmak üzere 5 kategoride, fazla çaba ve harcama yapılarak değerlendirilen teknoloji kolejlerinin görece etkinlikleri VZA'nın basit bir versiyonu ile değerlendirilmiştir. Tayvan'da bulunan teknoloji kolejlerinin değerlendirilmesi sonucunda elde edilen bulgular ile hükümet değerlendirmesi uyumluluk göstermektedir.

Rahaiem [63] akademik araştırma etkinliğini ve araştırmacılar arasındaki akademik araştırma etkinliğinin farklılıklarını ortaya koymak adına 1990 ve 2012 yılları arasında yayımlanmış olan çalışmalarını sistematik bir şekilde incelemiştir. Ele alınan çalışmalarda kullanılan teknikler, girdi ve çıktılar oldukça farklılık göstermektedir. Bunun yanı sıra akademik araştırma etkinliğini artırmak ve araştırmacıların çabalarını daha iyi

yönlendirmek adına üniversite yöneticileri ve hükümet yetkililerine yardımcı olmak amacı ile çeşitli yollar önerilmiştir.

Avkiran [64] ise gerçekleştirdiği çalışmada VZA süper verimlilik tahminleri ile finansal oranlar arasındaki ilişkiyi ele almıştır. VZA uygulamalarının büyük çoğunluğu temel performans göstergeleri arasındaki ilişkiyi göz ardı ederken yapılan çalışmada, temel finansal oranların etkinlik tahminleri ile arasındaki ilişki temel alınmıştır. Çin'de yer alan bankalar üzerinde gerçekleştirilen uygulamada 9 süper etkinlik VZA modeli kullanılmıştır. Süper SBM modeli ile vergi sonrası kar ve ortalama toplam aktifler için en iyi kombinasyonlar elde edilmiştir. Premachandra [65] tarafından gerçekleştirilen çalışmada ise 1991-2004 yılları arasında iflas eden rassal olarak seçilmiş 1001 firmanın kurumsal başarısızlığı ve başarıyı öngörmek için iki sınır üzerine kurulu yeni bir değerlendirme endeksi geliştirilmiştir. İflas etme, iflas etmeme ve toplam öngörüler olarak ayrılan değerlendirmelerde VZA'nın başarılı firmaların iflas etme durumlarını değerlendirmede oldukça zayıf olduğunu belirtilmiştir. Önerilen model ile bu zayıflık kırılarak farklı  $\lambda$  değerleri için ölçümler gerçekleştirilmiştir.

Köksalan ve ark. [66] ise çok boyutlu alternatifleri esnek bir şekilde sıralayabilmek için karmaşık tam sayılı bir model önermişler ve MBA programları üzerinde örnek bir uygulama gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada çok boyutlu alternatiflerin sıralanmasında kullanılan yöntemlerde; verilerde, kriterlerin puanlarında ve ağırlık değerlerinde çok fazla özelliğin var olduğu ve bundan dolayı tam bir sıralama yapmanın doğru olmadığı belirtilmiştir. Buna paralel olarak önerilen model ile yeterince farklı alternatifler farklı kategorilere yerleştirilmiştir.

Minh ve ark. [67] ise SCI ve süper SCI adında iki model önermiş ve Vietnam'daki tarım bankacılığı şubeleri için bir uygulama gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada önerilen modelin SBM modelinde ortaya çıkan uygun olmayan çözümleri ortadan kaldırdığı ispatlanmış ve sonuçlar SBM modeli ile karşılaştırılmıştır.

Tez kapsamında incelenen literatür taramasında ele alınan yöntemler; etkin olmayan KVB'leri sıralamaya ilişkin yöntemler, etkin KVB'leri sıralamaya ilişkin yöntemler ve tam sıralamaya ilişkin yöntemler olarak gruplandırılmıştır. Ele alınan bazı yöntemlerin dezavantajları göz önüne alınarak tam sıralama gerçekleştirebilen iki yöntem önerilmiştir.

Önerilen yöntemler ve bu yöntemler için gerçekleştirilen analizler sonraki bölümde yer almaktadır.

### 3.YAPILAN ANALİZLER VE ÖNERİLEN MODELLER

Tezin bu bölümünde öncelikle CCR, SE,  $D_k$  ve CD modellerinin dezavantajlarını tartışmak ve önerdiğimiz Değişen Süper Etkinlik (Changed Super Efficiency - CSE) modelini geliştirmek adına 14 KVB'den oluşan örnek bir veri seti oluşturulmuştur. Bu veri seti kullanılarak  $D_k$  ve etkinlik değişimi üzerine yapılan analizler 6 maddede toplanmıştır. Analizlerin sonucunda M16 modeli geliştirilerek CSE yönteminin algoritmaları oluşturulmuştur. CSE yöntemi KVB'lerin ilk skorunu, diğer KVB'lere etkisini ve  $D_k$  bilgisini kullanan bir skor ile sıralama gerçekleştirmektedir. Böylelikle dışbükey kombinasyon olarak ifade edilebilen KVB'ler etkin KVB'ler arasında daha üst sıralarda yer alabilmektedir. Ayrıca kümelenen ve aykırı nokta olan KVB'ler adil bir şekilde değerlendirilmektedir. CSE yöntemi ile elde edilen sıralama CCR, SE,  $D_k$  ve CD modelleri ile elde edilen sıralamalar ile karşılaştırılmıştır.

Süper Etkinlik Skoru Alanı Grafiği (Area of Super Efficiency Score Graph - ASES) yöntemi için öncelikle 10 KVB'den oluşan örnek veri oluşturulmuş ve bu veride önerilen yöntem savunularak grafiksel analizler gerçekleştirilmiştir. ASES yöntemi ile başlangıçta etkin olan veya yöntemin herhangi bir iterasyonunda etkinliğe ulaşan KVB'nin etkinlik değişimi incelenmektedir. Ayrıca yöntem dışbükey kombinasyon olarak ifade edilen KVB'lerin diğer KVB'ler ile etkisini analiz edebilmektedir. Bundan dolayı bu KVB'ler etkinlik skorlarını 1'in üzerine çıkarabilmekte ve sıralamada kendilerini üst sıraya yerleştirebilmektedir. Oluşturulan örnek veri ile CCR, SE,  $D_k$  ve AES modelleri kullanılarak elde edilen sıralamalar karşılaştırılmıştır.

#### 3.1.CSE Modeli İçin Yapılan Analizler

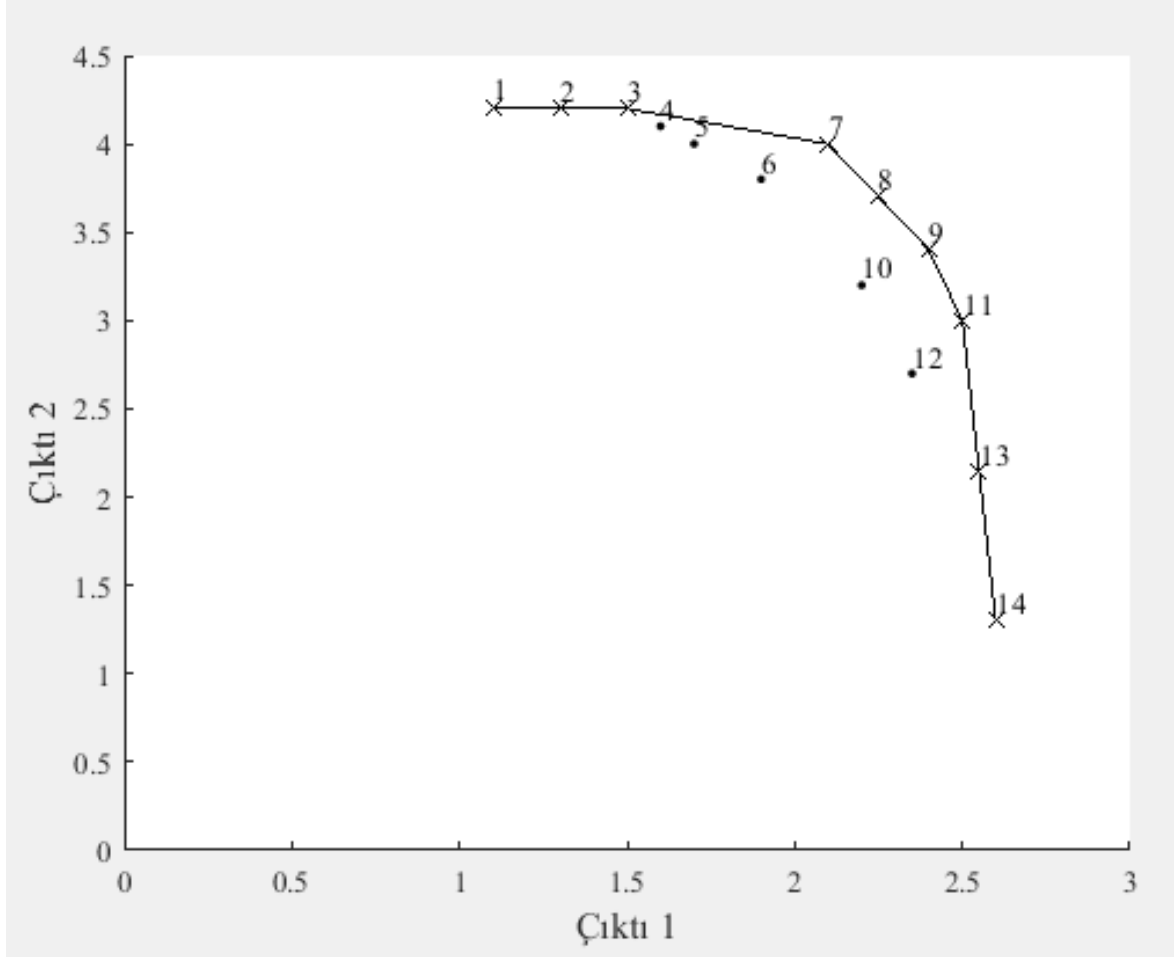
Bu bölümde, KVB'lerin etkinlik puanları ve birbirleri üzerindeki etkilerini analiz edebilmek adına örnek bir veri seti oluşturulmuştur. Analizleri gerçekleştirebilmek için girdilerin tüm KVB'ler için aynı olduğu, çıktıların ise çıktı 1 ve çıktı 2 olarak ele alındığı 14 KVB'den oluşan örnek veri seti kullanılmıştır. Oluşturulan örnek veri setine ait girdiler ve çıktılar Çizelge 3.1.1'de yer almaktadır. Tartışmalar için tezin literatür bölümünde yer alan etkin olmayan KVB'lerin sıralamasında sıklıkla kullanılan CCR, farklı bir yaklaşım sunan  $D_k$  ve etkin KVB'leri sıralamada sıklıkla kullanılan SE modelleri kullanılmıştır.

Çizelge 3.1.1. 14 KVB'den oluşan örnek veri setine ait girdi ve çıktılar

KVB	Girdi	Çıktı 1	Çıktı 2
1	1	1,10	4,21
2	1	1,30	4,205
3	1	1,50	4,20
4	1	1,60	4,10
5	1	1,70	4,00
6	1	1,90	3,80
7	1	2,10	4,00
8	1	2,25	3,70
9	1	2,40	3,40
10	1	2,20	3,20
11	1	2,50	3,00
12	1	2,35	2,70
13	1	2,55	2,15
14	1	2,60	1,30

Yapılan analizlerde öncelikle M11 modeli ile etkin ve etkin olmayan KVB'ler birbirinden ayrılmıştır. M3 modeli ile etkin olmayan KVB'lerin  $D_k$  kümesi belirlenmiştir.  $D_k$  kümesinde yer alan KVB'lerin veri setinden çıkarılması ile etkinlik değişimi üzerine analizler yapılmıştır. Örnek veri seti ile gerçekleştirilen analizler sonucu ulaşılan gözlemler 6 maddede toplanmıştır. Oluşturulan veri seti ile analizlerin örneklendirilmesi modeli daha anlaşılır kılacaktır. Şekil 3.1.1'de 14 KVB'nin başlangıçtaki konumları ve etkin sınır yer almaktadır.

1, 2, 3, 7, 8, 9, 11, 13, 14 numaralı KVB'ler etkin iken 4, 5, 6, 10, 12 numaralı KVB'ler ise etkin olmayan KVB'ler olarak belirlenmiştir. 1, 3, 7, 9, 11, 14 numaralı KVB'ler ekstrem nokta iken 2, 8 ve 13 numaralı KVB'ler ekstrem olmayan KVB'lerdir. Bir diğer ifade ile etkin 2, 8 ve 13 numaralı KVB'ler dışbükey kombinasyon olarak ifade edilebilen KVB'lerdir. Bu KVB'lerin SE modeli ile etkinlik skoru 1'dir. Bundan dolayı dışbükey kombinasyon olarak ifade edilebilen KVB'ler etkin KVB'ler arasında son sırada yer almaktadır. Etkin 2 numaralı KVB 1 ve 3 numaralı, 8 numaralı KVB 7 ve 9 numaralı, 13 numaralı KVB ise 11 ve 14 numaralı KVB'lerin dışbükey kombinasyonu olarak ifade edilebilmektedir.

