

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ \* SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ**

**İŞLETME ANABİLİM DALI**

**İŞLETME PROGRAMI**

**BÜTÜNLEŞİK BULANIK SHANNON ENTROPİ-BULANIK VERİ ZARFLAMA  
ANALİZİ YÖNTEMİYLE TEKNOLOJİ FİRMALARINDA ETKİNLİK ÖLÇÜMÜ**

**DOKTORA TEZİ**

**Süleyman ÇAKIR**

**ŞUBAT-2015**

**TRABZON**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ \* SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ**

**İŞLETME ANABİLİM DALI**

**İŞLETME PROGRAMI**

**BÜTÜNLEŞİK BULANIK SHANNON ENTROPİ-BULANIK VERİ ZARFLAMA  
ANALİZİ YÖNTEMİYLE TEKNOLOJİ FİRMALARINDA ETKİNLİK ÖLÇÜMÜ**

**DOKTORA TEZİ**

**Süleyman ÇAKIR**

**Tez Danışmanı: Doç. Dr. Selçuk PERÇİN**

**ŞUBAT-2015**

**TRABZON**

## ONAY

Süleyman ÇAKIR tarafından hazırlanan “Bütünleşik Bulanık Shannon Entropi-Bulanık Veri Zarflama Analizi Yöntemiyle Teknoloji Firmalarında Etkinlik Ölçümü” adlı bu çalışma 06/02/2015 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda (*oybirliği/oyçokluğu*) ile başarılı bulunarak jürimiz tarafından *İşletme Anabilim* dalında **doktora tezi** olarak kabul edilmiştir.

.....

Prof.Dr. Hilmi ZENGİN (Başkan)

.....

Doç. Dr. Selçuk PERÇİN (Danışman)

.....

Doç. Dr. Tuba YAKICI AYAN

.....

Doç. Dr. Coşkun HAMZAÇEBİ

.....

Doç. Dr. Ali Sait ALBAYRAK

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduklarını onaylım. .../.../2015

Prof. Dr. Ahmet ULUSOY  
Enstitü Müdürü

## **BİLDİRİM**

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını, aksinin ortaya çıkması durumunda her tür yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ediyorum.

Süleyman ÇAKIR

27/02/2015

## ÖNSÖZ

Küreselleşme ve beraberinde getirdiği yoğun rekabet ortamı firmaları her zamankinden daha fazla rasyonel davranmaya ve kaynaklarını etkin ve etkili kullanmaya zorlamaktadır. Bilgi ve iletişim sektöründe faaliyet gösteren işletmelerin gösterdiği performans ülkelerin makroekonomik göstergelerini ve sosyal/kültürel gelişimlerini doğrudan etkilemektedir. Bu noktadan hareketle, bu çalışmada teknoloji/bilişim sektöründe faaliyet gösteren 16 firmanın performansı bulanık ortamda ölçülmeye çalışılmıştır.

Bu çalışmanın ortaya çıkması ve yürütülmesinde bilgi ve tecrübesiyle büyük katkısı bulunan değerli hocam ve tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Selçuk PERÇİN'e teşekkürü borç bilirim. Ayrıca görev yaptığım Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi'nde öğretim elemanlarına verimli bir akademik çalışma ortamı sağlayan ve her zaman manevi desteklerini sunan İİBF Dekanı Sayın Prof. Dr. Osman KARAMUSTAFA'ya teşekkür ederim.

Şubat, 2015

Süleyman ÇAKIR

## İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET.....	IX
ABSTRACT .....	X
TABLolar LİSTESİ.....	XI
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	XIII
KISALTMALAR LİSTESİ.....	XIV
GİRİŞ.....	1-4

## BİRİNCİ BÖLÜM

<b>1.ETKİNLİK ÖLÇÜMÜ ve VERİ ZARFLAMA ANALİZİ.....</b>	<b>5-35</b>
1.1. Üretim Sınırı (Üretim Fonksiyonu) .....	6
1.2. Verimlilik (Productivity) .....	6
1.2.1. Kısmi Verimlilik .....	7
1.2.2. Çoklu Faktör Verimliliği.....	8
1.2.3. Toplam Faktör Verimliliği .....	8
1.3. Etkililik (Effectiveness) .....	8
1.4. Etkinlik (Efficiency) .....	9
1.4.1. Girdiye Yönelik Etkinlik Ölçümü.....	11
1.4.2. Çıktıya Yönelik Etkinlik Ölçümü .....	12
1.4.3. Etkinlik Ölçüm Yöntemleri.....	13
1.4.3.1. Oran (Rasyo) Analizi.....	13
1.4.3.2. Parametrik Yöntemler .....	14
1.4.3.3.Parametrik Olmayan Yöntemler.....	15
1.5. Veri Zarflama Analizi.....	15
1.5.1. Genel Bilgiler.....	15
1.5.2. VZA Modelleri.....	17
1.5.2.1. CCR Modeli.....	17

1.5.2.1.1. Girdiye Yönelik CCR Modeli.....	18
1.5.2.1.2. Girdiye Yönelik Dual CCR Modeli .....	20
1.5.2.1.3. Çıktıya Yönelik CCR Modeli .....	22
1.5.2.1.4. Çıktıya Yönelik Dual CCR Modeli .....	23
1.5.2.1.5. Referans Kümesi.....	24
1.5.2.2. BCC Modeli.....	26
1.5.2.2.1. Girdiye Yönelik BCC Modeli.....	27
1.5.2.2.2. Girdiye Yönelik Dual BCC Modeli .....	28
1.5.2.2.3. Çıktıya Yönelik BCC Modeli .....	29
1.5.2.2.4. Çıktıya Yönelik Dual BCC Modeli .....	29
1.5.3. VZA Uygulama Aşamaları .....	31
1.5.3.1. Değerlendirilecek KVB'lerin Belirlenmesi .....	32
1.5.3.2. Girdi-Çıktı Karmasının Belirlenmesi .....	32
1.5.3.3. VZA Modelinin Seçimi .....	33
1.5.3.4. VZA Modelinin Çözümü.....	33
1.5.3.5. Uygulama Sonuçlarının Değerlendirilmesi .....	33
1.5.4. VZA'nın Üstün ve Zayıf Yönleri.....	34
1.5.4.1. VZA'nın Üstün Yönleri.....	34
1.5.4.2. VZA'nın Zayıf Yönleri.....	34

## İKİNCİ BÖLÜM

<b>2. BULANIK MANTIK TEORİSİ.....</b>	<b>36-55</b>
2.1. Klasik (Formel-Geleneksel) Mantık .....	36
2.2. Sembolik Mantık.....	37
2.3. Çok Değerli ve Sonsuz Değerli Mantık .....	37
2.4. Bulanık Mantık .....	38
2.5. Bulanık Küme Teorisi.....	39
2.5.1. Üyelik Fonksiyonu Tipleri .....	42
2.5.1.1. Yamuk (Trapezoidal) Üyelik Fonksiyonu .....	42
2.5.1.2. Üçgensel (Triangular) Üyelik Fonksiyonu .....	43
2.5.2. Bulanık Kümelerde Temel İşlemler .....	44
2.5.3. Bulanık Küme Özellikleri .....	44
2.5.3.1. Eşitlik Kavramı.....	44

2.5.3.2. Alpha-Kesimler ( $\alpha$ -cuts) Kümesi .....	45
2.5.3.3. Destek (Dayanak) Kümesi .....	45
2.5.3.4. Öz (Core) Kümesi.....	46
2.5.3.5. Sınır Kümesi .....	46
2.5.3.6. Dışbükeylik (Konvekslik) .....	46
2.5.3.7. Yükseklik ve Normallik .....	47
2.6. Bulanık Sayılar .....	48
2.6.1. Bulanık Sayılarda Aritmetik İşlemler .....	48
2.6.1.1. Genişleme İlkesi'ne Göre Bulanık Aritmetik İşlemleri.....	48
2.6.1.2. $\alpha$ -Kesim Aralık Yöntemine göre Bulanık Aritmetik İşlemleri.....	51
2.7. Bulanık Mantık Yaklaşımının Avantajlı ve Dezavantajlı Yönleri.....	54

## ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

<b>3. ARAŞTIRMANIN YÖNTEMİ.....</b>	<b>56-104</b>
3.1. Kriter Ağırlıklandırma Yöntemleri .....	56
3.1.1. Shannon Entropi Yöntemi .....	57
3.1.2. Bulanık Shannon Entropi Yöntemi .....	58
3.1.3. Kabul Edilebilirlik Endeksi (The Acceptability Index) Yöntemi .....	61
3.2. Bulanık Veri Zarflama Analizi .....	62
3.2.1. Genel Bilgiler .....	62
3.2.2. BVZA Yaklaşımları .....	63
3.2.2.1. Tolerans Yaklaşımı.....	64
3.2.2.2. $\alpha$ -Seviyelere Dayalı Yaklaşım.....	65
3.2.2.2.1. Kao-Liu Modeli .....	66
3.2.2.2.2. Chen ve Klein Bulanık Sıralama Yaklaşımı .....	71
3.2.2.2.3. Saati-Memariani-Jahanshahloo Modeli .....	75
3.2.2.3. Guo-Tanaka Modeli.....	79
3.2.2.4. Lertworasirikul-Fang-Joines-Nuttle Modeli.....	88
3.2.2.5. BVZA Literatüründe Diğer Yaklaşımlar .....	95
3.2.2.5.1. Aralık VZA Yaklaşımı.....	95
3.2.2.5.1.1. Despotis-Smirlis Modeli .....	96
3.2.2.5.1.2. Wang-Greatbanks-Yang Modeli .....	97
3.3. Borda Kuralı Yöntemi .....	103



## DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

<b>4.BÜTÜNLEŞİK BULANIK SHANNON ENTROPİ-BVZA YÖNTEMİYLE TEKNOLOJİ FİRMALARINDA ETKİNLİK ÖLÇÜMÜ .....</b>	<b>105-157</b>
4.1. Literatür İncelemesi .....	105
4.2. BİT Sektörünün Dünya ve Türkiye Ekonomisindeki Yeri .....	114
4.3. Araştırmanın Metodolojisi .....	119
4.4. Evren ve Örneklem .....	120
4.5. Bulanık Shannon Entropi Yöntemiyle Girdi-Çıktı Setinin Belirlenmesi .....	121
4.6. BVZA ile Teknoloji/Bilişim Firmalarında Bulanık Etkinlik Ölçümü .....	134
4.6.1. Kao-Liu Modeli Uygulaması .....	136
4.6.2. Saati-Memariani-Jahanshahloo Modeli Uygulaması .....	141
4.6.3. Lertworasirikul-Fang-Joines-Nuttle Modeli Uygulaması .....	145
4.6.4. Wang-Greatbanks-Yang Modeli Uygulaması.....	149
4.7. Spearman Sıra Korelasyonu Uygulaması .....	154
4.8. Borda Kuralı Uygulaması .....	155
<b>SONUÇ ve ÖNERİLER.....</b>	<b>158</b>
<b>YARARLANILAN KAYNAKLAR.....</b>	<b>161</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>189</b>

## ÖZET

Bilgi ve İletişim Teknolojileri (BİT) sektörüne yapılan yatırımlar ülke ekonomilerinin makroekonomik büyümesini pozitif yönde etkilemekte ve toplam faktör verimliliği artışı sağlamaktadır. Firma düzeyinde ise BİT'in rekabet gücünü ve verimliliği artırdığı tespit edilmiştir. Uluslararası alanda saygın kuruluşların geliştirdiği BİT endekslerine göre Türkiye BİT sektörü göstergelerinin Türkiye'nin rekabet ettiği ülkelere göre çok zayıf kaldığı görülmektedir. Dolayısıyla Türkiye BİT sektöründe yer alan firmaların göstereceği performans oldukça önemlidir.

BİT sektörünün Türkiye açısından stratejik öneminden hareketle bu çalışmada Bulanık Veri Zarflama Analizi (BVZA) tekniklerini kullanarak Borsa İstanbul'a kote olmuş ve teknoloji/bilişim sektöründe faaliyet gösteren 16 firmanın 2010-2013 yılı arasındaki üç yıllık verilere göre bulanık etkinliği ölçülmüştür. Uygulamada literatürde en sık kullanılan BVZA modellerinden olan Kao-Liu modeli, Lertworasirikul-Fang-Joines-Nuttle modeli, Saati-Memariani-Jahansahloo modeli ve Wang-Greatbanks-Yang modeli kullanılmıştır. Girdi-çıkıtı değişkenleri seçiminde sübjektiflikten kaçınmak amacıyla Bulanık Shannon Entropi yöntemi önerilmiştir. Uygulamanın son aşamasında ise söz konusu dört modelden elde edilen sıralama listelerinden bütünleşik tek bir sıralama elde etmek amacıyla Borda Kuralı tekniği kullanılmıştır.

Uygulama sonucunda, önerilen bütünleşik modelin bulanık ortamda etkinlik ölçümünde yararlanılabilecek pratik bir yöntem olduğu ortaya konulmuştur. Söz konusu model performans ölçümü yanında Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) problemlerinin çözümünde de kullanılabilecek ideal bir modeldir. Bunun yanında, uygulama sonucunda elde edilen bulguların BİT sektörünün gelişimine katkı sağlayacağı umulmaktadır.

**Anahtar Sözcükler:** BİT sektörü, Bulanık Shannon Entropi, Bulanık Veri Zarflama Analizi, Borda Kuralı

## ABSTRACT

The investments made in Information and Communication Technology (ICT) sector positively affect a country's macroeconomic growth and increase total factor productivity. ICT has been found to increase productivity and competitiveness in the firm level, as well. According to the ICT indices developed by respected international organizations, it is seen that Turkey's ICT sector indicators have remained very poor with respect to those of its competitor countries. Therefore, the performances of the companies in the Turkish ICT sector are crucial.

Considering the strategic importance of the ICT sector for Turkey, the fuzzy efficiencies of the 16 firms operating in this sector and listed in Istanbul stock exchange (ISE) were measured using the three years' data between the years 2011-2013. The Kao-Liu model, the Lertworasirikul-Fang-Joines-Nuttall model, the Saati-Memariani-Jahansahloo model and the Wang-Greatbanks-Yang model, which are among the most used methods in the literature were employed in the application. Fuzzy Shannon's Entropy method has been proposed in the selection of input and output variables in order to circumvent subjectivity. In the last step of the application, Borda's Rule technique was performed so as to obtain an integrated single rank order from those of the mentioned four methods.

As the result of the application, the proposed combined methodology has been shown to be an effective tool which can be utilized for measuring efficiency under fuzzy environment. The suggested method is a viable model to cope with Multiple-Criteria Decision Making (MCDM) problems, in addition to performance appraisal. In addition, the findings of this study are expected to contribute to the development of the ICT sector.

**Key words:** ICT sector, Fuzzy Shannon's Entropy, Fuzzy DEA, Borda's Rule

## TABLULAR LİSTESİ

<u>Tablo Nr.</u>	<u>Tablonun Adı</u>	<u>Sayfa Nr.</u>
1	Sınır Üretim Fonksiyonu Yaklaşımına Dayanan Ölçüm Teknikleri .....	14
2	CCR-VZA Modelleri .....	25
3	BCC-VZA Modelleri .....	31
4	$\tilde{C} = \tilde{A} + \tilde{B}$ İşleminin Kartezyen Çarpım Kümesi .....	50
5	Genişleme İlkesine Göre $\tilde{A} + \tilde{B}$ İşlemi.....	51
6	Bulanık Veri Durumunda Karar Matrisinin Yapısı .....	59
7	2007-2010 Dönemi Türkiye BİT Sektörü Göstergeleri .....	115
8	2007-2010 Dönemi Türkiye’de BİT Sektörünün GSYH İçindeki Payı .....	116
9	Türkiye’nin BİT Hizmet İhracatının Toplam Hizmet İhracatı İçindeki Payı .	116
10	Türkiye BİT Sektörü Dış Ticaret Büyüklükleri .....	117
11	BİT Sektöründeki Girişim ve İstihdam Göstergeleri .....	118
12	Çalışmada Etkinliği Ölçülen Teknoloji/Bilişim Firmaları.....	121
13	Bulanık Shannon Entropi Uygulamasında Kullanılan Girdi Değişkenleri....	122
14	Bulanık Shannon Entropi Uygulamasında Kullanılan Çıktı Değişkenleri ....	123
15	Girdi Değişkenleri için Bulanık Karar Matrisi .....	125
16	$\alpha = 0,5$ için Aralık Karar Matrisi .....	126
17	Normalize Aralık Karar Matrisi.....	128
18	Aralık Entropi ve Farklılık Aralığı Değerlerinin Alt ve Üst Sınırları.....	129
19	Girdi Değişkenlerinin Ağırlıkları ile Orta noktaları ve Yarı-genişlikleri .....	129
20	Farklı $\alpha$ -kesimlere Göre Girdi Değişkenlerinin Ağırlıkları ve Sıralamaları..	130
21	Çıktı Değişkenleri için Bulanık Karar Matrisi.....	132
22	Farklı $\alpha$ -kesimlere Göre Çıktı Değişkenlerinin Ağırlıkları ve Sıralamaları ..	133
23	Bulanık Shannon Entropi Yöntemine Göre Belirlenen Girdi ve Çıktı Değişkenleri. ....	134
24	BVZA Uygulamasında Kullanılan Girdi Değişkenleri.....	135
25	BVZA Uygulamasında kullanılan Çıktı Değişkenleri .....	135

26	Kao-Liu Modeli ile Elde Edilen Bulanık Etkinlik Skorları .....	139
27	Kao-Liu Modeli için Bütünleşik Etkinlik Sıralaması .....	141
28	Saati-Memariani-Jahanshahloo Modeliyle Elde Edilen Etkinlik Skorları.....	144
29	Saati-Memariani-Jahanshahloo Modeli için Etkinlik Sıralaması .....	145
30	Lertworasirikul-Fang-Joines-Nuttle Modeli Sonuçları.....	147
31	Lertworasirikul-Fang-Joines-Nuttle Modeli için Etkinlik Sıralaması .....	148
32	Wang-Greatbanks-Yang Modeli ile Elde Edilen Bulanık Etkinlik Skorları..	152
33	Wang-Greatbanks-Yang Modeli için Etkinlik Sıralaması .....	153
34	Etkinlik Sıralamaları için Spearman Sıra Korelasyonu Katsayıları.....	154
35	Borda Kuralı Uygulaması Sonucu Elde Edilen Firma Sıralamaları .....	155

## ŞEKİLLER LİSTESİ

<u>Şekil Nr.</u>	<u>Şekil Adı</u>	<u>Sayfa Nr.</u>
1	Girdi Yönlü Teknik ve Tahsis Etkinliği .....	11
2	Çıktı Yönlü Teknik ve Tahsis Etkinliği .....	12
3	Bulanık Küme Durumu.....	41
4	“Genç”, “Orta Yaşlı” ve “Yaşlı” Üyelik Fonksiyonu .....	42
5	Yamuk Üyelik Fonksiyonu .....	43
6	Üçgensel Üyelik Fonksiyonu .....	44
7	Bulanık Küme Özellikleri .....	47
8	Bulanık CCR Modelinin Etkinlik Sınırı .....	64
9	Chen ve Klein’ın Bulanık Sıralama Endeksi’nin Gösterimi.....	72
10	$Z_1 \approx \leq Z_2$ Bulanık Eşitsizliğinin Gösterimi.....	82
11	$\sum_{i=1}^m v_{ik} \tilde{X}_{ik} \approx \tilde{I}$ Bulanık Kısıtının Gösterimi .....	82
12	Bulanık Sayının Maksimizasyonunun Gösterimi .....	83
13	Araştırmanın Modeli.....	120

## KISALTMALAR LİSTESİ

AB	: Avrupa Birliği
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
AHP	: Analitik Hiyerarşi Prosesi
AR	: Assurance Region
BCC	: Banker Charnes Cooper
BİT	: Bilgi ve İletişim Teknolojileri
BİST	: Borsa İstanbul
BVZA	: Bulanık Veri Zarflama Analizi
CCP	: Chance-Constrained Programming
CCR	: Charnes Cooper Rhodes
CRS	: Constant Returns to Scale
ÇFV	: Çoklu Faktör Verimliliği
ÇKKV	: Çok Kriterli Karar Verme
DEA	: Data Envelopment Analysis
DMU	: Decision Making Unit
DP	: Doğrusal Programlama
DPT	: Devlet Planlama Teşkilatı
DRS	: Decreasing veya Diminishing Returns to Scale
ECM	: Efficiency Contribution Measure
FDH	: Free Disposable Hull
ICT	: Information Communications Technology
IDEA	: Imprecise DEA
IRS	: Increasing Returns to Scale
ITU	: Uluslararası Telekomünikasyon Birliği
KVB	: Karar Verme Birimi
LINMAP	: Linear Programming for Multidimensional Analysis of Preferences
MPSS	: Most Productive Scale Size
MTFVE	: Malmquist Toplam Faktör Verimliliği Endeksi

NRI	: Networked Readiness Index
OECD	: Organisation for Economic Cooperation and Development
ÖE	: Ölçek Etkinliği
ÖED	: Ölçek Etkinliği Değişimi
ÖGDG	: Ölçeğe Göre Değişken Getiri
ÖGSG	: Ölçeğe Göre Sabit Getiri
SAW	: Simple Additive Weighting
STE	: Saf Teknik Etkinlik
TBA	: Temel Bileşenler Analizi
TE	: Toplam Etkinlik
TFV	: Toplam Faktör Verimliliği
TOPSIS	: Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution
VRS	: Variable Returns to Scale
VZA	: Veri Zarflama Analizi
WDI	: World Development Indicators
WEF	: World Economic Forum



## GİRİŞ

İnsanlık tarihi günümüze kadar üç önemli dönüşüm aşamasından geçmiştir. Bu aşamalardan ilki tarım toplumuna geçiş aşaması, ikincisi Endüstri (sanayi) devrimiyle başlayan süreç, üçüncüsü ise İletişim-Bilişim devrimi denilen içinde bulunduğumuz süreçtir (Kocacık, 2003: 1). Küreselleşme üçüncü aşamanın önemli sonuçlarından biridir. Küreselleşmenin boyutlarından biri olan teknoloji boyutu iletişim teknolojisi devrimi (telefon) ve bilişim teknolojisi devriminden (bilgisayar) meydana gelmiştir (Kongar, 2001: 19). Bilgi ve iletişim kelimelerinin bileşiminden oluşan bilişim teriminin evrensel bir tanımı bulunmamakla beraber en yaygın şekliyle, bilginin işlenmesi, depolanması ve ilgili kişi ve yerlere hızlıca iletilerek bilgi akışının sağlanması şeklinde tanımlanabilir. Bilişim teknolojileri dar anlamda bilgisayarların donanımı ve bu donanımları çalıştıran yazılımlar şeklinde; geniş anlamda ise işletme yöneticilerine bilgi kazandırarak süreçlerin işleyişini kolaylaştıran teknoloji uygulamaları şeklinde tanımlanmaktadır (Kök, 2006: 125).

1980'lerde başlayan ve geleneksel medya araçlarının dijitalleşmesi olarak da tanımlanabilecek olan dijital yakınsama (digital convergence) ile metin, ses ve görüntü dijital ortamda işlenmeye başlanmıştır. Aynı paralelde telekomünikasyon sistemlerinin de dijitalleşmesi ile birlikte dijital verilerin iletimi mümkün hale gelmiş ve böylece bilgi teknolojileri ile iletişim teknolojileri bütünleşmiştir. Bilgi ve İletişim Teknolojileri (BİT) terimi, bu bütünleşme ve bağımlılığı ifade etmektedir. BİT'i meydana getiren başlıca alanlar ürün ve imalat teknolojileri alanı ile hizmet teknolojileri alanıdır (Organisation for Economic Cooperation and Development [OECD], 2007: 390). Ürün ve imalat teknolojileri alanı bürolarda kullanılan bilgi işlem ve hesap makineleri, izole edilmiş metal ve kablo mamulleri, elektronik subap ve borular ve diğer elektronik parçalar, televizyon ve radyo alıcı ve vericileri ile hatlı telefon ve telgraflar, ses ve video kayıt cihazları, endüstriyel süreç araç-gereçleri dışında ölçme, kontrol, test, navigasyon vb. amaçlarla kullanılan araç ve cihazlar, endüstriyel süreç kontrol araç-gereçlerini kapsamaktadır. Hizmet teknolojileri alanı ise bilgisayar ve bilgisayar çevre birimleri ile yazılımların toptan alım-satımı, elektronik ve telekomünikasyon parça ve araç-gereçlerinin toptan alım-satımı,

bilgisayar dâhil ofis makine ve bilgi işlem araç-gereçlerinin kiralanması ve telekomünikasyon, bilgisayar ile ilgili hizmetleri kapsamaktadır.

BİT sektörüne yapılan yatırımlar yenilikçilik düzeyini artırarak yeni ürün ve hizmetlerin geliştirilmesini ve yeni iş alanlarının ortaya çıkmasını sağlamaktadır. Dolayısıyla BİT, ekonomik büyüme yanında sosyal/kültürel gelişime de katkı sunmaktadır. İşsizliği ve yoksulluğu azaltmada, sağlık ve eğitim hizmetlerini yayma ve geliştirmedeki pozitif rolü de dikkate alındığında BİT günümüzde ülkelerin gelişmişlik düzeylerinin önemli bir göstergesi olarak kabul edilmektedir. Uluslararası alanda saygın kuruluşların geliştirdiği BİT endekslerine göre Türkiye BİT sektörü göstergelerinin Türkiye'nin rekabet ettiği ülkelere göre çok zayıf kaldığı görülmektedir. Mevcut durumu iyileştirmek adına kamuya ve özel sektör firmalarına büyük görevler düşmektedir. Bu bağlamda BİT sektöründe yer alan firmaların göstereceği performans oldukça önem kazanmaktadır. Firmaların performansını artıran faktörlerden biri de etkin bir performans değerlendirme sisteminin varlığıdır. Hedeflere ulaşma derecesinin bir ölçüsü olan performans ölçümünü düzenli şekilde gerçekleştiren firmaların rekabette daha başarılı oldukları görülmektedir.

Günümüzde performans değerlendirme amacıyla en çok tercih edilen yöntemlerinden biri de etkinlik ölçümüdür. Amaca ulaşmada kullanılan kaynakların ne derece etkin kullanıldığına bir göstergesi olan etkinlik ölçümüyle ilgili literatür incelendiğinde en sık kullanılan yöntemin Veri Zarflama Analizi (VZA) (Charnes ve diğerleri, 1978) olduğu görülmektedir. Aynı endüstri içinde faaliyet gösteren farklı ölçüm birimlerindeki çoklu girdi-çoklu çıktı değişkenlerine sahip karar verme birimleri (KVB)'nin etkinliğini ölçen klasik VZA modellerinde girdi ve çıktı değişkenlerinin belirli (kesin) değerler alması gerekmektedir. Bunun yanında klasik VZA modelleri, uç değerlere (outliers) ve ölçüm hatalarına karşı aşırı duyarlıdır. Ancak gerçek hayattaki bazı üretim ortamlarında gözlenen girdi ve çıktı değişkenlerine ait veriler belirsiz veya değişken olabilmektedir. Söz konusu belirsizlik, verilerin ölçülemeyen, tam olmayan ve elde edilemeyen veriler olmasından kaynaklanmaktadır. Geleneksel VZA modelleri bu çeşit belirsiz veya kesin olmayan verilere sahip üretim birimlerinin etkinlik ölçümünde yetersiz kaldığından ilk kez Sengupta (1992)'nin çalışması olmak üzere literatürde araştırmacılar tarafından bazı bulanık VZA (BVZA) modelleri önerilmiştir. BVZA modelleri gerçek hayat problemlerini klasik VZA

modellerine göre daha rasyonel biçimde modellemekte ve bulanık kavramlarla ifade edilen dilsel değişkenlerin kullanılmasına olanak sağlamaktadır.

BİT sektörünün Türkiye açısından stratejik öneminden hareketle bu çalışmada BVZA tekniklerini kullanarak Borsa İstanbul (BİST)'a kote olmuş ve teknoloji/bilişim sektöründe faaliyet gösteren 16 firmanın etkinliği ölçülmüştür. Uygulamada literatürde en sık kullanılan BVZA modelleri arasında yer alan dört temel BVZA modeli tercih edilmiştir. Bu modeller geliştiren araştırmacıların adlarıyla, Kao-Liu modeli (Kao ve Liu, 2000), Saati-Memariani-Jahanshahloo modeli (Saati ve diğerleri, 2002), Lertworasirikul-Fang-Joiner-Nuttle modeli (Lertworasirikul ve diğerleri, 2003a) ve Wang-Greatbanks-Yang modeli (Wang ve diğerleri, 2005)'dir.

Çalışmada firmaların ikincil verileri kullanıldığından girdi-çıkıtı değişkenleri olarak yalnızca ilgili firmaların mali tablolarından elde edilen finansal oranlar kullanılmıştır. Firma performansına etki eden diğer değişkenler veri kısıtı nedeniyle kapsam dışı bırakılmıştır. Bu çalışmada girdi-çıkıtı setinin belirlenmesinde sübjektiflikten kaçınmak amacıyla Hosseinzadeh Lotfi ve Fallahnejad (2010) tarafından önerilen objektif bir teknik olan Bulanık Shannon Entropi yöntemi kullanılmıştır. Bulanık Shannon Entropi uygulaması sonucunda elde edilen kriter ağırlıkları aralık sayı olduğundan herhangi bir aralık sıralama yöntemi kullanılarak her bir  $\alpha$ -seviyesi için sıralanmaları gerekmektedir. Bu çalışmadaki aralık sayıları sıralamak amacıyla Sengupta ve Pal (2000) tarafından önerilen Kabul Edilebilirlik Endeksi (The Acceptability Index) yöntemi kullanılmıştır.

Çalışmanın uygulama aşamasında kullanılan dört BVZA modeli de  $\alpha$ -kesimlere dayalı olarak hesaplama yapmaktadır. Dolayısıyla her bir modelin çözümü sonucunda elde edilen etkinlik skorları bulanık sayılardır. Buna göre farklı  $\alpha$ -kesimlere göre elde edilen bulanık sayıları kesin sayılar şeklinde sıralamak gerekmektedir. Literatürde bu amaçla kullanılan yöntemlerden biri de Chen ve Klein (1997) tarafından geliştirilen bulanık sıralama yöntemidir. Bu çalışmada da Chen ve Klein bulanık sıralama yöntemi kullanılarak BVZA modelleriyle elde edilen bulanık etkinlik skorları kesin sayılar şeklinde sıralanmıştır. Böylece her bir firma için dört sıralama listesi elde edilmiştir. Uygulamanın son aşamasında tekil sıralama listelerinden bütünleşik bir sıralama oluşturmaya yarayan

Borda Count (Borda Kuralı) (Borda, 1784) yöntemi ile dört sıralama listesi bütünleştirilerek daha rasyonel tek bir sıralama sonucu elde edilmiştir.

Çalışmanın bundan sonraki bölümleri aşağıdaki gibi düzenlenmiştir. *Birinci bölümde* etkinlik ölçümüyle ilgili kavramsal çerçeve ve VZA modelleri açıklanmıştır. Bu bağlamda üretim sınırı, verimlilik, etkililik ve etkinlik kavramları tanıtıldıktan sonra etkinlik ölçüm yöntemleri olan oran analizi, parametrik yöntemler ve parametrik olmayan yöntemler hakkında bilgi verilmiştir. Daha sonra klasik VZA modelleri olan primal ve dual CCR ve BCC modelleri girdiye ve çıktıya yönelik olarak açıklanmıştır. Bölüm sonunda da VZA'nın güçlü ve zayıf yönleri belirtilmiştir. *İkinci bölümde* bulanık mantık tanıtılmıştır. Bu amaçla klasik mantık ve bulanık mantık kavramları açıklandıktan sonra bulanık küme teorisine giriş yapılmıştır. Bu doğrultuda üyelik fonksiyonu tipleri ve bulanık küme özellikleri hakkında bilgi verilmiştir. Daha sonra ise bulanık sayılar ve bulanık sayılarda aritmetik işlemler özetlenmiştir. Çalışmanın *üçüncü bölümü* araştırmanın yöntemine ayrılmıştır. Burada uygulamada kullanılan matematiksel modeller hakkında ayrıntılı bilgi verilmiştir. İlk olarak Bulanık Shannon Entropi yöntemi tanıtılmıştır. Daha sonra literatürde yer alan temel BVZA yaklaşımları ile Chen ve Klein bulanık sıralama yaklaşımı açıklanmıştır. En son olarak da Borda Kuralı hakkında bilgi verilmiştir. Çalışmanın *dördüncü bölümünde* ilk olarak BİT sektörüyle ilgili daha önce yapılmış olan çalışmaların özetlendiği bir literatür incelemesi yapılmıştır. Daha sonra BİT sektörünün dünya ve Türkiye ekonomisindeki yeri vurgulandıktan sonra çalışmanın uygulama bölümü açıklanarak elde edilen bulgular sıralanmıştır. Çalışmanın *sonuç ve öneriler* kısmında uygulama sonucunda elde edilen bulgular ışığında genel bir değerlendirme yapılmıştır. Ayrıca çalışmanın kısıtlarından bahsedilmiş ve gelecek çalışmalar için yol gösterici bilgiler sunulmuştur.

## BİRİNCİ BÖLÜM

### 1. ETKİNLİK ÖLÇÜMÜ ve VERİ ZARFLAMA ANALİZİ

Günümüz işletmeleri küreselleşen rekabet pazarında ürün ve hizmetler açısından sürekli değişen müşteri taleplerini karşılamak durumundadır. Bu bağlamda firmalar pazara karşı çevik ve tepkisel olabilmek için daha fazla kişiselleştirilmiş ürün ve hizmeti daha düşük maliyetlerle müşterilerine sunmak zorundadır. Karar vericiler bu durumla proaktif bir şekilde baş edebilmek için güncel ve kesin performans bilgilerine ihtiyaç duymaktadır (Nudurupati ve diğerleri, 2011:279). Performans bilgilerine ulaşmanın tek yolu ise performans ölçümüdür. Performans ölçümü bir işletmenin stratejik hedefleri doğrultusunda önceden belirlenen amaçlarına ulaşma derecesini ölçme faaliyeti olarak tanımlanabilir (El-Baz, 2011: 6681). Waggoner ve diğerleri (1999: 54)'ne göre performans ölçümü, işletmelerde performans izlemeyi, motivasyonu artırmayı, dikkat edilmesi gereken alanları belirlemeyi, hesap verebilirliği güçlendirmeyi sağlamaktadır.

Sanayi devriminden bu yana performans kavramı ile verimlilik (prodüktivite) kavramı neredeyse aynı anlamda kullanılmaktadır. Verimlilik, performansın çok önemli bir boyutu olmakla beraber performans ölçümünün etkinlik, etkililik, karlılık, kalite, hız ve esneklik gibi başka önemli boyutları da bulunmaktadır (Alfaro ve diğerleri, 2007: 642). Neely ve diğerleri (2005) performans ölçümünü, işletme faaliyetlerinin etkinlik ve etkililiğini ölçmek şeklinde tanımlamıştır. Verimlilik, etkinlik ve etkililik kavramları akademisyenler ve işletme yöneticileri tarafından sıkça karıştırılmakta ve yanlış olarak birbirinin yerine kullanılmaktadır (Tangen, 2005: 35). Söz konusu kavramlar üretim ekonomisi kavramları olduğundan öncelikle bazı temel ekonomik kavramların açıklanmasında fayda görülmektedir.

## 1.1. Üretim Sınırı (Üretim Fonksiyonu)

*Üretim teknolojisi* en genel haliyle, bir üretim sürecindeki girdi faktörleriyle üretilen çıktı faktörleri arasındaki teknik ilişkinin açıklanması şeklinde tanımlanabilir. Bu teknik ilişki, girdilerle çıktılar arasındaki gözlemlere dayalı olarak açıklanmaktadır. İktisat teorisinde üretim teknolojisi matematiksel olarak *üretim fonksiyonu* ile gösterilmektedir (Rasmussen, 2011: 8).  $N$  sayıda girdi faktörünü kullanarak tek bir çıktı üreten bir firma için üretim fonksiyonu aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$q = f(x) \quad x = (x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (1.1)$$

Yukarıdaki notasyonda  $q$  çıktıyı,  $x$  ise girdileri göstermektedir. Üretim fonksiyonu, bir üretim sürecinde mevcut girdi düzeyiyle elde edilebilecek maksimum çıktı düzeyini göstermektedir. Bu açıdan üretim fonksiyonu ilgili endüstrideki teknolojinin mevcut durumunu yansıtmaktadır (Coelli ve diğerleri, 2005: 3). Etkinlik ölçümü ile ilgili literatürde fonksiyonun maksimum olma özelliğini vurguladığı için üretim fonksiyonu yerine *üretim sınırı* veya *etkin üretim sınırı* terimi tercih edilmektedir (Coelli ve diğerleri, 2005: 12).

*Üretim Olanak Kümesi (Production Possibility Set)* ise belirli bir üretim teknolojisi tarafından mümkün kılınan tüm girdi-çıkıtı bileşimlerini kapsayan kümeyi ifade etmektedir (Yolalan, 1993: 12). Üretim olanak kümesi matematiksel olarak aşağıdaki gibi gösterilmektedir (Rasmussen, 2011: 9).

$$T(x, y) \equiv \{(x, y) : x, y \text{ üretebilir}\} \quad (1.2)$$

Buradaki notasyonda  $T$ , üretim olanak kümesini ifade etmektedir.

## 1.2. Verimlilik (Productivity)

Tek bir işgücünden ulusal ekonomiye kadar performansın bütün düzeylerinde en çok kullanılan ölçüt olan verimlilik, firmaların karlılığı yanında bir ülkenin ekonomik

büyümesinin ve refahının temel göstergesi olarak kabul edilmektedir (Fried ve diğerleri, 2008: 522). Verimlilik, kullanıldığı bağlama göre birçok tanımı yapılan çok boyutlu bir terim olmakla beraber en genel anlamda, “üretim süreci sonucunda elde edilen mamul ve hizmetlerden oluşan çıktı miktarının, bu çıktıları elde etmek için kullanılan girdilerin miktarına oranı” olarak tanımlanabilir (Chew, 1988: 4). Bu tanımın matematiksel ifadesi ise;

$$\text{Verimlilik} = \frac{\text{Çıktı}}{\text{Girdi}} = \frac{\text{Üretim Sonucu}}{\text{Üretim Faktörleri}} \quad (1.3)$$

şeklindedir. Bu formülasyona göre aynı miktardaki üretim faktörlerinden daha çok ve daha iyi mamul veya hizmet üretildiğinde verimlilik artacaktır. Aynı şekilde, aynı miktardaki çıktılar daha az kaynak kullanarak üretildiğinde de verimlilik artacaktır.

Verimlilik girdi ve çıktıları birlikte değerlendiren bir yaklaşımdır. Verimlilik doğru işleri (etkililik) doğru şekilde (etkinlik) yapmak şeklinde de tanımlanabilir. Bu tanıma ilişkin matematiksel notasyon aşağıdaki gibidir (Jackson ve Petersson, 1999).

$$\text{Verimlilik} = \text{Etkililik} \times \text{Etkinlik} \quad (1.4)$$

İşletmelerin (karar birimlerinin) verimliliklerini birbirinden bağımsız olarak ölçmek mümkün olduğundan verimlilik bu bağlamda görelî bir kavram değildir (Tarım, 2001: 11). Verimlilik göstergeleri literatürde genel olarak kısmi verimlilik, çoklu faktör verimliliği (ÇFV) ve toplam faktör verimliliği (TFV) olarak üç gruba ayrılmaktadır (Akal, 2005: 194).

### 1.2.1. Kısmi Verimlilik

Kısmi verimlilik üretim süreci sonunda elde edilen toplam ya da bir bölüm çıktının ayrı ayrı her bir girdi faktörüne oranlanmasıyla elde edilmektedir. Buna ilişkin matematiksel notasyon;

$$\text{Kısmi Verimlilik} = \frac{\text{Çıktı}}{\text{Kısmi Girdi Miktarı}} \quad (1.5)$$

şeklindedir. Uygulamada girdi değişkeni olarak genelde işgücü, malzeme ve makine-teçhizat alınmaktadır. Örneğin;

$$\text{İşgücü Verimliliği} = \frac{\text{Üretim miktarı}}{\text{Adam saat}} = \frac{\text{Üretim miktarı}}{\text{Çalışan sayısı}}$$

### 1.2.2. Çoklu Faktör Verimliliği

*Toplam verimlilik* olarak da adlandırılan ÇFV, birden fazla üretim faktörünün verimliliğinin ölçüsüdür. ÇFV matematiksel olarak aşağıdaki gibi ifade edilmektedir.

$$\text{ÇFV} = \frac{\text{Çıktı}}{\text{Birden Fazla Girdi}} \quad (1.6)$$

şeklinde ifade edilir. Örnek olarak,

$$\text{ÇFV} = \frac{\text{Çıktı}}{(\text{İşgücü} + \text{sermaye} + \text{enerji})}$$

### 1.2.3. Toplam Faktör Verimliliği

Üretim sürecinde kullanılan tüm üretim faktörlerinin birim miktarına düşen üretim düzeyini gösteren TFV, toplam çıktıların toplam girdilere oranlanmasıyla hesaplanmaktadır (Fried ve diğerleri, 2008: 523).

$$\text{TFV} = \frac{\text{Toplam çıktı}}{\text{Toplam girdi}} \quad (1.7)$$

### 1.3. Etkililik (Effectiveness)

Çıktılarla (amaçlarla) ilgili bir kavram olan etkililik, önceden belirlenen hedef veya amaçlara ulaşma derecesini belirleyen bir performans ölçüsüdür (Yavuz, 2003: 12). Etkililik matematiksel olarak aşağıdaki gibi gösterilmektedir (Akal, 2005: 37).

$$\text{Etkililik} = \frac{\text{Gerçekleşen Çıktı}}{\text{Beklenen çıktı}} \quad (1.8)$$



Farklı bir bakış açısıyla etkililik, doğru işleri, doğru zamanda ve doğru kalitede yapmaktır (Tangen, 2005: 42).

#### 1.4. Etkinlik (Efficiency)

Üretim sürecinde kullanılan girdilere yönelik bir kavram olan etkinlik en genel anlamda işleri doğru yapmak olarak tanımlanabilir (Tangen, 2005: 41). Literatürde *etkenlik* olarak da ifade edilen etkinlik, bir işi gerçekleştirmede kullanılan kaynakların istenilen sonucu elde etmek amacıyla ne ölçüde iyi kullanıldığını yansıtmaktadır. Başka bir deyişle etkinlik, işletme kapasitesinin kullanılma derecesini gösteren ve verimsizliğin hangi faktörlerden kaynaklandığını ortaya koyan bir göstergedir. Etkinlik matematiksel olarak aşağıdaki gibi ifade edilmektedir (Sumanth, 1984: 6):

$$\text{Etkinlik} = \text{Standart Değer} / \text{Fiili Değer} \quad (1.9)$$

Etkinlik kavramı Koopmans (1951) tarafından literatüre kazandırılmıştır. Sosyal bilimler alanında yapılan çalışmaların büyük çoğunluğunda teorik olarak olası etkinlik düzeyleri bilinemediğinden günümüzde Koopmans'ın etkinlik kavramı yerine *teknik etkinlik (technical efficiency)* kavramı kullanılmaktadır. Buna göre teknik etkinlik, “eğer ve sadece diğer karar birimlerinin performansı tarafından, bir karar biriminin eş zamanlı olarak diğer bir çıktısını azaltmadan ve/veya diğer bir girdisini artırmadan, herhangi bir çıktısını artırmak ve/veya girdisini azaltmanın mümkün olmadığı gösteriliyorsa o karar birimi %100 etkindir” şeklinde tanımlanmaktadır (Cooper ve diğerleri, 2011: 3).

Teknik etkinliğin yukarıdaki tanımında geçen “diğer karar birimleri” ifadesi üretim sınırı üzerinde yer alan karar birimlerini belirtmektedir. Bu durumda, üretim sınırı üzerinde yer alan karar birimlerinin teknik etkin, üretim sınırının altında yer alan karar birimlerinin ise teknik etkin olmadıkları söylenebilir. Verimlilik ile etkinlik kavramları arasındaki temel farklılık bu noktada ortaya çıkmaktadır. Yukarıda da bahsedildiği üzere bir karar biriminin verimliliğini hesaplayabilmek için herhangi bir referans noktasına ihtiyaç bulunmamaktadır. Ancak etkinlik ölçümü üretim sınırı üzerinde yer alan karar birimleri (en iyi uygulamalar) referans alınarak yapıldığından göreceli bir performans göstergesidir.

Etkinlik ölçümünün bu görelî yapısı günümüzde birçok endüstride kıyaslama (benchmarking) amaçlı kullanılmasına olanak sağlamaktadır.

Büyük ölçüde Koopmans'ın çalışmasını temel alan Farrell (1957), ölçüğe göre sabit getiri (ÖGSG) varsayımı altında toplam etkinliği (overall efficiency), teknik etkinlik ve tahsis etkinliği (fiyat etkinliği) şeklinde iki çarpımsal bileşene ayırmıştır. Bu tanıma ilişkin matematiksel notasyon aşağıda gösterilmektedir (Norman ve Stoker, 1991:12).

$$\text{Toplam Etkinlik} = \text{Teknik Etkinlik} * \text{Tahsis Etkinliği} \quad (1.10)$$

*Tahsis etkinliği*, bir karar biriminin endüstrideki girdi ve çıktı fiyatlarını dikkate alarak, en uygun girdi bileşimini seçme başarısı olarak tanımlanmaktadır. Bir karar biriminin en uygun ölçekte üretim yapabilme başarısı ise *ölçek etkinliği (scale efficiency)* olarak adlandırılmaktadır. Yukarıda bahsedilen bileşenlerin tümü bir karar biriminin genel *ekonomik etkinliğini* belirlemektedir (Yolalan, 1993:6).

Bir karar biriminin üretim hacmi (ölçeği) etkin üretim sınırını doğrudan etkilemektedir. Üretim hacminin değişmesi durumunda ölçüğe göre getiri söz konusudur. Ölçeğe göre getiri kavramı, ÖGSG ve ölçüğe göre değişken getiri (ÖGDG) olmak üzere iki şekilde ortaya çıkmaktadır. Bir teknolojide çıktı düzeylerinin girdi düzeylerinde meydana gelen oransal artış miktarı kadar artması durumunda ÖGSG (constant returns to scale-CRS) söz konusu olmaktadır. Bu tanıma ilişkin matematiksel notasyon aşağıda gösterilmektedir (Hackman, 2008: 43).

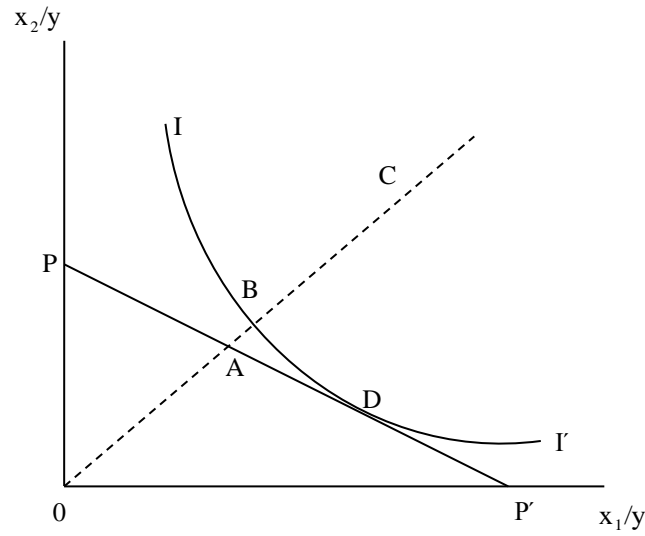
$$(x, y) \in T \Rightarrow \lambda(x, y) = (\lambda x, \lambda y) \in T \quad \forall \lambda \in \mathbb{R}^+ \quad (1.11)$$

Bir teknolojide çıktı düzeylerinin girdi düzeylerindeki oransal artış miktarından farklı bir oranda değişmesi durumundaysa ÖGDG (variable returns to scale-VRS) durumu söz konusudur (Aktaş, 2001:165).

### 1.4.1. Girdiye Yönelik Etkinlik Ölçümü

Farrell (1957), çalışmasında etkinlik ölçümünü iki girdi ve tek çıktıdan oluşan bir üretim faaliyeti için ÖGSG varsayımı altında girdileri azaltmaya yönelik olarak gerçekleştirmiştir. Bu nedenle Farrell etkinlik ölçümü girdiye yönelik (input orientated) etkinlik ölçümü olarak bilinmektedir (Coelli, 1996: 3).

**Şekil 1: Girdi Yönlü Teknik ve Tahsis Etkinliği**



**Kaynak:** Yavuz, 2003: 33

Şekil 1'e göre, üretim sınırı aynı zamanda eş ürün eğrisi olan (II') eğrisi ile gösterilmektedir. Üretim sınırı üzerinde yer alan B ve D noktalarında üretim yapan karar birimleri teknik (%100) etkin olarak kabul edilir ve etkinlik skoru olarak 1' değerini alırlar. C noktasında üretim yaptığı varsayılan bir karar biriminin girdiye yönelik teknik etkinliği (TE), Eşitlik (1.7) ile gösterilen fiili çıktı miktarının teknik olarak etkin (standart) girdi miktarına oranlanmasıyla hesaplanır. Buna göre;  $TE_C = OB/OC$  şeklinde hesaplanır. 0 ile 1 arasında değişen teknik etkinlik skoru ilgili karar biriminin orijinden radyal uzaklığını ifade etmektedir. |BC| uzaklığı ise bu karar biriminin teknik etkinsizlik düzeyini göstermekte ve (1-TE skoru) şeklinde hesaplanmaktadır.

Şekil 1'deki PP'doğrusu faktör fiyatları ile belirlenmiş eş maliyet doğrusunu ya da maliyet minimizasyonu düzlemini göstermek üzere C noktasındaki karar biriminin fiyat

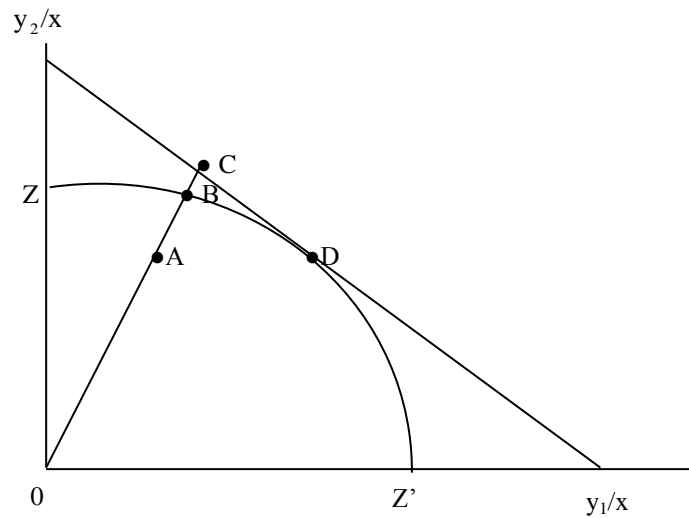
etkinliği,  $FE_C = OA/OB$  şeklinde hesaplanır. Fiyat ya da tahsis etkinliği ilgili karar biriminin maliyet minimizasyonu düzleminde radyal uzaklığını ifade etmektedir. Toplam etkinlik, teknik etkinlik ile fiyat etkinliğini bir arada gerektirdiğinden bu durum D noktasında gerçekteşmektedir. C noktası için toplam etkinliğin ölçüsü aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\text{Toplam etkinlik} = \text{Teknik Etkinlik} * \text{Fiyat Etkinliği} = \frac{OB}{OC} * \frac{OA}{OB} = \frac{OA}{OC}$$

#### 1.4.2. Çıktıya Yönelik Etkinlik Ölçümü

Girdiye yönelik etkinlik ölçümleri, çıktı miktarlarının verili (sabit) olduğu durumda girdi miktarlarında yapılabilecek eş zamanlı azaltma miktarlarını gösterirken çıktıya yönelik etkinlik ölçümleri girdi miktarlarının verili olduğu durumlarda çıktı miktarlarının eş zamanlı olarak hangi oranda artırılabilceğini göstermektedir (Charnes ve diğerleri, 1994: 34).

**Şekil 2: Çıktı Yönlü Teknik ve Tahsis Etkinliği**



**Kaynak:** Coelli, 1996: 7

Şekil 2'deki A noktasında bulunan bir karar biriminin etkinlik skorları aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\text{Teknik etkinlik} = \frac{OA}{OB}$$

$$\text{Tahsis etkinliği} = \frac{OB}{OC}$$

$$\text{Toplam etkinlik} = \frac{OA}{OB} * \frac{OB}{OC} = \frac{OA}{OC}$$

|AB| uzaklığı, A noktası için teknik etkinsizliğin değeri olup girdi miktarları sabitken çıktı miktarının hangi oranda artırılabilceğini ifade eder.

### 1.4.3. Etkinlik Ölçüm Yöntemleri

Literatürde yer alan etkinlik ölçüm yöntemleri temel olarak oran analizi, parametrik yöntemler ve parametrik olmayan yöntemler şeklinde üç gruba ayrılmaktadır.

#### 1.4.3.1. Oran (Rasyo) Analizi

Etkinlik ölçümü literatüründe oldukça yaygın bir uygulama türü olan oran analizlerinde çoğunlukla finansal oranlar kullanılmaktadır. Oran analizlerinin çok tercih edilmesinin temel nedeni tek bir girdi ve tek bir çıktı değişkeni kullanıldığından basit hesaplama ve yorumlama avantajına sahip olmasıdır. Ancak gerçek hayatta karar birimleri genelde birden çok girdi-çıkıtı faktörü kullandığından tüm girdi ve çıktıların ortak bir birime dönüştürülemediği durumlarda söz konusu rasyolar etkinlik ölçümünde yetersiz kalmaktadır (Cingi ve Tarım, 2000: 11). Bunun yanında herhangi bir rasyo bir karar birimini etkin gösterirken başka bir rasyo etkinsiz gösterebilmektedir.

Oran analizlerinin bahsedilen sakıncaları nedeniyle günümüzde etkinlik ölçümünde geçerli olan yaklaşım üretim sınırına dayalı olan yöntemlerin kullanılmasıdır. Üretim fonksiyonu sınır kabul edilerek yapılan etkinlik ölçümlerinde kullanılan yöntemler parametrik ve parametrik olmayan teknikler olarak ikiye ayrılmaktadır. Bu yöntemleri de kendi içinde deterministik ve stokastik olarak ikiye ayırmak mümkündür. Tablo 1’de bu teknikler sınıflandırılmaktadır (Yavuz, 2003: 39).

**Tablo 1: Sınır Üretim Fonksiyonu Yaklaşımına Dayanan Ölçüm Teknikleri**

	Deterministik	Stokastik
Parametrik (Ekonometrik)	• Cobb-Douglas Türü Üretim Fonksiyonu	• Stokastik Üretim Sınırı • Malmquist TFV Endeksi (Uzaklık fonksiyonlarının stokastik olarak belirlenmesi durumunda)
Parametrik Olmayan (Doğrusal Programlama)	• Veri Zarflama Analizi • Malmquist TFV Endeksi	

**Kaynak:** Yavuz, 2003: 39

#### 1.4.3.2. Parametrik Yöntemler

Mühendislik ve ekonometrik çalışmalarda sıkça kullanılan ve parametrik ya da ekonometrik yöntem olarak bilinen ilk yaklaşımda üretim fonksiyonu teorik olarak üretilmekte ve daha sonra fonksiyonun parametreleri tahmin edilmektedir. Parametrik fonksiyonların en çok bilineni Cobb-Douglas üretim fonksiyonudur. Aslında bir üretim fonksiyonu, bütün gözlemlerin tahmin edilen teorik sınırların içinde yer alması gerektiği kısıtına sahip olan bir regresyon modelidir (Greene, 2008: 92). Bu modellerde regresyon doğrusu üzerinde bulunan birimler etkin olarak, regresyon doğrusunun üzerinde bulunmayan birimler ise etkinsiz kabul edilmektedir (Özden, 2008: 168). Oran analizine göre birçok üstünlüğü bulunmasına rağmen parametrik yöntemler aşağıda belirtilen dezavantajlara sahiptir (Ganley ve Cubbin, 1992: 151).

- Parametrik tekniklerde girdi ve çıktılar arasında önceden fonksiyonel bir form oluşturularak üretim sınırı teorik olarak belirlenmektedir. Bu formun sabit niteliği karar birimlerine farklı teknolojiler belirleme imkânı bırakmamaktadır.
- Çoklu regresyon analizlerinde bağımlı değişken olarak tek bir çıktının tanımlanması gerekmektedir. Bu nedenle uygulamada birden fazla sayıda çıktının tek bir çıktı faktörüne indirgenme zorunluluğu bulunmaktadır.
- Regresyon doğrusunun ortalama değerlerle tahmin edilmesi bazen etkin sınır üzerinde bulunmayan karar birimlerinin bile etkin çıkmasına neden olmaktadır.

### **1.4.3.3. Parametrik Olmayan Yöntemler**

Parametrik olmayan (non-parametrik) yaklaşım olarak bilinen ikinci yaklaşımda ise üretim fonksiyonu gözlenen girdiler ve çıktılarından ampirik olarak en iyi uygulama (best-practise)'yı veren karar birimlerine göre oluşturulmaktadır (Tarım, 2001: 5). Diğer bir ifadeyle, bu tekniklerde parametrik tekniklerin aksine, analiz edilen değişkenlerin olasılık dağılımlarıyla ilgili bir herhangi bir varsayım yapılmamaktadır. Parametrik olmayan yöntemler genel olarak matematiksel programlamaya dayalı yöntemlerdir ve çok sayıda girdi ve çıktı içeren üretim ortamlarında etkinlik ölçümü için daha uygun yapıdadırlar (Yolalan, 1993: 5). Parametrik yöntemlere göre daha esnek olmalarına rağmen parametrik olmayan yöntemlerin de bazı dezavantajları bulunmaktadır. Veri hatalarına karşı oldukça duyarlı olmaları nedeniyle girdi ve çıktılarına ait verilerin diğer istatistikî yöntemlerde olduğu gibi çok hassas şekilde derlenmesi gerekmektedir. Ayrıca parametrik olmayan yöntemler rastsal hata terimi içermediklerinden dolayı ölçme, gürültü vb. nedenlerden kaynaklanan hataları dikkate almazlar (Dinçer, 2008: 828). Bu durum etkinlik sınırının yanlış belirlenmesine yol açabilir. Parametrik olmayan yöntemler arasında literatürde en sık kullanılan yöntem Veri Zarflama Analizi (VZA)'dır.

## **1.5. Veri Zarflama Analizi**

### **1.5.1. Genel Bilgiler**

Daha ileri düzeyde performans sağlamak ve rekabet gücünü artırmak amacıyla endüstrideki en iyi uygulamaları araştırmak ve yürütmek şeklinde tanımlanan (Camp, 1989: 4) kıyaslama (benchmarking) sayesinde karar birimleri iyileştirme yapılması gereken kritik süreçlerini belirleyebilmektedir. Hangi düzeyde iyileştirme yapılması gerektiği ise en iyi performans gösteren karar birimleri referans alınarak hesaplanmaktadır. Donthu ve diğerleri (2005: 1475)'ne göre kıyaslamanın üç temel adımı bulunmaktadır. Bu adımlar, en iyi performans gösteren karar biriminin tespiti, kıyaslamanın hedeflerinin belirlenmesi ve uygulama şeklindedir.

Literatürde kıyaslama amaçlı kullanılan yöntemlerden biri olan VZA, en iyi performans gösteren karar birimlerini belirlemenin yanında diğer karar birimlerinin

performanslarını artırmaları için referans hedefler ortaya koymaktadır (Wu, 2012: 322). VZA literatüründe  $m$  sayıda girdi ( $x_{ij}, i=1, \dots, m$ ) kullanarak  $s$  sayıda çıktı ( $y_{rj}, r=1, \dots, s$ ) üreten her bir organizasyonel birim, karar verme birimi (KVB) ( $KVB_j, j=1, \dots, n$ ) olarak adlandırılmaktadır (Zhu, 2008: 3). VZA, KVB'lerin etkinliğini ölçen doğrusal programlama tabanlı parametrik olmayan bir teknik olarak tanımlanmaktadır (Ramanathan, 2003: 25). VZA tekniği Charnes, Cooper ve Rhodes (CCR, 1978) tarafından çoklu girdi-çoklu çıktı üretim ortamında faaliyet gösteren KVB'lerin etkinliğini ölçmek amacıyla literatüre kazandırılmıştır. VZA'nın temel amacı bir karar biriminin çıktılarını üretirken mevcut kaynaklarını ne kadar etkin kullandığını ölçmektir (Charnes ve diğerleri, 1978: 430).

