

**T.C.  
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**BULANIK VERİ ZARFLAMA ANALİZİ: TÜRKİYE'DEKİ ŞEKER  
FABRİKALARININ ETKİNLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

**ÖZLEM ŞULE AYDOĞMUŞ**

**İSTATİSTİK ANABİLİM DALI**

**SAMSUN  
2019**

**Her hakkı saklıdır.**

## TEZ ONAYI

Özlem Şule Aydoğmuş tarafından hazırlanan “Bulanık Veri Zarflama Analizi: Türkiye’deki Şeker Fabrikalarının Etkinliklerinin İncelenmesi” adlı tez çalışması 07/02 /2020 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İstatistik Anabilim Dalı’nda **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

**Danışman** Doç. Dr. Talat ŞENEL

Ondokuz Mayıs Üniversitesi

İstatistik Anabilim Dalı

### Jüri Üyeleri

**Başkan** Prof. Dr. Kamil ALAKUŞ

Ondokuz Mayıs Üniversitesi

İstatistik Anabilim Dalı

**Üye** Doç. Dr. Talat ŞENEL

Ondokuz Mayıs Üniversitesi

İstatistik Anabilim Dalı

**Üye** Dr. Öğretim Üyesi Tolga ZAMAN

Çankırı Karatekin Üniversitesi

İstatistik Anabilim Dalı

**Yukarıdaki sonucu onaylarım. ... / ... /2020**

**Prof. Dr. Bahtiyar ÖZTÜRK**

**Enstitü Müdürü**

## ETİK BEYAN

Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez içindeki bütün bilgilerin doğru ve tam olduğunu, bilgilerin üretilmesi aşamasında bilimsel etiğe uygun davrandığımı, yararlandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi beyan ederim.

... / ... / 2020

Özlem Şule Aydoğmuş

# ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

## BULANIK VERİ ZARFLAMA ANALİZİ: TÜRKİYE'DEKİ ŞEKER FABRİKALARININ ETKİNLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Özlem Şule AYDOĞMUŞ

Ondokuz Mayıs Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
İstatistik Anabilim Dalı

Danışman: Doç.Dr. Talat ŞENEL

Veri Zarflama Analizi (VZA), birden çok girdi ve birden çok çıktıya sahip olan Karar Verme Birimleri (KVB)'nin görelî etkinliğinin ölçülmesinde kullanılan bir yöntemdir. Ayrıca bu yöntem, etkin olmayan KVB'nin etkin olmayış miktarları ve bunların neden kaynaklandığı hakkında bilgi vermektedir. Bunun yanı sıra VZA, etkin olmayan KVB'leri için gerekli olan girdi azaltma ve/veya çıktı arttırma miktarlarının belirlenmesinde yöneticilere destek sağlayabilmektedir. Klasik VZA modelleri, kullanılan girdi ve çıktı değerlerinin kesin olarak bilindiği durumlarda uygulanabilmektedir. İşletmelerde etkinlik hesaplamalarında kullanılan girdi-çıkıtı verileri çoğu zaman tam ve kesin olarak bilinmemekte yani belirsizlik içerebilmektedir. Tam ve kesin olmayan bu verilere bulanık veriler adı verilmekte ve bulanık kümeler ile ifade edilmektedir. Bulanık küme teorisi ilk olarak Prof. Dr. Lotfi A. Zadeh tarafından 1965 yılındaki "Fuzzy Sets" başlıklı çalışma ile ele alınmıştır. Girdi ve çıktı değerlerinin kesin olarak belirlenemediği durumlarda, etkinlik ölçümlerinin yapılabilmesi için Bulanık Veri Zarflama Analizi (BVZA) modelleri geliştirilmiştir. Bu çalışmada, Türkiye Şeker Fabrikaları A.Ş. (TÜRKŞEKER)'ye ait şeker fabrikalarının etkinlik durumları incelenmiştir. TÜRKŞEKER 2018 yılı faaliyet raporu incelendiğinde, "... belirlediğimiz hedefler istikametinde yüksek kalite ve verimlilik odaklı artan bir performans ile ..." ifadesi yer almaktadır. Buradan hareketle Türkiye Şeker Fabrikaları A.Ş.'ye ait 25 adet şeker fabrikasının etkinlik durumları merak edilmiştir. 2017-2018 döneminde, şeker fabrikalarının etkin olup olmadıkları araştırılmıştır. Etkinlik değerleri önce klasik veri zarflama analizi kullanılarak belirlenmiştir. Daha sonra kullanılan girdi ve çıktıların bazılarında bulanıklık olabileceği düşüncesiyle, bulanık veri zarflama analizi kullanılarak şeker fabrikalarının etkinlik değerleri tekrar elde edilmiştir. Klasik VZA ve bulanık VZA sonuçları karşılaştırılarak, etkin olmayan KVB'nin etkin hale gelebilmeleri için tam etkin olan hangi şeker fabrikalarını kendilerine referans almaları konusunda önerilerde bulunulmuştur.

Şubat 2020, 60 sayfa

Anahtar Kelimeler: Etkinlik, Veri Zarflama Analizi, Bulanık Veri Zarflama Analizi, TÜRKŞEKER

## ABSTRACT

Master Thesis

### FUZZY DATA ENVELOPMENT ANALYSIS: ANALYZING OF THE EFFICIENCY OF SUGAR FACTORIES IN TURKEY

Özlem Şule AYDOĞMUŞ

Ondokuz Mayıs University  
Institute of Science  
Department of Statistics

Assoc. Prof.: Doç. Dr. Talat ŞENEL

Data envelopment analysis (VZA) is a method used to measure the relative effectiveness of decision-making units (KVB) that have multiple input and multiple output. Also this method, gives information about how to determine the inactive amount of the inactive KVB and why these occur. Besides this, VZA can provide support to administrators in determining the amount of input reduction and/or output increase required for their inactive Kvb. Classic VZA models can be applied when the input and output values used are known for sure. The input and output values used in business activity accounts are often not fully known so it can include uncertainty. Information such as these, which are not certain and complete are called Fuzzy Sets. The first, fuzzy set theory has been addressed by Prof. Dr. Lotfi A. Zadeh in 1965 in his work titled "Fuzzy Sets". In this study, Turkish Sugar Factories A. P. Activity Status of sugar factories belonging to (TURKŞEKER) has been investigated. TURKŞEKER annual report for 2018 was examined, the expression used is: "with an increased performance focused on high quality and efficiency in the direction of the goals we have set ...". The activity of 25 sugar factories has raised curiosity as a result of the afore mentioned study. Whether sugar factories were active was investigated in 2017-2018. Efficiency values was first determined using classical data envelopment analysis. Due to the idea of the possibility that fuzzy sets' input and output could occur the method of Data Envelopment Analysis have been used to re-evaluate the activity rates of Sugar Factories. By comparing the classic VZA and fuzzy VZA results, suggestions were made about which sugar factories to take as reference in order for inactive KVB to become active.

February 2020, 60 pages

Keywords: Efficiency, Data Envelopment Analysis, Fuzzy data envelopment analysis,  
TURKSEKER

## ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Akademik eğitim sürecimin bir üst noktası olan yüksek lisans tez çalışmam süresince yardım ve desteğini benden esirgemeyen danışman hocam Sayın Doç. Dr. Talat ŞENEL'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bugünlere gelmemde bana en büyük desteği veren, hayatım boyunca yanımda olan en büyük şansım anneme, canım kardeşime ve her zaman arkamda olan geniş aileme sonsuz teşekkür ederim.

Lisans ve yüksek lisans öğretim sürecim boyunca bana yol gösteren yardım ve desteklerini esirgemeyen çok değerli bölüm hocalarıma teşekkür ederim.

Şubat 2020, Samsun

Özlem Şule AYDOĞMUŞ

## İÇİNDEKİLER DİZİNİ

ÖZET .....	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR .....	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ .....	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	ix
1.GİRİŞ .....	1
2.LİTERATÜR TARAMASI .....	3
3.MATERYAL VE YÖNTEM.....	5
3.1. Veri Zarflama Analizi (VZA) .....	5
3.1.1.Tanım .....	5
3.1.2.Temel kavramlar .....	5
3.1.3.Verizarfılama analizinin avantaj ve dezavantajları .....	6
3.1.4.Verizarfılama analizinin uygulama aşamaları.....	6
3.1.4.1.Karar verme birimlerinin (KVB) seçilmesi.....	6
3.1.4.2.Girdi-çıkıtı seçimi .....	7
3.1.4.3.Verilerin elde edilebilirliği ve güvenilirliği .....	8
3.1.4.4.Modelin belirlenmesi ve etkinliğin ölçülmesi.....	8
3.1.4.5.Etkinlik değerlerinin belirlenmesi.....	8
3.1.4.6.Referans kümelerinin belirlenmesi .....	9
3.1.4.7.Sonuçların yorumlanması .....	9
3.1.5.Verizarfılama analizi modelleri.....	9
3.1.5.1.CCR modelleri .....	9
3.1.5.1.1.Girdiye yönelik CCR modeli .....	9
3.1.5.1.2.Çıkıtıya yönelik CCR modeli.....	11
3.1.5.2. BCC modelleri .....	12
3.1.5.2.1.Girdiye yönelik BCC modeli .....	12
3.1.5.2.2.Çıkıtıya yönelik BCC modeli.....	12
3.2.Bulanık Küme Teorisi.....	13
3.2.1.Klasik kümeler .....	13
3.2.2.Bulanık kümeler.....	13
3.2.2.1.Üyelik fonksiyonları .....	14

3.2.2.1.1.Üçgensel üyelik fonksiyonu.....	14
3.2.2.1.2.Yamuksal üyelik fonksiyonu .....	14
3.2.2.2.Bulanık kümelerde temel kavramlar .....	15
3.2.3.Bulanık sayılar .....	17
3.2.3.1.Bulanık sayılarda aritmetik işlemler .....	18
3.2.3.1.1. $\alpha$ -Kesim yöntemiyle bulanık sayılarda aritmetik işlemler .....	18
3.2.3.1.2.Genişleme ilkesine göre bulanık sayılarda aritmetik işlemler .....	19
3.3.Bulanık Veri Zarflama Analizi (BVZA) .....	19
3.3.1.Bulanık verilerin sınıflandırılması .....	19
3.3.2.Bulanık veri zarflama analizi modelleri.....	19
3.3.2.1.Despotis-Smirlis modeli.....	20
3.3.2.2.Cook-Kress-Seiford modeli .....	21
3.3.2.3.Cooper-Park-Yu modeli.....	22
3.3.2.4.Kao-Liu modeli.....	24
3.3.2.5.Saati-Memariani-Jahanshahloo modeli.....	26
3.3.2.6.Saati-Memariani modeli.....	27
3.3.2.7.Lertworasirikul modeli.....	28
3.3.2.8.Lertworasirikul-Fang-Joines-Nuttle modeli.....	30
3.3.2.9.Guo-Tanaka modeli.....	31
3.3.2.10.Leon-Liern-Ruiz-Sirvent modeli.....	32
4.UYGULAMA .....	34
5.BULGULAR VE TARTIŞMA .....	38
6.SONUÇ VE ÖNERİLER.....	45
KAYNAKLAR .....	46
EKLER.....	49
EK 1 Değişkenler arası korelasyon .....	50
EK 2 Çalışmada kullanılan Girdi ve Çıktı değişkenlerine ait veri seti .....	51
EK 3 Girdi ve çıktı değişkenlerine ait aralık veriler .....	52
EK 3 Girdi ve çıktı değişkenlerine ait aralık veriler (devam).....	53
EK 4 Kao-Liu modeli ile $\alpha = 0$ düzeyinde elde edilen dual değişkenler .....	54
EK 5 Kao-Liu modeli ile $\alpha = 0.1$ düzeyinde elde edilen dual değişkenler .....	55
EK 6 Kao-Liu modeli ile $\alpha = 0.3$ düzeyinde elde edilen dual değişkenler .....	56
EK 7 Kao-Liu modeli ile $\alpha = 0.5$ düzeyinde elde edilen dual değişkenler .....	57
EK 8 Kao-Liu modeli ile $\alpha = 0.7$ düzeyinde elde edilen dual değişkenler .....	58
EK 9 Kao-Liu modeli ile $\alpha = 0.9$ düzeyinde elde edilen dual değişkenler .....	59
EK 10 Kao-Liu modeli ile $\alpha = 1$ düzeyinde elde edilen dual değişkenler .....	60
ÖZGEÇMİŞ.....	61



## SİMGELER VE KISALTMALAR

### SİMGELER

$n$	KVB sayısı
$s$	Çıktı sayısı
$m$	Girdi sayısı
$u_r$	$o$ . KVB tarafından $r$ . çıktıya verilen ağırlık değeri
$v_i$	$o$ . KVB tarafından $i$ . girdiye verilen ağırlık değeri
$x_{io}$	$o$ . KVB'nin kullandığı $i$ . girdi miktarı
$y_{ro}$	$o$ . KVB'nin elde ettiği $r$ . çıktı miktarı
$x_{ij}$	$j$ . KVB'nin kullandığı $i$ . girdi miktarı
$y_{rj}$	$j$ . KVB'nin elde ettiği $r$ . çıktı miktarı
$\epsilon$	Yeterince küçük bir sayı ( $\epsilon \leq 10^{-6}$ )
$K^C$	Kesin verilerin çıktı kümesi
$K^G$	Kesin verilerin girdi kümesi
$l$	Sıralı veriye verilen sıra
$u_{rj}^l$	$j$ . KVB'nin $r$ . sıralı çıktısına verilen ağırlık
$v_{ij}^l$	$j$ . KVB'nin $i$ . sıralı girdisine verilen ağırlık
$\pi$	Olabilirlik ölçümü
$\beta$	1. kısıtın olabilirliği
$\alpha_o$	2. kısıtın olabilirliği
$\alpha_j$	3. kısıtın olabilirliği
$\bar{f}$	$o$ . KVB'nin çıktılarının ağırlıklı toplamının alabileceği değer

## KISALTMALAR

AB	Avrupa Birliği
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
OESD	Ekonomik İş Birliği ve Kalkınma Teşkilatı
VZA	Veri Zarflama Analizi
KVB	Karar Verme Birimleri
CCR	Charnes, Cooper ve Rhodes Modeli
BCC	Banker, Charnes ve Cooper Modeli
CRS	Sabit Getirili Ölçek
VRS	Değişken Getirili Ölçek



## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Despotis-Smirlis modelinde girdiler ve çıktılar için üyelik fonksiyonu.... 20



## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Kesin, sınırlandırılmış ve sıralı veriler için örnek veri seti.....	21
Çizelge 3.2. Ölçek dönüşümü yapılan veriler .....	23
Çizelge 3.3. Lertworasirikul modellerinin mü = alfa üyelik derecesinde veri kullanımı.....	29
Çizelge 4.1. TÜRKŞEKER'e ait faaliyet gösteren fabrikalar .....	35
Çizelge 4.2. BVZA uygulamasında kullanılan girdi ve çıktı değişkenleri .....	36
Çizelge 4.3. Girdi ve çıktı verilerine ilişkin istatistiksel bilgiler .....	37
Çizelge 5.1. Girdiye yönelik Klasik VZA modeli sonuçları.....	39
Çizelge 5.2. Kao-Liu modeli ile elde edilen etkinlik skorları .....	40
Çizelge 5.3. Bulanıklığın tam olduğu ve olmadığı durumun karşılaştırılması .....	43

## 1. GİRİŞ

Veri Zarflama Analizi (VZA) ilk olarak 1957 yılında Farrell'in birden fazla girdi ve çıktı olması durumunda ki çalışması ile ortaya çıkmıştır. Daha sonra Charnes, Cooper ve Rhodes tarafından 1978 yılında geliştirilen ölçüğe göre sabit getiri varsayımı altında çok sayıda girdi ve çıktısı olan karar verme birimlerinin görelî etkinliğini yaptığı çalışmalarla ortaya koymuştur.

Banker, Chornes ve Cooper tarafından 1984 yılında ölçüğe göre değişken getiri varsayımı altında teknik etkinlik ve ölçek etkinliği ayırımının olduğu BCC modeli geliştirilmiştir.

Bulanık küme teorisi ilk olarak Zadeh'in 1965 yılındaki çalışması ile ele alınmıştır. Girdi ve çıktı değerlerinin net olarak belirlenemediği durumlarda, etkinlik ölçümlerinin yapılabilmesi için Bulanık Veri Zarflama Analizi (BVZA) modelleri geliştirilmiştir.

BVZA modellerindeki veriler; sınırlandırılmış, sıralı, hiçbir şekilde elde edilemeyen veya kesin değerleri bilinen veriler olabilir.

Ülkemizde şeker terimi genel olarak pancar şekerî ve nişasta bazlı şeker için kullanılmaktadır. Dünyada ise pancar ya da kamıştan elde edilen kristal beyaz şeker (sakaroz) akla gelmektedir. Dünyada şeker üretiminin %77'si kamıştan, %23'ü pancardan elde edilmektedir (Kadıoğlu, 2018). Kamış ve pancardan elde edilen şekerler arasında kalite açısından bir fark yoktur. Fakat sadece tropik ve alttropik bölgelerde yetiştirilebilen şeker kamışının şeker pancarına oranla daha düşük maliyetle üretilmesi, işleme maliyetlerinin düşüklüğü gibi nedenlerle kamıştan elde edilen şekerin maliyeti pancara göre daha düşüktür. Türkiyenin bulunduğu coğrafya gereği AB üyeleri, Rusya, Ukrayna gibi ülkeler şekerî pancardan; ABD, Japonya, Çin gibi ülkeler hem pancardan hem kamıştan; Brezilya, Hindistan, Meksika, Tayland, Avustralya gibi pek çok ülke kamıştan üretmektedir.

Ülkemiz dünya pancar şekerî üretiminde yaklaşık %7 paya sahiptir. Rusya, ABD, Fransa ve Almanya'nın ardından 5. sırada yer alıyor.

Türkiye'nin ortaklık ile kurulan ilk şeker fabrikası Uşak Şeker Fabrikası, ilk üretime geçen fabrika ise Kırklareli'nde bulunan Alpullu Şeker Fabrikasıdır. 2018 verilerine göre kurulu üretim kapasitesi ile ilgili en fazla üretim özel sektörün elinde bulunan Konya ve Yozgat fabrikalarıdır.