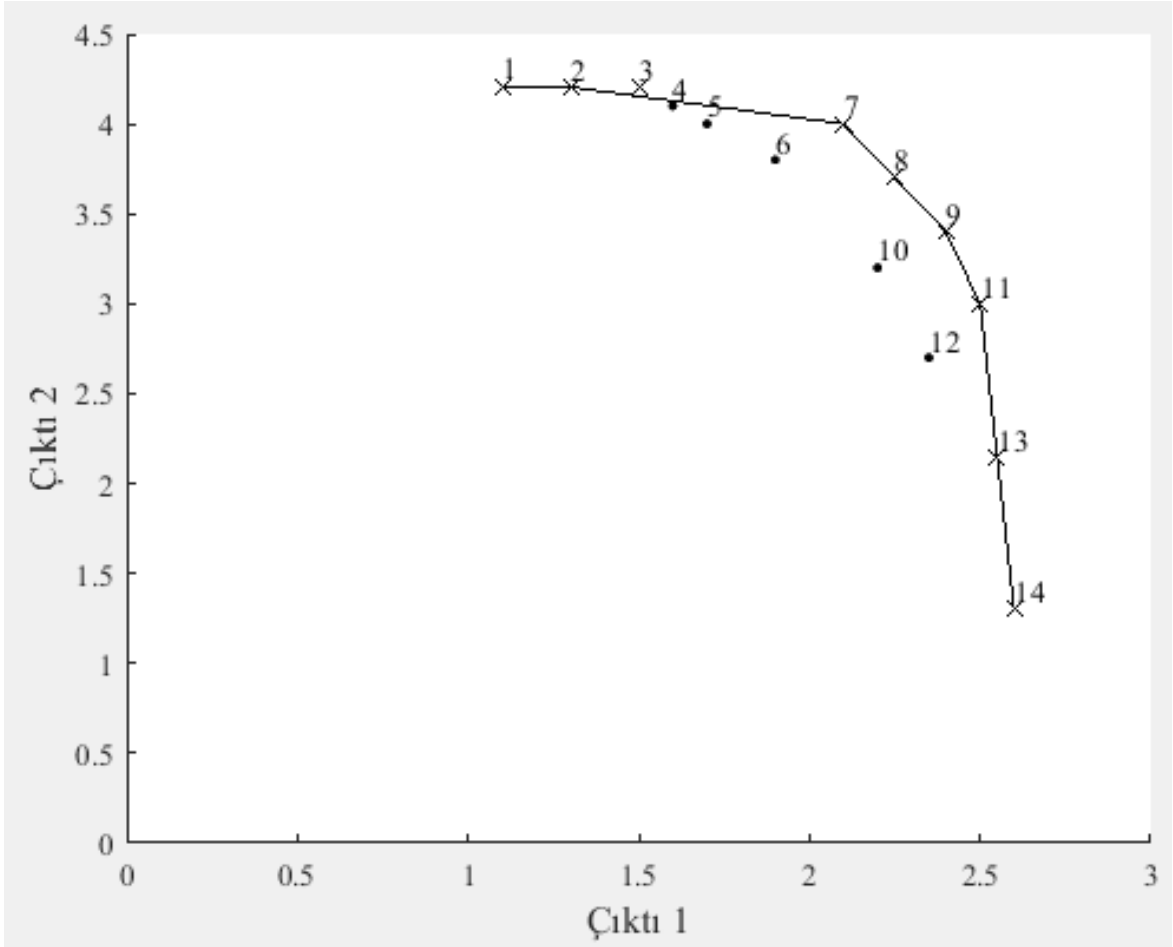


Şekil 3.1.1. 14 KVB'den oluşan örnek veri seti ve etkin sınır

KVB a'nın CCR modeli ile elde edilen etkinlik skoru  $\theta_a$ , SE modeli ile elde edilen etkinlik skoru  $\theta'_a$ , KVB b'nin veri setinden çıkarılması ile elde edilen a'nın etkinlik skoru  $\delta_{a,b}$  ve KVB a'nın etkin olabilmesi için veri setinden çıkarılması gereken minimum KVB kümesi  $SetD_a$  olarak tanımlanmıştır.

1. Etkin KVB b'nin veri setinden çıkarılması ile etkin olmayan KVB a'nın etkinlik skoru,  $b \notin SetD_a$  olsa dahi değişebilmektedir. 5 numaralı KVB'ye ait  $SetD_5 = \{7, 8, 9\}$  örnek olarak verilebilir. Diğer bir ifade ile 5 numaralı KVB'nin etkin olabilmesi için 7, 8 ve 9 numaralı KVB'lerin veri setinden çıkarılması gerekmektedir. Ancak diğer KVB'lerin veri setinden çıkarılması ile 5 numaralı KVB'nin etkinlik skoru değişebilmektedir. Örneğin;  $3 \notin SetD_5$  iken 3 numaralı KVB'nin veri setinden çıkarılması ile 5 numaralı KVB'nin etkinlik skoru değişmektedir.  $\theta_5 = 0,972$  iken 3 numaralı KVB'nin veri setinden çıkarılması ile 5 numaralı KVB etkin sınıra yaklaşmaktadır ve yeni etkinlik skoru  $\delta_{5,3} = 0,978$

olmaktadır. Şekil 3.1.2’de 3 numaralı KVB’nin veri setinden çıkarılması ile oluşan yeni etkin sınır yer almaktadır.

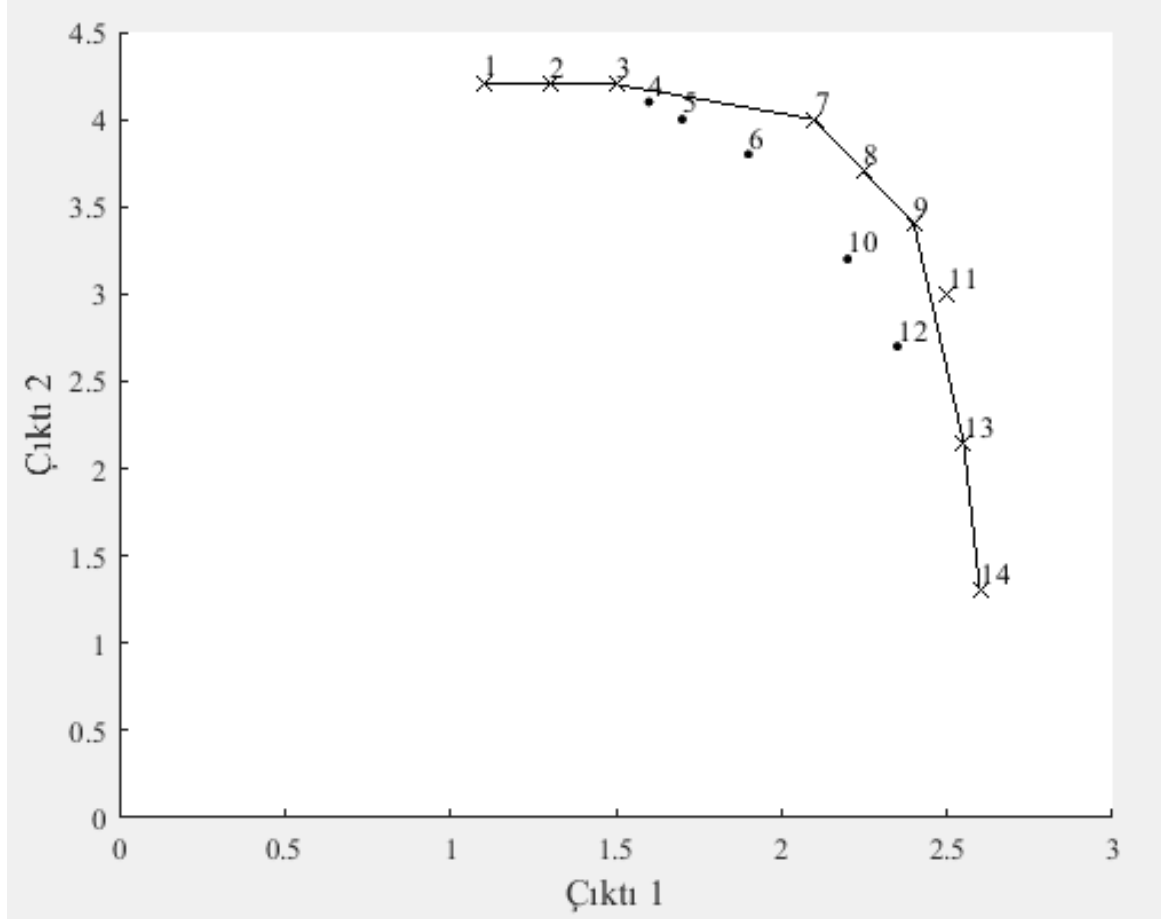


Şekil 3.1.2. Etkin 3 numaralı KVB’nin veri setinden çıkarılması ile oluşan etkin sınır

2. Etkin KVB b’nin veri setinden çıkarılması ile etkin olmayan KVB a’nın etkinlik skoru,  $b \in SetD_a$  olsa dahi değişmeyebilir. 10 numaralı KVB’ye ait  $SetD_{10} = \{7, 8, 9, 11\}$  örnek olarak verilebilir. Diğer bir ifade ile 10 numaralı KVB’nin etkin olabilmesi için 7, 8, 9 ve 11 numaralı KVB’lerin veri setinden çıkarılması gerekmektedir. Ancak,  $11 \in SetD_{10}$  olsa bile 11 numaralı KVB’nin veri setinden çıkarılması ile 10 numaralı KVB’nin etkinlik skoru değişmemektedir.  $\theta_{10} = 0,927$  iken 11 numaralı KVB’nin veri setinden çıkarılması ile 10 numaralı KVB’nin etkinlik skoru  $\delta_{10,11} = 0,927$  olarak kalmaktadır. Şekil 3.1.3’te 11 numaralı KVB’nin veri setinden çıkarılması ile oluşan yeni etkin sınır yer almaktadır.



3. Etkin KVB b, herhangi bir etkin olmayan KVB a'nın veri setinde yer almayabilir, tüm etkin olmayan KVB a için  $b \notin SetD_a$  olabilir. Örnek veri setinde yer alan 1 numaralı KVB hiçbir KVB'nin  $D_k$  setinde yer almamaktadır. Bir diğer ifade ile herhangi bir etkin olmayan KVB a için  $\theta_a = \delta_{a,1}$ 'dir.



Şekil 3.1.3. 11 numaralı KVB'nin veri setinden çıkarılması ile oluşan etkin sınır

4. Etkin olmayan bir KVB a için alternatif  $SetD_a$ 'lar mevcuttur. Örneğin;  $D_{12} = 4$  iken  $SetD_{12} = \{9, 11, 13, 14\}$  veya  $SetD_{12} = \{8, 9, 11, 13\}$  olmaktadır.
5. Dışbükey olarak ifade edilebilen KVB'ler SE modeli ile etkin KVB'ler arasında son sırada yer alarak adil bir şekilde değerlendirilememektedir. Dışbükey kombinasyon olarak ifade edilebilen KVB'lerin veri setinden çıkarılması ile etkin sınır değişmemektedir. Sonuç olarak etkin sınır değişmediği için CCR skoru ile SE skoru 1 olmaktadır. Ele aldığımız örnek veri setinde 2, 8 ve 13 numaralı KVB'ler dışbükey kombinasyon olarak ifade edilebilen KVB'lerdir. Örneğin; 8 numaralı KVB, 7 ve 9 numaralı KVB'ler kadar iyi olmasına rağmen SE modeli ile etkin KVB'ler arasında son sırada yer almaktadır. Önerilen CSE modeli ile etkin

KVB'lerin birbirleri üzerindeki etkileri analiz edilebildiğinden dışbükey kombinasyon olarak ifade edilebilen KVB'ler kendilerini üst sıralara yerleştirebilmektedir.

6. Dışbükey kombinasyon olarak ifade edilebilen KVB b'nin veri setinden çıkarılması ile etkin olmayan KVB a'nın etkinlik skoru değişmemekte,  $\theta_a = \delta_{a,b}$  olmaktadır. Diğer bir deyişle, bu konumdaki KVB'ler kümeden çıktıklarında etkin olmayan KVB'lerin etkinlik skoruna etki edememektedir. Örnek veri setindeki 2, 8 ve 13 numaralı KVB'ler bu durumdadır.

Yukarıda gerçekleştirilen analizler ve daha önce tanımlanan VZA modellerinin incelenmesi, farklı dağılımlara sahip veri setlerinin muhtemel sonuçlarını ortaya koymaktadır. Klasik CCR modeli etkin ve etkin olmayan KVB'leri birbirinden ayırmakta ve etkin olmayan KVB'leri sıralayabilirken etkin KVB'ler için bir sıralama gerçekleştirememektedir. Diğer yandan SE modeli etkin KVB'ler için 1'in üzerinde skorlar üretmektedir, fakat dışbükey kombinasyon olarak ifade edilebilen KVB'ler için 1 skorunu üretmektedir. Bundan dolayı bu KVB'ler etkin KVB'ler arasında son sırada yer almaktadır. Ayrıca bu KVB'ler girdi ve çıktı değerleri bakımından ekstrem etkin KVB'lere çok yakın olsalar da, her zaman adil olmayan bir şekilde ekstrem etkin KVB'lerden daha düşük sıralarda yer almaktadırlar (bkz. Gözlem 5).  $D_k$  modeli, etkin olmayan KVB'lerin etkin hale gelebilmesi için veri setinden çıkarılması gereken minimum KVB sayısını bulmaktadır. Ancak, Köksalan ve Tuncer' de [9] gösterildiği gibi, bu yaklaşım, kümeleşmiş bölgelerde etkin sınıra yakın olan KVB'leri adil bir şekilde sıralayamamaktadır. Ayrıca, etkin KVB'leri birbirinden ayırt edememektedir. Etkin KVB'lerin etkin olmayan KVB'lerin  $D_k$  setindeki sıklığına göre bir sıralama gerçekleştirilmesi durumunda ise hiçbir KVB'nin setinde yer almayan etkin KVB'ler sıralanamayacaktır (bkz. Gözlem 3). Veri kümesinde oluşan aşırı uç noktalar veya kümeleşmeler, etkin sınırın sistematik bir şekilde değiştirilmesi ile KVB'lerin etkinlik değişimini dikkate alan CSE modeli ile adil şekilde değerlendirilmektedir.

### 3.2. CSE Yöntemi

Tezin bu bölümünde öncelikle literatürde yer alan bazı modellerin dezavantajları özetlenmektedir. Daha sonrasında ise bu modellerin dezavantajlarını ortadan kaldırmak için geliştirdiğimiz CSE modeli anlatılmaktadır. CSE yöntemi etkin ve etkin olmayan KVB'lerin tam sıralamasını sunan bir yöntemdir.

CCR modeli etkin ve etkin olmayan KVB'leri birbirinden ayırmakta fakat etkin KVB'ler için bir sıralama gerçekleştirememektedir. SE modeli ise etkin KVB'ler için 1'in üzerinde etkinlik skoru üreterek sıralama gerçekleştirmektedir. Fakat etkinlik skorunun aşırı yüksek değer alması, VRS varsayımı altında oluşan olumsuz çözümler üretmesi ve dışbükey kombinasyon olarak ifade edilen KVB'lerin etkin KVB'ler arasında son sırada yer alması gibi dezavantajlara sahiptir.

Çapraz bağımlılık (CD) modeli ise etkin bir KVB'nin referans kümesinden çıkarılması ile etkin olmayan KVB'lerin yeni etkinlik skorlarının ortalaması ile sadece etkin KVB'leri sıralamaya yönelik bir modeldir. Bu modelin dezavantajları ise etkin olmayan KVB'leri sıralayamaması ve dışbükey kombinasyon olarak ifade edilebilen KVB'lerin etkin olmayan KVB'ler üzerinde her hangi bir etkisinin olmamasıdır. Bir diğer ifade ile dışbükey kombinasyon olarak ifade edilebilen KVB'lerin veri setinden çıkarılması ile hiçbir KVB'nin etkinlik skoru değişmemektedir.

Etkin olmayan bir KVB'nin etkin olabilmesi için veri setinden çıkarılması gereken minimum KVB sayısını bulan  $D_k$  modeli, veri setinde etkin olmayan KVB'lerin kümelenmediği veya uç olduğu noktalarda adil bir sıralama gerçekleştirememektedir. Örneğin kötü bir etkinlik skoruna sahip bir KVB, uç bir noktada ise üst sıralarda yer alabilmektedir. Ancak iyi bir etkinlik skoruna sahip olan bir KVB kümelenmiş alanda ise son sıralarda yer alabilmektedir.