CCR tarafından okullar, hastaneler, mahkemeler gibi piyasa fiyatı olmayan çıktılar üreten kâr amaçlı olmayan kuruluşlar için geliştirilen VZA, günümüzde tüm organizasyonel birimlerin göreceli etkinliğinin ölçümünde kullanılmaktadır (Ray, 2004: 28). Emrouznejad ve diğerleri (2008) tarafından yapılan bibliyografi çalışmasına göre en fazla VZA uygulaması bankacılık, (Sherman ve Gold, 1985; Borger ve diğerleri, 1998; Holod ve diğerleri, 2011), eğitim (Charnes ve diğerleri, 1981; Kirjavainen ve Loikkanen, 1998; Abramo ve diğerleri, 2011) ve sağlık sektöründe (Banker ve diğerleri, 1986; Burgess ve Wilson, 1995; Wei ve diğerleri, 2011) gerçekleştirilmiştir. Bunların yanında borsada işlem gören şirketler (Alam ve Sickles, 1998), oteller (Qui ve Junhai, 2011), lojistik firmaları (Clarke ve Gourdin, 1991) havalimanları (Chiou ve Chen, 2008), lokantalar (Reynolds, 2004), telekomünikasyon sektörü (Shin ve Sohn, 2004), tarım sektörü (Sueyoshi, 1999), perakende firmaları (Athanasopoulos, 2003), limanlar (Odeck ve Brathen, 2012), spor kulüpleri (Manuel ve Lucia Isabel, 2004), silahlı kuvvetler (Shinn, 2004), tesis yeri seçimi problemi (Klimberg ve Ratick, 2008) gibi daha birçok farklı alan ve endüstride etkinlik ölçümü amacıyla VZA uygulamaları yapılmıştır.

TFV yaklaşımını esas alan CCR modelinde, doğrusal programlama kullanılarak karar birimlerinin girdi ve çıktı değişkenlerine ağırlıklar atanmakta ve en iyi uygulamaya sahip gözlemlerden oluşan bir üretim sınırı belirlenmektedir. Belirlenen üretim sınırı üzerinde yer alan karar birimleri teknik etkin, sınır üzerinde yer almayan karar birimleri ise teknik etkinsiz olarak değerlendirilmektedir (Yavuz, 2003: 40).



### 1.5.2. VZA Modelleri

CCR tarafından ortaya konulduğundan bu yana birçok VZA modeli geliştirilmiştir. VZA modelleri literatürde çeşitli şekilde sınıflandırılmakla beraber en genel şekilde radyal VZA modelleri ve radyal olmayan (non-radial) VZA modelleri olarak iki gruba ayrılmaktadır. VZA'nın temeli Farrell (1957) tarafından tanımlanan radyal uzaklık fonksiyonuna dayanmaktadır. Radyal etkinlik ölçümünde bir KVB'nin tüm girdileri veya tüm çıktıları eşanlı olarak belirli bir düzeyde optimize edilmektedir. Ancak bu modellerde aylak değişkenler etkinlik skorlarının hesaplanmasında dikkate alınmamaktadır (Fried ve diğerleri, 2008: 260). Radyal VZA modelleri CCR modelleri ve Banker ve diğerleri (Banker, Charnes ve Cooper, 1984) tarafından geliştirilen BCC modelleri olarak iki kategoriye ayrılmaktadır (Cooper ve diğerleri, 2000: 89).

Radyal olmayan VZA modellerinde girdi ve çıktıların radyal özellikleri dikkate alınmadan aylak değişkenler doğrudan optimize edilmektedir (Cooper ve diğerleri, 2000: 89). Literatürde en çok bilinen radyal olmayan VZA modelleri Charnes ve diğerleri (1985) tarafından geliştirilen *Toplamsal model (Additive model)*, *Aylak Tabanlı Ölçüm (Slack-Based Measure-SBM) modeli* (Tone, 2001) ve *Russell Ölçüm (Russell Measure) modeli* (Pastor ve diğerleri, 1999)'dir. Başka birçok versiyonu da geliştirilen radyal olmayan VZA modelleri literatürde aylak tabanlı modeller olarak adlandırılmaktadır. VZA modelleri zarflama yüzeyine, etkinlik türüne ve yönelime (girdi ya da çıktı) bağlı olarak da sınıflandırılmaktadır (Paradi, 2004: 721). Bu modellerin yanında spesifik uygulamalar için geliştirilmiş modeller de bulunmaktadır. VZA'nın zarflama modelleri de radyal VZA modelleri olarak değerlendirilmektedir. Çalışmanın kapsamı bakımından burada sadece radyal VZA modelleri hakkında bilgi verilecektir.

#### 1.5.2.1. CCR Modeli

Radyal VZA modelleri yukarıda da belirtildiği üzere CCR ve BCC modelleri şeklinde iki gruba ayrılmaktadır. Bu modeller kendi aralarında da girdiye yönelik model ve çıktıya yönelik model ile primal (çarpan) model ve dual (zarflama) model şeklinde ikili gruplara ayrılmaktadır.

### 1.5.2.1.1. Girdiye Yönelik CCR Modeli

Girdiye yönelik VZA modelleri çıktıların düzeyi değiştirilmeden etkin üretim sınırına ulaşabilmek için girdilerin ne kadar azaltılması gerektiğini ölçen modellerdir. Farrell (1957) tarafından geliştirilen üretim sınırına dayalı etkinlik ölçümünün matematiksel formülasyonu 20 yıl sonra Charnes ve diğerleri (1978) tarafından ortaya konulmuştur. Bu modelde öncelikle, her bir KVB için uygun ağırlıklar yoluyla girdi ve çıktılar doğrusal olarak toplanarak tek bir sanal (virtual) girdi faktörüne ve tek bir sanal çıktı faktörüne indirgenmektedir. Daha sonra bu sanal girdi ve çıktılar kullanılarak değerlendirilen KVB'nin etkinliği TFV yaklaşımıyla ölçülmektedir. Bu çalışmada anlatılan VZA modellerinde etkinliği ölçülen karar birimi için  $KVB_k$  ifadesi kullanılacaktır. Karar birimi  $k, j=1,2,\dots,n$  kümesinin bir elemanıdır.

$KVB_k$ 'nin kullandığı girdiler  $x_{ik}$  ( $i=1,\dots,m$ ) ile ürettiği çıktılar  $y_{rk}$  ( $r=1,\dots,s$ ) ile ifade edilecektir. Ayrıca girdi faktörlerine verilen ağırlıklar  $v_{ik}$  ( $i=1,\dots,m$ ) ile çıktı faktörlerine verilen ağırlıklar  $u_{rk}$  ( $r=1,\dots,s$ ) ile gösterildiğinde  $KVB_k$ 'nin etkinlik skoru aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır (Ramanathan, 2003: 39).

$$\text{Etkinlik} = \text{Sanal Çıktı/Sanal Girdi} = \frac{\sum_{r=1}^s u_{rk} Y_{rk}}{\sum_{i=1}^m v_{ik} X_{ik}} \quad (1.12)$$

Bu aşamada en önemli konu faktör ağırlıklarının hesaplanması problemidir. Girdi ve çıktılara atanan ağırlıklar esnek olmalı ve her bir KVB'nin performansını doğru biçimde yansıtmalıdır. CCR, matematiksel programlama yardımıyla her bir karar biriminin etkinlik skorunu maksimize edecek şekilde optimal ağırlık setini hesaplayan bir kesirli programlama modeli önermiştir. Bu modelde  $KVB_k$ 'nin ağırlık seti kullanılarak hesaplanan diğer karar birimlerinin etkinlik skorlarının 0 ile 1 arasında değer almalarını sağlayacak bir kısıt yer almaktadır. Bu kısıt sayesinde  $KVB_k$ 'nin etkinlik skorunun sınırsız çıkması engellenmektedir. CCR modeli doğrusal programlama tabanlı olduğundan değişkenlerin negatif olamayacağı kısıtı modelin doğal kısıtıdır. Literatürde kesirli programlama modeli olarak bilinen CCR-VZA modeli girdi yönelimli olarak aşağıda gösterilmektedir (Soteriou ve Stavrinides, 1997: 781).

*Kesirli Programlama Modeli (Girdiye Yönelik)*

$$\begin{aligned}
 E_k &= \max \frac{\sum_{r=1}^s u_r Y_{rk}}{\sum_{i=1}^m v_i X_{ik}} \\
 0 &\leq \frac{\sum_{r=1}^s u_r Y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_i X_{ij}} \leq 1 \quad j = 1, \dots, n \\
 v_{ik}, u_{rk} &\geq \varepsilon \quad i = 1, \dots, m; r = 1, \dots, s
 \end{aligned} \tag{1.13}$$

Yukarıdaki formülasyonda  $E_k$ ,  $KVB_k$ 'nin etkinlik skorunu göstermektedir. Formüldeki  $\varepsilon$  notasyonu ise arşimedgil olmayan büyüklük olarak adlandırılmakta ve sıfırdan büyük (genelde  $10^{-5}$  veya  $10^{-6}$ ) pozitif bir reel sayıyı ifade etmektedir.

Kesirli programa modelinde  $u^*$  ve  $v^*$  optimal ağırlık setini göstermek üzere, her  $\alpha > 0$  için tüm  $(\alpha u^*, \alpha v^*)$  değerleri amaç fonksiyonunu maksimize etmektedir. Charnes ve Cooper (1962) tarafından geliştirilen ve literatürde Charnes-Cooper dönüşümü olarak bilinen, amaç fonksiyonunun paydasını "1" değerine eşitleyen  $\left( \sum_{i=1}^m v_i X_{ik} = 1 \right)$  işlemiyle kesirli programlama modeli Simplex türü algoritmalarla çözülebilen denk bir doğrusal programlama modeline dönüştürülmektedir. Bu sayede sonsuz elemanlı çözüm kümesi yerine  $(\mu, v)$  değişkenleriyle ifade edilen optimal çözüm seti elde edilmektedir. Ayrıca kesirli modelde bulunmayan doğrusallık ve konvekslik özellikleri sağlanmaktadır (Cooper ve diğerleri, 2011: 8). Girdiye yönelik olarak ÖGSG varsayımı altında kurulan primal CCR modeli aşağıda gösterilmektedir (Charnes ve diğerleri, 1994: 37). Model (1.14)  $n$  adet KVB'den oluşan bir örneklem kümesinde her bir karar biriminin kendi parametreleriyle yeniden çözülmelidir. Başka bir ifadeyle,  $n$  adet VZA modeli oluşturulmalıdır. Primal CCR modeli literatürde *Çarpan Modeli (Multiplier Model)* olarak da adlandırılmaktadır.

CCR Modeli (Girdiye Yönelik)

$$\begin{aligned}
 E_k &= \max \sum_{r=1}^s \mu_k Y_{rk} \\
 \sum_{i=1}^m v_i X_{ik} &= 1 \\
 \sum_{r=1}^s \mu_r Y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i X_{ij} &\leq 0 \quad j = 1, \dots, n \\
 v_i, \mu_r &\geq \varepsilon \quad i = 1, \dots, m; r = 1, \dots, s
 \end{aligned} \tag{1.14}$$

Modelin çözümü sonucunda  $KVB_k$ 'nin CCR-etkin olarak değerlendirilmesi için aşağıdaki iki koşulun karşılanması gerekmektedir (Cooper ve diğerleri, 2000: 24).

- (i)  $E_k=1$
- (ii) En az bir optimal ağırlık seti  $(\mu^*, v^*)$  için  $\mu_k^* > 0$  ve  $v_k^* > 0$  olmalıdır.

Diğer durumlarda  $KVB_k$  için CCR-etkinsizlik durumu söz konusudur.

### 1.5.2.1.2. Girdiye Yönelik Dual CCR Modeli

Her DP modelinin olduğu gibi CCR modelinin de dual modeli bulunmaktadır. Etkinlik ölçümüne esas olan parçalı-doğrusal üretim sınırını belirlediği için literatürde *zarflama modeli (envelopment model)* olarak da adlandırılan dual model sayesinde radyal olarak ölçülemeyen ancak azaltılması mümkün olan girdi miktarları veya artırılması mümkün olan çıktı miktarları hesaplanabilmektedir (Yolalan, 1993: 32). Ayrıca modelde yer alan dual değişkenler sayesinde etkinsiz  $KVB$ 'lerin etkin olabilmeleri için referans alması gereken  $KVB$ 'ler belirlenmektedir. Söz konusu dual CCR modeli aşağıda gösterilmektedir.

$$\begin{aligned}
 E_k &= \min \theta_k \\
 \theta X_{ik} - \sum_{j=1}^n X_{ij} \lambda_j &\geq 0 \quad i = 1, \dots, m \\
 \sum_{j=1}^n Y_{rj} \lambda_j &\geq Y_{rk} \quad r = 1, \dots, s \\
 \lambda_j &\geq 0 \quad \forall i, j, r
 \end{aligned} \tag{1.15}$$

Model (1.15) sıfırdan farklı aylak değişkenleri dikkate almadığı için literatürde *zayıf etkinlik modeli* (*weak efficiency model*) olarak adlandırılmaktadır. Zayıf etkinlik modeline aylak değişkenlerin katılmasıyla elde edilen girdiye yönelik dual CCR modeli aşağıda gösterildiği gibidir (Ray, 2004: 36).

*Dual CCR Modeli (Girdiye Yönelik)*

$$\begin{aligned}
 E_k &= \min \theta_k - \varepsilon \left( \sum_{i=1}^m s_i^- + \sum_{r=1}^s s_r^+ \right) \\
 \sum_{j=1}^n X_{ij} \lambda_j + s_i^- &= \theta X_{ik} \quad i = 1, \dots, m \\
 \sum_{j=1}^n Y_{rj} \lambda_j - s_r^+ &= Y_{rk} \quad r = 1, \dots, s \\
 \lambda_j, s_r^+, s_i^- &\geq 0 \quad \forall i, j, r \\
 \theta_k &\quad \text{sınırsız}
 \end{aligned} \tag{1.16}$$

Modeldeki;

$\theta_k$ : KVB<sub>k</sub>'nın girdilerinin radyal olarak ne kadar azaltılabileceğini gösteren daralma katsayısını

$s_i^-$ : KVB<sub>k</sub>'nın *i*. girdisine ait radyal olarak ölçülemeyen ancak azaltılması mümkün aylak değişkeni

$s_r^+$ : KVB<sub>k</sub>'nın *r*. çıktısına ait radyal olarak ölçülemeyen ancak artırılması mümkün aylak değişkeni

$\lambda_j$ : Gözlem kümesinde yer alan KVB'lerin aldığı yoğunluk değerini ifade etmektedir.

KVB<sub>k</sub>'nın tam etkin (fully efficient) olarak değerlendirilmesi için aşağıdaki iki koşulun birlikte karşılanması gerekmektedir. Aksi durumda KVB<sub>k</sub>, CCR-etkinsiz olarak değerlendirilir (Charnes ve diğerleri, 1994: 32).

(i)  $E_k = 1$ ;  $\theta_k^* = 1$ ;  $\lambda_k^* = 1$  ve  $\lambda_j^* \neq 0$  için ( $j \neq k$ ) olmalıdır

(ii) Tüm aylak değişkenlerin değeri sıfırdır.

$KVB_k$  yukarıdaki koşullardan sadece ilkinin sağlanması durumunda teknik etkin olarak değerlendirilir.  $\theta_k^* \neq 1$  durumunda  $KVB_k$  etkinsiz olmakta ve bazı  $\lambda_j^*$ 'ler sıfırdan farklı değer almaktadır. Sıfırdan farklı  $\lambda_j^*$  değerleri etkinsiz karar birimlerinin referans kümesini belirlemede kullanılmaktadır. Sıfırdan farklı aylak değişken değerlerine bağlı etkinsizlikler, *karışım etkinsizliği (mix inefficiency)* olarak adlandırılır. Her iki koşulun birlikte sağlandığı tam etkinlik durumu literatürde *Pareto-Koopmans Etkinliği* olarak da adlandırılmaktadır (Cooper ve diğerleri, 2000: 45).

Girdi ve çıktılara ait aylak değişkenlerin hesaplanabilmesi için CCR modeli iki aşamada çözümlenmektedir. İlk aşamada aylak değişkenler dikkate alınmadan etkinlik skoru hesaplanmaktadır. İkinci aşamada ise ilk aşamada elde edilen etkinlik skoru değişmeyecek şekilde aylak değişkenler optimize edilmektedir. CCR modelinin primal ve dual modellerinin her ikisi de aynı optimal sonucu vermektedir. Ancak dual model daha kolay hesaplanması ve gölge fiyatlar gibi yönetsel açıdan son derece önemli bilgileri hesaplayabilmesi nedeniyle uygulamada primal modelden daha çok tercih edilmektedir.

### 1.5.2.1.3. Çıktıya Yönelik CCR Modeli

Etkinliğin tanımından da anlaşılacağı üzere CCR modeli alternatif olarak çıktı yönelimli de oluşturulmaktadır. Çıktıya yönelik VZA modelleri girdilerin düzeyi değiştirilmeden etkin üretim sınırına ulaşabilmek için çıktıların ne kadar artırılması gerektiğini ölçen modellerdir. ÖGSG varsayımı altında kurulan çıktı yönlü modelde ağırlıklandırılmış girdilerin ağırlıklandırılmış çıktılara oranından meydana gelen amaç fonksiyonu minimize edilmektedir. Çıktı yönlü kesirli programlama modeline ait notasyon aşağıda gösterilmektedir.

$$\begin{aligned}
 E_k &= \min \frac{\sum_{i=1}^m v_i X_{ik}}{\sum_{r=1}^s u_r Y_{rk}} \\
 0 &\leq \frac{\sum_{i=1}^m v_i X_{ij}}{\sum_{r=1}^s u_r Y_{rj}} \geq 1 \quad j = 1, \dots, n \\
 v_i, u_r &\geq \varepsilon \quad i = 1, \dots, m; r = 1, \dots, s
 \end{aligned} \tag{1.17}$$

Kesirli modeli doğrusal programlama modeline dönüştürmek için  $\left( \sum_{r=1}^s u_r Y_{rk} = 1 \right)$  şeklindeki Charnes-Cooper dönüşümü uygulanır. Dönüşüm sonucu elde edilen çarpan modeli aşağıda gösterilmektedir (Charnes ve Cooper, 1985: 66).

*CCR Modeli (Çıktıya Yönelik)*

$$\begin{aligned}
 E_k &= \min \sum_{i=1}^m v_{ik} X_{ik} \\
 \sum_{r=1}^s \mu_r Y_{rj} &= 1 \\
 \sum_{i=1}^m v_i X_{ij} - \sum_{r=1}^s \mu_r Y_{rj} &\geq 0 \quad j = 1, \dots, n \\
 v_i, \mu_r &\geq \varepsilon \quad i = 1, \dots, m; r = 1, \dots, s
 \end{aligned} \tag{1.18}$$

Çıktıya yönelik CCR çarpan modelinde  $KVB_k$ 'nin CCR-etkin olması için aşağıdaki koşulları sağlaması gerekmektedir.

- (i)  $E_k = 1$
  - (ii) En az bir optimal ağırlık seti  $(\mu^*, v^*)$  için  $\mu_k^* > 0$  ve  $v_k^* > 0$  olmalıdır.
- Diğer durumlarda  $KVB_k$  CCR-etkinsiz olarak değerlendirilir.

#### 1.5.2.1.4. Çıktıya Yönelik Dual CCR Modeli

Girdi yönlü CCR modelindeki gibi dualite teorisinden yararlanarak elde edilen çıktı yönlü dual CCR modeli aşağıda gösterilmektedir (Charnes ve Cooper, 1985: 66).

*Dual CCR Modeli*

$$\begin{aligned}
 E_k &= \max \phi_k + \varepsilon \left( \sum_{i=1}^m s_i^- + \sum_{r=1}^s s_r^+ \right) \\
 \sum_{j=1}^n X_{ij} \lambda_j + s_i^- &= X_{ik} \quad i = 1, \dots, m \\
 \sum_{j=1}^n Y_{rj} \lambda_j - s_r^+ &= \phi Y_{rk} \quad r = 1, \dots, s \\
 \lambda_j, s_r^+, s_i^- &\geq 0 \quad \forall i, j, r \\
 \phi_k &\text{ sınırsız}
 \end{aligned} \tag{1.19}$$

Modelde yer alan  $\phi_k$  genişleme katsayısı olup,  $KVB_k$ 'nin çıktılarının radyal olarak ne kadar artırılabilirliğini göstermektedir. Modeldeki diğer semboller girdi yönlü modelle aynıdır. Modelin çözümü sonucunda  $\phi_k$  "1" ve daha büyük değerler almaktadır.  $KVB_k$ 'nin etkin olarak kabul edilmesi için aşağıdaki koşulları sağlaması gerekmektedir.

- (i)  $E_k = 1$ ;  $\phi_k^* = 1$ ;  $\lambda_k^* = 1$  ve  $\lambda_j^* \neq 0$  için ( $j \neq k$ )
- (ii) Tüm aylak değişkenlerin değeri sıfırdır.

Dualite teorisinden yararlanarak girdiye yönelik CCR modelinin optimal çözümünden çıktıya yönelik modelin optimal çözümüne ulaşılmaktadır. Buna göre  $KVB_k$ 'nin daralma katsayısı ile genişleme katsayısı arasında aşağıda gösterilen matematiksel ilişki bulunmaktadır (Cooper ve diğerleri; 2000: 58)

$$\phi_k = 1/\theta_k \quad (1.20)$$

Yukarıda anlatılan CCR modellerine ait notasyon Tablo 2'de bir arada gösterilmektedir.

CCR modelleri ÖGSG varsayımına sahip olduğundan değerlendirilen bir karar birimi girdi ve çıktı yöneliminden bağımsız olarak aynı etkinlik skoruna sahip olmaktadır.

#### 1.5.2.1.5. Referans Kümesi

Referans kümesi etkinsiz KVB'lerin etkin duruma gelebilmeleri için örnek alması gereken KVB'lerin oluşturduğu kümedir. Dual modellerin çözümü sonucunda  $\lambda$  değeri pozitif çıkan etkin karar birimleri değerlendirilen KVB'nin referans kümesini meydana getirmektedir.  $KVB_k$ 'nin referans kümesi  $R_k$ , matematiksel olarak aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$R_k = \{j \mid \lambda_j > 0; j = 1, \dots, n\} \quad (1.21)$$



**Tablo 2: CCR-VZA Modelleri**

<i>Girdiye Yönelik Model</i>	
<i>Zarflama Modeli</i>	<i>Çarpan Modeli</i>
$E_k = \min \theta_k - \varepsilon \left( \sum_{i=1}^m s_i^- + \sum_{r=1}^s s_r^+ \right)$	$E_k = \max \sum_{r=1}^s \mu_r Y_{rk}$
$\sum_{j=1}^n X_{ij} \lambda_j + s_i^- = \theta X_{ik} \quad i = 1, \dots, m$	$\sum_{i=1}^m v_i X_{ik} = 1$
$\sum_{j=1}^n Y_{rj} \lambda_j - s_r^+ = Y_{rk} \quad r = 1, \dots, s$	$\sum_{r=1}^s \mu_r Y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i X_{ij} \leq 0 \quad j = 1, \dots, n$
$\lambda_j, s_r^+, s_i^- \geq 0 \quad \forall i, j, r$	$v_i, \mu_r \geq \varepsilon \quad i = 1, \dots, m; r = 1, \dots, s$
$\theta_k \quad \text{sınırsız}$	
<i>Çıktıya Yönelik Model</i>	
<i>Zarflama Modeli</i>	<i>Çarpan Modeli</i>
$E_k = \max \phi_k + \varepsilon \left( \sum_{i=1}^m s_i^- + \sum_{r=1}^s s_r^+ \right)$	$E_k = \min \sum_{i=1}^m v_i X_{ik}$
$\sum_{j=1}^n X_{ij} \lambda_j + s_i^- = X_{ik} \quad i = 1, \dots, m$	$\sum_{i=1}^m v_i X_{ij} - \sum_{r=1}^s \mu_r Y_{rj} \geq 0 \quad j = 1, \dots, n$
$\sum_{j=1}^n Y_{rj} \lambda_j - s_r^+ = \phi Y_{rk} \quad r = 1, \dots, s$	$\sum_{r=1}^s \mu_r Y_{rj} = 1$
$\lambda_j, s_r^+, s_i^- \geq 0 \quad \forall i, j, r$	$v_i, \mu_r \geq \varepsilon \quad i = 1, \dots, m; r = 1, \dots, s$

Etkinsiz bir karar biriminin etkin olmasını sağlayacak girdi ve çıktı miktarları üretim sınırı üzerinde yer alan etkin karar birimlerinin girdi ve çıktı değerlerinin doğrusal bileşimlerinden oluşan hipotetik bir KVB'ye göre belirlenmektedir. Bu hipotetik KVB'ye ait girdi ve çıktı değerleri aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır (Tarım, 2001: 67).

$$\text{Kuramsal Girdi} = \sum_{j=1}^n X_{ij} \lambda_j \quad (i = 1, \dots, m) \quad (1.22)$$

$$\text{Kuramsal Çıktı} = \sum_{j=1}^n Y_{rj} \lambda_j \quad (r = 1, \dots, s) \quad (1.23)$$

Hipotetik karar birimine ait kuramsal girdi ve çıktılar aylak değişkenler yardımıyla da aşağıdaki gibi hesaplanabilmektedir (Cooper ve diğerleri, 2000:47).

$$\text{Kuramsal Girdi} = \theta_k X_{ik} - s_i^- \quad (i = 1, \dots, m) \quad (1.24)$$

$$\text{Kuramsal Çıktı} = Y_{rk} + s_r^+ \quad (r = 1, \dots, s) \quad (1.25)$$

### 1.5.2.2. BCC Modeli

CCR modelinden sonra modelin birçok uzantısı geliştirilmiştir. Ancak bu genişletilmiş CCR modelleri arasında en fazla dikkat çeken model Banker ve diğerleri (1984) tarafından literatüre kazandırılan BCC modelidir. ÖGSG varsayımı altında kurulan CCR modelleri toplam etkinlik skorlarını hesaplamaktadır. Literatürdeki bazı çalışmalarda toplam etkinlik yerine teknik etkinlik kavramı kullanılmaktadır. Bu çalışmalarda teknik etkinliğe karşılık olarak da *saf teknik etkinlik (pure technical efficiency)* kavramı tercih edilmektedir. Toplam etkinlik, ölçek etkinlik (ÖE) ve saf teknik etkinlik (STE) bileşenlerini içermekte ancak bu bileşenlerin büyüklükleri hakkında bilgi vermemektedir (Tarım, 2001: 88). Banker ve diğerleri (1984), STE ve ÖE skorlarını birbirinden bağımsız olarak hesaplayabilmek amacıyla ÖGDG varsayımı altında BCC modelini geliştirmiştir. CCR modelinden elde edilen teknik etkinlik skoru ile BCC modelinden elde edilen STE skoru arasında farklılık bulunması durumunda bu farklılık ölçek etkinsizliğinden kaynaklanmaktadır. Bu ilişkinin matematiksel ifadesi aşağıdaki gibidir (Coelli ve diğerleri, 2005: 173).

$$TE_{CRS} = STE_{VRS} * \text{ÖE} \quad (1.26)$$

Buna göre CCR modelinden elde edilen teknik etkinlik skorunun BCC modelinden elde edilen STE skoruna oranlanması sonucu ölçek etkinlik skoru elde edilmektedir. Teknik etkinlik ve STE skorlarının birbirine eşit olması durumunda ÖE “1” değerini almaktadır. Bu durumda değerlendirilen karar birimi optimal ölçekte üretim yapmaktadır.

### 1.5.2.2.1. Girdiye Yönelik BCC Modeli

Girdi yönlü BCC modelinin primal formu aşağıdaki gibi kurulmaktadır (Andre ve diğerleri, 2010: 373).

*BCC Modeli (Girdiye Yönelik)*

$$\begin{aligned} E_k &= \max \sum_{r=1}^s \mu_k Y_{rk} - \mu_k \\ \sum_{i=1}^m v_i X_{ik} &= 1 \\ \sum_{r=1}^s \mu_r Y_{rj} - \mu_k - \sum_{i=1}^m v_i X_{ij} &\leq 0 \quad j = 1, \dots, n \\ v_i, \mu_r &\geq \varepsilon \quad i = 1, \dots, m; r = 1, \dots, s \\ \mu_k &\text{ sınırsız} \end{aligned} \tag{1.27}$$

BCC çarpan modeli CCR çarpan modeli ile karşılaştırıldığında aradaki farkın serbest değişken  $\mu_k$  olduğu görülmektedir. Dual modeldeki konvekslik kısıtıyla ilişkili olan  $\mu_k$  değişkeni sayesinde ölçeğe göre getiriler hesaplanmaktadır. Modelin çözümü sonucunda;

- (i) En az bir optimal çözüm için  $\mu_k = 0$  olduğunda ÖGSG,
- (ii) Tüm optimal çözümler için  $\mu_k > 0$  olduğunda ölçeğe göre azalan getiri,
- (iii) Tüm optimal çözümler için  $\mu_k < 0$  olduğunda ölçeğe göre artan getiri altında üretim yapıldığı şeklinde değerlendirme yapılmaktadır (Cooper ve diğerleri, 2011: 46).

BCC çarpan modelinde  $KVB_k$ 'nin BCC-etkin olarak değerlendirilmesi için aşağıdaki iki şartın sağlanması gerekmektedir.

- (i)  $E_k = 1$
- (ii) En az bir optimal ağırlık seti  $(\mu^*, v^*)$  için  $\mu_k^* > 0$  ve  $v_k^* > 0$  olmalıdır.

Diğer durumlarda  $KVB_k$  için BCC-etkinsiz yorumu yapılır.

### 1.5.2.2.2. Girdiye Yönelik Dual BCC Modeli

BCC zarflama modeli, CCR zarflama modeline konvekslik kısıtı olan  $\left( \sum_{j=1}^n \lambda_j = 1 \right)$

değişkeninin eklenmesiyle oluşturulmaktadır. Konvekslik kısıtı sayesinde parçalı-doğrusal bir üretim sınırı elde edilerek ÖGDG varsayımı altında etkinlik ölçümüne olanak sağlanmaktadır (Cooper ve diğerleri, 2000: 89). BCC modelinin duali olan girdiye yönelik BCC modeline ait notasyon eşitlik (1.28) ile gösterilmektedir.

*Dual BCC Modeli (Girdiye Yönelik)*

$$\begin{aligned}
 E_k &= \min \theta_k - \varepsilon \left( \sum_{i=1}^m s_i^- + \sum_{r=1}^s s_r^+ \right) \\
 \sum_{j=1}^n X_{ij} \lambda_j + s_i^- &= \theta X_{ik} \quad i = 1, \dots, m \\
 \sum_{j=1}^n Y_{rj} \lambda_j - s_r^+ &= Y_{rk} \quad r = 1, \dots, s \\
 \sum_{j=1}^n \lambda_j &= 1 \\
 \lambda_j, s_r^+, s_i^- &\geq 0 \quad \forall i, j, r \\
 \theta_k &\quad \text{sınırsız}
 \end{aligned} \tag{1.28}$$

VRS modeli CCR modeli gibi iki aşamada uygulanmaktadır. İlk aşamada girdiler radyal olarak minimize edilirken ikinci aşamada aylak değişkenler optimize edilerek etkin üretim sınırına ulaşılmaktadır (Zhu, 2008: 8).

BCC modelinde  $KVB_k$ 'nin etkin olarak değerlendirilmesi için CCR modelinde olduğu gibi aşağıdaki iki koşulun gerçekleşmesi gerek ve yeterlidir.

- (i)  $E_k = 1$ ;  $\theta_k^* = 1$ ;  $\lambda_k^* = 1$  ve  $\lambda_j^* = 0 (j \neq k)$
- (ii) Tüm aylak değişkenlerin değeri sıfırdır.

BCC modellerinde etkin olmayan karar birimlerinin etkin duruma gelebilmesi için yapılması gereken işlemler CCR modellerindeki gibi gerçekleştirilmektedir.

### 1.5.2.2.3. Çıktıya Yönelik BCC Modeli

Çıktıya yönelik primal BCC modeli çıktı yönlü CCR modeline dual modeldeki dış bükeylik kısıtı  $\left( \sum_{j=1}^n \lambda_j = 1 \right)$  ile ilişkili olan  $v_k$  değişkeninin eklenmesiyle aşağıdaki gibi oluşturulmaktadır (Gregoriou ve Zhu, 2005: 13).

*BCC Modeli (Çıktıya Yönelik)*

$$\begin{aligned} E_k &= \min \sum_{i=1}^m v_{ik} X_{ik} - v_k \\ \sum_{r=1}^s \mu_r Y_{rj} &= 1 \\ \sum_{i=1}^m v_i X_{ij} - v_k - \sum_{r=1}^s \mu_r Y_{rj} &\geq 0 \quad j = 1, \dots, n \\ v_i, \mu_r &\geq \varepsilon \quad i = 1, \dots, m; r = 1, \dots, s \\ v_k &\text{ sınırsız} \end{aligned} \tag{1.29}$$

Çıktıya yönelik BCC modeline göre  $KVB_k$ 'nin BCC-etkin olarak değerlendirilmesi için aşağıdaki iki koşulun gerçekleşmesi gerekmektedir.

- (i)  $E_k = 1$
- (ii) En az bir optimal ağırlık seti  $(\mu^*, v^*)$  için  $\mu_k^* > 0$  ve  $v_k^* > 0$  olmalıdır.

Diğer durumlarda  $KVB_k$  BCC-etkinsiz olarak değerlendirilir.

### 1.5.2.2.4. Çıktıya Yönelik Dual BCC Modeli

Çıktıya yönelik BCC zarflama modeline ait matematiksel notasyon aşağıda gösterilmektedir (Gregoriou ve Zhu, 2005: 13).

*Dual BCC Modeli (Çıktıya Yönelik)*

$$\begin{aligned}
 E_k &= \min \theta_k - \varepsilon \left( \sum_{i=1}^m s_i^- + \sum_{r=1}^s s_r^+ \right) \\
 \sum_{j=1}^n X_{ij} \lambda_j + s_i^- &= \theta X_{ik} \quad i = 1, \dots, m \\
 \sum_{j=1}^n Y_{rj} \lambda_j - s_r^+ &= Y_{rk} \quad r = 1, \dots, s \\
 \sum_{j=1}^n \lambda_j &= 1 \\
 \lambda_j, s_r^+, s_i^- &\geq 0 \quad \forall i, j, r \\
 \theta_k &\text{ Sınırsız}
 \end{aligned} \tag{1.30}$$

Bu modelde  $KVB_k$ 'nin etkin olabilmesi için aşağıdaki iki koşulun sağlanması gereklidir.

- (i)  $E_k = 1; \phi_k^* = 1; \lambda_k^* = 1$  ve  $\lambda_j^* = 0 (j \neq k)$
- (ii) Tüm aylak değişkenlerin değeri sıfırdır.

BCC modellerinde üretim sınırının parçalı-doğrusal olması nedeniyle uygulamada aynı karar birimi için girdi ve çıktı yönelimine göre farklı etkinlik skorlarına ve ölçөгe göre getirilere ulaşılabilmektedir. Yukarıda anlatılan BCC modellerine ait matematiksel notasyonlar Tablo 3'te sergilenmektedir.

**Tablo 3: BCC-VZA Modelleri**

<i>Girdiye Yönelik Model</i>	
<i>Zarflama Modeli</i>	<i>Çarpan Modeli</i>
$E_k = \min \theta_k - \varepsilon \left( \sum_{i=1}^m s_i^- + \sum_{r=1}^s s_r^+ \right)$	$E_k = \max \sum_{r=1}^s \mu_r Y_{rk} - \mu_k$
$\sum_{j=1}^n X_{ij} \lambda_j + s_i^- = \theta X_{ik} \quad i = 1, \dots, m$	$\sum_{i=1}^m v_i X_{ik} = 1$
$\sum_{j=1}^n Y_{rj} \lambda_j - s_r^+ = Y_{rk} \quad r = 1, \dots, s$	$\sum_{r=1}^s \mu_r Y_{rj} - \mu_k - \sum_{i=1}^m v_i X_{ij} \leq 0 \quad j = 1, \dots, n$
$\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$	$v_i, \mu_r \geq \varepsilon \quad i = 1, \dots, m; r = 1, \dots, s$
$\lambda_j, s_r^+, s_i^- \geq 0 \quad \forall i, j, r$	$v_i, \mu_r \geq \varepsilon \quad r = 1, \dots, s; i = 1, \dots, m$
$\theta_k \text{ sınırsız}$	$\mu_k \text{ sınırsız}$
<i>Çıktıya Yönelik Model</i>	
<i>Zarflama Modeli</i>	<i>Çarpan Modeli</i>
$E_k = \max \phi_k + \varepsilon \left( \sum_{i=1}^m s_i^- + \sum_{r=1}^s s_r^+ \right)$	$E_k = \min \sum_{i=1}^m v_i X_{ik} - v_k$
$\sum_{j=1}^n X_{ij} \lambda_j + s_i^- = X_{ik} \quad i = 1, \dots, m$	$\sum_{i=1}^m v_i X_{ij} - v_k - \sum_{r=1}^s \mu_{rk} Y_{rj} \geq 0 \quad j = 1, \dots, n$
$\sum_{j=1}^n Y_{rj} \lambda_j - s_r^+ = \phi Y_{rk} \quad r = 1, \dots, s$	$\sum_{r=1}^s \mu_{rk} Y_{rj} = 1$
$\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$	$v_i, \mu_r \geq \varepsilon \quad r = 1, \dots, s; i = 1, \dots, m$
$\lambda_j, s_r^+, s_i^- \geq 0 \quad \forall i, j, r$	$v_k \text{ sınırsız}$

### 1.5.3. VZA Uygulama Aşamaları

Bir VZA uygulamasında genellikle aşağıdaki aşamalar izlenmektedir (Ramanathan, 2003: 173-176).

### 1.5.3.1. Değerlendirilecek KVB'lerin Belirlenmesi

VZA uygulamalarında gözlem kümesinde yer alacak KVB'lerin seçimini etkileyen iki temel faktör bulunmaktadır. Bunlar homojenlik (homogeneity) ve değerlendirilecek KVB sayısıdır. Homojenlik, gözlem kümesindeki karar birimlerinin özdeş girdi-çıkıtı karmasına sahip, benzer faaliyetleri gerçekleştiren ve benzer hedefleri olan karar birimleri olmasını gerektirmektedir. Değerlendirilecek KVB sayısı fazla olduğunda etkin üretim sınırını belirleyen KVB sayısının da yüksek olma olasılığı artacaktır. Başka bir deyişle, etkin çıkacak KVB sayısı da fazla olacaktır. Bununla birlikte, KVB sayısı arttıkça homojen olmayan birimlerin örnekleme dâhil edilme riski de artacaktır. Bu nedenle literatürde uygun KVB sayısı ile ilgili bazı öneriler sunulmuştur. Avkıran (2001: 68)'a göre sağlıklı bir analiz için  $m$  adet girdi ve  $s$  adet çıktıya sahip olan  $n$  sayıdaki karar birimi için gözlem kümesindeki KVB sayısı  $n \geq (m*s)$  olmalıdır. Boussofiâne ve diğerleri (1991: 15)'ne göre KVB sayısının  $n \geq (m+s+1)$  olması yeterlidir. Ramanathan (2003: 174)'a göre ise KVB sayısı girdi ve çıktı değişkeni sayısı toplamının en az iki veya üç katı olmalıdır.

### 1.5.3.2. Girdi-Çıkıtı Karmasının Belirlenmesi

VZA uygulamalarında girdi-çıkıtı değişkenlerinin seçimi uygulamanın başarısı için kritik önemdedir. Bu nedenle uygulayıcılar üretim teknolojisini en iyi şekilde yansıtabilecek girdi-çıkıtı karmasını seçmelidir (Yolalan, 1993: 67). Ayrıca seçilen girdi ve çıktı faktörlerinin *pozitiflik* ve *eş-uyumluluk (isotonicity)* özelliklerine sahip olması gerekmektedir. Pozitiflik özelliği, girdi ve çıktı değişkenlerinin pozitif değerler alması gerektiğidir. Charnes ve diğerleri (1985) tarafından önerilen eş-uyumluluk özelliğine göre modelde yer alan girdi faktörlerinin herhangi birinin miktarında meydana gelen bir artışçıktı miktarlarını artırırken, hiçbir çıktı değerinde azalma meydana getirmemelidir. Bu amaçla literatürde genelde korelasyon analizi yapılmakla beraber, kurulan modelde girdi ve çıktı değişkenleri arasında mantıksal olarak eş-uyumluluk özelliğinin bulunması yeterli kabul edilmektedir (Bowlin, 1998; 17).



### **1.5.3.3. VZA Modelinin Seçimi**

VZA uygulamalarında diğer kritik bir aşama ise uygun VZA modelinin belirlenmesidir. Kontrol edilemeyen girdi değişkenlerinin kullanıldığı çalışmalarda çıktıya yönelik modeller tercih edilmelidir. Diğer yanda, çıktılar karar birimlerinin performansının en iyi şekilde ortaya konulması amacıyla değil de yönetimin hedeflerine göre belirlenmişse girdiye yönelik modellerin tercih edilmesi daha uygun olmaktadır. Ölçeğe göre getiri seçimi uygulamanın özelliğine göre değişmektedir. Büyük tröstlerin kıyaslanması gibi KVB'lerin performansının ölçek ekonomisine bağlı olmadığı üretim ortamlarında ÖGSG varsayımı tercih edilmelidir. Diğer birçok durumda ÖGDG daha uygun bir varsayımdır.

### **1.5.3.4. VZA Modelinin Çözümü**

VZA uygulamalarında kullanılmak üzere özel VZA yazılım programları geliştirilmiştir. Diğer bir alternatif olarak doğrusal programlamayı çözebilen bilgisayar programları da kullanılmaktadır. VZA modelinin çözümü sonucunda yönetsel amaçlı kullanılacak aşağıdaki bilgiler elde edilmektedir (Ulucan, 2002:188).

- Etkin ve etkinsiz karar birimleri belirlenir.
- Etkinsiz karar birimlerinin referans kümesini oluşturan karar birimleri belirlenir.
- Etkinsiz karar birimlerinin girdi ve çıktılarına ilişkin aylak değişken değerleri hesaplanır.

### **1.5.3.5. Uygulama Sonuçlarının Değerlendirilmesi**

VZA modelinin çözümü sonucunda elde edilen bilgiler karar vericiler tarafından değerlendirilir. Etkinsiz karar birimlerinin etkin duruma gelebilmesi için alınması gereken önlemler araştırılır. Ayrıca analize konu endüstri dalının genel durumu hakkında çıkarımlar yapılabilir (Yolalan, 1993:66).

#### **1.5.4. VZA'nın Üstün ve Zayıf Yönleri**

VZA'nın etkinlik ölçümünde kullanılan diğer yöntemlere karşı bazı üstün ve zayıf yönleri bulunmaktadır.

##### **1.5.4.1. VZA'nın Üstün Yönleri**

VZA'nın üstün yönlerine ilişkin çalışmanın önceki bölümlerinde verilen bilgilere ek olarak aşağıdaki özellikleri verilebilir.

- VZA'nın esas gücü objektifliğinden kaynaklanmaktadır. VZA, karar vericilerin subjektif yargılarına değil sayısal verilere dayalıdır (Ramanathan, 2003:177).
- VZA'da etkinlik skorları, modelde yer alan girdi ve çıktıların ölçüm birimlerinden bağımsız olarak hesaplanmaktadır. Diğer bir ifadeyle, VZA'nın birim değişmezlik (units invariance) özelliğine göre ölçüm birimlerinin değişmesi durumunda KVB'lerin etkinlik skorları bundan etkilenmez (Coelli, 1996:9)
- VZA, regresyon analizi gibi yöntemlerde bulunmayan bir özellik olarak, uygulama sonucunda ortaya çıkan etkinsizliğin düzeyini ve nerelerden kaynaklandığını ortaya koymaktadır (Bowlin, 1998: 12).
- VZA uygulamasında her bir KVB için optimizasyon yapılmaktadır. Parametrelili yöntemlerde ise endüstrinin tümü dikkate alınarak ortalama değerlere göre etkinlik skorları hesaplanmaktadır (Yolalan, 1993:131).

##### **1.5.4.2. VZA'nın Zayıf Yönleri**

- VZA parametrik olmayan bir teknik olduğundan istatistiksel hipotez testlerine tabi tutulması çok zordur (Ramanathan, 2003: 178).
- VZA, regresyon analizindeki gibi istatistiksel hata terimi içermediğinden ölçüm hatası vb. tesadüfi hatalar VZA modelinde etkinsizlik olarak yer almaktadır (Bowlin, 1998: 13).
- Gerçek hayattaki bazı endüstrilerde üretim süreci dinamik bir özellik göstermekte ve girdilerin çıktılara dönüşmesi bir dönemden daha uzun sürmektedir. VZA bir

yatay kesit analizi olduğundan dinamik üretim süreçlerine sahip firmaların etkinlik ölçümünde zayıf kalmaktadır (Aydemir, 2002: 92).

- VZA modelinde yer alan girdi ve çıktıların ilgili endüstrideki üretim sürecini doğru yansıtması çok önemlidir. Kritik bir değişkenin model dışı bırakılması yöneticilerin yanlış değerlendirme yapmalarına neden olabilir (Aydemir, 2002: 92).
- VZA modelinin çözümü sonucu girdi ve çıktılara atanan ağırlıklar model tarafından esnek biçimde belirlenmektedir. Modeldeki önemli bir değişkenin ağırlığının bazı KVB'ler için çok düşük çıkması bu KVB'lerin etkisiz görünmesine, önemsiz bir değişkenin ağırlığının bazı KVB'ler için çok yüksek çıkması ise bu KVB'lerin etkin görünmesine neden olabilmektedir. Bu problemi önlemek amacıyla ağırlık kısıtlamalı VZA modelleri geliştirilmiştir (Dyson ve Thanassoulis, 1988; Allen ve diğerleri, 1997).

## İKİNCİ BÖLÜM

### 2. BULANIK MANTIK TEORİSİ

#### 2.1. Klasik (Formel-Geleneksel) Mantık

Yunanca “Logike” kelimesi ile bunun Arapça karşılığı olan “ntk” (nutk, nutuk, vd.) kelimesinden gelen “Mantık” kelimesi logos’a yani söz’e ve akıl’a veya akıl yürütme’ye ait demektir (Öner, 1986: 1). Mantık sözcüğü terim olarak hem bir bilim dalını hem de bir düşünme tarzını belirtmek amacıyla kullanılmaktadır. Mantıklı düşünme denilince doğru ya da tutarlı düşünme anlaşılmaktadır. Mantık bilimi de mantıklı düşünme tarzını konu edinen bilim dalıdır (Çüçen, 2004: 16). İnsanlar var olduğundan beri mantıklı düşünebildiği halde mantık biliminin ilkeleri Aristoteles (MÖ 384-MÖ 322) tarafından geliştirilmiş ve sonradan “Organon” adlı eserde toplanmıştır. Bu bakımdan Aristoteles mantığın bulucusu değil kurucusu olarak kabul edilebilir (Yazoğlu ve İmamoğlu, 2010: 15). Aristoteles mantığına göre herhangi bir akıl yürütme faaliyetinin tutarlı olabilmesi için özdeşlik, çelişmezlik, üçüncü durumun yokluğu (orta terimin yokluğu) ilkelerinden oluşan üç ilkeye uyması gerekmektedir.

Özdeşlik ilkesi mantığın temel ilkesi olup çelişmezlik ve üçüncünün olmazlığı ilkeleri özdeşlik ilkesinin türevleridir. Özdeşlik ilkesine göre, bir düşünce veya nesnenin kendisi ne ise o olmak zorundadır. Bu durum mantıkta “A, A’dır” şeklinde ifade edilir. Çelişmezlik ilkesi, mantıkta “bir olguya ait aynı önerme, aynı zaman ve mekânda hem doğru hem de yanlış olamaz” şeklinde ifade edilmektedir. Başka bir deyişle, “A, A-olmayan değildir”. Örneğin bir cisim ağırsa, hafif değil, hafifse ağır değildir. Bu ilke, günlük dilde kullanılan az, oldukça, biraz, hiç vb. ifadelerin klasik ve sembolik mantıkta göz ardı edilmesine neden olmaktadır. Aslında bu ilke, insan düşünme tarzına uygun olan bulanık mantığın kesin olarak durulaştırılmasını ifade etmektedir. Üçüncü durumun yokluğu ilkesi, klasik ve sembolik mantığın temeli olup, bir ifadenin ya doğru ya da yanlış olduğunu, üçüncü bir şıkkın mümkün olmayacağını ifade eder. Bu ilke iki değerli

mantığın dayandığı ilke olup, insan düşünce dünyasını doğrular” ve “yanlışlar” şeklinde kesin biçimde ikiye bölmektedir (Şen,2003: 36). Aristoteles klasik mantığı doğru ve yanlış şeklinde iki değerli mantık olarak oluşturmasına rağmen “daha doğru” ve “daha yanlış” durumların olabileceğini de ifade etmiştir (Baykal ve Beyan, 2004: 6).

## 2.2. Sembolik Mantık

Lojistik, matematiksel mantık, formel mantık, modern mantık olarak da ifade edilen sembolik mantık, mantığın matematikleştirilmesini amaçlayan mantık dalıdır. Leibniz (1646-1716) mantıktaki her türlü anlam belirsizliğini ve kavram karmaşasını önleyecek şekilde matematiksel sembollerden oluşan evrensel bir dil kurmanın gerekliliğini savunmuştur. (Yıldırım, 1998: 98). Sembolik mantık bir sistem olarak İngiliz mantık bilimciler George Boole (1815-1864) ve Augustus De Morgan (1806-1871) tarafından kurulmuştur. Boole, cebirsel işlem ve sembolleri kullanarak günümüzde Boolean cebiri olarak bilinen matematiksel bir mantık sistemi geliştirmiştir. De Morgan, 1847’de yayımladığı Formel Mantık adlı çalışmasında mantık ilkelerini matematiksel notasyonlarla ifade etmiştir (Özlem, 2004: 223). Sembolik mantık kısmen içeriksel olan klasik mantığın sembollerle geliştirilmiş bir modeli olup iki-değerli mantık kategorisinde yer almaktadır.

## 2.3. Çok Değerli ve Sonsuz Değerli Mantık

Çok değerli mantık (many-valued logic), ikiden fazla doğruluk değerini kabul eden mantıkları ifade etmektedir. Çok değerli mantık ilk olarak Lukasiewicz (1920) ve Emile Post (1921) tarafından geliştirilmiştir.  $n$ , değer kümesindeki eleman sayısını gösteren bir doğal sayı olmak üzere  $n=2$  iki değerli mantığı ifade etmekte ve doğruluk değer kümesi  $T_2 = \{0,1\}$  ile gösterilirken,  $n=3$  üç değerli mantığı ifade eder ve değer kümesi  $T_3 = \{0,u,1\}$  ile gösterilir. Buradaki “0” değeri önermenin yanlış olduğunu, “1” değeri doğru olduğunu, “ $u$ ” değeri ise önermenin doğruluğu veya yanlışlığı hakkında kararsız olduğunu ifade etmektedir.  $n \geq 3$  olduğunda doğruluk değeri  $[0,1]$  arasında değişen rasyonel sayılardan oluşmaktadır. Eğer doğruluk değeri  $[0,1]$  arasındaki tüm reel sayılar olarak tanımlanırsa  $T_\infty=[0,1]$  sonsuz değerli mantık (infinite-valued logic) söz konusu olmaktadır (Baykal ve Beyan, 2004: 35-36).

## 2.4. Bulanık Mantık

Albert Einstein'nın "Matematiğin yasaları gerçekliği ifade ettiği sürece kesin değildirler; kesin oldukları sürece de gerçekliği ifade edemezler" sözü gerçek hayatta çok az şeyin kesin/belirli olduğunu ve çok az şeyin uygun şekilde matematiğin teori ve modellerine indirgenebileceğini ifade etmektedir (Ross, 2010:174). İnsan kavrayış ve bilgisinin yetersizliği nedeniyle gerçek bir olgunun tam olarak anlaşılması mümkün olmadığından, bu gibi olaylar belli bir yaklaşıklıkla zihinde canlandırılır ve ifade edilir, başka bir deyişle gerçek dünya bulanık ve karmaşıktır (Şen, 2003: 111). Gerçek hayat sistemlerindeki bu belirsizlik uzun zaman boyunca istatistik ve olasılık teorisi kullanılarak modellenmiştir. Burada, olayların stokastik karakterde olduğu ve iyi tanımlandığı varsayımı kabul edilmiştir. Oysa gerçek problemlerdeki belirsizliklerin tamamının rastsallıkla açıklanması mümkün değildir.

Fiziksel dünyadaki hiçbir kümenin üyelik kriterleri kesin olarak tanımlanamamaktadır. Klasik ve sembolik mantık iki değerli yapıları nedeniyle gerçek dünya problemlerini modellemede yetersiz kalmaktadır. Bu noktadan hareketle Zadeh (1965) çalışmasında, çok değerli/sonsuz değerli mantığın özel bir türü olan ve  $[0,1]$  arasında değişen doğruluk değerleriyle ifade edilen bulanık mantık ilkelerini geliştirmiştir. Birçok araştırmacıya göre bulanık mantık kavramı ilk kez Zadeh tarafından önerilmişse de temelleri 1920 ve 1930'lu yıllarda çok/sonsuz değerli mantık üzerine yaptıkları çalışmalarla Lukasiewicz ve Tarski tarafından atılmıştır (Pelletier, 2000:343). Bulanıklıkta, olasılık teorisinden farklı olarak olgulardaki belirsizliğin deterministik yapıda olduğu varsayılarak modelleme yapılmaktadır.

Bulanık mantık, günümüzde başta kontrol teorisinde olmak üzere örüntü tanımada, yapay zekâ sistemlerinde, elektronik ürünlerde, mühendislik, tıp, üretim, meteoroloji ve başka birçok endüstride kullanılan bir yaklaşık muhakeme (approximate reasoning) mantığıdır. Ayrıca, insan düşünce ve yargısının karıştığı karar verme, muhakeme ve öğrenmenin olduğu her alanda bulanıklık karşımıza çıkmaktadır (Zimmermann, 1996:3). Bunun yanında bulanık mantık, insan yargılarının matematiksel olarak ifade edildiği dilsel (sözel) değişkenlerin makinelerde kullanımına da olanak sağlamaktadır. Bulanık değişkenler de denilen az, biraz az, çok, pek çok vb. dilsel değişkenlerin doğru bir

modellemeyle bilgisayarlara aktarılmasıyla denetim için uzman kişilere ihtiyaç kalmamakta ve bu sayede uzman kişiler arasındaki denetim farkı ortadan kalkmaktadır (Elmas, 2003: 25).

## 2.5. Bulanık Küme Teorisi

Farklı nesnelere oluşan topluluğa *küme* denilmektedir. Klasik (kesin-crisp) küme teorisinde belirli bir kümeye ait olan nesnelere (elemanlar-öğeler) üyeler şeklinde; belirli bir kümeye ait olmayan nesnelere ise üye olmayanlar şeklinde iki gruba ayrılmakta ve her iki grup arasında keskin bir ayrım bulunmaktadır (Çelikyılmaz ve Türksen, 2009: 12). Klasik kümelerde üyelik karakteristik fonksiyon ile ifade edilmektedir.  $X$ , elemanları  $x$  olan evrensel küme olsun. Bu elemanların  $X$ 'in bir altkümeye olan  $A$  kümesine ait üyeliklerini tanımlayan karakteristik fonksiyon, aşağıdaki şekilde gösterilmektedir (Dubois ve Prade, 1980: 10):

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1 & \text{eger } x \in A \\ 0 & \text{eger } x \notin A \end{cases} \quad (2.1)$$

Gerçek hayat problemlerini klasik kümeler ile ifade etmekte aşağıda belirtilen iki önemli zorluk bulunmaktadır (Zimmermann, 1996: 3).

- Gerçek durumlar çoğu durumda deterministik değildir ve kesin sınır çizgileriyle tanımlanamazlar.
- Gerçek sistemlerin tam ve eksiksiz tanımlanması, insanların eşzamanlı olarak kavrayıp işleyebileceğinden çok daha fazla ve detaylı bilgiyi gerektirmektedir.

Bu duruma örnek olarak, *uzun boylu insanlar* kümesi verilebilir. Uzun boy kavramı kültüre göre değişmekle beraber 180 cm ve üzerindeki insanlar uzun boylu, 160 cm ile 180 cm arasındaki insanlar ise uzun boylu olmayan şeklinde kabul edildiğinde bu kümenin karakteristik fonksiyonu aşağıdaki şekilde gösterilir.

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1 & \text{eger } x \geq 180 \\ 0 & \text{eger } 160 \leq x < 180 \end{cases}$$

Klasik küme teorisine göre 160 cm ile 179 cm uzunluğundaki iki kişi aynı kategoride (uzun olmayan) yer almaktadır. Aynı şekilde 180 cm ve 200 cm uzunluğundaki iki insan da aradaki 20 cm'lik farka rağmen aynı kategoride sınıflandırılmaktadır. Bununla beraber, 179 cm ile 180 cm uzunlukları aynı kümeye dâhil edilememektedir. Bu örnekteki *uzun boylu insanlar* tanımı derecelendirmeye izin vermediği için tatmin edici sonuçlar vermemiştir (Bojadziew ve Bojadziew, 2007: 8).

Klasik kümelerin aksine, bulanık kümelerde kesin sınırlar bulunmamakta ve her bir nesneye  $[0,1]$  aralığında değişen üyelik değerleri atanarak kısmi (tikel) üyeliğe olanak tanınmaktadır. Buna göre klasik mantıkta geçerli olan üçüncünün olmazlığı ve çelişmezlik ilkeleri bulanık mantıkta geçerliliğini yitirmektedir. Üyelik değerleri nesnelerin bulanık kümeye aitlik derecesini göstermektedir. Bulanık kümelerde nesnelerin küme üyelikleri karakteristik fonksiyon yerine *üyelik fonksiyonu* ile ifade edilmektedir.  $X$  evrensel kümesinde bir  $\tilde{A}$  bulanık kümesi tanımlandığında bu bulanık kümede yer alan  $x$  elemanının üyelik fonksiyonu  $\mu_{\tilde{A}}(x)$  ile gösterilmektedir.  $\mu_{\tilde{A}}(x)$ 'in değeri 1'e yaklaştıkça  $x$  elemanının  $\tilde{A}$  kümesine aitliği artmakta, "0" değerine yaklaştıkça da azalmaktadır (Zadeh, 1965: 339).  $\tilde{A}$  bulanık kümesine ait notasyon aşağıda gösterilmektedir.

$$\tilde{A} = \left\{ \left( x, \mu_{\tilde{A}}(x) \right) \mid x \in X, \mu_{\tilde{A}}(x) \in [0,1] \right\} \quad (2.2)$$

Evrensel küme  $X$  kesikli bir küme  $\{x_1, \dots, x_n\}$  olduğunda  $\tilde{A}$  bulanık kümesi,

$$\tilde{A} = \mu_{\tilde{A}}(x_1)/x_1 + \dots + (x_n)/x_n = \sum_{i=1}^n \frac{\mu_{\tilde{A}}(x_i)}{x_i} \quad (2.3)$$

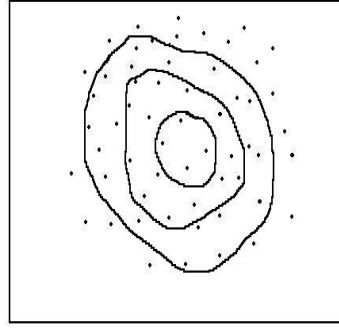
şeklinde ifade edilmektedir.  $X$  kümesinin sürekli olması durumundaysa  $\tilde{A}$  bulanık kümesi aşağıdaki eşitlikle gösterilmektedir.

$$\tilde{A} = \int_x \frac{\mu_{\tilde{A}}(x)}{x} \quad (2.4)$$



Eşitlik (2.3) ve (2.5)'te yer alan  $\sum$  ve  $\int$  işaretleri klasik toplama ve integral işlemlerini değil, küme elemanlarının üyelik değerleri topluluğunu ifade etmektedir (Ross, 2010: 34). Üyelik fonksiyonlarının grafik gösterimi genellikle ideal gösterim şekli olan düz çizgilerle yapılmaktadır. Gerçek hayat uygulamalarında üyelik değerleri Şekil 3'te gösterildiği gibi dağınık-bulutlar (scattered-clouds) şeklinde ortaya çıksa da daha sonra üçgensel, yamuk veya Gaussian gibi üyelik fonksiyonlarına normalize edilmektedirler.