Türkşeker, ülkemizde halihazırda, kapasiteleri 1750 - 8500 ton pancar/gün arasında değişen 15 şeker fabrikası ile üretim yapmaktadır.

Günümüzde Bulanık Veri Zarflama Analizi birçok işletmenin, kurumun ve firmanın etkinliklerinin ölçülmesinde kullanılan bir modeldir.

Tez çalışmasının ikinci bölümünde, literatür taraması verilmiştir. Bulanık Veri Zarflama analizi ile etkinlik karşılaştırılması konusunda birçok çalışma yapılmış; ancak şeker fabrikalarının etkinlikleri ile ilgili herhangi bir çalışma yapılmadığı görülmüştür.

Çalışmanın üçüncü bölümünde, ilk olarak Veri Zarflama analizi modelleri tanıtılmış, daha sonra bulanık kümeler ve Bulanık Veri Zarflama Analizi modelleri incelenmiştir.

Dördüncü bölümde ise TURKŞEKER'e ait olup faaliyet gösteren 25 tane şeker fabrikasının 2017-2018 üretim dönemindeki verileri dikkate alınarak Klasik VZA ve Bulanık VZA ile etkinlikleri hesaplanmış ve karşılaştırılmıştır.

Beşinci bölümde, elde edilen sonuçlar verilmiş ve ekler de gösterilmiştir. Çalışmanın son bölümünde ise tezin genel olarak sonuçları ortaya konmuştur.

## 2. LİTERATÜR TARAMASI

Bulanık Veri Zarflama Analizi ile etkinlik ölçümü yapılan çalışmalar incelendiğinde, Klasik Veri Zarflama Analizi çalışmalarına nazaran daha az sayıda bilimsel çalışmanın yapıldığı görülmektedir. Literatür incelemesi sonucunda, şeker fabrikaları ile ilgili Bulanık Veri Zarflama Analizi modelleriyle etkinlik ölçümü yapılan herhangi bir çalışmaya rastlanılmamıştır.

Arslan ve Ulubeyli 2017 yılındaki çalışmalarında Türkiye’de faaliyet gösteren üç farklı beton pompası üreticisi tarafından üretilen aynı tipteki birer adet beton pompasının özellikleri ve beton pompası kullanıcısı 70 adet firmanın makine sorumluları ile yapılan görüşmelerden elde edilen verileri kullanılarak söz konusu beton pompalarının etkinliklerini hesaplamıştır. Hesaplamalarda hem bulanık hem de normal sayıları aynı anda işleyebilmek için Madea ve diğerleri (1998) tarafından geliştirilen ve Saati ve diğerleri (2002) tarafından iyileştirilen  $\alpha$ -kesim kümeleri yaklaşımından faydalanmışlardır.

Kabak ve Özveri 2017 yılındaki çalışmalarında bir perakende mağaza zincirinin İzmir ilinde açmayı planladığı mağaza yerlerinin belirlenmesinde Bulanık Veri Zarflama Analizi yöntemini uygulamıştır.

Öksüzkaya ve Atan 2016 yılındaki çalışmalarında Türk bankacılık sektörünün etkinliğini incelemiştir. Çalışmada Lerworasirikul’un iyimser-iyimser, kötümser-kötümser, iyimser-kötümser ve kötümser-iyimser olmak üzere 4 farklı yaklaşımı kullanılarak bankaların etkinliği Bulanık Veri Zarflama Analizi ile ölçülmüştür.

Çakır 2016 yılındaki çalışmasında ÇAYKUR’a bağlı 20 yaş çay işleme fabrikasının etkinlik ölçümünü Bulanık Veri Zarflama Analizi ile gerçekleştirmiştir.

Yeşilaydın ve Alptekin 2016 yılındaki çalışmalarında OECD ülkelerinin sağlık alanındaki etkinliklerini Bulanık Veri Zarflama Analizi ile belirlemişlerdir. Bulanık Veri Zarflama Analizinde Wang, Greatbanks ve Yang’ın önermiş olduğu model kullanılmış ve çözümler Zimmermann (1991)’nin  $\alpha$ -kesim düzeyi yaklaşımı doğrultusunda aralık veriler oluşturularak yapılmıştır.

Gündüz 2015 yılındaki çalışmasında kuru kayısı yetiştiren işletmelerin Bulanık Veri Zarflama Analizi ile etkinliklerini ölçmüştür.

Oruç vd. 2009 yılındaki çalışmalarında Saati ve Memariani tarafından önerilen Bulanık Veri Zarflama Analizi modelini kullanarak Türkiye'deki 24 devlet üniversitesinin 2006 yılı etkinlik ölçümlerini yapmıştır.

Şafak 2009 yılındaki çalışmasında Ege Bölgesinde bulunan 26 orman işletme müdürlüğünün 2005-2007 yıllarına ait faaliyetlerini esas alarak Klasik ve Bulanık Veri Zarflama Analizi teknikleri ile etkinlik düzeylerini değerlendirmiştir.

Özyiğit vd. 2008 yılındaki çalışmalarında Türkiye'de elektrik üretimi için kullanılabilir enerji kaynak alternatiflerinin etkinliğinin ölçülmesi için Bulanık Veri Zarflama Analizi yöntemini kullanmışlardır.

Y. Ayan ve Perçin 2008 yılındaki çalışmalarında Türk otomotiv firmalarının Klasik Veri Zarflama Analizi, Sınırlı Veri Zarflama Analizi ve Bulanık Veri Zarflama Analizi yöntemleri ile hesaplanan etkinliklerini karşılaştırmak ve girdi-çıktı faktör ağırlıklarını sınırlandırarak bir Sınırlı Bulanık Veri Zarflama Analizi modeli uygulanmıştır.

Güneş 2006 yılındaki çalışmasında Klasik Veri Zarflama Analizi ve Bulanık Veri Zarflama Analizi tekniklerinden bahsetmiş ve Bulanık Veri Zarflama Analizi teknikleri arasından seçilen aralık sayılarla Bulanık Veri Zarflama Analizi yöntemi ile Türkiye'de Birinci Derece Kalkınma Öncelikli Yörelere performanslarını analiz etmiştir.

Güngör ve Demirgil 2005 yılındaki çalışmalarında denizlere sınırı olmayan Batı Anadolu'daki 24 ilden oluşan karar verme birimleri kümesini dikkate alarak, Bulanık Veri Zarflama Analizi uygulaması yapmışlardır.



### **3. MATERYAL VE YÖNTEM**

#### **3.1. Veri Zarflama Analizi (VZA)**

##### **3.1.1. Tanım**

Veri Zarflama Analizi (VZA), çoklu girdi-çıkıtı değişkenlerini kapsayan Karar Verme Birimleri (KVB)'nin görelî etkinliğini ölçmesinin dışında, tam etkin olmama miktarı ile neden ortaya çıktığı konusunda yol gösterir. Bu özellik ile VZA, etkin olmayan birimlerde gerekli olan girdi azaltma ve/veya çıktı arttırma miktarlarını belirleyerek yöneticilere destek sağlayabilmektedir.

##### **3.1.2. Temel kavramlar**

Veri Zarflama Analizinde kullanılan terimler aşağıdaki gibidir.

Girdi: KVB tarafından çıktı elde etmek amacıyla değerlendirilen değişkenlere girdi denir.

Çıktı: Girdilerin proses ve tüketiminden elde edilen ürünlerdir.

Değişken: İşlemden kullanılan girdi-çıkıtı etkenleridir. Örneğin personel sayısı, üretim, ekim alanı vb.

Homojenlik: Birimler arasındaki benzeşmedir.

Verimlilik: Sabit miktarda girdi ile maksimum çıktı yada sabit miktar çıktının minimum girdi ile hesaplanmasıdır.

Etkinlik: Eldeki girdiyi kullanarak maksimum çıktıyı üretmek olarak tanımlanmaktadır.

Karar Verme Birimi: Birbiriyle benzerlik gösteren girdiler sayesinde birbiriyle benzerlik gösteren çıktılar elde eden işletme, kurum vb. bağıntılı etkinliği incelenen birimlerdir.

Etkin Karar Verme Birimi: Etkinlik oranının 1 olması istenir. Bu durum birimin diğer karar verme birimlerine göre daha başarılı olduğunu gösterir (Depren, 2008).

### 3.1.3. Veri zarflama analizinin avantaj ve dezavantajları

Avantajları:

- Veri Zarflama Analizi, çok sayıda girdi-çıkıyı işleyecek kapasitededir.
- Veri Zarflama Analizi, girdi ve çıktıları bağdaştıran bir işlevselliğe gerek duymaz.
- Veri Zarflama Analizi ile etkinlikleri ölçülen karar verme birimleri bağdaşık olarak tam etkinliğe sahip olan karar verme birimleri ile karşılaştırılır.
- Girdi-çıkı faktörleri farklı birimlere sahip olabilirler.

Dezavantajları:

- Veri Zarflama Analizi, ölçüm hatasına karşı hassastır.
- Veri Zarflama Analizi, karar noktalarının performansını ölçmek açısından yeterlidir, fakat bu değerlendirmenin mutlak etkinlik bazındaki yorumu ile ilgili ipucu vermez.
- Veri Zarflama Analizi, parametrik olmayan bir teknik olduğu için sonuçlara istatistiksel hipotez testlerinin uygulanması zordur.
- Veri Zarflama Analizi, statik bir analiz şeklindedir, bir tek dönemdeki karar noktası verileri arasında bir kesit analizi yapar. Analiz sonucunda her karar noktası için tek bir etkinlik tahmini bulunmaktadır ve bu tahminin istatistiksel özelliklerinin elde edilmesi çok zordur.
- Her bir karar noktası için ayrı bir doğrusal programlama modelinin çözümü gerektiğinden, büyük boyutlu problemlerin VZA ile çözümü, hesaplama açısından zaman alıcı olabilir (Taşköprü, 2014).

### 3.1.4. Veri zarflama analizinin uygulama aşamaları

#### 3.1.4.1. Karar verme birimlerinin (KVB) seçilmesi

Bir çalışma için KVB seçimini etkileyen iki faktör vardır. Bunlar homojenlik ve KVB sayısıdır.

Karar Verme Birimleri homojen yani aynı yapıda olmalıdır. Homojen olmadığında, etkinlik skorları herhangi bir verimsizlik yerine ortamdaki alta yatan farklılıkları yansıtabilir. Bunun üstesinden gelmek için yapılması gereken KVB'leri

homojen gruplara ayırmaktır. Bununla birlikte, bunu yapmak için çok sayıda KVB'ye ihtiyaç duyulmaktadır (Haas ve Murphy, 2003). Veri kümesindeki homojenliği belirlemek için kümeleme analizi, çok aşamalı Veri Zarflama Analizi ve ölçeğe göre getiri analizi yapılır.

Bir VZA çalışmasını tamamlamak için büyük veri setine sahip olmak avantajlıdır. Bassofiane vd. (1991), KVB sayısı en az girdi ve çıktı sayısının çarpımı kadar olmalıdır diye görüş belirtmişlerdir. Bu mantık, her bir KVB'nin verimliliğini belirlemede girdi ve çıktı değerlerine atılacak ağırlık seçiminde esneklik olduğu konusundan kaynaklanmaktadır.

Örneğin, 3 girdi ve 4 çıktı varsa, modelde bazı ayrımcı güç olması için minimum toplam KVB sayısı en az 12 olmalıdır. Ayrıca Bassofiane ve arkadaşlarının bir başka görüşü ise girdi sayısı  $k$ , çıktı sayısı  $p$  ise en az  $k+p+1$  tane karar verme biriminin olması gerektiğini belirtmiştir. Bu durumda en az 8 KVB kullanılması gerekir.

Golany ve Roll (1989), birim sayısının, kabul edilen girdi-çıkıtı sayısının toplamının en az iki katı olması gerektiğine dikkat çekmektedir. Bowlin (1998) ve Friedman ve Sinuany-Stern (1998), her bir girdi ve çıktı başına en az üç karar biriminin seçilmesi gerektiğini belirterek toplam girdi ve çıktı değişkenlerinin sayısının analizdeki KVB sayısının üçte birinden az olması gerektiğini söylemiştir.  $[(k+p) < n/3]$ . Dyson vd. (2001) KVB sayısı için, girdi sayısı ve çıktı sayısı çarpımının iki katı kadar KVB olması gerektiğini savunmaktadır.

Eğer Karar Verme Birimi sayısı yukarıda verilen yaklaşımlardan farklı olarak girdi sayısı ve çıktı sayısından az ise girdi sayısı ve çıktı sayısı uygun şekilde azaltılabilir. Veri setinin boyutuna bakılmaksızın, KVB'leri arasında daha etkili ayırım yapmaya yardımcı olabilecek VZA tabanlı verimlilik modellerini, Andersen ve Petersen (1993), Rousseau ve Semple (1995) ve Doyle ve Green (1994) önermişlerdir.

#### **3.1.4.2. Girdi-çıkıtı seçimi**

VZA'da girdi-çıkıtı seçimi önemlidir. Uygulamada üretim sürecine bağlı olan girdi-çıkıtların seçilmesi gerekir. Girdi-çıkıtı değişkenlerinden herhangi birinin gözden kaçması KVB etkinliğinin farklı sonuç vermesine neden olabilir. Uygulamada kullanılan girdi-çıkıtı sayısı arttıkça tüm KVB'ler daha etkin hale gelir. Bu nedenle

KVB gerçek etkinliğini yansıtamaz. Uygulamada girdi-çıkıtı sayısı arttırılıyorsa kullanılacak KVB sayısı da arttırılmalıdır (Öncü ve Aktaş, 2007).

#### **3.1.4.3. Verilerin elde edilebilirliği ve güvenilirliği**

Veri Zarflama Analizi'nde girdi ve çıktılar tanımlandıktan sonra bu verilere ulaşma aşamasına gelinir. Eğer herhangi bir karar verme birimi için bu verilere ulaşılamıyorsa veya verilerin güvenilir olup olmadığından şüpheleniliyorsa o karar verme birimi ya analizden çıkarılır ya da başka girdi-çıkıtı değişkenleri belirlenmeye çalışılır. Fakat Veri Zarflama Analizi'nin yapısı gereği bir karar verme birimi analizden çıkarılırsa diğer karar verme birimlerinin görelî etkinlik değerleri değişecektir. Bu sebeple en başta veri güvenliğinin ve kalitesinin yüksek olduğu girdilerin ve çıktılarının belirlenmesi analizin güvenilirliği açısından çok büyük önem taşımaktadır.

#### **3.1.4.4. Modelin belirlenmesi ve etkinliğin ölçülmesi**

VZA'da modeller girdi ve çıkıtı odaklı olarak ikiye ayrılır. Girdi odaklı modelde, maksimum çıkıtıyı elde etmek için en iyi girdi bileşiminin bulunması amaçlanırken çıkıtı odaklı modelde belirli bir girdi bileşimi kullanılarak maksimum çıkıtının elde edilmesi amaçlanmıştır.

VZA problemlerinin çözümünde LINDO, QSB, STORM gibi programlar kullanılabilir. Bunun dışında raporlama ve sunum alanlarında kendini geliştirmiş EMS, IDEAS, DEAP, ETAKS, Warwick Windows DEA, PIONEER gibi Windows altında çalışan programlar da kullanılabilir.

#### **3.1.4.5. Etkinlik değerlerinin belirlenmesi**

Her KVB'nin etkinlik değeri, [0,1] aralığındadır. 1 etkinlik değerine sahip olan KVB'ler tam etkin sayılırken, aynı zamanda bunlar etkinlik sınırını oluşturur. Etkinlik değeri 0-1 arasında olan KVB'ler ise tam etkin olmayan karar verme birimi olarak belirlenir (Bakırcı, 2006).

### 3.1.4.6. Referans kümelerinin belirlenmesi

VZA’da etkin olmayan karar verme birimleri etkin olan karar verme birimlerine benzetilmeye çalışılır. Kendilerini benzetmeye çalıştıkları bu etkin karar verme birimlerinin oluşturduğu kümeye referans kümesi denir (Depren, 2008).

### 3.1.4.7. Sonuçların yorumlanması

KVB’ler incelendikten sonra girdi-çıktıların dikkate alındığı gözlem kümesine ait etkin ve etkin olmayan karar verme birimleri için ortak bulgular araştırılır.

### 3.1.5. Veri zarflama analizi modelleri

VZA’da, modeller;

- Charnes, Cooper ve Rhodes (CCR) tarafından 1978 yılında Ölçeğe Göre Sabit Getiri (CRS) varsayımı altında,
- Banker, Charnes ve Cooper tarafından 1984 yılında Ölçeğe Göre Değişken Getiri (VRS) varsayımı altında,
- Girdiye yönelik,
- Çıktıya yönelik,

VZA modelleri olarak tanımlanmıştır (Oruç, 2008).

#### 3.1.5.1. CCR modelleri

##### 3.1.5.1.1. Girdiye yönelik CCR modeli

Çıktı düzeyini en etkin şekilde, çıktı seviyesini değiştirmeden elde etmek için girdi bileşiminin ne kadar azaltmak gerektiğini araştırılan bir modeldir ve aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

$$E_o = \max \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{ro}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{io}} \quad (3.1)$$

Kısıtlar,

$$\frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{io}} \leq 1, \quad j = 1, 2, \dots, n$$

$$v_i, u_r \geq 0 \quad r = 1, 2, \dots, s \quad i = 1, 2, \dots, m$$

Burada,

n: KVB sayısı  $j = 1, 2, \dots, n$

s: Çıktı sayısı  $r = 1, 2, \dots, s$

m: Girdi sayısı  $i = 1, 2, \dots, m$

$u_r$ : o. KVB tarafından r. çıktıya verilen ağırlık değeri

$v_i$ : o. KVB tarafından i. girdiye verilen ağırlık değeri

$x_{io}$ : o. KVB'nin kullandığı i. girdi miktarı

$y_{ro}$ : o. KVB'nin elde ettiği r. çıktı miktarı

$x_{ij}$ : j. KVB'nin kullandığı i. girdi miktarı

$y_{rj}$ : j. KVB'nin elde ettiği r. çıktı miktarı

Bu model bir kesirli programlama modelidir ve çözümü zordur. Bu nedenle (3.2) formülü ile kesirsel programlama modeli doğrusal programlama modeline benzetilebilir.

$$E_o = \max \sum_{r=1}^s u_r y_{ro} \quad (3.2)$$

Kısıtlar,

$$\sum_{i=1}^m v_i x_{io} = 1$$

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} \leq \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \quad j = 1, 2, \dots, n$$

$$v_i, u_r \geq \varepsilon \quad r = 1, 2, \dots, s \quad i = 1, 2, \dots, m$$

$\varepsilon$ : Yeterince küçük bir sayı ( $\varepsilon \leq 10^{-6}$ )

Çözüm sonucunda amaç fonksiyonu değeri 1 ise KVB<sub>o</sub> etkin, diğer durumlarda ise etkin değildir (Oruç, 2008).