Bu bölümde CCR, SE, CD ve  $D_k$  modellerinin dezavantajlarını ortadan kaldıracak bir yöntem önerilmektedir. Önerilen yöntem öncelikle etkin KVB'leri kendi aralarında sıralamakta, daha sonra etkin olmayan KVB'leri kendi arasında sıralamaktadır. Böylelikle etkin olmayan bir KVB'nin sıralamada etkin KVB'nin önüne geçmesi engellenmiştir. CSE yöntemi ile KVB'lerin başlangıç etkinlik skorları dikkate alınmakta, ayrıca etkin ve etkin olmayan KVB'lerin birbirlerine etkisi analiz edilmektedir. Böylelikle başlangıç etkinlik skoru ve diğer KVB'lere etkisi yüksek olan KVB'ler olumlu puanlar almaktadır. Ekstrem etkin ve ekstrem olmayan etkin KVB'leri birbirinden ayırt etmek adına yöntemde CCR modeli yerine SE modeli tercih edilmiştir. Ayrıca yöntem ile veri setinde oluşan ayrık noktalar ve kümelenmelerde yer alan KVB'ler adil bir şekilde değerlendirilebilmektedir. SE modeli ile etkin KVB'ler arasında kendilerine son sırada yer bulan ekstrem olmayan KVB'ler ise kendilerini üst sıralara taşıyabilmektedir.

Önerdiğimiz CSE modeli (M16) aşağıda yer almaktadır. Modelde KVB b'nin veri setinden çıkarılması ile KVB a'nın yeni süper etkinlik skoru  $\delta'_{a,b}$  ile ifade edilmektedir.

*Maks*  $\delta'_{a,b}$

s.t.

$$\sum_{j \in N \setminus \{a,b\}} \lambda_j x_{ij} \leq x_{ia} \quad \forall i \in M \quad (M16)$$

$$\sum_{j \in N \setminus \{a,b\}} \lambda_j y_{rj} \geq \delta'_{a,b} y_{ra} \quad \forall r \in S$$

$$\lambda_j \geq 0 \quad \forall j \in N$$

N tüm KVB'lerin başlangıçtaki kümesi olmak üzere, SE modeli ile elde edilen başlangıç etkinlik skoru  $\theta'_i$  iken N veri kümesinin güncellenmesi ile elde edilen etkinlik skoru ise  $\theta''_i$  olarak ifade edilmiştir.  $\delta'_{a,b}$  original N kümesi için CSE modeli ile elde edilen etkinlik skoru iken veri setinin güncellenmesi ile elde edilen etkinlik skoru ise  $\delta''_{a,b}$  olarak ifade edilmektedir.  $\sigma_i$  ise KVB i için sıralama skoru olarak tanımlanmıştır.

Önerdiğimiz CSE yöntemin algoritması ise aşağıda yer almaktadır:

1. Tüm  $i \in N$  için  $\theta'_i$  etkinlik skoru SE modeli ile elde edilir.  $N_{eff}$  ve  $N_{in}$  kümeleri oluşturulur;  $N_{eff} = \{i | i \in N, \theta'_i \geq 1\}$ ,  $N_{in} = \{i | i \in N, \theta'_i < 1\}$ .
2. Tüm  $i \in N_{eff}$  için
  - 2.1. CSE modeli ile  $\delta'_{i,j}$ ,  $\forall j \in N \setminus \{i\}$  etkinlik skoru elde edilir.
  - 2.2. Sıralama skoru  $\sigma_i = \theta'_i + \sum_{j \in N \setminus \{i\}} (\delta'_{j,i} - \theta'_j)$  olarak hesaplanır.
3. Tüm  $i \in N_{in}$  için
  - 3.1.  $D_k$  modeli ile  $D_i$  ve  $SetD_i$  elde edilir ve  $N \leftarrow N \setminus SetD_i$  güncellenir.
  - 3.2. Tüm  $j \in N$  için güncellenen N ile birlikte SE modeli çözülür,  $\theta''_j$  elde edilir.
  - 3.3. Tüm  $j \in N \setminus \{i\}$  için güncellenen N ile birlikte CSE modeli çözülür,  $\delta''_{i,j}$  elde edilir.
  - 3.4. Sıralama skoru  $\sigma_i = \theta'_i + \frac{\sum_{j \in N \setminus \{i\}} (\delta''_{j,i} - \theta''_j)}{D_i}$  hesaplanır.

4. Tüm  $i \in N_{eff}$   $\sigma_i$  skorunun azalan sırasında dizilir. Bu listenin sonundan başlayarak tüm  $i \in N_{in}$   $\sigma_i$  skorunun azalan sırasında dizilir.

Adım 1’de SE modeli kullanılarak etkin ve etkin olmayan KVB’ler birbirinden ayrılmıştır. Adım 2’de her etkin KVB’nin veri setinden çıkarılması ile diğer KVB’lerin etkinlik değişimi analiz edilmektedir. SE skorları kullanıldığı için bu adımda etkin ve etkin olmayan KVB’ler üzerindeki etkiler analiz edilebilmektedir. Ayrıca dışbükey kombinasyon olarak ifade edilebilen KVB’ler değerlendirilebilmektedir. Adım 3’te ise etkin olmayan KVB’lerin değerlendirilmesi yer almaktadır. Öncelikle etkin olmayan KVB’lerin  $SetD_k$  kümesi veri setinden çıkarılarak bu KVB’ler etkin hale getirilmektedir. Daha sonrasında ise CSE modeli ile kalan KVB’ler üzerindeki etkileri analiz edilmiştir. Son olarak etkin olmayan KVB’lerin  $\sigma_i$  skorundaki etkinlik değişimi normalize edilmiştir. Normalize işleminin temel sebebi ise etkin sınırdan uzak olan bazı etkin olmayan KVB’lerin diğer etkin olmayan KVB’ler üzerindeki etkisinin büyük olmasıdır. Etkin olmayan bir KVB etkin olduktan sonra etkinlik puanı çok düşük olan KVB’lerin etkinlik skorunu çok yükseltebilir, hatta veri setinin dağılımından dolayı başlangıçta etkin olan bir KVB’den daha iyi etkinlik değişimleri yapması mümkündür. Diğer taraftan etkin olmayan başka bir KVB başlangıçta iyi skor elde etse dahi etkinlik değişiminde düşük performans gösterebilir.

Önerdiğimiz CSE yönteminin 14 KVB’den oluşan örnek veriye uygulanmasından elde edilen sonuçlar Çizelge 3.2.1’de yer almaktadır. CSE skorlarını hesaplamada kullanılan SE skoru ve diğer KVB’lere etkiler ayrı ayrı raporlanmıştır.

Çizelge 3.2.1. CSE ve SE modelleri ile 14 KVB'den elde edilen sonuçlar

CSE Sıralaması	KVB	SE Skoru	Diğer KVB'lere Etkisi	Toplam CSE Skoru
1	7	1,0194	0,0435	1,0629
2	11	1,0152	0,0365	1,0517
3	14	1,0194	0,0204	1,0398
4	9	1,0081	0,0241	1,0322
5	13	1,0000	0,0243	1,0243
6	3	1,0050	0,0129	1,0179
7	8	1,0000	0,0147	1,0147
8	2	1,0000	0,0030	1,0030
9	1	1,0010	0,0010	1,0020
10	4	0,9930	0,0055	0,9985
11	5	0,9862	0,0007	0,9869
12	6	0,9728	0,0013	0,9741
13	12	0,9497	0,0192	0,9689
14	10	0,9542	0,0030	0,9572

Ayrıca önerilen CSE modeli ile elde edilen sıralama CCR, SE,  $D_k$  ve CD modelleri ile elde edilen sıralamalarla karşılaştırılmıştır. Çizelge 3.2.2'de farklı modeller ile elde edilen sıralamalar yer almaktadır. CCR modeli etkin ve etkin olmayan KVB'leri birbirinden ayırarak etkin olmayan KVB'ler için bir sıralama gerçekleştirmiştir. Fakat etkin KVB'ler için bir sıralama yapamamıştır. Bir diğer model olan SE modeli ile etkin ve etkin olmayan KVB'ler birbirinden ayrılmış ve etkin olmayan KVB'ler için CCR modeli ile aynı sıralamayı elde edilmiştir. Etkin KVB'lerin de sıralanabildiği SE modelinde dışbükey kombinasyon olarak ifade edilebilen KVB'ler etkin KVB'ler arasında son sırada yer almaktadır. CD modeli ise etkin KVB'ler için bir sıralama sunarken etkin olmayan KVB'ler için özel bir yaklaşım sunmamaktadır. Ayrıca CD modeli ile dışbükey kombinasyon olarak ifade edilebilen etkin KVB'ler etkin olmayan KVB'lerin etkinlik skorunu iyileştiremediği için etkin KVB'ler arasında son sırada yer almaktadır.  $D_k$  modeli ise sadece etkin olmayan KVB'ler için sıralama gerçekleştirmektedir.

Önerdiğimiz CSE modeli ile hem etkin hem de etkin olmayan KVB'ler sıralanabilmektedir. Ayrıca CSE modeli KVB'lerin ilk skorları, veri setindeki pozisyonları, rakipleri, etkin sınıra yakınlığı ve veri kümesinde kümelenme veya ayrık nokta olma durumlarını göz önüne almaktadır.

Çizelge 3.2.2. CCR, SE,  $D_k$ , CD ve CSE yöntemleri ile elde edilen sıralamalar

Sıralama	CCR	SE	$D_k$	CD	CSE
1	1,2,3,7,8,9,11,13,14	7	1,2,3,7,8,9,11,13,14	7	7
2	-	14	-	11	11
3	-	11	-	3	14
4	-	9	-	9	9
5	-	3	-	1,2,8,13,14	13
6	-	1	-	-	3
7	-	2,8,13	-	-	8
8	-	-	-	-	2
9	-	-	-	-	1
10	4	4	4	-	4
11	5	5	5,6	-	5
12	6	6	-	-	6
13	12	12	10,12	-	12
14	10	10	-	-	10

### 3.3.ASES Modeli ve Yapılan Analizler

Klasik modellerden biri olan CCR, etkin olmayan KVB'leri sıralayan  $D_k$ , etkin ve etkin olmayan KVB'ler için sıralama gerçekleştiren SE modellerinin dezavantajlarından önceki bölümde bahsedilmiştir. Etkin olmayan KVB'ler için sıralama gerçekleştirebilen AES modeli ise etkin olmayan her bir KVB'nin etkinlik değişimini kullanarak sıralama gerçekleştiren bir yöntemdir. Yöntemde CCR modelinin kullanılmasından dolayı etkinlik değişimi incelenen KVB'nin etkinlik skoru en fazla 1 değerini almaktadır. Bundan dolayı değerlendirilen KVB'nin etkin hale gelmesi durumunda etkinlik değişimi incelenememektedir.

Çalışmanın bu kısmında CCR, SE,  $D_k$  ve AES modellerinin dezavantajlarını ortadan kaldırmak üzere ikinci bir yöntem geliştirilmiştir. Önerilen yöntem öncelikle etkin KVB'leri kendi aralarında sıralamakta, daha sonra etkin olmayan KVB'leri sıralamaktadır. Bu şekilde etkin olmayan KVB'lerin sıralamada etkin KVB'lerin önüne geçmesi engellenmektedir. Yöntem hem etkin olmayan KVB'lerin etkinlik değişimini hem de etkin KVB'lerin etkinlik değişimini dikkate almaktadır. Bu sayede SE modeli ile etkin KVB'ler arasında son sırada yer alan dışbükey kombinasyon olarak ifade edilebilen KVB'ler üst sıralarda kendilerine yer bulabilmektedir. Ayrıca önerilen yöntem KVB'lerin etkin sınıra yakınlığını, veri kümesindeki diğer KVB'lere göre yerini ve diğer KVB'lere etkisini birlikte değerlendirebilmektedir.

Önerilen yöntem, Köksalan ve Tuncer [9] tarafından geliştirilmiş olan AES yöntemini temel almaktadır. Klasik CCR modelini kullanan AES yöntemi, eldeki KVB değerlendirilirken diğer KVB'lerin veri setinden çıkarılması ile etkinlik skoru değişimini ele alan bir yöntemdir. KVB  $k$  sadece ilk CCR skoruna göre değil, 1'den  $D_k$ 'ye kadar sayıda KVB veri setinden çıkarılırken oluşan skorların toplamına göre değerlendirilmektedir. Bu yöntem CCR modelini kullandığı için KVB'ler her aşamada en fazla 1 etkinlik skoru elde edebilmektedir. Geliştirdiğimiz yöntemde ise bir KVB 1'den  $n-2$ 'ye kadar sayıda KVB veri setinden çıkarılırken oluşan SE skorlarına göre değerlendirilmektedir. SE modeli kullanıldığı için KVB'lerin etkinlik skorları 1'den büyük değerler alabilmektedir, bu sayede bütün KVB'lerin birbirleri üzerindeki etkileri analiz edilebilmektedir. Yöntem ayrıca veri setindeki kümeleşme ve aşırı noktalar gibi durumları adil bir değerlendirme ile ele alabilmektedir.

Önerilen ASES modeli (M17) aşağıda yer almaktadır. Modelde yer alan  $R_k$  parametresi, çıktı maksimizasyonunu sağlamak için veri setinden çıkarılan KVB sayısını ifade etmektedir.  $R_k$  parametresi  $(0, \dots, n-2)$  değerlerini almaktadır.  $R_k = 0$  iken model SE modeline dönüşmektedir.  $R_k$  parametresinin  $n-2$ 'ye kadar değer almasının sebebi ise etkin sınırın oluşması için gereken minimum KVB sayısının 2 olmasıdır. Modelde yer alan  $\rho'_{kt}$  etkinlik skorunu ifade etmektedir.

$$\begin{aligned}
\rho'_{kt} &= \text{Maks } Z = \sum_{r \in S} u_r y_{rk} \\
\text{s.t.} \\
\sum_{i \in M} v_i x_{ik} &= 1 \\
\sum_{r \in S} u_r y_{rj} &\leq \sum_{i \in M} v_i x_{ij} + B_j \times C \quad \forall j \in N \setminus \{k\} \\
\sum_{j \in N} B_j &\leq R_k \\
B_j &\in \{0,1\} \quad \forall j \in N \setminus \{k\} \\
u_r, v_i &\geq 0, \quad \forall i \in M, \quad r \in S
\end{aligned} \tag{M17}$$

Önerdiğimiz yöntemin algoritması ise aşağıda yer almaktadır:



1. Her  $k \in N$ ,  $R_k = 0$  için M17 modeli çözülür,  $N_E = \{k | k \in N, \rho'_{kt} \geq 1\}$  ve  $N_I = \{k | k \in N, \rho'_{kt} < 1\}$  olmak üzere etkin ve etkin olmayan KVB'ler ayrılır.
2. Her  $k \in N_E$  için
  - 2.1.  $R_k \in \{1, \dots, n - 2\}$  için  $\rho'_{kt}$  değerleri bulunur.
  - 2.2.  $ASES = \sum_{t=0}^{n-2} \rho'_{kt} / n - 1$  skoru hesaplanır.
  - 2.3. ASES skoru büyükten küçüğe sıralanır.
3. Her  $k \in N_I$  için
  - 2.1.  $R_k \in \{1, \dots, n - 2\}$  için  $\rho'_{kt}$  değerleri bulunur.
  - 2.2.  $ASES = \sum_{t=0}^{n-2} \rho'_{kt} / n - 1$  skoru hesaplanır.
  - 2.3. ASES skoru büyükten küçüğe sıralanır.