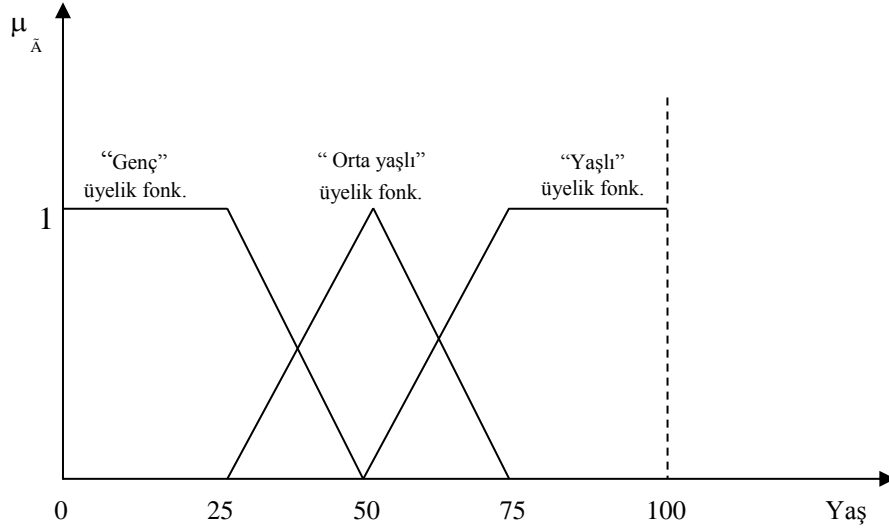
**Şekil 3: Bulanık Küme Durumu**



**Kaynak:** Özkan, 2003: 5

Üyelik fonksiyonu grafiğinde yatay eksen küme elemanlarını, dikey eksen de elemanların üyelik derecelerini gösterir. Şekil 4'te örnek olarak “genç”, “orta yaşlı” ve “yaşlı” insanları kapsayan bulanık kümeler gösterilmektedir. Grafikte yatay eksen de insanların yaşı gösterilirken dikey eksen de insanların hangi dereceye kadar genç, orta yaşlı ve yaşlı kümelerine dâhil edileceği gösterilmektedir. Buna göre 1-25 yaş arasındaki kişiler genç olarak tanımlanmış ve bu kişilere “1” üyelik değeri atanmıştır. 26-49 yaş aralığındaki kişilerin “genç” bulanık kümesine üyelik dereceleri gittikçe azalırken, orta yaşlı bulanık kümesine üyelik dereceleri aynı oranda artmaktadır. Aynı şekilde 50-74 yaş arasındakilerin “orta yaşlı” kümesine üyelikleri azalırken, “yaşlı” kümesine üyelik dereceleri artmaktadır. 75-100 yaş aralığındakiler ise “1” üyelik değerine sahip olup, yaşlı kümesinde yer almaktadırlar.

**Şekil 4: “Genç”, “Orta Yaşlı” ve “Yaşlı” Üyelik Fonksiyonu**



**Kaynak:** Çelikyılmaz ve Türksen, 2009: 12

Üyelik fonksiyonlarının oluşturulmasında izlenen temel yaklaşım günümüzde birçok bulanık mantık uygulayıcısının yaptığı gibi konu hakkında uzman kişilerden bilgi alarak düzenleme yapmaktır. Bunun dışında tamamen eldeki verileri kullanarak ya da sistem performansından gelen geri bildirimlerden yararlanarak fonksiyon oluşturmak diğer alternatif yöntemlerdir (Cerit, 2011: 50).

### 2.5.1. Üyelik Fonksiyonu Tipleri

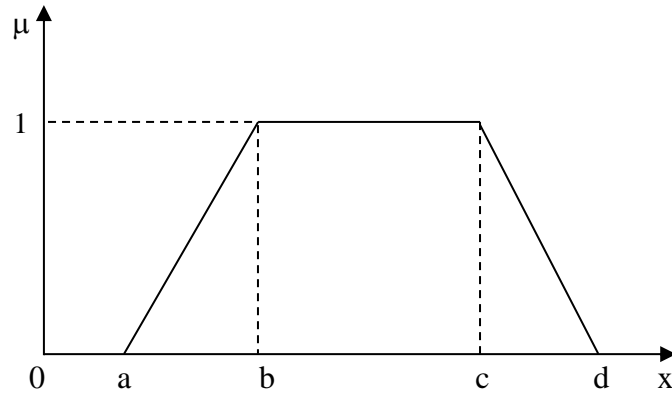
Literatürde, ele alınan problemin türüne göre farklı üyelik fonksiyonları tanımlanmıştır. Uygulamada en fazla kullanılan üyelik fonksiyonu tipleri üçgensel, yamuk, Gaussian, S tipi, çan eğrisi ve  $\Pi$  tipi fonksiyonlardır. Aşağıda, hesaplamadaki basitliği ve etkinliği nedeniyle literatürde en sık kullanılan yamuk ve üçgensel üyelik fonksiyonları tanıtılmaktadır.

#### 2.5.1.1. Yamuk (Trapezoidal) Üyelik Fonksiyonu

Gerçel sayılar kümesinde tanımlı olan yamuk üyelik fonksiyonu (a,b,c,d) gibi dört parametre kullanılarak aşağıdaki gibi ifade edilmektedir (Bojadziev ve Bojadziev, 200: 24).

$$\mu_A(x) = \begin{cases} \frac{x-a}{b-a} & a \leq x \leq b \text{ için} \\ 1 & b \leq x \leq c \text{ için} \\ \frac{x-d}{c-d} & c \leq x \leq d \text{ için} \\ 0 & x < a \text{ veya } x > d \text{ için} \end{cases} \quad (2.5)$$

**Şekil 5: Yamuk Üyelik Fonksiyonu**

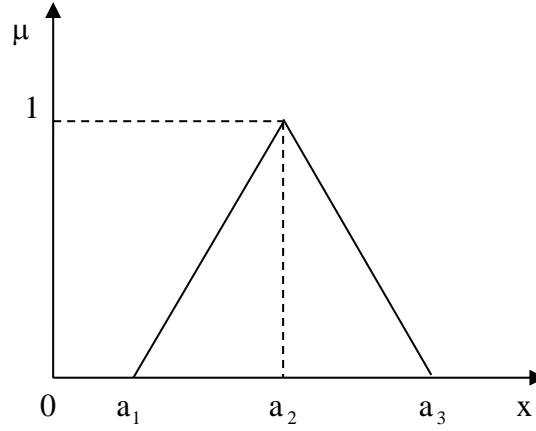


### 2.5.1.2. Üçgensel (Triangular) Üyelik Fonksiyonu

Gerçel sayılar kümesinde tanımlı olan ve yamuk üyelik fonksiyonunun özel bir durumu olan üçgensel üyelik fonksiyonuna ait notasyon ve grafiksel gösterim aşağıdaki gibidir (Chen ve Wang, 2009: 235).

$$\mu_A(x) = \begin{cases} \frac{x-a_1}{a_2-a_1} & a_1 \leq x \leq a_2 \text{ için} \\ \frac{a_3-x}{a_3-a_2} & a_2 \leq x \leq a_3 \text{ için} \\ 0 & x < a_1 \text{ veya } x > a_3 \text{ için} \end{cases} \quad (2.6)$$

**Şekil 6: Üçgensel Üyelik Fonksiyonu**



### 2.5.2. Bulanık Kümelerde Temel İşlemler

Küme teorisinin temel işlemleri olan kesişim, birleşim ve tümlenme işlemleri  $X$  evrensel kümesinde  $(\tilde{A}, \tilde{B} \subseteq \tilde{X})$  şeklinde tanımlanan  $\tilde{A}$  ve  $\tilde{B}$  gibi iki bulanık küme için aşağıdaki gibi gösterilmektedir (Zadeh, 1965: 340-341).

- Birleşim  $(\mu_{\tilde{A} \cup \tilde{B}}(x) : \text{Mak}(\mu_{\tilde{A}}(x), \mu_{\tilde{B}}(x)), \quad \forall x \in X$  (2.7)

- Kesişim  $(\mu_{\tilde{A} \cap \tilde{B}}(x) : \text{Min}(\mu_{\tilde{A}}(x), \mu_{\tilde{B}}(x)), \quad \forall x \in X$  (2.8)

- $\tilde{A}$  Kümesinin Tümleneni  $(\mu_{\tilde{A}'}(x) : 1 - \mu_{\tilde{A}}(x), \quad \forall x \in X$  (2.9)

### 2.5.3. Bulanık Küme Özellikleri

#### 2.5.3.1. Eşitlik Kavramı

$X$  evrensel kümesinde tanımlı  $\tilde{A}$  ve  $\tilde{B}$  bulanık kümelerinin üyelik fonksiyonları her bir eleman için aynı üyelik derecesine sahipse söz konusu iki bulanık küme birbirine eşittir. Bu eşitliğe ait notasyon aşağıda gösterilmektedir (Dubois ve Prade, 1980: 10).

$$\tilde{A} = \tilde{B} \Leftrightarrow \mu_{\tilde{A}}(x) = \mu_{\tilde{B}}(x), \quad \forall x \in X \quad (2.10)$$

### 2.5.3.2. Alpha-Kesimler ( $\alpha$ -cuts) Kümesi

Bulanık bir kümenin  $\alpha$ -kesimi ( $\alpha$ -cut), üyelik derecesi  $\alpha$ 'ya ( $\alpha \in (0,1]$ ) eşit veya daha büyük olan elemanlardan oluşan klasik bir kümedir.  $\tilde{A}$  bulanık kümesinin  $\alpha$ -kesimi aşağıdaki gibi ifade edilmektedir.

$$\tilde{A}_\alpha = \{x \in X \mid \mu_{\tilde{A}}(x) \geq \alpha\} \quad (2.11)$$

$$\tilde{A}_\alpha = \{x \in X \mid \mu_{\tilde{A}}(x) > \alpha\} \quad (2.12)$$

Yukarıda gösterilen iki notasyon,  $\tilde{A}$  kümesi için sırasıyla zayıf  $\alpha$ -kesim ve güçlü  $\alpha$ -kesim kümelerini belirtmektedir. Uygulamada üyelik fonksiyonunun sürekli olması durumunda zayıf ve güçlü  $\alpha$ -kesim ayrımına gerek kalmamaktadır (Chen ve Pham, 2001: 38). Literatürde  $\alpha$ -kesimler  $\alpha$ -seviye ( $\alpha$ -level) kümeleri olarak da adlandırılmaktadır. Bulanık bir küme, bir eleman ve bu elemanın kümeye üyelik derecesini gösteren sıralı çiftlerle ifade edilebilir. Buna ilişkin matematiksel notasyon aşağıdaki gibidir.

$$\tilde{A} = (x, \mu_{\tilde{A}}(x)), \forall x \in X \quad (2.13)$$

Bu eşitlikteki her bir  $(x, \mu_{\tilde{A}}(x))$  çifti *bulanık teklik* olarak adlandırılmaktadır. Bir bulanık teklik alternatif olarak  $\mu_{\tilde{A}}(x) / x$  şeklinde de gösterilebilir (Özkan, 2003: 6).

### 2.5.3.3. Destek (Dayanak) Kümesi

$X$  evrensel kümesinde tanımlı  $\tilde{A}$ 'nın üyelik derecesi 0'dan farklı tüm elemanlarını içeren klasik küme,  $\tilde{A}$ 'nın destek kümesi olarak ifade edilmektedir. Destek kümesine ait matematiksel notasyon aşağıda belirtilmektedir (Hanss, 2005: 18).

$$Destek(\tilde{A}) = \{x \in X \mid \mu_{\tilde{A}}(x) > 0\} \quad (2.14)$$

#### 2.5.3.4. Öz (Core) Kümesi

$X$  evrensel kümesinde tanımlı  $\tilde{A}$  'nın üyelik derecesi 1'e eşit olan elemanları  $\tilde{A}$  'nın öz kümesini oluşturmaktadır (Buckley ve Jowers, 2005: 11).

$$\text{Öz}(\tilde{A}) = \left\{ x \in X \mid \mu_{\tilde{A}}(x) = 1 \right\} \quad (2.15)$$

#### 2.5.3.5. Sınır Kümesi

$X$  evrensel kümesinde tanımlı  $\tilde{A}$  'nın üyelik dereceleri 1'e veya 0'a eşit olmayan yani kısmi üyeliğe sahip elemanlarından oluşan klasik kümeye  $\tilde{A}$  'nın sınır kümesi denilmektedir (Ross, 2010: 91).

$$\text{Sınır}(\tilde{A}) = \left\{ x \in X \mid 0 < \mu_{\tilde{A}}(x) < 1 \right\} \quad (2.16)$$

#### 2.5.3.6. Dışbükeylik (Konvekslik)

$X$  evrensel kümesinde tanımlı  $\tilde{A}$  kümesi aşağıdaki koşulu sağladığı takdirde dışbükeylik özelliğine sahiptir.

$$\mu_{\tilde{A}}(\lambda x_1 + (1-\lambda)x_2) \geq \min\{\mu_{\tilde{A}}(x_1), \mu_{\tilde{A}}(x_2)\} \quad (2.17)$$

Burada  $x_1, x_2 \in X$ , ve  $\lambda \in [0,1]$  olduğu kabul edilmektedir. Alternatif olarak, bulanık bir kümenin tüm  $\alpha$ -kesim alt kümeleri dışbükey ise kendisi de dışbükey bir kümedir (Chen ve Pham, 2001: 38).

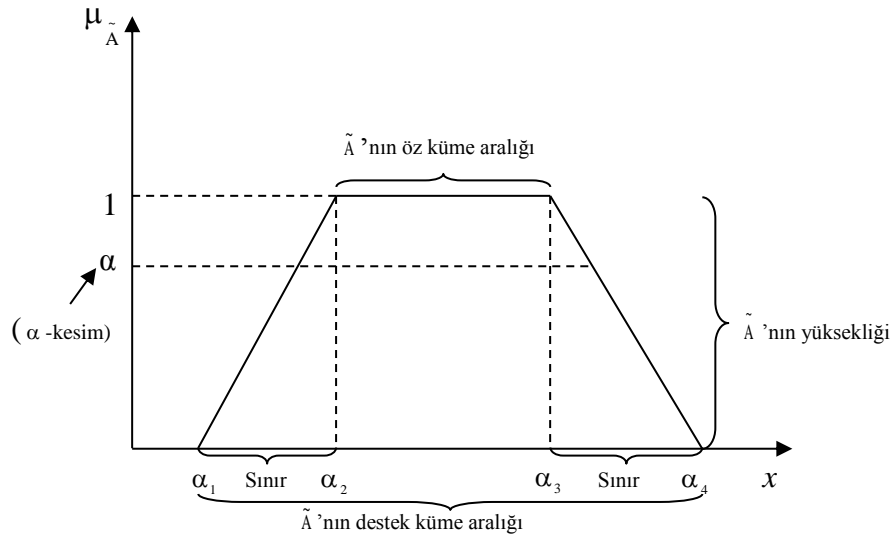
### 2.5.3.7. Yükseklik ve Normallik

$X$  evrensel kümesinde tanımlı  $\tilde{A}$  'nın yüksekliği (height) kümedeki herhangi bir elemanın sahip olduğu en yüksek üyelik derecesi olup aşağıdaki gibi tanımlanır (Çelikyılmaz ve Türksen, 2009: 14).

$$h(\tilde{A}) = \max_{x \in X} \mu_{\tilde{A}}(x), \quad (2.18)$$

Bu formülasyonda yer alan “max” (maksimum) ifadesi yerine “sup”(supremum) ifadesini kullanan çalışmalar da mevcuttur. Evrensel küme sınırlı olduğunda maksimum ifadesi daha uygundur (Hanss, 2005: 18).  $\tilde{A}$  bulanık kümesinin yüksekliği 1'e eşit olduğunda ( $h(\tilde{A}) = 1$ )  $\tilde{A}$ , *normal* bir bulanık küme olarak kabul edilmektedir. Başka bir deyişle, en az bir tane üyelik derecesi 1'e eşit olan bulanık kümelere normal bulanık kümeler denilmektedir. Aksi takdirde ilgili küme *normal altı* (subnormal) bulanık küme olarak tanımlanmaktadır. Normal altı bulanık kümeler, küme elemanlarının üyelik dereceleri kümedeki en büyük üyelik derecesine ( $\max_{x \in X} \mu_{\tilde{A}}(x)$ ) bölünerek normal hale getirilmektedir. Bulanık kümelerin yukarıda bahsedilen özellikleri yamuk bir üyelik fonksiyonu yardımıyla Şekil 7'de gösterilmektedir.

Şekil 7: Bulanık Küme Özellikleri



## 2.6. Bulanık Sayılar

Gerçel sayılar kümesi  $R$ 'de tanımlı  $\tilde{A}$  bulanık kümesi aşağıda belirtilen özellikleri sağladığında bulanık sayı olarak tanımlanmaktadır (Özkan, 2003: 60).

- Normal ve dışbükey bir üyelik fonksiyonuna sahip olmalıdır.
- Destek kümesi sınırlı olmalıdır. ( $\alpha \in (0,1]$ ).
- Her bir  $\alpha$ -kesim kümesi gerçel sayı doğrusunun kapalı bir aralığında tanımlanmalıdır.

Bulanık bir sayı bulanık kümelerin özel bir durumu olduğundan bulanık kümelerde olduğu gibi üyelik fonksiyonu ile tanımlanır. Bu nedenle literatürde üyelik fonksiyonu tipi kadar bulanık sayı çeşidi bulunmakla beraber uygulamada üçgensel ve yamuk bulanık sayılar diğerlerine göre daha çok tercih edilmektedir (Baykal ve Beyan, 2004: 223).

### 2.6.1. Bulanık Sayılarda Aritmetik İşlemler

Bulanık sayılarla temel aritmetik işlemleri olan toplama, çıkarma, çarpma ve bölme gibi işlemlerin yapılabilmesi amacıyla iki temel teknik geliştirilmiştir. Bunlar, genişleme ilkesi (extension principle) ile  $\alpha$  -kesim aralık yöntemi'dir (Buckley ve Jowers, 2005: 12). Uygulamada her iki yöntemle de özdeş sonuçlar elde edilmektedir.

#### 2.6.1.1. Genişleme İlkesi'ne Göre Bulanık Aritmetik İşlemleri

Klasik matematiğin kavramlarının bulanık verilere uygulanmasını sağlayan genişleme ilkesi (Extension Principle) Zadeh (1975) tarafından geliştirilmiş olup, bulanık küme teorisinin en önemli kavramlarından biridir. Bulanık kümelerde temel aritmetik işlemlerin yapılabilmesi için kesin ve belirli değişkenlerin bulanıklaştırılması (fuzzifying) gerekmektedir. Literatürde bulanıklaştırma işlemi için bazı yöntemler bulunmakla beraber genişleme ilkesi en çok tercih edilen teknikler arasındadır. Genişleme ilkesinde amaç, bulanık küme üzerinde yapılacak fonksiyonel bir işlem ile yeni bir bulanık küme elde etmektir.



Genişleme ilkesine göre bulanık sayılarla yapılan temel aritmetik işlemlere ilişkin matematiksel notasyon aşağıda gösterildiği gibidir (Özkan, 2003: 76).

$$\begin{aligned}
 \text{Toplam} &= \mu_{\tilde{C}}(z) = \max_{z=x+y} \min \left[ \mu_{\tilde{A}}(x), \mu_{\tilde{B}}(y) \right] \\
 \text{Fark} &= \mu_{\tilde{D}}(z) = \max_{z=x-y} \min \left[ \mu_{\tilde{A}}(x), \mu_{\tilde{B}}(y) \right] \\
 \text{Çarpım} &= \mu_{\tilde{E}}(z) = \max_{z=x \cdot y} \min \left[ \mu_{\tilde{A}}(x), \mu_{\tilde{B}}(y) \right] \\
 \text{Bölüm} &= \mu_{\tilde{F}}(z) = \max_{z=x/y} \min \left[ \mu_{\tilde{A}}(x), \mu_{\tilde{B}}(y) \right]
 \end{aligned} \tag{2.19}$$

Yukarıdaki notasyondan anlaşılacağı üzere bulanık sayılarla yapılan cebirsel bir işlem sonucunda yeni bir bulanık sayı elde edilmektedir.

*Örnek 2.1* Aşağıda verilen  $\tilde{A}$  ve  $\tilde{B}$  bulanık sayıları kullanılarak  $\tilde{A} + \tilde{B}$  işlemi genişleme ilkesine göre hesaplanmak istenmektedir.

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \frac{0.2}{5} + \frac{0.6}{6} + \frac{1}{7} + \frac{0.6}{8} + \frac{0.2}{9} \qquad \mu_{\tilde{B}}(y) = \frac{0.3}{1} + \frac{0.7}{2} + \frac{1}{3} + \frac{0.7}{4} + \frac{0.3}{5}$$

Buna göre her  $z = x+y$  değeri için hesaplanan  $\min[\mu_{\tilde{A}}(x), \mu_{\tilde{B}}(y)]$  değerleri Tablo 4'te gösterilmektedir.

**Tablo 4:  $\tilde{C} = \tilde{A} + \tilde{B}$  İşleminin Kartezyen Çarpım Kümesi**

x	y	z = x+y	$\mu_{\tilde{A}}(x)$	$\mu_{\tilde{B}}(y)$	$\min[\mu_{\tilde{A}}(x), \mu_{\tilde{B}}(y)]$
5	1	6	0.2	0.3	0.2
6	1	7	0.6	0.3	0.3
7	1	8	1	0.3	0.3
8	1	9	0.6	0.3	0.3
9	1	10	0.2	0.3	0.2
5	2	7	0.2	0.7	0.2
6	2	8	0.6	0.7	0.6
7	2	9	1	0.7	0.7
8	2	10	0.6	0.7	0.6
9	2	11	0.2	0.7	0.2
5	3	8	0.2	1	0.2
6	3	9	0.6	1	0.6
7	3	10	1	1	1
8	3	11	0.6	1	0.6
9	3	12	0.2	1	0.2
5	4	9	0.2	0.7	0.2
6	4	10	0.6	0.7	0.6
7	4	11	1	0.7	0.7
8	4	12	0.6	0.7	0.6
9	4	13	0.2	0.7	0.2
5	5	10	0.2	0.3	0.2
6	5	11	0.6	0.3	0.3
7	5	12	1	0.3	0.3
8	5	13	0.6	0.3	0.3
9	5	14	0.2	0.3	0.2

Eşitlik (2.19)'a göre elde edilen her  $z$  değeri için  $\min[\mu_{\tilde{A}}(x), \mu_{\tilde{B}}(y)]$  değerleri arasından maksimumlarını hesaplamak gerekmektedir. Bunun için öncelikle aynı  $z$  değerini veren  $(x+y)$  çiftleri bir araya getirilmiş, daha sonra söz konusu çiftler arasından maksimum değere sahip olanlar belirlenmiştir. Söz konusu değerler Tablo 5'te gösterilmektedir.

Tablo 5'e göre  $\tilde{C}$  sayısının yüksekliği "10" olduğundan  $\tilde{C}$  sayısının 10 olduğu söylenebilir.  $\tilde{C}$  sayısının üyelik fonksiyonu ise tüm  $z$  değerlerine karşılık gelen üyelik derecelerinden oluşan bir bulanık kümedir. Söz konusu üyelik fonksiyonu bulanık teklikler şeklinde aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$\mu_{\tilde{C}}(x) = \mu_{10}(z) = \frac{0.2}{6} + \frac{0.3}{7} + \frac{0.6}{8} + \frac{0.7}{9} + \frac{1}{10} + \frac{0.7}{11} + \frac{0.6}{12} + \frac{0.3}{13} + \frac{0.2}{14}$$

**Tablo 5: Genişleme İlkesine Göre  $\tilde{A} + \tilde{B}$  İşlemi**

X	y	z = x+y	$\min\left[\mu_{\tilde{A}}(x), \mu_{\tilde{B}}(y)\right]$	$\max_{z=x+y} \min\left[\mu_{\tilde{A}}(x), \mu_{\tilde{B}}(y)\right]$
5	1	6	0.2	0.2
5	2	7	0.2	0.3
6	1	7	0.3	
5	3	8	0.2	
6	2	8	0.6	0.6
7	1	8	0.3	
5	4	9	0.2	
6	3	9	0.6	0.7
7	2	9	0.7	
8	1	9	0.3	
5	5	10	0.2	
6	4	10	0.6	
7	3	10	1	1
8	2	10	0.6	
9	1	10	0.2	
6	5	11	0.3	
7	4	11	0.7	0.7
8	3	11	0.6	
9	2	11	0.2	
7	5	12	0	
8	4	12	0.6	0.6
9	3	12	0.2	
8	5	13	0.3	0.3
9	4	13	0.2	
9	5	14	0.2	0.2

### 2.6.1.2. $\alpha$ -Kesim Aralık Yöntemine göre Bulanık Aritmetik İşlemleri

Bulanık bir küme elemanı olan  $\alpha$ 'nın kapalı ve sınırlandırılmış bulanık aralığı  $[\alpha_1, \alpha_2]$  ile gösterilmektedir. Burada kesin olmayan  $\alpha$  değerinin  $\alpha_1 \leq \alpha \leq \alpha_2$  ile ifade edilen kabul edilebilir bir aralıkta bilgi sağladığı varsayılmaktadır.  $[\alpha_1, \alpha_2] \subset \mathbb{R}$  olmak üzere bu aralığa güven aralığı (interval of confidence) denilmektedir (Chen ve Pham, 2000: 9). Bulanık sayılar için  $\alpha_1$  alt sınırı,  $\alpha_2$  ise üst sınırı göstermektedir.  $\tilde{A}$  bulanık sayısının  $\alpha$ -kesim aralığı aşağıdaki gibi ifade edilmektedir.

$$\tilde{A}_\alpha = [\alpha_1^\alpha, \alpha_2^\alpha] \quad (2.20)$$

$\tilde{A}$  ve  $\tilde{B}$  iki bulanık sayı ve  $[\alpha_1^\alpha, \alpha_2^\alpha]$  ve  $[b_1^\alpha, b_2^\alpha]$  sırasıyla bu iki bulanık sayının  $\alpha$ -kesimleri olmak üzere,  $\alpha$ -kesim yöntemine göre bulanık sayılarla yapılan temel aritmetik işlemler aşağıdaki gibi formüle edilir (Chen ve Pham, 2000: 12).

$$\left. \begin{aligned} \text{Toplama} &= [\alpha_1^\alpha + b_1^\alpha, \alpha_2^\alpha + b_2^\alpha] \\ \text{Fark} &= [\alpha_1^\alpha - b_2^\alpha, \alpha_2^\alpha - b_1^\alpha] \\ \text{Çarpım} &= [\alpha_1^\alpha * b_1^\alpha, \alpha_2^\alpha * b_2^\alpha] \\ \text{Bölme} &= [\alpha_1^\alpha / b_1^\alpha, \alpha_2^\alpha / b_2^\alpha] \end{aligned} \right\} \quad (2.21)$$

Yukarıdaki formülasyona göre  $\alpha$ -kesim yöntemine göre iki bulanık sayıyla yapılan cebirsel işlemler sonucunda yeni bir bulanık sayı elde edilmektedir. Aşağıda  $\alpha$ -kesim yöntemine göre bulanık sayılar için çıkarma işlemini gösteren örnek bir problem yer almaktadır.

*Örnek 2.2.* Aşağıda üyelik fonksiyonları verilen  $\tilde{A}$  ve  $\tilde{B}$  bulanık sayıları için çıkarma işlemi yapılmak istenmektedir.

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} 0 & ; 0 \leq x \leq 7 \\ \frac{x}{7} - 1 & ; 7 \leq x \leq 14 \\ \frac{-x+19}{5} & ; 14 \leq x \leq 19 \\ 0 & ; 19 \leq x \leq 20 \end{cases} \quad \mu_{\tilde{B}}(x) = \begin{cases} 0 & ; 0 \leq x \leq 3 \\ \frac{x-3}{2} & ; 3 \leq x \leq 5 \\ \frac{-x}{5} + 2 & ; 5 \leq x \leq 10 \end{cases}$$

$\alpha$ -kesim kümeleri parametrik olarak hesapladığından üyelik fonksiyonu artan parça ve azalan parça olarak iki kısma ayrılmaktadır. Üyelik derecesinin 0'dan 1'e doğru olan kısmı artan, 1'den 0'a doğru olan kısmı ise azalan parça olarak adlandırılır. Örnek problemde  $\tilde{A}$ 'nin artan parçasının  $(x/7)-1$ , azalan parçasının ise  $(-x+19)/5$  olduğu görülmektedir. Aynı şekilde  $\tilde{B}$ 'nin artan parçası  $(x-3)/2$ , azalan parçası ise  $(-x/5)+2$ 'dir.

Bulanık sayıların  $\alpha$ -kesimleri  $\mu_{\tilde{A}}(x) \geq \alpha$  ile hesaplanmaktadır. Buna göre  $\tilde{A}$  ve  $\tilde{B}$  sayılarının  $\alpha$ -kesim kümeleri aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$\mu_{\tilde{A}}(x) \geq \alpha \Rightarrow \left. \begin{array}{l} \frac{x}{7} - 1 \geq \alpha \\ \frac{-x+19}{5} \geq \alpha \end{array} \right\} \Rightarrow 7\alpha + 7 \leq x \leq 19 - 5\alpha$$

$$\mu_{\tilde{B}}(x) \geq \alpha \Rightarrow \left. \begin{array}{l} \frac{x-3}{2} \geq \alpha \\ \frac{-x}{5} + 2 \geq \alpha \end{array} \right\} \Rightarrow 2\alpha + 3 \leq x \leq -5\alpha + 10$$

Buradan,

$$\tilde{A}_{\alpha} = [\alpha_1^{\alpha}, \alpha_2^{\alpha}] = [7\alpha + 7, 19 - 5\alpha]$$

$$\tilde{B}_{\alpha} = [\alpha_1^{\alpha}, \alpha_2^{\alpha}] = [2\alpha + 3, -5\alpha + 10]$$

hesaplanır. Çıkarma işlemi ise aşağıdaki gibi gerçekleştirilir.

$$\tilde{A} - \tilde{B} = [\alpha_1^{\alpha} - b_2^{\alpha}, \alpha_2^{\alpha} - b_1^{\alpha}] = [7\alpha + 7 + 5\alpha - 10, 19 - 5\alpha - 2\alpha - 3] = [12\alpha - 3, 16 - 7\alpha]$$

$$\tilde{C} = [12\alpha - 3, 16 - 7\alpha]$$

Çıkarma işlemi sonucu elde edilen  $\tilde{C}$  bulanık sayısının üyelik fonksiyonunu oluşturmak için artan ve azalan kısımlarını belirlememiz gerekir. Bu amaçla artan ve azalan kısımların alt sınırları hesaplanırken sırasıyla ( $\alpha=0$ ) ve ( $\alpha=1$ ); üst sınırlar hesaplanırken de sırasıyla ( $\alpha=1$ ) ve ( $\alpha=0$ ) alınarak  $x$  değerleri bulunur.

$\tilde{C}$  'nin artan kısmı için;

$$\text{Alt sınır: } \alpha = 0 \Rightarrow x = 12\alpha - 3 = -3$$

$$\text{Üst sınır: } \alpha = 1 \Rightarrow x = 12\alpha - 3 = 9$$

$\tilde{C}$  'nin azalan kısmı için;

$$\text{Alt sınır: } \alpha = 1 \Rightarrow x = 16 - 7\alpha = 9$$

$$\text{Üst sınır: } \alpha = 0 \Rightarrow x = 16 - 7\alpha = 16$$

Buna göre  $\tilde{C}$ 'nin üyelik fonksiyonu aşağıdaki gibi belirlenir.

$$\mu_{\tilde{C}}(x) = \begin{cases} 0 & ; x < -3 \text{ veya } x > 16 \\ \frac{x+3}{12} & ; -3 \leq x \leq 9 \\ \frac{-x+16}{7} & ; 9 \leq x \leq 16 \end{cases}$$

## 2.7. Bulanık Mantık Yaklaşımının Avantajlı ve Dezavantajlı Yönleri

Bulanık mantık yaklaşımının klasik yaklaşımlara göre avantaj ve dezavantajlı yönleri aşağıdaki gibi özetlenebilir (Elmas, 2003: 39).

Bulanık mantık yaklaşımının avantajları:

- Günümüzde denetim işlemlerinin çoğunlukla dilsel değişkenlerle yapılması bulanık mantığın en önemli avantajıdır.
- Bulanık mantık yaklaşımı, matematiksel modele ihtiyaç duymadığından matematiksel olarak modellenemeyen veya çok zor modellenen, dinamik ve doğrusal olmayan sistemlerde başarılı şekilde kullanılmaktadır.
- Bulanık mantık belirsiz ve eksik verilere göre işlem yapabilmektedir.
- Geniş bir alana yayılmış verilerin kullanıldığı uygulamalarda az sayıda üyelik fonksiyonu yardımıyla hızlı bir şekilde sonuç alınabilmektedir.
- İnsan düşünüş tarzını yansıtan en uygun yaklaşım olduğundan gerçek hayat problemlerini sayısal olarak modellemede klasik yaklaşımlara göre daha üstündür.

Bulanık mantık yaklaşımının dezavantajları:

- Bulanık mantığın temel sorunu, sistemlerin kararlılık, gözlemlenebilirlik ve denetlenebilirlik analizlerinin yapılmasında evrensel bir yöntemin olmayışıdır. Uygulamada bulanık çıkarım kurallarını tanımlamak kolay olmadığından mutlaka uzman görüş ve deneyimlerine başvurulması gerekmektedir.

- Üyelik fonksiyonlarının belirlenmesinde mutlak sonuç veren bir yöntem bulunmadığından deneme-yanılma yöntemi kullanılmaktadır. Deneme-yanılma yöntemiyle sonuç almak ise bazen çok uzun sürmektedir.
- Uzun uğraşlar sonucu elde edilen üyelik fonksiyonları sisteme özel olduğundan başka sistemlere adapte edilmeleri çok zordur.

## ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

### 3. ARAŞTIRMANIN YÖNTEMİ

Çalışmanın bu bölümünde uygulamada kullanılan matematiksel modeller hakkında ayrıntılı bilgi verilmiştir.

#### 3.1. Kriter Ağırlıklandırma Yöntemleri

Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) disiplini, karar vericilerin sınırlı sayıda ve genelde birbiriyle çelişen değerlendirme kriterlerine göre alternatifler arasından değerlendirme, önceliklendirme, sıralama ve seçim yapmasını desteklemek amacıyla matematiksel teknikler geliştirmeyi amaçlamaktadır (Loosma, 1999:1). Değerlendirme kriterlerini ağırlıklandırma konusu ÇKKV alanındaki en önemli noktalardan biridir.

Literatürde kriter ağırlıklandırma amacıyla geliştirilen birçok yöntem bulunmaktadır. Söz konusu teknikler Wang ve Luo (2010:1) tarafından subjektif, objektif ve bütünleşik yöntemler şeklinde üç kategoriye ayrılmıştır. Bu üç kategori arasında ÇKKV literatüründe en fazla tercih edilen kategori olan subjektif yöntemler tamamen karar vericilerin yargılarına dayalı olarak ağırlıklandırma yapmaktadır. Subjektif yöntemler arasında bilimsel çalışmalarda en fazla kullanılan tekniklere örnek olarak Delphi yöntemi (Hwang ve Lin, 1987), AHP (Saaty, 1980), Ağırlıklandırılmış En Küçük Kareler Yöntemi (Chu ve diğerleri, 1979) ve LINMAP (Linear Programming Techniques for Multidimensional Analysis of Preferences) (Srinivasan ve Shocker, 1973) yöntemi verilebilir. Günümüzde birçok endüstride karar vericilerin uzmanlık tecrübesine ve değer yargılarına ihtiyaç duyulduğundan öznel ağırlıklandırma yararlı bir yoldur. Uzman görüşlerinin alınmadığı durumlarda ise matematiksel modeller kullanarak kriterleri ağırlıklandırabilen objektif yöntemler kullanılmaktadır. Literatürde yer alan objektif ağırlıklandırma yöntemlerine örnek olarak Shannon Entropi Yöntemi (Shannon, 1948),



CRITIC Yöntemi (Diakoulaki vd., 1995) ve Çok Hedefli Programlama yöntemi (Choo ve Wedley, 1985) verilebilir (Çakır ve Perçin, 2013: 450).

### 3.1.1. Shannon Entropi Yöntemi

Bir mesajın beklenen bilgisel içeriğindeki önemsizliğin toplam miktarını gösteren ve bilgi teorisinde merkezi bir rolü olan Shannon Entropi kavramı literatürde bazen belirsizlik ölçüsü olarak da adlandırılmaktadır. Shannon'dan sonra bu kavram fizik, matematik, sosyal bilimler vb. birçok farklı disiplin içinde kullanım alanı bulmuştur (Soleimani-damaneh, 2009:5147). Entropi kavramı sosyal bilimlerin özellikle ekonomi ve yönetim bilimi alanlarında seçim ve değerlendirme amacıyla; ÇKKV problemlerinde ise kriter ağırlıklandırma amacıyla kullanılmaktadır (Ying ve Ru-chao, 2010:583). ÇKKV literatüründe değerlendirme kriterlerinin önem ağırlıklarının belirlenmesinde Shannon Entropi tekniğinin kullanılması ilk kez Zeleny (1982) tarafından önerilmiştir. Shannon Entropi yönteminin algoritması aşağıda gösterilmektedir (Asl ve diğerleri, 2012; Ghorbani ve diğerleri, 2012; Bian ve Yang, 2010).

#### *Aşama 1: Normalizasyon*

Farklı ölçüm birimlerinden kaynaklanan anomalileri ortadan kaldırmak amacıyla  $m$  sayıda alternatif ve  $n$  sayıda değerlendirme kriteri aşağıda gösterilen klasik yöntemle normalize edilmektedir.

$$[p_{ij}]_{m \times n} = \left[ x_{ij} / \sum_{i=1}^m x_{ij} \right]_{m \times n} \quad i=1, \dots, m ; j=1, \dots, n \quad (3.1)$$

#### *Aşama 2: Kriterlerin Entropi değerlerinin ( $e_j$ ) hesaplanması*

$$e_j = -k \sum_{i=1}^m p_{ij} \cdot \ln p_{ij} \quad (j = 1, \dots, n) \quad (3.2)$$

Burada  $k$ ,  $0 \leq e_j \leq 1$ 'i sağlayan ve  $k = (\ln m)^{-1}$  şeklinde hesaplanan Boltzman sabiti'dir. Bir kriterin Entropi ( $e_j$ ) değeri "1" e yaklaştıkça ilgili kriterin karar problemi için önemi azalmaktadır.

#### *Aşama 3: Kriterlerin farklılık derecelerinin ( $d_j$ ) hesaplanması*

Kriterler tarafından sağlanan bilginin farklılık derecesi ( $d_j$ ) aşağıda gösterildiği gibi hesaplanmaktadır.

$$d_j = 1 - e_j \quad (3.3)$$

$d_j$  değeri  $j$  kriterinin ayırım gücünü göstermektedir. Daha yüksek  $d_j$  değeri  $j$  kriterinin karar verme problemi açısından ayırım gücünün artmasına yani daha yüksek öneme sahip olması anlamına gelmektedir.

#### *Aşama 4: Kriter Ağırlıklarının ( $w_j$ ) Hesaplanması*

Kriterlerin önem ağırlıkları aşağıda görüldüğü gibi bir önceki aşamada belirlenen farklılık derecelerinin normalize edilmesiyle hesaplanmaktadır.

$$w_j = d_j / \sum_{j=1}^n d_j \quad \text{ve} \quad \sum_{j=1}^n w_j = 1 \quad (j = 1, \dots, n) \quad (3.4)$$

### **3.1.2. Bulanık Shannon Entropi Yöntemi**

Hosseinzadeh Lotfi ve Fallahnejad (2010), gerçek hayatta pek çok karar verme problemindeki verilerin kesin olmayan veri türlerinden oluştuğundan hareketle Shannon Entropi tekniğini bulanık ve aralık sayılar için genişletmiştir.  $\alpha$ -kesim kümelerine dayalı olan ve Bulanık Shannon Entropi yöntemi olarak adlandırılan yöntemde bulanık sayılardan oluşan tipik bir karar matrisi Tablo 6'da gösterildiği gibi düzenlenmektedir. Tablo 6'da yer alan  $\tilde{x}_{ij}$ ,  $j$  kriterine göre  $i$  alternatifinin aldığı değeri;  $\tilde{w}_j$  ise  $j$  kriterinin ağırlığını göstermektedir.

**Tablo 6: Bulanık Veri Durumunda Karar Matrisinin Yapısı**

	Kriter 1	Kriter 2	...	Kriter $n$
Alternatif 1	$\tilde{x}_{11}$	$\tilde{x}_{12}$	...	$\tilde{x}_{1n}$
Alternatif 2	$\tilde{x}_{21}$	$\tilde{x}_{22}$	...	$\tilde{x}_{2n}$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
Alternatif $m$	$\tilde{x}_{m1}$	$\tilde{x}_{m2}$	...	$\tilde{x}_{mn}$
	$\tilde{w}_1$	$\tilde{w}_2$	...	$\tilde{w}_n$

*Aşama 1:  $\alpha$ -Kesim Kümelerini Kullanarak Bulanık Verinin Aralık Veriye Dönüştürülmesi*

Daha önce de belirtildiği üzere  $\tilde{x}_{ij}$  ile gösterilen bir bulanık değişkenin  $\alpha$ -kesim kümesi üyelik derecesi  $\alpha$ 'ya ( $\alpha \in (0,1]$ ) eşit veya daha büyük olan elemanlardan oluşan klasik bir küme olarak tanımlanmakta ve aşağıdaki gibi ifade edilmektedir.

$$(\tilde{x}_{ij})_\alpha = \{x \in R \mid \mu_{\tilde{x}_{ij}}(x) \geq \alpha\} \quad (3.5)$$

$\alpha$ -kesim kümesi aşağıdaki gibi aralık sayı biçiminde de gösterilebilir.

$$[(\tilde{x}_{ij})_\alpha^L, (\tilde{x}_{ij})_\alpha^U] = \left[ \min_{x_{ij}} \{x_{ij} \in R \mid \mu_{\tilde{x}_{ij}}(x_{ij}) \geq \alpha\}, \max_{x_{ij}} \{x_{ij} \in R \mid \mu_{\tilde{x}_{ij}}(x_{ij}) \geq \alpha\} \right], (0 < \alpha \leq 1) \quad (3.6)$$

(1- $\alpha$ ) ile ifade edilen farklı güven düzeyleri oluşturularak bulanık veriler aralık verilere dönüştürülür.

*Aşama 2: Normalize Edilmiş  $p_{ij}^l$  ve  $p_{ij}^u$  Değerlerinin Hesaplanması*

$$p_{ij}^l = \frac{x_{ij}^l}{\sum_{j=1}^m x_{ij}^u}, \quad p_{ij}^u = \frac{x_{ij}^u}{\sum_{j=1}^m x_{ij}^u} \quad i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n \quad (3.7)$$

*Aşama 3: Kriterlerin Aralık Entropi Değerlerinin Alt Sınırlarının ( $e_j^l$ ) ve Üst Sınırlarının ( $e_j^u$ ) hesaplanması*

$$e_i^l = \min \left\{ -k \sum_{i=1}^m p_{ij}^l \cdot \ln p_{ij}^l, k \sum_{j=1}^n p_{ij}^u \cdot \ln p_{ij}^u \right\} \quad (j = 1, \dots, n) \quad (3.8a)$$

$$e_i^u = \max \left\{ -k \sum_{i=1}^m p_{ij}^l \cdot \ln p_{ij}^l, k \sum_{j=1}^n p_{ij}^u \cdot \ln p_{ij}^u \right\} \quad (j = 1, \dots, n) \quad (3.8b)$$

Burada  $k = (\ln m)^{-1}$  şeklinde hesaplanmakta ve  $p_{ij}^l = 0$  veya  $p_{ij}^u = 0$  olduğunda  $p_{ij}^l \cdot \ln p_{ij}^l$  veya  $p_{ij}^u \cdot \ln p_{ij}^u$  çarpımları da “0” değerini almaktadır.

*Aşama 4: Farklılık Aralığının Alt Sınırının ( $d_i^l$ ) ve Üst Sınırının ( $d_i^u$ ) Hesaplanması*

$$d_i^l = 1 - e_i^u, \quad d_i^u = 1 - e_i^l, \quad j=1, \dots, n \quad (3.9)$$

*Aşama 5: Kriterlerin Aralık Ağırlıklarının Alt ( $w_i^l$ ) ve Üst Sınırlarının ( $w_i^u$ ) Hesaplanması*

$$w_i^l = \frac{d_j^l}{\sum_{j=1}^n d_j^l}, \quad w_i^u = \frac{d_j^u}{\sum_{j=1}^n d_j^u}, \quad \text{ve} \quad \sum_{j=1}^n w_j = 1 \quad (j=1, \dots, n) \quad (3.10)$$

$[w_i^l, w_i^u]_\alpha$  aralığı  $i$  bulanık kriterinin  $\alpha$ -kesimindeki Entropi ağırlığı olarak adlandırılmaktadır. Burada önerilen yöntem kullanılarak tüm  $\alpha$ -kesim kümeleri için bir aralık ağırlığı hesaplanabilir.

Elde edilen kriter ağırlıkları aralık veri olduğundan herhangi bir aralık sıralama yöntemi kullanılarak her bir  $\alpha$ -seviyesi için sıralanmaları gerekmektedir. Literatürde her biri belirli bir teori üzerine inşa edilmiş birçok aralık veri sıralama yöntemi bulunmaktadır. Bu yöntemler hakkında ayrıntılı bilgi için Sengupta ve Pal (2009)’ın çalışmasına başvurulabilir. Bu çalışmada Bulanık Shannon Entropi uygulaması sonucunda elde edilen aralık ağırlık verilerini sıralamak amacıyla Sengupta ve Pal (2000) tarafından önerilen Kabul Edilebilirlik Endeksi yöntemi kullanılacaktır. Söz konusu yöntemle ilgili olarak aşağıda bilgi verilmektedir.

### 3.1.3. Kabul Edilebilirlik Endeksi (The Acceptability Index) Yöntemi

Gerçel sayılar kümesi  $R$ 'de tanımlı bir  $X = [X^L, X^U]$  aralık sayısı alternatif olarak  $X = \{m(X), w(X)\}$  şeklinde gösterilebilir. Burada  $m(X)$  ve  $w(X)$  notasyonları sırasıyla  $X$  aralık sayısının orta noktasını ve yarı-genişliğini göstermekte ve aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$\begin{aligned} m(X) &= \frac{1}{2}(X^L + X^U), \\ w(X) &= \frac{1}{2}(X^U - X^L) \end{aligned} \quad (3.11)$$

Sengupta ve Pal (2000), iki aralık sayıyı karşılaştırmak amacıyla kabul edilebilirlik fonksiyonu (acceptability function) şeklinde ifade edilen bir fonksiyon önermişlerdir. Aşağıda (3.12) eşitliğiyle gösterilen söz konusu fonksiyonda  $X$  aralık sayısının değer bakımından  $Y$  aralık sayısından daha aşağıda (inferior) olduğunu belirten  $A(X < Y)$  veya kısaca  $A_{(<)}$  notasyonu kullanılmaktadır (Sengupta ve Pal, 2000: 31-32).

$$A_{(<)} = \frac{m(Y) - m(X)}{w(Y) + w(X)}, \quad w(Y) + w(X) \neq 0 \quad (3.12)$$

Bu formülasyondaki  $A_{(<)}$  notasyonu “ilk aralık sayının ikinci aralık sayıdan daha küçük olduğunun kabul edilebilirlik derecesi” şeklinde de yorumlanmaktadır.

$A(X < Y) = 0$  olduğunda “ $X$  aralık sayısı  $Y$  aralık sayısından daha küçüktür” önermesi reddedilmektedir.

$A(X < Y) > 0$  olduğunda “ $X$  sayısı  $Y$ 'den daha küçüktür” önermesi kabul edilmektedir.

$A(X < Y) < 0$  durumunda ise “ $X$  sayısı  $Y$ 'den daha küçüktür” önermesi reddedilmektedir. Yani  $X$  aralığı  $Y$ 'den daha büyük kabul edilmektedir.

Sengupta ve Pal'ın yöntemi geçişlilik (transitive) varsayımına sahiptir.  $R$ 'de tanımlı  $X, Y, Z$  gibi üç aralık sayı için;

Eğer  $A(X < Y) \geq 0$  ve  $A(Y < Z) \geq 0$  ise  $A(X < Z) \geq 0$  olmaktadır.

## 3.2. Bulanık Veri Zarflama Analizi

### 3.2.1. Genel Bilgiler

Klasik VZA modellerinin ölçüm hatalarına karşı aşırı duyarlı olması girdi ve çıktı değişkenlerinin hiç değişmeyen, belirli (kesin) değerler almasını gerektirmektedir. Ancak bazı üretim süreçlerinde gözlenen girdi ve çıktı değerleri belirsiz ve değişken olabilmektedir. Söz konusu belirsizlik, verilerin ölçülemeyen, tam olmayan ve elde edilemeyen veriler olmasından kaynaklanmaktadır (Hatami-Marbini ve diğerleri, 2011: 457). Ayrıca, etkinlik ölçümü için elverişli veriler kalitatif ve dilsel değişkenlerle ifade edilen türden olabilir. Geleneksel VZA modelleri bu çeşit belirsiz ve dilsel değişkenlerin yer aldığı üretim süreçlerinin etkinlik ölçümünde yetersiz kaldığından bazı araştırmacılar tarafından BVZA teknikleri geliştirilmiştir.

BVZA teknikleri gerçek hayat problemlerini klasik VZA yöntemlerine göre daha rasyonel biçimde modellemekte ve bulanık kavramlarla ifade edilen dilsel değişkenlerin kullanılmasına olanak sağlamaktadır (Lertworasirikul ve diğerleri, 2003: 380). Ayrıca aynı amaca yönelik olarak literatürde VZA'nın şans kısıtlı (chance constrained) ve stokastik modelleri de geliştirilmiştir (Leon, 2003: 408).

BVZA modellerinde kullanılan veriler genel olarak dört gruba ayrılabilir (Oruç, 2008: 86). Bu gruplar,

- Aralık (interval) veriler (Alt ve üst sınır değerlerinin ya da üyelik fonksiyonunun bilindiği sınırlanmış bulanık sayı verileri)
- Sıralı (ordinal) veriler (Karar birimlerinin herhangi i. girdi ya da r. çıktı verileri arasındaki sözel sıralı ilişkinin bilindiği veriler)
- Hiçbir şekilde elde edilemeyen veriler (Missing data)
- Kesin değerleri bilinen veriler (Exact data)

### 3.2.2. BVZA Yaklaşımları

Literatürde etkinlik ölçümü amacıyla geliştirilen BVZA modelleri genellikle tolerans yaklaşımı (tolerance approach),  $\alpha$ -seviyelere dayalı yaklaşım ( $\alpha$ -level based approach), bulanık sıralama yaklaşımı (fuzzy ranking approach) ve olabilirlik yaklaşımı (possibility approach) olmak üzere dört ana gruba ayrılmaktadır. Bunun yanında bahsedilen dört grup içinde sayılmadığından farklı bir kategoride değerlendirilen bazı önemli çalışmalar bulunmaktadır (Hatami-Marbini ve diğerleri, 2011: 457; Emrouznejad ve diğerleri, 2012: 5509).

BVZA modelleri VZA modelleri gibi DP formundadır. Ancak ele alınan gerçek hayat probleminin özelliğine veya varsayımlarına bağlı olarak farklı bulanık DP modelleri kurulması gerektiğinden bu yönüyle klasik DP'den ayrılmaktadırlar (Kahraman ve Tolga, 1998:339). Etkinlik ölçümünde gözlenen bazı değişkenler bulanık olduğunda amaç fonksiyonu ve kısıtlar da bulanıklaşmaktadır.  $m$  sayıda bulanık girdi kullanarak  $s$  adet bulanık çıktı üreten  $n$  adet KVB'den oluşan bir etkinlik ölçüm probleminde, KVB  $k$ 'nın girdi değerleri  $\tilde{X}_{ik}$  ( $i=1,\dots,m$ ) ile çıktı değerleri ise  $\tilde{Y}_{rk}$  ( $r=1,\dots,s$ ) ile ifade edilsin. Buna göre girdi yönlü klasik CCR-VZA modelinin bulanık formda gösterimi aşağıdaki gibidir (Saati ve Memariani, 2005:613).

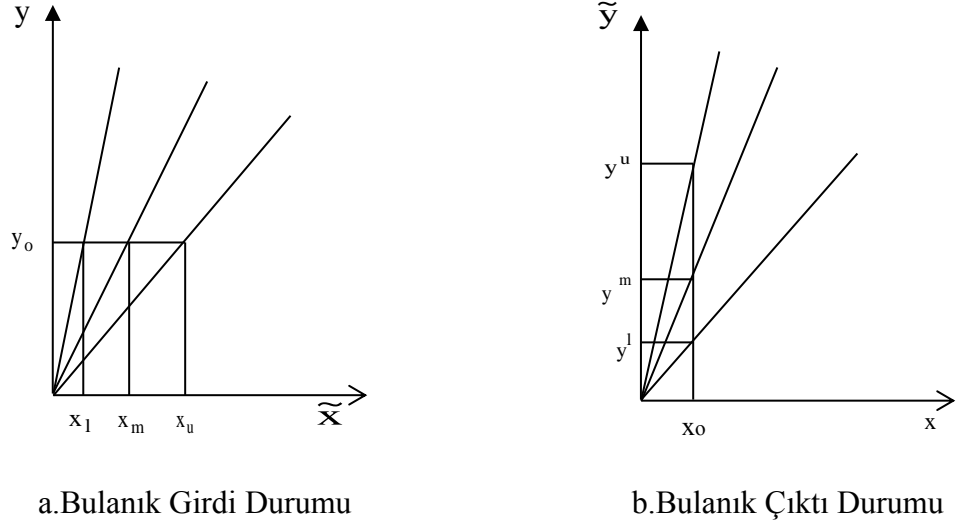
*Bulanık CCR Modeli*

$$\begin{aligned}
 E_k &= \max \sum_{r=1}^s u_r \tilde{Y}_{rk} \\
 \sum_{i=1}^m v_i \tilde{X}_{ik} &= \tilde{1} \\
 \sum_{r=1}^s u_r \tilde{Y}_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i \tilde{X}_{ij} &\leq 0 \quad j = 1, \dots, n \\
 v_i, u_r &\geq 0 \quad i = 1, \dots, m; r = 1, \dots, s
 \end{aligned} \tag{3.13}$$

Burada “ $\sim$ ” notasyonu bulanıklığı ifade etmektedir. Şekil 8’de bulanık CCR modelinin en basit şekli olan tek girdi ve tek çıktılı üretim ortamındaki üretim sınırının gösterimi yer almaktadır. Şekil 8.a’da üçgensel sayı  $\tilde{x} = (x_l, x_m, x_u)$  ile ifade edilen bulanık girdi  $\tilde{x}$  kullanılarak kesin değerli  $y_o$  çıktısı üretildiği durumda; Şekil 8.b’de ise kesin

değerli  $x_0$  girdisi kullanılarak üçgensel sayı  $\tilde{y} = (y_l, y_m, y_u)$  ile gösterilen bulanık çıktı  $\tilde{y}$  'nin üretildiği durumda üretim sınırının gösterimi yer almaktadır.

**Şekil 8: Bulanık CCR Modelinin Etkinlik Sınırı**



**Kaynak:** Saati ve diğerleri, 2002: 258

### 3.2.2.1. Tolerans Yaklaşımı

Klasik VZA'ya bulanık küme teorisini uygulayan ilk çalışmalar Sengupta (1992; 1993)'ya aittir. Sengupta'nın yaklaşımı daha sonra Kahraman ve Tolga (1998) tarafından geliştirilmiştir. Bu yaklaşımda Zimmerman (1976)'ın geliştirdiği yöntem kullanılarak amaç fonksiyonu için bir istek seviyesi ve kısıt ihlalleri için de tolerans düzeyleri belirlenerek klasik VZA modelleri bulanıklaştırılmaktadır. Ancak, eşitlik ve eşitsizlik işaretleri bulanıklaştırılırken katsayılar (girdi ve çıktılar) üzerinde doğrudan herhangi bir işlem yapılmamaktadır. Uygulamada belirsiz olan genelde girdi ve çıktılar olduğu halde bu yaklaşımda girdi ve çıktılardaki belirsizlik dikkate alınmamaktadır. Bu özellik Sengupta'nın yaklaşımının en büyük kısıtıdır (Zerafat-Angiz ve diğerleri, 2010: 5153; Karsak, 2008: 868). Klasik VZA'daki katı matematiksel ilişkilere bir esneklik getirmesine rağmen girdi ve çıktılarının kesin değerler alması ve yöntemin nasıl uygulanacağıyla ilgili



belirli bir algoritması olmaması nedeniyle Tolerans yaklaşımı literatürde uygulama alanı bulamamıştır (Triantis ve Girod, 1998: 87).

VZA literatüründe sınırlandırılmış (bounded), sıralı (ordinal) ve oransal sınırlandırılmış (ratio bounded) veriler genel olarak belirsiz (imprecise) veriler olarak adlandırılmaktadır. Cook ve diğerleri (1993), sıralı veriler içeren bir teknoloji yükleme problemi için bir belirsiz VZA modeli önermişlerdir. Bu model daha sonra Cook ve diğerleri (1996) tarafından kesin ve sıralı veriler içeren problemler için geliştirilmiştir. Ancak bu çalışmalarda verilerdeki belirsizlik girdi ve çıktılar için değil, VZA çarpanları veya ağırlıkları bağlamında ele alınmıştır (Zhu, 2003: 513).

Literatürde sınırlandırılmış (aralık), sıralı ve oransal sınırlandırılmış verilerle ifade edilen girdi ve çıktı değişkenlerindeki belirsizliğin doğrudan modellendiği ilk çalışma Cooper ve diğerleri (1999) tarafından yapılmıştır (Wen ve Li, 2009:872). *Belirsiz VZA (Imprecise DEA-IDEA)* tekniği olarak adlandırılan yöntemde girdi ve çıktılar için doğrudan sınırlar belirlenmektedir. Belirsiz veriler nedeniyle doğrusal olmayan ve konveks olmayan bir yapıya dönüşen klasik CCR modeli bir dizi ölçek dönüşümleri ve değişken değişimleri aracılığıyla doğrusal probleme dönüştürülmektedir. Söz konusu çalışmada IDEA yöntemi güven bölgesi (Assurance Region-AR) yaklaşımı kullanılarak AR-IDEA bütünlük yöntemine genişletilmiştir (Despotis ve Simirlis, 2002: 25). Aynı yaklaşımı kullanan Kim ve diğerleri (1999), telefon ofislerinin etkinliğini ölçtükleri çalışmada CCR-IDEA tekniğine bazı ek ağırlık kısıtlamaları uygulamışlardır. Yukarıda bahsedilen IDEA modelleri bazı dönüşümler önerilmesine rağmen ağırlık kısıtlamaları kullanıldığında doğrusallık özelliğini kaybetmektedirler (Zhu, 2003:513).

### **3.2.2.2. $\alpha$ -Seviyelere Dayalı Yaklaşım**

BVZA literatüründe en çok tercih edilen yöntem olan  $\alpha$ -seviyelere ( $\alpha$ -kesimler) dayalı yaklaşımda  $\alpha$ -kesimler yöntemi kullanılarak BVZA modeli bir çift parametrik programa dönüştürülmektedir. Burada temel amaç, etkinlik skorlarının üyelik fonksiyonlarının alt ve üst sınırlarını belirlemektir (Hatami-Marbini ve diğerleri, 2011: 460). Böylelikle, değerlendirilen karar birimi için aralık etkinlik ölçümü yapılmaktadır. Girod (1996) tarafından, Carlsson ve Korhonen (1986)'in geliştirdiği yöntem kullanılarak

bulanık BCC modeli formüle edilmiştir. Bu çalışmada girdiler ve çıktılar için alt ve üst sınırlar belirlenmektedir. Triantis ve Girod (1998) yine Carlsson ve Korhonen (1986)'in bulanık parametrik programlama tekniğini kullanarak üç aşamalı bir model geliştirmiştir. Uygulamanın ilk aşamasında belirsiz girdi ve çıktılar üyelik fonksiyonlarıyla ve risksiz (risk-free) ve olanaksız (impossible) sınırlar ile ifade edilmektedir. Üyelik fonksiyonu üretimin hangi dereceye kadar olanaklı olduğunu göstermektedir. İkinci aşamada klasik VZA modelleri farklı  $\alpha$ -kesim değerlerine göre ilgili sınırlar ve üyelik fonksiyonu kullanılarak yeniden formüle edilmektedir. Üçüncü aşamada ise, geliştirilen modelin bulanık BCC versiyonu kullanılarak etkinlik ölçümü yapılmaktadır. Triantis, geliştirdiği bu modeli daha sonra başka bir çalışmasıyla (Triantis, 2003) radyal olmayan VZA modelleri için formüle etmiştir.

Meada ve diğerleri (1998),  $\alpha$ -seviye yaklaşımını kullanarak, değerlendirilen karar birimleri için aralık etkinlik ölçümü gerçekleştiren bir model önermiştir. Kao ve Liu (2000a),  $\alpha$ -kesimler ve Zadeh (1965)'in genişleme ilkesini kullanarak BVZA modelini DP ile çözülebilen klasik VZA modeline dönüştüren bir yöntem önermişlerdir. Söz konusu yöntemde değerlendirilen her KVB için bir çift parametrik programlama formüle edilerek etkinlik ölçümlerinin üyelik fonksiyonları elde edilmektedir. Sınırlandırılmış ve kesin değerli verilere sahip bulanık ortamlarda etkinlik ölçümü yapabilen Kao-Liu modelinin algoritması aşağıdaki gibidir.