### 3.1.5.1.2. Çıktıya yönelik CCR modeli

Girdi düzeyini en etkin şekilde, girdi seviyesini değiştirmeden elde etmek için çıktı bileşiminin ne kadar arttırmak gerektiğini araştıran bir modeldir.

Girdiye yönelik VZA modelinin çıktıya yönelik VZA modelinden farkı, ağırlıklandırılmış girdinin ağırlıklandırılmış çıktıya oranının en düşük seviyeye getirilmesidir.

$$E_o = \min \frac{\sum_{i=1}^m v_i x_{io}}{\sum_{r=1}^s u_r y_{ro}} \quad (3.3)$$

Kısıtlar,

$$\frac{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}}{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}} \geq 1, \quad j = 1, 2, \dots, n$$

$$v_i, u_r \geq \varepsilon \quad r = 1, 2, \dots, s \quad i = 1, 2, \dots, m$$

Yukarıda ifade edilen kesirli programlama modeli, aşağıdaki biçimde doğrusal programlama modeli olarak yazılabilir:

$$E_o = \min \sum_{i=1}^m v_i x_{io} \quad (3.4)$$

Kısıtlar,

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{ro} = 1$$

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} \leq \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \quad j = 1, 2, \dots, n$$

$$v_i, u_r \geq \varepsilon \quad r = 1, 2, \dots, s \quad i = 1, 2, \dots, m$$

Çözüm sonucunda amaç fonksiyonu değeri 1 ise  $KVB_o$  etkin, diğer durumlarda ise etkin değildir.

Girdiye yönelik CCR modeliyle çözüm yapıldığında etkin bulunan karar verme birimi, çıktıya yönelik CCR modelinde de etkindir (Oruç, 2008).

CCR modelleri ölçeğe göre sabit getiri varsayımına dayalıdır.

### 3.1.5.2. BCC modelleri

#### 3.1.5.2.1. Girdiye yönelik BCC modeli

Girdiye yönelik BCC modeli aşağıdaki gibidir:

$$E_o = \max \sum_{r=1}^s u_r y_{ro} - u_o \quad (3.5)$$

Kısıtlar,

$$\sum_{i=1}^m v_i x_{io} = 1$$

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - u_o \leq \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \quad j = 1, 2, \dots, n$$

$$v_i, u_r \geq \varepsilon \quad r = 1, 2, \dots, s \quad i = 1, 2, \dots, m$$

Çözüm sonucunda amaç fonksiyonu değeri 1 ise KVB<sub>o</sub> etkin, diğer durumlarda ise etkin değildir.

Bu modelin optimal çözümünde; eğer  $u_o < 0$  ise ölçeğe göre artan,  $u_o > 0$  ise ölçeğe göre azalan ve  $u_o = 0$  ise ölçeğe göre sabit getiri söz konusudur (Oruç, 2008).

#### 3.1.5.2.2. Çıktıya yönelik BCC modeli

Çıktıya yönelik BCC modeli aşağıdaki biçimdedir:

$$E_o = \min \sum_{i=1}^m v_i x_{io} - v_o \quad (3.6)$$

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{ro} = 1$$

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} \leq \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} - v_o \quad j = 1, 2, \dots, n$$

$$v_i, u_r \geq \varepsilon \quad r = 1, 2, \dots, s \quad i = 1, 2, \dots, m$$

Çözüm sonucunda amaç fonksiyonu değeri 1 ise KVB<sub>o</sub> etkin, diğer durumlarda ise etkin değildir (Oruç, 2008).

BCC modelleri ölçeğe göre değişken getiri varsayımına dayalıdır.



## 3.2. Bulanık Küme Teorisi

### 3.2.1. Klasik kümeler

Farklı nesnelere bir araya gelerek oluşturduğu topluluğa küme adı verilir. Kümeler liste yöntemi, ortak özellik yöntemi gibi farklı biçimlerde gösterilebilir. Üzerinde işlem yapılan tüm kümeleri kapsayan küme, evrensel küme denir.

Üyelik fonksiyonu, bir elemanın kümeye aitlik derecesinin fonksiyonudur ve  $\mu_A(x)$  ile ifade edilir. Eğer kümenin elemanının üyelik derecesi 1 ise kümenin elemanıdır, 0 ise kümenin elemanı değildir.

### 3.2.2. Bulanık kümeler

Etkinlikleri hesaplanacak olan karar verme birimlerine ait girdi ve çıktı değerleri bazen belirsizlik içerir. Bu tür verilere bulanık veriler denir ve bulanık kümeler ile ifade edilir.

Prof. Dr. Lotfi A. Zadeh 1965 yılında yapmış olduğu “Fuzzy Sets” isimli eserinde, bulanık kümeleri ilk kez ele almıştır.

Bulanık kümelerde elemanlar,  $[0,1]$  arasında üyelik dereceleri alır. Yani bulanık kümelerde, kısmi üyelik de söz konusudur.

E evrensel kümesinde tanımlı olan bir B bulanık kümesi,

$$\tilde{B} = \{(x, \mu_{\tilde{B}}(x)) | x \in E\} \quad (3.7)$$

biçiminde ifade edilir. E evrensel kümesine ait herhangi bir x elemanının,  $\mu_{\tilde{B}}(x)$  üyelik derecesi ile  $\tilde{B}$  bulanık kümesine ait olduğunu gösterir.

$\tilde{B}$  bulanık kümesi, eğer evrensel küme sonsuz ise:

$$\tilde{B} = \int_E \frac{\mu_{\tilde{B}}(x)}{x} \quad (3.8)$$

biçiminde, evrensel küme sonlu ise:

$$\tilde{B} = \sum_{i=1}^n \frac{\mu_{\tilde{B}}(x_i)}{x_i} = \frac{\mu_{\tilde{B}}(x_1)}{x_1} + \frac{\mu_{\tilde{B}}(x_2)}{x_2} + \dots + \frac{\mu_{\tilde{B}}(x_n)}{x_n} \quad (3.9)$$

biçiminde gösterilir.

### 3.2.2.1. Üyelik fonksiyonları

Bulanık kümelerde bir elemanın kümeye üyelik derecesi, üyelik fonksiyonuyla belirtilmektedir.

#### 3.2.2.1.1. Üçgensel üyelik fonksiyonu

Reel sayı doğrusu üzerinde tanımlı olan üçgensel bulanık sayı

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \mu_{\tilde{A}}(x; a, b, c) = \begin{cases} \frac{x-a}{b-a} & , a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b} & , b \leq x \leq c \\ 0 & , x \leq a \text{ veya } x \geq c \end{cases} \quad (3.10)$$

üyelik fonksiyonu ile ifade edilir.

b: üyelik derecesinin 1 olduğu noktadır ve mod değeri olarak adlandırılır.

a ve c: sol ve sağ kanat açıklıklarıdır.

#### 3.2.2.1.2. Yamuksal üyelik fonksiyonu

Reel sayılar doğrusu üzerinde tanımlı olan yamuksal bulanık sayı

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \mu_{\tilde{A}}(x; e, f, g, h) = \begin{cases} \frac{x-e}{f-e} & , e \leq x \leq f \\ 1 & , f \leq x \leq g \\ \frac{h-x}{h-g} & , g \leq x \leq h \\ 0 & , x \leq e \text{ veya } x \geq h \end{cases} \quad (3.11)$$

üyelik fonksiyonu ile ifade edilir.

e ve h: yamuksal bulanık sayının kanat açıkları

f ve g: yamuksal bulanık sayının kernel kümesini verir. Kernel kümesinin alt sınırı f üst sınırı g'dir.

Kesin bir sayıda aralık şeklinde ifade edilebilir. Bulanık sayıların  $\alpha$  kesimlerinin reel sayı doğrusunun kapalı bir aralığında tanımlı olması gerekir. Aralıklar halinde ifade edilen sayılar için temel cebirsel işlemler:

**Toplama:**  $[a,b] + [c,d] = [a+c, b+d]$

**Çıkarma:**  $[a,b] - [c,d] = [a-c, b-d]$

**Çarpma:**  $[a,b] * [c,d] = [\min(a*c, a*d, b*c, b*d), \max(a*c, a*d, b*c, b*d)]$

**Bölme:**  $[a,b] / [c,d] = [\min(a/c, a/d, b/c, b/d), \max(a/c, a/d, b/c, b/d)]$

biçimindedir.

### 3.2.2.2. Bulanık kümelerde temel kavramlar

#### Yükseklik

Bulanık bir kümedeki üyelik derecelerinden en büyüğü, bu bulanık kümenin yüksekliğini belirtir. Herhangi bir  $\tilde{A}$  kümesi için yükseklik,

$$\text{Yükseklik}(\tilde{A}) = \sup[\mu_{\tilde{A}}(x)], \forall x \in X$$

biçiminde ifade edilir.  $\tilde{A}$  bulanık kümesinin tanımlı olduğu evrensel küme sonlu ise supremum(sup) terimi yerine max. terimi kullanılır.

#### Normallik

Bir bulanık kümedeki en büyük üyelik derecelerinden en az bir tanesi 1'e eşitse küme normal bulanık kümedir.

1 üyelik derecesine sahip elemanı olmayan bulanık kümelere "normal olmayan bulanık kümeler" denir. Normal olmayan bir bulanık küme, üyelik derecelerini herbiri en büyük üyelik derecesine bölünerek normalleştirilebilir.

#### Destek kümesi

Bir  $\tilde{A}$  kümesinin desteği,  $\tilde{A}$ 'nın tanımlı olduğu evrensel kümenin bir klasik alt kümesi olarak

$$\text{Destek}(\tilde{A}) = \{x | \mu_{\tilde{A}}(x) > 0, x \in X\}$$

biçiminde tanımlanır. Yani destek kümesi bulanık olmayan bir kümedir.

#### Kernel kümesi

Bulanık bir kümenin tam üyesi olan elemanların oluşturduğu kümedir ve

$$\text{Kernel}(\tilde{A}) = \{x | \mu_{\tilde{A}}(x) = 1, x \in X\}$$

olarak tanımlanır.

### Sınır kümesi

Bulanık bir kümenin kısmi elemanlarından oluşan klasik kümedir ve

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

olarak ifade edilir.

### $\alpha$ -Kesim kümesi

Bir  $\tilde{A}$  kümesinin  $\alpha$ -kesme kümesi klasik bir küme olup

$$A_{\alpha} = \{x \mid \mu_{\tilde{A}}(x) \geq \alpha, x \in X, \alpha \in [0,1]\}$$

olarak tanımlanır.

### Kardinalite (Nicelik sayısı)

Herhangi bir  $\tilde{A}$  kümenin kardinalitesi,  $\text{Card } (\tilde{A})$  ile gösterilir üyelik dereceleri toplanarak,

$$\text{Card } (\tilde{A}) = \sum_{i=1}^n \mu_{\tilde{A}}(x_i)$$

ile elde edilir.

### Konvekslik ve Konkavlık

İki şekilde belirlenir.

a)  $\alpha$  kesim kümelerine göre

Eğer  $\alpha$  kesim kümelerinin herbiri konveks (iç bükey) ise bulanık küme konvektir.

b) Üyelik fonksiyonuna göre  $x_1, x_2 \in X$  ve  $\lambda \in [0,1]$  olmak üzere  $\tilde{A}$  kümesinin üyelik fonksiyonu

$\mu_{\tilde{A}}(\lambda x_1 + (1 - \lambda)x_2) < \max \{\mu_{\tilde{A}}(x_1), \mu_{\tilde{A}}(x_2)\}$  eşitsizliğini sağlarsa  $\tilde{A}$  kümesi konkavdır (dış bükey) denir.

Ayrıca;

$\tilde{A}$  kümesinin tümleyeni konveks bir küme ise  $\tilde{A}$  kümesi konkav bir kümedir.

$\tilde{A}$  ve  $\tilde{B}$  kümeleri konveks kümeler ise  $\tilde{A} \cap \tilde{B}$  kümesi de konveks bir kümedir.

$\tilde{A}$  ve  $\tilde{B}$  kümeleri konkav ise  $\tilde{A} \cup \tilde{B}$  kümesi de konkavdır.

### Genişleme kuralı

$x \in \tilde{A}$ ,  $y \in \tilde{B}$ ,  $A \subset U$ ,  $B \subset V$  olsun.

$\tilde{A} = \frac{\mu_{\tilde{A}}(x_1)}{x_1} + \frac{\mu_{\tilde{A}}(x_2)}{x_2} + \dots + \frac{\mu_{\tilde{A}}(x_n)}{x_n}$  ile ifade edildiğinde  $x$  ve  $y$  değişkenleri arasında  $y=f(x)$  şeklinde fonksiyonel bir ilişki varsa veya  $f:u \rightarrow v$  şeklinde birebir bir eşleşme söz konusu ise  $\tilde{B}$  kümesinin üyelik fonksiyonu, genişleme kuralı ile aşağıdaki gibi bulunur.

$$\begin{aligned} \tilde{B} = f(\tilde{A}) &= f\left(\frac{\mu_{\tilde{A}}(x_1)}{x_1} + \frac{\mu_{\tilde{A}}(x_2)}{x_2} + \dots + \frac{\mu_{\tilde{A}}(x_n)}{x_n}\right) \\ &= \frac{\mu_{\tilde{A}}(x_1)}{f(x_1)} + \frac{\mu_{\tilde{A}}(x_2)}{f(x_2)} + \dots + \frac{\mu_{\tilde{A}}(x_n)}{f(x_n)} \end{aligned} \quad (3.12)$$

Genişleme kuralı, bulanık bir küme ve fonksiyonel bir ilişkinin yeni bir bulanık kümeyle sonuçlanacağını ifade eder. Tanım kümesindeki herhangi bir elemanın değer kümesindeki elemanlar ile eşlenememesi durumunda ilgili  $y$  elemanının üyelik derecesi 0 kabul edilir. Tanım kümesinin birden fazla elemanı değer kümesinde aynı elemanla eşleşiyorsa, tanım kümesindeki bu elemanlar arasından üyelik derecesi en büyük olan eleman değer kümesindeki ilgili elemanın üyelik derecesini belirler.

### **3.2.3. Bulanık sayılar**

Bulanık sayılar, bulanık kümelerin özel alt kümesidir. Kesin olmayan veya yaklaşık sayısal miktarların (5 civarında, yaklaşık olarak 20, hemen hemen 15 vb.) nitelenmesinde bulanık sayılar kullanılır.

Bulanık sayıların tanımlı olduğu evrensel küme reel sayılar kümesi, tam sayılar kümesi veya doğal sayılar kümesidir.

Her bulanık sayı bulanık bir küme olmasına rağmen her bulanık küme bir bulanık sayı değildir.

Bulanık bir kümenin bulanık sayı olabilmesi için;

- a) bulanık küme normal olmalıdır.
- b) bulanık küme dış bükey (konveks) olmalıdır.
- c) bulanık kümenin destek kümesi sınırlı olmalıdır.
- d) bulanık kümenin bir  $\alpha$ -kesmesi reel sayı doğrusunun kapalı bir aralığında tanımlı olmalıdır.

### 3.2.3.1. Bulanık sayılarda aritmetik işlemler

#### 3.2.3.1.1. $\alpha$ -Kesim yöntemiyle bulanık sayılarda aritmetik işlemler

Herhangi  $\tilde{A}$  ve  $\tilde{B}$  bulanık sayılarının aritmetik işlemi, yeni bir bulanık sayı ile sonuçlanır.

$\alpha$ -kesim yöntemiyle  $\tilde{A}_\alpha = [\tilde{A}_\alpha^L, \tilde{A}_\alpha^U]$  ve  $\tilde{B}_\alpha = [\tilde{B}_\alpha^L, \tilde{B}_\alpha^U]$  sayılarının:

1. Toplamı:  $\tilde{A}_\alpha + \tilde{B}_\alpha = [\tilde{A}_\alpha^L + \tilde{B}_\alpha^L, \tilde{A}_\alpha^U + \tilde{B}_\alpha^U]$
2. Farkı:  $\tilde{A}_\alpha - \tilde{B}_\alpha = [\tilde{A}_\alpha^L - \tilde{B}_\alpha^U, \tilde{A}_\alpha^U - \tilde{B}_\alpha^L]$
3. Çarpımı:  $\tilde{A}_\alpha * \tilde{B}_\alpha = [\tilde{A}_\alpha^L * \tilde{B}_\alpha^L, \tilde{A}_\alpha^U * \tilde{B}_\alpha^U]$

Burada;

$$[\tilde{A}_\alpha^L * \tilde{B}_\alpha^L] = \text{Min} [\tilde{A}_\alpha^L * \tilde{B}_\alpha^L, \tilde{A}_\alpha^L * \tilde{B}_\alpha^U, \tilde{A}_\alpha^U * \tilde{B}_\alpha^L, \tilde{A}_\alpha^U * \tilde{B}_\alpha^U]$$

$$[\tilde{A}_\alpha^U * \tilde{B}_\alpha^U] = \text{Max} [\tilde{A}_\alpha^L * \tilde{B}_\alpha^L, \tilde{A}_\alpha^L * \tilde{B}_\alpha^U, \tilde{A}_\alpha^U * \tilde{B}_\alpha^L, \tilde{A}_\alpha^U * \tilde{B}_\alpha^U]$$

4. Bölümü:  $\tilde{A}_\alpha / \tilde{B}_\alpha = [\tilde{A}_\alpha^L / \tilde{B}_\alpha^L, \tilde{A}_\alpha^U / \tilde{B}_\alpha^U]$

Burada;

$$[\tilde{A}_\alpha^L / \tilde{B}_\alpha^L] = \text{Min} [\tilde{A}_\alpha^L / \tilde{B}_\alpha^L, \tilde{A}_\alpha^L / \tilde{B}_\alpha^U, \tilde{A}_\alpha^U / \tilde{B}_\alpha^L, \tilde{A}_\alpha^U / \tilde{B}_\alpha^U]$$

$$[\tilde{A}_\alpha^U / \tilde{B}_\alpha^U] = \text{Max} [\tilde{A}_\alpha^L / \tilde{B}_\alpha^L, \tilde{A}_\alpha^L / \tilde{B}_\alpha^U, \tilde{A}_\alpha^U / \tilde{B}_\alpha^L, \tilde{A}_\alpha^U / \tilde{B}_\alpha^U]$$

$$0 \notin [\tilde{B}_\alpha^L, \tilde{B}_\alpha^U]$$

5. Skaler Çarpım:  $k * \tilde{A}_\alpha = \{\text{Min}[k * \tilde{A}_\alpha^L, k * \tilde{A}_\alpha^U], \text{Max}[k * \tilde{A}_\alpha^L, k * \tilde{A}_\alpha^U]\}$

L: Alt sınır

U: Üst sınır (Oruç, 2008).