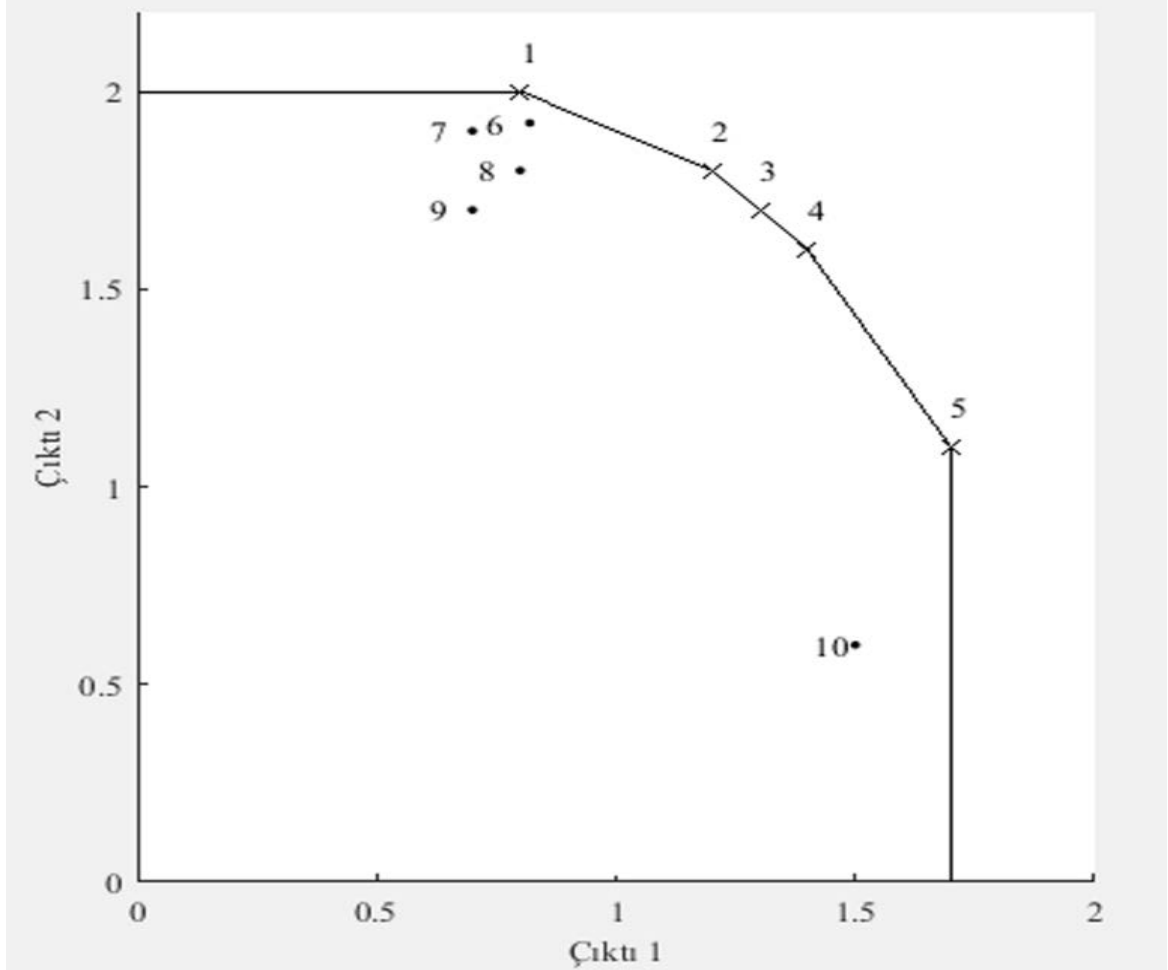
Algoritmanın ilk adımında  $R_k = 0$  ile M17 modeli SE modeline dönüşmektedir, model ile etkin ve etkin olmayan KVB'ler birbirinden ayrılmaktadır. Daha sonra değerlendirme altında olan her bir KVB için etkin sınırın oluşabilmesi için minimum gerekli olan 2 KVB veri setinde kalana kadar KVB'ler çıkarılmakta ve etkinlik skorları elde edilmektedir. Bir diğer ifade ile n-2 tane KVB'nin veri setinden teker teker çıkarılması ile etkinlik skorları elde edilmektedir. Bu etkinlik skorları toplanarak normalizasyon işlemi uygulanmaktadır. ASES adını verdiğimiz bu skor ile etkin ve etkin olmayan KVB'ler kendi içlerinde sıralanarak tam bir sıralama elde edilmektedir.

Çalışmada önerdiğimiz yöntemin avantajlarını göstermek adına tez kapsamında 10 KVB'den oluşan örnek bir veri kümesi oluşturulmuştur. İlgili örnek veri setine ait girdi ve çıktılar Çizelge 3.3.1'de yer almaktadır.

Çizelge 3.3.1. 10 KVB'den oluşan örnek veri setine ait girdi ve çıktılar

KVB	Girdi	Çıktı 1	Çıktı 2
1	1	0,80	2,00
2	1	1,20	1,80
3	1	1,30	1,70
4	1	1,40	1,60
5	1	1,70	1,10
6	1	0,82	1,92
7	1	0,70	1,90
8	1	0,80	1,80
9	1	0,70	1,70
10	1	1,50	0,60

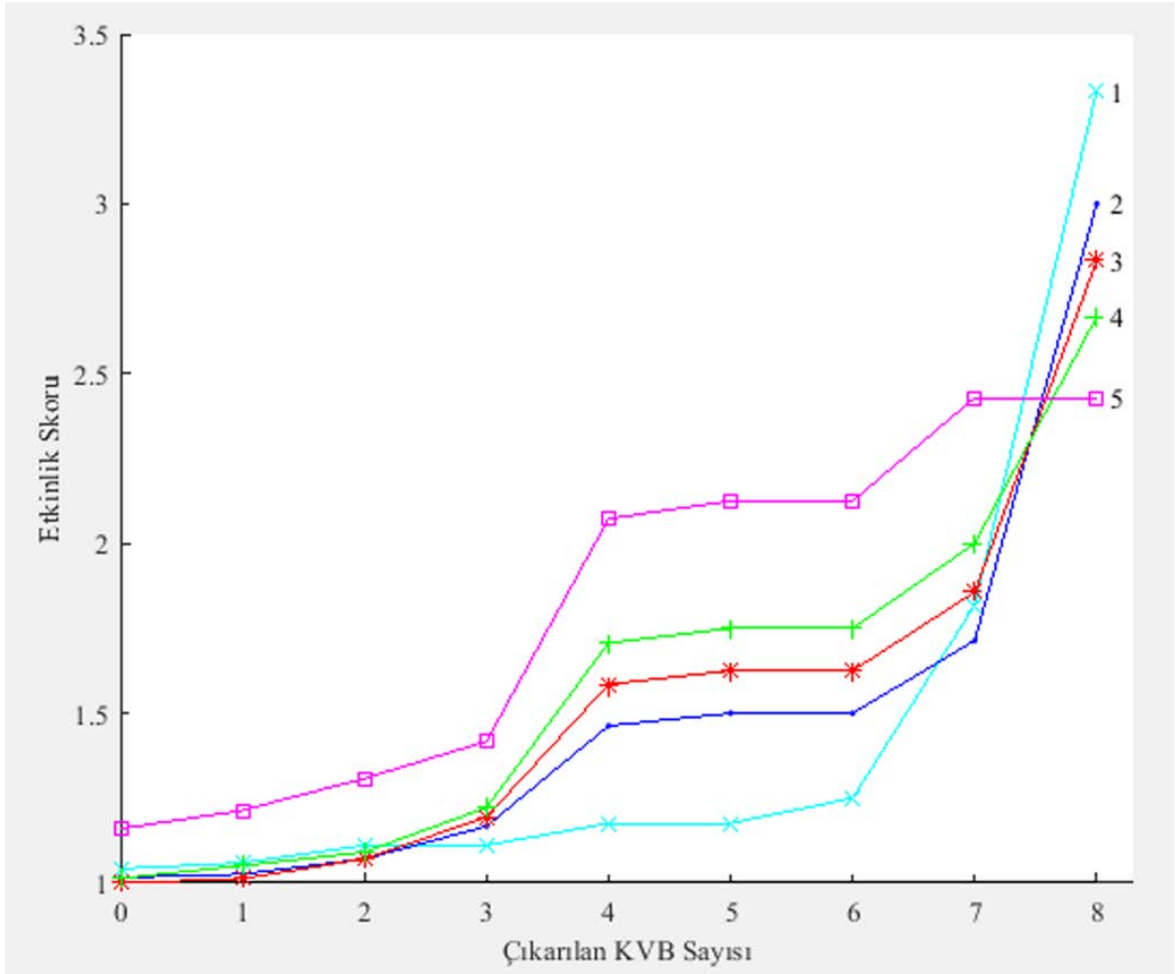
2 çıktıdan oluşan örnek verinin grafiği Şekil 3.3.1’de yer almaktadır. Burada 1, 2, 3, 4, 5 numaralı etkin KVB’ler etkin sınırı oluşturmaktadır. 6, 7, 8, 9, 10 numaralı KVB’ler ise etkin olmayan KVB’ler olarak belirlenmiştir.



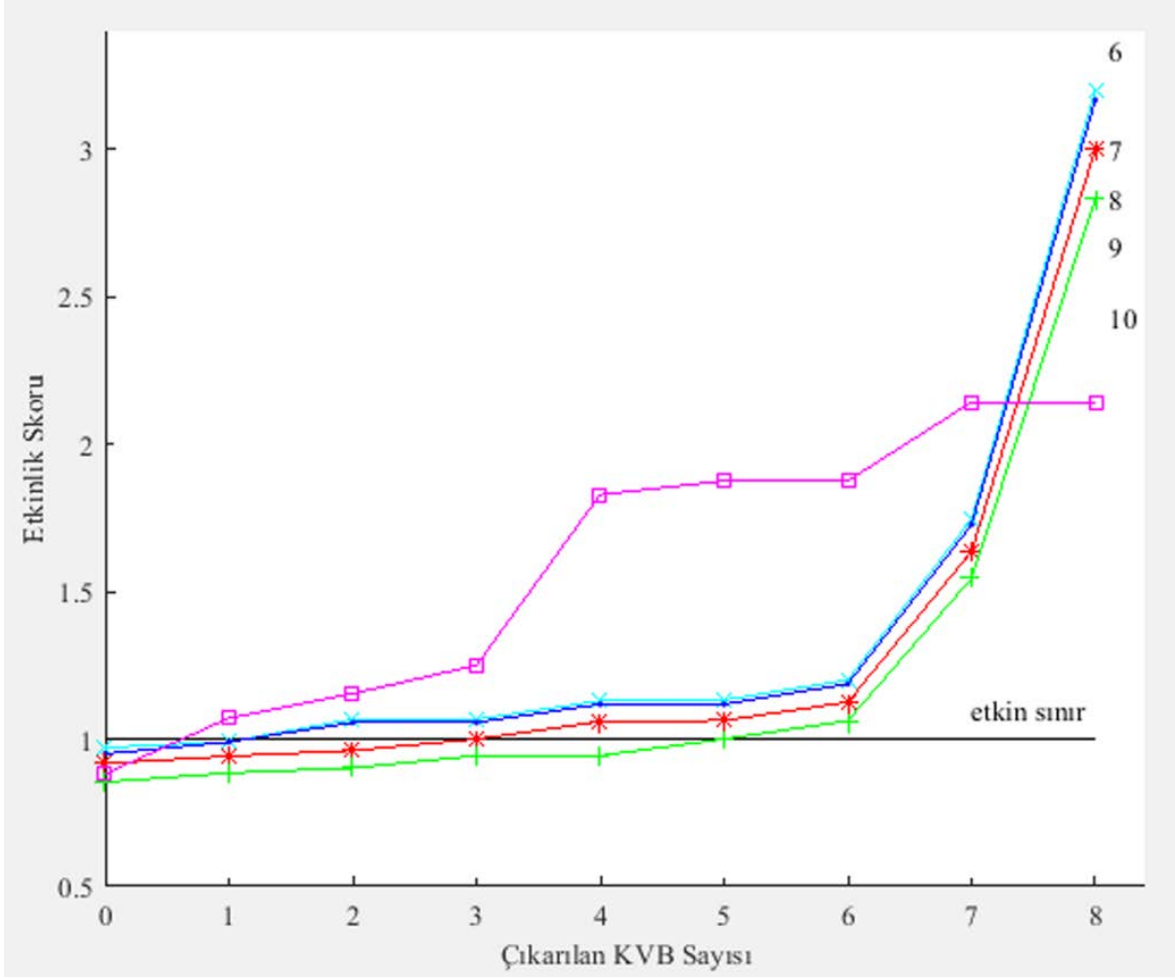
Şekil 3.3.1. 10 KVB’den oluşan örnek veri kümesi

Etkin KVB’lerin geliştirilen ASES yöntemi ile elde edilen etkinlik değişimi grafiği Şekil 3.3.2’de yer almaktadır. Etkin sınırda yer alan KVB 3, KVB 2 ve 4’ün dışbükey kombinasyonu olarak ifade edilebilmektedir. Bu yüzden SE modeli ile etkin KVB’ler arasında son sırada yer almaktadır. Önerdiğimiz model ile etkin KVB’lerin etkinlik değişimi analizi yapılmaktadır. Etkinlik skoru etkin KVB’ler arasında en düşük olan ve dışbükey kombinasyon olarak ifade edilebilen KVB 3, 1 ve 2 numaralı KVB’leri geride bırakmıştır. Bunun sebebi ise ASES yönteminin KVB’lerin birbirlerine etkilerini, pozisyonlarını ve rakiplerini analiz eden bir yöntem olmasıdır. Ayrıca oluşturulan örnek veride KVB 1, 6, 7, 8 ve 9’un belirli bir alanda kümeleştiği görülmektedir. Bu KVB’ler başlangıç etkinlik skoruna bakıldığında birbirine oldukça yakın skorlar üretmiştir. KVB 10

ise oluşturulan veri setinden ayrı bir noktada yer almaktadır. Fakat bu KVB'lerin etkinlik değişimi grafiğine bakıldığında KVB 10, diğerlerine göre daha önce etkin olmuş ve dengeli bir değişim ile 6, 7, 8, 9 numaralı KVB'lerin önüne geçmiştir. Bunun en temel sebebi ise veri setinde yer aldığı pozisyonda rakibinin az olmasıdır. KVB 10'un çevresindeki alternatifin az oluşu bu KVB'yi daha önemli ve kritik hale getirmiştir. Önerilen yöntem ile ayrı bir noktada yer alan KVB'nin de iyi bir sıralama elde etmesi mümkündür. 6, 7, 8, 9 numaralı KVB'ler ise birbirlerine benzer değişimler göstermiştir. Etkin olmayan KVB'lerin etkinlik değişimini gösteren grafik Şekil 3.3.3'te yer almaktadır.