### 3.2.2.2.1. Kao-Liu Modeli

Bulanık ortamda etkinliği ölçülmek istenen  $n$  sayıda KVB'nin sırasıyla  $\tilde{X}_{ij}$  ve  $\tilde{Y}_{rj}$  ile ifade edilen girdi ve çıktı değişkenleri sırasıyla  $\mu_{\tilde{X}_{ij}}$  ve  $\mu_{\tilde{Y}_{rj}}$  üyelik fonksiyonuna sahip bulanık kümelerle gösterilmektedir. Kesin değerli veriler kendi içinde tek bir değere sahip bozulan (degenerated) üyelik fonksiyonlarıyla gösterilebildiği için tüm gözlemlerin bulanık olduğu varsayılmaktadır. Buna göre, bulanık VZA modeli aşağıdaki gibi gösterilebilir (Kao ve Liu, 2000: 431).

$$\begin{aligned}
\tilde{E}_k &= \max \frac{\sum_{r=1}^s u_r \tilde{Y}_{rk}}{\sum_{i=1}^m v_i \tilde{X}_{ik}} \\
\sum_{r=1}^s u_r \tilde{Y}_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i \tilde{X}_{ij} &\leq 1 \quad j = 1, \dots, n \\
v_i, u_r &\geq \varepsilon \quad i = 1, \dots, m; r = 1, \dots, s
\end{aligned} \tag{3.14}$$

$S(\tilde{X}_{ij})$  ve  $S(\tilde{Y}_{rj})$  sırasıyla  $\tilde{X}_{ij}$  ve  $\tilde{Y}_{rj}$ 'nin destek kümelerini göstermek üzere  $\tilde{X}_{ij}$  ve  $\tilde{Y}_{rj}$  değişkenlerinin  $\alpha$ -kesimleri aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır.

$$(X_{ij})_\alpha = \{x_{ij} \in S(\tilde{X}_{ij}) \mid \mu_{\tilde{X}_{ij}}(x_{ij}) \geq \alpha\}, \quad \forall i, j \tag{3.15a}$$

$$(Y_{rj})_\alpha = \{y_{rj} \in S(\tilde{Y}_{rj}) \mid \mu_{\tilde{Y}_{rj}}(y_{rj}) \geq \alpha\}, \quad \forall i, j \tag{3.15b}$$

Yukarıdaki denklemlerde yer alan  $(X_{ij})_\alpha$  ve  $(Y_{rj})_\alpha$ 'nın kesin kümeler olduğuna dikkat edilmelidir. Girdi ve çıktı değişkenleri,  $\alpha$ -seviye kümeleri kullanılarak güven aralıklarının değişik düzeyleriyle ifade edilebilirler. Buna göre Eşitlik (3.15a) ve Eşitlik (3.15b) ile tanımlanan  $\alpha$ -kesimleri kesin aralıklar olup sırasıyla aşağıdaki biçimde gösterilebilirler.

$$(X_{ij})_\alpha = \left[ \min\{x_{ij} \in S(\tilde{X}_{ij}) \mid \mu_{\tilde{X}_{ij}}(x_{ij}) \geq \alpha\}, \max_{x_{ij} \in S(\tilde{X}_{ij})} \{x_{ij} \mid \mu_{\tilde{X}_{ij}}(x_{ij}) \geq \alpha\} \right] \tag{3.16a}$$

$$(Y_{rj})_\alpha = \left[ \min\{y_{rj} \in S(\tilde{Y}_{rj}) \mid \mu_{\tilde{Y}_{rj}}(y_{rj}) \geq \alpha\}, \max_{y_{rj} \in S(\tilde{Y}_{rj})} \{y_{rj} \mid \mu_{\tilde{Y}_{rj}}(y_{rj}) \geq \alpha\} \right] \tag{3.16b}$$

Zadeh'in genişleme ilkesine göre  $KVB_k$ 'nin etkinlik skorunun üyelik fonksiyonu aşağıdaki notasyonla ifade edilmektedir.

$$\mu_{E_k}(z) = \sup_{x,y} \min \left\{ \mu_{\tilde{X}_{ij}}(x_{ij}), \mu_{\tilde{Y}_{rj}}(y_{rj}), \forall i, j, r \mid z = E_k(x, y) \right\} \tag{3.17}$$

Kao-Liu modelinde üyelik fonksiyonu  $\mu_{E_k}^-$ 'nin oluşturulması için  $\alpha$ -kesimler yaklaşımı önerilmektedir. Buna göre  $\mu_{E_k}^-(z) = \alpha$ 'nın sağlanması için  $\mu_{\tilde{X}_{ij}}^-(x_{ij}) \geq \alpha, \mu_{\tilde{Y}_{rj}}^-(y_{rj}) \geq \alpha$  ve en az bir  $\mu_{\tilde{X}_{ij}}^-(x_{ij})$  veya  $\mu_{\tilde{Y}_{rj}}^-(y_{rj})$ 'nin  $\alpha$ 'ya eşit olması gerekmektedir.  $0 < \alpha_2 < \alpha_1 < 1$  için;

$[(X_{ij})_{\alpha_1}^L, (X_{ij})_{\alpha_1}^U] \subseteq [(X_{ij})_{\alpha_2}^L, (X_{ij})_{\alpha_2}^U]$  ve  $[(Y_{rj})_{\alpha_1}^L, (Y_{rj})_{\alpha_1}^U] \subseteq [(Y_{rj})_{\alpha_2}^L, (Y_{rj})_{\alpha_2}^U]$  elde edilir. Bu nedenle,  $\mu_{\tilde{X}_{ij}}^-(x_{ij}) \geq \alpha, \mu_{\tilde{X}_{ij}}^-(x_{ij}) = \alpha$  ve  $\mu_{\tilde{Y}_{rj}}^-(y_{rj}) \geq \alpha, \mu_{\tilde{Y}_{rj}}^-(y_{rj}) = \alpha$  notasyonları sırasıyla aynı tanım alanına sahiptir. Üyelik fonksiyonu  $\mu_{\tilde{E}_k}^-(z)$ 'nin bulunması için  $\tilde{E}_k$ 'nin  $\alpha$ -kesiminin alt ve üst sınırlarının hesaplanması gerek ve yeterli olmaktadır.  $KVB_k$  için herhangi bir  $\alpha$ -kesimin etkinlik skorunun alt ve üst sınırları Eşitlik (3.17)'ye dayalı olarak;

$$\begin{aligned} (E_k)_\alpha^L &= \min E_k(x, y) \\ (X_{ij})_\alpha^L &\leq x_{ij} \leq (X_{ij})_\alpha^U, \quad \forall i, j \\ (Y_{rj})_\alpha^L &\leq y_{rj} \leq (Y_{rj})_\alpha^U, \quad \forall i, j \end{aligned} \quad (3.18a)$$

$$\begin{aligned} (E_k)_\alpha^U &= \max E_k(x, y) \\ (X_{ij})_\alpha^L &\leq x_{ij} \leq (X_{ij})_\alpha^U, \quad \forall i, j \\ (Y_{rj})_\alpha^L &\leq y_{rj} \leq (Y_{rj})_\alpha^U, \quad \forall i, j \end{aligned} \quad (3.18b)$$

şeklinde formüle edilmektedir. Bu eşitliklerin tam açılımları aşağıdaki gibidir.

$$(E_k)_\alpha^L = \min_{\substack{(X_{ij})_\alpha^L \leq x_{ij} \leq (X_{ij})_\alpha^U \\ (Y_{rj})_\alpha^L \leq y_{rj} \leq (Y_{rj})_\alpha^U \\ \forall i, j, k}} \begin{cases} E_k = \max \sum_{r=1}^s u_r y_{rk} / \sum_{i=1}^m v_i x_{ik} \\ \sum_{r=1}^s u_r y_{rj} / \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \leq I \\ u_r, v_i \geq \varepsilon > 0 \end{cases} \quad (3.19a)$$

$$(E_k)_\alpha^U = \max_{\substack{(X_{ij})_\alpha^L \leq x_{ij} \leq (X_{ij})_\alpha^U \\ (Y_{ij})_\alpha^L \leq y_{ij} \leq (Y_{ij})_\alpha^U \\ \forall i,j,k}} \begin{cases} E_k = \max \sum_{r=1}^s u_r y_{rk} / \sum_{i=1}^m v_i x_{ik} \\ \sum_{r=1}^s u_r y_{rj} / \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \leq 1 \\ u_r, v_i \geq \varepsilon > 0 \end{cases} \quad (3.19b)$$

KVB<sub>k</sub>'nin etkinliği ölçülmek istenildiğinde yukarıdaki iki aşamalı model tek aşamalı klasik modele dönüştürülmektedir. Bunun için,  $k$  karar biriminin herhangi bir  $\alpha$ -kesimindeki etkinlik değerinin en düşük değeri ya da alt sınırı, bu karar biriminin çıktı düzeyinin minimum değeri ile diğer karar birimlerinin çıktı düzeylerinin maksimum değerlerinin ve bu karar biriminin girdi düzeyinin maksimum değeri ile diğer karar birimlerinin girdi düzeylerinin minimum değerlerinin alınmasıyla hesaplanmaktadır. KVB<sub>k</sub>'nin etkinlik değerinin en yüksek değeri ya da üst sınırı ise alt sınır hesabının tersine olarak bu karar biriminin çıktı düzeyinin maksimum değeri ile diğer karar birimlerinin çıktı düzeylerinin minimum değerlerinin ve  $k$  karar biriminin girdi düzeyinin minimum değeri ile diğer karar birimlerinin girdi düzeylerinin maksimumunu alınarak hesaplanmaktadır. Buna göre Eşitlik (3.19a) ve (3.19b) ile gösterilen iki aşamalı model aşağıdaki gibi tek aşamalı klasik VZA modeline dönüştürülmektedir (Kao ve Liu, 2000: 432):

$$(E_k)_\alpha^L = \max \begin{cases} \sum_{r=1}^s u_r (Y_{rk})_\alpha^L / \sum_{i=1}^m v_i (X_{ik})_\alpha^U \\ \sum_{r=1}^s u_r (Y_{rk})_\alpha^L / \sum_{i=1}^m v_i (X_{ik})_\alpha^U \leq 1 \\ \sum_{r=1}^s u_r (Y_{rj})_\alpha^U / \sum_{i=1}^m v_i (X_{ij})_\alpha^L \leq 1 & j = 1, \dots, n ; j \neq k \\ u_r, v_i \geq \varepsilon > 0 & r = 1, \dots, s ; i = 1, \dots, m \end{cases} \quad (3.20a)$$

$$(E_k)_\alpha^U = \max \begin{cases} \sum_{r=1}^s u_r (Y_{rk})_\alpha^U / \sum_{i=1}^m v_i (X_{ik})_\alpha^L \\ \sum_{r=1}^s u_r (Y_{rk})_\alpha^U / \sum_{i=1}^m v_i (X_{ik})_\alpha^L \leq 1 \\ \sum_{r=1}^s u_r (Y_{rj})_\alpha^L / \sum_{i=1}^m v_i (X_{ij})_\alpha^U \leq 1 & j = 1, \dots, n ; j \neq k \\ u_r, v_i \geq \varepsilon > 0 & r = 1, \dots, s ; i = 1, \dots, m \end{cases} \quad (3.20b)$$

Yukarıdaki klasik VZA modeli DP modeline dönüştürülerek  $\alpha \in (0,1]$  aralığında farklı olabilirlik düzeyleri için etkinlik skorları matematiksel programlama ile hesaplanabilmektedir. Buna göre  $KVB_k$ 'nin alt sınırının doğrusal modeli aşağıdaki gibidir.

$$\begin{aligned}
(E_k)_\alpha^L &= \max \sum_{r=1}^s u_r (Y_{rk})_\alpha^L \\
&\sum_{i=1}^m v_i (X_{ik})_\alpha^U = 1 \\
&\sum_{r=1}^s u_r (Y_{rk})_\alpha^L - \sum_{i=1}^m v_i (X_{ik})_\alpha^U \leq 0 \\
&\sum_{r=1}^s u_r (Y_{rj})_\alpha^U - \sum_{i=1}^m v_i (X_{ij})_\alpha^L \leq 0 \quad j = 1, \dots, n ; j \neq k \\
&u_r, v_i \geq \varepsilon \quad r = 1, \dots, s ; i = 1, \dots, m
\end{aligned} \tag{3.21a}$$

$KVB_k$ 'nin üst sınırının doğrusal modeline ait notasyon ise aşağıda gösterilmektedir.

$$\begin{aligned}
(E_k)_\alpha^U &= \max \sum_{r=1}^s u_r (Y_{rk})_\alpha^U \\
&\sum_{i=1}^m v_i (X_{ik})_\alpha^L = 1 \\
&\sum_{r=1}^s u_r (Y_{rk})_\alpha^U - \sum_{i=1}^m v_i (X_{ik})_\alpha^L \leq 0 \\
&\sum_{r=1}^s u_r (Y_{rj})_\alpha^L - \sum_{i=1}^m v_i (X_{ij})_\alpha^U \leq 0 \quad j = 1, \dots, n ; j \neq k \\
&u_r, v_i \geq \varepsilon \quad r = 1, \dots, s ; i = 1, \dots, m
\end{aligned} \tag{3.21b}$$

Kao-Liu modelinin ve genel olarak  $\alpha$ -kesimlere dayalı yaklaşımın en önemli dezavantajı elde edilen etkinlik skorlarının bulanık sayılar olması nedeniyle karar birimlerini performansa göre sıralayabilmek için söz konusu bulanık sayıların sıralanması problemidir. Literatürde bulanık sayıların sıralanması amacıyla birçok yöntem geliştirilmekle beraber bu yöntemlerin büyük çoğunluğu aynı problem için farklı sıralamalar vermektedir. Literatürdeki bulanık sıralama yaklaşımlarını temel olarak olasılık (probability) teorisine dayalı yöntemler ve olabilirlik (possibility) teorisine dayalı yöntemler şeklinde iki kategoriye ayırmak mümkündür. Söz konusu sıralama tekniklerinin çoğu olasılık teorisine dayalı olarak üyelik fonksiyonu eğrileriyle ilgili olan olasılık endekslerini kullanmaktadır. Jain (1976; 1977), Baas ve Kwakarnaak (1977), Adamo

(1980), Baldwin ve Guild (1979) ile Dubois ve Prade (1983) tarafından önerilen teknikler bu grupta yer almaktadır. Hamming mesafesini (Hamming distance) kullanan olabilirlik teorisine dayalı tekniklere örnek olarak ise Tucker (1967), Chang (1981), Yager (1981) ve Kaufmann (1986)'ın yaklaşımları gösterilebilir (Lee ve Li, 1988).

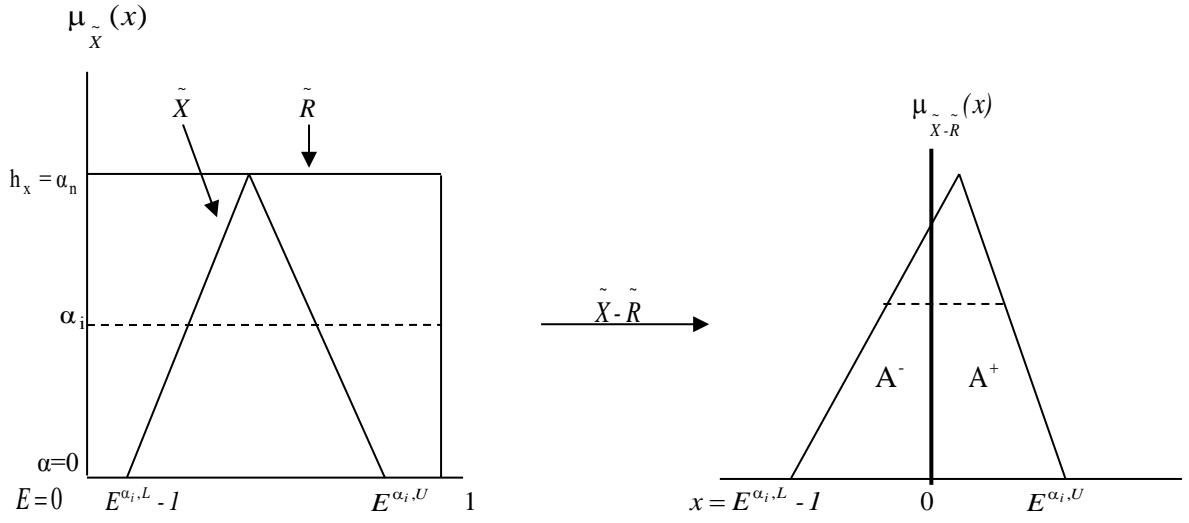
Kao ve Liu (2000) çalışmalarında farklı  $\alpha$ -kesimlere göre elde ettikleri üyelik fonksiyonlarını sıralamak amacıyla Chen ve Klein (1997) tarafından geliştirilen bulanık sıralama yöntemini kullanmışlardır. Aşağıda söz konusu yöntemle ilgili bilgi verilmektedir.

### 3.2.2.2.2. Chen ve Klein Bulanık Sıralama Yaklaşımı

Chen ve Klein'in bulanık sıralama tekniği Huang (1989), Choobineh ve Li (1993) ile Kaufmann ve Gupta (1991) tarafından geliştirilen bulanık sıralama yaklaşımlarının bir kombinasyonudur. Bu yöntemde ilk olarak her bir bulanık sayı için referans dikdörtgeni (referential rectangle) oluşturmak amacıyla Choobineh ve Li (1993) tarafından önerilen iki kesin (crisp) değerli maksimizasyon ve minimizasyon noktası tanımlanmaktadır. Daha sonra ise referans dikdörtgeni ile ilgili bulanık sayı arasındaki matematiksel farkı gösteren sıralama endeksi hesaplanmaktadır (Chen ve Lu, 2001: 1590). Bulanık bir sayı olan referans dikdörtgeni  $\tilde{R}$ , "daha büyüğü daha iyi" kavramına dayanmakta ve normalizasyon amaçlı kullanılmaktadır. Başka bir deyişle, karşılaştırılan iki bulanık sayıdan sağ tarafta daha fazla alana sahip olanı daha iyi kabul edilmektedir.

$\tilde{X}$  bulanık sayısının üyelik fonksiyonu olan  $\mu_{\tilde{X}}(x)$ 'in maksimizasyon noktası  $U_{\tilde{X}}$  ile gösterilmekte ve  $h_{\tilde{X}}$ ,  $\tilde{X}$  sayısının yüksekliğini göstermek üzere  $\mu_{U_{\tilde{X}}}(x) = h_{\tilde{X}}/c$  şeklinde tanımlanmaktadır. Bu tanımda  $\max_{\alpha} \{\mu_{\tilde{X}_{\alpha}}^R(x)\} = d^* \leq d \leq \infty$  olmaktadır. Üyelik fonksiyonu  $\mu_{\tilde{X}}(x)$ 'in minimizasyon noktası ise  $L_{\tilde{X}}$  notasyonu ile gösterilmekte ve  $\mu_{L_{\tilde{X}}}(x) = h_{\tilde{X}}/c$  şeklinde tanımlanmaktadır. Bu tanımda  $\min_{\alpha} \{\mu_{\tilde{X}_{\alpha}}^R(x)\} = 0 \leq \alpha \leq \alpha^*$  olmaktadır (Chen ve Klein, 1997: 30). Chen ve Klein'in bulanık sıralama endeksi'nin şekilsel gösterimi aşağıdaki gibidir.

**Şekil 9: Chen ve Klein'in Bulanık Sıralama Endeksi'nin Gösterimi**



**Kaynak:** Cadenas ve diğerleri, 2010: 517-518

Şekil 9'da  $\tilde{X} - \tilde{R}$ 'nin üyelik fonksiyonu  $\mu_{\tilde{X}-\tilde{R}}(x)$  ile ifade edilmektedir.  $A^+$ ,  $\tilde{X} - \tilde{R}$ 'nin pozitif alanını,  $A^-$  ise  $\tilde{X} - \tilde{R}$ 'nin negatif alanını göstermektedir. Pozitif alanın daha büyük negatif alanın ise daha küçük değer alması istenildiğinden  $k$  karar biriminin sıralamasını gösteren endeks aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$I_k = \frac{A^+}{A^+ + A^-} \quad (3.22)$$

Sıralama endeksinin değeri maksimizasyon noktasında yer alan  $c$  değerinden ve minimizasyon noktasında yer alan  $d$  değerinden etkilenmektedir. Söz konusu  $c$  ve  $d$  değerleri sırasıyla karar vericinin iyimser veya kötümser bakış açısını yansıtmaktadır.

$\tilde{X}$  ve  $\tilde{R}$  bulanık sayılarının  $\alpha_i$ -kesim noktasındaki fark aralığı aralık çıkarma işlemi kullanılarak  $[E^{\alpha_i, L}, E^{\alpha_i, U}] - [0, 1] = [E^{\alpha_i, L} - 1, E^{\alpha_i, U}]$  eşitliğiyle hesaplanmaktadır. Buna göre karar birimi  $k$  için sıralama endeksini veren formül aşağıda gösterildiği gibidir.



$$I_k = \frac{\sum_{i=0}^n ((E_k)_{a_i}^U - c)}{\left[ \sum_{i=0}^n ((E_k)_{a_i}^U - c) - \sum_{i=0}^n ((E_k)_{a_i}^L - d) \right]}, \quad n \rightarrow \infty \quad (3.23)$$

Burada,

$I_k$  = Karar birimi k'nın sıralama endeksini

$n = [0,1]$  aralığında sonsuz sayıda değer alabilen  $\alpha$ -kesimlerin sayısını

$c = \min_{i,j} \{(E_{ji})_{a_i}^L\}$ , tüm KVB'lerin tüm  $\alpha$ -kesimlerindeki etkinlik skorlarının alt sınırlarının minimumunu,

$d = \max_{i,j} \{(E_{ji})_{a_i}^U\}$ , tüm KVB'lerin tüm  $\alpha$ -kesimlerindeki etkinlik skorlarının üst sınırlarının maksimumunu göstermektedir.

$$\sum_{i=1}^m E^{\alpha_i, U} \text{ ve } \sum_{i=1}^m (E^{\alpha_i, L} - 1) \text{ notasyonları ise sırasıyla Eşitlik (3.21)'de yer alan } A^+ \text{ ve}$$

$A^-$  alanlarını ifade etmektedir. Etkinlik skorlarını ifade eden bulanık sayıların tümü  $[0, 1]$  aralığında olduğunda Eşitlik (3.22)'deki  $c$  ve  $d$  notasyonları sırasıyla 0 ve 1 değerini alacağından Eşitlik (3.23) aşağıdaki gibi yeniden formüle edilmektedir.

$$I_k = \frac{\sum_{i=0}^n ((E_k)_{a_i}^U)}{\left[ \sum_{i=0}^n ((E_k)_{a_i}^U) - \sum_{i=0}^n ((E_k)_{a_i}^L - 1) \right]}, \quad n \rightarrow \infty \quad (3.24)$$

Eşitlik (3.23)'ün matematiksel olarak daha basit bir formu olan eşitlik (3.24)'de ki  $I_k$  skoru  $[0,1]$  arasında değer almakta ve klasik VZA modelinde olduğu gibi daha yüksek  $I_k$  skoruna sahip karar birimi daha etkin olarak değerlendirilmektedir.

Kao ve Liu (2000b) çalışmalarında, eksik veri (missing data) durumunda bulanık küme teorisindeki üyelik fonksiyonu kavramına dayalı olarak etkinlik ölçümü gerçekleştirmek amacıyla Kao ve Liu modelini kullanmıştır. Taiwan'da ki 24 üniversite kütüphanesinin etkinliğinin ölçüldüğü çalışmada eksik verilerin üçgen üyelik

fonksiyonlarını oluşturmak amacıyla gözlenen verilerin minimum, medyan ve maksimum değerleri kullanılmıştır. En kötümser değer olarak da adlandırılan minimum değerler karar birimlerinin etkinlik skorlarının alt sınırı olarak, en iyimser değer olarak da adlandırılan maksimum değerler ise etkinlik skorlarının üst sınırı olarak değerlendirilmiştir. En olası değer olan medyan değerleri ise  $\mu_{\tilde{x}_{ij}}(x_{ij})=1$  ve  $\mu_{\tilde{y}_{rj}}(y_{rj})=1$  eşitliklerini veren değerlerden oluşmuştur.

Kao ve Liu (2003), Chen (1985) tarafından önerilen bulanık sıralama yaklaşımı olan maksimum set-minimum set yöntemini Kao-Liu modeliyle bütünleştirerek bulanık ortamda etkinlik ölçümü için melez bir model geliştirmişlerdir. Kao ve Liu (2000b) çalışmasında yer alan veri setinin kullanıldığı çalışmanın ilk aşamasında Kao-Liu modeliyle etkinlik skorları hesaplanmaktadır. İkinci aşamada ise bulanık etkinlik skorlarını sıralamak amacıyla Chen (1985)'in maksimum set-minimum set yaklaşımı kullanılmaktadır. Ancak burada Chen'in yönteminden farklı olarak etkinlik skorları için üyelik fonksiyonlarının hesaplanmasının gerekmediği bütünleşik modelde bulanık sıralama amacıyla her bir karar birimi için doğrusal olmayan iki model kurulmaktadır.

Entani ve diğerleri (2002), klasik VZA modellerinin karar birimlerinin etkinliğini sadece iyimser bakış açısından ölçmesinden hareketle iyimser ve kötümser bakış açılarının birlikte dikkate alındığı bir aralık etkinlik modeli önermişlerdir.  $\alpha$ -kesim kümelerinin kullanıldığı söz konusu modelde iyimser bakış açısı ile etkinlik skorlarının üst sınırlarını hesaplamak için Kao-Liu modelindeki üst sınır VZA modelinden, kötümser bakış açısı ile etkinlik skorlarının alt sınırlarını hesaplamak için ise Cooper'ın IDEA yönteminden yararlanılmıştır.

Saati ve diğerleri (2002), bulanık ortamda etkinlik ölçümü için asimetrik üçgensel bulanık sayıların kullanıldığı olabirlikliksel (possibilistic) programlama şeklinde bulanık bir CCR modeli geliştirmiştir. Saati-Memariani-Jahanshahloo modeli olarak bilinen modelin çözümü için bulanık CCR modeli  $\alpha$ -kesimler yaklaşımı kullanılarak aralık programlama modeline dönüştürülmektedir. Bu modelde elde edilen iki aralığın eşitlik veya eşitsizliklerinin karşılaştırılması yerine tüm kısıtları doyuran ve etkinlik skorunu maksimize eden bir değişken tanımlanmaktadır. Üçgensel bulanık sayılarla ifade edilen kesin ve sınırlandırılmış verilere sahip üretim ortamlarında etkinlik ölçümü

gerçekleştirebilen Saati-Memariani-Jahanshahloo modelinin algoritması aşağıda açıklanmaktadır.

### 3.2.2.2.3. Saati-Memariani-Jahanshahloo Modeli

Karar birimi  $k$ 'nın kullandığı bulanık girdiler  $\tilde{X}_{ij} = (x_{ij}^l, x_{ij}^m, x_{ij}^u)$  ile elde ettiği bulanık çıktılar ise  $\tilde{Y}_{rj} = (y_{rj}^l, y_{rj}^m, y_{rj}^u)$  ile gösterildiğinde Eşitlik (3.13) ile gösterilen bulanık CCR modeli aşağıdaki gibi kurulmaktadır (Saati ve diğerleri, 2002: 258).

#### Bulanık CCR Modeli

$$\begin{aligned}
 E_k &= \max \sum_{r=1}^s u_r (y_{rk}^l, y_{rk}^m, y_{rk}^u) \\
 \sum_{i=1}^m v_i (x_{ik}^l, x_{ik}^m, x_{ik}^u) &= (1, 1^m, 1^u) \\
 \sum_{r=1}^s u_r (y_{rj}^l, y_{rj}^m, y_{rj}^u) - \sum_{i=1}^m v_i (x_{ij}^l, x_{ij}^m, x_{ij}^u) &\leq 0 \quad j = 1, \dots, n \\
 v_i, u_r &\geq \varepsilon \quad i = 1, \dots, m; r = 1, \dots, s
 \end{aligned} \tag{3.25}$$

Burada,  $1^l \leq 1$  ve  $1^u \geq 1$  gerçek sayılardır.

Olabilirliksel DP formunda olan model (3.25)  $\alpha$ -kesimler yaklaşımı kullanılarak aralık programlama formuna dönüştürülmektedir. Bulanık girdi ve çıktılarının alt ve üst sınırları  $\alpha$ -kesim tekniğine göre sırasıyla aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$\begin{aligned}
 \tilde{X}_{ij} &= [\alpha x_{ij}^m + (1 - \alpha) x_{ij}^l, \alpha x_{ij}^m + (1 - \alpha) x_{ij}^u] \\
 \tilde{Y}_{rj} &= [\alpha y_{rj}^m + (1 - \alpha) y_{rj}^l, \alpha y_{rj}^m + (1 - \alpha) y_{rj}^u]
 \end{aligned} \tag{3.26}$$

Buna göre,  $k$  karar birimi için girdiye yönelik bulanık CCR modeli aşağıdaki şekli almaktadır.

$$\begin{aligned}
E_k &= \max \sum_{r=1}^s u_{rk} [\alpha y_{rk}^m + (1-\alpha)y_{rk}^l, \alpha y_{rk}^m + (1-\alpha)y_{rk}^u] \\
\sum_{i=1}^m v_i [\alpha x_{ik}^m + (1-\alpha)x_{ik}^l, \alpha x_{ik}^m + (1-\alpha)x_{ik}^u] &= [\alpha + (1-\alpha)I^l, \alpha + (1-\alpha)I^u] \quad \forall i \quad (3.27) \\
\sum_{r=1}^s u_{rj} [\alpha y_{rj}^m + (1-\alpha)y_{rj}^l, \alpha y_{rj}^m + (1-\alpha)y_{rj}^u] - \sum_{i=1}^m v_{ij} [\alpha x_{ij}^m + (1-\alpha)x_{ij}^l, \alpha x_{ij}^m + (1-\alpha)x_{ij}^u] &\leq 0 \quad \forall j \\
v_i, u_r &\geq \varepsilon \quad \forall i, r
\end{aligned}$$

Model (3.27) bir aralık programlama problemi olduğundan bazı dönüşümler yapılmadan standart yöntemlerle çözülememektedir. Saati ve diğerleri (2002) bu modelin çözümü için tüm kısıtları doyuran ve amaç fonksiyonunu maksimize eden bir değişkenin tanımlandığı iki aşamalı bir algoritma önermiştir.

*Aşama 1:* İlk aşamada aşağıda gösterildiği şekilde aralık dönüşümleri yapılmaktadır.

$$\begin{aligned}
\hat{x}_{ij} &\in [\alpha x_{ij}^m + (1-\alpha)x_{ij}^l, \alpha x_{ij}^m + (1-\alpha)x_{ij}^u] \\
\hat{y}_{rj} &\in [\alpha y_{rj}^m + (1-\alpha)y_{rj}^l, \alpha y_{rj}^m + (1-\alpha)y_{rj}^u] \\
L &\in [\alpha + (1-\alpha)I^l, \alpha + (1-\alpha)I^u]
\end{aligned} \quad (3.28)$$

Söz konusu yer değiştirmeler yapıldığında Model (3.28) aşağıdaki formu almaktadır.

$$\begin{aligned}
E_k &= \max \sum_{r=1}^s u_r \hat{y}_{rk} \\
\sum_{i=1}^m v_i \hat{x}_{ik} &= L \\
\sum_{r=1}^s u_r \hat{y}_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i \hat{x}_{ij} &\leq 0 \quad \forall j \\
\alpha x_{ij}^m + (1-\alpha)x_{ij}^l &\leq \hat{x}_{ij} \leq \alpha x_{ij}^m + (1-\alpha)x_{ij}^u \quad \forall i, j \\
\alpha y_{rj}^m + (1-\alpha)y_{rj}^l &\leq \hat{y}_{rj} \leq \alpha y_{rj}^m + (1-\alpha)y_{rj}^u \quad \forall r, j \\
\alpha + (1-\alpha)I^l &\leq L \leq \alpha + (1-\alpha)I^u \\
v_{ik}, u_{rk} &\geq 0 \quad \forall i, r
\end{aligned} \quad (3.29)$$

*Aşama 2:* Model (3.29) doğrusal olmayan programlama formunda olduğundan ikinci aşamada aşağıda belirtilen değişken dönüşümleri yapılarak DP problemine dönüştürülmektedir.

$$\begin{aligned}\bar{x}_{ij} &= v_i \hat{x}_{ij} \\ \bar{y}_{ij} &= u_r \hat{y}_{ij}\end{aligned}\tag{3.30}$$

Söz konusu doğrusal modele ait notasyon aşağıda gösterildiği gibidir.

$$\begin{aligned}E_k &= \max \sum_{r=1}^s \bar{y}_{rk} \\ \sum_{i=1}^m \bar{x}_{ik} &= L \\ \sum_{r=1}^s \bar{y}_{rj} - \sum_{i=1}^m \bar{x}_{ij} &\leq 0 \quad \forall j \\ v_i (\alpha x_{ij}^m + (1-\alpha)x_{ij}^l) &\leq \bar{x}_{ij} \leq v_i (\alpha x_{ij}^m + (1-\alpha)x_{ij}^u) \quad \forall i, j \\ u_r (\alpha y_{rj}^m + (1-\alpha)y_{rj}^l) &\leq \bar{y}_{rj} \leq u_r (\alpha y_{rj}^m + (1-\alpha)y_{rj}^u) \quad \forall r, j \\ \alpha + (1-\alpha)l^l &\leq L \leq \alpha + (1-\alpha)l^u \\ v_i, u_r &\geq 0 \quad \forall i, r\end{aligned}\tag{3.31}$$

Ancak model (3.31)'in ilk iki kısıtı birlikte dikkate alındığında ( $l^u > 1$ ) olması durumunda bazı karar birimlerinin etkinlik skorları “1” değerinden büyük olabilecektir. Bu durumu önlemek amacıyla Model (3.31)'in son kısıtı aşağıdaki eşitlikle yer değiştirilir.

$$\alpha + (1-\alpha)l^l \leq L \leq 1\tag{3.32}$$

Amaç fonksiyonu referans alındığında model (3.31)'in son kısıtı gereksiz olmakta ve L değişkeni “1” değerini almaktadır. Bu değişken dönüşümleriyle beraber model (3.31)'e denk olan Saati-Memariani-Jahanshahloo modeli eşitlik (3.33) ile gösterildiği gibidir.

*Saati-Memariani-Jahanshahloo Modeli*

$$\begin{aligned}
 E_k &= \max \sum_{r=1}^s \bar{y}_{rk} \\
 \sum_{i=1}^m \bar{x}_{ik} &= 1 \\
 \sum_{r=1}^s \bar{y}_{rj} - \sum_{i=1}^m \bar{x}_{ij} &\leq 0 \quad \forall j \\
 v_i (\alpha x_{ij}^m + (1 - \alpha) x_{ij}^l) &\leq \bar{x}_{ij} \leq v_i (\alpha x_{ij}^m + (1 - \alpha) x_{ij}^u) \quad \forall i, j \\
 u_r (\alpha y_{rj}^m + (1 - \alpha) y_{rj}^l) &\leq \bar{y}_{rj} \leq u_r (\alpha y_{rj}^m + (1 - \alpha) y_{rj}^u) \quad \forall r, j \\
 v_i, u_r &\geq 0 \quad \forall i, r
 \end{aligned} \tag{3.33}$$

Model (3.33) bir parametrik DP modelidir. Saati-Memariani-Jahanshahloo Modeli her  $\alpha \in (0,1]$  değeri için optimal çözüm sunmaktadır.  $\alpha = 1$  olduğunda ise model (3.33) klasik CCR modeline dönüşmektedir. Ayrıca bu modelin çözümü sonucu elde edilen etkinlik skoru Kao-Liu modelindeki üst sınıra ait etkinlik skoru olan  $(E_k)_\alpha^U$  ile aynı olmaktadır.

Saati ve Memariani (2005), yukarıda açıklanan Saati-Memariani-Jahanshahloo modeline dayalı olarak faktör ağırlıklarının belli aralıklar içinde sınırlandırıldığı ve tüm karar birimleri için ortak bir ağırlık kümesinin elde edildiği bir BVZA modeli önermişlerdir. Söz konusu model ile üçgen üyelik fonksiyonuna sahip sınırlandırılmış (aralık) ve kesin verilerin kullanıldığı üretim ortamlarında etkinlik ölçümü yapılabilmektedir. Jahanshahloo ve diğerleri (2007a) çalışmalarında, Jahanshahloo ve diğerleri (2004a)'nin etkin karar birimlerini performanslarına göre sıralamak amacıyla  $l_1$ -norm yaklaşımına dayalı olarak geliştirdiği klasik VZA modelini bulanıklaştırmışlardır. Girdi ve çıktıların yamuk bulanık sayılarla ifade edildiği uygulama sonucu, bulanık  $l_1$ -norm modeli kesin değerli parametrik modele dönüştürülmektedir. Allahviranloo ve diğerleri (2007) çalışmalarında, ÖGSG varsayımı altında bulanık üretim imkânları kümesinin kullanıldığı bir girdi yönlü bulanık CCR modeli önermişlerdir. Söz konusu modelde  $\alpha$ -kesim yaklaşımı kullanılarak karar birimlerinin etkinlik skorlarının alt ve üst sınırları belirlenmektedir. Liu (2008) çalışmasında,  $\alpha$ -kesimler ve Zadeh'in genişleme ilkesine dayalı olarak karar birimlerinin etkinlik skorlarının alt ve üst sınırlarını belirlemek amacıyla bir çift iki-düzeyleli matematiksel programlama modeli geliştirmiştir. Bu program

çifti daha sonra etkinlik ölçümü amacıyla güven bölgesine dayalı bir çift tek-düzeyle klasik VZA modeline dönüştürülmektedir. Liu, farklı  $\alpha$ -seviyelere göre elde ettiği bulanık sayıları sıralamak amacıyla Chen ve Klein modeli'ni kullanmıştır. Karsak (2008) sıralı, kesin ve bulanık girdi ve çıktı değişkenlerine sahip esnek üretim sistemlerinin etkinliğini ölçmeyi amaçladığı çalışmasında Cook ve diğerleri (1996) tarafından geliştirilen modelin genişletilmiş bir versiyonunu önermiştir. Söz konusu modelin çözümü sonucunda iyimser ve kötümser bakış açılarıyla KVB'lerin etkinlik skorlarının üst ve alt sınırları hesaplanmaktadır. Çalışmanın uygulama kısmında, önerilen model ile Kao-Liu modeli karşılaştırılmış ve önerilen modelin hesaplama açısından Kao-Liu modelinden daha pratik bir yöntem olduğu sonucuna varılmıştır. Azadeh ve diğerleri (2008),  $\alpha$ -kesimler yaklaşımını uygulayarak bulanık CCR modelini bir çift aralık programlama problemine dönüştüren bir model geliştirmişlerdir. Karar birimlerinin etkinlik skorlarının alt ve üst sınırlarının farklı  $\alpha$ -kesimlere göre belirlendiği çalışmada önerilen model kullanılarak enerji üretim sektöründe örnek uygulama yapılmıştır. Saati ve Memariani (2009),  $\alpha$ -kesimler yaklaşımına dayalı bir bulanık aylak tabanlı VZA modeli geliştirmişlerdir. Çalışmada önerdikleri model, Saati-Memariani-Jahanshahloo modeli kullanılarak DP modeline dönüştürülmüştür. Çalışmanın uygulama kısmında, geliştirdikleri modeli Jahanshahloo ve diğerleri (2004a) tarafından önerilen modelle karşılaştırmışlardır. Puri ve Yadav (2013) çalışmalarında,  $\alpha$ -kesimler yaklaşımına dayalı bir bulanık karışım etkinlik modeli önermişlerdir. Çalışmada ayrıca, bulanık girdi ve çıktılar arasındaki korelasyon katsayılarının ve aralıklarının beklenen değerlerini hesaplayan bir bulanık korelasyon katsayısı yöntemi de geliştirilmiştir. Önerilen model ile Hindistan'da faaliyet gösteren bir kamu bankasının şubelerinin etkinlik ölçümü yapılmıştır.

$\alpha$ -seviyelere dayalı yaklaşımda bulanık ortamda karar birimlerinin etkinlik ölçümü gerçekleştirilmekte ancak elde edilen bulanık etkinlik skorlarının sıralanmasına ihtiyaç duyulmaktadır (Zerafat-Angiz ve diğerleri, 2010: 5153).

### **3.2.2.3. Guo-Tanaka Modeli**

BVZA literatüründe en çok dikkat çeken bir diğer yaklaşım olan bulanık sıralama yaklaşımında temel amaç, karar birimlerinin bulanık etkinlik skorlarını hesaplamak için

bulanık sayıların sıralanmasını gerektiren bulanık doğrusal programlamayı kullanmaktır. Literatürde ilk bulanık sıralama modeli Guo ve Tanaka (2001) tarafından önerilmiştir.

Bulanık CCR modelini temel alan Guo-Tanaka modelinde önceden bir olabilirlik seviyesi tanımlanmakta ve bulanık sayıları karşılaştırma kuralı kullanılarak bulanık eşitlik ve eşitsizlikleri içeren bulanık kısıtların tamamı kesin kısıtlara dönüştürülmektedir (Wang, 2005: 359; Lertworasirikul, 2003: 383). Simetrik üçgensel üyelik fonksiyonuyla ifade edilen sınırlandırılmış ve kesin verilere sahip karar birimlerinin etkinlik ölçümünü gerçekleştiren girdi yönlü bulanık CCR modeli aşağıda gösterildiği gibidir (Guo ve Tanaka, 2001: 152).

*Bulanık CCR Modeli*

$$\begin{aligned}
 \tilde{E}_k &= \max \sum_{r=1}^s u_r \tilde{Y}_{rk} \\
 \sum_{i=1}^m v_i \tilde{X}_{ik} &\approx \tilde{1} \\
 \sum_{r=1}^s u_r \tilde{Y}_{rj} &\approx \leq \sum_{i=1}^m v_i \tilde{X}_{ij} \quad j = 1, \dots, n \\
 v_i, u_r &\geq 0 \quad i = 1, \dots, m; r = 1, \dots, s
 \end{aligned} \tag{3.34}$$

Yukarıdaki modelde görüldüğü gibi “1” sayısı ve kısıtlardaki eşitsizlikler bulanıklaştırılmıştır. Guo-Tanaka modelinin çözümünde dört aşamalı bir algoritma izlenmektedir.

*Aşama 1.* Guo-Tanaka modelinde ilk olarak karar birimlerine ait bulanık girdi ve çıktı değişkenlerinin ve “1” sayısının  $\alpha$ -kesimleri oluşturulmaktadır.

Etkinliği ölçülecek  $n$  adet karar biriminin  $m$  sayıda simetrik üçgensel bulanık girdisi  $\tilde{X}_{ij} = (x_{ij}, c_{ij})$  ile  $s$  sayıda simetrik üçgensel çıktısı  $\tilde{Y}_{rj} = (y_{rj}, d_{rj})$  ile gösterilsin. Bu notasyonda  $x_{ij}$  ve  $y_{rj}$  merkez değerleri ( $m$ ) belirtirken  $c_{ij}$  ve  $d_{rj}$  ise sınır değerlerini ifade etmektedir. Modelde yer alan  $\tilde{1}$  sayısı, ( $e < 1$ ) önceden tanımlı sınır değerini göstermek üzere,  $\tilde{1} = (1, e)$  şeklinde gösterilmektedir. Bulanık girdi  $\tilde{X}_{ij}$ , bulanık çıktı  $\tilde{Y}_{rj}$  ve  $\tilde{1}$  sayısının alt ve üst sınırlarının  $\alpha$ -seviye cinsinden ifadesi aşağıdaki gibidir.



$$\begin{aligned}
\tilde{X}_{ij} &= [x_{ij}^m - (1 - \alpha)c_{ij}, x_{ij}^m + (1 - \alpha)c_{ij}] \\
\tilde{Y}_{rj} &= [y_{rj}^m - (1 - \alpha)d_{rj}, y_{rj}^m + (1 - \alpha)d_{rj}] \\
\tilde{I} &= [1 - (1 - \alpha)e, 1 + (1 - \alpha)e]
\end{aligned} \tag{3.35}$$

Buna göre, KVB<sub>k</sub> için sınır değerleri cinsinden girdi yönlü CCR modeli aşağıdaki gibi kurulmaktadır (Oruç, 2008: 90).

$$\begin{aligned}
(\tilde{E}_k)_\alpha &= \max \sum_{r=1}^s u_r [y_{rk}^m - (1 - \alpha)d_{rk}, y_{rk}^m + (1 - \alpha)d_{rk}] \\
\sum_{i=1}^m v_i [x_{ik}^m - (1 - \alpha)c_{ik}, x_{ik}^m + (1 - \alpha)c_{ik}] &\approx [1 - (1 - \alpha)e, 1 + (1 - \alpha)e] \\
\sum_{r=1}^s u_r [y_{rj}^m - (1 - \alpha)d_{rj}, y_{rj}^m + (1 - \alpha)d_{rj}] &\approx \sum_{i=1}^m v_i [x_{ij}^m - (1 - \alpha)c_{ij}, x_{ij}^m + (1 - \alpha)c_{ij}] \quad \forall j \\
v_i, u_r &\geq 0 \quad \forall i, \forall r
\end{aligned} \tag{3.36}$$

*Aşama 2.* İkinci aşamada ise kısıtlardaki bulanık eşitsizlikler kesin eşitsizlik haline getirilmektedir.

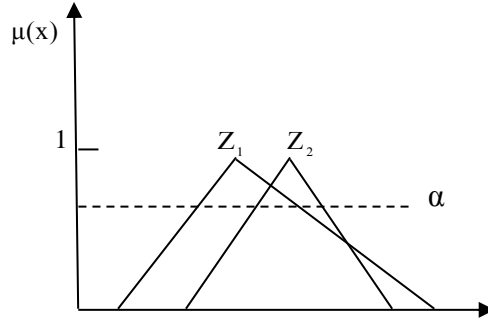
*Tanım 3.1.*  $Z_1 = (z_1, w_1)$  ve  $Z_2 = (z_2, w_2)$  gibi iki simetrik üçgensel bulanık sayı arasındaki  $Z_1 \approx \leq Z_2$  ilişkisi aşağıdaki kesin eşitsizlikler yardımıyla tanımlanmaktadır.

$$Z_1 - (1 - \alpha)w_1 \leq Z_2 - (1 - \alpha)w_2 \tag{3.37a}$$

$$Z_1 + (1 - \alpha)w_1 \leq Z_2 + (1 - \alpha)w_2 \tag{3.37b}$$

Şekil 10'dan da anlaşılacağı üzere iki bulanık sayı arasındaki “ $\approx \leq$ ” ilişkisi bu bulanık sayıların farklı  $\alpha$ -kesimlerinin son noktalarının karşılaştırılması ile açıklanmaktadır. Bulanık CCR modelinin ilk kısıtı olan  $\sum_{i=1}^m v_i \tilde{X}_{ik} \approx \tilde{I}$  eşitsizliğinde ( $v_i$ ) ile ifade edilen girdi ağırlıklarının klasik VZA modelindeki gibi standart DP yardımıyla hesaplamak mümkün değildir.

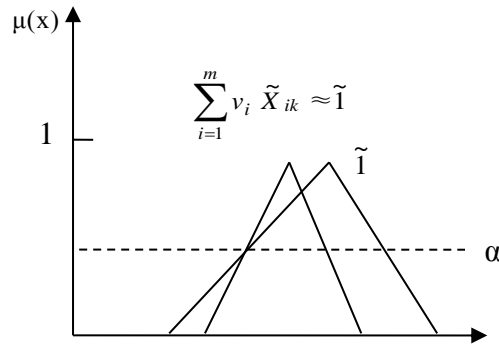
**Şekil 10:  $Z_1 \approx \leq Z_2$  Bulanık Eşitsizliğin Gösterimi**



**Kaynak:** Guo ve Tanaka (2001: 152)

*Tanım 3.1.* referans alındığında,  $\sum_{i=1}^m v_i \tilde{X}_{ik} \approx \tilde{I}$  eşitsizliğini sağlayacak  $\sum_{i=1}^m v_k X_{ik}$  değeri  $\sum_{i=1}^m v_{ik} X_{ik} < \tilde{I}$  kısıtına sahip bir üst sınır olarak değerlendirilebilir. Bu durumda, Şekil 11'de görüldüğü gibi,  $\sum_{i=1}^m v_{ik} X_{ik}$  sayısının  $\alpha$ -kesimlerinin sol son noktaları ile  $\tilde{I}$  sayısı üst üste getirilirken,  $\sum_{i=1}^m v_{ik} X_{ik}$  sayısı  $\tilde{I}$  sayısının sağ son noktasına doğru ama onu geçmeyecek şekilde yaklaştırılır.

**Şekil 11:  $\sum_{i=1}^m v_{ik} \tilde{X}_{ik} \approx \tilde{I}$  Bulanık Kısıtının Gösterimi**



**Kaynak:** Guo ve Tanaka (2001: 153)

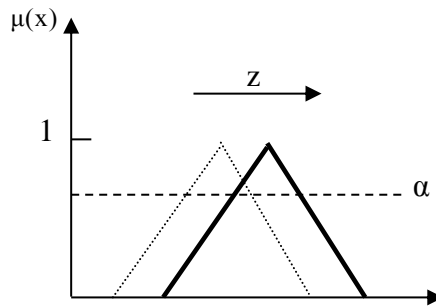
Buna göre,  $\sum_{i=1}^m v_i \tilde{X}_{ik} \approx \tilde{1}$  kısıtı eşitlik (3.38) ile gösterilen optimizasyon problemine dönüştürülerek girdilere verilecek ağırlıklar hesaplanabilir.

*Aşama 3.* Guo-Tanaka modelinin üçüncü aşamasında amaç fonksiyonu maksimize edilmekte ve girdi ve çıktı değişkenlerinin ağırlıkları hesaplanmaktadır.

$$\begin{aligned}
 h_k &= \max \sum_{i=1}^m v_i c_{ik} \\
 \sum_{i=1}^m v_i [x_{ik}^m - (1 - \alpha) c_{ik}] &= 1 - (1 - \alpha)e \\
 \sum_{i=1}^m v_i [x_{ik}^m + (1 - \alpha) c_{ik}] &\leq 1 + (1 - \alpha)e \\
 e &= \max_{j=1, \dots, n} \left[ \max_{i=1, \dots, m} (c_{ij} / x_{ij}^m) \right] \\
 v_i &\geq \varepsilon \quad i = 1, \dots, m
 \end{aligned} \tag{3.38}$$

Simetrik üçgensel bulanık bir sayının maksimasyonu için *Tanım 3.1.* referans alındığında  $Z = (z, w)$  bulanık sayısının maksimizasyonu Şekil 12’de de görüldüğü gibi  $z - (1 - \alpha)w$  ve  $z + (1 - \alpha)w$  değerlerinin aynı anda maksimize edilmesi olarak tanımlanmaktadır.

**Şekil 12: Bulanık Sayının Maksimizasyonunun Gösterimi**



**Kaynak:** Guo ve Tanaka (2001: 152)

Burada,  $\lambda_1 + \lambda_2 = 1$  iken  $\lambda_1 \geq 0$  ve  $\lambda_2 \geq 0$  sırasıyla  $Z$  sayısının  $\alpha$ -kesimlerinin sağ ve sol son noktalarını göstermek üzere,  $\lambda_1(z - (1 - \alpha)w) + \lambda_2(z + (1 - \alpha)w)$  şeklinde bir ağırlıklandırılmış

fonksiyon tanımlanmaktadır.  $\lambda_1=1$  alınması amaç fonksiyonunun maksimizasyonu açısından kötümser bir yaklaşım,  $\lambda_2=1$  alınması ise iyimser bir yaklaşım olarak değerlendirilmektedir. Guo-Tanaka modelinde kötümser bakış açısıyla  $\lambda_1=1$  alındığından amaç fonksiyonu aşağıdaki notasyonla gösterilmektedir.

$$\max z-(1-\alpha)w \quad (3.39)$$

Eşitlik (3.37)-(3.39) kullanılarak model (3.34) ile gösterilen girdi yönlü bulanık CCR modeli iki amaç fonksiyonunun yer aldığı aşağıdaki DP modeline dönüştürülmektedir.

$$\begin{aligned} (\tilde{E}_k)_\alpha &= \max_{u,v} \sum_{r=1}^s u_r y_{rk}^m - (1-\alpha)u_r d_{rk} \\ &\max_v \sum_{i=1}^m v_i c_{ik} \\ &\sum_{i=1}^m (v_i x_{ik}^m - (1-\alpha)v_i c_{ik}) = 1 - (1-\alpha)e \\ &\sum_{i=1}^m (v_i x_{ik}^m + (1-\alpha)v_i c_{ik}) = 1 + (1-\alpha)e \\ &v_i \geq 0, \quad \forall i \\ &\sum_{r=1}^s (u_r y_{rj}^m + (1-\alpha)u_r d_{rj}) \leq \sum_{i=1}^m (v_i x_{ij}^m + (1-\alpha)v_i c_{ij}) \quad \forall j \\ &\sum_{r=1}^s (u_r y_{rj}^m - (1-\alpha)u_r d_{rj}) \leq \sum_{i=1}^m (v_i x_{ij}^m - (1-\alpha)v_i c_{ij}) \quad \forall j \\ &u_r \geq 0 \quad \forall r \end{aligned} \quad (3.40)$$

Model (3.40),  $c_{ij} = d_{ij} = e = 0$  olduğunda klasik CCR modeline dönüşmektedir. Eşitlik (3.39)'daki amaç fonksiyonunun optimal değerinin  $g_k$  ile ifade edilmesi durumunda Model (3.40) aşağıdaki optimizasyon problemine dönüşmektedir.

$$\begin{aligned}
(\tilde{E}_k)_\alpha &= \max_{u,v} \sum_{r=1}^s u_r y_{rk}^m - (1-\alpha) u_r d_{rk} \\
&\sum_{i=1}^m v_i c_{ik} \geq g_k \\
&\sum_{i=1}^m (v_i x_{ik}^m - (1-\alpha) v_i c_{ik}) = 1 - (1-\alpha) e \\
&\sum_{i=1}^m (v_i x_{ik}^m + (1-\alpha) v_i c_{ik}) \leq 1 + (1-\alpha) e \\
&\sum_{r=1}^s (u_r y_{rj}^m + (1-\alpha) u_r d_{rj}) \leq \sum_{i=1}^m (v_i x_{ij}^m + (1-\alpha) v_i c_{ij}) \quad \forall j \\
&\sum_{r=1}^s (u_r y_{rj}^m - (1-\alpha) u_r d_{rj}) \leq \sum_{i=1}^m (v_i x_{ij}^m - (1-\alpha) v_i c_{ij}) \quad \forall j \\
&u_r, v_r \geq 0 \quad \forall r
\end{aligned} \tag{3.41}$$

*Tanım 3.2.* Simetrik üçgensel bulanık girdi ve çıktı değişkenlerine sahip bir karar biriminin bulanık etkinlik skoru simetrik olmayan bir üçgensel bulanık sayı olacaktır. Model (3.41)'in çözümü sonucu girdi ve çıktılar için elde edilen ağırlıklar sırasıyla  $v_i^*$  ve  $u_r^*$  ile gösterildiğinde karar birimi  $k$  için etkinlik skoru  $\tilde{E}_k = (e_k^l, e_k^m, e_k^u)$  aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$e_k^m = \frac{\sum_{r=1}^s u_r^* y_{rk}^m}{\sum_{i=1}^m v_i^* x_{ik}^m} \quad e_k^l = e_k^m - \frac{\sum_{r=1}^s u_r^* (y_{rk}^m - d_{rk} (1-a))}{\sum_{i=1}^m v_i^* (x_{ik}^m + c_{ik} (1-a))} \quad e_k^u = \frac{\sum_{r=1}^s u_r^* (y_{rk}^m + d_{rk} (1-a))}{\sum_{i=1}^m v_i^* (x_{ik}^m - c_{ik} (1-a))} - e_k^m \tag{3.42}$$

*Tanım 4.3.* Değerlendirilen  $KVB_k$  için herhangi bir  $\alpha$ -kesim düzeyinde  $e_k^m + e_k^u \geq 1$  olduğunda  $KVB_k$  etkin,  $e_k^m + e_k^u < 1$  olduğunda ise  $KVB_k$  etkinsiz olarak değerlendirilmektedir.

Guo-Tanaka modelinde yer alan kısıtlardan dolayı bazı karar birimlerinin etkinlik skorlarının üst sınırı "1" değerinden büyük çıkabilmektedir. Guo-Tanaka modeli, önceden belirlenen  $\alpha$ -kesim düzeylerinde etkinlik ölçümü gerçekleştirdiği için  $\alpha$ -seviye yaklaşımları içinde de sınıflandırılabilir. Guo ve Tanaka (2008) çalışmalarında, bulanık girdi ve

çıktılara sahip karar birimlerinin etkinlik ölçümü amacıyla Guo-Tanaka modelinin genişletilmiş uzantısı olan bir bulanık CCR modeli önermiştir. Çalışmada, önerilen yonteme dayalı olarak bulanık değerlerin çoklu özelliklerini bütünleştiren bir bulanık toplama modeli (fuzzy aggregation model) de geliştirilmiştir. Guo (2009) çalışmasında, Guo-Tanaka modeli (2001) ile Guo ve Tanaka (2008) tarafından geliştirilen bulanık toplama yöntemini bütünleşik kullanarak Çin’de faaliyet gösterecek bir lokantanın kuruluş yeri problemini ele almıştır. Lertworasirikul (2001) tarafından önerilen bulanıklıktan kurtarma (durulaştırma) yaklaşımı (*Defuzzification Approach*) BVZA literatüründe ayrı bir kategoride değerlendirilmesine rağmen aslında bir bulanık sıralama yaklaşımıdır. Lertworasirikul modelinde bulanık girdi ve çıktılar önce kesin değerlere dönüştürülmektedir. Daha sonra ise bu kesin değerler  $\alpha$ -kesim yaklaşımıyla DP’yi çözebilen standart programlarla çözümlenip etkinlik ölçümü gerçekleştirilmektedir. Bulanıklıktan kurtarma yaklaşımı hesaplamadaki basitliğine karşın girdi ve çıktı değişkenlerindeki belirsizlik yani farklı  $\alpha$ -kesimlerdeki değer aralıkları etkin şekilde dikkate alınmadığı için literatürde uygulama alanı bulamamıştır (Zerafat-Angiz ve diğerleri, 2010: 5156).

Literatürde diğer araştırmacılar tarafından geliştirilen ve bulanık sıralama yaklaşımı içinde değerlendirilen bazı BVZA modelleri hakkında aşağıda bilgi verilmektedir.

Leon ve diğerleri (2003) tarafından, dual modellerin primal modellere göre hesaplama ve yorumlama açısından sahip olduğu avantajlardan yararlanmak amacıyla Guo ve Tanaka modeline dayalı olarak bir bulanık BCC modeli geliştirilmiştir. Guo-Tanaka modelinden elde edilen etkinlik skorları bulanık değerler iken Leon ve diğerlerinin önerdiği modelin çözümü sonucu hesaplanan etkinlik skorları her  $\alpha$ -seviye için kesin değerler almaktadır. Leon ve diğerleri tarafından sınırlandırılmış girdi-çıkıtı verilerine sahip karar birimleri için geliştirilen söz konusu model  $\alpha$ -kesimleri kullandığı için Guo-Tanaka modeli gibi  $\alpha$ -seviye yaklaşımları içinde de sınıflandırılabilir. Jahanshahloo ve diğerleri (2004b) çalışmalarında,  $\alpha$ -seviye yaklaşımına dayalı olarak bulanık sayıların karşılaştırıldığı bir BVZA modeli önermişlerdir. Tone (2001) tarafından geliştirilen aylak-tabanlı VZA modelinin bulanıklaştırıldığı bu modelde karar birimlerinin etkinlikleri “bulanık kâr” olarak tanımlanan yeni bir kavrama göre ölçülmektedir. Çalışmada ayrıca, önerilen modelin ağırlık kısıtlaması yapılmasına uygun bir model olduğu örnek bir

uygulama ile gösterilmiştir. Dia (2004) tarafından, bulanık aritmetik işlemlere dayalı olan ve bulanık sayıların sıralanmasını gerektiren bir BVZA modeli önerilmiştir. Modelde, karar vericiler tarafından bulanık bir istek seviyesi ve güven düzeyi belirlenmekte, daha sonra belirlenen  $\alpha$ -kesim düzeyinde bulanık kümelerin karşılaştırılmasıyla BVZA modeli kesin VZA modeline dönüştürülmektedir. Lee (2004) ve Lee ve diğerleri (2005) tarafından önerilen bulanık CCR ve bulanık BCC modellerinde bulanık girdi ve çıktılar durulaştırılarak klasik VZA modellerinde kullanılmaktadır. Molavi ve diğerleri (2005) tarafından önerilen iki BVZA modelinde Ramık ve Rımanek (1985)'in geliştirdiği bulanık sayılar için sıralama yöntemi kullanılarak bulanık CCR modelinin amaç fonksiyonu ve bulanık kısıtları kesin değerlere ve kısıtlara dönüştürülmektedir. Jahanshahloo (2007b), bulanık üçgensel sayılarla ifade edilen girdi ve çıktılara sahip karar birimlerinin etkinliğini ölçmek amacıyla VZA tabanlı MTFV Endeksi'nin kullanıldığı bir BVZA modeli önermiştir. Söz konusu modelde Maleki (2002) tarafından bulanık sayılar için geliştirilen doğrusal sıralama fonksiyonu kullanılarak önerilen BVZA modeli klasik VZA modeline dönüştürülmektedir. Zhou ve diğerleri (2008), gayrimenkul yatırım programlarının risklerini değerlendirme amacıyla bir BVZA modeli geliştirmişlerdir. Bulanık sıralama yaklaşımıyla etkinlik ölçümü yapılan modelde yöntemin sağlam sonuçlar vermesi için özgün bir algoritma kullanılmaktadır.