### 3.2.3.1.2. Genişleme ilkesine göre bulanık sayılarda aritmetik işlemler

$\tilde{A}$  ve  $\tilde{B}$  bulanık sayılar olmak üzere, aritmetik işlemler aşağıda verildiği gibi bulunur.

1. Toplamı:  $\text{Sup}_{x=y+z} \{ \text{Min}[\mu_{\tilde{A}}(y), \mu_{\tilde{B}}(z)] \}$
2. Farkı:  $\text{Sup}_{x=y-z} \{ \text{Min}[\mu_{\tilde{A}}(y), \mu_{\tilde{B}}(z)] \}$
3. Çarpımı:  $\text{Sup}_{x=y*z} \{ \text{Min}[\mu_{\tilde{A}}(y), \mu_{\tilde{B}}(z)] \}$
4. Bölümü:  $\text{Sup}_{x=y/z} \{ \text{Min}[\mu_{\tilde{A}}(y), \mu_{\tilde{B}}(z)] \}$
5. Skaler Çarpım:  $k*\tilde{A}(y) = \begin{cases} \tilde{A}(k^{-1}y), & \text{eğer } k \neq 0 \\ \tilde{0}, & \text{eğer } k = 0 \end{cases}$

(Oruç, 2008).

## 3.3. Bulanık Veri Zarflama Analizi (BVZA)

### 3.3.1. Bulanık verilerin sınıflandırılması

Veri Zarflama Analizi veri tabanlı bir yöntem olmasından dolayı girdi-çıkı değerlerinin güvenilir olması ve dikkatli seçilmesi gerekmektedir.

Etkinlik ölçümünde Veri Zarflama Analizi uygulanırken, girdi ve çıktı değerleri kesin olarak bilinmelidir. Girdiler ve çıktılara ait değerlerin kesin olarak bilinmediği durumlar için Bulanık Veri Zarflama Analizi çözüm yöntemleri geliştirilmiştir.

BVZA modellerinde veriler:

1. Sınırlandırılmış veriler
2. Sıralı veriler
3. Hiçbir şekilde elde edilememiş veriler
4. Kesin değerleri bilinen veriler

olmak üzere 4'e ayrılmıştır (Oruç, 2008).

### 3.3.2. Bulanık veri zarflama analizi modelleri

Literatürde mevcut olan bulanık veri zarflama analizi modelleri aşağıdaki alt bölümlerde verilmiştir.

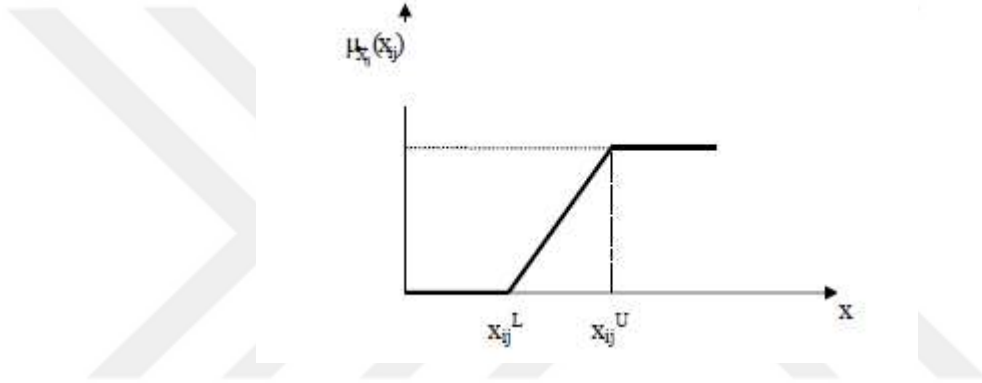
### 3.3.2.1. Despotis-Smirlis modeli

Elimizdeki verilerin; kesin değerli, sınırlandırılmış ya da sıralı veriler olduğu durumda kullanılabilen modeldir.

Sınırlandırılmış veriler içeren KVB'lerinin üyelik fonksiyonu girdi ve çıktılar için monoton artan olarak Şekil 3.1'deki gibi tanımlanır. Buradaki herhangi bir  $x_{ij} \in \tilde{X}_{ij}$  ve  $y_{rj} \in \tilde{Y}_{rj}$  için;

$$x_{ij} = x_{ij}^L - (x_{ij}^L - x_{ij}^U) \mu_{\tilde{X}_{ij}}(x_{ij}) \quad y_{rj} = y_{rj}^L - (y_{rj}^L - y_{rj}^U) \mu_{\tilde{Y}_{rj}}(y_{rj}) \quad (3.13)$$

tanımlaması yapılabilir.



Şekil 3.1. Despotis-Smirlis modelinde girdiler ve çıktılar için üyelik fonksiyonu

Girdiye yönelik CCR modeli:

$$E_o = \max \sum_{r=1}^s u_r [(y_{ro}^L - y_{ro}^U) \mu_{\tilde{Y}_{ro}}(y_{ro}) + y_{ro}^U] \quad (3.14)$$

Kısıtlar,

$$\sum_{i=1}^m v_i [x_{io}^L - (x_{io}^L - x_{io}^U) \mu_{\tilde{X}_{io}}(x_{io})] = 1$$

$$\sum_{r=1}^s u_r [(y_{rj}^L - y_{rj}^U) \mu_{\tilde{Y}_{rj}}(y_{rj}) + y_{rj}^U] - \sum_{i=1}^m v_i [x_{ij}^L - (x_{ij}^L - x_{ij}^U) \mu_{\tilde{X}_{ij}}(x_{ij})] \leq 0$$

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

$$v_i, u_r \geq \epsilon \quad r=1,2,\dots,s \quad i=1,2,\dots,m$$

$$0 \leq \mu_{\tilde{X}_{ij}}(x_{ij}), \mu_{\tilde{Y}_{rj}}(y_{rj}) \leq 1 \quad r=1,2,\dots,s \quad i=1,2,\dots,m \quad j=1,2,\dots,n$$

biçimindedir. Girdi-çıkıtı değerleri bilinmediği için bu doğrusal olmayan VZA modeli,



$p_{rj} = u_r \mu_{\bar{y}_{rj}}(y_{rj})$  ve  $q_{ij} = v_i \mu_{\bar{x}_{ij}}(x_{ij})$  tanımlamaları ile doğrusal VZA modeline dönüştürülür. Böylece,

$$E_o = \max \sum_{r=1}^s u_r y_{ro}^L + p_{ro} (y_{ro}^U - y_{ro}^L) \quad (3.15)$$

Kısıtlar,

$$\sum_{i=1}^m v_i x_{io}^L + q_{io} (x_{io}^U - x_{io}^L) = 1$$

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}^L + p_{rj} (y_{rj}^U - y_{rj}^L) - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij}^L + q_{ij} (x_{ij}^U - x_{ij}^L) \leq 0 \quad j=1,2,\dots,n$$

$$p_{rj} - u_r \leq 0 \quad q_{ij} - v_i \leq 0 \quad i=1,2,\dots,m \quad r=1,2,\dots,s \quad j=1,2,\dots,n$$

$$v_i, u_r \geq \varepsilon \quad p_{rj}, q_{ij} \geq 0 \quad i=1,2,\dots,m \quad r=1,2,\dots,s \quad j=1,2,\dots,n$$

olur (Oruç, 2008).

Çizelge 3.1. Kesin, sınırlandırılmış ve sıralı veriler için örnek veri seti

KVB	Çıktılar ( $y_{rj}$ )			Girdiler ( $x_{ij}$ )		
	Kesin Değerleri Bilinen ( $y_{1j}$ )	Sıralı ( $y_{2j}$ )	Sınırlandırılmış ( $y_{3j}$ )	Kesin Değerleri Bilinen ( $x_{1j}$ )	Sıralı ( $x_{2j}$ )	Sınırlandırılmış ( $x_{3j}$ )
1	$y_{11}$	$y_{23} > y_{21}$	$[y_{31}^L, y_{31}^U]$	$x_{11}$	$x_{21}$	$[x_{31}^L, x_{31}^U]$
2	$y_{12}$	$y_{21} > y_{22}$	$[y_{32}^L, y_{32}^U]$	$x_{12}$	$x_{23} > x_{22}$	$[x_{32}^L, x_{32}^U]$
3	$y_{13}$	$y_{23}$	$[y_{33}^L, y_{33}^U]$	$x_{13}$	$x_{21} > x_{23}$	$[x_{33}^L, x_{33}^U]$
4	$y_{14}$	$y_{22} > y_{24}$	$[y_{34}^L, y_{34}^U]$	$x_{14}$	$x_{22} > x_{24}$	$[x_{34}^L, x_{34}^U]$

### 3.3.2.2. Cook-Kress-Seiford modeli

Cook, Kress ve Seifordun kesin ve sıralı verileri kapsayan problemler için geliştirdiği modeldir.

Girdiye yönelik CCR modeli aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

$$E_o = \max \sum_{r \in K^c} u_r y_{ro} + \sum_{r \in S^c} \sum_{l=1}^L u_{ro}^l y_{ro}^l \quad (3.16)$$

Kısıtlar,

$$\sum_{i \in K^G} v_i x_{io} + \sum_{i \in S^G} \sum_{l=1}^L v_{io}^l x_{io}^l = 1$$

$$\sum_{r \in K^C} u_r y_{rj} + \sum_{r \in S^C} \sum_{l=1}^L u_{rj}^l y_{rj}^l - \sum_{i \in K^G} v_i x_{ij} - \sum_{i \in S^G} \sum_{l=1}^L v_{ij}^l x_{ij}^l \leq 0 \quad j=1,2,\dots,n$$

Burada,

$K^C$  : Kesin verilere ait çıktı kümesi

$K^G$  : Kesin verilere ait girdi kümesi

$L$  : Sıralı veriler arasındaki ilişkinin sıralı numara olarak ifade edildiği küme

$l$  : Sıralı veriye verilen sıra numarası

$u_{rj}^l$  : j. KVB'nin r. sıralı çıktısına verilen ağırlık

$v_{ij}^l$  : j. KVB'nin i. sıralı girdisine verilen ağırlık

$\epsilon$  : Yeterince küçük bir sayı ( $\epsilon \leq 10^{-6}$ )

anlamındadır.

### 3.3.2.3. Cooper-Park-Yu modeli

İki aşamalı bir modeldir. Sınırlandırılmış, kesin ve sıralı veriler için uygulanır. Çizelge 3.1'deki ifadeler göz önünde bulundurularak aşağıdaki aşamalar uygulanır.

Aşama 1:

Her veri kendi sütundaki maksimum değere bölünerek ölçek dönüşümü yapılır. Ölçek dönüşümü yapmanın amacı her sütundaki değeri netleştirmektir (Her zaman 1'dir).

Girdi-çıktı için sırasıyla ölçek dönüşüm formülleri

$$\hat{x}_{ij} = \frac{x_{ij}}{\max_j(x_{ij})} \quad \text{ve} \quad \hat{y}_{rj} = \frac{y_{rj}}{\max_j(y_{rj})} \quad \text{olarak verilmiştir. Ölçek dönüşümü yapılan veriler}$$

Çizelge 3.2'de görülmektedir.

Çizelge 3.2. Ölçek dönüşümü yapılan veriler

KVB (j)	Çıktılar ( $y_{rj}$ )			Girdiler ( $x_{ij}$ )		
	Kesin Değerleri Bilinen ( $y_{1j}$ )	Sıralı ( $y_{2j}$ )	Sınırlanmış rılmış ( $y_{3j}$ )	Kesin Değerleri Bilinen ( $x_{1j}$ )	Sıralı ( $x_{2j}$ )	Sınırlanmış rılmış ( $x_{3j}$ )
1	1	$\hat{y}_{23} > \hat{y}_{21}$	$[\hat{y}_{31}^L, \hat{y}_{31}^U]$	$\hat{x}_{11}$	1	$[\hat{x}_{31}^L, \hat{x}_{31}^U]$
2	$\hat{y}_{12}$	$\hat{y}_{21} > \hat{y}_{22}$	$[\hat{y}_{32}^L, \hat{y}_{32}^U]$	$\hat{x}_{12}$	$\hat{x}_{23} > \hat{x}_{22}$	$[\hat{x}_{32}^L, \hat{x}_{32}^U]$
3	$\hat{y}_{13}$	1	1	1	$\hat{x}_{21} > \hat{x}_{23}$	$[\hat{x}_{33}^L, \hat{x}_{33}^U]$
4	$\hat{y}_{14}$	$\hat{y}_{22} > \hat{y}_{24}$	$[\hat{y}_{34}^L, \hat{y}_{34}^U]$	$\hat{x}_{14}$	$\hat{x}_{22} > \hat{x}_{24}$	1

Girdiye yönelik CCR modeli:

$$E_o = \max \sum_{r=1}^3 u_r \hat{y}_{ro} \quad (3.17)$$

Kısıtlar,

$$\sum_{r=1}^3 v_i \hat{x}_{io} = 1$$

$$\sum_{r=1}^3 u_r \hat{y}_{rj} - \sum_{i=1}^3 v_i \hat{x}_{ij} \leq 0 \quad j=1,2,3,4$$

$$\hat{y}_{23} = 1 > \hat{y}_{21} > \hat{y}_{22} > \hat{y}_{24} \quad \hat{x}_{21} = 1 > \hat{x}_{23} > \hat{x}_{22} > \hat{x}_{24}$$

$$\hat{y}_{31}^L \leq \hat{y}_{31} \leq \hat{y}_{31}^U, \quad \hat{y}_{32}^L \leq \hat{y}_{32} \leq \hat{y}_{32}^U,$$

$$\hat{y}_{33} = 1, \quad \hat{y}_{34}^L \leq \hat{y}_{34} \leq \hat{y}_{34}^U$$

$$\hat{x}_{31}^L \leq \hat{x}_{31} \leq \hat{x}_{31}^U, \quad \hat{x}_{32}^L \leq \hat{x}_{32} \leq \hat{x}_{32}^U$$

$$\hat{x}_{33}^L \leq \hat{x}_{33} \leq \hat{x}_{33}^U, \quad \hat{x}_{34} = 1$$

$$v_i, u_r \geq \varepsilon \quad r=1,2,3 \quad i=1,2,3$$

olarak tanımlanmıştır.

Aşama 2:

Girdi-çıktı değerleri ve ağırlıkları bilinmediğinden doğrusal olmayan VZA modeli

$Y_{rj} = u_r \hat{y}_{rj}$ ,  $X_{ij} = v_i \hat{x}_{ij}$  alınarak doğrusal VZA modeline dönüştürülür.

Aşama 1'de ölçek dönüşümü sonucu  $\max_j(\hat{Y}_{rj})$  ve  $\max_j(\hat{X}_{ij})$  değerlerinin 1 olduğu görülmüştü. Buradan,

$$\begin{aligned}\max_r(Y_{rj}) &= u_r \max_j(\hat{Y}_{rj}) \rightarrow \max_j(Y_{rj}) = u_r \\ \max_i(X_{ij}) &= v_i \max_j(\hat{X}_{ij}) \rightarrow \max_j(X_{ij}) = v_i \quad \text{ve,} \\ \hat{Y}_{rj} &= Y_{rj} / \max_j(Y_{rj}) \quad \text{ve} \quad \hat{X}_{ij} = X_{ij} / \max_j(X_{ij})\end{aligned}$$

yazılabilir. Girdiye yönelik CCR modeli:

$$E_o = \sum_{r=1}^3 Y_{ro} \quad (3.18)$$

Kısıtlar,

$$\begin{aligned}\sum_{i=1}^3 X_{io} &= 1 \\ \sum_{r=1}^3 Y_{rj} - \sum_{i=1}^3 X_{ij} &\leq 0 \quad j=1,2,3,4 \\ Y_{12} &= \hat{Y}_{12} Y_{11} & Y_{13} &= \hat{Y}_{13} Y_{11} & Y_{14} &= \hat{Y}_{14} Y_{11} \\ X_{11} &= \hat{X}_{11} X_{13} & X_{12} &= \hat{X}_{12} X_{13} & X_{14} &= \hat{X}_{14} X_{13} \\ Y_{23} &> Y_{21} > Y_{22} > Y_{24} & X_{21} &> X_{23} > X_{22} > X_{24} \\ Y_{33} \hat{Y}_{31}^L &\leq Y_{31} \leq Y_{33} \hat{Y}_{31}^U & Y_{33} \hat{Y}_{32}^L &\leq Y_{32} \leq Y_{33} \hat{Y}_{32}^U & Y_{33} \hat{Y}_{34}^L &\leq Y_{34} \leq Y_{33} \hat{Y}_{34}^U \\ X_{34} \hat{X}_{31}^L &\leq X_{31} \leq X_{34} \hat{X}_{31}^U & X_{34} \hat{X}_{32}^L &\leq X_{32} \leq X_{34} \hat{X}_{32}^U & X_{34} \hat{X}_{33}^L &\leq X_{33} \leq X_{34} \hat{X}_{33}^U \\ Y_{11}, Y_{23}, Y_{33}, Y_{13}, Y_{21}, Y_{34} &\geq \varepsilon\end{aligned}$$

olur.

### 3.3.2.4. Kao-Liu modeli

Kesin değeri bilinen ve sınırlandırılmış problemler için uygulanabilir.  $\alpha$ -kesim metodu ve genişleme kuralına dayalıdır.