Şekil 3.3.2. Etkin KVB'lerin etkinlik değişimi



Şekil 3.3.3. Etkin olmayan KVB'lerin etkinlik değişimi

Oluşturulan 10 KVB'li örnek veri, sadece etkin olmayan KVB'leri sıralayabilen CCR,  $D_k$  ve AES modelleri ile tam sıralama gerçekleştiren fakat dışbükey kombinasyonu olarak ifade edilebilen noktaları sıralamada yetersiz kalan SE modeli ve KVB'lerin birbirleri ile etkilerini, pozisyonlarını, rakiplerini ve etkin sınıra yakınlığını analiz edebilen ve dışbükey kombinasyonu olarak ifade edilebilen noktalar dahil tüm KVB'ler için sıralama elde eden ASES yöntemi ile değerlendirilmiştir. Her bir modele ait skorlar ve elde edilen sıralamalar Çizelge 3.3.2'de yer almaktadır.

Çizelge 3.3.2. Örnek verinin CCR,  $D_k$ , AES, SE ve ASES sıralamaları

CCR Skoru	CCR Sıra	$D_k$ Skoru	$D_k$ Sıra	AES Skoru	AES Sıra	SE Skoru	SE Sıra	ASES Skoru	ASES Sıra
1,000	1,2,3,4,5	0,000	1,2,3,4,5	1,000	1,2,3,4,5	1,160	5	1,809	5
-	-	-	-	-	-	1,042	1	1,584	4
-	-	-	-	-	-	1,016	2	1,534	3
-	-	-	-	-	-	1,014	4	1,495	2
-	-	-	-	-	-	1,000	3	1,453	1
0,971	6	1,000	6,10	0,996	6	0,971	6	1,580	10
0,950	7	-	-	0,993	7	0,950	7	1,389	6
0,917	8	2,000	7	0,987	10	0,917	8	1,374	7
0,882	10	3,000	8	0,980	8	0,882	10	1,300	8
0,854	9	5,000	9	0,948	9	0,854	9	1,219	9

## 4.UYGULAMALAR

### 4.1. CSE Uygulaması

Çalışmanın bu aşamasında önerilen CSE modeli MBA programlarının sıralanması için kullanılmıştır. MBA (Masters of Business Administration) uluslararası tanınırlığı olan ve her yıl binlerce kişi tarafından kariyer değiştirmek, gelir artırmak, terfi almak veya daha iyi bir yönetici olmak gibi çeşitli amaçlar doğrultusunda tercih edilen bir yüksek lisans programıdır. Birçok yayın evi tarafından belirlenen kriterler ile düzenli aralıklarla MBA programları sıralanmaktadır. Çalışma kapsamında ele alınan MBA programı Financial Times (FT) internet sitesinden alınmıştır [68]. FT her yıl farklı kategorilerde MBA programlarını sıralamaktadır. Örnek olarak küresel MBA sıralaması, online MBA sıralaması, yönetici MBA sıralaması, girişimcilik için MBA sıralaması verilebilir. Sıralamada kullanılan veriler üniversitelerden, üniversitelerin kendi programlarında yer alan öğrencilerden, işe alım şirketlerinden geri bildirim olarak toplanmaktadır. Ele aldığımız FT internet sitesinde MBA programları grubunda bu yıl ilk defa sıralaması yayınlanmış olan ‘Kadınlar için MBA 2018’ dir. 50 programdan (KVB) oluşan veri seti için 7 farklı kriter (çıkıtı) belirlenmiştir. Bu çıktılar; maaş (\$US), maaş farkı (%), maaş artışı (%), hedefe ulaşma (%), MBA programındaki kadın öğrenci sayısı (%), fakülte bulunan kadın sayısı (%), programın danışma kurulundaki kadın üye sayısı (%) olarak belirlenmiştir. Çizelge 4.1.1’de ‘Kadınlar için MBA 2018’ programlarının 7 çıkıtı bazında verileri yer almaktadır.

Çizelge 4.1.1. Kadınlar için MBA 2018 çıktıları

KVB	Maaş (\$US)	Maaş farkı (%)	Maaş artışı (%)	Hedefe ulaşma (%)	Kadın öğrenci sayısı (%)	Fakültedeki kadın sayısı (%)	Kuruldaki kadın üye sayısı (%)
1	122.170	101	224	83	45	32	13
2	197.791	88	99	87	40	24	33
3	179.930	103	110	90	40	22	27
4	121.949	99	153	88	39	24	69
5	171.587	84	98	87	42	28	49
6	126.078	98	154	87	42	25	25
7	155.205	87	116	88	44	25	23
8	83.991	79	180	89	48	36	18

---

9	172.489	88	82	88	44	25	17
10	115.810	83	148	83	39	35	30
11	136.877	94	106	87	32	36	20
12	152.728	85	97	88	42	24	28
13	133.164	99	113	87	34	32	25
14	136.360	89	115	87	32	29	32
15	154.527	82	97	88	41	20	15
16	133.809	73	89	91	39	23	42
17	139.715	92	97	88	39	27	26
18	140.403	87	97	89	38	25	21
19	137.325	81	62	89	39	20	38
20	134.243	97	113	87	32	32	13
21	128.384	111	148	86	33	17	11
22	133.466	83	98	90	43	26	13
23	150.868	82	76	87	36	16	27
24	103.756	127	35	86	41	32	36
25	118.431	98	71	86	33	40	38
26	131.995	85	177	86	31	19	6
27	139.514	74	114	89	40	16	14
28	94.258	83	38	85	65	34	38
29	129.192	90	117	88	30	30	20
30	141.832	85	125	88	27	26	24
31	143.194	85	84	89	37	23	18
32	147.643	91	80	86	28	25	24
33	128.094	69	84	88	43	30	21
34	118.175	90	133	85	29	28	20
35	86.375	69	71	82	67	36	20
36	101.560	75	87	84	40	34	45
37	149.844	81	62	88	42	21	17
38	121.395	84	116	87	29	19	13
39	112.147	89	75	85	32	25	50
40	79.217	64	75	85	42	40	38
41	106.481	93	128	84	37	23	24

---

42	134.442	81	95	87	34	20	16
43	109.430	73	112	89	34	29	19
44	104.308	67	79	88	41	18	38
45	126.929	88	90	87	30	25	17
46	118.087	86	99	87	26	26	25
47	134.090	83	56	88	23	13	21
48	91.409	93	92	83	41	23	43
49	91.321	63	44	84	44	30	40
50	91.762	71	58	84	36	21	31

Önerilen CSE modelinin KVB'leri hangi yönleri ile öne çıkararak sıraladığı detayı ve KVB'lerin SE skorları Çizelge 4.1.2'de yer almaktadır. Ayrıca, önerdiğimiz CSE modeli Çizelge 4.1.3'te CCR, SE,  $D_k$  ve CD ile karşılaştırılmıştır.

Çizelge 4.1.2. Önerilen model ve SE modelinden elde edilen sıralamalar

CSE Sıralaması	KVB	SE Skoru	Diğer KVB'lere etkisi	Toplam CSE Skoru
1	4	1,4639	0,3879	1,8518
2	1	1,2506	0,4120	1,6626
3	28	1,1057	0,3476	1,4533
4	35	1,0803	0,2958	1,3761
5	3	1,0535	0,3153	1,3688
6	25	1,1095	0,2266	1,3361
7	24	1,2155	0,1169	1,3324
8	8	1,0606	0,2205	1,2811
9	2	1,1058	0,1433	1,2491
10	5	1,0694	0,1142	1,1836
11	16	1,0187	0,0861	1,1048
12	40	1,0385	0,0468	1,0853
13	21	1,0148	0,0364	1,0512
14	11	1,0166	0,0187	1,0353
15	22	1,0011	0,0005	1,0016
16	10	1,0016	0,0000	1,0016
17	9	1,0004	0,0000	1,0004
18	26	0,9940	0,0409	1,0349



---

19	39	0,9584	0,0459	1,0043
20	13	0,9953	0,0012	0,9965
21	20	0,9921	0,0078	0,9960
22	7	0,9927	0,0003	0,9930
23	18	0,9877	0,0158	0,9930
24	6	0,9917	0,0000	0,9917
25	43	0,9889	0,0013	0,9902
26	12	0,9816	0,0338	0,9901
27	29	0,9878	0,0032	0,9894
28	33	0,9885	0,0003	0,9886
29	27	0,9866	0,0019	0,9872
30	31	0,9841	0,0029	0,9851
31	19	0,9831	0,0010	0,9836
32	17	0,9835	0,0000	0,9835
33	15	0,9790	0,0138	0,9818
34	14	0,9814	0,0001	0,9814
35	37	0,9808	0,0021	0,9811
36	30	0,9801	0,0000	0,9801
37	36	0,9746	0,0038	0,9784
38	44	0,9746	0,0024	0,9754
39	47	0,9714	0,0000	0,9714
40	46	0,9681	0,0000	0,9681
41	45	0,9674	0,0000	0,9674
42	38	0,9657	0,0000	0,9657
43	23	0,9614	0,0086	0,9628
44	42	0,9604	0,0009	0,9605
45	32	0,9594	0,0010	0,9596
46	49	0,9563	0,0000	0,9563
47	34	0,9552	0,0000	0,9552
48	41	0,9431	0,0000	0,9431
49	48	0,9563	0,0040	0,9421
50	50	0,9244	0,0000	0,9244

---

Yukarıda tabloda önerilen model ile tam sıralama gerçekleştirebilen SE modelinin skorları ve elde edilen sıralamalar yer almaktadır. Örneğin; 3, 12, 39 numaralı KVB'ler SE sıralamasında etkinlik skoru ile daha düşük sıralara sahip iken iyileşme skorları ile ön sıralarda yer almışlardır. Hiçbir kriterde en yüksek ve en düşük skorlara sahip olmayan 3, 12, 39 numaralı KVB'ler bazı kriterlerde ortalamının üstünde bazı kriterlerde ise ortalamasının altında değer almışlardır. 2, 24 numaralı KVB'ler ise SE etkinlik skoru olarak üst sıralarda yer almalarına rağmen KVB'lere etki olarak diğer KVB'lerin gerisinde kalmışlar ve alt sıralara gerilemişlerdir. 2 numaralı KVB maaş kriterinden en iyi skora sahip iken 24 numaralı KVB ise maaş farkı kriterinde en iyi skora sahiptir. Bundan dolayı bu KVB'lerin SE etkinlik skorları yüksektir.

Sıralamada bir diğer önemli husus olan  $D_k$  sayısı için 12 numaralı KVB örnek olarak verilebilir. SE skoru olarak ortalama bir skora sahip olan 12 numaralı KVB diğer KVB'lere etki olarak iyi bir skora sahip olmasına rağmen  $D_k$  sayısı 4 olduğundan dolayı tam skor olarak 6, 7, 13, 18, 20, 43 numaralı KVB'lerin gerisinde kalmıştır.

Önerilen CSE yöntemi ile tam sıralama gerçekleştirebilen SE modeli arasındaki bağıntıyı incelemek adına Kendall's tau-b katsayısı kullanılmıştır. Kendall's tau-b katsayısı incelenen değişkenlerden birinin veya her ikisinin de sıralı değişken olması durumunda kullanılmaktadır [69]. CSE ve SE modelleri arasında Kendall's tau-b korelasyon katsayısı SPSS programı kullanılarak 0,536 olarak hesaplanmıştır. Bu farklılığın sebebi ise CSE yönteminin KVB'lerin pozisyonlarını, rakiplerini, etkin sınıra yakınlığını, kümelenme ve ayrık nokta olma durumlarını göz önüne alması ve dışbükey kombinasyon olarak ifade edilebilen KVB'lerin üst sıralarda yer alabilmesinden kaynaklanmaktadır.

Çizelge 4.1.3. CCR, SE,  $D_k$ , CD ve önerilen CSE modellerinden elde edilen sıralamalar

Sıralama	CCR	SE	$D_k$	CD	CSE
1	1,2,3,4,5,8,9,10,11,16, 21,22,24,25,28,35,40	4	1,2,3,4,5,8,9,10,11,16, 21,22,24,25,28,35,40	3	4
2	-	1	-	4	1
3	-	24	-	1	28
4	-	25	-	8	35
5	-	2	-	16	3
6	-	28	-	28	25

---

7	-	35	-	24	24
8	-	5	-	25	8
9	-	8	-	40	2
10	-	3	-	11	5
11	-	40	-	5	16
12	-	16	-	35	40
13	-	11	-	22	21
14	-	21	-	2,9,10,21	11
15	-	10	-	-	22
16	-	22	-	-	10
17	-	9	-	-	9
18	13	13	6,7,13,26,36,39,43	-	26
19	26	26	-	-	39
20	7	7	-	-	13
21	20	20	-	-	20
22	6	6	-	-	7
23	43	43	-	-	18
24	33	33	-	-	6
25	29	29	19,20,29,48	-	43
26	18	18	-	-	12
27	27	27	-	-	29
28	31	31	-	-	33
29	17	17	17,18,27,30,31,33,44, 49	-	27
30	19	19	-	-	31
31	12	12	-	-	19
32	14	14	-	-	17
33	37	37	-	-	15
34	30	30	-	-	14
35	15	15	-	-	37
36	36	36	-	-	30
37	44	44	12,14	-	36
38	47	47	-	-	44

---

39	46	46	15,32,34	-	47
40	45	45	-	-	46
41	38	38	-	-	45
42	23	23	23,41	-	38
43	42	42	-	-	23
44	32	32	37	-	42
45	39	39	47	-	32
46	49	49	38	-	49
47	34	34	50	-	34
48	41	41	45	-	41
49	48	48	42,46	-	48
50	50	50	-	-	50

#### 4.2. ASES Uygulaması

VZA uygulanmaya başlandığı andan itibaren günümüze kadar geçen sürede birçok farklı alanda kullanılmıştır. Son yıllarda en sık tercih edilen konulardan birisi de çevre olmuştur. Tezin bu aşamasında ASES yöntemi ile gelişen teknoloji ile çevreye verilen zararın azaltılmasına yönelik gerçekleştirilen uygulama yer almaktadır.