Soleimani-Damaneh (2008) tarafından bulanık işaretli uzaklık ve bulanık üst sınır kavramlarına dayalı olarak bir bulanık toplamsal VZA modeli önerilmiştir. Primal ve dual versiyonları bulunan modelin çözümünde amaç fonksiyonu için bulanık bir üst sınır belirlenerek etkinlik ölçümü yapılmaktadır. Hatami-Marbini ve diğerleri (2009) tarafından bulanık ortamda etkinlik ölçümü amacıyla bir bulanık CCR modeli önerilmiştir. Modelin çözümünde Asady ve Zendehtnam (2007) tarafından geliştirilen bulanık sıralama tekniği kullanılarak söz konusu model klasik VZA modeline dönüşmektedir. Çalışmada önerilen model yardımıyla Tahran'da faaliyet gösteren bir bankanın 16 şubesinin etkinliği ölçülmüştür. Hosseinzadeh-Lotfi ve diğerleri (2009) çalışmalarında klasik VZA modellerini tüm parametreleri ve değişkenleri bulanık sayı olan tam bulanık VZA modellerine dönüştürmüşlerdir. Önerilen BVZA modelleri aynı zamanda çok amaçlı DP modelleri olduğundan bulanık DP yardımıyla çözülebilmektedir.

Bulanık sıralama yaklaşımı sahip olduğu avantajlı yönlerine rağmen incelenen karar biriminin bulanık etkinliğini sadece belirlenen  $\alpha$ -kesim için ölçtüğünden girdi ve çıktılardaki belirsizliği tam olarak yansıtamamaktadır (Tlig ve Rebai, 2009: 2387).

#### **3.2.2.4. Lertworasirikul-Fang-Joines-Nuttle Modeli**

Olabilirlik teorisi (possibility theory) ilk kez Zadeh (1978) tarafından olasılık teorisine alternatif olarak bulanık kümelerle ifade edilmiş ve daha sonra birçok araştırmacı tarafından teoriye katkı yapılmıştır. Zadeh, rastsal bir değişkenin olasılık (probability) dağılımıyla olan ilişkisi gibi olabilirlik dağılımıyla ilişkili olan bir “bulanık değişken” tanımlamıştır. Bulanık DP modellerindeki her bulanık katsayı bulanık değişken olarak, her kısıt ise bulanık olay olarak değerlendirilebilir. Böylece, BVZA modeli olabilirliksel VZA modeline dönüştürülerek bulanık olayların olabilirlikleri (yani bulanık kısıtlar) olabilirlik teorisi yardımıyla hesaplanabilir.

BVZA literatüründe olabilirlik yaklaşımına dayalı ilk model Guo ve diğerleri (2000) tarafından önerilmiştir. Söz konusu çalışmada bulanık eşitsizlik ilişkisi, olabilirlik ve gereklilik (necessity) ölçümleri kavramlarına dayalı üç aşamalı algoritmaya sahip bir BVZA modeli geliştirilmiştir. Uygulamanın ilk aşamasında bulanık DP yardımıyla değişken ağırlıkları hesaplanmaktadır. İkinci aşamada karar vericilerin güvenilirliğini gösteren bu ağırlıklar toplanmaktadır. Üçüncü aşamada ise karar birimleri sıralanmaktadır.

Lertworasirikul (2002) ve Lertworasirikul ve diğerleri (2002a,b) literatürde olabilirlik yaklaşımı ve güvenilirlik (credibility) yaklaşımı diye bilinen iki BVZA modeli önermişlerdir. İyimser ve kötümser bakış açılarıyla geliştirilen olabilirlik yaklaşımında bulanık amaç ve bulanık kısıtlardaki belirsizlik olabilirlik ölçümleri kullanılarak modellenmiştir. Güvenirlik yaklaşımında bulanık değişkenler güvenilirlik ölçümleri kullanılarak elde edilen “beklenen krediler” (expected credits) ile yer değiştirilerek bulanık BCC modeli DP modeline dönüştürülmektedir. Bu yaklaşımda her karar birimi için o karar biriminin etkinlik aralığını gösteren bir etkinlik skoru hesaplanmaktadır. Bu sayede karar vericilerin herhangi bir güven aralığı belirlemesine veya olabilirlik yaklaşımındaki gibi bulanık etkinlik skorlarını sıralamalarına gerek duyulmamaktadır (Lertworasirikul ve diğerleri, 2003b: 357). Lertworasirikul ve diğerleri (2003a), sınırlandırılmış ve kesin



verilerle ifade edilen bulanık CCR modelinin çözümü için olabilirlik yaklaşımına dayalı bir VZA modeli önermişlerdir. Bulanık kısıtların bulanık olaylar olarak değerlendirildiği çalışmada, Charnes ve Cooper (1959) tarafından literatüre kazandırılan Şans Kısıtlamalı Programlama (Chance-Constrained Programming-CCP) yaklaşımı ve bulanık olayların olabilirlik ölçüleri kullanılarak BVZA modeli bir olabirliksel VZA modeline dönüştürülmektedir. Bulanık verilerin bulanık sayılar olarak ifade edilmesi durumunda ise olabirliksel VZA modeli bir DP modeline denk olmaktadır. Literatürde *Lertworasirikul-Fang-Joines-Nuttle Modeli* olarak da adlandırılan modelin algoritması aşağıda gösterildiği gibidir.

Kısıtların arzulan güven düzeylerinin belirlenmesi sonucu oluşan belirsizliği modellemeye yarayan şans kısıtlamalı programlamanın kavramları ve bulanık olayların olabirliği kullanılarak KVB<sub>k</sub> için girdi yönlü bulanık CCR modeli aşağıdaki gibi kurulmaktadır (Lertworasirikul ve diğerleri, 2003a: 386).

$$\begin{aligned}
(\tilde{E}_k) = \max_{u,v,\bar{f}} \bar{f} \\
\pi \left( \sum_{r=1}^s u_r \tilde{Y}_{rk} \geq \bar{f} \right) \geq \beta \\
\pi \left( \sum_{i=1}^m v_i \tilde{X}_{ik} = 1 \right) \geq \alpha_k \\
\pi \left( \sum_{r=1}^s u_r \tilde{Y}_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i \tilde{X}_{ij} \leq 0 \right) \geq \alpha_j \quad j = 1, \dots, n \\
u_r, v_i \geq 0 \quad r = 1, \dots, s; i = 1, \dots, m
\end{aligned} \tag{3.43}$$

Burada  $\beta, \alpha_k \in [0,1]$  ve  $\alpha_j \in [0,1]$  sırasıyla birinci, ikinci ve üçüncü kısıtlar için kabul edilebilir olabirlik düzeylerini gösterirken  $\pi$  değeri olabirlik ölçümünü ifade etmektedir.  $\bar{f}$  notasyonu ise  $\beta$  olabirliğinde KVB<sub>k</sub>'nin çıktı yönlü etkinlik skorunu göstermektedir.

*Önerme 3.1.*  $\tilde{h}_1, \tilde{h}_2, \dots, \tilde{h}_n$  sayıları normal ve konveks üyelik fonksiyonuna sahip bulanık sayılar olsun.  $(\tilde{h})_{\alpha_i}^L$  ve  $(\tilde{h})_{\alpha_i}^U$  sırasıyla  $\tilde{h}_i, i = 1, \dots, n$ 'nin  $\alpha$ -kesimlerinin alt ve üst sınırlarını gösterdiğinde  $\alpha \in [0,1]$  aralığında herhangi bir olabirlik düzeyi için;

(1)  $\pi(\tilde{h}_1 + \dots + \tilde{h}_n \leq b) \geq \alpha_1$  eşitliği ancak ve ancak

$$(\tilde{h}_1)_{\alpha_1}^L + \dots + (\tilde{h}_n)_{\alpha_1}^L \leq b \text{ koşulu}$$

(2)  $\pi(\tilde{h}_1 + \dots + \tilde{h}_n \geq b) \geq \alpha_2$  eşitliği ancak ve ancak

$$(\tilde{h}_1)_{\alpha_2}^U + \dots + (\tilde{h}_n)_{\alpha_2}^U \geq b \text{ koşulu}$$

(3)  $\pi(\tilde{h}_1 + \dots + \tilde{h}_n = b) \geq \alpha_3$  eşitliği ancak ve ancak

$$(\tilde{h}_1)_{\alpha_3}^L + \dots + (\tilde{h}_n)_{\alpha_3}^L \leq b \text{ ve } (\tilde{h}_1)_{\alpha_3}^U + \dots + (\tilde{h}_n)_{\alpha_3}^U \geq b$$

koşullarının sağlanması durumunda gerçekleşir. Buna göre, bulanık girdi ve çıktılar normal ve konveks olduğunda *Önerme 3.1*'e göre model (3.43) aşağıdaki olabilirliksel VZA modeline (PCCR) dönüşmektedir.

*PCCR Modeli*

$$(\tilde{E}_k) = \max_{u,v,f} \bar{f}$$

$$\sum_{r=1}^s (u_r \tilde{y}_{rk})_{\beta}^U \geq \bar{f}$$

$$\sum_{i=1}^m (v_i \tilde{x}_{ik})_{\alpha_k}^U \geq 1$$

$$\sum_{i=1}^m (v_i \tilde{x}_{ik})_{\alpha_k}^L \leq 1$$

(3.44)

$$\sum_{r=1}^s u_r (\tilde{Y}_{rj})_{\alpha}^L - \sum_{i=1}^m v_i (\tilde{X}_{ij})_{\alpha}^L \leq 0 \quad j = 1, \dots, n$$

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

$$\beta, \alpha_k, \alpha \in [0, 1]$$

Bu modele göre,  $\bar{f}$  değeri maksimize edildiğinde sağlanan optimal çözüm noktasında diğer tüm kısıtlar önceden belirlenen olabilirlik düzeylerinde karşılanırken,

$\sum_{r=1}^s (u_r \tilde{y}_{rk})_{\beta}^U$  kısıtı  $\beta$  olabilirlik düzeyinde  $\bar{f}$  değerine eşit veya daha büyük olmaktadır.

*Tanım 3.4.* *PCCR* modeline göre bir karar biriminin optimal  $\bar{f}$  değeri  $\alpha$ -olabilirlik düzeyinde 1'e eşit veya 1'den büyük olduğunda o karar birimi  $\alpha$ -olabilirlikliksel etkin, diğer durumlarda ise  $\alpha$ -olabilirlikliksel etkinsiz olarak değerlendirilmektedir.

*PCCR* modeli, bulanık parametrelerin üyelik fonksiyonuna bağlı olarak doğrusal veya doğrusal olmayan programlama biçimini almaktadır.  $\tilde{h}_i = [(\tilde{h}_i)_0^L, (\tilde{h}_i)_1^L, (\tilde{h}_i)_1^U, (\tilde{h}_i)_0^U]$  şeklinde gösterilen bir yamuk bulanık sayı için Önerme 3.1 referans alındığında herhangi bir olabilirlik düzeyi ( $\alpha \in [0,1]$ ) için;

$\pi(\tilde{h}_1 + \dots + \tilde{h}_n \leq b) \geq \alpha$  eşitliği ancak ve ancak

$$(1 - \alpha)[(\tilde{h}_1)_0^L + \dots + (\tilde{h}_n)_0^L] + \alpha[(\tilde{h}_1)_1^L + \dots + (\tilde{h}_n)_1^L] \leq b \text{ koşulu}$$

$\pi(\tilde{h}_1 + \dots + \tilde{h}_n \geq b) \geq \alpha$  eşitliği ancak ve ancak

$$(1 - \alpha)[(\tilde{h}_1)_0^U + \dots + (\tilde{h}_n)_0^U] + \alpha[(\tilde{h}_1)_1^U + \dots + (\tilde{h}_n)_1^U] \geq b \text{ koşulu}$$

$\pi(\tilde{h}_1 + \dots + \tilde{h}_n = b) \geq \alpha$  eşitliği ancak ve ancak

$$(1 - \alpha)[(\tilde{h}_1)_0^L + \dots + (\tilde{h}_n)_0^L] + \alpha[(\tilde{h}_1)_1^L + \dots + (\tilde{h}_n)_1^L] \leq b \text{ ve}$$

$$(1 - \alpha)[(\tilde{h}_1)_0^U + \dots + (\tilde{h}_n)_0^U] + \alpha[(\tilde{h}_1)_1^U + \dots + (\tilde{h}_n)_1^U] \geq b$$

koşulları sağlandığında gerçekleşir. Buna göre girdi ve çıktılar yamuk bulanık sayılarla ifade edildiğinde *PCCR* modeli standart programlarla çözülebilen aşağıdaki DP modeline dönüşür.

$$\begin{aligned}
(\tilde{E}_k) &= \max_{u,v,f} \bar{f} \\
(1-\beta) \sum_{r=1}^s (u_r \tilde{y}_{rk})_0^U + \beta \sum_{r=1}^s (u_r \tilde{y}_{rk})_1^U &\geq \bar{f} \\
(1-\alpha_k) \sum_{i=1}^m (v_i \tilde{x}_{ik})_0^U + \alpha_k \sum_{i=1}^m (v_i \tilde{x}_{ik})_1^U &\geq 1 \\
(1-\alpha_k) \sum_{i=1}^m (v_i \tilde{x}_{ik})_0^L + \alpha_k \sum_{i=1}^m (v_i \tilde{x}_{ik})_1^L &\leq 1 \\
(1-\alpha) \left[ \sum_{r=1}^s (u_r \tilde{Y}_{rj})_0^L - \sum_{r=1}^s (u_r \tilde{X}_{rj})_0^L \right] + \alpha \left[ \sum_{r=1}^s (u_r \tilde{Y}_{rj})_1^L - \sum_{i=1}^m (v_i \tilde{X}_{ij})_1^L \right] &\leq 0 \quad j=1,\dots,n \\
u_r, v_i &\geq 0 \quad r=1,\dots,s; i=1,\dots,m \\
\beta, \alpha_k, \alpha &\in [0,1]
\end{aligned} \tag{3.45}$$

Lertworasirikul ve diğerleri (2003b) çalışmalarında yukarıda bahsedilen olabilirlik ve güvenilirlik yaklaşımlarını bulanık BCC modelleri için geliştirmişlerdir. Çalışmada, primal ve dual bulanık BCC modellerine CCP ve bulanık kısıtların olabilirliği yaklaşımları uygulanarak olabilirlik BCC modelleri (*PBCC*) elde edilmiştir. Girdi yönlü *PBCC* modelinin primal modeli aşağıda gösterilmektedir (Lertworasirikul ve diğerleri, 2003b: 345).

(*PBCC<sub>P</sub>*) Modeli

$$\begin{aligned}
(\tilde{E}_k) &= \max_{u,v,\mu_k,f} \bar{f} \\
\sum_{r=1}^s (u_r \tilde{y}_{rk})_\beta^U - \mu_k &\geq \bar{f} \\
\sum_{i=1}^m (v_i \tilde{x}_{ik})_{\alpha_k}^U &\geq 1 \\
\sum_{i=1}^m (v_i \tilde{x}_{ik})_{\alpha_k}^L &\leq 1 \\
\sum_{r=1}^s (u_r \tilde{Y}_{rj})_\alpha^L - \sum_{i=1}^m (v_i \tilde{X}_{ij})_\alpha^L - \mu_k &\leq 0 \quad j=1,\dots,n \\
u_r, v_i &\geq 0 \quad r=1,\dots,s; i=1,\dots,m \\
\beta, \alpha_k, \alpha &\in [0,1]
\end{aligned} \tag{3.46}$$

Model (3.46), bulanık parametrelerin üyelik fonksiyonuna bağlı olarak doğrusal veya doğrusal olmayan programlama biçimini almaktadır. Olabilirlik yaklaşımına göre bulanık BCC modelinin girdi yönlü dual modeli ise aşağıdaki gibi kurulmaktadır.

(PBCC<sub>d</sub>) Modeli

$$\begin{aligned}
 (\tilde{E}_k) &= \min_{\lambda, \theta} \theta \\
 \left( \theta \tilde{x}_{ik} - \sum_{j=1}^n \lambda_j \tilde{X}_{ij} \right)_{\bar{\alpha}_1} &\geq 0 \quad \forall i \\
 \left( \sum_{j=1}^n \lambda_j \tilde{Y}_{rj} - \tilde{y}_{rk} \right)_{\bar{\alpha}_2} &\geq 0 \quad \forall r \\
 \sum_{j=1}^n \lambda_j &= 1 \\
 \lambda_j &\geq 0 \quad \forall j
 \end{aligned} \tag{3.47}$$

Burada,  $\bar{\alpha}_1 \in [0,1]$  ve  $\bar{\alpha}_2 \in [0,1]$ , önceden belirlenmiş kabul edilebilir olabilirlik düzeylerini göstermektedir.

Karar birimlerinin etkinlik ölçümlerini mantıklı bir şekilde yapabilmek için (PBCC<sub>p</sub>) ve (PBCC<sub>d</sub>) modellerindeki olabilirlik düzeylerinin kısıtlarının  $(\beta, \alpha_0, \alpha_1, \dots, \alpha_n, \bar{\alpha}_1, \dots, \bar{\alpha}_{m+r})$  aynı düzeyde ele alınması gerekmektedir.  $(\beta = \alpha_0 = \alpha_1 = \dots = \alpha_n = \bar{\alpha}_1 = \dots = \bar{\alpha}_{m+r} = \alpha)$  olduğunda (PBCC<sub>p</sub>) ve (PBCC<sub>d</sub>) modellerinin amaç fonksiyonları değerlendirilen karar birimi için diğer karar birimlerine göre etkinlik skorlarının sırasıyla maksimum ve minimum olabilirliğini verecektir (Lertworasirikul ve diğerleri, 2003b: 347).

Garcia ve diğerleri (2005), Lertworasirikul ve diğerleri (2003a) tarafından geliştirilen olabilirlik modelini (PCCR) kullandıkları çalışmalarında nükleer güvenlik sistemleri için Klasik Hata Türleri ve Etkileri Analizi parametrelerini bulanık kümeler şeklinde modellemişlerdir. Hata türlerini sıralayan endekslerin önem ağırlıklarının dilsel değişkenler kullanılarak belirlendiği çalışmada elde edilen etkinlik skorları, risk öncelik sayıları ve saf bulanık mantık kavramlarından elde edilen skorlarla karşılaştırılmıştır. Ramezanzadeh ve diğerleri (2005), dağılımları bilinen rastsal düz LR bulanık sayılarla ifade edilen girdi ve çıktı değişkenlerine sahip karar birimlerinin etkinliğinin ölçülmesi amacıyla CCP'ye dayalı bir CCR modeli önermişlerdir. İki aşamada çözülen modelin ilk aşamasında bulanık olabilirlik ölçüleri ve  $\alpha$ -kesimler yaklaşımıyla bulanık veriler durulaştırılmaktadır. İkinci aşamada ise Cooper ve diğerleri (1996) tarafından geliştirilen

ortalama-varyans yöntemiyle şans kısıtlamalı VZA modeli klasik VZA modeline dönüştürülmektedir. Wu ve diğerleri (2006) çalışmalarında, Lertworasirikul Modeli (*PCCRI*)'ni kesin ve bulanık değişkenler için geliştirerek Kanada'da faaliyet gösteren farklı bölgelerdeki banka şubelerinin etkinliğini ölçmüşlerdir. Jiang ve Yang (2007), bulanık ortamda etkinlik ölçümü amacıyla bulanık şans kısıtlamalı VZA modeli ile Lertworasirikul ve diğerleri (2002) tarafından önerilen güvenilirlik programlamanın melez kullanıldığı bir bütünleşik BVZA modeli geliştirmişlerdir. Çalışmada, bulanık şans kısıtlamalı güvenilirlik programlama VZA modeli olarak adlandırılan modelin çözümü için de bir algoritma önerilmiştir.

Wen ve Li (2009), Lertworasirikul ve diğerleri (2002) tarafından önerilen güvenilirlik programlamaya dayalı olan bir BVZA modeli önermişlerdir. Önerilen modelin çözümü için bulanık simulasyon ve genetik algoritmanın bütünleşik kullanıldığı melez bir algoritma geliştirilmiştir. Girdi ve çıktılar için üçgensel ve yamuk bulanık sayılar kullanıldığında önerilen model DP problemine dönüşmektedir. Khodabakhshi ve diğerleri (2010), VZA uygulamalarındaki ölçeğe göre getirileri hesaplamak amacıyla Charnes ve diğerleri (1985) tarafından literatüre kazandırılan Toplamsal Modelin bulanık ve stokastik versiyonlarını formüle etmişlerdir. Olabilirlik yaklaşımı ve CCP'ye dayalı olan söz konusu modeller uygulamada DP ile çözülen kesin değerli modellere dönüştürülmektedir. Wen ve diğerleri (2010), Liu (2004) tarafından önerilen güvenilirlik ölçümüne dayalı olan bir bulanık CCR modeli geliştirmişlerdir. Çalışmada, karar birimlerinin bulanık etkinlik skorlarını sıralamak için de bulanık fonksiyon içeren bir sıralama yöntemi önerilmiştir. Bu sıralama yönteminde oluşturulan bulanık simulasyon genetik algoritma ile bütünleştirilerek ortaya melez bir algoritma çıkarılmıştır.

Olabilirlik yaklaşımı aşırı serbest yapısı nedeniyle incelenen karar birimlerini etkinlik skorlarına göre ayırma açısından zayıf bir yaklaşımdır. Uygulamada tüm olabilirlik düzeylerinde etkin çıkabilen çok sayıda karar birimine rastlanabilmektedir (Karsak, 2008: 868). Bunun yanında, girdi ve çıktı değişkenleri doğrusal olmayan üyelik fonksiyonuna sahip olduğunda matematiksel hesaplamalar oldukça karmaşık hale gelmektedir (Tlig ve Rebai, 2009: 2387).

### 3.2.2.5. BVZA Literatüründe Diğer Yaklaşımlar

Çalışmanın bu bölümünde, yukarıda açıklanan BVZA yaklaşımları içinde değerlendirilmeyen ancak literatürde dikkat çeken bazı önemli çalışmalar hakkında bilgi verilecektir. İlk olarak literatürde Aralık VZA yaklaşımı olarak bilinen yaklaşımdan bahsedilecektir. Karar birimlerinin etkinlik skorları hem iyimser hem de kötümser bakış açılarıyla hesaplanabildiğinden etkinliğin kesin sayılar yerine aralık sayı şeklinde ifade edilmesi daha uygundur. Bu noktadan hareketle geliştirilen Aralık VZA yaklaşımında karar birimlerinin alabileceği etkinlik skorlarının aralığı hesaplanmaktadır (Entani ve diğerleri, 2002: 33).

#### 3.2.2.5.1. Aralık VZA Yaklaşımı

Bulanık sayıların  $\alpha$ -kesim düzeyleri aynı zamanda aralık veri olduğundan etkinlik ölçümünde aralık veriler aralık sayılar için aritmetik işlemleri kullanılarak bulanık sayılara genişletilmektedir. Böylece, çözüm benzerliğinden yararlanarak bulanık verilerin etkinlik skorları aralık VZA modelleri yardımıyla hesaplanabilir (Jahanshahloo ve diğerleri, 2004c: 463). Entani ve diğerleri (2002) tarafından önerilen ve yukarıda  $\alpha$ -seviyelere dayalı yaklaşımlar içinde de bahsedilen aralık VZA modelinde karar birimlerinin etkinlik skorları iyimser ve kötümser bakış açılarına göre hesaplanmaktadır. Kesin, aralık ve bulanık verilerin modellenebildiği bu aralık VZA modelinin en önemli kısıtı, modelde kaç tane girdi ve çıktı değişkeni olduğu dikkate alınmaksızın her bir karar biriminin alt sınır etkinlik skorunun hesaplanması için model sadece bir girdi ve bir çıktı değişkenini seçmektedir (Wang ve diğerleri, 2005: 349).

Despotis ve Smirlis (2002) belirsiz VZA problemini ele aldıkları çalışmada, Cooper ve diğerleri (1999) tarafından önerilen IDEA yönteminden farklı olarak, ölçek dönüşümlerine başvurmadan sadece veri seti üzerinde doğrudan dönüşümler yaparak doğrusal olmayan bulanık CCR modelini DP modeline dönüştürmüşlerdir. Despotis-Smirlis modeline ait algoritma aşağıda gösterilmektedir.

### 3.2.2.5.1.1. Despotis-Smirlis Modeli

Belirsizlik nedeniyle tam olarak elde edilemeyen girdi ve çıktı değişkenlerinin  $X_{ij}^L > 0$  ve  $Y_{ij}^L > 0$  olmak üzere sırasıyla  $[X_{ij}^L, X_{ij}^U]$  ve  $[Y_{ij}^L, Y_{ij}^U]$  şeklinde gösterilen alt ve üst sınır aralıklarında bulunduğu varsayılınsın. Despotis ve Smirlis modeline göre her bir KVB için etkinlik skorlarının alt ve üst sınırları sırasıyla aşağıda gösterilen DP çiftiyle hesaplanmaktadır (Despotis ve Smirlis, 2002: 27-28).

$$\begin{aligned}
 (E_k)^L &= \max \sum_{r=1}^s u_r (Y_{rk})^L \\
 &\sum_{i=1}^m v_i (X_{ik})^U = 1 \\
 &\sum_{r=1}^s u_r (Y_{rk})^L - \sum_{i=1}^m v_i (X_{ik})^U \leq 0 \\
 &\sum_{r=1}^s u_r (Y_{rj})^U - \sum_{i=1}^m v_i (X_{ij})^L \leq 0 \quad j = 1, \dots, n ; j \neq k \\
 &u_r, v_i \geq \varepsilon \quad r = 1, \dots, s ; i = 1, \dots, m
 \end{aligned} \tag{3.48a}$$

$$\begin{aligned}
 (E_k)^U &= \max \sum_{r=1}^s u_r (Y_{rk})^U \\
 &\sum_{i=1}^m v_i (X_{ik})^L = 1 \\
 &\sum_{r=1}^s u_r (Y_{rk})^U - \sum_{i=1}^m v_i (X_{ik})^L \leq 0 \\
 &\sum_{r=1}^s u_r (Y_{rj})^L - \sum_{i=1}^m v_i (X_{ij})^U \leq 0 \quad j = 1, \dots, n ; j \neq k \\
 &u_r, v_i \geq \varepsilon \quad r = 1, \dots, s ; i = 1, \dots, m
 \end{aligned} \tag{3.48b}$$

Kesin, aralık ve sıralı verilere sahip karar birimlerinin etkinlik skorlarının alt ve üst sınırlarının hesaplandığı modelin çözümü sonucunda karar birimleri her durumda etkin, en iyimser bakış açısından etkin ancak en kötümser bakış açısından etkinsiz ve her durumda etkinsiz şeklinde üç kategoride sınıflandırılmaktadır.

Despotis-Smirlis modelinde alt ve üst sınır etkinlik skorları incelenen karar biriminin elde edebileceği en düşük ve en yüksek etkinlik skorlarını göstermektedir. Kao-Liu modelinde Eşitlik (3.20a) ve Eşitlik (3.20b) ile ifade edilen alt ve üst sınır etkinlik



skorları ise incelenen karar biriminin belirlenen  $\alpha$ -kesimindeki en düşük ve en yüksek etkinlik skorlarını göstermektedir. Entani ve diğerleri (2002) çalışmalarında karar birimlerinin etkinlik skorlarının üst sınırını hesaplamak amacıyla Eşitlik (3.47b) ile gösterilen VZA modelini kullanmışlardır.

Despotis-Smirlis modelinin Eşitlik (3.48a) ve Eşitlik (3.48b) ile gösterilen alt ve üst sınır modelleri incelendiğinde her bir karar biriminin kısıt kümelerinin birbirinden farklı olduğu anlaşılmaktadır. Hatta aynı karar biriminin alt ve üst sınır etkinlik modellerinin kısıtları bile birbirinden farklıdır. Örneğin  $KVB_k$ 'nin alt sınır VZA modelinin kısıt kümesi  $\{(X_{ik}^U, Y_{rk}^L), (X_{ij}^L, Y_{rj}^U) \mid (j = 1, \dots, n; j \neq k; i = 1, \dots, m; r = 1, \dots, s)\}$  şeklinde ifade edilmektedir.  $KVB_k$ 'nin üst sınır VZA modelinin kısıt kümesine ait notasyon ise aşağıdaki gibidir.

$$\{(X_{ik}^L, Y_{rk}^U), (X_{ij}^U, Y_{rj}^L) \mid (j = 1, \dots, n; j \neq k; i = 1, \dots, m; r = 1, \dots, s)\}.$$

Etkinlik skorlarının hesaplanmasında her bir  $KVB$ 'nin farklı kısıt kümesine sahip olması nedeniyle her bir karar birimi için farklı üretim sınırları belirlenmektedir. Farklı üretim sınırlarından elde edilen etkinlik skorlarını birbiriyle kıyaslamak tutarlı sonuçlar vermeyecektir (Wang ve diğerleri, 2005: 350-351). Wang ve diğerleri (2005), aralık aritmetiğine dayalı olan ve tüm karar birimleri için aynı kısıt kümesinin kullanıldığı bir çift aralık VZA modeli önermişlerdir. Kesin, aralık ve sıralı veriler için kurulabilen ve literatürde Wang-Greatbanks-Yang modeli olarak bilinen modelin algoritması aşağıda açıklanmaktadır.

### 3.2.2.5.1.2. Wang-Greatbanks-Yang Modeli

$KVB_k$ 'nin etkinliği aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$E_k = \frac{\sum_{r=1}^s u_r Y_{rk}}{\sum_{i=1}^m v_i X_{ik}}, \quad k = 1, \dots, n$$

Aralık sayılar için işlem kurallarına göre,

$$E_k = \frac{\sum_{r=1}^s u_r [Y_{rj}^L, Y_{rj}^U]}{\sum_{i=1}^m v_i [X_{ij}^L, X_{ij}^U]} = \frac{\left[ \sum_{r=1}^s u_r Y_{rj}^L, u_r Y_{rj}^U \right]}{\left[ \sum_{i=1}^m v_i X_{ij}^L, v_i X_{ij}^U \right]} = \left[ \frac{\sum_{r=1}^s u_r Y_{rj}^L}{\sum_{i=1}^m v_i X_{ij}^U}, \frac{\sum_{r=1}^s u_r Y_{rj}^U}{\sum_{i=1}^m v_i X_{ij}^L} \right] \quad (3.49)$$

eşitliği elde edilir. Etkinlik skoru  $E_k$ 'nin  $[E_k^L, E_k^U]$  ( $k = 1, \dots, n$ ) şeklinde gösterilen bir aralık sayısı olduğu açıktır.

$$E_k = [E_k^L, E_k^U] = \left[ \frac{\sum_{r=1}^s u_r Y_{rk}^L}{\sum_{i=1}^m v_i X_{ik}^U}, \frac{\sum_{r=1}^s u_r Y_{rk}^U}{\sum_{i=1}^m v_i X_{ik}^L} \right] \subseteq (0,1], \quad j = 1, \dots, n \text{ olduğunda,}$$

$$E_k^L = \frac{\sum_{r=1}^s u_r Y_{rk}^L}{\sum_{i=1}^m v_i X_{ik}^U} > 0 \quad j = 1, \dots, n$$

$$E_k^U = \frac{\sum_{r=1}^s u_r Y_{rk}^U}{\sum_{i=1}^m v_i X_{ik}^L} \leq 1 \quad j = 1, \dots, n$$

biçiminde ifade edilebilir. Karar birimi  $k$ 'nın alt ve üst sınır etkinlik skorlarını hesaplamak için aşağıdaki kesirli programlama çifti oluşturulmaktadır.

$$E_k^L = \max \frac{\sum_{r=1}^s u_r Y_{rk}^L}{\sum_{i=1}^m v_i X_{ik}^U}$$

$$E_j^U = \frac{\sum_{r=1}^s u_r Y_{rj}^U}{\sum_{i=1}^m v_i X_{ij}^L} \leq 1 \quad j = 1, \dots, n \quad (3.50a)$$

$$u_r, v_i \geq \varepsilon \quad \forall r, i$$

$$\begin{aligned}
E_k^U &= \text{mak} \frac{\sum_{r=1}^s u_r Y_{rk}^U}{\sum_{i=1}^m v_i X_{ik}^L} \\
E_j^U &= \frac{\sum_{r=1}^s u_r Y_{rj}^U}{\sum_{i=1}^m v_i X_{ij}^L} \leq 1 \quad j = 1, \dots, n \\
u_r, v_i &\geq \varepsilon \quad \forall r, i
\end{aligned} \tag{3.50b}$$

Charnes-Cooper dönüşümü kullanılarak yukarıdaki kesirli programlama çifti aşağıda gösterilen DP modellerine dönüştürülür.

$$\begin{aligned}
E_k^L &= \text{mak} \sum_{r=1}^s u_r Y_{rk}^L \\
\sum_{i=1}^m v_i X_{ik}^U &= 1 \\
\sum_{r=1}^s u_r Y_{rj}^U - \sum_{i=1}^m v_i X_{ij}^L &\leq 0 \quad j = 1, \dots, n \\
u_r, v_i &\geq \varepsilon \quad \forall r, i
\end{aligned} \tag{3.51a}$$

$$\begin{aligned}
E_k^U &= \text{mak} \sum_{r=1}^s u_r Y_{rk}^U \\
\sum_{i=1}^m v_i X_{ik}^L &= 1 \\
\sum_{r=1}^s u_r Y_{rj}^U - \sum_{i=1}^m v_i X_{ij}^L &\leq 0 \quad j = 1, \dots, n \\
u_r, v_i &\geq \varepsilon \quad \forall r, i
\end{aligned} \tag{3.51b}$$

Yukarıdaki denklemlerde  $E_k^U$ , tüm karar birimleri en iyi üretim faaliyeti düzeyindeyken karar birimi k'nın elde edebileceği etkinlik skorunun üst sınırını gösterirken,  $E_k^L$  ise etkinlik düzeyinin alt sınırını göstermektedir. Model (3.51b) tüm karar birimleri için üretim sınırını belirlerken, Model (3.51a), her bir karar biriminin alt sınır etkinlik skorlarını hesaplamak amacıyla bu üretim sınırını referans olarak kullanmaktadır. Bu nedenle buradaki  $E_k^L$  ve  $E_k^U$  skorlarının anlamı Despotis-Smirlis modelindeki Eşitlik

(3.48a) ve Eşitlik (3.48b) ile hesaplanan  $E_k^L$  ve  $E_k^U$  skorlarının anlamlarından farklıdır. Model (3.50) ve model (3.51) incelendiğinde karar birimlerinin etkinlik skorlarının hesaplanmasında  $(X_{ij}^L, Y_{rj}^U)$  ( $j=1, \dots, n; i=1, \dots, m; r=1, \dots, s$ ) ile ifade edilen aynı kısıt kümesinin kullanıldığı görülmektedir.

*Tanım 4.5.* Herhangi bir karar birimi olan  $k$ 'nın etkin olarak değerlendirilmesi için bu karar biriminin üst sınır etkinlik skoru  $E_k^{U*} = 1$  olmalıdır. Diğer durumlarda, ( $E_k^{U*} < 1$  olduğunda)  $KVB_k$  etkisiz olarak değerlendirilir.

Wang ve diğerleri (2005), geliştirdikleri aralık VZA modeline bulanık verinin dâhil edilebilmesi için Kao-Liu modelinde olduğu gibi  $\alpha$ -kesimler yaklaşımını benimsemişlerdir. Buna göre sırasıyla  $(X_{ij})_\alpha = [(X_{ij})_\alpha^L, (X_{ij})_\alpha^U]$  ve  $(Y_{rj})_\alpha = [(Y_{rj})_\alpha^L, (Y_{rj})_\alpha^U]$  ile gösterilen bulanık girdi ve bulanık çıktılar için eşitlik (3.51a) ve eşitlik (3.51b) ile gösterilen alt ve üst sınır aralık VZA modelleri aşağıdaki gibi yeniden kurulmaktadır (Wang ve diğerleri, 2005: 360).

$$\begin{aligned}
E_k^L &= \max \sum_{r=1}^s u_r (Y_{rk})_\alpha^L \\
\sum_{i=1}^m v_i (X_{ik})_\alpha^U &= 1 \\
\sum_{r=1}^s u_r Y_{rj}^U - \sum_{i=1}^m v_i X_{ij}^L &\leq 0 \quad j = 1, \dots, n \\
u_r, v_i &\geq \varepsilon \quad \forall r, i
\end{aligned} \tag{3.52a}$$

$$\begin{aligned}
E_k^U &= \max \sum_{r=1}^s u_r (Y_{rk})_\alpha^U \\
\sum_{i=1}^m v_i (X_{ik})_\alpha^L &= 1 \\
\sum_{r=1}^s u_r Y_{rj}^U - \sum_{i=1}^m v_i X_{ij}^L &\leq 0 \quad j = 1, \dots, n \\
u_r, v_i &\geq \varepsilon \quad \forall r, i
\end{aligned} \tag{3.52b}$$

Burada, tutarlı kıyaslama yapabilmek amacıyla her  $\alpha$ -seviye için aynı üretim sınırının kullanıldığına dikkat edilmelidir. Etkinlik ölçüm probleminde kesin verilerin elde edilmesi durumunda ilgili kesin veriler alt ve üst sınırları birbirine eşit olan aralık sayıların özel bir durumu olarak değerlendirilmektedir (Wang ve diğerleri, 2005: 367). Literatürde diğer araştırmacılar tarafından önerilen aralık VZA modellerine örnek olarak aşağıdaki çalışmalar verilebilir.

Hougaard (1999) çalışmasında, VZA uygulamasıyla elde edilen etkinlik skorlarını bulanık aralıklara genişletmiştir. Böylece, karar vericilerin bulanık etkinlik skorlarını uzman görüşleri gibi diğer elverişli performans bilgileriyle bütünleşik kullanabilmesi sağlanmaktadır. Çalışmada ayrıca örnek bir uygulama ile bulanık etkinlik skorlarının nasıl sıralanacağı gösterilmiştir. Sheth ve Triantis (2003) çalışmalarında, bulanık ortamda etkinlik ve etkililiğin amaçlarını ölçmek ve değerlendirmek amacıyla bir bulanık hedef VZA (Fuzzy Goal Data Envelopment Analysis-Fuzzy GoDEA) modeli geliştirmişlerdir. Söz konusu modelde, etkinlik ve etkililiğin amaçlarıyla ilgili bulanık kısıtlar için bir üyelik fonksiyonu tanımlanmaktadır. Bu üyelik fonksiyonu kısıtların karşılanma düzeyini ifade etmektedir. Çalışmada, önerilen model ile gazetecilik sektöründe bir uygulama yapılmıştır. Jahanshahloo ve diğerleri (2004c), çalışmalarında incelenen her bir karar biriminin “denge alanı” (radius of stability)’nı hesaplayan bir aralık VZA modeli geliştirmişlerdir. Bu modelde karar birimleri Despotis-Smirlis modelindeki gibi “her durumda etkin”, “maksimum etkin” ve “her durumda etkinsiz” şeklinde üç kategoride gruplanmaktadır. Daha sonra karar birimlerinin yer aldığı etkinlik grubu değişmeyecek şekilde olası veri değişimlerine karşın etkinlik skorlarının duyarlılığı analiz edilmektedir. Jahanshahloo ve diğerleri (2004d) çalışmalarında Despotis-Smirlis (2002) modelini kullanarak “her durumda etkin” kategorisinde yer alan karar birimlerinin ölçeğe göre getiri durumlarını incelemiştir. Çalışmada, kesin verilere sahip karar birimlerini en verimli ölçek büyüklüğüne sahip duruma getirecek bir veri kombinasyonu önerilmektedir. Jahanshahloo ve diğerleri (2004e), belirsiz verilere sahip karar birimlerinin etkinlik ölçümü amacıyla serbest atılabilir zarf (Free Disposable Hull-FDH) analizi yöntemini önermişlerdir. Çalışmada, her bir KVB’nin etkinlik skorlarının alt ve üst sınırları hesaplanarak bulanık FDH modeli DP modeline dönüştürülmektedir. Son aşamada ise Despotis-Smirlis Modeli kullanılarak karar birimleri sıralanmaktadır. Haghighat ve Khorram (2005), Despotis ve Smirlis (2002) tarafından önerilen bulanık CCR modeline dayalı olarak etkin KVB’lerin

sayısını maksimize ve minimize eden bir aralık VZA modeli önermişlerdir. Emrouznejad ve diğerleri (2012), oransal (kesirli) aralık sayılarla ifade edilen, genel oransal ve çarpımsal parametrik olmayan oransal model şeklinde adlandırılan iki yeni aralık VZA modeli geliştirmişlerdir. Genel oransal BVZA modeli, Fernandez-Castro ve Smith (1994) tarafından önerilen genel parametrik olmayan kurumsal performans modeline dayalı olarak, ikinci model ise Emrouznejad ve Cabanda (2010) tarafından önerilen çarpımsal parametrik olmayan kurumsal performans modeline dayalı olarak oluşturulmuştur. Çalışmanın uygulama kısmında üç finansal orana dayalı olarak 20 bankanın etkinliği ölçülmüştür.

Yukarda bahsedilen BVZA yaklaşımları dışında kalan literatürdeki farklı BVZA modellerini öneren çalışmalara örnek olarak ise aşağıdaki çalışmalar gösterilebilir.

Uemura (2006), klasik VZA modelinin karar birimlerinin sadece üst sınır etkinlik skorlarını hesapladığından hareketle alt ve üst sınır etkinlik skorlarını elde etmek amacıyla üretim sınırının log-doğrusal bir fonksiyon yardımıyla hesaplandığı bulanık hedef programlamaya dayalı bir VZA modeli önermiştir. Çalışmada klasik VZA modeli ile mevcut çıktılarla girdilerin alabileceği alt sınır değeri hesaplanırken log-doğrusal model ile mevcut girdilerle çıktılarının alabileceği üst sınır değeri hesaplanmaktadır. Luban (2009)'ın çalışmasında, Sheth ve Triantis (2003)'in çalışmasından esinlenerek n sayıda karar birimi ve bir düzenleyici KVB (coordinating unit)'den oluşan hiyerarşik sistemin etkinliğini ölçmek amacıyla VZA modelleri bulanıklaştırılmaktadır. Çalışmada ayrıca BVZA modellerini durulaştırmak amacıyla bazı teknikler önerilmektedir. Qin ve diğerleri (2009) tarafından girdi ve çıktılarının dilsel değişkenler ve *type-2* ( $T2$ ) türü bulanık sayılarla ifade edildiği etkinlik ölçüm problemleri için bir BVZA modeli geliştirilmiştir. Modelde ilk olarak bulanık sayının beklenen değeriyle ifade edilen  $T2$  bulanık sayıları için bir indirgenme yöntemi önerilmektedir. Daha sonra elde edilen bu bulanık sayılarla geliştirilmiş güvenilirlik yöntemi kullanılarak bir BVZA modeli kurulmaktadır. Bir sonraki aşamada ise önerilen model kullanılarak örnek bir uygulama yapılmıştır. Wang ve diğerleri (2009), bulanık aritmetik işlemlerinin kullanıldığı iki bulanık CCR modeli önerdikleri çalışmalarında, karar birimlerinin bulanık etkinlik skorlarını hesaplamak amacıyla söz konusu BVZA modellerini DP modellerine dönüştüren bir algoritma önermişlerdir. Çalışmada ayrıca elde edilen bulanık etkinlik skorlarını durulaştırmak

amacıyla bir bulanık sıralama tekniği geliştirilmiştir. Çalışmanın uygulama kısmında ise önerilen modeller ve sıralama tekniğiyle Çin'deki sekiz üretim işletmesinin etkinliği llmüştür. Qin ve Liu (2009), girdi ve çıktıların olasılık ve olabilirlik dağılımları bilinen üçgensel bulanık sayılarla ifade edildiği bir grup bulanık rastsal VZA modeli önermişlerdir. Önerilen modeller daha sonra normal dağılım fonksiyonlu kısıtlara sahip denk bir stokastik programlama modeline dnüştürölmektedir. Stokastik modelin çözümü için ise stokastik benzetim ve genetik algoritmanın bütönlüşik kullanıldığı melez bir algoritma önerilmiştir. Zerafat-Angiz ve diğerleri (2010b), bulanık ortamda karar vericilerin tercih sıralamalarını bütönlüştirmek amacıyla VZA tabanlı dört aşamalı bir model önermişlerdir. Bir tercihli oy sisteminin etkinliğinin lldüğü modelin ilk aşamasında ideal alternatifi bulmak amacıyla karar birimlerini sıralamak için bir üyelik fonksiyonu tanımlanmıştır. Algoritmanın ikinci aşamasında ideal çözümü hesaplamak için Zerafat-Angiz (2006) tarafından nerilen BVZA modeli kullanılmıştır. Modelin son iki aşamasında ise alternatifleri sıralamak için karar vericilerden elde edilen öznel yargıları bütönlüştirip tek bir skora indirgeyen bir yöntem önerilmektedir. Tavana ve diğerleri (2012), girdi ve çıktıların bulanık rastsal değişkenlerle ifade edildiği CCR modellerinin çözümü için sırasıyla olabilirlik-olasılık, olabilirlik-gereklilik ve olabilirlik-güvenirlik kısıtlarına dayalı olan üç adet BVZA modeli önermişlerdir. Olabilirlik-olasılık CCR modeli şans kısıtlamalı VZA modeli ile olabilirlik teorisine dayalı olarak geliştirilmiştir. Diğer iki model de daha önce literatüre kazandırılan gereklilik ve güvenirlik yaklaşımlarından yararlanılarak oluşturulmuştur. Çalışmada nerilen modeller ile Amerikan Savunma Bakanlığı'ndaki karar verme süreçlerinin etkinliğiyle ilgili bir uygulama yapılmıştır.

### **3.3. Borda Kuralı Yöntemi**

Grup kararı teorisinde tekil sıralama kümelerinden bütönlüşik bir sıralama elde etmek grup konsensüs (uzlaşım) fonksiyonu olarak adlandırılmaktadır. Bu fonksiyonlardan biri de çoğunluk oylamasının genelleştirilmiş bir biçimi olan Borda Count (Borda Kuralı) (Borda, 1784) yöntemidir. Modern seçim sistemlerinin gelişiminde önemli bir rolü olan Borda Kuralı alternatifleri karar vericilerin tercihlerinin toplanması sonucu elde ettikleri Borda skorlarına göre sıralamaktadır (Ho ve diğerleri (1994: 66). Buradaki karar verici bir birey olabileceği gibi bu çalışmada olduğu gibi bir matematiksel yöntem de olabilir. Borda

kuralında genellikle bir karar vericinin en az tercih ettiği alternatifte “0” puan, bir sonrakine “1” puan, en fazla tercih edilen alternatifte ise (n-1) puan atanmaktadır. Daha sonra alternatifler elde ettikleri Borda skorlarına göre büyükten küçüğe doğru sıralanmaktadır (Wu, 2012: 326).

$B_i^k$   $i$  alternatifine  $k$ . karar verici tarafından atanan sırayı göstermek üzere  $i$  alternatifinin Borda skoru aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır (Kim ve diğerleri. 2006: 242).

$$B(i) = \sum_{k=1}^n B_k^i, \quad 1 \leq i \leq n \quad (3.53)$$



## DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

### 4. BÜTÜNLEŞİK BULANIK SHANNON ENTROPİ-BVZA YÖNTEMİYLE TEKNOLOJİ/BİLİŞİM FİRMALARINDA ETKİNLİK ÖLÇÜMÜ

#### 4.1. Literatür İncelemesi

Günümüzde BİT alanında yapılan yatırımların gelişmiş ülkelerdeki makroekonomik büyümeyi pozitif yönde etkilediği genel kabul gören bir sonuçtur. ABD’de ve Avrupa Birliği (AB) ülkelerinde bu sonucu destekleyen birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalara örnek olarak Jorgenson ve Stiroh (2000), Jorgenson (2001), Colecchia ve Schreyer (2001), Oliner ve Sichel (2002), Stiroh (2002), Van Ark ve diğerleri (2002), Daveri (2002) ile Jalava ve Pohjola (2002)’nin çalışmaları verilebilir. Ancak gelişmekte olan ve geçiş ekonomileriyle ilgili aynı çıkarımda bulunmak için yeterli çalışma yapılmamıştır (Samoilenko ve Osei-Bryson, 2008: 471). BİT sektörünün bir ülkenin ekonomik büyümesine katkısı iki yönlü gerçekleşmektedir. İlk olarak toplam yatırım düzeyinin artmasına önemli katkıda bulunmaktadır. İkinci olarak ise TFV artışına neden olmaktadır (Pilat ve Lee, 2001: 4). Firma düzeyinde incelendiğinde BİT’in rekabet gücünü ve verimliliği artırdığı tespit edilmiştir (Kulalı ve Bilir, 2010: 1). Bu doğrultuda BİT’in sağladığı avantajlardan yararlanmak isteyen firmalar her geçen gün bu alandaki yatırımlarını artırmaktadırlar. Teknolojideki ilerlemeye bağlı olarak BİT fiyatlarında düşüşler yaşansa da bu sistemlerin karmaşık yapıları nedeniyle bakım ve yönetimleri zorlaştığından maliyetler artmaktadır (Seyrek, 2011: 702).

BİT sektörünün yukarıda bahsedilen stratejik öneminden dolayı literatürde araştırmacılar tarafından gerek sektörde yer alan firmaların genel performansını ölçen gerekse de firmalardaki BİT yatırım harcamalarının düzeyi ile firma performansı arasındaki ilişkiyi inceleyen birçok çalışma yapılmıştır. Literatürde BİT verimlilik paradoksu (ICT productivity paradox) olarak adlandırılan ve firmalarda BİT yatırımlarının veya BİT kullanım düzeyinin firma verimliliğini nasıl etkilediği problemi birçok

araştırmacı tarafından ele alınmıştır. Bu çalışmaların birçoğunda iki değişken arasında pozitif ilişki tespit edilirken aksi yönde sonuca ulaşan çalışmalar da mevcuttur. İlgili çalışmaların büyük çoğunluğunda matematiksel model olarak klasik VZA yöntemleri ve regresyon analizi kullanılmıştır. Bu çalışmalara örnek olarak aşağıdaki çalışmalar verilebilir.

Milana ve Zeli (2003), İtalya'daki 33 farklı sektörün 2006-2009 yılları arasındaki TFV değişimini VZA yardımıyla incelemiş ve sonuç olarak tüm sektörlerde BİT harcamalarının sektördeki TFV değişimi üzerinde pozitif ve anlamlı bir etkisinin olduğunu tespit etmiştirler. Sigala ve diğerlerinin (2004) İngiltere'deki 93 adet 3 yıldıızlı otelin BİT verimliliğini VZA ile ölçtükleri çalışmalarında, firmalarda TFV artışının firmalardaki BİT kullanım düzeyiyle doğru orantılı olduğu sonucuna varılmıştır. Bir başka deyişle sadece BİT kullanım düzeyi yüksek olan firmalarda TFV artışı görülmüştür. Firma düzeyinde bilgi teknolojileri kullanımının firma performansına etkisini ölçmek amacıyla Lichtenberg (1995), tarafından çeşitli ülkelerdeki firmaların ikincil verilerine dayanarak regresyon analizi uygulaması yapmıştır. Uygulamada Cobb-Douglas fonksiyonu yardımıyla BİT ile ilgili sermaye ve işgücü düzeyinin firma çıktı miktarına katkısını hesaplamıştır. Sonuç olarak BİT kullanımının firma performansını artırdığı tespit edilmiştir. Dewan ve Min (1997), ABD firmalarında 1988-92 yılları arasında BİT yatırımlarının sermaye ve işgücü verimliliği üzerindeki etkisini ölçmek amacıyla regresyon analizini kullandıkları çalışma sonucunda BİT yatırım düzeyinin verimliliği pozitif yönde etkilediği sonucuna varmışlardır. Powell ve Dent-Micallef (1997), ABD perakende sektöründe faaliyet gösteren 65 firmada BİT kullanım düzeyi ile firma performansı arasındaki ilişkiyi regresyon analiziyle ölçtükleri çalışmada firmalar arasında görülen performans farkının asıl olarak BİT kaynaklarından yararlanma düzeyine bağlı olduğunu ortaya koymuşlardır. Chen ve diğerleri (2006)'nin çalışmasında 27 bankanın bilgi teknolojisi kullanım etkinliğini ölçmek amacıyla VZA uygulaması yapılmıştır. Çalışmada BİT kaynaklarının kullanım düzeyi ile etkinlik skoru arasında pozitif ilişki tespit edilmiştir. Finlandiya'da endüstri düzeyinde BİT kullanımı ile TFV değişimi arasındaki ilişkiyi ölçtükleri çalışmada Jalava ve Pohjola (2007), BİT kullanım düzeyinin TFV'yi pozitif yönde etkilediği sonucuna varmışlardır. Hwang ve Lee (2010), Kore'deki 123 firmanın BİT kullanım düzeyinin firma verimliliğini nasıl etkilediğini ölçmek amacıyla regresyon analizini kullandıkları çalışmada iki değişken arasında pozitif bir ilişki tespit etmişlerdir.

Literatürde BİT kullanım düzeyiyle firma performansı arasında negatif yönlü ilişki tespit eden çalışmalar da bulunmaktadır. Morrison ve Berndt (1991) çalışmalarında firmalardaki BİT yatırımlarının marjinal faydasının marjinal maliyetinden az olduğu, bir başka deyişle BİT kullanımının firma performansına olumsuz etki yaptığı sonucuna ulaşmışlardır. Berndt ve diğerleri (1992) tarafından firmalardaki BİT kullanım düzeyinin TFV değişimi üzerindeki etkisini ölçmek amacıyla regresyon analizi kullanılan çalışmada BİT düzeyinin işgücü verimliliğini negatif yönde etkilediği sonucuna ulaşılmıştır.

Literatürde BİT sektöründe yer alan firmaların genel performansını ölçmeyi amaçlayan çalışmalarda da çoğunlukla VZA yönteminin kullanıldığı görülmektedir. Bu çalışmalara örnek olarak aşağıdaki çalışmalar verilebilir. Koski ve Majumdar (2000), OECD üyesi 22 ülkenin telekomünikasyon sektörünün etkinliğini VZA yardımıyla ölçmüşlerdir. Uri (2001), ABD telekomünikasyon sektörünün 1988-98 yılları arasındaki teknik ve tahsis etkinliğini VZA ile ölçmüştür. Tsai ve diğerleri (2006) Forbes dergisinin derlediği dünyanın en başarılı 2000 firması listesinde (Forbes 2000) yer alan 39 global telekom firmasının etkinliğini VZA ile değerlendirmiştir. Hindistan'daki kamu ve özel telekom firmalarının etkinliğini ölçmek amacıyla Nigam ve diğerleri (2012), VZA yöntemini kullanmışlardır. Leachman ve Hodges (1996), ABD, Asya ve Avrupa merkezli 16 uluslararası yarı iletken silikon imalat firmasında VZA uygulaması yapmışlardır. Liu ve Wang (2008), Tayvan'da yarı iletken ambalajlama sektöründeki firmaların TFV değişimini incelemek amacıyla Malmquist TFV endeksini kullanmışlardır. Çalışmada ayrıca aylak tabanlı VZA ve klasik CCR yöntemleri ile VZA uygulaması yapılmıştır. ABD, Japonya, Kore ve Tayvan merkezli 10 global yarı iletken firmasının performansını ölçmek amacıyla Neshati (2013), tarafından VZA uygulaması yapılmıştır. Zhu ve Xu (2004), farklı ülkelerden 30 tümleşik-devre imalat firmasının 2003 yılı etkinliğini VZA yardımıyla incelemişlerdir. Halkos ve Tzeremes (2007), telekomünikasyon ve elektronik sektöründeki dünyanın en büyük 50 çokuluslu firmasının performansını ölçmek amacıyla VZA uygulaması yapmışlardır. Qazi ve Yulin (2012), Çin'de faaliyet gösteren 15 ileri teknoloji firmasının 2000-2010 yılları arasındaki TFV değişimini ölçmek amacıyla Malmquist TFV endeksini kullanmışlardır.

Literatürde VZA dışındaki yöntemlerle performans ölçümü yapılan az sayıdaki çalışmalara örnek olarak ise aşağıdaki çalışmalar verilebilir. Wang ve diğerleri (2004)

Tayvan borsasına kayıtlı dizüstü bilgisayar üreticisi firmaların performansını bazı finansal oranlara dayalı olarak TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) yöntemiyle ölçmüşlerdir. Araştırmacılar uygulama sonucunda elde edilen sıralama sonuçlarının ilgili firmalara yapılacak finansal yatırımlar ve optimal portföy seçimi konusunda referans olabileceğini belirtmişlerdir. Zolfani ve diğerleri (2012) İran'daki üç BİT merkezinin performansını ölçmek amacıyla bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP), TOPSIS ve SAW (Simple Additive Weighting) yöntemlerini bütünleşik olarak kullanmışlardır. Uygulamada performans değerlendirme kriterlerini bulanık AHP ile ağırlıklandırdıktan sonra TOPSIS ve SAW yöntemleri ile firmaların performansı ölçülmüştür. Rohman (2013) çalışmasında, Girdi-Çıktı Analizi (Input-Output Analysis) ile Avrupa ülkelerindeki BİT endüstrilerinin ilgili ülkelerin ekonomik performansına katkısını ölçmüştür. Uygulama sonucunda BİT sektörünün 2000-2005 yılları arasında ekonomiye olan katkısının 1995-1999 yıllarına göre azaldığı ve bu azalmanın sektördeki teknolojik değişimin ve ihracat düzeyinin azalmasından kaynaklandığı tespit edilmiştir. Japonya'daki teknoloji sektörünün toplam çıktısının dinamiklerini analiz etmek amacıyla Zuhdi ve Prasetyo (2014), endüstriler arası bağımlılığı inceleyen Girdi-Çıktı Analizi tekniğini kullanmışlardır. Uygulama sonucunda BİT endüstrilerinin benzer özelliklere sahip olduğu tespit edilerek endüstrilere bazı önerilerde bulunulmuştur.

Türkiye BİT sektöründe yer alan firmalarda performans ölçümü yapılan oldukça az sayıda çalışmanın olduğu görülmektedir. Bunlara örnek olarak aşağıdaki çalışmalar verilebilir. Koçak (2006) tarafından Türk Telekom İl Müdürlüklerinde bulunan erişim şebekeleri bölümlerinin performanslarını girdiye ve çıktıya yönelik VZA modelleri yardımıyla ölçülmüştür. Baysal ve diğerleri (2007) tarafından Türkiye'deki İl Telekom Müdürlüklerinin etkinliği CCR-VZA modeli ile ölçülmüştür. Çalışmanın ikinci aşamasında çapraz etkinlik yöntemi kullanılarak CCR modeli sonucu etkin olarak bulunan İl Telekom Müdürlükleri arasında bir sıralama yapılmıştır. Tektüfekçi (2010) tarafından, İstanbul Menkul Kıymetler Borsası (İMKB)'nda işlem gören halka açık 10 teknoloji şirketinde VZA'ya dayalı olarak 2007-2009 yılları arası için finansal performans değerlemesi yapılmıştır. Dumanoglu ve Ergül (2010) tarafından, İMKB'de işlem gören 11 teknoloji şirketinin 2006-2009 yılları arasındaki performansı firmaların mali tablolarından elde edilen finansal oranlar kullanılarak TOPSIS yöntemi ile analiz edilmiştir. Çiçek ve Onat (2012) tarafından ürün, hizmet veya süreç odaklı olarak gerçekleştirilen inovasyon

faaliyetlerinin işletme performansı üzerindeki etkilerini görebilmek amacıyla VZA yöntemiyle İMKB’de işlem gören 9 teknoloji/bilişim sektörü firmasının etkinliği analiz edilmiştir.