$\tilde{X}_{ij}$  girdi ve  $\tilde{Y}_{rj}$  çıktı değişkenlerine ait verilerin  $\alpha$ -kesim kümeleri elde edilerek, alt ve üst sınırlar sırasıyla:

$$(\tilde{X}_{ij})_\alpha = [(\tilde{X}_{ij})_\alpha^L, (\tilde{X}_{ij})_\alpha^U] \quad (\tilde{Y}_{rj})_\alpha = [(\tilde{Y}_{rj})_\alpha^L, (\tilde{Y}_{rj})_\alpha^U] \quad (3.19)$$

ile gösterilir.

o. KVB'nin etkinliğine ait üyelik fonksiyonu, genişleme prensibine göre:

$$\mu_{\tilde{E}_o}(z) = \sup_{x,y} \min \left\{ \mu_{\tilde{x}_{ij}}(x_{ij}), \mu_{\tilde{y}_{rj}}(y_{rj}), \forall i, j, r \mid z = E_o(x, y) \right\}$$

olur.

Herhangi bir  $\alpha$  kesimindeki etkinlik değerinin alt ve üst sınırları:

$$(E_o)_\alpha^L = \min_{\substack{(\tilde{x}_{ij})_\alpha^L \leq x_{ij} \leq (\tilde{x}_{ij})_\alpha^U \\ (\tilde{y}_{rj})_\alpha^L \leq y_{rj} \leq (\tilde{y}_{rj})_\alpha^U \\ \forall i, j, r}} \left\{ \begin{array}{l} E_o = \max \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{ro}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{io}} \\ \text{Kısıtlar, } \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}} \leq 1 \end{array} \right. \quad (3.20)$$

$$(E_o)_\alpha^U = \max_{\substack{(\tilde{x}_{ij})_\alpha^L \leq x_{ij} \leq (\tilde{x}_{ij})_\alpha^U \\ (\tilde{y}_{rj})_\alpha^L \leq y_{rj} \leq (\tilde{y}_{rj})_\alpha^U \\ \forall i, j, r}} \left\{ \begin{array}{l} E_o = \max \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{ro}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{io}} \\ \text{Kısıtlar, } \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}} \leq 1 \end{array} \right. \quad (3.21)$$

ifade edilir. Rastgele bir  $\alpha$  kesimindeki etkinlik değerinin alt sınırı, KVB'lerin çıktı değerlerinin minimumu ile girdi değerlerinin maksimumu ve diğer KVB'lerin çıktı değerlerinin maksimumu ile girdi değerlerinin minimumunun dikkate alınması ile elde edilir. Buradan,

$$(E_o)_\alpha^L = \max \frac{\sum_{r=1}^s u_r (\tilde{y}_{ro})_\alpha^L}{\sum_{i=1}^m v_i (\tilde{x}_{io})_\alpha^U} \quad (3.22)$$

Kısıtlar,

$$\frac{\sum_{r=1}^s u_r (\tilde{y}_{ro})_\alpha^L}{\sum_{i=1}^m v_i (\tilde{x}_{io})_\alpha^U} \leq 1$$

$$\frac{\sum_{r=1}^s u_r (\tilde{y}_{rj})_\alpha^U}{\sum_{i=1}^m v_i (\tilde{x}_{ij})_\alpha^L} \leq 1 \quad j=1,2,\dots,n \quad j \neq o$$

$$v_i, u_r \geq \varepsilon \quad r=1,2,\dots,s \quad i=1,2,\dots,m$$

iken, üst sınırı:

$$(E_o)_\alpha^U = \max \frac{\sum_{r=1}^s u_r (\tilde{y}_{ro})_\alpha^U}{\sum_{i=1}^m v_i (\tilde{x}_{io})_\alpha^L} \quad (3.23)$$

Kısıtlar,

$$\frac{\sum_{r=1}^s u_r (\tilde{Y}_{ro})_{\alpha}^U}{\sum_{i=1}^m v_i (\tilde{X}_{io})_{\alpha}^L} \leq 1$$

$$\frac{\sum_{r=1}^s u_r (\tilde{Y}_{rj})_{\alpha}^L}{\sum_{i=1}^m v_i (\tilde{X}_{ij})_{\alpha}^U} \leq 1 \quad j=1,2,\dots,n \quad j \neq o$$

$$v_i, u_r \geq \varepsilon \quad r=1,2,\dots,s \quad i=1,2,\dots,m$$

olarak elde edilir (Oruç, 2008).

### 3.3.2.5. Saati-Memariani-Jahanshahloo modeli

Üçgensel üyelik fonksiyonuna sahip veriler için geliştirilmiş iki aşamalı bir modeldir. Sınırlandırılmış ve kesin veriler için kullanılır.

Aşama 1:

Alt ve üst sınırlar, girdi-çıktı verilerinin  $\alpha$ -kesim kümeleri oluşturularak belirlenir.

$\tilde{X}_{ij} = (x_{ij}^L, x_{ij}^M, x_{ij}^U)$  girdileri ve  $\tilde{Y}_{rj} = (y_{rj}^L, y_{rj}^M, y_{rj}^U)$  çıktıları için  $\alpha$ -kesim kümeleri:

$$\mu_{\tilde{X}_{ij}}(x_{ij}) \geq \alpha = \begin{cases} \frac{x_{ij} - x_{ij}^L}{x_{ij}^M - x_{ij}^L} \geq \alpha \\ \frac{x_{ij}^U - x_{ij}}{x_{ij}^U - x_{ij}^M} \geq \alpha \end{cases} \rightarrow \alpha x_{ij}^M + (1 - \alpha)x_{ij}^L \leq x_{ij} \leq \alpha x_{ij}^M + (1 - \alpha)x_{ij}^U \quad (3.24)$$

$$\mu_{\tilde{Y}_{rj}}(y_{rj}) \geq \alpha = \begin{cases} \frac{y_{rj} - y_{rj}^L}{y_{rj}^M - y_{rj}^L} \geq \alpha \\ \frac{y_{rj}^U - y_{rj}}{y_{rj}^U - y_{rj}^M} \geq \alpha \end{cases} \rightarrow \alpha y_{rj}^M + (1 - \alpha)y_{rj}^L \leq y_{rj} \leq \alpha y_{rj}^M + (1 - \alpha)y_{rj}^U \quad (3.25)$$

biçiminde elde edilir.  $\tilde{X}_{ij}$  ve  $\tilde{Y}_{rj}$ 'nin alt ve üst sınırları ise aşağıdaki gibidir:

$$\tilde{X}_{ij} = [\alpha x_{ij}^M + (1 - \alpha)x_{ij}^L, \alpha x_{ij}^M + (1 - \alpha)x_{ij}^U]$$

$$\tilde{Y}_{rj} = [\alpha y_{rj}^M + (1 - \alpha)y_{rj}^L, \alpha y_{rj}^M + (1 - \alpha)y_{rj}^U]$$

o. KVB'ne ait Girdiye yönelik CCR modeli:

$$(E_o)_{\alpha} = \max \sum_{r=1}^s u_r y_{ro} \quad (3.26)$$

Kısıtlar,

$$\sum_{i=1}^m v_i x_{i0} = 1$$

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \leq 0 \quad j=1,2,\dots,n$$

$$\alpha x_{ij}^M + (1 - \alpha)x_{ij}^L \leq x_{ij} \leq \alpha x_{ij}^M + (1 - \alpha)x_{ij}^U$$

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

$$\alpha y_{rj}^M + (1 - \alpha)y_{rj}^L \leq y_{rj} \leq \alpha y_{rj}^M + (1 - \alpha)y_{rj}^U$$

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

$$v_i, u_r \geq \varepsilon \quad r=1,2,\dots,s \quad i=1,2,\dots,m$$

biçimindedir.

Aşama 2:

Girdi-çıktı değerleri ve ağırlıkları bilinmediği için gerekli dönüşümler yapıldığında model,

$$(E_o)_\alpha = \max \sum_{r=1}^s \bar{y}_{ro} \quad (3.27)$$

Kısıtlar,

$$\sum_{i=1}^m \bar{x}_{i0} = 1$$

$$\sum_{r=1}^s \bar{y}_{rj} - \sum_{i=1}^m \bar{x}_{ij} \leq 0 \quad j=1,2,\dots,n$$

$$v_i [\alpha x_{ij}^M + (1 - \alpha)x_{ij}^L] \leq \bar{x}_{ij} \leq v_i [\alpha x_{ij}^M + (1 - \alpha)x_{ij}^U]$$

$$u_r [\alpha y_{rj}^M + (1 - \alpha)y_{rj}^L] \leq \bar{y}_{rj} \leq u_r [\alpha y_{rj}^M + (1 - \alpha)y_{rj}^U]$$

$$v_i, u_r \geq \varepsilon \quad r=1,2,\dots,s \quad i=1,2,\dots,m$$

olur.

### 3.3.2.6. Saati-Memariani modeli

Üçgensel üyelik fonksiyonuna sahip veriler için geliştirilmiş 3 aşamalı bir modeldir. Sınırlandırılmış ve kesin veriler için kullanılır. Model VZA'nın KVB'de kullanılan

girdi-çıktının ağırlıklandırılmasında tanıdığı esnekliğin kontrol edilmesini sağlamaktadır.

Birinci aşamada, bulanık girdi-çıkıtı verilerinin alabileceği ağırlıkların üst sınırları belirlenir. İkinci aşamada, ortak ağırlık kümesinin belirlenmesi için KVB'lerin ağırlıklarındaki sapma oranının aynı olduğunu kabul ederek ağırlıklar elde edilir. Son aşamada ise, elde edilmiş olan ağırlıklar kullanılarak

$$(\tilde{E}_o)_\alpha = \frac{\sum_{r=1}^s u_r^* \tilde{Y}_{ro}}{\sum_{i=1}^m v_i^* \tilde{X}_{io}} \quad (3.28)$$

eşitliği ile etkinlik değerleri bulunur.

$(\tilde{E}_o)_\alpha = (E_o^L, E_o^M, E_o^U)_\alpha$  sayısının alt, üst ve orta değerleri; bulanık sayılarda bölme işlemi formülü kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$(E_o^M)_\alpha = \frac{\sum_{r=1}^s u_r^* y_{ro}^M}{\sum_{i=1}^m v_i^* x_{io}^M} \quad (3.29)$$

$$(E_o^L)_\alpha = (E_o^M)_\alpha - \frac{\sum_{r=1}^s u_r^* y_{ro}^M \sum_{i=1}^m v_i^* (x_{io}^U - x_{io}^M) + \sum_{r=1}^s u_r^* (y_{ro}^M - y_{ro}^L) \sum_{i=1}^m v_i^* x_{io}^M}{(\sum_{i=1}^m v_i^* x_{io}^M)^2}$$

$$(E_o^U)_\alpha = (E_o^M)_\alpha + \frac{\sum_{r=1}^s u_r^* y_{ro}^M \sum_{i=1}^m v_i^* (x_{io}^M - x_{io}^L) + \sum_{r=1}^s u_r^* (y_{ro}^U - y_{ro}^M) \sum_{i=1}^m v_i^* x_{io}^M}{(\sum_{i=1}^m v_i^* x_{io}^M)^2}$$

Etkinlik değerinin 1'den küçük ya da büyük çıkması durumunda

$$U_r^* = \frac{u_r^*}{E_{\max}}, \quad r=1,2,\dots,s$$

$$V_i^* = v_i^* \quad i=1,2,\dots,m$$

$$E_{\max} = \max_{1 \leq j \leq n} \{E_j^U\}$$

kullanılarak ölçek dönüşümü yapılır ve etkinlik değerleri yeniden hesaplanır.

### 3.3.2.7. Lertworasirikul modeli

İki aşamalı bir modeldir. Üyelik fonksiyonları tanımlanmış, sınırlandırılmış ve kesin verilere uygulanmak için geliştirilmiştir.

Aşama 1:

Saati-Memariani-Jahanshahloo modelindeki gibi alt ve üst sınırlar belirlenir.



Girdiye yönelik CCR modeli:

$$(\tilde{E}_0)_\alpha = \max \frac{\sum_{r=1}^s u_r (\tilde{Y}_{r0})_\alpha}{\sum_{i=1}^m v_i (\tilde{X}_{i0})_\alpha} \quad (3.30)$$

Kısıtlar,

$$\frac{\sum_{r=1}^s u_r (\tilde{Y}_{rj})_\alpha}{\sum_{i=1}^m v_i (\tilde{X}_{ij})_\alpha} \leq 1 \quad j=1,2,\dots,n$$

$$v_i, u_r \geq \varepsilon \quad r=1,2,\dots,s \quad i=1,2,\dots,m$$

olarak ifade edilir.

Aşama 2:

Aşama 1’de belirtilen model bulanık bir modeldir. Lertworasirikul etkinlik değerini hesaplamak için 4 model geliştirmiştir. Bunlar; En iyi-En iyi modeli, En iyi-En kötü modeli, En kötü-En iyi modeli ve En kötü-En kötü modelidir. (Lertworasirikul vd, 2003)

Lertworasirikul geliştirdiği bu 4 modele ait bazı kullanım bilgileri Çizelge 3.3’te gösterildiği gibidir.

Çizelge 3.3. Lertworasirikul modellerinin  $\mu=\alpha$  üyelik derecesinde veri kullanımı

Model Adı	Etkinlik değeri hesaplanacak olan KVB’nin $\mu=\alpha$ üyelik derecesindeki		Diğer KVB’lerin $\mu=\alpha$ üyelik derecesindeki	
	Girdi Verilerinin	Çıktı Verilerinin	Girdi Verilerinin	Çıktı Verilerinin
En İyi	Minimum	Maksimum	Minimum	Maksimum
En İyi				
En İyi	Minimum	Maksimum	Maksimum	Minimum
En Kötü				
En Kötü	Maksimum	Minimum	Minimum	Maksimum
En İyi				
En Kötü	Maksimum	Minimum	Maksimum	Minimum
En Kötü				

### 3.3.2.8. Lertworasirikul-Fang-Joines-Nuttle modeli

Olabilirlik teorisi kullanılarak sınırlandırılmış ve kesin veriler için uygulanan bir modeldir.

Bulanık doğrusal programlama modellerinde; her bulanık katsayı bulanık bir değişkeni ifade ederken, her bulanık kısıt da bulanık bir olayı ifade eder.

Girdiye yönelik CCR modeli aşağıdaki biçimdedir:

$$E_o = \max_{u_r, v_i, \bar{f}} \bar{f} \quad (3.31)$$

Kısıtlar,

$$\begin{aligned} \pi(\sum_{r=1}^s u_r \tilde{Y}_{ro} \geq \bar{f}) &\geq \beta \\ \pi(\sum_{i=1}^m v_i \tilde{X}_{io} = 1) &\geq \alpha_o \\ \pi(\sum_{r=1}^s u_r \tilde{Y}_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i \tilde{X}_{ij} \leq 0) &\geq \alpha_j \quad j=1,2,\dots,n \\ v_i, u_r &\geq \epsilon \quad r=1,2,\dots,s \quad i=1,2,\dots,n \\ 0 \leq \beta, \alpha_j &\leq 1 \quad j=1,2,\dots,n \end{aligned}$$

Burada,

$\pi$  : Olabilirlik ölçümü

$\beta$  : 1. kısıtın olabilirliği

$\alpha_o$  : 2. kısıtın olabilirliği

$\alpha_j$  : 3. kısıtın olabilirliği

$\bar{f}$  :  $\beta$  olabilirliğinde o. KVB'nin çıktılarının ağırlıklı toplamının alabileceği değer

Olabilirlik teorisine göre n tane bulanık sayının toplamında,

1.  $\pi(\tilde{X}_1 + \tilde{X}_2 + \dots + \tilde{X}_n \leq b) \geq \alpha$  eşitliği ancak,

$$(\tilde{X}_1)_\alpha^L + (\tilde{X}_2)_\alpha^L + \dots + (\tilde{X}_n)_\alpha^L \leq b \text{ koşulunun}$$

2.  $\pi(\tilde{X}_1 + \tilde{X}_2 + \dots + \tilde{X}_n \geq b) \geq \alpha$  eşitliği ancak,

$$(\tilde{X}_1)_\alpha^U + (\tilde{X}_2)_\alpha^U + \dots + (\tilde{X}_n)_\alpha^U \geq b \text{ koşulunun}$$

3.  $\pi(\tilde{X}_1 + \tilde{X}_2 + \dots + \tilde{X}_n = b) \geq \alpha$  eşitliği ancak,

$$((\tilde{X}_1)_\alpha^L + \tilde{X}_2)_\alpha^L + \dots + \tilde{X}_n)_\alpha^L \leq b \quad \text{ve} \quad ((\tilde{X}_1)_\alpha^U + (\tilde{X}_2)_\alpha^U + \dots + (\tilde{X}_n)_\alpha^U \geq b)$$

koşulunun sağlanması ile gerçekleşir.

### 3.3.2.9. Guo-Tanaka modeli

Simetrik üçgensel üyelik fonksiyonuna sahip veriler için geliştirilmiş 4 aşamalı bir modeldir. Sınırlandırılmış ve kesin veriler için kullanılır.

Girdiye yönelik CCR modeli aşağıdaki gibidir:

$$\tilde{E}_o = \max \sum_{r=1}^s u_r \tilde{Y}_{ro} \quad (3.32)$$

Kısıtlar,

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^m v_i \tilde{X}_{io} &\approx \tilde{1} \\ \sum_{r=1}^s u_r \tilde{Y}_{rj} &\approx \leq \sum_{i=1}^m v_i \tilde{X}_{ij} \quad j=1,2,\dots,n \\ v_i, u_r &\geq 0 \quad r=1,2,\dots,s \quad i=1,2,\dots,m \end{aligned}$$

( $\tilde{1}$  sayısı bulanıklaştırılmıştır.)

Aşama 1: Alt ve üst sınırlar girdi-çıkıtı verileri ile  $\tilde{1}$  sayısının  $\alpha$ -kesim kümeleri oluşturularak belirlenir.

Aşama 2: Bulanık eşitsizlikler bulanıklıktan kurtarılır.