Çalışmada önerilen ASES yöntemi ile 18 Avrupa ülkesi değerlendirilmiştir. Çalışmada gelişen teknoloji ile çevreye verilen zararın azaltılmasına yönelik belirlenen 4 çıktı ele alınmıştır. Bu çıktılar çevre ile ilgili teknolojiler, çevre yönetimi, su ile ilgili uyum teknolojileri ve iklim değişikliği ana başlıklarından oluşmaktadır. Çizelge 4.2.1’de OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development) internet sitesinden alınmış olan çıktılara ait alt başlıklar yer almaktadır [70].

#### Çizelge 4.2.1. Çevre ile ilgili çıktılar ve alt kategorileri

Ana Başlık	Alt Başlık
Ç1-Çevre ile ilgili teknolojiler	
Ç2-Çevre yönetimi	Hava kirliliği azaltma Su kirliliği azaltma Atık yönetimi Toprak iyileştirme Çevresel izleme
Ç3-Su ile ilgili uyum teknolojileri	Su tasarrufu Su kullanılabilirliği
Ç4-İklim değişikliği hafifletme	Enerji üretimi, iletimi veya dağıtımı ile ilgili iklim değişikliği azaltma teknolojileri Atık su arıtma veya atık yönetimi ile ilgili iklim değişikliği azaltma teknolojileri Sera gazlarını yakalama, depolama, tecrit veya bertaraf etme Ulaşım ile ilgili iklim değişikliği azaltma teknolojileri Binalarla ilgili iklim değişikliği azaltma teknolojileri Malların üretiminde veya işlenmesinde iklim değişikliği azaltma teknolojileri

Her bir alt başlığın verisi toplanmış ve 4 ana çıktının verisi elde edilmiştir. Belirlenen çıktılar gelişen teknoloji ile çevreye verilen zararın azaltılmasını değerlendirmek adına maksimize edilmektedir. Her bir ülkenin girdisinin ise eşit ve 1 olduğu varsayılmaktadır. Çalışmada belirlenen 18 Avrupa ülkesi: Polonya, İsveç, Hollanda, İsviçre, İspanya, Danimarka, Avusturya, Belçika, Finlandiya, Çek Cumhuriyeti, Norveç, Romanya, Türkiye, Macaristan, Ukrayna, İrlanda, Yunanistan ve Slovenya'dır. Kuzey, Güney, Batı ve Doğu Avrupa ülkelerinin her birinin yer aldığı veri setinde benzer ülkeler tercih edilmiştir. Çalışmada ülkelere ait en güncel verilerin yer aldığı 2014 yılı baz alınmıştır. 18 Avrupa ülkesinin 2014 yılına ait çıktı verileri Çizelge 4.2.2'te yer almaktadır [70].

Çizelge 4.2.2. Ülkelerin çıktı değerleri

KVB	Ülke	Ç1	Ç2	Ç3	Ç4
1	Polonya	425,67	284,00	11,50	260,67
2	İsveç	490,33	198,58	22,00	379,08
3	Hollanda	507,45	219,28	11,33	361,33
4	İsviçre	357,03	123,08	28,75	256,20
5	İspanya	460,78	141,08	15,83	351,28
6	Danimarka	372,57	97,33	6,50	323,57
7	Avusturya	372,04	175,42	10,50	279,13
8	Belçika	217,02	106,03	21,50	146,48
9	Finlandiya	298,48	149,25	11,50	210,73
10	Çek Cumhuriyeti	112,08	70,58	8,00	57,83
11	Norveç	92,58	33,67	9,00	63,75
12	Romanya	106,87	41,87	8,00	72,50
13	Türkiye	101,37	43,70	6,67	73,20
14	Macaristan	53,18	28,75	5,00	31,93
15	Ukrayna	72,42	48,50	0,50	44,42
16	İrlanda	65,33	32,50	1,67	47,33
17	Yunanistan	48,25	19,00	2,00	36,50
18	Slovenya	29,25	20,50	1,00	16,75

18 Avrupa ülkesi; etkin olmayan KVB'leri sıralayan ve klasik modellerden biri olan CCR, bir KVB'nin etkin olabilmesi için veri setinden çıkarılması gereken minimum KVB'ye göre sıralama gerçekleştiren  $D_k$ , etkin ve etkin olmayan KVB'ler için tam sıralama gerçekleştiren SE, etkin olmayan KVB'lerin etkinlik değişimini analiz ederek sıralama gerçekleştiren AES ve hem etkin hem de etkin olmayan KVB'lerin etkinlik değişimini analiz ederek tüm KVB'leri sıralayan önerdiğimiz ASES modeli ile değerlendirilmiştir. 18 Avrupa ülkesi için ilgili modeller kullanılarak elde edilen skorlar ve sıralamalar Çizelge 4.2.3'te yer almaktadır.

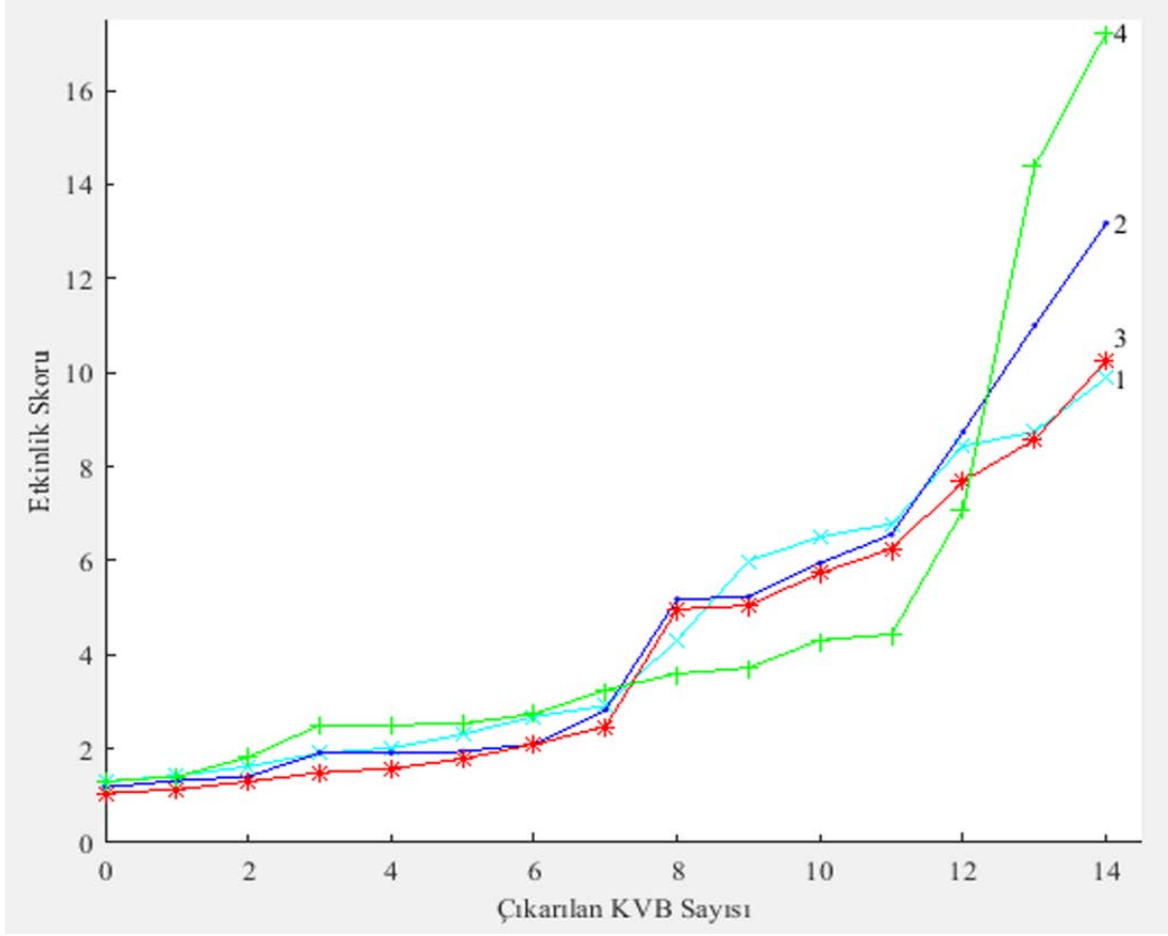
Önerilen ASES yöntemi ve tam sıralama gerçekleştirebilen SE modeli ile elde edilen sıralamalar arasındaki ilişkiyi analiz edebilmek adına Kendall's tau-b katsayısı kullanılmıştır. ASES ve SE modelleri arasında Kendall's tau-b korelasyon katsayısı SPSS programı kullanılarak 0,935 olarak hesaplanmıştır. Bu farklılığın sebebi ise etkinlik

değişimini ele alan ASES yönteminin uç ve ayrık nokta olan KVB'leri üst sıralara taşımasıdır.

Çizelge 4.2.3. Vaka çalışmasının CCR,  $D_k$ , AES, SE ve ASES sıralamaları

CCR Skor	CCR sıra	$D_k$ Skor	$D_k$ sıra	AES Skor	AES sıra	SE Skor	SE sıra	ASES Skor	ASES sıra
1,000	1,2,3,4	0,000	1,2,3,4	1,000	1,2,3,4	1,307	4	9,354	4
-	-	-	-	-	-	1,295	1	8,033	2
-	-	-	-	-	-	1,182	2	6,103	1
-	-	-	-	-	-	1,051	3	5,750	3
0,934	5	1,000	5	0,996	5	0,934	5	6,927	8
0,854	6	2,000	8	0,986	8	0,854	6	6,313	5
0,789	7	3,000	6,7	0,981	6	0,789	7	4,838	6
0,779	8	-	-	0,970	7	0,779	8	4,741	7
0,643	9	4,000	9	0,942	9	0,643	9	4,378	9
0,360	10	8,000	10,11	0,819	11	0,360	10	2,866	11
0,313	11	-	-	0,796	10	0,313	11	2,668	10
0,295	12	9,000	12,13	0,784	12	0,295	12	2,566	12
0,266	13	-	-	0,736	13	0,266	13	2,188	13
0,190	14	10,000	15	0,627	15	0,190	14	1,568	14
0,171	15	13,000	14,16	0,598	14	0,171	15	0,917	15
0,140	16	-	-	0,528	16	0,140	16	0,751	16
0,098	17	14,000	17	0,440	17	0,098	17	0,689	17
0,076	18	16,000	18	0,346	18	0,076	18	0,405	18

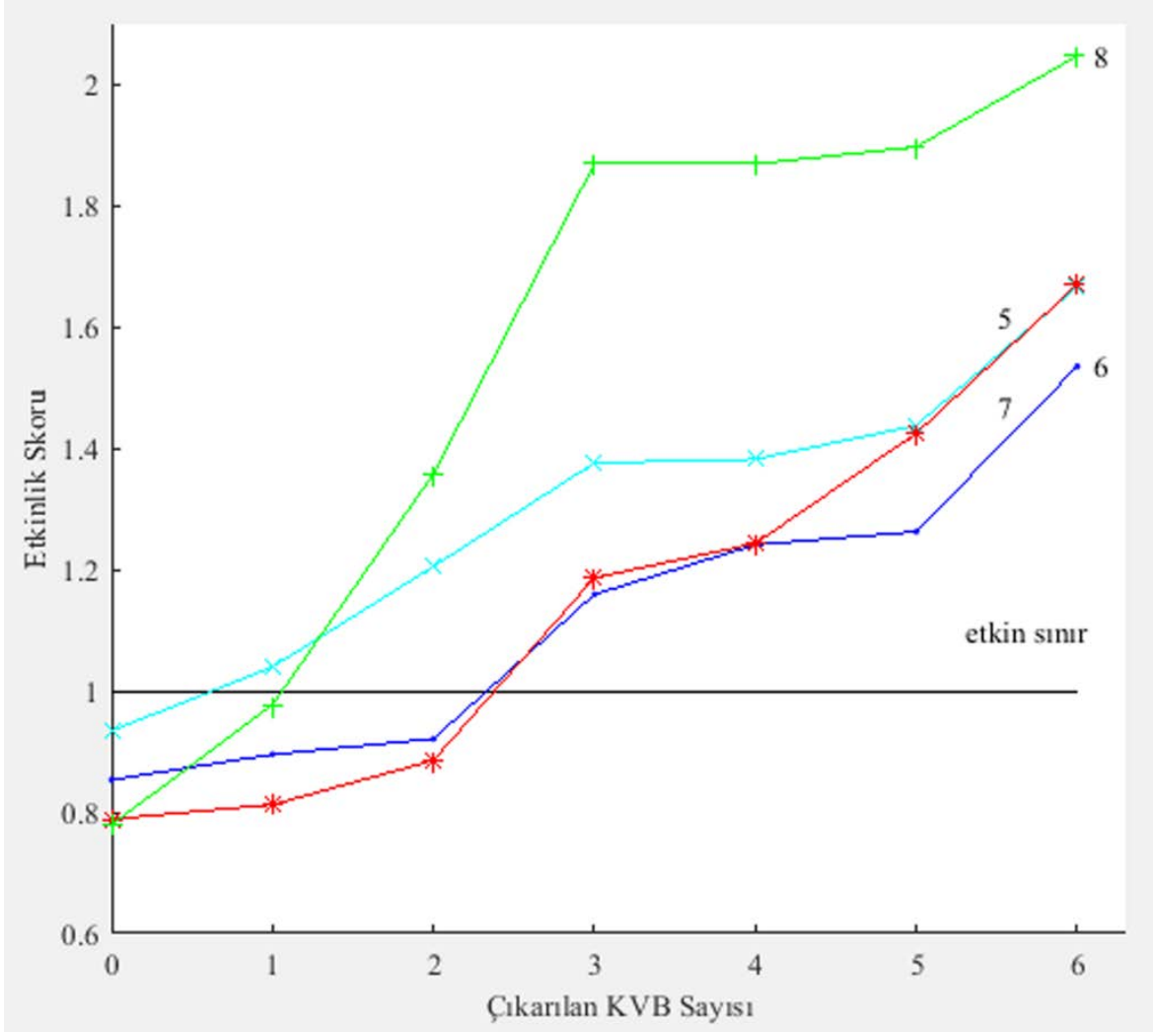
Çalışmada ele alınan 18 Avrupa ülkesinden Polonya, İsveç, Hollanda, İsviçre etkin ülke olarak belirlenmiştir. Hollanda Ç1, Polonya Ç2, İsviçre Ç3, İsveç ise Ç4 kriterlerinde en iyi skorlara sahiptir. Etkin olmayan 14 ülke ise İspanya, Danimarka, Avusturya, Belçika, Finlandiya, Çek Cumhuriyeti, Norveç, Romanya, Türkiye, Macaristan, Ukrayna, İrlanda, Yunanistan ve Slovenya'dır. ASES ile KVB'lerin veri setinden çıkarılması sonucunda etkin KVB'lerin etkinlik değişimi Şekil 4.2.1'deki grafikte yer almaktadır. 4 numaralı KVB, başlangıç etkinlik skorunda diğer KVB'lerden iyi olmasına rağmen etkinlik değişimi grafiğinin orta noktalarında 1, 2, 3 numaralı KVB'lerin gerisinde kalmıştır. Grafiğin sonlarına doğru ise etkinlik değişiminde büyük iyileşmeler gerçekleştirmiş ve önerdiğimiz yöntem ile en iyi KVB olmuştur. Etkin KVB'lerden bir diğeri olan 2 numaralı KVB ise, başlangıç skoru olarak 1 numaralı KVB'nin gerisinde olmasına rağmen etkinlik değişimi grafiğinde benzer eğilim göstermiştir. Grafiğin sonlarına doğru etkinlik değişiminde büyük iyileşmeler gerçekleştiren 2 numaralı KVB iyi bir toplam skor elde etmiştir.