Yukarıda özetlenen çalışmaların tamamında belirli (kesin) veriler kullanılmıştır. Literatürde BVZA yöntemleriyle BİT sektöründe etkinlik ölçümü gerçekleştiren çalışmalar ise oldukça az sayıdadır. Bunlara örnek olarak aşağıdaki çalışmalar gösterilebilir. Cooper ve diğerleri (2001), Kore’de faaliyet gösteren bir telekomünikasyon firmasının şubelerinin performansını BVZA tekniğiyle ölçmüştür. Çalışmada daha önce Cooper ve diğerleri (1999) tarafından geliştirilmiş olan belirsiz VZA (Imprecise DEA-IDEA) tekniği, güven bölgesi (Assurance Region-AR) yaklaşımı kullanılarak AR-IDEA olarak adlandırılan bütünleşik yöntemle genişletilmiştir. Burada amaç, yöneticilerin yargılarına dayalı olarak çalışmada kullanılan girdi-çıkıtı değişkenlerinin ağırlıklarına kısıtlama getirmektir. Reucher ve Roedder (2004), maksimum iyilik (maximal-fairness) olarak adlandırdıkları ve klasik CCR modelini bulanıklaştırarak her karar birimi için aynı ağırlık setinin kullanıldığı bir yöntem geliştirmişler ve bu yöntemi kullanarak Tayvan yarı iletken endüstrisinde faaliyet gösteren 5 firmanın etkinliğini ölçmüşlerdir. Uygulamada her bir firmanın 1999-2001 yıllarına ait üç yıllık verileri alınmış böylece karar birimi sayısı 15’e çıkarılarak VZA’nın KVB sayısına ilişkin kısıtı karşılanmıştır. Dört girdi ve üç çıktı faktörünün kullanıldığı uygulamada klasik CCR modeliyle maksimum iyilik modelinin sonuçları birbiriyle karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, bulanık modelin etkinlik skorlarının klasik modele göre, beklenildiği gibi, daha düşük çıktığı tespit edilmiştir. Kuo ve Wang (2007), Kao ve Liu (2000) tarafından geliştirilen BVZA modelini kullanarak Tayvan’daki 48 BİT firmasının 2003 yılı etkinliğini ölçmüşlerdir. Uygulamada personel sayısı, duran varlıklar ve Ar-Ge harcamaları girdi değişkenleri, firmanın piyasa değeri ve brüt kar ise çıktı değişkenleri olarak kullanılmıştır. Yamuk bulanık sayıların kullanıldığı çalışmada  $\alpha$ -kesimlere göre elde edilen etkinlik skorları Chen ve Klein (1997)’in geliştirdiği bulanık sıralama yöntemi kullanılarak durulaştırılmıştır. Sonuç olarak, 48 firmadan yalnızca 10 firmanın etkin çalıştığını tespit etmişlerdir. Zamani ve diğerleri (2010), akıllı güç sistemleri üreten bir teknoloji firmasında dört adet bilgi teknolojisi altyapı sistemi seçenekleri arasından en uygununu seçmek amacıyla BVZA yöntemini kullanmışlardır. Çalışmada ortalama kesinti süresi, ortalama servis dışı kalma süresi, güvenilirlik düzeyi, mühendislik ve yapım giderleri ile faaliyet ve tamir-bakım giderleri değerlendirme kriterleri olarak ele alınmıştır. Azadeh

ve diğ erleri (2010), Uluslararası Telekomünikasyon Birliğ i (ITU)'ne üye 42 ÷ lkenin kablosuz iletiş im sektö rlerinin performansını VZA, BVZA ve Temel Bileş enler Analizi (TBA) yöntemlerini kullanarak ölç müş lerdir. Ç alış mada girdi değ iş kenleri olarak mobil telefonların bağ lantı ücreti ile yoğun ve yoğun olmayan saatlerdeki 3-dakikalık görüş me ücretleri seç ilirken, kontö rlü hat ve mobil hat abone sayıları, toplam mobil iletiş im geliri ve toplam telekomünikasyon hizmet gelirleri ç ıktı değ iş kenleri olarak belirlenmiş tir. Uygulamada ilk olarak klasik VZA ile 42 ÷ lkenin etkinlik skorları hesaplanmış tir. İkinci ař amada üç girdi değ iş kenini ile beş ç ıktı değ iş keninin korelasyon değerlerinden elde edilen 15 değ iş ken kullanarak TBA ile ÷ lkeler yeniden sıralanmış ve elde edilen sıralama sonucu VZA sıralamasıyla karş ılaş tirılmış tir. Uygulamanın üç üncü ař amasında ise Jahanshahloo ve diğ erleri (2004) tarafından geliş tirilen BVZA tekniğ i kullanılarak yedi bölgeye ayrılan ÷ lkelerin etkinliğ i ölç ülmüş tür. Sonuç olarak Orta Asya ÷ lkelerinin en iyi performansı gösterdiğ i tespit edilmiş tir.

Literatürde BVZA yöntemlerinin kullanıldığ ı Türkiye merkezli az sayıdaki ç alış malar ař ađ ıda özetlenmektedir. Oruç (2008), Saati ve Memariani (2005) tarafından geliş tirilen ve tüm girdi ve ç ıktı değ iş kenleri için ortak bir ađ ırlık setinin kullanıldığ ı BVZA yöntemiyle Türkiye'deki 24 üniversitenin 2006 yılı etkinliğ ini ölç müş tür. Etkinlik ölç ümünde 6 adet girdi ve 7 adet ç ıktı kullanılmış tir. Uygulama sonucunda, Sakarya, Afyon Kocatepe, Yıldız Teknik ve Ç anakkale On sekiz Mart Üniversiteleri en iyi performans gösteren üniversiteler olarak belirlenmiş lerdir. ř afak (2009) tarafından Ege Bölgesindeki 26 Orman İş letme Müdürlüğ ünün etkinlik düzeyleri 2005–2007 yıllarına ait faaliyetleri esas alınarak klasik ve BVZA modelleri ile değerlendirilmiş tir. Klasik VZA uygulamasında 9 girdi ve 5 ç ıktıdan oluş an toplam 14 değ iş kenin farklı bileş imleriyle elde edilen 17 adet VZA modeliyle etkinlik ölç ümü yapılmış tir. Daha sonra Wang ve diğ erleri (2005) tarafından geliş tirilen BVZA modeli kullanılarak klasik VZA modelindeki gibi her bir iş letme için 17 adet bulanık etkinlik skoru hesaplanmış tir. Daha sonra ise yine Wang ve diğ erleri (2005) tarafından geliş tirilen Minimaks Piş manlık Yaklaş ımı (Minimax Regret Approach) ile etkin olmayan orman iş letmeleri en iyiden en kötüye doç ru sıralanmış tir. Güneş (2009), Wang ve diğ erlerinin (2005) önerdiğ i BVZA modeli ile Türkiye'de birinci derece kalkınma öncelikli 50 ilin 2003 yılı performanslarını analiz etmiş tir. Uygulamada Devlet Planlama Teş kilatı (DPT)'nin illerin sosyo-ekonomik geliş miş lik düzeylerini belirlerken esas aldığ ı değ iş kenler arasından seç ilen 6 girdi ve 8 ç ıktı değ iş kenini

kullanılmıştır. İlk aşamada klasik VZA modelleriyle etkinlik ölçümü yapılmıştır. İncelenen 50 İl'den 41'i teknik etkin, 49'u ise saf teknik etkin bulunmuştur. Tam etkin olmayan illerin performanslarının pişmanlık yaklaşımı kullanılarak sıralanması sonucuna göre, Adıyaman ili en kötü teknik etkinlik skoruna sahip il olarak tespit edilmiştir. Deniz (2009), Türkiye'deki 77 ilin rekabet edilebilirlik açısından kaynak etkinliklerini klasik CCR modeli ve Wang ve diğerleri (2005) tarafından önerilen BVZA modeli yardımıyla değerlendirmiştir. Klasik VZA sonuçlarına göre 77 ilin 39 adedi etkin olarak değerlendirilmiştir. BVZA uygulamasında etkinlik sınırında yer alan il sayısı 25'e düşmektedir. Bu sonuç verilerde olabilecek hatalar göz önüne alınarak yapılan BVZA uygulamasının daha gerçekçi olduğunu göstermektedir. Sekiz girdi ve bir çıktı değişkeninin kullanıldığı uygulamada her iki modelde de etkinsiz olan Eskişehir ili üzerinden girdi ve çıktılara ait hedef değerler ve iyileşme oranları hesaplanmıştır. Çalışmada ayrıca kaynak kullanımları ve girdi fazlalıkları değerlendirilmiştir. Wang ve diğerleri (2005) tarafından önerilen BVZA modelinin kullanıldığı başka bir çalışmada Cerit (2011), Türkiye'de faaliyet gösteren 18 bankanın kriz dönemine ait (2007-2008) etkinliğini analiz etmiştir. Burada amaç krizin Türk bankacılık sektörüne etkilerinin incelenmesidir. Çalışmada personel sayısı, şube sayısı ve toplam aktifler girdi değişkenleri olarak, net dönem karı, toplam krediler, toplam mevduat ile net ücret ve komisyon gelirleri çıktı değişkenleri olarak değerlendirilmiştir. Uygulama sonucunda 2007 yılı için değerlendirilen 17 bankadan 8'inin, 2008 yılında ise 9 bankanın etkin olduğu tespit edilmiştir. Başkaya ve Öztürk (2012), Saati ve diğerleri (2002) tarafından geliştirilen BVZA modelini kullanarak Borsa İstanbul (BİST)'a kote 15 çimento firmasının etkinliğini ölçmüştür. Bu amaçla 15 şirketin 2006-2010 yılları arasında yayımlanmış olan finansal tabloları kullanılmıştır. Uygulamada cari oran, likidite oranı, nakit oran ve finansal kaldıraç oranı girdi olarak, aktiflerin karlılığı, öz sermaye karlılığı, net kar marjı ve brüt kar marjı çıktı olarak kullanılmıştır. Söz konusu girdi ve çıktı değişkenleri minimum, ortalama ve maksimum değerleri dikkate alınarak üçgensel bulanık sayılar ile ifade edilmiştir. Sonuç olarak, 15 firmanın 6'sı etkin olarak değerlendirilmiştir.

Yukarıda özetlenen çalışmaların ortak bir özelliği de bunların tamamında tek bir BVZA tekniğinin kullanılmasıdır. Ayrıca çalışmaların büyük çoğunluğunda Wang ve diğerleri (2005) tarafından önerilen BVZA modelinin kullanıldığı görülmektedir. İlgili literatür değerlendirildiğinde BİT sektörünün ülke ekonomileri için önemine kıyasla

BVZA yöntemiyle performans ölçümü yapılan çalışma sayısının oldukça az olduğu görülmektedir. Türkiye bağlamında ise BİT sektöründe bulanık verilerle performans ölçümü yapılan tek çalışmanın Perçin ve Karakaya (2012) tarafından bütünleşik bulanık AHP–TOPSIS yöntemlerini kullanarak BİST’e kote 14 teknoloji/bilişim firmasının performansını ölçen çalışma olduğu tespit edilmiştir. BVZA yöntemlerinin Türkiye BİT sektöründe kullanıldığı herhangi bir çalışmaya rastlanılmamıştır.

BVZA uygulamalarında önemli bir konu da üretim sürecinde kullanılan girdi-çıkıtı setinin belirlenmesi aşamasıdır. Çalışmada firmaların ikincil verileri kullanıldığından girdi-çıkıtı değişkenleri olarak yalnızca ilgili firmaların mali tablolarından elde edilen finansal oranlar kullanılmıştır. Firma performansına etki eden diğer değişkenler veri kısıtı nedeniyle kapsam dışı bırakılmıştır. Bilindiği üzere literatürde performans ölçümü amacıyla birçok finansal oran kullanılmaktadır. VZA’da farklı girdi-çıkıtı setleri kullanıldığında farklı etkinlik skorları elde edilmektedir. Bu nedenle birçok değişken arasından firma performansını en iyi şekilde yansıtacak girdi-çıkıtı setinin belirlenmesi gerekmektedir. VZA literatüründe uygun girdi-çıkıtı karmasının belirlenmesinde çoğunlukla ilgili endüstride performans ölçümünde en sık kullanılan değişkenler tercih edilmektedir. Bunun yanında uzman veya yönetici görüşlerine dayalı olarak subjektif biçimde değerlendirme de yapılmaktadır. Aynı amaca yönelik olarak literatürde bazı objektif yöntemler de önerilmiştir. Söz konusu objektif yöntemler arasında çok değişkenli istatistik teknikleri öne çıkmaktadır. Bu tekniklerden en sık kullanılanı korelasyon analizidir. Buna göre aralarında yüksek korelasyon bulunan bazı değişkenler girdi-çıkıtı karmasından çıkarılmaktadır. Aynı amaçla kullanılan bir diğer istatistiksel teknik ise TBA’dır. Literatürde ilk kez Ueda ve Hoshiai (1997) ile Adler ve Golany (2001) tarafından birbirinden bağımsız şekilde VZA-TBA uygulaması yapılmıştır. Uygulamada ilk olarak girdi ve çıkıtı değişkenlerinin ağırlıklı doğrusal kombinasyonlarından oluşan temel bileşenler hesaplanmaktadır. Daha sonra orijinal girdi-çıkıtı değişkenlerinin yerine toplam varyansın büyük bir yüzdesini açıklayan bu temel bileşenler kullanılarak etkinlik ölçümü gerçekleştirilmektedir. Bu sayede VZA’nın karar birimlerini ayrıştırıcı gücü artırılmaktadır. Ruggiero (2005) ise regresyon analizine dayalı olarak girdi-çıkıtı sayısını azaltan bir yöntem önermiştir. Uygulamada ilk olarak belirli girdi-çıkıtı değişkenlerinden oluşan veri setine göre etkinlik skoru hesaplanmaktadır. Daha sonra bu etkinlik skoru bağımlı değişken olarak alınmakta ve aday değişken (candidate variable) olarak



adlandırılan girdi-çıktı karmalarıyla analiz edilmektedir. Regresyon analizi sonucunda elde edilen katsayılar anlamlı çıktığında ve uygun işarete sahip olduklarında (girdiler için pozitif, çıktılar için negatif işaret) ilgili değişkenlerin girdi-çıktı setine dâhil edilmesine karar verilmektedir. Simar ve Wilson (2001), girdi-çıktı sayısını azaltan bazı test istatistiklerini içeren ve bu testlerin kritik değerlerini elde etmek amacıyla Bootstrap yönteminin uygulandığı bir algoritma önermiştir. Fanchon (2003) ise beş aşamadan oluşan ve iterasyona dayalı regresyon analizi yöntemiyle girdi-çıktı değişkenlerini belirleyen bir yöntem önermiştir. Jenkins ve Anderson (2003) tarafından, minimum bilgi içeriğine sahip girdi-çıktı değişkenlerini analizden çıkararak bir kısmi regresyon analizi önerilen çalışmada, aralarında yüksek korelasyona sahip değişkenlerin analizden çıkarılmasının etkinlik skorunu önemli biçimde değiştirdiği tespit edilmiştir. Dario ve Simar (2007), yüksek korelasyona sahip girdi ve çıktı değişkenlerini özdeğer (eigenvalue)'leri kullanarak tek bir girdi ve çıktıya indirgeyen bir algoritma önermişlerdir. Pastor ve diğerleri (2002), Etkinlik Katkı Ölçümü (Efficiency Contribution Measure-ECM) şeklinde adlandırdıkları ve girdi-çıktı değişkenlerinin etkinlik skorlarına katkı düzeylerine göre belirlendiği bir yöntem geliştirmişlerdir. Bu yöntemde her bir değişken aday değişken kabul edilerek değişkenin yer aldığı ve yer olmadığı iki VZA skoru hesaplanmaktadır. Daha sonra Binomial test yardımıyla aday değişken etkinlik skoruna katkısına göre analize dâhil edilmekte veya çıkarılmaktadır.

Yukarıda bahsedilen yöntemler VZA uygulamaları için geliştirildiğinden bulanık verilerin kullanılması için uygun teknikler olarak görülmemektedirler. Hosseinzadeh Lotfi ve Fallahnejad (2010), bulanık üretim ortamlarında girdi-çıktı değişkenlerinin belirlenmesi amacıyla matematiksel bir yöntem olan Bulanık Shannon Entropi (Imprecise Shannon Entropy) yöntemini geliştirmişlerdir. Söz konusu yöntemde Shannon (1948) tarafından önerilen Entropi yöntemi  $\alpha$ -kesim kümelerine dayalı olarak bulanık ve aralık sayılar için genişletilmiştir. Bu çalışmada girdi-çıktı setinin belirlenmesinde sübjektiflikten kaçınmak amacıyla tamamen objektif bir teknik olan Bulanık Shannon Entropi yöntemi kullanılmıştır. Bulanık Shannon Entropi modelinin literatürde kullanıldığı az sayıdaki çalışmalara örnek olarak aşağıdaki iki çalışma verilebilir. Andreica ve Andreica (2012), portföy seçim problemini ele aldıkları çalışmalarında aralık sayılardan oluşan değerlendirme kriterlerinin ağırlıklarını hesaplamak amacıyla Bulanık Shannon Entropi yöntemini kullanmışlardır. Chaghooshi ve diğerleri (2012), Bulanık TOPSIS ve Bulanık

VIKOR yöntemleriyle optimal endüstriyel robot sistemi seçimi yaptıkları çalışmalarında değerlendirme kriterlerini Bulanık Shannon Entropi yöntemini kullanarak ağırlıklandırmışlardır.

#### **4.2. BİT Sektörünün Dünya ve Türkiye Ekonomisindeki Yeri**

Sanayi toplumundan bilgi toplumuna geçişi ifade eden “yeni ekonomi” (new economy) olarak da tanımlanan BİT, özellikle 1990’larda gelişmiş ülkeler ile diğer ülkeler arasında oluşan ekonomik büyüme farkının açıklanmasında kilit rol oynayan bir faktör olarak gösterilmektedir. BİT, bölge veya ülkeler arasında eşitsiz biçimde yayılmaya devam ettikçe ülkeler arasında “sayısal uçurum (digital divide)” oluşmaktadır. Örneğin, ABD, Finlandiya ve İrlanda BİT sayesinde ekonomik büyüme ve iş yaratma konusunda diğer Avrupa ülkeleri ve Japonya’ya göre daha iyi bir performans göstermiştir. Sonuç olarak, gelişmiş ülkelerin BİT kullanımından kaynaklanan ekonomik büyüme avantajı giderek artmaktadır (Seo ve diğerleri, 2009:423).

BİT sektörü küresel büyüklüğünün 2011 yılı itibarı ile 4,1 trilyon dolar düzeyine ulaştığı görülmektedir. Türkiye BİT sektörünün büyüklüğü ise yaklaşık 30 milyar dolardır. Türkiye’nin küresel BİT pazarından aldığı payın %0,75’te kalması bir yandan da sektörün Türkiye’deki büyüme potansiyelini ifade etmektedir. Türkiye BİT sektörünün yaklaşık %30’unu bilgi teknolojileri sektörü, %70’ini ise iletişim sektörü oluşturmaktadır. Tablo 7’de 2007-2010 dönemi için Türkiye BİT sektörünün ve bağlı alt sektörlerinin pazar büyüklükleri gösterilmektedir.

Türkiye’nin 2023 yılında ulaşması öngörülen 2 trilyon dolarlık GSYİH içinde BİT payının %8 olması hedeflenmektedir. Sektörün hedeflediği 160 milyar dolarlık büyüklüğe ulaşması durumunda sadece TFV artışı yoluyla ekonomiye yaklaşık 71 milyar dolarlık bir katkı sağlayacağı tahmin edilmektedir (Yased, 2012: 3).

**Tablo 7: 2007-2010 Dönemi Türkiye BİT Sektörü Göstergeleri**

	2007	2008	2009	2010
<i>BİT sektörü pazar büyüklüğü</i> (Milyar ABD Doları)	22.24	24.88	23.96	25.05
İletişim Teknolojileri	16.31	18.92	17.30	17.48
Bilgi Teknolojileri	5.93	5.96	6.66	7.57
-Donanım	4.80	4.72	5.44	6.08
-Yazılım	0.49	0.52	0.51	0.58
-Hizmetler	0.64	0.72	0.71	0.91
<i>BİT Sektörü Pazar Büyümesi</i>				
İletişim Teknolojileri	-	16	-8.56	1.04
Bilgi Teknolojileri	-	0.51	11.74	13.66
-Donanım	-	-1.69	13.24	10.53
-Yazılım	-	5.77	-1.96	12.07
-Hizmetler	-	11.11	-1.41	21.98

**Kaynak:** Devlet Planlama Teşkilatı, [DPT] 2011:100

Diğer ülkelerle karşılaştırıldığında Türkiye’de bilgi teknolojileri sektörünün göreceli olarak çok daha küçük olduğu görülmektedir. Bu durumun temel nedeni bilişim hizmetleri alt sektörünün yeterince gelişmemiş olmasıdır. Türkiye’de faaliyet gösteren yerli ve uluslararası sermayeli yazılım ve bilişim hizmeti şirketleri arasında 2010 yılı sonu itibarıyla 100 milyon dolarlık ciroya sahip şirket sayısı oldukça azdır (Uluslararası Yatırımcılar Derneği, [Yased], 2012: 20). BİT sektörünün ülke ekonomisindeki payını ölçmek için genellikle sektörün GSMH, GSYH veya toplam katma değer içindeki payı incelenmektedir. 2007-2010 döneminde ABD’de BİT sektörünün GSYH’ye katkısı %8’lerden %9,5 düzeyine, AB genelinde ise %5,5’lerden %6’lara ulaşmıştır. Türkiye BİT sektörünün GSYH içindeki payı aynı dönem için Tablo 8’de görüldüğü üzere %3,4 düzeylerinde kalmıştır (Türkiye Büyük Millet Meclisi, [TBMM], 2012: 135). Türkiye’nin 2023 yılında ulaşması öngörülen 2 trilyon dolarlık GSYİH içinde BİT payının %8 olması hedeflenmektedir. Sektörün hedeflediği 160 milyar dolarlık büyüklüğe ulaşması durumunda sadece TFV artışı yoluyla ekonomiye yaklaşık 71 milyar dolarlık bir katkı sağlayacağı tahmin edilmektedir (Yased, 2012: 3).

**Tablo 8: 2007-2010 Döneminde Türkiye’de BİT Sektörünün GSYH İçindeki Payı**

	2007	2008	2009	2010
<i>BİT sektörünün GSYH içindeki payı (%)</i>	3.43	3.35	3.90	3.40
İletişim Teknolojileri	2.51	2.55	2.82	2.37
Bilgi Teknolojileri	0.91	0.8	1.08	1.03
-Donanım	0.74	0.64	0.89	0.83
-Yazılım	0.08	0.07	0.08	0.08
-Hizmetler	0.10	0.10	0.12	0.12

**Kaynak:** DPT, 2011: 100

Dünya Bankası’nın her yıl yayımladığı Dünya Gelişim Göstergeleri (World Development Indicators-WDI) raporuna göre Türkiye’nin BİT ürünleri ihracatının toplam ihracattaki payı 2000-2005 yılları arasında %3,7 - %4,65 aralığında değişirken, daha sonra azalma trendine girerek 2011 yılında %1,7 (2,236 milyar ABD doları) olarak gerçekleşmiştir. Bu oranın OECD ülkelerindeki ortalaması %7,8’dir. Dünya ortalaması ise %10,3 seviyesindedir (World Bank, 2014). Görüldüğü üzere Türkiye mevcut potansiyelinin oldukça gerisindedir. Türkiye BİT hizmet ihracatında da istenilen performanstan uzak durumdadır. Tablo 9’da görüleceği üzere Türkiye’nin 2006-2011 döneminde BİT hizmet ihracatının toplam hizmet ihracatı içindeki payı, 2008 yılındaki %2,17’lik oran dışında, %1,38 - %1,91 bandında seyretmiştir. Dünya ve OECD ülkeleri 2011 yılı ortalamaları ise %8,5 düzeyinde gerçekleşmiştir. Türkiye 2011 yılındaki performansıyla dünyada 110’uncu sırada yer almıştır.

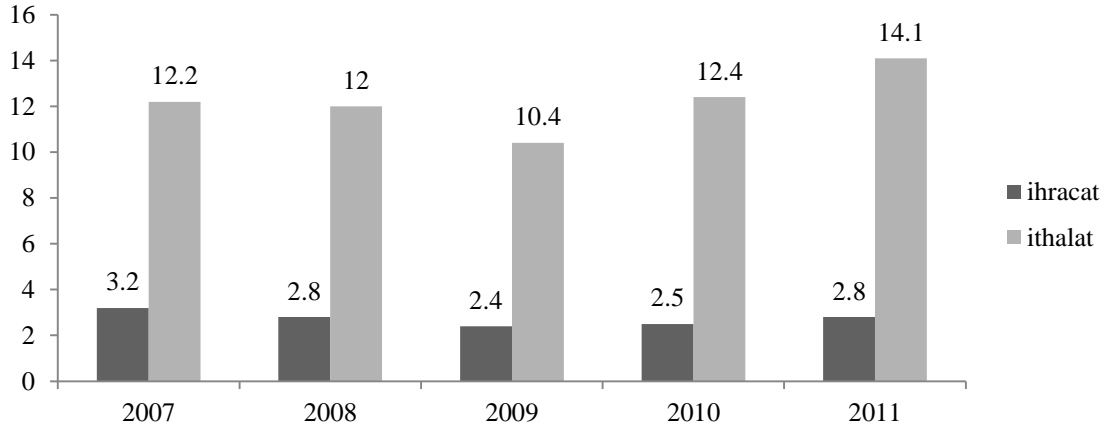
**Tablo 9: Türkiye’nin BİT Hizmet İhracatının Toplam Hizmet İhracatı İçindeki Payı**

Yıl	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Oran (%)	1.67	1.79	2.17	1.91	1.58	1.38

**Kaynak:** World Bank, 2014.

İthalat açısından incelendiğinde de Türkiye'nin ihracat ile benzer bir durumda olduğu görülmektedir. 2011 yılında BİT sektörü ithalatının toplam ithalat içindeki payı yaklaşık %6 olarak gerçekleşmiştir. Tablo 10'da 2007-2011 yılları arasında BİT sektörünün dış ticaret büyüklükleri gösterilmektedir.

**Tablo 10: Türkiye BİT Sektörü Dış Ticaret Büyüklükleri**



**Kaynak:** TBMM, 2012: 142

Tablo 10'dan da anlaşılacağı üzere Türkiye, BİT ürün ve hizmetleri açısından net ithalatçı konumundadır. Sektörün ihracatını artırması cari açığın azalmasını sağlayacaktır.

OECD ülkelerinin BİT sektörü politikalarını değerlendirmek amacıyla OECD tarafından periyodik olarak hazırlanan "OECD Information Technology Outlook 2010" raporuna göre özel sektör işletmelerinin yarattığı katma değer oranları içinde BİT sektörünün payı bakımından Türkiye 2008 yılında %5,5 oranıyla son sıralarda yer almıştır. İlk üç sırada ise Finlandiya (%13,9), İrlanda (%13) ve Kore Cumhuriyeti (%12,2) yer almıştır. OECD ülkeleri ortalaması ise %8,2'dir (OECD, 2010).

BİT sektörünün bir de istihdam boyutu bulunmaktadır. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerine göre Türkiye BİT sektörünün 2006-2011 yılları arasındaki girişim ve istihdam göstergeleri Tablo 11'de sunulmaktadır. Tablo 11'e göre BİT sektöründe faaliyet gösteren girişim sayısı yıllar itibarı ile artış gösterirken istihdam edilen işgücü sayısı inişli-çıkışlı bir seyir göstermiştir.

**Tablo 11: BİT Sektöründeki Girişim ve İstihdam Göstergeleri**

	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Girişim Sayısı	10.431	12.156	13.320	25.826	26.936	28.857
BİT sektör istihdamı	160.644	162.392	174.367	143.854	151.495	160.964
BİT istihdamının toplam istihdama oranı (%)	1.70	1.70	1.70	1.51	1.20	1.40

**Kaynak:** TÜİK, 2014

BİT'in ülkeler için sosyo-ekonomik öneminden dolayı uluslararası saygın birçok kuruluş tarafından geliştirilen ve genel kabul gören bazı BİT endeksleri bulunmaktadır. Bu endekslerden biri Uluslararası Telekomünikasyon Birliği (ITU) tarafından hazırlanan ve ülkelerin BİT alanındaki gelişim düzeylerini ölçen ve bu yolla ülkeler arasındaki sayısal uçurumu gösteren BİT Gelişme Endeksi (ICT Development Index-IDI)'dir. BİT erişim, kullanım ve yetenekleri kategorilerinde yer alan 11 başlığa dayalı olan bu endekse göre Türkiye 2011 yılında erişim alt endeksinde 5.12 puanla 69. sırada, kullanım alt endeksinde 2.26 puanla 65. sırada, yetenekler alt-endeksinde ise 7,13 puanla 68. sırada yer almıştır. Türkiye genelde ise 4.38 puanla 155 ülke arasında 66. sırada yer almıştır. Endekse göre ilk sıralarda gelişmiş ülkelerin olduğu görülmektedir. Kore Cumhuriyeti 8,56 puanla birinci sırada yer alırken onu İsveç, Danimarka ve İzlanda takip etmektedir (International Telecommunication Union, [ITU], 2012: 208-209).

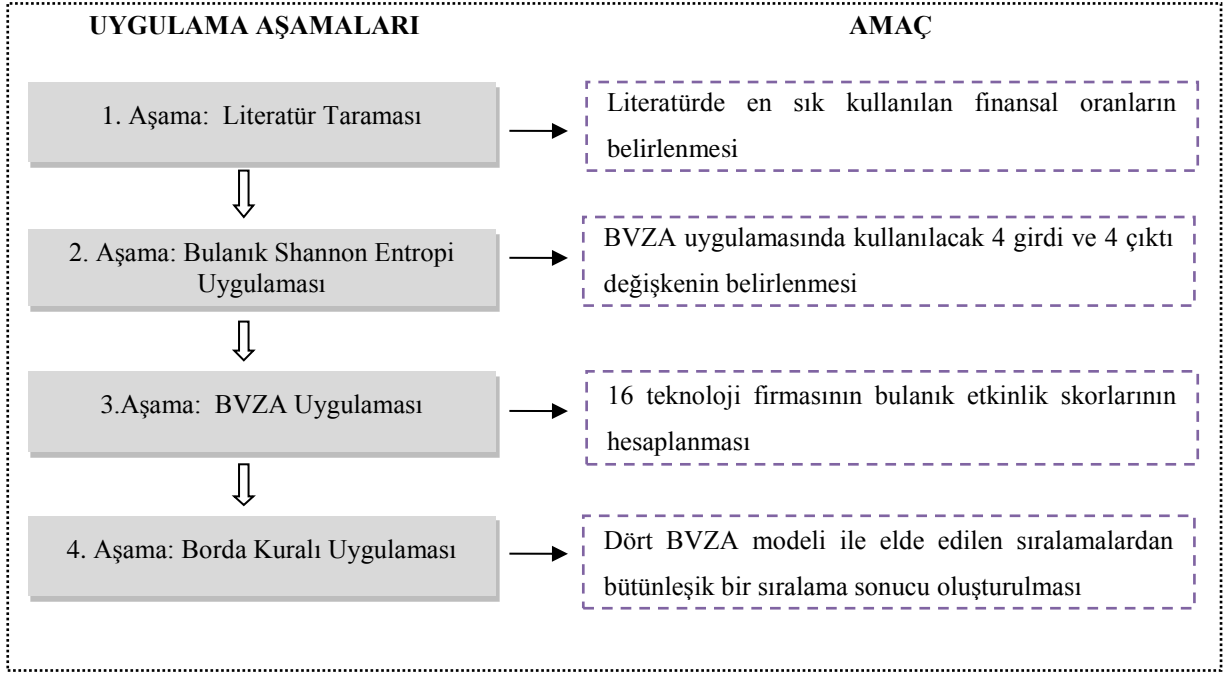
Bir diğer önemli BİT endeksi ise Dünya Ekonomi Forumu (World Economic Forum) tarafından 2001 yılından beri düzenli olarak yayınlanan Ağa Hazırlık Endeksi (Networked Readiness Index-NRI)'dir. Bu endeks ülkelerin BİT'in sağladığı fırsatlardan yararlanma eğilimlerini ölçmektedir. NRI, hazır olma-kullanım-ortam alt endekslerinden oluşmakta ve BİT'in ülkelerin rekabetçilik düzeylerine olan etkisini araştırmaktadır. Hazır olma endeksi birey, iş dünyası ve hükümetlerden oluşan kilit paydaşların BİT kullanımına hazır olma düzeyini, kullanım endeksi paydaşların BİT kullanım düzeyini, ortam endeksi ise ilgili ülkenin BİT açısından piyasa, siyasi ve düzenleyici altyapı ortamını incelemektedir. Söz konusu üç endeksin toplam skorlarına göre hesaplanan NRI endeksinde göre Türkiye 2012 yılında 4,07 puanla 142 ülke arasında 52. sırada yer almıştır.

Performansı en yüksek üç ülke ise sırasıyla İsveç, Singapur ve Finlandiya olmuştur (World Economic Forum, [WEF], 2013).

### **4.3. Araştırmanın Metodolojisi**

Bu çalışmada Bulanık Shannon Entropi yöntemi ile BVZA modellerinin melez kullanımı yoluyla 16 teknoloji firmasında 2011-2013 yılı arasındaki verileriyle etkinlik ölçümü gerçekleştirilmiştir. Uygulama sonucunda elde edilen dört sıralama listesi Borda Kuralı yardımıyla bütünleştirilerek daha rasyonel tek bir sıralama listesi oluşturulmuştur. Çalışmanın uygulama kısmı dört aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada BVZA uygulamasında kullanılacak girdi ve çıktı değişkenleri belirlenecektir. Bu amaçla ilk olarak firma performansı ölçümü literatüründe en sık kullanılan finansal oranlar belirlenerek söz konusu oranlar girdi değişkenleri ve çıktı değişkenleri şeklinde iki gruba ayrılacaktır. İkinci aşamada Bulanık Shannon Entropi Yöntemi kullanılarak girdi grubunda yer alan finansal oranlar arasında en yüksek önem ağırlığına sahip dört finansal oran girdi değişkenleri olarak seçilecektir. Aynı yolla çıktı setinde yer alan finansal oranlar arasından dört finansal oran da çıktı değişkenleri olarak seçilecektir. Böylece 16 firma sayısına karşılık toplam 8 değişken kullanılarak VZA'nın KVB sayısı ile ilgili kısıtı karşılanmış olacaktır. Uygulamanın üçüncü aşamasında ise dört temel BVZA modeli olan Kao-Liu modeli, Saati-Memariani-Jahanshahloo modeli, Lertworasirikul-Fang-Joines-Nuttle modeli ve Wang-Greatbanks-Yang modeli kullanılarak ilgili 16 firmanın etkinliği ölçülecektir. Böylece 16 firmanın her biri için dörder adet etkinlik skoru elde edilmiş olacaktır. Uygulamanın son aşamasında ise Borda Kuralı yöntemi ile dört sıralama listesinden bütünleşik tek bir sıralama sonucu elde edilecektir. Buna göre araştırmanın modeli Şekil 13'te gösterilmektedir.

**Şekil 13: Araştırmanın Modeli**



#### 4.4. Evren ve Örneklem

Bu çalışmanın evrenini Türkiye BİT sektöründe faaliyet gösteren firmalar oluşturmaktadır. Ancak gerek zaman ve maliyet kısıtları gerekse de Türkiye'deki işletmelerden birinci elden veri elde etmenin zorluğu nedeniyle çalışmada ikincil verilere sahip firmaların etkinliğinin ölçülmesine karar verilmiştir. Dolayısıyla, çalışmanın örneklemini BİST'e kote olan ve BİT sektörü içinde değerlendirilebilecek teknoloji/bilişim sektöründe faaliyet gösteren 16 firmayı kapsamaktadır. Söz konusu firmalar Tablo 12'de gösterilmektedir.



**Tablo 12: Çalışmada Etkinliği Ölçülen Teknoloji/Bilişim Firmaları**

Firma Kodu	Firma Adı	Firma Kodu	Firma Adı
ALCATEL	Alcatel Lucent Teletaş Telekomünikasyon A.Ş.	ESCORT	Escort Teknoloji Yatırım A.Ş.
ANEL	Anel Telekomünikasyon Elektronik Sis. San. Tic. A.Ş.	İNDEKS	İndeks Bilgisayar Sistemleri Mühendislik San. ve Tic. A.Ş.
ARENA	Arena Bilgisayar San. ve Tic. A.Ş.	KAREL	Karel Elektronik San. ve Tic. A.Ş.
ARMADA	Armada Bilgisayar Sistemleri San. ve Tic. A.Ş.	KRON	Kron Telekomünikasyon Hizmetleri A.Ş.
ASELSAN	Aselsan Elektronik San. ve Tic. A.Ş.	LİNK	Link Bilgisayar Sistemleri Yazılımı ve Donanımı San. T.A.Ş.
DATAGATE	Datagate Bilgisayar Malzemeleri Tic. A.Ş.	LOGO	Logo Yazılım San. ve Tic. A.
DESPEC	Despec Bilgisayar Pazarlama ve Tic. A.Ş.	NETAŞ	Netaş Telekomünikasyon A.Ş.
ERICOM	Ericom Telekomünikasyon ve Enerji Teknolojileri A.Ş.	PLASTİKKART	Plastikkart Akıllı Kart İletişim Sistemleri San. ve Tic. A.Ş.

#### 4.5. Bulanık Shannon Entropi Yöntemiyle Girdi-Çıktı Setinin Belirlenmesi

VZA yönteminin kısıtlarından biri olan KVB sayısı ile girdi-çıkıtı değişkeni sayısı arasındaki ilişki dikkate alınarak uygulamada dört girdi ve dört çıkıtı değişkeni kullanılması uygun görülmüştür. Bu amaçla ilk olarak literatürde en sık kullanılan finansal oranlar belirlenmiştir. Daha sonra söz konusu oranlar yine literatürdeki çalışmalar dikkate alınarak girdi değişkenleri ve çıkıtı değişkenleri şeklinde iki gruba ayrılmıştır. Bu yolla belirlenen 10 adet girdi ve 10 adet çıkıtı değişkeni sırasıyla Tablo 13 ve Tablo 14’te gösterilmektedir.

**Tablo 13: Bulanık Shannon Entropi Uygulamasında Kullanılan Girdi Değişkenleri**

Kategori	Kodu	Adı	Formülü	Kullanıldığı çalışma
<i>Finansal Yapı Oranları</i>	G1	Finansal Kaldıraç Oranı	$\frac{\text{Toplam Borç}}{\text{Toplam Aktifler}}$	Psillaki ve diğerleri (2010)
	G2	Borç-Özsermaye Oranı	$\frac{\text{Toplam Borç}}{\text{Özsermaye}}$	Gutiérrez-Nieto ve diğerleri (2007)
	G3	Kısa Vadeli Borçların Toplam Borçlara Oranı	$\frac{\text{Kısa Vadeli Borçlar}}{\text{Toplam Borçlar}}$	Öcal ve diğerleri (2007)
	G4	Kısa Vadeli Borçların Toplam Aktiflere Oranı	$\frac{\text{Kısa Vadeli Borçlar}}{\text{Toplam Aktifler}}$	Yörük ve diğerleri (2011)
	G5	Özsermayenin Aktiflere Oranı	$\frac{\text{Öz Sermaye}}{\text{Toplam Aktifler}}$	Seçme ve diğerleri (2009)
	G6	Duran Varlıkların Devamlı Sermayeye Oranı	$\frac{\text{Duran Varlıklar}}{\text{(Uzun Vadeli Borçlar + Öz Sermaye)}}$	Wang ve Lee (2008)
<i>Likidite Oranları</i>	G7	Cari Oran	$\frac{\text{Dönen Varlıklar}}{\text{Kısa Vadeli Borçlar}}$	Feng ve Wang (2000)
	G8	Asit-Test Oranı	$\frac{\text{Dönen Varlıklar - Stoklar}}{\text{Kısa Vadeli Borçlar}}$	Ertuğrul ve Karakaşoğlu (2009)
	G9	Nakit Oranı	$\frac{\text{(Hazır Değerler + Menkul Değerler)}}{\text{Kısa Vadeli Borçlar}}$	Başkaya ve Öztürk (2012)
	G10	Net İşletme Sermayesinin Aktiflere Oranı	$\frac{\text{(Dönen Varlıklar - Kısa Vadeli Borçlar)}}{\text{Toplam Aktifler}}$	Goto ve Sueyoshi (2006)

**Tablo 14: Bulanık Shannon Entropi Uygulamasında Kullanılan Çıktı Değişkenleri**

Kategori	Kodu	Adı	Formülü	Kullanıldığı çalışma
<i>Faaliyet Oranları</i>	Ç1	Alacak Devir Hızı	Net Satışlar / Ticari Alacaklar	Wang (2008)
	Ç2	Stok Devir Hızı	Satılan Malın Maliyeti/Ortalama Stoklar	Ata ve Yakut (2009)
	Ç3	Aktif Devir Hızı	Net Satışlar/Ortalama Aktifler	Ahangar (2011)
	Ç4	Dönen Varlıklar Devir Hızı	Net Satışlar/Ortalama Dönen Varlıklar	Delen ve diğerleri (2013)
<i>Karlılık Oranları</i>	Ç5	Net Kar Marjı	Net Kar/Net Satışlar	Halkos ve diğerleri (2012)
	Ç6	Öz Sermaye Kar Marjı (ROE)	Net Kar/Öz Sermaye	Tseng ve diğerleri (2009)
	Ç7	Aktif Kar Marjı (ROA)	Net Kar/Toplam Aktifler	Margaritis ve Psillaki (2004)
	Ç8	Esas Faaliyet Kar Marjı	Esas Faaliyet Karı/Net Satışlar	Dill ve diğerleri (2014)
<i>Piyasa Değeri Oranları</i>	Ç9	Piyasa Değeri / Defter Değeri Oranı	Hisse Senedi Fiyatı/(Öz sermaye/ Ödenmiş Sermaye)	Chen ve diğerleri (2005)
	Ç10	Fiyat /Satış Oranı	Piyasa Değeri/ (Net Satışlar/Ödenmiş Sermaye)	Rizvi ve diğerleri (2012)

Uygulamada kullanılan dört BVZA modeli de  $\alpha$ -kesimlere dayalı olarak üçgensel sayılarla ifade edilmiştir. Firmaların girdi ve çıktı değişkenlerinin bulanıklaştırılması amacıyla firmaların 2011-2013 yılları arasındaki üç yıla ilişkin verileri kullanılmıştır. Buna göre ilgili dönemde firmaların girdi ve çıktı değişkenleri içindeki minimum değer firmanın ilgili girdi ve çıktısının alt sınırını, üç yılın aritmetik ortalaması ilgili girdi ve çıktının orta noktasını, üç yılın maksimum değeri ise ilgili girdi ve çıktının üst sınırını oluşturmaktadır.

KVB'lere ait girdi-çıktı setinde bazı oranlar negatif değerler aldığı VZA'nın varsayımlarından biri olan modeldeki değişkenlerin pozitiflik (en azından negatif olmama) şartı ihlal edilmektedir (Cooper ve diğerleri, 2000: 13). Bu çalışmada bazı firmaların net kar ve esas faaliyet kar değişkenleri negatif olduğundan ilgili değişkenlere bağlı finansal oranlar da negatif değer almıştır. VZA'da yer alan negatif olmama kısıtı nedeniyle böyle durumlarda literatürde çeşitli veri dönüşümleri önerilmektedir. Bu dönüşümlerden biri de negatif değere sahip değişkenlere sabit bir sayının eklenerek ilgili değişkenin pozitif değer almasının sağlanmasıdır. Ancak etkinlik sınırının değişmemesi için bu dönüşüm veri

setindeki tüm değişkenlere uygulanmalıdır (Bowlin, 1998; Sarkis, 2007: 316). Çalışmada bahse konu dönüşüm uygulanarak tüm firmaların net kar ve esas faaliyet kâr değerleri veri setindeki ilgili değişkeninin minimum değeri kadar artırılmıştır. Veri setine yukarıda belirtilen dönüşüm uygulandıktan sonra Bulanık Shannon Entropi yöntemiyle BVZA uygulamasında kullanılacak dört adet girdi değişkeni belirlenmiştir. Üçgensel sayılarla ifade edilen girdi değişkenleri için düzenlenen bulanık karar matrisi Tablo 15’te gösterilmektedir.

*Aşama 1:  $\alpha$ -kesim kümelerini kullanarak bulanık verinin aralık veriye dönüştürülmesi*

Bulanık Shannon Entropi yönteminin uygulanmasındaki ilk aşama  $\alpha$ -kesim kümelerini kullanarak bulanık verinin aralık veriye dönüştürülmesidir. Bulanık verilerin  $\alpha$ -kesimleri Eşitlik (3.26) ile gösterilen Zimmermann (1991)’ın  $\alpha$ -kesim kümeleri yaklaşımından yararlanılarak hesaplanmıştır. Farklı  $\alpha$ -kesim değerleri farklı sıralamalar verebileceğinden uygulamada hangi  $\alpha$ -kesim düzeyinin kullanılması gerektiği önem kazanmaktadır. Yüksek bir  $\alpha$ -kesim değeri seçilen aralığın bulanıklığını azaltırken, düşük bir  $\alpha$  değeri güven derecesi daha yüksek bir sonuç verecektir. Bu doğrultuda, risk almaktan kaçınan bir karar verici belirsizliği (bulanıklığı) azaltmak için yüksek bir  $\alpha$  değeri seçmelidir. Diğer yandan risk almayı tercih eden bir karar verici de daha düşük  $\alpha$  değerini seçecektir (Wang, 2005: 368). Bu çalışmada (0, 0.3, 0.5, 0.7 ve 1) şeklinde 5 farklı  $\alpha$ -kesim değerine göre girdi ve çıktıların önem ağırlıkları hesaplanmıştır. Tablo 16’da  $\alpha = 0,5$  için yapılan hesaplamalar gösterilmektedir.

**Tablo 15: Girdi Değişkenleri için Bulamık Karar Matrisi**

G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9	G10
KVB1	[0.74,0.78,0.82]	[2.91,3.70,4.54]	[0.73,0.75,0.77]	[0.54,0.58,0.61]	[0.18,0.22,0.26]	[1.44,1.58,1.74]	[1.18,1.39,1.57]	[0.22,0.29,0.36]	[0.31,0.37,0.40]
KVB2	[0.63,0.74,0.87]	[1.72,3.59,6.57]	[0.30,0.37,0.46]	[0.19,0.28,0.40]	[0.1,0.26,0.37]	[0.82,1.00,1.33]	[0.80,0.92,1.14]	[0.17,0.44,0.89]	[0.00,0.02,0.06]
KVB3	[0.63,0.67,0.71]	[0.68,2.04,2.43]	[0.97,0.99,1.00]	[0.61,0.66,0.71]	[0.29,0.33,0.37]	[1.38,1.47,1.56]	[0.98,1.03,1.06]	[0.12,0.18,0.24]	[0.27,0.34,0.41]
KVB4	[0.70,0.74,0.79]	[2.35,2.92,3.87]	[0.94,0.98,0.99]	[0.67,0.72,0.79]	[0.21,0.26,0.30]	[1.25,1.37,1.46]	[0.98,1.09,1.18]	[0.11,0.16,0.19]	[0.29,0.30,0.33]
KVB5	[0.57,0.60,0.62]	[1.35,1.49,1.63]	[0.31,0.36,0.39]	[0.18,0.22,0.23]	[0.38,0.40,0.43]	[2.19,2.65,3.25]	[1.50,1.74,1.96]	[0.11,0.34,0.48]	[0.32,0.38,0.47]
KVB6	[0.61,0.67,0.74]	[1.54,2.10,2.91]	[0.98,0.99,1.00]	[0.61,0.66,0.73]	[0.26,0.33,0.39]	[1.36,1.52,1.65]	[1.26,1.28,1.30]	[0.35,0.38,0.42]	[0.33,0.37,0.44]
KVB7	[0.29,0.30,0.31]	[0.41,0.43,0.46]	[0.99,0.99,0.99]	[0.28,0.30,0.31]	[0.69,0.70,0.71]	[3.23,3.33,3.48]	[2.23,2.46,2.70]	[0.24,0.44,0.80]	[0.71,0.73,0.75]
KVB8	[0.14,0.15,0.17]	[0.16,0.18,0.20]	[0.98,0.99,1.00]	[0.14,0.15,0.17]	[0.83,0.85,0.86]	[4.91,5.87,6.53]	[4.57,5.44,5.98]	[0.10,2.34,4.06]	[0.70,0.77,0.86]
KVB9	[0.48,0.55,0.63]	[0.92,1.24,1.69]	[0.94,0.97,0.98]	[0.47,0.53,0.62]	[0.37,0.45,0.52]	[1.15,1.26,1.33]	[0.89,0.92,0.95]	[0.02,0.04,0.06]	[0.13,0.17,0.21]
KVB10	[0.78,0.79,0.81]	[3.57,3.86,4.19]	[0.97,0.98,0.99]	[0.76,0.78,0.80]	[0.19,0.21,0.22]	[1.18,1.21,1.25]	[0.93,0.98,1.03]	[0.10,0.12,0.14]	[0.17,0.20,0.25]
KVB11	[0.40,0.43,0.47]	[0.66,0.77,0.87]	[0.80,0.85,0.89]	[0.34,0.37,0.41]	[0.53,0.57,0.60]	[1.75,1.99,2.12]	[1.21,1.34,1.42]	[0.44,0.54,0.66]	[0.35,0.39,0.45]
KVB12	[0.21,0.29,0.36]	[0.26,0.42,0.56]	[0.66,0.78,0.89]	[0.13,0.23,0.32]	[0.64,0.71,0.79]	[1.55,3.79,6.51]	[1.50,3.68,6.36]	[0.17,1.07,2.30]	[0.22,0.53,0.81]
KVB13	[0.06,0.07,0.09]	[0.06,0.08,0.10]	[0.72,0.77,0.84]	[0.04,0.06,0.79]	[0.91,0.93,0.94]	[9.78,14.86,18.63]	[9.77,14.66,18.31]	[7.54,13.04,17.39]	[0.71,0.77,0.85]
KVB14	[0.31,0.39,0.53]	[0.45,0.68,1.11]	[0.5,0.63,0.73]	[0.18,0.24,0.31]	[0.47,0.61,0.69]	[1.88,2.02,2.11]	[1.87,2.00,2.07]	[0.47,0.58,0.66]	[0.26,0.28,0.32]
KVB15	[0.37,0.5,0.63]	[0.59,1.09,1.69]	[0.84,0.90,0.95]	[0.31,0.47,0.6]	[0.37,0.50,0.63]	[1.42,1.69,1.94]	[1.29,1.53,1.80]	[0.09,0.21,0.38]	[0.29,0.34,0.43]
KVB16	[0.11,0.12,0.15]	[0.12,0.14,0.17]	[0.47,0.64,0.83]	[0.07,0.08,0.09]	[0.85,0.88,0.89]	[8.40,9.46,10.46]	[5.82,6.38,7.24]	[1.79,3.18,3.98]	[0.65,0.67,0.70]

**Tablo 16:  $\alpha = 0,5$  için Aralık Karar Matrisi**

G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9	G10	
KVB1	[0.7635, 0.8011]	[3.3030, 4.1177]	[0.7368, 0.7601]	[0.5628, 0.5959]	[0.1989, 0.2366]	[0.1723, 0.2366]	[1.5113, 1.6602]	[1.2845, 1.4806]	[0.2541, 0.3253]	[0.3415, 0.3879]
KVB2	[0.6854, 0.8029]	[2.6578, 5.0812]	[0.344, 0.4151]	[0.2342, 0.3397]	[0.1971, 0.3147]	[0.9753, 1.0682]	[0.9084, 1.1636]	[0.8563, 1.0364]	[0.3049, 0.6641]	[0.0106, 0.0422]
KVB3	[0.6469, 0.6879]	[1.3572, 2.2339]	[0.9798, 0.9909]	[0.6341, 0.6820]	[0.3121, 0.3531]	[0.0752, 0.1096]	[1.4227, 1.5129]	[1.0075, 1.0442]	[0.1490, 0.2084]	[0.3036, 0.3728]
KVB4	[0.7195, 0.7663]	[2.6325, 3.3948]	[0.9582, 0.9847]	[0.6976, 0.7550]	[0.2338, 0.2806]	[0.1524, 0.4439]	[1.3118, 1.4140]	[1.0365, 1.1326]	[0.1362, 0.1753]	[0.2962, 0.3144]
KVB5	[0.5856, 0.6081]	[1.4171, 1.5560]	[0.3353, 0.3753]	[0.1968, 0.2245]	[0.3920, 0.4145]	[0.1788, 0.4473]	[2.4184, 2.9494]	[1.6174, 1.8466]	[0.2237, 0.4077]	[0.3500, 0.4227]
KVB6	[0.6380, 0.7058]	[1.8243, 2.5092]	[0.9868, 0.9945]	[0.6333, 0.6961]	[0.2942, 0.3630]	[0.0248, 0.0701]	[1.4411, 1.5833]	[1.2714, 1.2903]	[0.3667, 0.4018]	[0.3514, 0.4038]
KVB7	[0.2946, 0.3069]	[0.4179, 0.4430]	[0.9859, 0.9875]	[0.2906, 0.3025]	[0.6932, 0.7055]	[0.0124, 0.0256]	[3.2804, 3.4087]	[2.3473, 2.5804]	[0.3415, 0.6225]	[0.7175, 0.7362]
KVB8	[0.1458, 0.1616]	[0.1709, 0.1930]	[0.9869, 0.9942]	[0.1440, 0.1608]	[0.8384, 0.8543]	[0.0997, 0.1703]	[5.3891, 6.2011]	[5.0069, 5.7133]	[1.2176, 3.2003]	[0.7363, 0.8131]
KVB9	[0.5125, 0.5869]	[1.0826, 1.4679]	[0.9524, 0.9731]	[0.4973, 0.5715]	[0.4132, 0.4876]	[0.7155, 0.7437]	[1.2036, 1.2917]	[0.9061, 0.9358]	[0.0272, 0.0468]	[0.1507, 0.1902]
KVB10	[0.7873, 0.8005]	[3.7118, 4.0255]	[0.9781, 0.9860]	[0.7701, 0.7894]	[0.1995, 0.2128]	[0.2307, 0.2678]	[1.1965, 1.2307]	[0.9560, 1.0031]	[0.1087, 0.1282]	[0.1865, 0.2274]
KVB11	[0.4145, 0.4491]	[0.7118, 0.8187]	[0.8287, 0.8723]	[0.3553, 0.3921]	[0.5510, 0.5855]	[0.4209, 0.4524]	[1.8654, 2.0544]	[1.2748, 1.3809]	[0.4896, 0.6005]	[0.3732, 0.4211]
KVB12	[0.2475, 0.3243]	[0.3385, 0.4893]	[0.7171, 0.8351]	[0.1831, 0.2758]	[0.6758, 0.7526]	[0.2642, 0.5622]	[2.6709, 5.1466]	[2.5943, 5.0230]	[0.6202, 1.6833]	[0.3732, 0.6660]
KVB13	[0.0659, 0.0836]	[0.0707, 0.0915]	[0.7467, 0.8061]	[0.0507, 0.4249]	[0.9165, 0.9342]	[0.0812, 0.2035]	[12.3210, 16.7446]	[12.2185, 16.4884]	[10.2892, 15.2107]	[0.7368, 0.8078]
KVB14	[0.3498, 0.4568]	[0.5674, 0.8957]	[0.5969, 0.6798]	[0.2091, 0.2782]	[0.5432, 0.6503]	[0.6369, 0.7198]	[1.9499, 2.0636]	[1.9333, 2.0431]	[0.5238, 0.6201]	[0.2675, 0.2982]
KVB15	[0.4354, 0.5637]	[0.8409, 1.3899]	[0.8716, 0.9266]	[0.3938, 0.5363]	[0.4364, 0.5647]	[0.3195, 0.5473]	[1.5572, 1.8175]	[1.4126, 1.6666]	[0.1488, 0.2953]	[0.3131, 0.3822]
KVB16	[0.1142, 0.5637]	[0.1292, 0.1555]	[0.5543, 0.7363]	[0.0719, 0.0823]	[0.8658, 0.8858]	[0.2973, 0.3447]	[8.9272, 9.9563]	[6.1031, 6.8118]	[2.4821, 3.5792]	[0.6560, 0.6840]

*Aşama 2: Normalize edilmiş  $p_j^l$  ve  $p_j^u$  değerlerinin hesaplanması*

İkinci aşamada Tablo 16'da yer alan aralık karar matrisi Eşitlik (3.7) yardımıyla normalize edilmiştir. Normalize edilmiş aralık karar matrisi Tablo 17'de gösterilmektedir.

*Aşama 3: Kriterlerin aralık entropi değerlerinin alt sınırlarının ( $e_i^l$ ) ve üst sınırlarının ( $e_i^u$ ) hesaplanması*

Üçüncü aşamada Model (3.8) kullanılarak girdi değişkenleri için hesaplanan Aralık Entropi değerlerinin alt ve üst sınırları Tablo 18'de gösterildiği gibidir.

*Aşama 4: Farklılık aralığının alt sınırının ( $d_i^l$ ) ve üst sınırının ( $d_i^u$ ) hesaplanması*

Dördüncü aşamada girdi değişkenlerinin farklılık aralıklarının alt ve üst sınırları eşitlik (3.9) yardımıyla hesaplanarak Tablo 18'de sergilenmiştir.

*Aşama 5: Kriterlerin Aralık Ağırlıklarının Alt ( $w_i^l$ ) ve Üst ( $w_i^u$ ) Sınırlarının Hesaplanması*

Bulanık Shannon Entropi yönteminin beşinci ve son aşamasında eşitlik (3.10) kullanılarak 10 girdi değişkeninin (0, 0.3, 0.5, 0.7 ve 1) şeklinde 5 farklı  $\alpha$ -kesim değeri için aralık ağırlıkları hesaplanmıştır. Daha sonra ise eşitlik (3.11) ile gösterilen Kabul Edilebilirlik Endeksi yardımıyla aralık veriler her bir  $\alpha$ -kesim değeri için sıralanmıştır. Buna göre  $\alpha=0,5$  için girdi değişkenlerinin aralık ağırlıkları ile orta noktaları ve yarı-genişlikleri Tablo 19'da gösterildiği gibidir.