Aşama 3: Amaç fonksiyonuna ve çıktılara verilecek ağırlıklar belirlenir. Daha sonra, o. KVB'nin etkinliğini hesaplamak için girdiye yönelik CCR modeli aşağıdaki biçimde tanımlanır:

$$(E_o)_\alpha = \max \sum_{r=1}^s u_r [y_{ro}^M - (1 - \alpha)q_{io}] \quad (3.33)$$

Kısıtlar,

$$\begin{aligned} v_i w_{io} &\geq g_o \\ v_i [x_{io}^M - (1 - \alpha)w_{io}] &= [1 - (1 - \alpha)\phi] \\ v_i [x_{io}^M + (1 - \alpha)w_{io}] &\leq [1 + (1 - \alpha)\phi] \\ v_i [y_{rj}^M - (1 - \alpha)q_{ij}] &\leq v_i [x_{ij}^M - (1 - \alpha)w_{ij}] \quad j=1,2,\dots,n \end{aligned}$$

$$v_i [y_{rj}^M + (1 - \alpha)q_{ij}] \leq v_i [x_{ij}^M + (1 - \alpha)w_{ij}] \quad j=1,2,\dots,n$$

$$\Phi = \max_{j=1,\dots,n} [\max_{i=1,\dots,m} (w_{ij}/x_{ij}^M)]$$

$$v_i, u_r \geq \varepsilon \quad r=1,2,\dots,s \quad i=1,2,\dots,m$$

Aşama 4: Bir önceki aşamada elde edilen etkinlik değerleri  $v_i, u_r$  ağırlık değerleri kullanılarak elde edilir.

### 3.3.2.10. Leon-Liern-Ruiz-Sirvent modeli

Yamuksal üyelik fonksiyonlu sınırlandırılmış veriler için geliştirilmiş olan bir modeldir. Girdiye yönelik dual-CCR modeli;

$$\tilde{E}_o = \min \theta \quad (3.34)$$

Kısıtlar,

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j \tilde{X}_{ij} \approx \leq \theta \tilde{X}_{io} \quad i = 1, 2, \dots, m$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j \tilde{Y}_{rj} \approx \geq \tilde{Y}_{ro} \quad r = 1, 2, \dots, s$$

biçimindedir. Bulanık iki sayı arasında,

$$\tilde{X}_{ij} = (\underline{x}_{ij}^M - t_{ij}, \underline{x}_{ij}^M, \bar{x}_{ij}^M, \bar{x}_{ij}^M + w_{ij}) \approx \leq \tilde{Y}_{rj} = (\underline{y}_{rj}^M - z_{rj}, \underline{y}_{rj}^M, \bar{y}_{rj}^M, \bar{y}_{rj}^M + q_{rj})$$

ilişkisi varsa, bulanık sayıların sınırları ile ilgili olarak,

$$(\underline{x}_{ij}^M - (1 - \alpha)t_{ij}) \leq (\underline{y}_{rj}^M - (1 - \alpha)z_{rj})$$

$$(\bar{x}_{ij}^M + (1 - \alpha)w_{ij}) \leq (\bar{y}_{rj}^M + (1 - \alpha)q_{rj})$$

ilişkisi de vardır.

Dual CCR modeli; bulanık eşitsizlikleri normal eşitsizliğe çevirerek,

$$(E_o)_\alpha = \min \theta \quad (3.35)$$

Kısıtlar,

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j (\underline{x}_{ij}^M - (1 - \alpha)t_{ij}) \leq \theta (\underline{x}_{io}^M - (1 - \alpha)t_{io}) \quad i = 1, 2, \dots, m$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j (\bar{x}_{ij}^M + (1 - \alpha)w_{ij}) \leq \theta (\bar{x}_{io}^M + (1 - \alpha)w_{io}) \quad i = 1, 2, \dots, m$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j \left( \underline{y}_{rj}^M - (1 - \alpha)z_{rj} \right) \geq \left( \underline{y}_{ro}^M - (1 - \alpha)z_{ro} \right) \quad r = 1, 2, \dots, s$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j \left( \bar{y}_{rj}^M + (1 - \alpha)q_{rj} \right) \geq \left( \bar{y}_{ro}^M + (1 - \alpha)q_{ro} \right) \quad r = 1, 2, \dots, s$$

biçiminde yazılabilir.



#### 4. UYGULAMA

Çalışmanın bu bölümünde 2017-2018 üretim döneminde Türkiye Şeker Fabrikaları A.Ş. (TÜRKŞEKER)'ye ait şeker fabrikalarının etkinlik durumlarının ölçülmesi ve performanslarına göre bu fabrikaların sıralanması amaçlanmıştır.

Çalışmanın verileri, Türkiye Şeker Fabrikaları A.Ş. (TÜRKŞEKER)'ye ait şeker fabrikalarının istatistiklerinin bulunduğu internet sitesinden temin edilmiştir. Kullanılan veriler 2017-2018 üretim dönemine ait verileri kapsamaktadır.

Ancak bunlar kesin veriler gibi görünse de değişiklikler olabilir. Örneğin, Çarşamba Şeker Fabrikası 2017-2018 üretim döneminde işletmeye alınmamış, bu fabrikanın ekim alanlarında üretilen pancarları Kastamonu Şeker Fabrikasında işlenmiştir.

Bu tez çalışmasında 9 adet girdi ve 1 adet çıktı kullanılmıştır. Girdiler olarak; toplam personel sayısı ( $X_1$ ), kampanya süresi ( $X_2$ ), fiili kapasite ( $X_3$ ), pancar ekim alanı ( $X_4$ ), ekim yapan çiftçi sayısı ( $X_5$ ), işlenen pancar miktarı ( $X_6$ ), toplam üretim ( $X_7$ ), melas ( $X_8$ ), yaş küspe ( $X_9$ ) alınırken çıktı olarak toplam satış ( $Y$ ) miktarı alınmıştır.

Model olarak Klasik VZA ve Bulanık VZA modellerinden Kao-Liu modeli kullanılmıştır. Etkinlik skorları  $\alpha = \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \alpha_5, \alpha_6, \alpha_7$  olmak üzere ( $\alpha_1 = 0, \alpha_2 = 0.1, \alpha_3 = 0.3, \alpha_4 = 0.5, \alpha_5 = 0.7, \alpha_6 = 0.9$  ve  $\alpha_7 = 1$ ) 7 farklı seviyede ölçülmüştür.

Çalışmanın sonuç kısmında ise etkinlik değerleri hesaplanmış ve kullanılan iki yöntem karşılaştırılmıştır. Ayrıca etkin olmayan fabrikaların etkin olabilmeleri için ne gibi iyileştirmeler yapılması gerektiği hakkında tavsiyelerde bulunulmuştur.

VZA modellerinin çözümlenmesinde MaxDEA Basic 6 paket programı kullanılmıştır.

Çalışmadaki KVB'ler Çizelge 4.1'de, kullandığımız girdiler ve çıktı değişkenleri de Çizelge 4.2' de verilmiştir.

Çizelge 4.1. TÜRKŞEKER'e ait faaliyet gösteren fabrikalar

Faaliyet Gösteren Fabrikalar			
1. Afyon	7. Çorum	13. Erzurum	19. Malatya
2. Ağrı	8. Elazığ	14. Eskişehir	20. Muş
3. Alpullu	9. Elbistan	15. Iğın	21. Susurluk
4. Ankara	10. Ercis	16. Kars	22. Turhal
5. Bor	11. Ereğli	17. Kastamonu	23. Uşak
6. Burdur	12. Erzincan	18. Kırşehir	24. Yozgat

(\*)Yönetim Kurulu kararı ile 2018/19 kampanya döneminde Çarşamba Şeker Fabrikası işletmeye alınmamış, bu fabrikanın ekim alanlarında üretilen pancarlar Kastamonu Şeker Fabrikasında işlenmiştir.

Çizelge 4.2. BVZA uygulamasında kullanılan girdi ve çıktı değişkenleri

Değişken	Kod	Birim	Açıklama
<b>Girdi</b>			
Toplam personel sayısı	X <sub>1</sub>	Kişi	2017-2018 üretim yılında çalışan personel sayısı
Kampanya süresi	X <sub>2</sub>	Gün	2017-2018 üretim yılında gerçekleştirilen kampanya süresi
Fiili kapasite	X <sub>3</sub>	Ton/Gün	2017-2018 üretim yılında çalışan kapasite
Pancar ekim alanı	X <sub>4</sub>	Hektar	2017-2018 alanı yılında pancar ekim alanı
Ekim yapan çiftçi sayısı	X <sub>5</sub>	Kişi	2017-2018 üretim yılında ekim yapan çiftçi sayısı
İşlenen pancar miktarı	X <sub>6</sub>	Ton	2017-2018 üretim yılında işlenen pancar miktarı
Toplam üretim	X <sub>7</sub>	Ton	2017-2018 üretim yılında toplam kristal, küp, rafine ve ihraç şeker miktarı
Melas	X <sub>8</sub>	Ton	2017-2018 yılında hayvan yemi olarak kullanılacak melas miktarı
Yaş küspe	X <sub>9</sub>	Ton	2017-2018 yılında hayvan yemi olarak kullanılacak yaş küspe miktarı
<b>Çıktı</b>			
Toplam satış	Y	Ton	2017-2018 üretim yılında her bir fabrikada satılan toplam şeker miktarı

Girdi ve çıktı değişkenlerinin arasındaki korelasyon SPSS 25 paket programı ile test edilmiştir. Elde edilen sonuçlar Ek 1’de verilmiştir. Girdi-çıktı değişkenleri arasındaki korelasyon değerleri yüksek ve pozitifdir. Bu da değişkenlerin analizinde herhangi bir sorunla karşılaşılmayacağını göstermektedir.

Çalışmada kullanılan girdi ve çıktı veri seti Ek 2’de sunulmuştur. Bu verilerle ilgili bazı istatistiksel bilgiler Çizelge 4.3’ te verilmiştir.



Çizelge 4. 3. Girdi ve çıktı verilerine ilişkin istatistiksel bilgiler

	Fabrika sayısı	En küçük değer	En büyük değer	Ortalama	Standart sapma
X <sub>1</sub>	25	183	554	300	83.06
X <sub>2</sub>	25	50	169	101.93	28.66
X <sub>3</sub>	25	1517	8636	4503.92	2373.55
X <sub>4</sub>	25	1649.1	20164.7	8314.57	5258.55
X <sub>5</sub>	25	610	6972	2946.75	1786.61
X <sub>6</sub>	25	74700	1142000	483750	330763.92
X <sub>7</sub>	25	10400	149930	63543.75	43982.43
X <sub>8</sub>	25	3106	51000	20416,67	14273.85
X <sub>9</sub>	25	28307	360000	141678.75	96675.22
Y	25	564950	169961200	52631525	43482120.15

(\*)Alt sınır ve üst sınır verilerinde Çarşamba Şeker Fabrikasının verileri genellikle 0 olarak belirtildiğinden işleme dahil edilmemiştir.

## 5. BULGULAR VE TARTIŞMA

VZA verilere karşı duyarlı bir yöntemdir. Verilerde oluşabilecek değişiklikler çok farklı sonuçların çıkmasına sebep olabilir. Bu tarz hatalar ile karşılaşmamak için Bulanıklık Teorisi'nden faydalanarak VZA modelinin uygulanmasının daha sağlıklı sonuçlar vereceği düşünülmektedir. Bu amaçla Bulanık Veri Zarflama Analizi modelleri arasından "Aralık Verilere" uygulanabilen Bulanık Veri Zarflama Analizi modeli kullanılmıştır. Veriler, aralık verilere dönüştürülerek analiz yapılmıştır.

Verileri, aralıklı veriler şeklinde ifade etmek için girdilere ve çıktıya ait standart sapmalardan yararlanılmıştır. Standart sapmalar eklenip çıkarılarak;

Üst Sınır = (Mevcut Veri) + (Standart Sapma), Alt Sınır = (Mevcut Veri) – (Standart Sapma)

eşitlikleriyle her bir veri, aralık veri haline gelmiştir. Girdi ve çıktı değişkenleriyle ilgili bu aralıklı veriler Ek 3' de sunulmuştur.

Girdiye yönelik klasik VZA analiz sonuçları (3.19) modeli kullanılarak Çizelge 5.1.'deki gibi bulunmuştur.

Çizelge 5.1. Girdiye yönelik Klasik VZA modeli sonuçları

KVB	Etkinlik Skorları	Etkinlik Sıralaması
Ankara	1	1
Bor	1	1
Burdur	1	1
Çorum	1	1
Ercis	1	1
Eskişehir	1	1
Ilgın	1	1
Malatya	0.926498	8
Elbistan	0.925768	9
Kastamonu	0.918248	10
Yozgat	0.881962	11
Ereğli	0.868703	12
Afyon	0.862123	13
Erzincan	0.859592	14
Erzurum	0.839608	15
Turhal	0.779224	16
Kars	0.755559	17
Muş	0.733208	18
Uşak	0.65532	19
Elazığ	0.606723	20
Alpullu	0.400948	21
Kırşehir	0.350791	22
Susurluk	0.269764	23
Ağrı	0.032728	24

Çizelge 5.1’de verilerin bulanık olmadığı durumda elde edilen sonuçları görülmektedir. Etkinlik skorlarına bakıldığında 2017-2018 üretim döneminde Ankara, Bor, Burdur, Çorum, Ercis, Eskişehir ve Ilgın Şeker Fabrikaları olmak üzere toplam 7 şeker fabrikasının etkinlik skorlarınının 1 olduğu görülmektedir. Yani tam olarak etkin KVB sayısı 7 dir. Bu 7 şeker fabrikası tam etkinliğe sahipken Ağrı Şeker Fabrikasının etkinlik skorunun çok düşük olduğu görülmektedir. Geriye kalan Afyon, Ağrı, Alpullu gibi etkinliği 1’den düşük olan şeker fabrikaları, etkin olabilmek için tam etkinliğe sahip olan 7 şeker fabrikasını referans alabilir.

Bulanık Veri Zarflama Analizi modellerinden Kao-Liu modeli ile elde edilen etkinlik değerleri Çizelge 5.2.’de verilmiştir.

Çizelge 5.2. Kao-Liu modeli ile elde edilen etkinlik skorları

No	KVB	$\alpha = 0$	$\alpha = 0.1$	$\alpha = 0.3$	$\alpha = 0.5$	$\alpha = 0.7$	$\alpha = 0.9$	$\alpha = 1$
1	Afyon	0.862123	0.862123	0.862123	0.862123	0.862123	0.890368	0.917476
2	Ağrı	0.032728	0.095983	0.287949	0.479915	0.671881	0.863847	0.95983
3	Alpullu	0.400948	0.418757	0.520054	0.647041	0.788225	0.929408	1
4	Ankara	1	1	1	1	1	1	1
5	Bor	1	1	1	1	1	1	1
6	Burdur	1	1	1	1	1	1	1
7	Çorum	1	1	1	1	1	1	1
8	Elazığ	0.606723	0.606723	0.621118	0.668085	0.740457	0.832302	0.879403
9	Elbistan	0.925768	0.925768	0.925768	0.925768	0.943125	0.971491	0.985675
10	Ercis	1	1	1	1	1	1	1
11	Ereğli	0.868703	0.868703	0.868703	0.868703	0.868703	0.923806	0.98093
12	Erzincan	0.859592	0.859592	0.859592	0.873612	0.923691	0.974564	1
13	Erzurum	0.839608	0.839608	0.839608	0.839608	0.839608	0.863683	0.882898
14	Eskişehir	1	1	1	1	1	1	1
15	İlgin	1	1	1	1	1	1	1
16	Kars	0.755559	0.755559	0.794887	0.85349	0.912094	0.970698	1
17	Kastamonu	0.918248	0.918248	0.928755	0.949111	0.969466	0.989822	1
18	Kırşehir	0.350791	0.350791	0.376949	0.435535	0.548962	0.677595	0.741912
19	Malatya	0.926498	0.926498	0.926498	0.941408	0.964845	0.988282	1
20	Muş	0.733208	0.733208	0.733208	0.733208	0.733208	0.779186	0.806671
21	Susurluk	0.269764	0.269764	0.324225	0.384175	0.472568	0.598909	0.665455
22	Turhal	0.779224	0.779224	0.779224	0.779224	0.78002	0.802072	0.829465
23	Uşak	0.65532	0.65532	0.700436	0.786026	0.871616	0.957205	1
24	Yozgat	0.881962	0.881962	0.881962	0.881962	0.881962	0.910037	0.927413

Çizelge 5.2'ye bakıldığında 7 farklı  $\alpha$ -kesim düzeyinde etkinlik skorları görülmektedir. Tablo incelendiğinde Ankara, Bor, Burdur, Çorum, Eskişehir ve Iğın Şeker Fabrikalarının tüm  $\alpha$ -kesim düzeyinde etkin olduğu görülmektedir. Alpullu, Kars, Kastamonu, Malatya ve Uşak Şeker Fabrikalarının ise sadece  $\alpha=1$  düzeyinde etkin olduğu görülmektedir.

Ayrıca  $\alpha=0$  düzeyinde elde edilen etkinlik skorları klasik VZA modeli olan girdi odaklı CCR sonuçlarıyla aynı değerleri göstermektedir.

$\alpha=0$  düzeyinde Malatya Şeker Fabrikası 0.926498 ile tam etkin olmaya en yakın fabrika iken, Ağrı Şeker Fabrikasının 0.032728 ile tam etkin olmaya en uzak fabrika olduğu görülmektedir.

$\alpha=0.1$  düzeyinde Malatya Şeker Fabrikası 0.926498 ile tam etkin olmaya en yakın fabrika iken, Ağrı Şeker Fabrikasının 0.095983 ile tam etkin olmaya en uzak fabrika olduğu görülmektedir.

$\alpha=0.3$  düzeyinde Malatya Şeker Fabrikası 0.926498 ile tam etkin olmaya en yakın fabrika iken, Ağrı Şeker Fabrikasının 0.287949 ile tam etkin olmaya en uzak fabrika olduğu görülmektedir.

$\alpha=0.5$  düzeyinde Kastamonu Şeker Fabrikası 0.949111 ile tam etkin olmaya en yakın fabrika iken, Susurluk Şeker Fabrikasının 0.384175 ile tam etkin olmaya en uzak fabrika olduğu görülmektedir.

$\alpha=0.7$  düzeyinde Kastamonu Şeker Fabrikası 0.969466 ile tam etkin olmaya en yakın fabrika iken, Susurluk Şeker Fabrikasının 0.472565 ile tam etkin olmaya en uzak fabrika olduğu görülmektedir.

$\alpha=0.9$  düzeyinde Kastamonu Şeker Fabrikası 0.989822 ile tam etkin olmaya en yakın fabrika iken, Susurluk Şeker Fabrikasının 0.598909 ile tam etkin olmaya en uzak fabrika olduğu görülmektedir.