Şekil 4.2.1. 1, 2, 3 ve 4 numaralı etkin KVB'lerin etkinlik değişimi

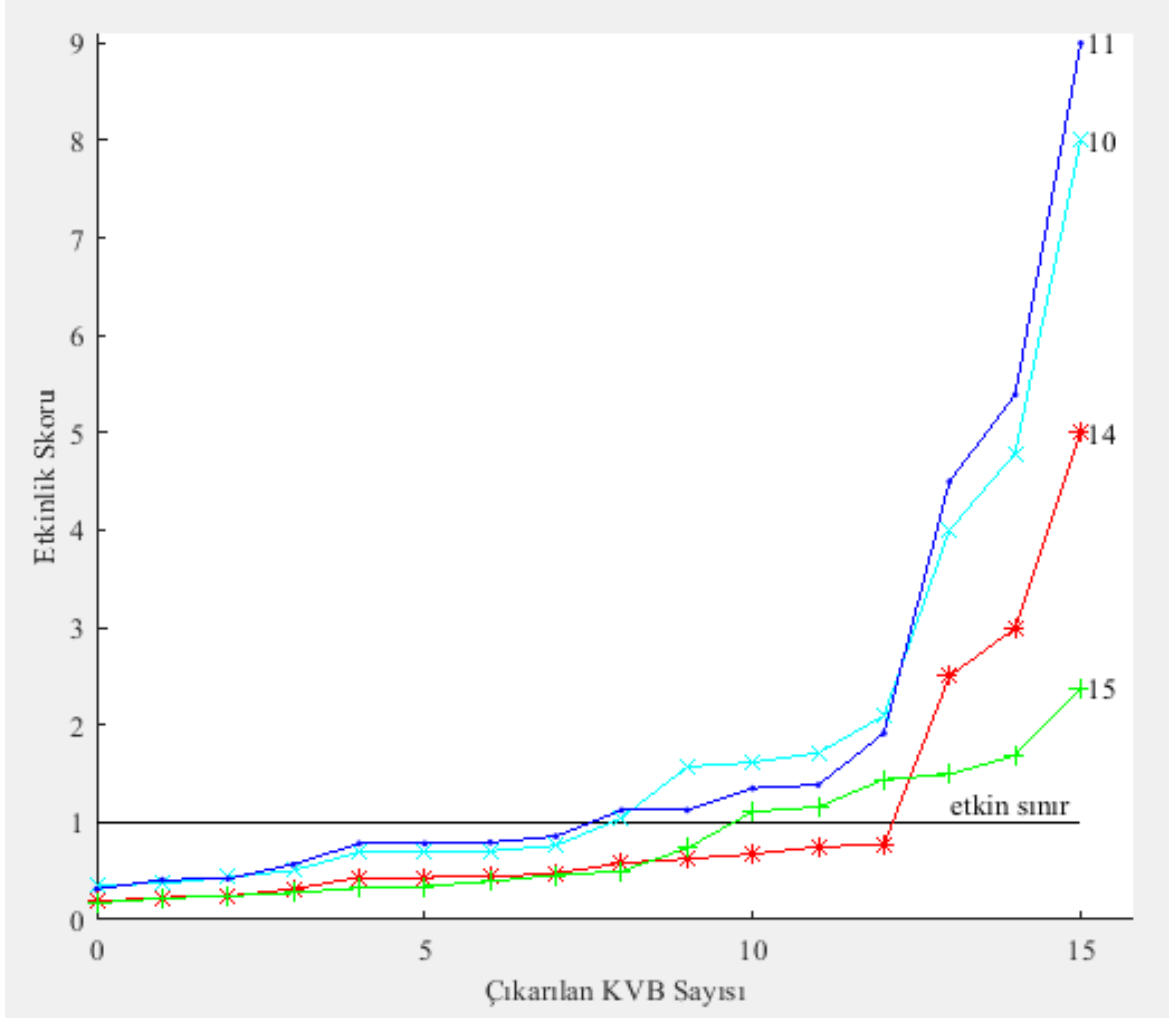
Diğer yöntemlerle kıyaslandığında sıralaması değişen KVB'ler için grafik yöntemi kullanılarak etkinlik değişimi analizine yer verilmiştir. ASES ile KVB'lerin veri setinden çıkarılması sonucunda etkin olmayan bazı KVB'lerin etkinlik değişimi Şekil 4.2.2.'deki grafikte yer almaktadır. Örneğin; 8 numaralı KVB'nin başlangıç skoruna bakıldığında 5, 6 ve 7 numaralı KVB'lerin gerisinde kalmaktadır. Bu KVB'ler arasında 5 numaralı KVB Ç1 ve Ç4 kriterlerinde en iyi skorlara sahip iken 7 numaralı KVB Ç2 kriterinde en iyi skora sahip ve 8 numaralı KVB ise Ç3 kriterinde en iyi skora sahiptir. Fakat 8 numaralı KVB diğer KVB'lerden daha önce 1 etkinlik skoruna ulaşmış ve etkin duruma gelmiştir. Etkin KVB olduktan sonra ise etkinlik skorunda iyi değişimler göstererek diğer KVB'leri geride bırakmış ve sıralamada üst sıralarda kendisine yer bulabilmiştir.





Şekil 4.2.2. 5, 6, 7 ve 8 numaralı etkin olmayan KVB'lerin etkinlik değişimi

Etkin olmayan KVB'lerin bir kısmının etkinlik değişimine ait grafik ise Şekil 4.2.3'te yer almaktadır. Örneğin; 10 ve 11 numaralı KVB'ler grafik boyunca benzer eğilimler göstermişlerdir. 10 numaralı KVB Ç1 ve Ç2 kriterlerinde daha iyi skorlara sahip iken 11 numaralı KVB ise Ç3 ve Ç4 kriterlerinde daha iyi skorlara sahiptir. Yöntemin son iterasyonlarında 11 numaralı KVB daha iyi etkinlik değişimi göstermiş ve daha üst sırada yer almıştır. Bir diğer örnek ise 14 ve 15 numaralı KVB'lerdir. Sadece Ç3 kriterinde daha iyi skorlara sahip olan 14 numaralı KVB 15'ten daha sonra etkin duruma ulaşmış, ancak etkin olduktan sonra etkinlik değişimi hızlı bir şekilde artmıştır.



Şekil 4.2.3. 10, 11, 14 ve 15 numaralı etkin olmayan KVB'lerin etkinlik değişimi

## 5.CSE VE ASES YÖNTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Tezin bu bölümünde CSE ve ASES yöntemlerinin örnek veri setlerine uygulanması ile elde edilen sonuçlar karşılaştırmalı olarak yer almaktadır. Sıralamada yer alan farklılıkların nedenleri tartışılmış ve hangi yöntemin hangi durumlarda kullanılmasının daha iyi olacağına değinilmiştir.

Önerilen yöntemlerin karşılaştırılması amacıyla öncelikle tezin daha önceki bölümlerinde kullanılan 14 KVB'den oluşan örnek veri setinden yararlanılmıştır. Çizelge 5.1'de önerilen CSE ve ASES yöntemlerinin etkinlik skorları ve elde edilen sıralamalar yer almaktadır.

Çizelge 5.1. 14 KVB'den oluşan veriden elde edilen etkinlik skorları ve sıralamalar

ASES sıra	ASES skoru	CSE sıra	CSE skoru
14	1,4205	7	1,0629
13	1,3935	11	1,0517
1	1,3917	14	1,0398
2	1,3908	9	1,0322
3	1,3906	13	1,0243
11	1,3744	3	1,0179
9	1,3661	8	1,0147
7	1,3655	2	1,003
8	1,3440	1	1,002
4	1,3585	4	0,9985
5	1,3423	5	0,9869
12	1,2824	6	0,9741
6	1,2822	12	0,9689
10	1,2547	10	0,9572

CSE ve ASES yöntemleri etkin olmayan KVB'ler için benzer sıralamalar oluşturmuştur. ASES yönteminde etkin KVB'lerin sıralanışına bakıldığında uç noktalarda yer alan 14, 13, 1 ve 2 numaralı KVB'ler ilk sıralarda yer alırken kümelenmenin olduğu bölgelerde yer alan KVB'ler etkin KVB'ler arasında son sıralarda yer almaktadır. Bunun en temel sebebi değerlendirme altındaki KVB'nin süper etkinlik değişiminin incelenmesidir. CSE modelinde ise ilk skoru iyi olan ve kümelenmenin olduğu noktalarda yer alan KVB'lerin üst sıralarda yer aldığı görülmektedir. Bunun en temel sebebi ise bu yöntemin ilk etkinlik

skoruna önem vermesi ve ele alınan KVB'nin diğer KVB'lere etkisini ölçmesidir. Diğer bir ifade ile, ASES uç nokta olan KVB'leri daha yüksek, CSE ise kümelenmenin olduğu bölgelerdeki yüksek başlangıç skoruna sahip KVB'leri daha yüksek sıralamaktadır. Çizelge 5.2'de ise 10 KVB'den oluşan örnek veriden elde edilen etkinlik skorları ve sıralamalar yer almaktadır.

Çizelge 5.2. 10 KVB'den oluşan veriden elde edilen etkinlik skorları ve sıralamalar

ASES Skoru	ASES Sıra	CSE Skoru	CSE Sıra
1,809	5	1,385	5
1,584	4	1,196	1
1,534	3	1,045	4
1,495	2	1,034	2
1,453	1	1,019	3
1,58	10	1,08	6
1,389	6	0,996	7
1,374	7	0,923	8
1,3	8	0,908	10
1,219	9	0,857	9

CSE ve ASES yöntemleri etkin olmayan KVB'ler için biraz farklılaşan sıralamalar oluşturmuştur. Özellikle 10 numaralı KVB iki yöntemin sıralamasında oldukça farklı sıralarda yer almaktadır. Bunun en temel sebebi ayrık bir nokta olmasıdır. Daha önce belirtildiği gibi ASES yöntemi ile uç veya ayrık noktalar sıralamada daha iyi yerlere gelebilmektedir. CSE yöntemi ise diğer KVB'lere etkiyi dikkate alan bir yöntem olduğundan dolayı veri setinde ayrık bir noktada olan 10 numaralı KVB'yi sıralamanın sonlarına yerleştirmiştir. Kümelenmenin olduğu bölgede yer alan 9 numaralı KVB'den daha iyi sırada yer almasının sebebi ise ilk skorunun daha yüksek olmasıdır.

Etkin KVB'lerin sıralamasına bakıldığında ise ASES yönteminde etkin KVB'ler arasında son sırada yer alan 1 numaralı KVB, CSE yönteminde daha iyi sırada yer almaktadır. 1 numaralı KVB, kümelenmiş alanda olduğundan dolayı rakiplerine etkisi fazla olmuş ve CSE modeli ile kendini üst sıraya taşıyabilmiştir. Ancak bulunduğu bölgede kümeleşme olduğu için ASES ile çok iyi bir skor elde edememiştir. 2 ve 4 numaralı KVB'lerin dışbükey kombinasyonu olarak ifade edilebilen 3 numaralı KVB, diğer KVB'ler üzerinde

çok etkiye sahip olamadığından dolayı CSE yönteminde etkin KVB'ler arasında son sırada yer almıştır.

Sonuç olarak, CSE yönteminin değerlendirilen KVB'nin veri setinden çıkarak diğer KVB'leri ne kadar etkileyebildiğine, ASES yönteminin ise değerlendirilen KVB'nin rakipleri veri setinden çıktıkça kendisini ne kadar geliştirebildiğine ağırlık verdiği görülmektedir. Daha çok sayıda KVB'nin bulunduğu, veri setini genel olarak temsil eden alanlar içinden diğerlerine en fazla etkisi olan KVB'yi seçmek isteyen bir KV için CSE yöntemi daha uygun olacaktır. Diğer taraftan, veri setinin belirli alanları üzerinde tercihi olmayan, ayrık bir bölgede olsa bile kendi etkinlik skorunu hızlı bir şekilde iyileştirebilen KVB'leri tercih eden bir KV için ASES yönteminin daha uygun olacağı gözlemlenmektedir. CSE ve ASES yöntemleri hesaplama yükü bakımından değerlendirildiğinde ise her iki yöntemde de doğrusal programlama kullanıldığından dolayı kayda değer bir çözüm süresi oluşturmadan çözüm elde edilebilmektedir.

## 6.SONUÇLAR VE ÖNERİLER

VZA birden fazla KVB'nin göreceli etkinliğini ölçmekte kullanılan doğrusal programlama tabanlı parametrik olmayan bir yöntemdir. KVB'lerin etkinlik skorları çıktıların ağırlıklı toplamının girdilerin ağırlıklı toplamına oranı ile elde edilmektedir. VZA ile her bir KVB için elde edilen etkinlik skorları ile KVB'ler analiz edilebilmekte, kıyaslanabilmekte ve belirli bir tercih sırası elde edilebilmektedir. Ayrıca VZA ile KVB'ler etkin ve etkin olmayan olarak ayrılmakta ve etkin KVB'lerin girdi ve çıktıları diğerlerine yol gösterici olarak kullanılmaktadır.

Klasik VZA modellerinden CCR modeli etkin ve etkin olmayan KVB'leri ayırt edebilmekte, etkin olmayan KVB'leri sıralayabilmekte, ancak etkin KVB'ler için yetersiz kalmaktadır. Literatürde ele aldığımız diğer yaygın bir model olan SE modeli ise etkin KVB'leri sıralarken etkin olmayan KVB'ler için klasik modeller ile aynı sıralamayı üretmektedir. Ayrıca SE modeli ile dışbükey kombinasyon olarak ifade edilen etkin KVB'ler etkin KVB'ler arasında son sırada yer almakta, bazı KVB'ler VRS varsayımı altında olursuz çözümler üretebilmekte ve bazı veri setlerinde KVB'ler aşırı yüksek etkinlik skorlarına sahip olabilmektedirler. Ele alınan bir diğer yaygın model olan CD ise sadece etkin KVB'leri sıralayabilmektedir. Etkin KVB'nin veri setinden çıkarılması ile etkin olmayan KVB'lerin etkinlik değişimini inceleyen modelde, hiçbir etkin olmayan KVB'ye etkisi olmayan ve dışbükey kombinasyon olarak ifade edilebilen etkin KVB'ler son sıralarda yer almaktadır.  $D_k$  modeli de sadece etkin olmayan KVB'ler için bir sıralama sunmaktadır. Etkin olmayan bir KVB'nin etkin olabilmesi için veri setinden çıkarılması gereken minimum KVB'yi hesaplayan model, KVB'lerin kümelendiği veya aykırı nokta olduğu durumlarda adil bir değerlendirme yapamamaktadır. Etkin olmayan KVB'leri sıralayan bir diğer model de AES yöntemidir. CCR modelini kullanan AES yönteminde etkinlik skoru en fazla 1 değerini alabilmektedir. Bundan dolayı etkinliğe ulaşan bir KVB'nin etkinlik değişimi incelenememektedir.