**Tablo 17: Normalize Aralık Karar Matrisi**

G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9	G10	
KVB1	[0.0927,0.0972]	[0.1144,0.1427]	[0.0553,0.0571]	[0.0792,0.0838]	[0.0231,0.0275]	[0.0269,0.0369]	[0.0251,0.0276]	[0.0250,0.0288]	[0.0090,0.0115]	[0.0476,0.0541]
KVB2	[0.0832,0.0974]	[0.0921,0.1761]	[0.0251,0.0312]	[0.0330,0.0478]	[0.0229,0.0366]	[0.1521,0.1666]	[0.0151,0.0193]	[0.0166,0.0200]	[0.0108,0.0236]	[0.0015,0.0059]
KVB3	[0.0785,0.0835]	[0.0470,0.0774]	[0.0736,0.0744]	[0.0892,0.0960]	[0.0363,0.0411]	[0.0117,0.0171]	[0.0236,0.0251]	[0.0196,0.0203]	[0.0053,0.0074]	[0.0423,0.0520]
KVB4	[0.0873,0.0930]	[0.0912,0.1176]	[0.0720,0.0739]	[0.0982,0.1062]	[0.0272,0.0326]	[0.0238,0.0692]	[0.0218,0.0235]	[0.0201,0.0220]	[0.0048,0.0062]	[0.0413,0.0438]
KVB5	[0.0711,0.0738]	[0.0491,0.0539]	[0.0252,0.0282]	[0.0277,0.0316]	[0.0456,0.0482]	[0.0279,0.0697]	[0.0402,0.049]	[0.0314,0.0359]	[0.0079,0.0145]	[0.0488,0.0590]
KVB6	[0.0774,0.0857]	[0.0632,0.0869]	[0.0741,0.0747]	[0.0891,0.0979]	[0.0342,0.0422]	[0.0039,0.0109]	[0.0239,0.0263]	[0.0247,0.0251]	[0.0130,0.0143]	[0.0490,0.0563]
KVB7	[0.0357,0.0372]	[0.0145,0.0153]	[0.0715,0.0731]	[0.0409,0.0426]	[0.0806,0.0821]	[0.0019,0.0040]	[0.0545,0.0566]	[0.0456,0.0501]	[0.0121,0.0221]	[0.1001,0.1027]
KVB8	[0.0177,0.0196]	[0.0059,0.0067]	[0.0734,0.0740]	[0.0203,0.226]	[0.0975,0.0994]	[0.0155,0.0265]	[0.0895,0.1030]	[0.0973,0.1110]	[0.0432,0.1136]	[0.1027,0.1134]
KVB9	[0.0622,0.0712]	[0.0375,0.0508]	[0.0622,0.0655]	[0.0203,0.226]	[0.0481,0.0567]	[0.1116,0.1160]	[0.0200,0.0215]	[0.0176,0.0195]	[0.0010,0.0017]	[0.0210,0.0265]
KVB10	[0.0955,0.0972]	[0.0375,0.0508]	[0.0538,0.0627]	[0.0700,0.0804]	[0.0232,0.0248]	[0.0360,0.0418]	[0.0199,0.0204]	[0.0186,0.0195]	[0.0039,0.0045]	[0.0260,0.0317]
KVB11	[0.0503,0.0545]	[0.1286,0.1395]	[0.0561,0.0605]	[0.1084,0.1111]	[0.0641,0.0681]	[0.0656,0.0705]	[0.0310,0.0341]	[0.0248,0.0268]	[0.0174,0.0213]	[0.0520,0.0587]
KVB12	[0.0300,0.0394]	[0.0247,0.0284]	[0.0448,0.0510]	[0.0500,0.0552]	[0.0786,0.0876]	[0.0412,0.0877]	[0.0444,0.0855]	[0.0504,0.0976]	[0.0220,0.0598]	[0.0521,0.0929]
KVB13	[0.0080,0.101]	[0.0117,0.0170]	[0.0448,0.0510]	[0.0258,0.0388]	[0.1066,0.1087]	[0.0127,0.0317]	[0.2047,0.2782]	[0.2374,0.3204]	[0.3653,0.5400]	[0.1028,0.1127]
KVB14	[0.0424,0.0554]	[0.0024,0.0032]	[0.0654,0.0696]	[0.0071,0.0598]	[0.0632,0.0757]	[0.0993,0.1123]	[0.0324,0.0343]	[0.0376,0.0395]	[0.0186,0.0220]	[0.0373,0.0416]
KVB15	[0.0528,0.0684]	[0.0197,0.0310]	[0.0654,0.0696]	[0.0294,0.0391]	[0.0508,0.0657]	[0.0498,0.0853]	[0.0259,0.0302]	[0.0274,0.0324]	[0.0053,0.0105]	[0.0437,0.0533]
KVB16	[0.0927,0.0972]	[0.1144,0.1427]	[0.0553,0.0571]	[0.0792,0.0838]	[0.0231,0.0275]	[0.0269,0.0369]	[0.0251,0.0276]	[0.0250,0.0288]	[0.0090,0.0115]	[0.0476,0.0541]



**Tablo 18: Aralık Entropi ve Farklılık Aralığı Değerlerinin Alt ve Üst Sınırları**

	$[e_j^l, e_j^u]$	$[d_i^l, d_i^u]$
G1	[0.8860, 0.9530]	[0.0470, 0.1140]
G2	[0.7191, 0.8647]	[0.1353, 0.2809]
G3	[0.9475, 0.9888]	[0.0112, 0.0525]
G4	[0.8288, 0.9545]	[0.0451, 0.1712]
G5	[0.8957, 0.9657]	[0.0343, 0.1043]
G6	[0.7188, 0.9137]	[0.0863, 0.2882]
G7	[0.9460, 0.9989]	[0.1494, 0.2296]
G8	[0.7704, 0.8506]	[0.1725, 0.2472]
G9	[0.4672, 0.6035]	[0.3965, 0.5328]
G10	[0.8567, 0.9522]	[0.0478, 0.1433]

**Tablo 19: Girdi Değişkenlerinin Aralık Ağırlıkları ile Orta Noktaları ve Yarı-Genişlikleri**

	$[w_i^l, w_i^u]_{0.5}$	Orta noktalar	Yarı-genişlikler	Sıralama
G1	[0.0217, 0.1013]	0.0615	0.0398	8
G2	[0.0625, 0.2496]	0.1561	0.0935	3
G3	[0.0052, 0.0466]	0.0259	0.0207	10
G4	[0.0208, 0.1521]	0.0865	0.0656	6
G5	[0.0159, 0.0926]	0.0542	0.0384	9
G6	[0.0399, 0.2561]	0.1480	0.1081	5
G7	[0.0690, 0.2040]	0.1365	0.0675	4
G8	[0.0797, 0.2196]	0.1497	0.070	2
G9	[0.1832, 0.4734]	0.3283	0.1451	1
G10	[0.0221, 0.1273]	0.0747	0.0526	7

Girdi değişkenlerinin önem sıralamaları ise Tablo 19'un son sütununda gösterilmektedir. Tablo 19'a göre sırasıyla G9, G8, G2 ve G7 değişkenleri en yüksek önem ağırlığına sahip ilk 4 girdi değişkeni olarak belirlenmiştir. Aynı yöntemle diğer  $\alpha$ -kesim

değerleri için de girdi değişkenlerinin aralık ağırlıkları ve önem sıralamaları hesaplanmıştır. Tüm  $\alpha$ -kesimler için hesaplanan ağırlıklar ve yapılan sıralamalar Tablo 20'de sunulmaktadır.

**Tablo 20: Farklı  $\alpha$ -kesimlere Göre Girdi Değişkenlerinin Aralık Ağırlıkları ve Sıralamaları**

$\alpha = 0$		$\alpha = 0.3$		$\alpha = 0.5$		
	$[w_i^l, w_i^u]$	Sıralama	$[w_i^l, w_i^u]$	Sıralama	$[w_i^l, w_i^u]$	Sıralama
G1	[0.0143, 0.1568]	8	[0.0181, 0.1240]	8	[0.0217, 0.1013]	8
G2	[0.0448, 0.3749]	2	[0.0538, 0.3013]	3	[0.0625, 0.2496]	3
G3	[0.0030, 0.0812]	10	[0.0041, 0.0606]	10	[0.0052, 0.0466]	10
G4	[0.0141, 0.2375]	6	[0.0171, 0.1877]	6	[0.0208, 0.1521]	6
G5	[0.0099, 0.1512]	9	[0.0129, 0.1164]	9	[0.0159, 0.0926]	9
G6	[0.0250, 0.4174]	3	[0.0323, 0.3204]	5	[0.0399, 0.2561]	5
G7	[0.0496, 0.2824]	5	[0.0595, 0.2358]	4	[0.0690, 0.2040]	4
G8	[0.0578, 0.2966]	4	[0.0690, 0.2508]	2	[0.0797, 0.2196]	2
G9	[0.1233, 0.6040]	1	[0.1537, 0.5239]	1	[0.1832, 0.4734]	1
G10	[0.0143, 0.259]	7	[0.0182, 0.1588]	7	[0.0221, 0.1273]	7
$\alpha = 0.7$		$\alpha = 1$				
	$[w_i^l, w_i^u]$	Sıralama	$[w_i^l, w_i^u]$	Sıralama		
G1	[0.0271, 0.0780]	8	[0.0424, 0.0424]	8		
G2	[0.0753, 0.1959]	4	[0.1119, 0.1119]	4		
G3	[0.0068, 0.0325]	10	[0.0115, 0.0115]	10		
G4	[0.0277, 0.1147]	6	[0.0557, 0.0557]	4		
G5	[0.0202, 0.0687]	9	[0.0327, 0.0327]	9		
G6	[0.0518, 0.1902]	5	[0.0887, 0.0887]	5		
G7	[0.0829, 0.1716]	3	[0.1213, 0.1394]	3		
G8	[0.0953, 0.1879]	2	[0.1394, 0.1394]	2		
G9	[0.2267, 0.4238]	1	[0.3512, 0.3512]	1		
G10	[0.0280, 0.0947]	7	[0.0452, 0.0452]	7		

Tablo 20’de görüldüğü üzere aralık ağırlıkları farklı olduğu halde  $\alpha=0$  düzeyi dışındaki kesim düzeylerinde girdi değişkenleri benzer sıralamaya sahiptir. Buna göre (0.3, 0.5, 0.7 ve 1)  $\alpha$ -kesim düzeylerinde en yüksek önem ağırlığına sahip olan ve sırasıyla G2, G7, G8 ve G9 şeklinde kodlanan *borç-öz sermaye oranı*, *cari oran*, *asit-test oranı* ve *nakit oranı* BVZA uygulamasında kullanılacak girdi değişkenleri olarak belirlenmiştir.

Girdi değişkenlerinin bulanıklaştırılmasında ve önem sıralarının belirlenmesinde izlenen aşamalar çıktı değişkenleri için de izlenerek BVZA uygulamasında kullanılacak dört adet çıktı değişkeni belirlenmiştir. Çıktı değişkenleri için düzenlenen bulanık karar matrisi Tablo 21’de gösterilmektedir. Bulanık Shannon Entropi yönteminin uygulanması sonucu her bir  $\alpha$ -kesim için hesaplanan aralık ağırlık değerleri ve eşitlik (3.11) ile formüle edilen Kabul Edilebilirlik Endeksi yardımıyla elde edilen çıktı değişkenlerinin önem sıralamaları Tablo 22’de sunulmaktadır.

**Tablo 21: Çıktı Değişkenleri için Bulanık Karar Matrisi**

Ç1	Ç2	Ç3	Ç4	Ç5	Ç6	Ç7	Ç8	Ç9	Ç10	
KVB1	[2.63,2.83,2.94]	[8.00,12.49,14.75]	[1.22,1.39,1.55]	[1.29,1.51,1.65]	[0.00,0.03,0.64]	[0.00,0.18,0.39]	[0.00,0.04,0.10]	[0.00,0.02,0.06]	[1.67,2.22,2.58]	[0.26,0.35,0.40]
KVB2	[2.38,2.76,2.97]	[5.46,32.72,69.08]	[0.19,0.28,0.45]	[0.86,1.05,1.32]	[0.00,0.07,0.15]	[0.00,0.04,0.10]	[0.00,0.01,0.03]	[0.11,0.17,0.27]	[1.20,2.76,4.24]	[0.84,2.23,3.86]
KVB3	[4.94,5.59,6.44]	[8.91,9.62,10.78]	[2.58,2.96,3.57]	[2.67,3.08,3.75]	[0.02,0.03,0.03]	[0.22,0.27,0.33]	[0.06,0.09,0.12]	[0.04,0.04,0.04]	[0.43,0.66,0.83]	[0.08,0.15,0.27]
KVB4	[2.87,3.61,4.68]	[2.50,7.56,11.26]	[0.54,1.84,2.93]	[1.06,2.04,2.98]	[0.03,0.07,0.12]	[0.16,0.35,0.59]	[0.06,0.09,0.12]	[0.03,0.06,0.09]	[0.53,0.73,0.90]	[0.08,0.21,0.47]
KVB5	[2.12,3.19,4.19]	[2.00,4.40,9.08]	[0.49,1.04,1.99]	[0.84,1.31,2.00]	[0.10,0.13,0.18]	[0.18,0.30,0.50]	[0.08,0.12,0.20]	[0.65,0.95,1.31]	[0.65,0.95,1.31]	[0.11,0.57,1.02]
KVB6	[3.91,4.46,4.78]	[5.78,18.66,37.46]	[2.00,2.37,2.76]	[2.01,2.38,2.77]	[0.04,0.10,0.19]	[0.25,0.56,0.85]	[0.09,0.23,0.39]	[0.05,0.09,0.17]	[0.68,0.77,0.84]	[0.07,0.14,0.23]
KVB7	[3.68,4.89,5.95]	[4.15,7.39,9.19]	[0.25,1.68,2.57]	[0.31,1.72,2.63]	[0.10,3.20,9.31]	[0.32,1.29,2.85]	[0.23,1.03,2.37]	[0.10,1.71,4.91]	[0.44,1.00,1.39]	[0.12,1.67,4.51]
KVB8	[3.91,4.46,4.78]	[5.78,18.66,37.46]	[0.62,1.28,2.00]	[0.70,1.33,2.01]	[0.19,0.85,1.49]	[0.57,1.12,2.16]	[0.39,0.92,1.83]	[0.17,0.52,0.82]	[0.68,1.99,2.73]	[0.23,1.94,3.81]
KVB9	[4.50,4.92,5.31]	[7.64,8.78,9.87]	[1.63,1.70,1.77]	[2.31,2.60,2.76]	[0.03,0.05,0.07]	[0.11,0.20,0.25]	[0.05,0.09,0.12]	[0.06,0.06,0.07]	[0.80,1.01,1.42]	[0.14,0.26,0.43]
KVB10	[3.43,3.60,3.75]	[10.13,11.37,13.58]	[2.11,2.21,2.40]	[2.21,2.34,2.53]	[0.01,0.02,0.02]	[0.16,0.20,0.25]	[0.03,0.04,0.06]	[0.03,0.03,0.04]	[0.89,1.46,1.76]	[0.08,0.13,0.17]
KVB11	[2.43,2.54,2.73]	[2.10,2.20,2.32]	[0.64,0.68,0.71]	[0.89,0.94,0.98]	[0.11,0.16,0.21]	[0.13,0.20,0.27]	[0.07,0.11,0.16]	[0.09,0.12,0.16]	[0.49,0.73,0.98]	[0.41,0.61,0.83]
KVB12	[1.03,1.20,1.41]	[9.62,13.38,18.99]	[0.56,0.58,0.60]	[0.69,0.85,1.15]	[0.00,1.30,2.04]	[0.00,1.08,1.82]	[0.00,0.76,1.17]	[0.00,0.62,1.12]	[1.01,1.37,1.87]	[1.33,1.68,2.35]
KVB13	[2.39,3.31,4.58]	[2.81,39.62,111.77]	[0.21,0.29,0.41]	[0.26,0.37,0.55]	[1.42,4.78,9.29]	[0.39,1.38,2.11]	[0.36,1.27,1.98]	[1.28,2.54,4.59]	[0.93,1.44,1.78]	[2.06,5.29,7.84]
KVB14	[1.34,2.01,2.44]	[2.77,9.70,20.28]	[0.57,0.64,0.73]	[0.96,1.38,1.69]	[0.34,0.53,0.71]	[0.37,0.55,0.64]	[0.25,0.33,0.44]	[0.34,0.38,0.42]	[1.04,1.71,2.17]	[1.15,1.58,2.00]
KVB15	[1.35,1.64,1.79]	[7.77,10.06,12.85]	[0.62,0.78,0.92]	[0.96,1.05,1.15]	[0.03,0.06,0.11]	[0.06,0.08,0.11]	[0.03,0.04,0.07]	[0.02,0.05,0.09]	[0.23,1.26,2.36]	[0.23,0.69,1.29]
KVB16	[6.47,8.71,10.50]	[6.74,7.15,7.91]	[1.75,1.82,1.94]	[2.34,2.59,2.71]	[0.11,0.27,0.36]	[0.25,0.55,0.74]	[0.22,0.48,0.63]	[0.12,0.16,0.19]	[1.62,1.67,1.77]	[0.75,0.81,0.86]

**Tablo 22: Farklı  $\alpha$ -kesimlere Göre Çıktı Değişkenlerinin Aralık Ağırlıkları ve Sıralamaları**

$\alpha = 0$		$\alpha = 0.3$		$\alpha = 0.5$		
	$[w_i^l, w_i^u]$	Sıralama	$[w_i^l, w_i^u]$	Sıralama	$[w_i^l, w_i^u]$	Sıralama
Ç1	[0.0076, 0.1449]	10	[0.0093, 0.1139]	10	[0.0111, 0.0916]	10
Ç2	[0.0298, 0.3798]	6	[0.0336, 0.3035]	6	[0.0369, 0.2470]	6
Ç3	[0.0107, 0.2122]	8	[0.0134, 0.1658]	8	[0.0163, 0.1337]	8
Ç4	[0.0060, 0.1831]	9	[0.0077, 0.1411]	9	[0.0095, 0.1114]	9
Ç5	[0.0756, 0.5078]	1	[0.0943, 0.4398]	1	[0.1135, 0.3959]	1
Ç6	[0.0261, 0.4043]	5	[0.0316, 0.3208]	5	[0.0372, 0.2627]	5
Ç7	[0.0420, 0.4296]	3	[0.0519, 0.3528]	3	[0.0621, 0.3007]	3
Ç8	[0.0625, 0.4360]	2	[0.0765, 0.3736]	2	[0.0904, 0.3311]	2
Ç9	[0.0066, 0.2552]	7	[0.0079, 0.1941]	7	[0.0093, 0.1504]	7
Ç10	[0.0321, 0.3928]	4	[0.0402, 0.3229]	4	[0.0488, 0.2734]	4
$\alpha = 0.7$			$\alpha = 1$			
	$[w_i^l, w_i^u]$	Sıralama	$[w_i^l, w_i^u]$	Sıralama		
Ç1	[0.0142, 0.0675]	10	[0.0226, 0.0226]			8
Ç2	[0.0415, 0.1818]	7	[0.0485, 0.0485]			7
Ç3	[0.0213, 0.0996]	2	[0.1935, 0.1935]			2
Ç4	[0.0127, 0.0797]	9	[0.0221, 0.0221]			9
Ç5	[0.1450, 0.3491]	1	[0.2304, 0.2304]			1
Ç6	[0.0463, 0.1982]	5	[0.0697, 0.0697]			6
Ç7	[0.0787, 0.2440]	3	[0.1207, 0.1207]			4
Ç8	[0.1130, 0.2843]	2	[0.1703, 0.1703]			3
Ç9	[0.0118, 0.1030]	8	[0.0185, 0.0185]			10
Ç10	[0.0632, 0.2189]	4	[0.1037, 0.1037]			5

Tablo 22'ye göre aralık ağırlıkları farklı olduğu halde  $\alpha=1$  düzeyi dışındaki bulanıklık düzeylerinde çıktı değişkenleri benzer sıralamaya sahiptir. Buna göre (0, 0.3, 0.5 ve 0.7)  $\alpha$ -kesim düzeylerinde en yüksek önem ağırlığına sahip olan ve sırasıyla Ç5, Ç7, Ç8 ve Ç10 ile gösterilen net kar marjı, aktif kar marjı, esas faaliyet kar marjı ve fiyat/satış oranı değişkenleri BVZA uygulamasında kullanılacak çıktı değişkenleri olarak belirlenmiştir. Buna göre Bulanık Shannon Entropi uygulaması sonucunda belirlenen dört adet girdi ve dört adet çıktı değişkeni Tablo 23'te bir arada gösterilmektedir.

**Tablo 23: Bulanık Shannon Entropi Yöntemine Göre Belirlenen Girdi ve Çıktı Değişkenleri**

<b>Girdi Değişkenleri</b>	<b>Çıktı Değişkenleri</b>
Borç-Öz sermaye Oranı	Esas Faaliyet Kar Marjı
Cari Oran	Aktif Kar Marjı (ROA)
Asit-test Oranı	Net Kar Marjı
Nakit Oran	Fiyat-Satış Oranı

#### **4.6. BVZA ile Teknoloji/Bilişim Firmalarında Bulanık Etkinlik Ölçümü**

Çalışmanın uygulama kısmında Türkiye’de teknoloji/bilişim sektöründe faaliyet gösteren ve BİST’e kote olmuş 16 firmanın bulanık etkinliğinin ölçülmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla literatürde en sık kullanılan BVZA modellerinden olan Kao-Liu modeli, Wang-Greatbanks-Yang modeli, Lertworasirikul-Fang-Joiner-Nuttall modeli ve Saati-Memariani-Jahanshahloo modelinden yararlanılmıştır. Söz konusu BVZA modellerinin kurulması için firmaların girdi ve çıktı verileri üçgenel bulanık sayılara dönüştürülmüştür. Buna göre BVZA uygulamasında kullanılan veri seti Tablo 24 ve Tablo 25’te gösterilmektedir.

**Tablo 24: BVZA Uygulamasında Kullanılan Girdi Değişkenleri**

KVB	Borç-Özs. Oranı	Cari Oran	Asit-test Oranı	Nakit Oran
ALCATEL	(2.91, 3.70, 4.54)	(1.44, 1.58, 1.74)	(1.18, 1.39, 1.57)	(0.22, 0.29, 0.36)
ANEL	(1.72, 3.59, 6.57)	(0.82, 1.00, 1.33)	(0.80, 0.92, 1.14)	(0.17, 0.44, 0.89)
ARENA	(0.68, 2.04, 2.43)	(1.38, 1.47, 1.56)	(0.98, 1.03, 1.06)	(0.12, 0.18, 0.24)
ARMADA	(2.35, 2.92, 3.87)	(1.25, 1.37, 1.46)	(0.98, 1.09, 1.18)	(0.11, 0.16, 0.19)
ASELSAN	(1.35, 1.49, 1.63)	(2.19, 2.65, 3.25)	(1.50, 1.74, 1.96)	(0.11, 0.34, 0.48)
DATAGATE	(1.54, 2.10, 2.91)	(1.36, 1.52, 1.65)	(1.26, 1.28, 1.30)	(0.35, 0.38, 0.42)
DESPEC	(0.41, 0.43, 0.46)	(3.23, 3.33, 3.48)	(2.23, 2.46, 2.70)	(0.24, 0.44, 0.80)
ERİCOM	(0.16, 0.18, 0.20)	(4.91, 5.87, 6.53)	(4.57, 5.44, 5.98)	(0.10, 2.34, 4.06)
ESCORT	(0.92, 1.24, 1.69)	(1.15, 1.26, 1.33)	(0.89, 0.92, 0.95)	(0.02, 0.04, 0.06)
İNDEKS	(3.57, 3.86, 4.19)	(1.18, 1.21, 1.25)	(0.93, 0.98, 1.03)	(0.10, 0.12, 0.14)
KAREL	(0.66, 0.77, 0.87)	(1.75, 1.99, 2.12)	(1.21, 1.34, 1.42)	(0.44, 0.54, 0.66)
KRON	(0.26, 0.42, 0.56)	(1.55, 3.79, 6.51)	(1.50, 3.68, 6.36)	(0.17, 1.07, 2.30)
LİNK	(0.06, 0.08, 0.10)	(9.78, 14.86, 18.63)	(9.77, 14.66, 18.31)	(7.54, 13.04, 17.39)
LOGO	(0.45, 0.68, 1.11)	(1.88, 2.02, 2.11)	(1.87, 2.00, 2.07)	(0.47, 0.58, 0.66)
NETAŞ	(0.59, 1.09, 1.69)	(1.42, 1.69, 1.94)	(1.29, 1.53, 1.80)	(0.09, 0.21, 0.38)
PLASTİKKART	(0.12, 0.14, 0.17)	(8.40, 9.46, 10.46)	(5.82, 6.38, 7.24)	(1.79, 3.18, 3.98)

**Tablo 25: BVZA Uygulamasında kullanılan Çıktı Değişkenleri**

KVB	Esas F. Kâr Marjı	Aktif Kar Marjı	Net Kar Marjı	Fiyat-Sat. Oranı
ALCATEL	(0.00, 0.03, 0.64)	(0.00, 0.04, 0.10)	(0.00, 0.02, 0.06)	(0.26, 0.35, 0.40)
ANEL	(0.00, 0.07, 0.15)	(0.00, 0.01, 0.03)	(0.11, 0.17, 0.27)	(0.84, 2.23, 3.86)
ARENA	(0.02, 0.03, 0.03)	(0.06, 0.09, 0.12)	(0.04, 0.04, 0.04)	(0.08, 0.15, 0.27)
ARMADA	(0.03, 0.07, 0.12)	(0.06, 0.09, 0.12)	(0.03, 0.06, 0.09)	(0.08, 0.21, 0.47)
ASELSAN	(0.10, 0.13, 0.18)	(0.08, 0.12, 0.20)	(0.65, 0.95, 1.31)	(0.11, 0.57, 1.02)
DATAGATE	(0.04, 0.10, 0.19)	(0.09, 0.23, 0.39)	(0.05, 0.09, 0.17)	(0.07, 0.14, 0.23)
DESPEC	(0.10, 3.20, 9.31)	(0.23, 1.03, 2.37)	(0.10, 1.71, 4.91)	(0.12, 1.67, 4.51)
ERİCOM	(0.19, 0.85, 1.49)	(0.39, 0.92, 1.83)	(0.17, 0.52, 0.82)	(0.23, 1.94, 3.81)
ESCORT	(0.03, 0.05, 0.07)	(0.05, 0.09, 0.12)	(0.06, 0.06, 0.07)	(0.14, 0.26, 0.43)
İNDEKS	(0.01, 0.02, 0.02)	(0.03, 0.04, 0.06)	(0.03, 0.03, 0.04)	(0.08, 0.13, 0.17)
KAREL	(0.11, 0.16, 0.21)	(0.07, 0.11, 0.16)	(0.09, 0.12, 0.16)	(0.41, 0.61, 0.83)
KRON	(0.00, 1.30, 2.04)	(0.00, 0.76, 1.17)	(0.00, 0.62, 1.12)	(1.33, 1.68, 2.35)
LİNK	(1.42, 4.78, 9.29)	(0.36, 1.27, 1.98)	(1.28, 2.54, 4.59)	(2.06, 5.29, 7.84)
LOGO	(0.34, 0.53, 0.71)	(0.25, 0.33, 0.44)	(0.34, 0.38, 0.42)	(1.15, 1.58, 2.00)
NETAŞ	(0.03, 0.06, 0.11)	(0.03, 0.04, 0.07)	(0.02, 0.05, 0.09)	(0.23, 0.69, 1.29)
PLASTİKKART	(0.11, 0.27, 0.36)	(0.22, 0.48, 0.63)	(0.12, 0.16, 0.19)	(0.75, 0.81, 0.86)

Burada ilk olarak Kao-Liu modeliyle yapılan uygulamaya yer verilecektir.

#### **4.6.1. Kao-Liu Modeli Uygulaması**

Daha önce belirtildiği üzere uygulamada kullanılan dört BVZA modeli de  $\alpha$ -kesimlere dayalı olduğu için öncelikle Bulanık Shannon Entropi uygulaması sonucu belirlenen girdi ve çıktı değişkenlerinin  $\alpha$ -kesimleri eşitlik (3.26)'dan yararlanılarak hesaplanmıştır. Daha sonra ise model (3.21a) ve model (3.21b) yardımıyla karar birimlerinin etkinlik skorlarının alt ve üst sınır değerleri hesaplanmıştır. Örnek olarak, ALCATEL firmasının etkinlik skorunun alt sınırı için gerekli doğrusal model aşağıda gösterildiği gibi kurulmaktadır.



$$(E_1)_\alpha^L = \max[u_1(0.029\alpha) + u_2(0.042\alpha) + u_3(0.021\alpha) + u_4(0.257 + 0.089\alpha)]$$

$$\begin{aligned}
& [v_1(4.537 - 0.839\alpha) + v_2(1.739 - 0.158\alpha) + v_3(1.568 - 0.175\alpha) + v_4(0.364 - 0.077\alpha)] = 1 \\
& [u_1(0.029\alpha) + u_2(0.042\alpha) + u_3(0.021\alpha) + u_4(0.257 + 0.089\alpha)] - \\
& [v_1(4.537 - 0.839\alpha) + v_2(1.739 - 0.158\alpha) + v_3(1.568 - 0.175\alpha) + v_4(0.364 - 0.077\alpha)] \leq 0 \\
& [u_1(0.152 - 0.085\alpha) + u_2(0.029 - 0.015\alpha) + u_3(0.273 - 0.105\alpha) + u_4(3.855 - 1.622\alpha)] - \\
& [v_1(1.723 + 1.870\alpha) + v_2(0.820 + 0.177\alpha) + v_3(0.796 + 0.121\alpha) + v_4(0.171 + 0.268\alpha)] \leq 0 \\
& [u_1(0.034 - 0.004\alpha) + u_2(0.122 - 0.031\alpha) + u_3(0.085 - 0.030\alpha) + u_4(0.275 - 0.135\alpha)] - \\
& [v_1(0.677 + 1.360\alpha) + v_2(1.378 + 0.090\alpha) + v_3(0.984 + 0.047\alpha) + v_4(0.121 + 0.056\alpha)] \leq 0 \\
& [u_1(0.118 - 0.049\alpha) + u_2(0.122 - 0.031\alpha) + u_3(0.085 - 0.030\alpha) + u_4(0.467 - 0.257\alpha)] - \\
& [v_1(2.346 + 0.573\alpha) + v_2(1.251 + 0.122\alpha) + v_3(0.985 + 0.104\alpha) + v_4(0.114 + 0.045\alpha)] \leq 0 \\
& [u_1(0.183 - 0.049\alpha) + u_2(0.197 - 0.077\alpha) + u_3(1.311 - 0.365\alpha) + u_4(1.017 - 0.444\alpha)] - \\
& [v_1(1.348 + 0.138\alpha) + v_2(2.189 + 0.459\alpha) + v_3(1.499 + 0.236\alpha) + v_4(0.111 + 0.226\alpha)] \leq 0 \\
& [u_1(0.195 - 0.091\alpha) + u_2(0.389 - 0.157\alpha) + u_3(0.166 - 0.075\alpha) + u_4(0.233 - 0.089\alpha)] - \\
& [v_1(1.544 + 0.561\alpha) + v_2(1.365 + 0.152\alpha) + v_3(1.264 + 0.014\alpha) + v_4(0.355 + 0.024\alpha)] \leq 0 \\
& [u_1(9.312 - 6.111\alpha) + u_2(2.369 - 1.344\alpha) + u_3(4.908 - 3.200\alpha) + u_4(4.513 - 2.844\alpha)] - \\
& [v_1(0.406 + 0.024\alpha) + v_2(3.227 + 0.107\alpha) + v_3(2.232 + 0.230\alpha) + v_4(0.240 + 0.203\alpha)] \leq 0 \\
& [u_1(1.494 - 0.644\alpha) + u_2(1.827 - 0.910\alpha) + u_3(0.824 - 0.308\alpha) + u_4(3.813 - 1.875\alpha)] - \\
& [v_1(0.160 + 0.022\alpha) + v_2(4.907 + 0.965\alpha) + v_3(4.572 + 0.870\alpha) + v_4(0.095 + 0.245\alpha)] \leq 0 \\
& [u_1(0.066 - 0.015\alpha) + u_2(0.117 - 0.030\alpha) + u_3(0.065 - 0.002\alpha) + u_4(0.433 - 0.170\alpha)] - \\
& [v_1(0.922 + 0.321\alpha) + v_2(1.149 + 0.110\alpha) + v_3(0.894 + 0.023\alpha) + v_4(0.017 + 0.021\alpha)] \leq 0 \\
& [u_1(0.025 - 0.006\alpha) + u_2(0.059 - 0.018\alpha) + u_3(0.042 - 0.007\alpha) + u_4(0.170 - 0.039\alpha)] - \\
& [v_1(3.567 + 0.290\alpha) + v_2(1.179 + 0.036\alpha) + v_3(0.935 + 0.042\alpha) + v_4(0.098 + 0.022\alpha)] \leq 0 \\
& [u_1(0.205 - 0.041\alpha) + u_2(0.161 - 0.049\alpha) + u_3(0.161 - 0.036\alpha) + u_4(0.829 - 0.218\alpha)] - \\
& [v_1(0.656 + 0.112\alpha) + v_2(1.745 + 0.241\alpha) + v_3(1.212 + 0.125\alpha) + v_4(0.436 + 0.107\alpha)] \leq 0 \\
& [u_1(2.036 - 0.734\alpha) + u_2(1.169 - 0.404\alpha) + u_3(1.115 - 0.499\alpha) + u_4(2.350 - 0.671\alpha)] - \\
& [v_1(0.259 + 0.160\alpha) + v_2(1.554 + 0.2233\alpha) + v_3(1.505 + 2.179\alpha) + v_4(0.174 + 0.893\alpha)] \leq 0 \\
& [u_1(9.294 - 4.515\alpha) + u_2(1.981 - 0.707\alpha) + u_3(4.595 - 2.060\alpha) + u_4(7.844 - 2.553\alpha)] - \\
& [v_1(0.063 + 0.016\alpha) + v_2(9.782 + 5.079\alpha) + v_3(9.772 + 4.892\alpha) + v_4(7.543 + 5.493\alpha)] \leq 0 \\
& [u_1(0.706 - 0.177\alpha) + u_2(0.440 - 0.108\alpha) + u_3(0.422 - 0.041\alpha) + u_4(1.998 - 0.417\alpha)] - \\
& [v_1(0.453 + 0.228\alpha) + v_2(1.878 + 0.145\alpha) + v_3(1.867 + 0.133\alpha) + v_4(0.467 + 0.114\alpha)] \leq 0 \\
& [u_1(0.109 - 0.051\alpha) + u_2(0.067 - 0.026\alpha) + u_3(0.086 - 0.038\alpha) + u_4(1.291 - 0.006\alpha)] - \\
& [v_1(0.591 + 0.500\alpha) + v_2(1.421 + 0.273\alpha) + v_3(1.293 + 0.238\alpha) + v_4(0.088 + 0.122\alpha)] \leq 0 \\
& [u_1(0.359 - 0.092\alpha) + u_2(0.634 - 0.157\alpha) + u_3(0.193 - 0.034\alpha) + u_4(0.856 - 0.046\alpha)] - \\
& [v_1(0.120 + 0.019\alpha) + v_2(8.399 + 1.056\alpha) + v_3(5.824 + 0.559\alpha) + v_4(1.791 + 1.384\alpha)] \leq 0 \\
& v_1, v_2, v_3, v_4, u_1, u_2, u_3, u_4 \geq \varepsilon
\end{aligned}$$

ALCATEL firmasının etkinlik skorunun üst sınırı için gerekli doğrusal model ise aşağıda gösterildiği gibidir.

$$\begin{aligned}
(E_1)_\alpha^U = & \max[u_1(0.640 - 0.611\alpha) + u_2(0.099 - 0.057\alpha) + u_3(0.064 - 0.043\alpha) + u_4(0.396 - 0.051\alpha)] \\
& [v_1(2.908 + 0.790\alpha) + v_2(1.441 + 0.140\alpha) + v_3(1.176 + 0.217\alpha) + v_4(0.221 + 0.066\alpha)] = 1 \\
& [u_1(0.640 - 0.611\alpha) + u_2(0.099 - 0.057\alpha) + u_3(0.064 - 0.043\alpha) + u_4(0.396 - 0.051\alpha)] - \\
& [v_1(2.908 + 0.790\alpha) + v_2(1.441 + 0.140\alpha) + v_3(1.176 - 0.217\alpha) + v_4(0.221 + 0.066\alpha)] \leq 0 \\
& [u_1(0.067\alpha) + u_2(0.013\alpha) + u_3(0.106 + 0.062\alpha) + u_4(0.840 + 1.394\alpha)] - \\
& [v_1(6.570 - 2.977\alpha) + v_2(1.330 - 0.334\alpha) + v_3(1.144 - 0.227\alpha) + v_4(0.890 - 0.451\alpha)] \leq 0 \\
& [u_1(0.023 + 0.007\alpha) + u_2(0.064 + 0.027\alpha) + u_3(0.036 + 0.003\alpha) + u_4(0.078 + 0.068\alpha)] - \\
& [v_1(2.431 - 0.394\alpha) + v_2(1.558 - 0.091\alpha) + v_3(1.058 - 0.027\alpha) + v_4(0.240 - 0.063\alpha)] \leq 0 \\
& [u_1(0.029 + 0.040\alpha) + u_2(0.064 + 0.026\alpha) + u_3(0.035 + 0.021\alpha) + u_4(0.076 + 0.134\alpha)] - \\
& [v_1(3.871 - 0.952\alpha) + v_2(1.456 - 0.083\alpha) + v_3(1.177 - 0.088\alpha) + v_4(0.114 - 0.045\alpha)] \leq 0 \\
& [u_1(0.099 + 0.035\alpha) + u_2(0.075 + 0.046\alpha) + u_3(0.654 + 0.292\alpha) + u_4(0.108 + 0.464\alpha)] - \\
& [v_1(1.626 - 0.139\alpha) + v_2(3.251 - 0.604\alpha) + v_3(1.958 - 0.222\alpha) + v_4(0.479 - 0.142\alpha)] \leq 0 \\
& [u_1(0.037 + 0.066\alpha) + u_2(0.088 + 0.143\alpha) + u_3(0.047 + 0.045\alpha) + u_4(0.074 + 0.070\alpha)] - \\
& [v_1(2.914 - 0.809\alpha) + v_2(1.649 - 0.132\alpha) + v_3(1.302 - 0.023\alpha) + v_4(0.425 - 0.046\alpha)] \leq 0 \\
& [u_1(0.103 + 3.908\alpha) + u_2(0.227 + 0.799\alpha) + u_3(0.101 + 1.607\alpha) + u_4(0.121 + 1.548\alpha)] - \\
& [v_1(0.456 - 0.027\alpha) + v_2(3.484 - 0.150\alpha) + v_3(2.699 - 0.236\alpha) + v_4(0.802 - 0.360\alpha)] \leq 0 \\
& [u_1(0.195 + 0.656\alpha) + u_2(0.389 + 0.528\alpha) + u_3(0.166 + 0.351\alpha) + u_4(0.233 + 1.705\alpha)] - \\
& [v_1(0.204 - 0.022\alpha) + v_2(6.531 - 0.659\alpha) + v_3(5.985 - 0.943\alpha) + v_4(4.060 - 1.720\alpha)] \leq 0 \\
& [u_1(0.032 + 0.019\alpha) + u_2(0.055 + 0.032\alpha) + u_3(0.061 + 0.002\alpha) + u_4(0.144 + 0.120\alpha)] - \\
& [v_1(1.692 - 0.449\alpha) + v_2(1.325 - 0.067\alpha) + v_3(0.954 - 0.036\alpha) + v_4(0.056 - 0.019\alpha)] \leq 0 \\
& [u_1(0.015 + 0.004\alpha) + u_2(0.032 + 0.009\alpha) + u_3(0.031 + 0.004\alpha) + u_4(0.082 + 0.050\alpha)] - \\
& [v_1(4.195 - 0.338\alpha) + v_2(1.247 - 0.032\alpha) + v_3(1.209 - 0.052\alpha) + v_4(0.137 - 0.018\alpha)] \leq 0 \\
& [u_1(0.107 + 0.057\alpha) + u_2(0.074 + 0.038\alpha) + u_3(0.090 + 0.034\alpha) + u_4(0.411 + 0.200\alpha)] - \\
& [v_1(0.870 - 0.102\alpha) + v_2(2.123 - 0.137\alpha) + v_3(1.425 - 0.087\alpha) + v_4(0.658 - 0.115\alpha)] \leq 0 \\
& [u_1(1.302\alpha) + u_2(0.765\alpha) + u_3(0.616\alpha) + u_4(1.331 + 0.348\alpha)] - \\
& [v_1(0.560 - 0.142\alpha) + v_2(6.506 - 2.718\alpha) + v_3(6.362 - 2.679\alpha) + v_4(2.300 - 1.233\alpha)] \leq 0 \\
& [u_1(1.424 + 3.365\alpha) + u_2(0.363 + 0.912\alpha) + u_3(1.279 + 1.256\alpha) + u_4(2.056 + 3.235\alpha)] - \\
& [v_1(0.104 - 0.026\alpha) + v_2(18.629 - 3.769\alpha) + v_3(18.312 - 3.648\alpha) + v_4(17.386 - 4.350\alpha)] \leq 0 \\
& [u_1(0.342 + 0.187\alpha) + u_2(0.251 + 0.081\alpha) + u_3(0.344 + 0.037\alpha) + u_4(1.152 + 0.429\alpha)] - \\
& [v_1(0.110 - 0.428\alpha) + v_2(2.105 - 0.083\alpha) + v_3(2.068 - 0.068\alpha) + v_4(0.660 - 0.079\alpha)] \leq 0 \\
& [u_1(0.031 + 0.027\alpha) + u_2(0.027 + 0.014\alpha) + u_3(0.017 + 0.031\alpha) + u_4(0.230 + 0.461\alpha)] - \\
& [v_1(1.689 - 0.598\alpha) + v_2(1.941 - 0.248\alpha) + v_3(1.801 - 0.270\alpha) + v_4(0.381 - 0.172\alpha)] \leq 0 \\
& [u_1(0.114 + 0.153\alpha) + u_2(0.221 + 0.256\alpha) + u_3(0.125 + 0.034\alpha) + u_4(0.751 + 0.059\alpha)] - \\
& [v_1(0.172 - 0.034\alpha) + v_2(10.457 - 1.002\alpha) + v_3(7.241 - 0.858\alpha) + v_4(3.983 - 0.808\alpha)] \leq 0 \\
& v_1, v_2, v_3, v_4, u_1, u_2, u_3, u_4 \geq \varepsilon
\end{aligned}$$

ALCATEL firması için kurulan bu alt ve üst sınır modelleri diğer 15 firma için de kurularak ( $\alpha = 0, 0.3, 0.5, 0.7$  ve  $1$ ) düzeyleri için çözümlenmiştir. Modellerin çözümünde

LINDO paket programı kullanılmıştır. Her bir  $\alpha$ -kesim düzeyi için elde edilen etkinlik skorları Tablo 26’da sunulmaktadır.

**Tablo 26: Kao-Liu Modeli ile Elde Edilen Bulanık Etkinlik Skorları**

KVB	$\alpha = 0$	$\alpha = 0.3$	$\alpha = 0.5$	$\alpha = 0.7$	$\alpha = 1$
ALCATEL	(0.034, 1)	(0.051, 1)	(0.093, 0.755)	(0.136, 0.457)	0.241
ANEL	(0.430, 1)	(1, 1)	(1, 1)	(1, 1)	1
ARENA	(0.057, 1)	(0.080, 1)	(0.102, 0.697)	(0.134, 0.448)	0.222
ARMADA	(0.059, 1)	(0.083, 1)	(0.106, 0.957)	(0.149, 0.648)	0.308
ASELSAN	(0.152, 1)	(0.229, 1)	(0.307, 1)	(0.427, 1)	0.786
DATAGATE	(0.072, 1)	(0.135, 1)	(0.195, 1)	(0.279, 0.815)	0.495
DESPEC	(0.109, 1)	(0.483, 1)	(1, 1)	(1, 1)	1
ERİCOM	(0.192, 1)	(0.371, 1)	(0.552, 1)	(0.814, 1)	1
ESCORT	(0.104, 1)	(0.271, 1)	(0.476, 1)	(0.757, 1)	1
İNDEKS	(0.038, 0.942)	(0.058, 0.668)	(0.092, 0.516)	(0.127, 0.388)	0.230
KAREL	(0.110, 1)	(0.169, 0.965)	(0.226, 0.814)	(0.309, 0.682)	0.509
KRON	(0.170, 1)	(0.259, 1)	(0.351, 1)	(0.494, 1)	0.924
LİNK	(1, 1)	(1, 1)	(1, 1)	(1, 1)	1
LOGO	(0.260, 1)	(0.410, 1)	(0.549, 1)	(0.749, 1)	1
NETAŞ	(0.044, 1)	(0.105, 1)	(0.217, 1)	(0.298, 1)	0.725
PLASTİKKART	(0.101, 1)	(0.167, 1)	(0.236, 1)	(0.334, 0.917)	0.596

$\alpha$ -kesim düzeyi “0” değerine yaklaştıkça risk volatilitesi (belirsizlik düzeyi) yükselmekte buna karşılık etkinlik skorları için güven aralığı (confidence interval) da aynı oranda artmaktadır.  $\alpha=0$  olduğunda, teorik olarak, karar birimlerinin alt ve üst etkinlik skorları arasındaki fark en yüksek değerini almalıdır.  $\alpha=1$  olduğunda ise hiçbir risk volatilitesi bulunmamakta ancak etkinlik skorlarının güven düzeyi minimuma inmektedir. Bu nedenle,  $\alpha=1$  seviyesinde etkinlik skorlarının alt ve üst sınır değerleri arasında hiçbir fark olmamalı yani birbirine eşit olmalıdırlar. Tablo 26 incelendiğinde bahsedilen durum görülmektedir.  $\alpha=0$  seviyesinde karar birimlerinin alt ve üst etkinlik değerleri arasındaki fark diğer  $\alpha$ -kesim düzeylerine göre daha yüksektir ve  $\alpha$ -kesim seviyesi arttıkça bu farkın azaldığı görülmektedir. Ayrıca,  $\alpha$ -kesim düzeyi yükseldikçe etkin firma sayısının da, beklenildiği gibi, azaldığı görülmektedir. Karar birimlerinin alt sınır etkinlik skorları Tablo 26’da görüleceği üzere  $\alpha=1$  düzeyinden  $\alpha=0$  düzeyine yaklaştıkça azalırken etkinlik

skorlarının üst sınırı artmaktadır. Bununla birlikte literatürde bu durumun bazı istisnaları görülebilmektedir.

$\alpha=0$  düzeyinde karar birimlerinin etkinlik skorlarının en geniş aralığı elde edilmektedir. Örneğin, ALCATEL firmasının alabileceği etkinlik skorları (0.034-1) aralığında değişmektedir. Bir başka deyişle, ALCATEL firmasının etkinlik skoru hiçbir zaman 0.034 değerinin altına düşmezken “1” değerini de aşmayacaktır.  $\alpha=0$  düzeyindeki etkinlik değerleri incelendiğinde LİNK firması dışındaki karar birimlerinin etkinlik skorlarının alt sınırları 1’den küçük olduğu için bu karar birimleri etkinsiz olarak değerlendirilmektedir. Ancak İNDEKS firması dışındaki firmaların etkinlik skorlarının üst sınırlarının “1” değerini alması bu firmaların etkin olma potansiyellerinin bulunduğu anlamına gelmektedir. Karar birimlerinin kesin etkinlik skorları bulanıklığın ortadan kalktığı  $\alpha=1$  düzeyinde hesaplanmaktadır. Buna göre ALCATEL firmasının kesin etkinlik skoru (0.241)’dir. LİNK firması, tüm  $\alpha$ -kesim düzeylerindeki etkinlik skorlarının alt ve üst sınırları “1” olarak hesaplandığından, tam etkin olarak değerlendirilmektedir. Başka bir deyişle, LİNK firması tüm  $\alpha$ -kesim seviyelerinde etkinlik sınırını tanımlayan tek karar birimidir. Benzer şekilde ANEL firması,  $\alpha = 0$  dışındaki tüm  $\alpha$ -kesim düzeylerinde etkin çıkmıştır. İNDEKS firması, tüm  $\alpha$ -kesim düzeylerindeki alt ve üst sınır etkinlik skorları 1’in altında olduğundan, etkinsiz bir karar birimidir. KAREL firması ise  $\alpha = 0$  dışındaki tüm  $\alpha$ -kesim düzeylerinde etkinsiz çıkmıştır. Diğer karar birimlerinin etkinlik durumu benzer şekilde yorumlanmaktadır.

Kao-Liu modeline göre elde edilen etkinlik skorları Tablo 26’da görüldüğü üzere bulanık sayılardır. Buna göre karar birimlerini etkinlik skorlarına göre sıralamak amacıyla her bir  $\alpha$ -kesimi için elde edilen bulanık sayıların sıralanması gerekmektedir. Bu çalışmada Chen ve Klein (1997) tarafından geliştirilen bulanık sıralama yöntemi kullanılarak bulanık etkinlik skorları durulaştırılmış ve karar birimleri performanslarına göre sıralanmıştır.

Eşitlik (3.22) ile gösterilen Chen ve Klein bulanık sıralama modeli kullanılarak elde edilen sonuçlar Tablo 27’de sergilenmektedir. Buna göre, en yüksek endeks skoruna sahip LİNK (1), ANEL (0.894) ve DESPEC (0.774) firmaları Kao-Liu modeline göre en etkin çıkan ilk üç firma olurken, İNDEKS (0.366), ALCATEL (0.425) ve ARENA (0.460) en etkinsiz faaliyet gösteren firmalar olmuştur.

**Tablo 27: Kao-Liu Modeli için Bütünleşik Etkinlik Sıralaması**

KVB	I	Etkinlik Sıralaması
ALCATEL	0.425	15
ANEL	0.894	2
ARENA	0.460	14
ARMADA	0.466	13
ASELSAN	0.598	8
DATAGATE	0.520	11
DESPEC	0.774	3
ERICOM	0.700	5
ESCORT	0.669	6
İNDEKS	0.366	16
KAREL	0.508	12
KRON	0.629	7
LİNK	1.000	1
LOGO	0.704	4
NETAŞ	0.558	9
PLASTİKKART	0.549	10

#### **4.6.2. Saati-Memariani-Jahanshahloo Modeli Uygulaması**

Model (3.33) kullanılarak ALCATEL firması için oluşturulan Saati-Memariani-Jahanshahloo modeli aşağıda gösterilmektedir.

$$(E_1)_\alpha = \max [\bar{y}_{11} + \bar{y}_{21} + \bar{y}_{31} + \bar{y}_{41}]$$

$$\bar{x}_{11} + \bar{x}_{21} + \bar{x}_{31} + \bar{x}_{41} = 1$$

$$\bar{y}_{11} + \bar{y}_{21} + \bar{y}_{31} + \bar{y}_{41} - \bar{x}_{11} - \bar{x}_{21} - \bar{x}_{31} - \bar{x}_{41} \leq 0$$

$$\bar{y}_{12} + \bar{y}_{22} + \bar{y}_{32} + \bar{y}_{42} - \bar{x}_{12} - \bar{x}_{22} - \bar{x}_{32} - \bar{x}_{42} \leq 0$$

$$\bar{y}_{13} + \bar{y}_{23} + \bar{y}_{33} + \bar{y}_{43} - \bar{x}_{13} - \bar{x}_{23} - \bar{x}_{33} - \bar{x}_{43} \leq 0$$

$$\bar{y}_{14} + \bar{y}_{24} + \bar{y}_{34} + \bar{y}_{44} - \bar{x}_{14} - \bar{x}_{24} - \bar{x}_{34} - \bar{x}_{44} \leq 0$$

$$\bar{y}_{15} + \bar{y}_{25} + \bar{y}_{35} + \bar{y}_{45} - \bar{x}_{15} - \bar{x}_{25} - \bar{x}_{35} - \bar{x}_{45} \leq 0$$

$$\bar{y}_{16} + \bar{y}_{26} + \bar{y}_{36} + \bar{y}_{46} - \bar{x}_{16} - \bar{x}_{26} - \bar{x}_{36} - \bar{x}_{46} \leq 0$$

$$\bar{y}_{17} + \bar{y}_{27} + \bar{y}_{37} + \bar{y}_{47} - \bar{x}_{17} - \bar{x}_{27} - \bar{x}_{37} - \bar{x}_{47} \leq 0$$

$$\bar{y}_{18} + \bar{y}_{28} + \bar{y}_{38} + \bar{y}_{48} - \bar{x}_{18} - \bar{x}_{28} - \bar{x}_{38} - \bar{x}_{48} \leq 0$$

$$\bar{y}_{19} + \bar{y}_{29} + \bar{y}_{39} + \bar{y}_{49} - \bar{x}_{19} - \bar{x}_{29} - \bar{x}_{39} - \bar{x}_{49} \leq 0$$

$$\bar{y}_{110} + \bar{y}_{210} + \bar{y}_{310} + \bar{y}_{410} - \bar{x}_{110} - \bar{x}_{210} - \bar{x}_{310} - \bar{x}_{410} \leq 0$$

$$\bar{y}_{111} + \bar{y}_{211} + \bar{y}_{311} + \bar{y}_{411} - \bar{x}_{111} - \bar{x}_{211} - \bar{x}_{311} - \bar{x}_{411} \leq 0$$

$$\bar{y}_{112} + \bar{y}_{212} + \bar{y}_{312} + \bar{y}_{412} - \bar{x}_{112} - \bar{x}_{212} - \bar{x}_{312} - \bar{x}_{412} \leq 0$$

$$\bar{y}_{113} + \bar{y}_{213} + \bar{y}_{313} + \bar{y}_{413} - \bar{x}_{113} - \bar{x}_{213} - \bar{x}_{313} - \bar{x}_{413} \leq 0$$

$$\bar{y}_{114} + \bar{y}_{214} + \bar{y}_{314} + \bar{y}_{414} - \bar{x}_{114} - \bar{x}_{214} - \bar{x}_{314} - \bar{x}_{414} \leq 0$$

$$\bar{y}_{115} + \bar{y}_{215} + \bar{y}_{315} + \bar{y}_{415} - \bar{x}_{115} - \bar{x}_{215} - \bar{x}_{315} - \bar{x}_{415} \leq 0$$

$$\bar{y}_{116} + \bar{y}_{216} + \bar{y}_{316} + \bar{y}_{416} - \bar{x}_{116} - \bar{x}_{216} - \bar{x}_{316} - \bar{x}_{416} \leq 0$$

$$(2.908+0.790\alpha)v_1 \leq \bar{x}_{11} \leq (4.537-0.839\alpha)v_1$$

$$(1.723+1.870\alpha)v_1 \leq \bar{x}_{12} \leq (6.570-2.977\alpha)v_1$$

$$(0.677+1.360\alpha)v_1 \leq \bar{x}_{13} \leq (2.431-0.394\alpha)v_1$$

$$(2.346+0.573\alpha)v_1 \leq \bar{x}_{14} \leq (3.871-0.952\alpha)v_1$$

$$(1.348+0.138\alpha)v_1 \leq \bar{x}_{15} \leq (1.626-0.139\alpha)v_1$$

$$(1.544+0.561\alpha)v_1 \leq \bar{x}_{16} \leq (2.914-0.809\alpha)v_1$$

$$(0.406+0.024\alpha)v_1 \leq \bar{x}_{17} \leq (0.456-0.027\alpha)v_1$$

$$(0.160+0.022\alpha)v_1 \leq \bar{x}_{18} \leq (0.204-0.022\alpha)v_1$$

$$(0.922+0.321\alpha)v_1 \leq \bar{x}_{19} \leq (1.692-0.449\alpha)v_1$$

$$(3.567+0.29\alpha)v_1 \leq \bar{x}_{110} \leq (4.195-0.338\alpha)v_1$$

$$(0.656+0.112\alpha)v_1 \leq \bar{x}_{111} \leq (0.87-0.102\alpha)v_1$$

$$(0.259+0.160\alpha)v_1 \leq \bar{x}_{112} \leq (0.560-0.142\alpha)v_1$$

$$(0.063+0.016\alpha)v_1 \leq \bar{x}_{113} \leq (0.104-0.026\alpha)v_1$$

$$(0.453+0.228\alpha)v_1 \leq \bar{x}_{114} \leq (0.110-0.428\alpha)v_1$$

$$(0.591+0.500\alpha)v_1 \leq \bar{x}_{115} \leq (1.689-0.598\alpha)v_1$$

$$(0.120+0.019\alpha)v_1 \leq \bar{x}_{116} \leq (0.172-0.034\alpha)v_1$$

$$(1.441+0.140\alpha)v_2 \leq \bar{x}_{21} \leq (1.739-0.158\alpha)v_2$$

$$(0.820+0.177\alpha)v_2 \leq \bar{x}_{22} \leq (1.330-0.334\alpha)v_2$$

$$(1.378+0.090\alpha)v_2 \leq \bar{x}_{23} \leq (1.558-0.091\alpha)v_2$$

$$(1.251+0.122\alpha)v_2 \leq \bar{x}_{24} \leq (1.456-0.083\alpha)v_2$$

$$(2.189+0.459\alpha)v_2 \leq \bar{x}_{25} \leq (3.251-0.604\alpha)v_2$$

$$(1.365+0.152\alpha)v_2 \leq \bar{x}_{26} \leq (1.649-0.132\alpha)v_2$$

$$(3.227+0.107\alpha)v_2 \leq \bar{x}_{27} \leq (3.484-0.150\alpha)v_2$$

$$(4.907+0.965\alpha)v_2 \leq \bar{x}_{28} \leq (6.531-0.659\alpha)v_2$$

$$(1.149+0.110\alpha)v_2 \leq \bar{x}_{29} \leq (1.325-0.067\alpha)v_2$$

$$(1.179+0.036\alpha)v_2 \leq \bar{x}_{210} \leq (1.247-0.032\alpha)v_2$$

$$(1.745+0.241\alpha)v_2 \leq \bar{x}_{211} \leq (2.123-0.137\alpha)v_2$$

$$(1.554+2.233\alpha)v_2 \leq \bar{x}_{212} \leq (6.506-2.718\alpha)v_2$$

$$(9.782+5.079\alpha)v_2 \leq \bar{x}_{213} \leq (18.629-3.769\alpha)v_2$$

$$(1.878+0.145\alpha)v_2 \leq \bar{x}_{214} \leq (2.105-0.083\alpha)v_2$$

$$(1.421+0.273\alpha)v_2 \leq \bar{x}_{215} \leq (1.941-0.248\alpha)v_2$$

$$(8.399+1.056\alpha)v_2 \leq \bar{x}_{216} \leq (10.457-1.002\alpha)v_2$$

$$(1.176+0.217\alpha)v_3 \leq \bar{x}_{31} \leq (1.568-0.175\alpha)v_3$$

$$(0.796+0.121\alpha)v_3 \leq \bar{x}_{32} \leq (1.144-0.227\alpha)v_3$$

$$(0.984+0.047\alpha)v_3 \leq \bar{x}_{33} \leq (1.058-0.027\alpha)v_3$$

$$(0.985+0.104\alpha)v_3 \leq \bar{x}_{34} \leq (1.177-0.088\alpha)v_3$$

$$(1.499+0.236\alpha)v_3 \leq \bar{x}_{35} \leq (1.958-0.222\alpha)v_3$$

$$(1.264+0.014\alpha)v_3 \leq \bar{x}_{36} \leq (1.302-0.023\alpha)v_3$$

$$(2.232+0.230\alpha)v_3 \leq \bar{x}_{37} \leq (2.699-0.236\alpha)v_3$$

$$(4.572+0.870\alpha)v_3 \leq \bar{x}_{38} \leq (5.985-0.543\alpha)v_3$$

$$(0.894+0.023\alpha)v_3 \leq \bar{x}_{39} \leq (0.954-0.036\alpha)v_3$$

$$(0.935+0.042\alpha)v_3 \leq \bar{x}_{310} \leq (1.029-0.052\alpha)v_3$$

$$(0.221+0.066\alpha)v_4 \leq \bar{x}_{41} \leq (0.364-0.077\alpha)v_4$$

$$(0.171+0.268\alpha)v_4 \leq \bar{x}_{42} \leq (0.890-0.451\alpha)v_4$$

$$(0.121+0.056\alpha)v_4 \leq \bar{x}_{43} \leq (0.240-0.063\alpha)v_4$$

$$(0.114+0.045\alpha)v_4 \leq \bar{x}_{44} \leq (0.192-0.033\alpha)v_4$$

$$(0.111+0.226\alpha)v_4 \leq \bar{x}_{45} \leq (0.479-0.142\alpha)v_4$$

$$(0.355+0.024\alpha)v_4 \leq \bar{x}_{46} \leq (0.425-0.046\alpha)v_4$$

$$(0.240+0.203\alpha)v_4 \leq \bar{x}_{47} \leq (0.802-0.360\alpha)v_4$$

$$(0.095+2.245\alpha)v_4 \leq \bar{x}_{48} \leq (4.060-1.720\alpha)v_4$$

$$(0.017+0.021\alpha)v_4 \leq \bar{x}_{49} \leq (0.056-0.019\alpha)v_4$$

$$(0.098+0.022\alpha)v_4 \leq \bar{x}_{410} \leq (0.137-0.018\alpha)v_4$$

$$\begin{aligned}
(1.212 + 0.125\alpha)v_3 &\leq \bar{x}_{311} \leq (1.425 - 0.087\alpha)v_3 \\
(1.505 + 2.179\alpha)v_3 &\leq \bar{x}_{312} \leq (6.362 - 2.679\alpha)v_3 \\
(9.772 + 4.892\alpha)v_3 &\leq \bar{x}_{313} \leq (18.312 - 3.648\alpha)v_3 \\
(1.867 + 0.133\alpha)v_3 &\leq \bar{x}_{314} \leq (2.068 - 0.068\alpha)v_3 \\
(1.293 + 0.238\alpha)v_3 &\leq \bar{x}_{315} \leq (1.801 - 0.270\alpha)v_3 \\
(5.824 + 0.559\alpha)v_3 &\leq \bar{x}_{316} \leq (7.241 - 0.858\alpha)v_3 \\
(0.029\alpha)u_1 &\leq \bar{y}_{11} \leq (0.640 - 0.611\alpha)u_1 \\
(0.067\alpha)u_1 &\leq \bar{y}_{12} \leq (0.152 - 0.085\alpha)u_1 \\
(0.023 + 0.007\alpha)u_1 &\leq \bar{y}_{13} \leq (0.034 - 0.004\alpha)u_1 \\
(0.029 + 0.040\alpha)u_1 &\leq \bar{y}_{14} \leq (0.118 - 0.049\alpha)u_1 \\
(0.099 + 0.035\alpha)u_1 &\leq \bar{y}_{15} \leq (0.183 - 0.049\alpha)u_1 \\
(0.037 + 0.066\alpha)u_1 &\leq \bar{y}_{16} \leq (0.195 - 0.091\alpha)u_1 \\
(0.103 + 3.098\alpha)u_1 &\leq \bar{y}_{17} \leq (9.312 - 6.111\alpha)u_1 \\
(0.195 + 0.656\alpha)u_1 &\leq \bar{y}_{18} \leq (1.494 - 0.644\alpha)u_1 \\
(0.032 + 0.019\alpha)u_1 &\leq \bar{y}_{19} \leq (0.066 - 0.015\alpha)u_1 \\
(0.015 + 0.004\alpha)u_1 &\leq \bar{y}_{110} \leq (0.025 - 0.006\alpha)u_1 \\
(0.107 + 0.057\alpha)u_1 &\leq \bar{y}_{111} \leq (0.205 - 0.041\alpha)u_1 \\
(1.302\alpha)u_1 &\leq \bar{y}_{112} \leq (2.036 - 0.734\alpha)u_1 \\
(1.424 + 3.355\alpha)u_1 &\leq \bar{y}_{113} \leq (9.294 - 4.515\alpha)u_1 \\
(0.342 + 0.187\alpha)u_1 &\leq \bar{y}_{114} \leq (0.706 - 0.177\alpha)u_1 \\
(0.031 + 0.027\alpha)u_1 &\leq \bar{y}_{115} \leq (0.109 - 0.051\alpha)u_1 \\
(0.114 + 0.153\alpha)u_1 &\leq \bar{y}_{116} \leq (0.359 - 0.092\alpha)u_1
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
(0.021\alpha)u_3 &\leq \bar{y}_{31} \leq (0.064 - 0.043\alpha)u_3 \\
(0.106 + 0.062\alpha)u_3 &\leq \bar{y}_{32} \leq (0.273 - 0.105\alpha)u_3 \\
(0.036 + 0.003\alpha)u_3 &\leq \bar{y}_{33} \leq (0.041 - 0.002\alpha)u_3 \\
(0.035 + 0.021\alpha)u_3 &\leq \bar{y}_{34} \leq (0.085 - 0.030\alpha)u_3 \\
(0.654 + 0.292\alpha)u_3 &\leq \bar{y}_{35} \leq (1.311 - 0.365\alpha)u_3 \\
(0.047 + 0.045\alpha)u_3 &\leq \bar{y}_{36} \leq (0.166 - 0.075\alpha)u_3 \\
(0.101 + 1.607\alpha)u_3 &\leq \bar{y}_{37} \leq (4.908 - 3.200\alpha)u_3 \\
(0.166 + 0.351\alpha)u_3 &\leq \bar{y}_{38} \leq (0.824 - 0.308\alpha)u_3 \\
(0.061 + 0.002\alpha)u_3 &\leq \bar{y}_{39} \leq (0.065 - 0.002\alpha)u_3 \\
(0.031 + 0.004\alpha)u_3 &\leq \bar{y}_{310} \leq (0.042 - 0.007\alpha)u_3 \\
(0.090 + 0.034\alpha)u_3 &\leq \bar{y}_{311} \leq (0.161 - 0.036\alpha)u_3 \\
(0.616\alpha)u_3 &\leq \bar{y}_{312} \leq (1.115 - 0.499\alpha)u_3 \\
(1.279 + 1.256\alpha)u_3 &\leq \bar{y}_{313} \leq (4.595 - 2.060\alpha)u_3 \\
(0.344 + 0.037\alpha)u_3 &\leq \bar{y}_{314} \leq (0.422 - 0.041\alpha)u_3 \\
(0.017 + 0.031\alpha)u_3 &\leq \bar{y}_{315} \leq (0.086 - 0.038\alpha)u_3 \\
(0.125 + 0.034\alpha)u_3 &\leq \bar{y}_{316} \leq (0.193 - 0.034\alpha)u_3
\end{aligned}$$

$$v_1, v_2, v_3, v_4, u_1, u_2, u_3, u_4 \geq 10^{-6}$$

$$\begin{aligned}
(0.436 + 0.107\alpha)v_4 &\leq \bar{x}_{411} \leq (0.658 - 0.115\alpha)v_4 \\
(0.174 + 0.893\alpha)v_4 &\leq \bar{x}_{412} \leq (2.300 - 1.233\alpha)v_4 \\
(7.543 + 5.493\alpha)v_4 &\leq \bar{x}_{413} \leq (17.386 - 4.350\alpha)v_4 \\
(0.467 + 0.114\alpha)v_4 &\leq \bar{x}_{414} \leq (0.660 - 0.079\alpha)v_4 \\
(0.088 + 0.122\alpha)v_4 &\leq \bar{x}_{415} \leq (0.381 - 0.172\alpha)v_4 \\
(1.791 + 1.384\alpha)v_4 &\leq \bar{x}_{416} \leq (3.983 - 0.808\alpha)v_4 \\
(0.042\alpha)u_2 &\leq \bar{y}_{21} \leq (0.099 - 0.057\alpha)u_2 \\
(0.013\alpha)u_2 &\leq \bar{y}_{22} \leq (0.029 - 0.015\alpha)u_2 \\
(0.064 + 0.027\alpha)u_2 &\leq \bar{y}_{23} \leq (0.122 - 0.031\alpha)u_2 \\
(0.064 + 0.026\alpha)u_2 &\leq \bar{y}_{24} \leq (0.122 - 0.031\alpha)u_2 \\
(0.075 + 0.046\alpha)u_2 &\leq \bar{y}_{25} \leq (0.197 - 0.077\alpha)u_2 \\
(0.088 + 0.143\alpha)u_2 &\leq \bar{y}_{26} \leq (0.389 - 0.157\alpha)u_2 \\
(0.227 + 0.799\alpha)u_2 &\leq \bar{y}_{27} \leq (2.369 - 1.344\alpha)u_2 \\
(0.389 + 0.528\alpha)u_2 &\leq \bar{y}_{28} \leq (1.827 - 0.910\alpha)u_2 \\
(0.055 + 0.032\alpha)u_2 &\leq \bar{y}_{29} \leq (0.117 - 0.030\alpha)u_2 \\
(0.032 + 0.009\alpha)u_2 &\leq \bar{y}_{210} \leq (0.059 - 0.018\alpha)u_2 \\
(0.074 + 0.038\alpha)u_2 &\leq \bar{y}_{211} \leq (0.161 - 0.049\alpha)u_2 \\
(0.765\alpha)u_2 &\leq \bar{y}_{212} \leq (1.169 - 0.404\alpha)u_2 \\
(0.032 + 0.009\alpha)u_2 &\leq \bar{y}_{213} \leq (0.059 - 0.018\alpha)u_2 \\
(0.363 + 0.912\alpha)u_2 &\leq \bar{y}_{214} \leq (1.981 - 0.707\alpha)u_2 \\
(0.251 + 0.081\alpha)u_2 &\leq \bar{y}_{215} \leq (0.440 - 0.108\alpha)u_2 \\
(0.221 + 0.256\alpha)u_2 &\leq \bar{y}_{216} \leq (0.634 - 0.157\alpha)u_2
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
(0.257 + 0.089\alpha)u_4 &\leq \bar{y}_{41} \leq (0.396 - 0.051\alpha)u_4 \\
(0.840 + 1.394\alpha)u_4 &\leq \bar{y}_{42} \leq (3.855 - 1.622\alpha)u_4 \\
(0.078 + 0.068\alpha)u_4 &\leq \bar{y}_{43} \leq (0.275 - 0.128\alpha)u_4 \\
(0.076 + 0.134\alpha)u_4 &\leq \bar{y}_{44} \leq (0.467 - 0.257\alpha)u_4 \\
(0.108 + 0.464\alpha)u_4 &\leq \bar{y}_{45} \leq (1.017 - 0.444\alpha)u_4 \\
(0.074 + 0.070\alpha)u_4 &\leq \bar{y}_{46} \leq (0.233 - 0.089\alpha)u_4 \\
(0.121 + 1.548\alpha)u_4 &\leq \bar{y}_{47} \leq (4.513 - 2.844\alpha)u_4 \\
(0.233 + 1.705\alpha)u_4 &\leq \bar{y}_{48} \leq (3.813 - 1.875\alpha)u_4 \\
(0.144 + 0.120\alpha)u_4 &\leq \bar{y}_{49} \leq (0.433 - 0.170\alpha)u_4 \\
(0.082 + 0.050\alpha)u_4 &\leq \bar{y}_{410} \leq (0.170 - 0.039\alpha)u_4 \\
(0.411 + 0.200\alpha)u_4 &\leq \bar{y}_{411} \leq (0.829 - 0.218\alpha)u_4 \\
(1.331 + 0.348\alpha)u_4 &\leq \bar{y}_{412} \leq (2.350 - 0.671\alpha)u_4 \\
(2.056 + 3.235\alpha)u_4 &\leq \bar{y}_{413} \leq (7.844 - 2.553\alpha)u_4 \\
(1.152 + 0.429\alpha)u_4 &\leq \bar{y}_{414} \leq (1.998 - 0.417\alpha)u_4 \\
(0.230 + 0.461\alpha)u_4 &\leq \bar{y}_{415} \leq (1.291 - 0.600\alpha)u_4 \\
(0.751 + 0.059\alpha)v_4 &\leq \bar{y}_{416} \leq (0.856 - 0.046\alpha)v_4
\end{aligned}$$

Buna göre, yukarıdaki model, sadece amaç fonksiyonu ve birinci kısıtı değiştirilerek, 16 firma için her bir  $\alpha$ -kesim düzeyinde 16'şar kez kurulup çözülmüştür. Elde edilen etkinlik skorları Tablo 28'de gösterilmektedir.