$\alpha=1$  düzeyinde Elbistan Şeker Fabrikası 0.985675 ile tam etkin olmaya en yakın fabrika iken, Susurluk Şeker Fabrikasının 0.665455 ile tam etkin olmaya en uzak fabrika olduğu görülmektedir.

Çizelge 5.2 ele alındığında etkin olmayan fabrikaların etkin olmaları için referans almaları gereken fabrikalar ve değerleri Ek 4, Ek 5, Ek 6, Ek 7, Ek 8, Ek 9 ve Ek 10'da görülmektedir.

Ek 4'de  $\alpha=0$  düzeyi ele alınmıştır. Etkin olmayan 17 fabrika için elde edilen dual değişkenler verilmiştir. Örneğin Afyon Şeker Fabrikası Çorum, Eskişehir ve Ilgın Şeker fabrikalarını referans almalıdır. Benzer olarak Erzincan Şeker Fabrikası da Burdur, Erciş ve Ilgın Şeker Fabrikalarını referans almalıdır.

Ek 5'de  $\alpha=0.1$  düzeyi ele alınmıştır. Etkin olmayan 17 fabrika için elde edilen dual değişkenler verilmiştir. Örneğin Elbistan Şeker Fabrikası Ankara, Burdur ve Eskişehir Şeker fabrikalarını referans almalıdır. Benzer olarak Turhal Şeker Fabrikası da Burdur ve Ilgın Şeker Fabrikalarını referans almalıdır.

Ek 6'de  $\alpha=0.3$  düzeyi ele alınmıştır. Etkin olmayan 17 fabrika için elde edilen dual değişkenler verilmiştir. Örneğin Elazığ Şeker Fabrikası Ercis, Ilgın ve Kastamonu Şeker fabrikalarını referans almalıdır. Benzer olarak Uşak Şeker Fabrikası da Ercis, Erzincan, Ilgın ve Uşak Şeker Fabrikalarını referans almalıdır.

Ek 7'de  $\alpha=0.5$  düzeyi ele alınmıştır. Etkin olmayan 17 fabrika için elde edilen dual değişkenler verilmiştir. Örneğin Kırşehir Şeker Fabrikası Erzincan, Ilgın ve Kars Şeker fabrikalarını referans almalıdır. Benzer olarak Erzincan Şeker Fabrikası da Ankara, Burdur, Ercis ve Ilgın Şeker Fabrikalarını referans almalıdır.

Ek 8'de  $\alpha=0.7$  düzeyi ele alınmıştır. Etkin olmayan 17 fabrika için elde edilen dual değişkenler verilmiştir. Örneğin Yozgat Şeker Fabrikası Burdur, Ercis ve Ilgın Şeker fabrikalarını referans almalıdır. Benzer olarak Ereğli Şeker Fabrikası da Eskişehir ve Ilgın Şeker Fabrikalarını referans almalıdır.

Ek 9'de  $\alpha=0.9$  düzeyi ele alınmıştır. Etkin olmayan 17 fabrika için elde edilen dual değişkenler verilmiştir. Örneğin Muş Şeker Fabrikası Burdur, Ercis, Ilgın ve Kars Şeker fabrikalarını referans almalıdır. Benzer olarak Turhal Şeker Fabrikası da Ercis, Ilgın ve Kars Şeker Fabrikalarını referans almalıdır.

Ek 10'de  $\alpha=1$  düzeyi ele alınmıştır. Etkin olmayan 11 fabrika için elde edilen dual değişkenler verilmiştir. Örneğin Yozgat Şeker Fabrikası Burdur, Ercis, Erzincan, Ilgın ve Kars Şeker fabrikalarını referans almalıdır. Benzer olarak Ağrı Şeker Fabrikası da Alpullu ve Kars Şeker Fabrikalarını referans almalıdır.

Bulanıklığın en fazla olduğu  $\alpha=1$  düzeyinde etkin şeker fabrikalarının sayısının 13 olduğu Çizelge 5.3'te görülmektedir.

Çizelge 5.3. Bulanıklığın tam olduğu ve olmadığı durumun karşılaştırılması

$\alpha = 0$			$\alpha = 1$		
KVB	Etkinlik Skorları	Etkinlik Sıralaması	KVB	Etkinlik Skorları	Etkinlik Sıralaması
Ankara	1	1	Alpullu	1	1
Bor	1	1	Ankara	1	1
Burdur	1	1	Bor	1	1
Çorum	1	1	Burdur	1	1
Ercis	1	1	Çorum	1	1
Eskişehir	1	1	Ercis	1	1
İlgin	1	1	Erzincan	1	1
Malatya	0.926498	8	Eskişehir	1	1
Elbistan	0.925768	9	İlgin	1	1
Kastamonu	0.918248	10	Kars	1	1
Yozgat	0.881962	11	Kastamonu	1	1
Ereğli	0.868703	12	Malatya	1	1
Afyon	0.862123	13	Uşak	1	1
Erzincan	0.859592	14	Elbistan	0.985675	14
Erzurum	0.839608	15	Ereğli	0.98093	15
Turhal	0.779224	16	Ağrı	0.95983	16
Kars	0.755559	17	Yozgat	0.927413	17
Muş	0.733208	18	Afyon	0.917476	18
Uşak	0.65532	19	Erzurum	0.882898	19
Elazığ	0.606723	20	Elazığ	0.879403	20
Alpullu	0.400948	21	Turhal	0.829465	21
Kırşehir	0.350791	22	Muş	0.806671	22
Susurluk	0.269764	23	Kırşehir	0.741912	23
Ağrı	0.032728	24	Susurluk	0.665455	24

Bulanıklık arttığında KVB sıralamasının neden değiştiği araştırılabilir.

Girdiye yönelik Klasik VZA sonuçları ile Bulanık VZA sonuçlarına baktığımızda bulanık ortamda elde edilen etkin karar verme birimi sayımızın arttığı görülmektedir. Bulanıklığın giderek arttığı  $\alpha_1 = 0, \alpha_2 = 0.1, \alpha_3 = 0.3, \alpha_4 = 0.5, \alpha_5 = 0.7, \alpha_6 = 0.9$  ve  $\alpha_7 = 1$  düzeylerinde karar verme birimlerinin giderek tam etkin olmaya yaklaştığı görülmektedir.

Buradan karar verme birimlerinin Bulanık VZA ile elde ettiğimiz etkinlik sonuçları ile geçmiş faaliyetleri de göz önünde bulundurularak performansları hakkında daha sağlıklı sonuçlar elde edilebileceği anlaşılmaktadır.





## 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bulanık Veri Zarflama analizi de Klasik Veri Zarflama analizi gibi aynı kategoride faaliyette bulunan karar verme birimlerinin bulanık ortamdaki etkinliklerini inceleyen bir tekniktir.

Literatüre dikkatlice bakıldığında Türkiye’de faaliyet gösteren şeker fabrikalarının performansını ölçmeye yönelik herhangi bir çalışma bulunamamıştır. Literatüre faydalı olabilmek adına bu çalışmada TURKŞEKER’e ait faaliyet gösteren 2017-2018 üretim dönemine ait etkinlik skorları Kao-Liu bulanık veri zarflama analizi modeli ile ölçülmüştür.

TURKŞEKER’e ait faaliyet gösteren şeker fabrikalarına ait elde edilen veriler kesin değeri bilinen verilerdir. Bulanık Veri Zarflama Analizi modellerinden herhangi birini uygulayabilmek için verilerin bulanıklaştırılması gerekmektedir. Bu da verilerin  $\alpha$ -kesim yöntemiyle bulanıklaştırılmasıyla sağlanmıştır.

Farklı  $\alpha$ -kesim düzeylerinde fabrikaların etkinlik skorları hesaplanmıştır. Bu skora göre etkin olmayan fabrikaların etkin olabilmeleri için gerekli olan optimal değerler hesaplanmıştır. Böylece çalışmanın şeker fabrikaları sektöründeki karar vericilere yol gösterici olması hedeflenmiştir. Daha sonraki çalışmalar için farklı BVZA modelleri kullanılarak şeker fabrikalarının etkinliği ölçülerek elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak performans açısından daha sağlıklı sonuçlar elde edilebilir.

## KAYNAKLAR

- Anonim, 2019. TÜRKŞEKER İstatistik Verileri. <https://www.turkseker.gov.tr/?ModulID=10&MenuID=45> (Erişim Tarihi: 09.12.2019)
- Arslan, V. ve Ulubeyli, S. 2017. Bulanık veri zarflama analizi ile beton pompası seçimi. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 8:1, 1-12.
- Andersen, P. and Petersen, N. C. 1993. A Procedure for Ranking Efficient Units in Data Envelopment Analysis. *Management Science*, 39, 1261-1264.
- Bakırcı, F. 2006, *Üretimde Etkinlik ve Verimlilik Ölçümü*, Veri Zarflama Analizi, Atlas Yayınları, Ankara.
- Banker, R.D., Charnes, A. and Cooper, W.W. 1984. Estimation of Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis. *Management Science*. 30, 1078-1092.
- Boussofiane, A., Dyson, R. G. and Thonossoulis, E. 1991. Applied Data Envelopment Analysis. *European Journal of Operational Research*, 52, 1-15.
- Bowlin, W. F. 1998. Measuring Performance: An Introduction to Data Envelopment Analysis (DEA). *Journal of Cost Analysis*, 7, 3-27.
- Charnes, A., Cooper, W.W. and Rhodes, E. 1978. Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research*. 2:6, 429-444.
- Çakır, S. 2016. Bulanık Veri Zarflama Analizi İle Çaykur Fabrikalarında Etkinlik Ölçümü. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 31:2.
- Depren, Ö. (2008). Veri Zarflama Analizi ve Bir Uygulama, Yüksek Lisans Tezi (basılmamış), Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü), İstanbul. FDI World Dental Federation. (2014). Oral Health Worldwide a Report By FDI World Dental Federation. FDI: Switzerland.
- Doyle, J. and Green, R. 1994. Efficiency and Cross-efficiency in DEA: Derivations, Meanings and Uses. *Journal of the Operational Research Society*, 45, 567-578.
- Dyson, R. G., Allen, R., Camanho, A. S., Podinovski, V. V., Sarrico, C. S. and Shale, E. A. 2001. Pitfalls and Protocols in DEA, *European Journal of Operational Research*, 132, 245-259.
- Golany, B. and Roll, Y. 1989. An Application Procedure for DEA. *Omega*, 17, 237-250.
- Gündüz, O. 2015. Bulanık Veri Zarflama ile Kuru Kayısı Yetiştiren İşletmelerin Etkinlik. *Journal of Agricultural Sciences*, 21:4, 525-537.

- Güneş, T. 2006. Bulanık Veri Zarflama Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İstatistik Anabilim Dalı, 140. Ankara. doi: 10.1501/0002896
- Güngör, İ. ve Demirgil, H. 2005. Bölgesel Rekabet Yapısının Bulanık VZA ile Araştırılması. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 10:2, 23-38.
- Haas, D. A. and Murphy, F. H. 2003. Compensating for non-homogeneity in decision-making units in data envelopment analysis. *European Journal of Operational Research*, 44:3, 530-544.
- Kabak, M. ve Özveri, O. 2017. Bulanık Veri Zarflama Analizi (BVZA) Yönteminin Mağaza Yeri Seçiminde Kullanımı. *Akademik Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 5:43, 507-518.
- Kadioğlu, Ö. 2019. Şeker sektörünün dünyada ve Türkiye'deki durumu. <https://www.dunya.com/kose-yazisi/seker-sektorunun-dunyada-ve-turkiyedeki-durumu/405119> (Erişim Tarihi: 15.12.2019)
- Lertworasirikul, S., Fang, S. C., Joines, J. A., and Nuttle, H. L. 2003. Fuzzy data envelopment analysis (DEA): a possibility approach. *Fuzzy sets and Systems*, 139:2, 379-394.
- Meada, Y., Entani, T. and Tanaka, H. 1998. *Fuzzy DEA with interval efficiency journal*. European Congress on Intelligent Techniques and Soft Computing, Book of Abstracts, 6:2, 1067–1071, Aachen, Germany.
- Oruç, K. O. 2008. Veri Zarflama Analizi ile Bulanık Ortamda Etkinlik Ölçümleri ve Üniversitelerde Bir Uygulama. Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi SDÜ Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalı, 194, Isparta.
- Oruç, K.O., Güngör İ., Demiral M.F. 2009. Üniversitelerin Etkinlik Ölçümünde Bulanık Veri Zarflama Analizi Uygulaması. *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, Sayı 22. 279-294.
- Öksüzkaya, M. ve Atan, M. 2017. Türk Bankacılık Sektörünün Etkinliğinin Bulanık Veri Zarflama Analizi ile Ölçülmesi. *Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi*. 18, 35 –378.
- Öncü, S., Aktaş, R. 2007, Yeniden Yapılandırma Döneminde Türk Bankacılık Sektöründe Verimlilik Değişimi, *Yönetim ve Ekonomi*, 14:1, 247-266.
- Özyiğit, T., Serarslan, M. N. ve Karsak, E. E. 2008. Türkiye'de Elektrik Üretimi İçin Enerji Kaynaklarının Etkinliğinin Değerlendirilmesi. *İTÜ Dergisi*, 7:5, 55-66.
- Saati, S. M., Memariani, A. ve Jahanshahloo, G. R. 2002. Efficiency analysis and ranking of DMUs with fuzzy data, *Fuzzy Optimization and Decision Making*, 1:3, 255–267.

- Şafak, İ. 2009. Ege Bölgesi Orman İşletmelerinin Etkinlik Düzeylerinin değerlendirilmesi. Doktora Tezi, CBU Sosyal Bilimleri Enstitüsü İşletme Anabilim Dalı, 480, Manisa.
- Taşköprü, V. (2014). Klasik VZA ile Kategorik VZA modellerinin enerji verimliliği üzerinde karşılaştırmalı incelenmesi. 15. Uluslararası Ekonometri, Yöneylem Araştırması ve İstatistik Sempozyumu, 22- 25 Mayıs, Bildiri Özetleri Kitabı, Isparta, Türkiye.
- Y. Ayan, T. ve Perçin, S. 2008. Bulanık Veri Zarflama Analizi ile Türk Otomotiv Firmalarının Etkinlik Ölçümü. *Hacettepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 26:1.
- Yeşilaydın, G. ve Alptekin, N. 2016. Bulanık Veri Zarflama Analizi ile OECD Ülkelerinin Sağlık Alanındaki Etkinliklerinin Değerlendirilmesi. *Sosyoekonomi*, 24:30, 207-225. doi: 10.17233/se.2016.10.013
- Zadeh, L.A. 1965. Bulanık Kümeler. *Bilgi ve Kontrol Dergisi*. 8:3, 338-353.
- Zhu, J. ve Cook W.D. 2007. *Modeling Data Irregularities and Structural Complexities in Data Envelopment Analysis*. Springer Science & Business Media Yayıncılık, 307-308.
- Zimmermann, H.J. 1991. *Fuzzy Set Theory and Its Applications*. Kluwer Academic Publishers, Boston.

## EKLER

EK 1 Değişkenler arası korelasyon tablosu

EK 2 Çalışmada kullanılan Girdi ve Çıktı değişkenlerine ait veri seti

EK 3 Girdi ve çıktı değişkenlerine ait aralık verileri

EK 4 Kao-Liu modeli ile  $\alpha = 0$  düzeyinde elde edilen dual değişkenler

EK 5 Kao-Liu modeli ile  $\alpha = 0.1$  düzeyinde elde edilen dual değişkenler

EK 6 Kao-Liu modeli ile  $\alpha = 0.3$  düzeyinde elde edilen dual değişkenler

EK 7 Kao-Liu modeli ile  $\alpha = 0.5$  düzeyinde elde edilen dual değişkenler

EK 8 Kao-Liu modeli ile  $\alpha = 0.7$  düzeyinde elde edilen dual değişkenler

EK 9 Kao-Liu modeli ile  $\alpha = 0.9$  düzeyinde elde edilen dual değişkenler

EK 10 Kao-Liu modeli ile  $\alpha = 1$  düzeyinde elde edilen dual değişkenler

## EK 1 Değişkenler arası korelasyon

		Korelasyon								
	Personel	Toplam satış	Kamp. süresi	Fiili kapasite	Pancar ekim alanı	Ekim yapan çiftçi sayısı	İşlenen pancar	Toplam üretim	Melas	Yaş küspe
Personel	1	.514**	.430*	.491*	.532**	.479*	.457*	.456*	.434*	.454*
Toplam satış	.514**	1	.605**	.870**	.920**	.864**	.903**	.915**	.856**	.911**
Kampanya süresi	.430*	.605**	1	.612**	.749**	.655**	.717**	.729**	.717**	.682**
Fiili kapasite	.491*	.870**	.612**	1	.858**	.805**	.965**	.944**	.956**	.957**
Pancar ekim alanı	.532**	.920**	.749**	.858**	1	.919**	.924**	.941**	.889**	.919**
Ekim yapan çiftçi sayısı	.479*	.864**	.655**	.805**	.919**	1	.835**	.855**	.790**	.833**
İşlenen pancar	.457*	.903**	.717**	.965**	.835**	.835**	1	.993**	.992**	.982**
Toplam üretim	.456*	.915**	.729**	.944**	.941**	.855**	.993**	1	.976**	.972**
Melas	.434*	.856**	.717**	.956**	.889**	.790**	.992**	.976**	1	.970**
Yaş küspe	.454*	.911**	.682**	.957**	.919**	.833**	.982**	.972**	.970**	1