Bu çalışmada yukarıda belirtilen modellerin dezavantajlarını ortadan kaldırmak adına, CSE ve ASES olarak adlandırılan, etkin ve etkin olmayan KVB'leri tutarlı ve adil bir şekilde değerlendirebilen iki yöntem önerilmektedir. Önerilen yöntemler KVB'lerin etkin sınıra yakınlığını, veri setindeki pozisyonlarını, rakiplerini, veri setinde oluşan kümelene veya aykırı olma durumlarını göz önüne almaktadır.

Tez kapsamında öncelikle CCR, SE,  $D_k$  ve CD modellerinin dezavantajlarını tartışmak ve önerdiğimiz CSE modelini geliştirmek adına 14 KVB'den oluşan örnek bir veri seti oluşturulmuştur. Bu veri seti kullanılarak  $D_k$  ve etkinlik değişimi üzerine yapılan analizler 6 maddede toplanmıştır. Analizlerin sonucunda M16 modeli geliştirilerek CSE yönteminin algoritmaları oluşturulmuştur. Uygulama aşamasında ise 50 KVB'den oluşan gerçek bir MBA programı veri seti ele alınmış ve CSE yöntemi ile sıralama gerçekleştirilmiştir. CSE yöntemi KVB'lerin ilk skorunu, diğer KVB'lere etkisini ve  $D_k$  bilgisini kullanan bir skor ile sıralama gerçekleştirmektedir. Böylelikle dışbükey kombinasyon olarak ifade edilebilen KVB'ler etkin KVB'ler arasında daha üst sıralarda yer alabilmektedir. Ayrıca kümelenen ve aykırı nokta olan KVB'ler adil bir şekilde değerlendirilmektedir. CSE yöntemi ile elde edilen sıralama CCR, SE,  $D_k$  ve CD modelleri ile elde edilen sıralamalar ile karşılaştırılmıştır.

ASES yöntemi için öncelikle 10 KVB'den oluşan örnek veri oluşturulmuş ve bu veride önerilen yöntem savunularak grafiksel analizler gerçekleştirilmiştir. Daha sonra önerilen yöntem 18 Avrupa ülkesinin çevresel faktörlerle değerlendirilmesinden oluşan gerçek veri setine uygulanmış ve literatürde yer alan CCR, SE,  $D_k$  ve AES modelleri ile karşılaştırılmıştır. ASES, diğer yöntemlerin tartışılan dezavantajlarını ortadan kaldırmış ve hem etkin hem de etkin olmayan KVB'leri sıralamada daha tutarlı ve objektif sonuçlar üretmiştir. Ayrıca yöntem dışbükey kombinasyon olarak ifade edilen KVB'lerin diğer KVB'ler ile etkisini analiz edebilmektedir. Bundan dolayı bu KVB'ler etkinlik skorlarını 1'in üzerine çıkarabilmekte ve sıralamada kendilerini üst sıraya yerleştirebilmektedir. ASES yöntemi ile başlangıçta etkin olan veya yöntemin herhangi bir iterasyonunda etkinliğe ulaşan KVB'nin etkinlik değişimi de incelenmektedir.

Önerilen CSE ve ASES yöntemleri CRS varsayımı altında çalışmaktadır. Gelecek çalışmalarda bu yöntemler VRS varsayımı altında geliştirilebilir, yöntemlerde kullanılan çıktılar veya girdiler ise istenmeyen çıktı/girdi olarak ele alınabilir.

## KAYNAKLAR

- [1] A. Charnes, W. Cooper and E. Rhodes, *European Journal of Operational Research*, 2 (1978) 429.
- [2] R. Banker, A. Charnes and W. Cooper, *Management Science*, 30 (1984) 1078.
- [3] P. Andersen and N. C. Petersen, *Management Science*, 39 (1993) 1261.
- [4] F. Pelone, D. S. Kringos, A. Romaniello, M. Archibugi, C. Salsiri and W. Ricciardi, *Journal of Medical Systems*, 39 (2015) 1.
- [5] A. Mardani, E. K. Zavadskas, D. Streimikiene, A. Jusoh and M. Khoshnoudi, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 70 (2017) 1298.
- [6] E. B. Mariano, V. A. Sobreiro and D. A. N. Rebelatto, *Omega*, 54 (2015) 33.
- [7] A. Aldamak and S. Zolfaghari, *Measurement*, 106 (2017) 161.
- [8] Z. Sinuany-Stern, A. Mehrez and A. Barboy, *Comput. Oper. Res.*, 21 (1994) 543.
- [9] M. Köksalan and C. Tuncer, *International Journal of Information Technology & Decision Making*, 8 (2009) 29.
- [10] G. Jahanshahloo, F. H. Lotfi, N. Shoja, G. Tohidi and S. Razavyan, *Applied Mathematics and Computation*, 153 (2004) 215.
- [11] F. R. Balf, H. Z. Rezai, G. Jahanshahloo and F. H. Lotfi, *Applied Mathematical Modelling*, 36 (2012) 46.
- [12] S. Ziari and S. Raissi, *Journal of Industrial Engineering International*, 12 (2016) 237.
- [13] M. Sharifzadeh and S. Ziari, *Iranian Journal of Optimization*, 8 (2016) 79.
- [14] G. R. Jahanshahloo, H. V. Junior, F. H. Lotfi and D. Akbarian, *European Journal of Operational Research*, 181 (2007) 331.
- [15] U. Shetty and T. Pakkala, *Operations Research & Decision Theory*, 1 (2010) 50.
- [16] D. Akbarian, *Journal of Applied Mathematics and Physics*, 1 (2013) 1.
- [17] G. Jahanshahloo, M. Sanei, F. H. Lotfi and N. Shoja, *Applied Mathematics and Computation*, 151 (2004) 209.
- [18] J. Doyle and R. Green, *Journal of the Operational Research Society*, 45 (1994) 567.
- [19] S. Lim, K. W. Oh and J. Zhu, *European Journal of Operational Research*, 236 (2014) 361.



- [20] W. D. Cook, L. Liang, Y. Zha and J. Zhu, *The Journal of the Operational Research Society*, 60 (2009) 276.
- [21] C. Lovell and A. Rouse , *Journal of the Operational Research Society*, 54 (2003) 101.
- [22] Y. Chen, *European Journal of Operational Research*, 161 (2005) 545.
- [23] H.S. Lee, C.W. Chu and J. Zhu, *European Journal of Operational Research*, 212 (2011) 141.
- [24] Y. Chen and L. Liang, *European Journal of Operational Research*, 213 (2011) 359.
- [25] H.S. Lee and J. Zhu, *European Journal of Operational Research*, 216 (2012) 429.
- [26] A. Amirteimoori and S. Kordrostami, *Journal of Global Optimization*, 54 (2012) 117.
- [27] S. Mehrabian, M. R. Alirezaee and G. R. Jahanshahloo, *Computational Optimization and Applications*, 14 (1999) 261.
- [28] J.-X. Chen and M. Deng, *Expert Systems with Applications*, 38 (2011) 9648.
- [29] J. Du, L. Liang, F. Yang, G.-B. Bi and X.B. Yu, *Experts Systems*, 25 (2010) 363.
- [30] M. Izadikhah and R. F. Saen, *Experts Systems*, 32 (2015) 596.
- [31] J. Chen, M. Song and L. Xu, *Ecological Indicators*, 52 (2015) 577.
- [32] H. Scheel, *European Journal of Operational Research*, 132 (2001) 400.
- [33] G. Jahanshahloo, F. H. Lotfi, N. Shoja, G. Tohidi and S. Razavyan, *Applied Mathematics and Computation*, 169 (2005) 917.
- [34] W. Liu , W. Meng, X. Li and D. Zhang, *Annals of Operations Research*, 173 (2010) 177.
- [35] L. M. Seiford and J. Zhu, *European Journal of Operational Research*, 142 (2002) 16.
- [36] L. Chen and G. Jia, *Journal of Cleaner Production*, 142 (2017) 846.
- [37] J. Wu , Q. An, X. Yao and B. Wang, *Journal of Cleaner Production*, 74 (2014) 96.
- [38] T. Sueyoshi and Y. Yuan, *Energy Economics*, 49 (2015) 239.
- [39] G.-B. Bi, W. Song, P. Zhou and L. Liang, *Energy Policy*, 66 (2014) 537.
- [40] T. Sueyoshi and Y. Yuan, *Energy Economics*, 56 (2016) 288.
- [41] Y. Bian, S. Yan and H. Xub, *Resources, Conservation and Recycling*, 83 (2014) 15.
- [42] J. Wu, B. Xiong, Q. An, Q. Zhu and L. Liang, *Journal of Cleaner Production*, 102 (2015) 237.
- [43] H. Li and J.F. Shi, *Journal of Cleaner Production*, 65 (2014) 97.

- [44] J. Wu, Q. Zhu, X. Jia, J. Chu and L. Liang, *European Journal of Operational Research*, 251 (2016) 182.
- [45] J. Wu, P. Yin, J. Sun, J. Chu and L. Liang, *European Journal of Operational Research*, 254 (2016) 1047.
- [46] H. Yang and M. Pollitt, *European Journal of Operational Research*, 197 (2009) 1095.
- [47] H. Yang and M. Pollitt, *Energy Policy*, 38 (2010) 4440.
- [48] X. Liu, J. Chu, P. Yin and J. Sun, *Journal of Cleaner Production*, 142 (2017) 877.
- [49] N. F. Ozkan and B. Haktanirlar Ulutas, *Journal of Cleaner Production*, 156 (2017) 932.
- [50] P. Zhou, X. Zhou and L. Fan, *Applied Energy*, 130 (2014) 799.
- [51] N. Apergis, G. C. Aye, C. P. Barros, R. Gupta and P. Wanke, *Energy Economics*, 51 (2015) 45.
- [52] E. Chodakowska and J. Nazarko, *Technological And Economic Development Of Economy*, 23 (2017) 589.
- [53] J. Jin, D. Zhou and P. Zhou, *Economic Modelling*, 38 (2014) 80.
- [54] A. Valadkhani, I. Roshdi and R. Smyth, *Energy Economics*, 54 (2016) 363.
- [55] G. Vlontzos, S. Niavis and B. Manos, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 40 (2014) 91.
- [56] M. Song, Q. An, W. Zhang, Z. Wang and J. Wu, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16 (2012) 4465.
- [57] K. D. Witte and L. L. Torres, *Journal of the Operational Research Society*, 68 (2015) 1.
- [58] C. Kao and H.L. Pao, *Scientometrics*, 78 (2009) 261.
- [59] D. Palomares-Montero and A. García-Aracil, *Research Evaluation*, 20 (2011) 353.
- [60] C. Kao and H.-T. Hung, *Omega*, 36 (2008) 653.
- [61] W.H. Kong and T.T. Fu, *Omega*, 40 (2012) 541.
- [62] C. Kao, *European Journal of Operational Research*, 72 (1994) 43.
- [63] M. Rhaiem, *Scientometrics*, 110 (2017) 581.
- [64] N. K. Avkiran, *Omega*, 39 (2011) 323.
- [65] I. Premachandra , Y. Chen and J. Watson, *Omega*, 39 (2011) 620.
- [66] M. Köksalan, T. Büyükbaşaran, Ö. Özpeynirci and J. Wallenius, *European Journal of Operational Research*, 201 (2010) 470.

- [67] N. K. Minh, . P. V. Khan and P. A. Tuan, American Journal of Operations Research, 2 (2012) 126.
- [68] F. Times, Business Education, <http://rankings.ft.com/businessschoolrankings/top-mbas-for-women-2018> (Erişim tarihi: **01 Aralık 2018**).
- [69] S. Kılıç, Journal of Mood Disorders, 2 (2012) 191.
- [70] Organisation for Economic Co-operation and Development, [https://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=PAT\\_DEV#](https://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=PAT_DEV#) (Erişim tarihi: **01 Aralık 2018**).

## ÖZGEÇMİŞ

### Kimlik Bilgileri

Adı Soyadı : Melike Kübra Ekiz

Doğum Yeri : ANKARA

Medeni Hali : Bekar

E-posta : melike.kubra.ekiz@gmail.com

Adresi : Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü

Umuttepe Kampüsü İzmit/KOCAELİ

### Eğitim

Lise : 2007-2011 Hurin Yavuzalp Lisesi

Lisans : 2011-2016 Selçuk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri

Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans: Hacettepe Üniversitesi, F. B. E, Endüstri Mühendisliği A. D.

### Yabancı Dil ve Düzeyi

İngilizce

Yabancı Dil Seviye Sınavı (YDS) - 75 Puan

### İş Deneyimi

2017-... : Kocaeli Üniversitesi - Araştırma Görevlisi

### Deneyim Alanları

-

### Tezden Üretilmiş Projeler ve Bütçesi

-

### Tezden Üretilmiş Yayınlar

-

### Tezden Üretilmiş Tebliğ ve/veya Poster Sunumu ile Katıldığı Toplantılar

-



HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
YÜKSEK LİSANS TEZ ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU

HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ  
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI BAŞKANLIĞI'NA

Tarih: 11/12/2018

Tez Başlığı / Konusu: Veri Zarflama Analizinde Karar Verme Birimlerinin Sıralanmasına Yeni Yaklaşımlar

Yukarıda başlığı/konusu gösterilen tez çalışmamın a) Kapak sayfası, b) Giriş, c) Ana bölümler d) Sonuç kısımlarından oluşan toplam 56 sayfalık kısmına ilişkin, 11/12/2018 tarihinde tez danışmanım tarafından *Turnitin* adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 3 'tür.

Uygulanan filtrelemeler:

- 1- Kaynakça hariç
- 2- Alıntılar hariç
- 3- 5 kelimedenden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç

Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Çalışması Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılması Uygulama Esasları'nı inceledim ve bu Uygulama Esasları'nda belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini saygılarımla arz ederim.

Tarih ve İmza

Adı Soyadı: Melike Kübra Ekiz  
Öğrenci No: N16127798  
Anabilim Dalı: Endüstri Mühendisliği  
Programı: Endüstri Mühendisliği  
Statüsü:  Y.Lisans  Doktora  Bütünleşik Dr.

11/12/2018

**DANIŞMAN ONAYI**

UYGUNDUR.

(Unvan, Ad Soyad, İmza)