**EK 2 Çalışmada kullanılan Girdi ve Çıktı değişkenlerine ait veri seti**

Fabrika Adı	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>6</sub>	X <sub>7</sub>	X <sub>8</sub>	X <sub>9</sub>	Y
Afyon	299	128	7837	13660.2	4446	987500	135150	41091	318346	99011550
Ağrı	268	53	2784	2025	814	142000	19948	5488	46342	564950
Alpullu	194	50	2396	1649.1	1175	115000	11000	5633	31992	5342850
Ankara	554	117	3965	8465	2474	454000	57640	20450	126536	62769700
Bor	298	116.5	3912	7606.9	2210	446000	59765	19012	139114	62099100
Burdur	286	118	5134	10053.6	5038	595500	78900	24477	153565	79780750
Çarşamba	160	0	0	39.3	40	0	0	0	0	0
Çorum	282	115	7436	9095	3040	844000	113170	36994	219424	79507500
Elazığ	276	82.5	1913	3153.3	1453	154000	20400	6248	52624	14931750
Elbistan	270	107.5	3938	6401.9	2163	415500	51720	16730	100223	45717950
Ercis	357	71.25	2280	4077.3	1772	159000	24300	5142	56150	28075450
Ereğli	304	140	8316	18555.4	5694	1142000	149930	51000	312557	124267000
Erzincan	224	110	1800	5577	2352	194000	28080	6802	53787	23170500
Erzurum	321	94	3451	7520.1	2687	317500	46500	11200	98500	40555950
Eskişehir	407	116.5	8472	15028.5	3957	970000	127100	39900	252000	118602750
İlgın	344	127	8636	20164.7	6850	1073000	140300	42580	360000	169961200
Kars	183	51.25	1517	2046.4	610	74700	10400	3106	28307	9324050
Kastamonu	214	76	3627	3559.2	2090	267200	34750	10978	67468	27726750
Kırşehir	270	169	3859	12802.6	3454	641800	90220	29456	160538	26601150
Malatya	318	97	3884	8309.6	1437	369000	45161	15056	128997	39564750
Muş	348	84.5	3835	9219.2	3965	314500	43100	12577	93930	34655800
Susurluk	275	91.75	6006	3553	1335	533000	47780	28760	173931	8378850
Turhal	414	109.5	7870	15072.2	6972	848000	113026	34100	248176	93250700
Uşak	222	118	1612	3696.8	1801	187800	24460	7920	61439	19193150
Yozgat	272	103	3614	8257.6	2933	365000	52250	15300	116344	50102450

**EK 3 Girdi ve çıktı değişkenlerine ait aralık veriler**

Fabrikalar	Sınırlar	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>6</sub>	X <sub>7</sub>	X <sub>8</sub>	X <sub>9</sub>	Y
Afyon	L	216	93	5345	8253.2	2603	649555	90257	26533	219555	55162731
	U	382	163	10329	19067.2	6289	1325445	180043	55649	417137	142860369
Ağrı	L	185	18	292	-3382	-1029	-195945	-24945	-9070	-52449	-43283869
	U	351	88	5276	7432	2657	479945	64841	20046	145133	44413769
Alpullu	L	111	15	-96	-3757.9	-668	-222945	-33893	-8925	-66799	-38505969
	U	277	85	4888	7056.1	3018	452945	55893	20191	130783	49191669
Ankara	L	471	82	1473	3058	631	116055	12747	5892	27745	18920881
	U	637	152	6457	13872	4317	791945	102533	35008	225327	106618519
Bor	L	215	81.5	1420	2199.9	367	108055	14872	4454	40323	18250281
	U	381	151.5	6404	13013.9	4053	783945	104658	33570	237905	105947919
Burdur	L	203	83	2642	4646.6	3195	257555	34007	9919	54774	35931931
	U	369	153	7626	15460.6	6881	933445	123793	39035	252356	123629569
Çarşamba	L	77	-35	-2492	-5367.7	-1803	-337945	-44893	-14558	-98791	-43848819
	U	243	35	2492	5446.3	1883	337945	44893	14558	98791	43848819
Çorum	L	199	80	4944	3688	1197	506055	68277	22436	120633	35658681
	U	365	150	9928	14502	4883	1181945	158063	51552	318215	123356319
Elazığ	L	193	47.5	-579	-2253.7	-390	-183945	-24493	-8310	-46167	-28917069
	U	359	117.5	4405	8560.3	3296	491945	65293	20806	151415	58780569
Elbistan	L	187	72.5	1446	994.9	320	77555	6827	2172	1432	1869131
	U	353	142.5	6430	11808.9	4006	753445	96613	31288	199014	89566769
Ercis	L	274	36.25	-212	-1329.7	-71	-178945	-20593	-9416	-42641	-15773369
	U	440	106.25	4772	9484.3	3615	496945	69193	19700	154941	71924269
Ereğli	L	221	105	5824	13148.4	3851	804055	105037	36442	213766	80418181
	U	387	175	10808	23962.4	7537	1479945	194823	65558	411348	168115819



**EK 3 Girdi ve çıktı değişkenlerine ait aralık veriler (devam)**

Erzincan	L	141	75	-692	170	509	-143945	-16813	-7756	-45004	-20678319
	U	307	145	4292	10984	4195	531945	72973	21360	152578	67019319
Erzurum	L	238	59	959	2113.1	844	-20445	1607	-3358	-291	-3292869
	U	404	129	5943	12927.1	4530	655445	91393	25758	197291	84404769
Eskişehir	L	324	81.5	5980	9621.5	2114	632055	82207	25342	153209	74753931
	U	490	151.5	10964	20435.5	5800	1307945	171993	54458	350791	162451569
İlgın	L	261	92	6144	14757.7	5007	735055	95407	28022	261209	126112381
	U	427	162	11128	25571.7	8693	1410945	185193	57138	458791	213810019
Kars	L	100	16.25	-975	-3360.6	-1233	-263245	-34493	-11452	-70484	-34524769
	U	266	86.25	4009	7453.4	2453	412645	55293	17664	127098	53172869
Kastamonu	L	131	41	1135	-1847.8	247	-70745	-10143	-3580	-31323	-16122069
	U	297	111	6119	8966.2	3933	605145	79643	25536	166259	71575569
Kırşehir	L	187	134	1367	7395.6	1611	303855	45327	14898	61747	-17247669
	U	353	204	6351	18209.6	5297	979745	135113	44014	259329	70449969
Malatya	L	235	62	1392	2902.6	-406	31055	268	498	30206	-4284069
	U	401	132	6376	13716.6	3280	706945	90054	29614	227788	83413569
Muş	L	265	49.5	1343	3812.2	2122	-23445	-1793	-1981	-4861	-9193019
	U	431	119.5	6327	14626.2	5808	652445	87993	27135	192721	78504619
Susurluk	L	192	56.75	3514	-1854	-508	195055	2887	14202	75140	-35469969
	U	358	126.75	8498	8960	3178	870945	92673	43318	272722	52227669
Turhal	L	331	74.5	5378	9665.2	5129	510055	68133	19542	149385	49401881
	U	497	144.5	10362	20479.2	8815	1185945	157919	48658	346967	137099519
Uşak	L	139	83	-880	-1710.2	-42	-150145	-20433	-6638	-37352	-24655669
	U	305	153	4104	9103.8	3644	525745	69353	22478	160230	63041969
Yozgat	L	189	68	1122	2850.6	1090	27055	7357	742	17553	6253631
	U	355	138	6106	1366.6	4776	702945	97143	29858	215135	93951269

**EK 4 Kao-Liu modeli ile  $\alpha = 0$  düzeyinde elde edilen dual değişkenler**

No	Fabrikalar	Referans kümesi	$\lambda_4$	$\lambda_5$	$\lambda_6$	$\lambda_7$	$\lambda_{10}$	$\lambda_{14}$	$\lambda_{15}$
1	Afyon	7; 14; 15				0.289877		0.133445	0.353829
2	Ağrı	7; 15				0.002230			0.002281
3	Alpulu	15							0.031436
8	Elazığ	10; 15					0.045590		0.080323
9	Elbistan	4; 6; 14	0.269175		0.157769			0.136885	
11	Ereğli	14; 15						0.075296	0.678606
12	Erzincan	6; 10; 15			0.125226		0.274962		0.032126
13	Erzurum	6; 10; 15			0.080459		0.591021		0.103222
16	Kars	10; 15					0.132873		0.032911
17	Kastamonu	7; 15				0.063184			0.133578
18	Kırşehir	6; 15			0.001904				0.155619
19	Malatya	5; 14		0.082228				0.290537	
20	Muş	6; 10; 15			0.186345		0.500890		0.033692
21	Susurluk	7				0.105384			
22	Turhal	6; 15			0.267968				0.422873
23	Uşak	6; 10; 15			0.006768		0.086510		0.095459
24	Yozgat	6; 10; 15			0.141121		0.402810		0.162006

**EK 5 Kao-Liu modeli ile  $\alpha = 0,1$  düzeyinde elde edilen dual değişkenler**

No	Fabrikalar	Referans kümesi	$\lambda_3$	$\lambda_4$	$\lambda_5$	$\lambda_6$	$\lambda_7$	$\lambda_{10}$	$\lambda_{14}$	$\lambda_{15}$	$\lambda_{16}$	$\lambda_{17}$
1	Afyon	7; 14; 15					0.289877		0.133445	0.353829		
2	Ağrı	3; 16	0.030319								0.069681	
3	Alpullu	10; 15; 17						0.072460		0.017892		0.009648
8	Elazığ	10; 15						0.045590		0.080323		
9	Elbistan	4; 6; 14		0.269175		0.157769			0.136885			
11	Ereğli	14; 15							0.075296	0.678606		
12	Erzincan	6; 10; 15				0.125226		0.274962		0.032126		
13	Erzurum	6; 10; 15				0.080459		0.591021		0.103222		
16	Kars	10; 15						0.132873		0.032911		
17	Kastamonu	7; 15					0.063184			0.133578		
18	Kırşehir	6; 15				0.001904				0.155619		
19	Malatya	5; 14			0.082228				0.290537			
20	Muş	6; 10; 15				0.186345		0.500890		0.033692		
21	Susurluk	7					0.105384					
22	Turhal	6; 15				0.267968				0.422873		
23	Uşak	6; 10; 15				0.006768		0.086510		0.095459		
24	Yozgat	6; 10; 15				0.141121		0.402810		0.162006		

### EK 6 Kao-Liu modeli ile $\alpha = 0,3$ düzeyinde elde edilen dual değişkenler

No	Fabrikalar	Referans kümesi	$\lambda_3$	$\lambda_4$	$\lambda_5$	$\lambda_6$	$\lambda_7$	$\lambda_{10}$	$\lambda_{12}$	$\lambda_{14}$	$\lambda_{15}$	$\lambda_{16}$	$\lambda_{17}$	$\lambda_{23}$
1	Afyon	7; 14; 15					0.289877			0.133445	0.353829			
2	Ağrı	3; 16	0.090957									0.209043		
3	Alpullu	10; 16; 17						0.070360				0.163004	0.066636	
8	Elazığ	10; 15; 17						0.248594			0.045889		0.005517	
9	Elbistan	4; 6; 14		0.269175		0.157769				0.136885				
11	Ereğli	14; 15								0.075296	0.678606			
12	Erzincan	6; 10; 15				0.125226		0.274962			0.032126			
13	Erzurum	6; 10; 15				0.080459		0.591021			0.103222			
16	Kars	10; 15; 16						0.111495			0.027616	0.160889		
17	Kastamonu	7; 15; 17					0.055063				0.116410		0.128527	
18	Kırşehir	15; 23									0.138247			0.161753
19	Malatya	5; 14			0.082228					0.290537				
20	Muş	6; 10; 15				0.186345		0.500890			0.033692			
21	Susurluk	7; 16; 17					0.061926					0.170938	0.067136	
22	Turhal	6; 15				0.267968					0.422873			
23	Uşak	10; 12; 15; 23						0.076871	0.015728		0.084168			0.123237
24	Yozgat	6; 10; 15				0.141121		0.402810			0.162006			

### EK 7 Kao-Liu modeli ile $\alpha = 0,5$ düzeyinde elde edilen dual değişkenler

No	Fabrikalar	Referans kümesi	$\lambda_3$	$\lambda_4$	$\lambda_5$	$\lambda_6$	$\lambda_7$	$\lambda_{10}$	$\lambda_{12}$	$\lambda_{14}$	$\lambda_{15}$	$\lambda_{16}$	$\lambda_{17}$	$\lambda_{19}$	$\lambda_{23}$
1	Afyon	7; 14; 15					0.289877			0.133445	0.353829				
2	Ağrı	3; 16	0.151595									0.348405			
3	Alpullu	3; 16; 17	0.173250									0.252273	0.074477		
8	Elazığ	10; 15; 17						0.423849			0.006472		0.069679		
9	Elbistan	4; 6; 14		0.269175		0.157769				0.136885					
11	Ereğli	14; 15								0.075296	0.678606				
12	Erzincan	4; 6; 10; 15		0.096659		0.019970		0.349917			0.033455				
13	Erzurum	6; 10; 15				0.080459		0.591021			0.103222				
16	Kars	10; 15; 16						0.079639			0.019726	0.400635			
17	Kastamonu	7; 15; 17					0.039331				0.083150		0.377519		
18	Kırşehir	12; 15; 16							0.151381		0.123527	0.225092		0.202851	
19	Malatya	5; 14; 19			0.065548					0.231601					
20	Muş	6; 10; 15				0.186345		0.500890			0.033692	0.377726	0.093950		
21	Susurluk	7; 16; 17					0.028324								
22	Turhal	6; 15				0.267968					0.422873				
23	Uşak	10; 12; 15; 23						0.054908	0.011234		0.060120				0.373738
24	Yozgat	6; 10; 15				0.141121		0.402810			0.162006				

### EK 8 Kao-Liu modeli ile $\alpha = 0,7$ düzeyinde elde edilen dual değişkenler

No	Fabrikalar	Referans kümesi	$\lambda_3$	$\lambda_5$	$\lambda_6$	$\lambda_7$	$\lambda_{10}$	$\lambda_{12}$	$\lambda_{14}$	$\lambda_{15}$	$\lambda_{16}$	$\lambda_{17}$	$\lambda_{19}$	$\lambda_{23}$
1	Afyon	7; 14; 15				0.289877			0.133445	0.353829				
2	Ağrı	3; 16	0.212233								0.487767			
3	Alpullu	3; 16; 17	0.503950								0.151364	0.044686		
8	Elazığ	5; 10; 16		0.050876			0.305040				0.344084			
9	Elbistan	6; 10; 14; 16			0.086669		0.367354		0.239720		0.006257			
11	Ereğli	14; 15							0.075296	0.0678606				
12	Erzincan	10; 12; 15					0.313740	0.349389		0.036871				
13	Erzurum	6; 10; 15			0.080459		0.591021			0.103222				
16	Kars	10; 15; 16					0.047784			0.011835	0.640381			
17	Kastamonu	7; 15; 17				0.023599				0.049890		0.626511		
18	Kırşehir	15; 16								0.124967	0.575033		0.521711	
19	Malatya	5; 14; 19		0.039329					0.138961					
20	Muş	6; 10; 15			0.186345		0.500890			0.033692				
21	Susurluk	15; 16								0.011529	0.688471			
22	Turhal	6; 10; 15			0.250399		0.022138			0.427463				
23	Uşak	10; 12; 15; 23					0.032945	0.006740		0.036072				0.624243
24	Yozgat	6; 10; 15			0.141121		0.402810			0.162006				

### EK 9 Kao-Liu modeli ile $\alpha = 0,9$ düzeyinde elde edilen dual değişkenler

No	Fabrikalar	Referans kümesi	$\lambda_3$	$\lambda_5$	$\lambda_6$	$\lambda_7$	$\lambda_{10}$	$\lambda_{12}$	$\lambda_{14}$	$\lambda_{15}$	$\lambda_{16}$	$\lambda_{17}$	$\lambda_{19}$	$\lambda_{23}$
1	Afyon	7; 10; 16				0.373211	0.401070				0.125720			
2	Ağrı	3; 16	0.272870								0.627130			
3	Alpullu	3; 16; 17	0.834650								0.050455	0.014895		
8	Elazığ	10; 16; 23					0.281440				0.490614			
9	Elbistan	6; 10; 14; 16			0.129682		0.195206		0.224463		0.350650			0.127945
11	Ereğli	15; 16								0.721348	0.178652			
12	Erzincan	10; 12; 15					0.104580	0.783130		0.012290				
13	Erzurum	6; 10; 15; 16			0.066324		0.503572			0.112357	0.217748			
16	Kars	10; 15; 16					0.015928			0.003945	0.880127			
17	Kastamonu	7; 15; 17				0.007866				0.016630		0.875504		
18	Kırşehir	15; 16								0.113358	0.786642			
19	Malatya	5; 14; 19		0.013110					0.046320				0.840570	
20	Muş	6; 10; 15; 16			0.050338		0.505798			0.082379	0.261485			
21	Susurluk	16									0.900000			
22	Turhal	10; 15; 16					0.151088			0.510629	0.238283			
23	Uşak	10; 12; 15; 23					0.010982	0.002247		0.012024				0.874748
24	Yozgat	6; 10; 15; 16			0.158778		0.231197			0.163029	0.346995			

### EK 10 Kao-Liu modeli ile $\alpha = 1$ düzeyinde elde edilen dual değişkenler

No	Fabrikalar	Referans kümesi	$\lambda_3$	$\lambda_6$	$\lambda_7$	$\lambda_{10}$	$\lambda_{12}$	$\lambda_{14}$	$\lambda_{15}$	$\lambda_{16}$	$\lambda_{23}$
1	Afyon	7; 15; 16			0.050084				0.536442	0.413475	
2	Ağrı	3; 16	0.303189							0.696811	
8	Elazığ	10; 16; 23				0.191105				0.603789	0.205106
9	Elbistan	6; 10; 14; 16		0.151188		0.109132		0.216834		0.522846	
11	Ereğli	15; 16							0.715544	0.284456	
13	Erzurum	6; 10; 15; 16		0.055043		0.433779			0.119647	0.391531	
18	Kırşehir	15; 16							0.107554	0.892446	
20	Muş	10; 15; 16				0.445281			0.105717	0.449002	
21	Susurluk	16								1	
22	Turhal	15; 16							0.522461	0.477539	
24	Yozgat	6; 10; 12; 15; 16		0.139390		0.136818	0.097224		0.168365	0.458203	



## ÖZGEÇMİŞ

Adı ve Soyadı : Özlem Şule Aydoğmuş

Doğum Yeri : Kadıköy/İstanbul

Doğum Tarihi : 29/05/1994

Yabancı Dili : İngilizce

### Eğitim Durumu

Lise : Füsun Yönder Lisesi (2012)

Lisans : Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi İstatistik Bölümü (2016)

Yüksek Lisans : Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İstatistik Anabilim Dalı (Şubat 2017 – ...)

### Yayınlar

Aydoğmuş, Ö.Ş. ve Şenel, T. 2020. Türkiye'deki Şeker Fabrikalarının Etkinliklerinin Bulanık Veri Zarflama Analizi İle İncelenmesi. Uluslararası Mardin Artuklu Bilimsel Araştırmalar Kongresi, 18-19 Ocak, Bildiri Özeti Kitabı, 86, Mardin, Türkiye.