**Tablo 28: Saati-Memariani-Jahanshahloo Modeliyle Elde Edilen Bulanık Etkinlik Skorları**

KVB	$\alpha = 0$	$\alpha = 0.3$	$\alpha = 0.5$	$\alpha = 0.7$	$\alpha = 1$
ALCATEL	1	1	0.755	0.457	0.241
ANEL	1	1	1	1	1
ARENA	1	1	0.697	0.448	0.222
ARMADA	1	1	0.957	0.648	0.308
ASELSAN	1	1	1	1	0.786
DATAGATE	1	1	1	0.815	0.495
DESPEC	1	1	1	1	1
ERİCOM	1	1	1	1	1
ESCORT	1	1	1	1	1
İNDEKS	0.942	0.668	0.516	0.388	0.230
KAREL	1	0.965	0.814	0.682	0.509
KRON	1	1	1	1	0.924
LİNK	1	1	1	1	1
LOGO	1	1	1	1	1
NETAŞ	1	1	1	1	0.725
PLASTİKKART	1	1	1	0.917	0.596

Elde edilen sonuçlara göre, ANEL, DESPEC, ERİCOM, ESCORT, LİNK ve LOGO firmaları tüm  $\alpha$ -kesim düzeylerinde etkin çıkarak en iyi performans gösteren karar birimleri olmuşlardır. ASELSAN, KRON ve NETAŞ firmaları ise  $\alpha=1$  dışındaki  $\alpha$ -kesim düzeylerinde etkin faaliyet göstermişlerdir. Beklenildiği gibi  $\alpha$ -kesim düzeyi arttıkça (etkinsiz) firmaların etkinlik skorları azalmaktadır. İNDEKS firması tüm  $\alpha$ -kesim düzeylerinde etkinsiz çıktığından en kötü performansa sahip firma olarak değerlendirilmektedir. KAREL firması ise  $\alpha=0$  dışındaki düzeylerde etkinsiz faaliyet göstermiştir. Farklı  $\alpha$ -kesim düzeylerindeki etkinlik skorlarından bütünleşik tek bir



sıralama elde etmek amacıyla Chen ve Klein bulanık sıralama modeli kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 29’da sergilenmektedir.

**Tablo 29: Saati-Memariani-Jahanshahloo Modeli için Bütünleşik Etkinlik Sıralaması**

KVB	I	Etkinlik Sıralaması
ALCATEL	0.602	14
ANEL	1.000	1
ARENA	0.580	15
ARMADA	0.721	13
ASELSAN	0.945	8
DATAGATE	0.823	11
DESPEC	1.000	1
ERİCOM	1.000	1
ESCORT	1.000	1
İNDEKS	0.420	16
KAREL	0.735	12
KRON	0.980	7
LİNK	1.000	1
LOGO	1.000	1
NETAŞ	0.929	9
PLASTİKKART	0.875	10

Buna göre tüm  $\alpha$ -kesim düzeylerinde “1” değerini alarak etkin çıkan ANEL, DESPEC, ERİCOM, ESCORT, LİNK ve LOGO firmaları Chen ve Klein sıralama modeline göre en iyi performans gösteren firmalar olarak ortaya çıkmışlardır. Sıralama endeksi en küçük olan İNDEKS (0.42), ARENA (0.58) ve ALCATEL (0.602) firmaları ise en başarısız performans gösteren üç firma olmuşlardır.

#### 4.6.3. Lertworasirikul-Fang-Joines-Nuttle Modeli Uygulaması

Eşitlik (3.45) kullanılarak ALCATEL firması için  $\beta=\alpha_1,\alpha_2,\alpha_3,\alpha_4,\alpha_5=\alpha$  olabilirlik seviyesinde oluşturulan Lertworasirikul-Fang-Joines-Nuttle modeli aşağıda gösterilmektedir.

PCCR Modeli

$$(\tilde{E}_k) = \max_{u,v,\bar{f}} \bar{f}$$

$$\begin{aligned}
& (1-\alpha)(0.640u_1 + 0.099u_2 + 0.064u_3 + 0.396u_4) + \alpha(0.029u_1 + 0.042u_2 + 0.021u_3 + 0.345u_4) \geq \bar{f} \\
& (1-\alpha)(4.537v_1 + 1.739v_2 + 1.568v_3 + 0.364v_4) + \alpha(3.698v_1 + 1.581v_2 + 1.393v_3 + 0.287v_4) \geq 1 \\
& (1-\alpha)(2.908v_1 + 1.441v_2 + 1.176v_3 + 0.221v_4) + \alpha(3.698v_1 + 1.581v_2 + 1.393v_3 + 0.287v_4) \leq 1 \\
& (1-\alpha)[(0u_1 + 0u_2 + 0u_3 + 0.257u_4) - (2.908v_1 + 1.441v_2 + 1.176v_3 + 0.221v_4)] \\
& + \alpha[(0.029u_1 + 0.042u_2 + 0.021u_3 + 0.345u_4) - (3.698v_1 + 1.581v_2 + 1.393v_3 + 0.287v_4)] \leq 0 \\
& (1-\alpha)[(0u_1 + 0u_2 + 0.106u_3 + 0.840u_4) - (1.723v_1 + 0.82v_2 + 0.796v_3 + 0.171v_4)] \\
& + \alpha[(0.067u_1 + 0.013u_2 + 0.168u_3 + 2.234u_4) - (3.593v_1 + 0.997v_2 + 0.917v_3 + 0.439v_4)] \leq 0 \\
& (1-\alpha)[(0.023u_1 + 0.064u_2 + 0.036u_3 + 0.078u_4) - (0.677v_1 + 1.378v_2 + 0.984v_3 + 0.121v_4)] \\
& + \alpha[(0.030u_1 + 0.091u_2 + 0.039u_3 + 0.146u_4) - (2.037v_1 + 1.4687v_2 + 1.031v_3 + 0.177v_4)] \leq 0 \\
& (1-\alpha)[(0.029u_1 + 0.064u_2 + 0.035u_3 + 0.076u_4) - (2.346v_1 + 1.251v_2 + 0.985v_3 + 0.114v_4)] \\
& + \alpha[(0.069u_1 + 0.091u_2 + 0.055u_3 + 0.210u_4) - (2.919v_1 + 1.373v_2 + 1.088v_3 + 0.159v_4)] \leq 0 \\
& (1-\alpha)[(0.099u_1 + 0.075u_2 + 0.654u_3 + 0.108u_4) - (1.348v_1 + 2.189v_2 + 1.499v_3 + 0.111v_4)] \\
& + \alpha[(0.134u_1 + 0.121u_2 + 0.946u_3 + 0.572u_4) - (1.486v_1 + 2.648v_2 + 1.735v_3 + 0.337v_4)] \leq 0 \\
& (1-\alpha)[(0.037u_1 + 0.088u_2 + 0.047u_3 + 0.074u_4) - (1.544v_1 + 1.365v_2 + 1.264v_3 + 0.355v_4)] \\
& + \alpha[(0.104u_1 + 0.231u_2 + 0.091u_3 + 0.144u_4) - (2.105v_1 + 1.517v_2 + 1.279v_3 + 0.379v_4)] \leq 0 \\
& (1-\alpha)[(0.103u_1 + 0.227u_2 + 0.101u_3 + 0.121u_4) - (0.406v_1 + 3.227v_2 + 2.232v_3 + 0.24v_4)] \\
& + \alpha[(3.2u_1 + 1.025u_2 + 1.708u_3 + 1.669u_4) - (0.43v_1 + 3.334v_2 + 2.462v_3 + 0.443v_4)] \leq 0 \\
& (1-\alpha)[(0.195u_1 + 0.389u_2 + 0.166u_3 + 0.233u_4) - (0.160v_1 + 4.907v_2 + 4.572v_3 + 0.095v_4)] \\
& + \alpha[(0.851u_1 + 0.916u_2 + 0.517u_3 + 1.937u_4) - (0.182v_1 + 5.871v_2 + 5.442v_3 + 2.34v_4)] \leq 0 \\
& (1-\alpha)[(0.032u_1 + 0.055u_2 + 0.061u_3 + 0.144u_4) - (0.922v_1 + 1.149v_2 + 0.894v_3 + 0.017v_4)] \\
& + \alpha[(0.051u_1 + 0.086u_2 + 0.063u_3 + 0.263u_4) - (1.243v_1 + 1.258v_2 + 0.918v_3 + 0.038v_4)] \leq 0 \\
& (1-\alpha)[(0.015u_1 + 0.032u_2 + 0.031u_3 + 0.082u_4) - (3.567v_1 + 1.179v_2 + 0.935v_3 + 0.098v_4)] \\
& + \alpha[(0.018u_1 + 0.041u_2 + 0.034u_3 + 0.131u_4) - (3.857v_1 + 1.215v_2 + 0.977v_3 + 0.119v_4)] \leq 0 \\
& (1-\alpha)[(0.107u_1 + 0.074u_2 + 0.09u_3 + 0.411u_4) - (0.656v_1 + 1.745v_2 + 1.212v_3 + 0.436v_4)] \\
& + \alpha[(0.164u_1 + 0.112u_2 + 0.125u_3 + 0.611u_4) - (0.768v_1 + 1.986v_2 + 1.337v_3 + 0.543v_4)] \leq 0 \\
& (1-\alpha)[(0u_1 + 0u_2 + 0u_3 + 1.331u_4) - (0.259v_1 + 1.554v_2 + 1.505v_3 + 0.174v_4)] \\
& + \alpha[(1.302u_1 + 0.765u_2 + 0.617u_3 + 1.679u_4) - (0.418v_1 + 3.787v_2 + 3.684v_3 + 1.067v_4)] \leq 0 \\
& (1-\alpha)[(1.424u_1 + 0.363u_2 + 1.279u_3 + 2.056u_4) - (0.063v_1 + 9.782v_2 + 9.772v_3 + 7.543v_4)] \\
& + \alpha[(4.779u_1 + 1.275u_2 + 2.535u_3 + 5.291u_4) - (0.079v_1 + 14.86v_2 + 14.665v_3 + 13.036v_4)] \leq 0 \\
& (1-\alpha)[(0.342u_1 + 0.251u_2 + 0.344u_3 + 1.152u_4) - (0.453v_1 + 1.878v_2 + 1.867v_3 + 0.467v_4)] \\
& + \alpha[(0.529u_1 + 0.332u_2 + 0.381u_3 + 1.582u_4) - (0.682v_1 + 2.022v_2 + 2v_3 + 0.581v_4)] \leq 0 \\
& (1-\alpha)[(0.031u_1 + 0.027u_2 + 0.017u_3 + 0.230u_4) - (0.591v_1 + 1.421v_2 + 1.293v_3 + 0.088v_4)] \\
& + \alpha[(0.058u_1 + 0.041u_2 + 0.048u_3 + 0.691u_4) - (1.091v_1 + 1.694v_2 + 1.532v_3 + 0.21v_4)] \leq 0 \\
& (1-\alpha)[(0.114u_1 + 0.221u_2 + 0.125u_3 + 0.751u_4) - (0.12v_1 + 8.399v_2 + 5.824v_3 + 1.791v_4)] \\
& + \alpha[(0.267u_1 + 0.477u_2 + 0.159u_3 + 0.81u_4) - (0.139v_1 + 9.455v_2 + 6.383v_3 + 3.175v_4)] \leq 0 \\
& v_1, v_2, v_3, v_4, u_1, u_2, u_3, u_4 \geq \varepsilon
\end{aligned}$$

Buna göre amaç fonksiyonu ve son kısıtı tüm firmalar için aynı kalmak üzere diğer kısıtlar değiştirilerek yukarıda gösterilen model beş farklı olabilirlik düzeyi için 16'şar kez kurularak çözümlenmiştir. Elde edilen etkinlik skorları Tablo 30'da sunulmaktadır.

**Tablo 30: Lertworasirikul-Fang-Joines-Nuttle Modeli Sonuçları**

KVB	$\alpha = 0$	$\alpha = 0.3$	$\alpha = 0.5$	$\alpha = 0.7$	$\alpha = 1$
ALCATEL	3.752	0.990	0.508	0.312	0.241
ANEL	5.082	2.741	2.060	1.527	1
ARENA	1.158	0.649	0.456	0.336	0.222
ARMADA	1.333	0.879	0.642	0.481	0.308
ASELSAN	2.941	2.148	1.635	1.233	0.786
DATAGATE	2.289	1.689	1.127	0.797	0.495
DESPEC	43.548	28.608	3.787	2.217	1
ERİCOM	10.445	2.891	2.510	1.753	1
ESCORT	3.007	2.134	1.714	1.383	1
İNDEKS	0.640	0.453	0.351	0.291	0.230
KAREL	1.059	0.854	0.721	0.624	0.509
KRON	13.474	5.222	2.064	1.413	0.924
LİNK	6.527	3.267	2.269	1.626	1
LOGO	2.064	1.561	1.342	1.158	1
NETAŞ	2.430	2.051	1.638	1.176	0.725
PLASTİKKART	1.866	0.835	0.957	0.781	0.596

Buna göre  $\alpha=0$  olabilirlik düzeyinde İNDEKS firması dışındaki tüm firmaların etkinlik skorları 1'den büyük olduğundan bu firmalar  $\alpha=0$  düzeyinde etkin olarak değerlendirilir. İNDEKS firması ise etkinlik skoru 1'den küçük olduğu için (0.64) aynı düzeyde etkinsiz olarak değerlendirilir. Etkin karar birimleri arasında sırasıyla DESPEC (43.548), KRON (13.474) ve ERİCOM (10.445) firmaları en yüksek etkinlik skorlarına sahip olduklarından  $\alpha=0$  olabilirlik düzeyinde en başarılı ilk üç firma olarak görülmektedirler. İNDEKS (0.64), KAREL (1.059) ve ARENA (1.158) firmaları ise en düşük etkinlik skorlarını elde ettikleri için  $\alpha=0$  olabilirlik düzeyinde sırasıyla en başarısız üç firma olarak ortaya çıkmışlardır. Diğer olabilirlik düzeyleri de incelendiğinde DESPEC, ERİCOM, LİNK, ANEL, ESCORT ve LOGO firmalarının tüm olabilirlik düzeylerinde

etkin çıkarak en iyi performans gösteren firmalar olduğu tespit edilmiştir. Bu firmaları  $\alpha=1$  dışındaki olabilirlik düzeylerinde etkin çıkan KRON, NETAŞ ve ASELSAN firmaları izlemektedir. İNDEKS firması ise tüm olabilirlik düzeylerindeki etkinlik skorları 1'den küçük çıktığı için en kötü performans gösteren firma olmuştur. KAREL, ARENA, ARMADA, PLASTİKKART ve ALCATEL firmaları  $\alpha=0$  dışındaki dört olabilirlik düzeyinde de etkinsiz çıktıkları için İNDEKS firması dışındaki diğer başarısız firmalar olarak değerlendirilmektedirler.

Tablo 30'da görüleceği üzere farklı  $\alpha$ -kesim seviyelerinde farklı etkinlik sıralamaları elde edilmektedir. Tablo 30 verileri kullanılarak bütünleşik tek bir sıralama elde etmek amacıyla Chen ve Klein'in geliştirdiği bulanık sıralama yaklaşımından yararlanılmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 31'de sergilenmektedir.

**Tablo 31: Lertworasirikul-Fang-Joines-Nuttle Modeli için Bütünleşik Etkinlik Sıralaması**

KVB	I	Etkinlik Sıralaması
ALCATEL	0.0217	11
ANEL	0.0522	5
ARENA	0.0079	15
ARMADA	0.0117	14
ASELSAN	0.0352	7
DATAGATE	0.0244	10
DESPEC	0.3603	1
ERİCOM	0.0807	3
ESCORT	0.0375	6
İNDEKS	0.0039	16
KAREL	0.0123	13
KRON	0.1015	2
LİNK	0.0627	4
LOGO	0.0278	9
NETAŞ	0.0319	8
PLASTİKKART	0.0181	12

Buna göre, Chen ve Klein modeline göre en yüksek sıralama endeksine sahip DESPEC (0.3603), KRON (0.1015) ve ERİCOM (0.0807) firmaları en etkin çıkan üç firma olurken, İNDEKS (0.0039), ARENA (0.0079) ve ARMADA (0.0117) firmaları en etkinsiz faaliyet gösteren firmalar olmuştur.

#### **4.6.4. Wang-Greatbanks-Yang Modeli Uygulaması**

Wang-Greatbanks-Yang modeli bir aralık VZA modeli olduğundan ilk olarak bulanık verilerin aralık sayılara dönüştürülmesi gerekir. Bu amaçla eşitlik (3.26) ile gösterilen Zimmermann (1991)'in  $\alpha$ -kesim kümeleri yaklaşımından yararlanılarak üçgensel bulanık sayılar aralık sayılara dönüştürülmüştür. Daha sonra ise eşitlik (3.52a) ile gösterilen alt sınır aralık VZA modeli kullanılarak karar birimlerinin etkinlik skorlarının alt sınırları, eşitlik (3.52b) kullanılarak da karar birimlerin etkinlik skorlarının üst sınırları hesaplanmıştır.

Buna göre ALCATEL firmasının farklı  $\alpha$ -kesim düzeylerinde etkinlik skorlarının alt sınırını elde etmek için gerekli model aşağıdaki gibi kurulmaktadır.

$$\begin{aligned}
(E_1)_\alpha^L = & \max[u_1(0.029\alpha) + u_2(0.042\alpha) + u_3(0.021\alpha) + u_4(0.257 + 0.089\alpha)] \\
& [v_1(4.537 - 0.839\alpha) + v_2(1.739 - 0.158\alpha) + v_3(1.568 - 0.175\alpha) + v_4(0.364 - 0.077\alpha)] = 1 \\
& [u_1(0.64 - 0.611\alpha) + u_2(0.099 - 0.057\alpha) + u_3(0.064 - 0.043\alpha) + u_4(0.396 - 0.051\alpha)] - \\
& [v_1(2.908 + 0.79\alpha) + v_2(1.441 + 0.14\alpha) + v_3(1.176 + 0.217\alpha) + v_4(0.221 + 0.066\alpha)] \leq 0 \\
& [u_1(0.152 - 0.085\alpha) + u_2(0.029 - 0.015\alpha) + u_3(0.273 - 0.105\alpha) + u_4(3.855 - 1.622\alpha)] - \\
& [v_1(1.723 + 1.870\alpha) + v_2(0.820 + 0.177\alpha) + v_3(0.796 + 0.121\alpha) + v_4(0.171 + 0.268\alpha)] \leq 0 \\
& [u_1(0.034 - 0.004\alpha) + u_2(0.122 - 0.031\alpha) + u_3(0.085 - 0.030\alpha) + u_4(0.275 - 0.135\alpha)] - \\
& [v_1(0.677 + 1.360\alpha) + v_2(1.378 + 0.090\alpha) + v_3(0.984 + 0.047\alpha) + v_4(0.121 + 0.056\alpha)] \leq 0 \\
& [u_1(0.118 - 0.049\alpha) + u_2(0.122 - 0.031\alpha) + u_3(0.085 - 0.030\alpha) + u_4(0.467 - 0.257\alpha)] - \\
& [v_1(2.346 + 0.573\alpha) + v_2(1.251 + 0.122\alpha) + v_3(0.985 + 0.104\alpha) + v_4(0.114 + 0.045\alpha)] \leq 0 \\
& [u_1(0.183 - 0.049\alpha) + u_2(0.197 - 0.077\alpha) + u_3(1.311 - 0.365\alpha) + u_4(1.017 - 0.444\alpha)] - \\
& [v_1(1.348 + 0.138\alpha) + v_2(2.189 + 0.459\alpha) + v_3(1.499 + 0.236\alpha) + v_4(0.111 + 0.226\alpha)] \leq 0 \\
& [u_1(0.195 - 0.091\alpha) + u_2(0.389 - 0.157\alpha) + u_3(0.166 - 0.075\alpha) + u_4(0.233 - 0.089\alpha)] - \\
& [v_1(1.544 + 0.561\alpha) + v_2(1.365 + 0.152\alpha) + v_3(1.264 + 0.014\alpha) + v_4(0.355 + 0.024\alpha)] \leq 0 \\
& [u_1(9.312 - 6.111\alpha) + u_2(2.369 - 1.344\alpha) + u_3(4.908 - 3.200\alpha) + u_4(4.513 - 2.844\alpha)] - \\
& [v_1(0.406 + 0.024\alpha) + v_2(3.227 + 0.107\alpha) + v_3(2.232 + 0.230\alpha) + v_4(0.240 + 0.203\alpha)] \leq 0 \\
& [u_1(1.494 - 0.644\alpha) + u_2(1.827 - 0.910\alpha) + u_3(0.824 - 0.308\alpha) + u_4(3.813 - 1.875\alpha)] - \\
& [v_1(0.160 + 0.022\alpha) + v_2(4.907 + 0.965\alpha) + v_3(4.572 + 0.870\alpha) + v_4(0.095 + 0.245\alpha)] \leq 0 \\
& [u_1(0.066 - 0.015\alpha) + u_2(0.117 - 0.030\alpha) + u_3(0.065 - 0.002\alpha) + u_4(0.433 - 0.170\alpha)] - \\
& [v_1(0.922 + 0.321\alpha) + v_2(1.149 + 0.110\alpha) + v_3(0.894 + 0.023\alpha) + v_4(0.017 + 0.021\alpha)] \leq 0 \\
& [u_1(0.025 - 0.006\alpha) + u_2(0.059 - 0.018\alpha) + u_3(0.042 - 0.007\alpha) + u_4(0.170 - 0.039\alpha)] - \\
& [v_1(3.567 + 0.290\alpha) + v_2(1.179 + 0.036\alpha) + v_3(0.935 + 0.042\alpha) + v_4(0.098 + 0.022\alpha)] \leq 0 \\
& [u_1(0.205 - 0.041\alpha) + u_2(0.161 - 0.049\alpha) + u_3(0.161 - 0.036\alpha) + u_4(0.829 - 0.218\alpha)] - \\
& [v_1(0.656 + 0.112\alpha) + v_2(1.745 + 0.241\alpha) + v_3(1.212 + 0.125\alpha) + v_4(0.436 + 0.107\alpha)] \leq 0 \\
& [u_1(2.036 - 0.734\alpha) + u_2(1.169 - 0.404\alpha) + u_3(1.115 - 0.499\alpha) + u_4(2.350 - 0.671\alpha)] - \\
& [v_1(0.259 + 0.160\alpha) + v_2(1.554 + 0.2233\alpha) + v_3(1.505 + 2.179\alpha) + v_4(0.174 + 0.893\alpha)] \leq 0 \\
& [u_1(9.294 - 4.515\alpha) + u_2(1.981 - 0.707\alpha) + u_3(4.595 - 2.060\alpha) + u_4(7.844 - 2.553\alpha)] - \\
& [v_1(0.063 + 0.016\alpha) + v_2(9.782 + 5.079\alpha) + v_3(9.772 + 4.892\alpha) + v_4(7.543 + 5.493\alpha)] \leq 0 \\
& [u_1(0.706 - 0.177\alpha) + u_2(0.440 - 0.108\alpha) + u_3(0.422 - 0.041\alpha) + u_4(1.998 - 0.417\alpha)] - \\
& [v_1(0.453 + 0.228\alpha) + v_2(1.878 + 0.145\alpha) + v_3(1.867 + 0.133\alpha) + v_4(0.467 + 0.114\alpha)] \leq 0 \\
& [u_1(0.109 - 0.051\alpha) + u_2(0.067 - 0.026\alpha) + u_3(0.086 - 0.038\alpha) + u_4(1.291 - 0.006\alpha)] - \\
& [v_1(0.591 + 0.500\alpha) + v_2(1.421 + 0.273\alpha) + v_3(1.293 + 0.238\alpha) + v_4(0.088 + 0.122\alpha)] \leq 0 \\
& [u_1(0.359 - 0.092\alpha) + u_2(0.634 - 0.157\alpha) + u_3(0.193 - 0.034\alpha) + u_4(0.856 - 0.046\alpha)] - \\
& [v_1(0.120 + 0.019\alpha) + v_2(8.399 + 1.056\alpha) + v_3(5.824 + 0.559\alpha) + v_4(1.791 + 1.384\alpha)] \leq 0 \\
& v_1, v_2, v_3, v_4, u_1, u_2, u_3, u_4 \geq \varepsilon
\end{aligned}$$

Farklı karar birimleri için kurulan Wang-Greatbanks-Yang modelinde amaç fonksiyonu ve birinci kısıt değiştirilmekte, ancak ikinci kısıt tüm karar birimleri için aynı kalmaktadır. Buna göre yukarıdaki model her bir  $\alpha$ -kesim düzeyi için 16'şar kez kurularak

çözümlemiştir. ALCATEL firmasının farklı  $\alpha$ -kesim düzeylerinde etkinlik skorlarının üst sınırını hesaplamak için gerekli model ise aşağıdaki gibi kurulmaktadır.

$$\begin{aligned}
(E_1)_\alpha^U &= \max[u_1(0.64 - 0.611\alpha) + u_2(0.099 - 0.057\alpha) + u_3(0.064 - 0.043\alpha) + u_4(0.396 + 0.051\alpha)] \\
&[v_1(2.908 + 0.79\alpha) + v_2(1.441 + 0.14\alpha) + v_3(1.176 + 0.217\alpha) + v_4(0.221 + 0.066\alpha)] = 1 \\
&[u_1(0.64 - 0.611\alpha) + u_2(0.099 - 0.057\alpha) + u_3(0.064 - 0.043\alpha) + u_4(0.396 - 0.051\alpha)] - \\
&[v_1(2.908 + 0.79\alpha) + v_2(1.441 + 0.14\alpha) + v_3(1.176 + 0.217\alpha) + v_4(0.221 + 0.066\alpha)] \leq 0 \\
&[u_1(0.152 - 0.085\alpha) + u_2(0.029 - 0.015\alpha) + u_3(0.273 - 0.105\alpha) + u_4(3.855 - 1.622\alpha)] - \\
&[v_1(1.723 + 1.870\alpha) + v_2(0.820 + 0.177\alpha) + v_3(0.796 + 0.121\alpha) + v_4(0.171 + 0.268\alpha)] \leq 0 \\
&[u_1(0.034 - 0.004\alpha) + u_2(0.122 - 0.031\alpha) + u_3(0.085 - 0.030\alpha) + u_4(0.275 - 0.135\alpha)] - \\
&[v_1(0.677 + 1.360\alpha) + v_2(1.378 + 0.090\alpha) + v_3(0.984 + 0.047\alpha) + v_4(0.121 + 0.056\alpha)] \leq 0 \\
&[u_1(0.118 - 0.049\alpha) + u_2(0.122 - 0.031\alpha) + u_3(0.085 - 0.030\alpha) + u_4(0.467 - 0.257\alpha)] - \\
&[v_1(2.346 + 0.573\alpha) + v_2(1.251 + 0.122\alpha) + v_3(0.985 + 0.104\alpha) + v_4(0.114 + 0.045\alpha)] \leq 0 \\
&[u_1(0.183 - 0.049\alpha) + u_2(0.197 - 0.077\alpha) + u_3(1.311 - 0.365\alpha) + u_4(1.017 - 0.444\alpha)] - \\
&[v_1(1.348 + 0.138\alpha) + v_2(2.189 + 0.459\alpha) + v_3(1.499 + 0.236\alpha) + v_4(0.111 + 0.226\alpha)] \leq 0 \\
&[u_1(0.195 - 0.091\alpha) + u_2(0.389 - 0.157\alpha) + u_3(0.166 - 0.075\alpha) + u_4(0.233 - 0.089\alpha)] - \\
&[v_1(1.544 + 0.561\alpha) + v_2(1.365 + 0.152\alpha) + v_3(1.264 + 0.014\alpha) + v_4(0.355 + 0.024\alpha)] \leq 0 \\
&[u_1(9.312 - 6.111\alpha) + u_2(2.369 - 1.344\alpha) + u_3(4.908 - 3.200\alpha) + u_4(4.513 - 2.844\alpha)] - \\
&[v_1(0.406 + 0.024\alpha) + v_2(3.227 + 0.107\alpha) + v_3(2.232 + 0.230\alpha) + v_4(0.240 + 0.203\alpha)] \leq 0 \\
&[u_1(1.494 - 0.644\alpha) + u_2(1.827 - 0.910\alpha) + u_3(0.824 - 0.308\alpha) + u_4(3.813 - 1.875\alpha)] - \\
&[v_1(0.160 + 0.022\alpha) + v_2(4.907 + 0.965\alpha) + v_3(4.572 + 0.870\alpha) + v_4(0.095 + 0.245\alpha)] \leq 0 \\
&[u_1(0.066 - 0.015\alpha) + u_2(0.117 - 0.030\alpha) + u_3(0.065 - 0.002\alpha) + u_4(0.433 - 0.170\alpha)] - \\
&[v_1(0.922 + 0.321\alpha) + v_2(1.149 + 0.110\alpha) + v_3(0.894 + 0.023\alpha) + v_4(0.017 + 0.021\alpha)] \leq 0 \\
&[u_1(0.025 - 0.006\alpha) + u_2(0.059 - 0.018\alpha) + u_3(0.042 - 0.007\alpha) + u_4(0.170 - 0.039\alpha)] - \\
&[v_1(3.567 + 0.290\alpha) + v_2(1.179 + 0.036\alpha) + v_3(0.935 + 0.042\alpha) + v_4(0.098 + 0.022\alpha)] \leq 0 \\
&[u_1(0.205 - 0.041\alpha) + u_2(0.161 - 0.049\alpha) + u_3(0.161 - 0.036\alpha) + u_4(0.829 - 0.218\alpha)] - \\
&[v_1(0.656 + 0.112\alpha) + v_2(1.745 + 0.241\alpha) + v_3(1.212 + 0.125\alpha) + v_4(0.436 + 0.107\alpha)] \leq 0 \\
&[u_1(2.036 - 0.734\alpha) + u_2(1.169 - 0.404\alpha) + u_3(1.115 - 0.499\alpha) + u_4(2.350 - 0.671\alpha)] - \\
&[v_1(0.259 + 0.160\alpha) + v_2(1.554 + 0.2233\alpha) + v_3(1.505 + 2.179\alpha) + v_4(0.174 + 0.893\alpha)] \leq 0 \\
&[u_1(9.294 - 4.515\alpha) + u_2(1.981 - 0.707\alpha) + u_3(4.595 - 2.060\alpha) + u_4(7.844 - 2.553\alpha)] - \\
&[v_1(0.063 + 0.016\alpha) + v_2(9.782 + 5.079\alpha) + v_3(9.772 + 4.892\alpha) + v_4(7.543 + 5.493\alpha)] \leq 0 \\
&[u_1(0.706 - 0.177\alpha) + u_2(0.440 - 0.108\alpha) + u_3(0.422 - 0.041\alpha) + u_4(1.998 - 0.417\alpha)] - \\
&[v_1(0.453 + 0.228\alpha) + v_2(1.878 + 0.145\alpha) + v_3(1.867 + 0.133\alpha) + v_4(0.467 + 0.114\alpha)] \leq 0 \\
&[u_1(0.109 - 0.051\alpha) + u_2(0.067 - 0.026\alpha) + u_3(0.086 - 0.038\alpha) + u_4(1.291 - 0.006\alpha)] - \\
&[v_1(0.591 + 0.500\alpha) + v_2(1.421 + 0.273\alpha) + v_3(1.293 + 0.238\alpha) + v_4(0.088 + 0.122\alpha)] \leq 0 \\
&[u_1(0.359 - 0.092\alpha) + u_2(0.634 - 0.157\alpha) + u_3(0.193 - 0.034\alpha) + u_4(0.856 - 0.046\alpha)] - \\
&[v_1(0.120 + 0.019\alpha) + v_2(8.399 + 1.056\alpha) + v_3(5.824 + 0.559\alpha) + v_4(1.791 + 1.384\alpha)] \leq 0 \\
&v_1, v_2, v_3, v_4, u_1, u_2, u_3, u_4 \geq \varepsilon
\end{aligned}$$

Üst sınır modelinin her bir  $\alpha$ -kesim düzeyi için 16'şar kez kurularak çözümlenmesiyle elde edilen etkinlik skorları Tablo 32'de sergilenmektedir.

**Tablo 32: Wang-Greatbanks-Yang Modeli ile Elde Edilen Bulanık Etkinlik Skorları**

KVB	$\alpha = 0$	$\alpha = 0.3$	$\alpha = 0.5$	$\alpha = 0.7$	$\alpha = 1$
ALCATEL	(0.034, 0.166)	(0.051, 0.161)	(0.093, 0.154)	(0.136, 0.183)	0.241
ANEL	(0.163, 1)	(0.301, 1)	(0.432, 1)	(0.607, 1)	1
ARENA	(0.057, 0.127)	(0.080, 0.139)	(0.102, 0.154)	(0.134, 0.173)	0.222
ARMADA	(0.059, 0.191)	(0.083, 0.237)	(0.106, 0.257)	(0.149, 0.275)	0.308
ASELSAN	(0.152, 0.578)	(0.229, 0.515)	(0.307, 0.520)	(0.427, 0.569)	0.786
DATAGATE	(0.072, 0.380)	(0.135, 0.401)	(0.195, 0.416)	(0.279, 0.438)	0.495
DESPEC	(0.088, 1)	(0.225, 1)	(0.355, 1)	(0.538, 1)	1
ERİCOM	(0.165, 1)	(0.295, 1)	(0.421, 1)	(0.592, 1)	1
ESCORT	(0.104, 0.635)	(0.252, 1)	(0.390, 1)	(0.584, 1)	1
İNDEKS	(0.038, 0.084)	(0.058, 0.118)	(0.087, 0.142)	(0.127, 0.171)	0.230
KAREL	(0.110, 0.270)	(0.169, 0.314)	(0.226, 0.351)	(0.309, 0.402)	0.509
KRON	(0.170, 1)	(0.259, 0.851)	(0.351, 0.802)	(0.494, 0.815)	0.924
LİNK	(0.169, 1)	(0.300, 1)	(0.432, 1)	(0.614, 1)	1
LOGO	(0.260, 0.651)	(0.410, 0.760)	(0.549, 0.848)	(0.749, 0.971)	1
NETAŞ	(0.044, 0.576)	(0.105, 0.694)	(0.170, 0.692)	(0.298, 0.700)	0.725
PLASTİKKART	(0.118, 0.382)	(0.167, 0.426)	(0.236, 0.461)	(0.334, 0.503)	0.596

Yukarıda da bahsedildiği üzere aralık etkinliği karar birimlerinin etkinlik skorlarının aralığını göstermektedir.  $E_k^U$ , karar birimi  $k$ 'nın elde edebileceği yüksek etkinlik skorunu gösterirken,  $E_k^L$  ise etkinlik düzeyinin alt sınırını göstermektedir. Buna göre alt sınır etkinlik skorları incelediğinde  $\alpha = (0, 0.3, 0.5, 0.7)$  düzeylerinde tüm firmaların etkinlik skorları “1” değerinden küçük çıkmıştır.  $\alpha=0$  düzeyinde sırasıyla LOGO (0.26), KRON (0.17) ve LİNK (0.169) firmaları en yüksek alt sınır değerlerine sahiptir. ALCATEL (0.034), İNDEKS (0.038) ve NETAŞ (0.044) firmaları ise en küçük alt sınır etkinlik skorlarını elde etmiştir. Firmaların üst sınır etkinlik skorları incelendiğinde ANEL, DESPEC, ERİCOM ve LİNK firmalarının tüm  $\alpha$ -kesim düzeylerindeki, ESCORT firmasının  $\alpha=0$  dışındaki düzeylerdeki, KRON firmasının ise sadece  $\alpha=0$  düzeyindeki etkinlik skorlarının üst sınırı “1” çıktığından bu firmaların Wang-Greatbanks-Yang



modeline göre bu düzeylerde etkin olduğu kabul edilmektedir. Bununla beraber, sözkonusu firmaların alt sınır etkinlik skorları farklılık gösterdiğinden performansları gerçekte birbirinden farklıdır. Bunların dışındaki firmaların tüm  $\alpha$ -kesim düzeylerinde etkinsiz faaliyet gösterdiği tespit edilmiştir. Tüm mümkün etkinlik skorlarının elde edildiği  $\alpha=0$  düzeyine göre ALCATEL firmasının etkinlik skorları (0.034-0.166) arasında değişmektedir. Kesin değerli etkinlik skorlarını veren  $\alpha=1$  düzeyine göre ise ALCATEL firmasının etkinlik skoru (0.241) çıkmıştır.

Wang-Greatbanks-Yang modeliyle elde edilen etkinlik skorları Tablo 32’de görüldüğü üzere bulanık sayılardır. Bulanık etkinlik skorlarını durulaştırmak ve karar birimleri için bütünleşik tek bir sıralama elde etmek amacıyla Chen ve Klein bulanık sıralama modeli kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 33’te gösterildiği gibidir.

**Tablo 33: Wang-Greatbanks-Yang Modeli için Bütünleşik Etkinlik Sıralaması**

KVB	I	Etkinlik Sıralaması
ALCATEL	0.142	14
ANEL	0.659	3
ARENA	0.128	15
ARMADA	0.204	13
ASELSAN	0.474	8
DATAGATE	0.339	11
DESPEC	0.634	5
ERİCOM	0.657	4
ESCORT	0.626	6
İNDEKS	0.114	16
KAREL	0.313	12
KRON	0.601	7
LİNK	0.660	2
LOGO	0.666	1
NETAŞ	0.468	9
PLASTİKKART	0.382	10

Buna göre, Chen ve Klein modeli sonucu en yüksek sıralama endeksine sahip LOGO (0.666), LİNK (0.660) ve ANEL (0.659) firmaları en etkin çıkan ilk üç firma olurken, ALCATEL (0.142) ve ARENA (0.128) ve İNDEKS (0.114) en etkisiz faaliyet gösteren firmalar olmuştur.

#### 4.7. Spearman Sıra Korelasyonu Uygulaması

BVZA uygulaması sonucunda 16 firma için dört adet sıralama listesi elde edilmiştir. Söz konusu dört BVZA yönteminden elde edilen etkinlik sıralamaları arasında güçlü ve anlamlı bir ilişkinin olup olmadığını belirlemek amacıyla parametrik olmayan hipotez testlerinden biri olan Spearman sıra korelasyonu (Spearman rank order correlation) uygulaması yapılmıştır. Spearman sıra korelasyonu, sürekli değişkenlerin dağılımının normal olmadığı durumda, her iki değişkenin ordinal ölçekli olması durumunda veya örneklem hacminin yetersiz olduğu durumda Pearson korelasyon katsayısının yerine kullanılan parametrik olmayan bir istatistiksel yöntemdir. Sıralı veriler için hesaplanan Spearman sıra korelasyonu katsayısı (rho) Pearson korelasyon katsayısı gibi -1 ile +1 arasında değerler almaktadır (Kalaycı ve diğerleri, 2008: 117).

BVZA yöntemlerinden elde edilen sıralamalar arasındaki ilişkinin derecesini gösteren (rho) katsayıları Tablo 34’te sergilenmektedir.

**Tablo 34: Etkinlik Sıralamaları için Spearman Sıra Korelasyonu Katsayıları**

Korelasyon	Kao-Liu	Saati vd.	Lertworasirikul vd.	Wang vd.
Kao-Liu	1	.971*	.850*	.974*
Saati vd.		1	.867*	.974*
Lertworasirikul vd.			1	.806*
Wang vd.				1

\* işaretli, yüzde 1 düzeyinde anlamlığı ifade etmektedir.

Tablo 34’te yer alan sonuçlar dört BVZA modelinden elde edilen firma sıralamaları arasında güçlü ve istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki olduğunu ortaya koymaktadır. Buna göre en yüksek korelasyon Kao-Liu modeli ile Wang-Greatbanks-Yang modeli arasında

(0.974) ve Saati-Memariani-Jahanshahloo modeli ile Wang-Greatbanks-Yang modeli arasında (0.974) tespit edilmiştir.

#### 4.8. Borda Kuralı Uygulaması

Uygulamanın son aşamasında Borda Kuralı yardımıyla Kao-Liu modeli, Saati-Memariani-Jahanshahloo modeli, Lertworasirikul-Fang-Joines-Nuttle modeli ve Wang-Greatbanks-Yang modeli ile elde edilen dört sıralama listesinden bütünleşik tek bir performans sıralaması oluşturulmuştur. Buna göre sıralamada en son sırada yer alan firmaya sıfır, ilk sıradakine 15 (16-1) puan verilerek her bir firma için dört sıralama listesi elde edilmiştir. Daha sonra eşitlik (3.52)'ye göre firmaların dört modele göre elde ettiği puanlar toplanarak büyükten küçüğe doğru sıralama yapılmıştır. Elde edilen skorlar ve firmaların sıralaması Tablo 35'te sergilenmektedir.

**Tablo 35: Borda Kuralı Uygulaması Sonucu Elde Edilen Firma Sıralamaları**

KVB	Kao-Liu	Saati vd.	Lertworasirikul vd.	Wang vd.	Borda Skoru	Sıralama
ALCATEL	15	14	11	14	10	14
ANEL	2	1	5	3	53	3
ARENA	14	15	15	15	5	15
ARMADA	13	13	14	13	11	13
ASELSAN	8	8	7	8	33	8
DATAGATE	11	11	10	11	21	11
DESPEC	3	1	1	5	54	2
ERİCOM	5	1	3	4	51	4
ESCORT	6	1	6	6	45	6
İNDEKS	16	16	16	16	0	16
KAREL	12	12	13	12	15	12
KRON	7	7	2	7	41	7
LİNK	1	1	4	2	56	1
LOGO	4	1	9	1	49	5
NETAŞ	9	9	8	9	29	9
PLASTİK	10	10	12	10	22	10

Buna göre, Kao-Liu modeli ile Saati-Memariani-Jahanshahloo modeline göre ilk sırada, Lertworasirikul-Fang-Joines-Nuttle modeline göre dördüncü sırada ve Wang-Greatbanks-Yang modeline göre ikinci sırada yer alan LİNK firması toplamda 56 Borda puanı ile en iyi performans gösteren firma olarak değerlendirilmektedir. İkinci sırada 54 Borda puanı ile DESPEC üçüncü sırada ise 53 Borda puanı bulunan ANEL firması yer almıştır. İNDEKS firması dört BVZA yöntemine göre de son sırada yer aldığından toplamda “0” Borda skoru ile en kötü performans gösteren firma olarak ortaya çıkmıştır. LİNK firmasını ARENA (5 puan) ve ALCATEL (10 puan) firmaları takip etmektedir.

Borda kuralıyla elde edilen firma sıralamaları, firmaların finansal oranlarıyla paralellik arz etmektedir. Tablo 25’te de görüleceği üzere LİNK firması, uygulamada kullanılan dört çıktı değişkeninin üç yıllık ortalamaları bakımından 16 firma arasında en yüksek değerlere sahiptir. LİNK firmasının girdi değişkenleri incelendiğinde ise borç-özsermaye oranı açısından en düşük ortalama değere sahip firma olduğu görülmektedir. En iyi ikinci performansı gösteren DESPEC firması, fiyat-kazanç oranı dışındaki üç çıktı değişkeni için LİNK firmasından sonra en yüksek ortalama değerlere sahip firmadır. En etkin üçüncü firma olan ANEL firmasının ise çıktı değişkenleri içinde fiyat-kazanç oranı açısından en yüksek ortalama değere; girdi değişkenleri içinde de cari oran ve asit-test oranı bakımından en düşük ortalama değerlere sahip olduğu görülmektedir.

Etkinsiz firmaların finansal oranları incelendiğinde, en kötü performans gösteren İNDEKS firmasının çıktı değişkenleri açısından esas faaliyet kar marjı ve fiyat-kazanç oranları içinde en düşük ortalama değere, net kar marjları içinde en düşük ikinci ortalama değere ve aktif kar marjları içinde en düşük üçüncü ortalama değere sahip firma olduğu görülmektedir. İNDEKS firması aynı zamanda, girdi değişkenleri bakımından en yüksek ortalama borç-özsermaye oranına sahip firmadır. En etkinsiz ikinci firma olan ARENA firması aktif kar marjı dışındaki üç çıktı değişkenine göre 2011-2013 döneminde en düşük üçüncü ortalama değerlere sahip firmadır. En etkinsiz üçüncü firma olan ALCATEL firmasının çıktı değişkenlerine bakıldığında net kar marjı açısından 16 firma içinde en düşük ortalama değere, esas faaliyet kar marjları içinde en düşük ikinci ortalama değere, aktif kar marjına göre en düşük dördüncü ortalama değere sahip olduğu görülmektedir. ALCATEL firması, aynı zamanda borç-özsermaye oranı girdisi bakımından en yüksek ikinci ortalama değere sahip firmadır.

Klasik VZA ve BVZA modelleriyle gerçekleştirilen etkinlik ölçümleri sonucunda bazı karar birimlerinin etkinsiz çıkması, o karar birimlerinde girdi faktörlerinin kullanımında israf yapıldığını, bu nedenle potansiyel çıktı miktarına ulaşılamadığını göstermektedir. Buna göre, etkinsiz faaliyet gösteren teknoloji firmaları etkin çıkan diğer teknoloji firmalarını referans alıp, girdi miktarlarını minimum düzeye indirerek çıktı miktarlarını en yüksek düzeye çıkardıklarında etkin duruma gelebileceklerdir.

## SONUÇ ve ÖNERİLER

Yakın gelecekte ülke ekonomilerinin büyüme hızını inovasyon (yenilik) düzeyinin belirleyeceği savunulmaktadır. Yenilik yaratmada en önemli faktörlerden biri de Ar&Ge çalışmalarına dayalı teknolojik gelişmelerdir. Teknoloji sektörüne yapılan yatırımlar ekonominin geneline yayılan verimlilik artışları sağlamaktadır. Bu verimlilik artışlarının düzeyi BİT sektörünün ürettiği ürünlerden daha çok bu ürünlerin diğer endüstrilerdeki kullanım düzeyine bağlı olmaktadır. BİT'in verimlilik artışları yanında firmaların büyümesi, rekabet avantajı sağlama, etkinlik ve etkililiği artırma gibi pozitif çıktıları bulunmaktadır. Bunun yanında BİT kişisel ve sosyal gelişime de önemli katkılar sağlamaktadır. BİT'in stratejik öneminin farkında olan gelişmiş ülkeler özel ve kamu sektöründe Ar&Ge amaçlı bütçelerinin yaklaşık %30'unu BİT sektörüne tahsis etmektedirler (Tarute ve Gatautis, 2014: 1219).

Günümüzde BİT sektöründe yer alan firmalar diğer sektörlerdeki firmalar gibi yoğun rekabet şartlarında faaliyet gösterdiklerinden kaynaklarını etkin kullanmak ve çıktılarının etkililiğini artırmak durumundadırlar. Bu amaçlara ulaşmanın yollarından biri de endüstrideki en iyi uygulamaları araştırarak firma performansını artırmayı hedefleyen kıyaslama (benchmarking) tekniğidir. Karmaşıklığı ve sürekli gelişime açık olması nedeniyle kıyaslama sürecinde bilgi-tabanlı sistemler ve VZA gibi karar destek sistemleri kullanılmaktadır. Bir kıyaslama tekniği olan VZA, aynı endüstride faaliyet gösteren homojen işletmelerin görece etkinliğini ölçmek amacıyla geliştirilmiştir. Uygulamada kullanılan verilerin kesin sayılarla ifade edilmesi zorunluluğu klasik VZA modellerinin belirsiz, değişken ve eksik verilere sahip üretim süreçlerinde kullanılmasını engellemektedir. Ayrıca VZA modelleri ölçüm hatalarına karşı aşırı duyarlıdır. Bir karar biriminin her hangi bir girdi veya çıktı verilerinin yanlış olduğu bir durumda sadece o KVB'nin değil tüm KVB'lerin etkinlik skorları etkilenmektedir. Bunun yanında işletmelerin kullandığı bazı girdi-çıkıtı değişkenleri kalitatif ve dilsel değişkenlerle ifade edilebilir. Klasik VZA modellerinin bahsedilen belirsiz ve kesin olmayan verilere sahip üretim süreçlerinin etkinliğini ölçmede yetersiz kalmasından hareketle bazı araştırmacılar

tarafından BVZA modelleri geliştirilmiştir. Sengupta (1992, 1993)'nın orijinal çalışmasından itibaren BVZA literatüründe sürekli artan bir gelişim görülmektedir.

Bu çalışmada Türkiye'de teknoloji/bilişim sektöründe faaliyet gösteren ve BİST'e kote olmuş 16 BİT firmasının 2010-2013 yılı verilerine göre bulanık etkinliğini ölçmek amaçlanmıştır. Bu kapsamda çalışma dört bölüme ayrılmıştır. İlk bölümde etkinlik ve etkinlik ölçüm yöntemleriyle ilgili bilgi verilerek klasik VZA yöntemleri tanıtılmıştır. İkinci bölümde bulanık mantık ve bulanık küme teorisinden bahsedilmiştir. Çalışmanın üçüncü bölümünde uygulamada kullanılan matematiksel modeller hakkında ayrıntılı bilgi verilmiştir. Çalışmanın dördüncü bölümü ise uygulamaya ayrılmıştır. Uygulamada literatürde en sık kullanılan BVZA modellerinden olan Kao-Liu modeli, Lertworasirikul-Fang-Joiner-Nuttle modeli, Saati-Memariani-Jahansahloo modeli ve Wang-Greatbanks-Yang modeli kullanılmıştır. VZA uygulamalarının önemli bir kısıtı olan karar birimi sayısı ile girdi-çıkıtı değişkeni sayısı ilişkisi dikkate alınarak dört adet girdi ve dört adet çıkıtı değişkeni kullanılmasına karar verilmiştir. Girdi-çıkıtı seçiminde subjektiflikten kaçınmak amacıyla Bulanık Shannon Entropi yöntemi kullanılmıştır. Çalışmada ayrıca dört BVZA modelinden elde edilen etkinlik sıralamaları arasında istatistiksel açıdan anlamlı bir ilişki olup olmadığını test etmek amacıyla Spearman sıra korelasyonu katsayıları hesaplanmıştır. Uygulamanın son aşamasında ise söz konusu dört etkinlik sıralama listesinden bütünleşik tek bir sıralama elde etmek amacıyla Borda Kuralı tekniği kullanılmıştır.

Bu çalışmanın literatüre yaptığı katkılar ve avantajlı yönleri aşağıdaki gibi özetlenebilir. Uygulamada kullanılan dört BVZA modelinin literatürde karşılaştırmalı olarak aynı çalışma içinde kullanıldığı başka bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Bu sayede her bir yöntemin avantajlı yönlerinden yararlanılmış ve sıralama sonuçlarını karşılaştırma imkânı elde edilmiştir. Ayrıca bu çalışma, uygulamada kullanılan girdi-çıkıtı setinin objektif bir matematiksel teknik olan Bulanık Shannon Entropi yöntemi ile belirlendiği ilk çalışma niteliğindedir. Böylece karar vericilerin önyargılarını içeren subjektiflikten kaçınılmıştır. Bulanık Shannon Entropi yöntemi ile BVZA modellerinin bütünleşik kullanımının performans ölçümünde yararlanılabilecek pratik bir yöntem olduğu ortaya konulmuştur. Kullanılan BVZA modelleri  $\alpha$ -kesimlere dayalı olduğundan diğer BVZA modellerine göre hesaplama basitliği avantajına sahiptirler. Uygulamanın son aşamasında Borda Kuralı tekniği ile dört sıralama listesi bütünleştirilerek daha rasyonel tek bir

sıralama elde edilmiştir. Önerilen bütünleşik model performans ölçümü yanında ÇKKV problemlerinin çözümünde de kullanılabilir ideal bir modeldir. Bunun yanında, uygulama sonucunda elde edilen bulguların BİT sektörünün gelişimine katkı sağlayacağı umulmaktadır.

Çalışmada, kullanılan veri setinden ve yöntemlerden kaynaklanan bazı kısıtlar bulunmaktadır. Öncelikle, performans kriterlerinin belirlenmesinde veri elverişsizliği nedeniyle yalnızca literatürde en sık kullanılan finansal oranlar dikkate alınmış, personel sayısı gibi bazı önemli kriterlere yer verilememiştir. Bu nedenle uygulama sonuçları ilgili firmaların performansını tam olarak yansıtmamaktadır. Girdi-çıkıtı setinin belirlenmesinde kullanılan Bulanık Shannon Entropi yöntemi eldeki verilere dayalı olarak objektif biçimde ağırlıklandırma yapmaktadır. Ancak bazı durumlarda ilgili endüstri için kritik önemde olan bir girdi veya çıktı değişkeni değerlendirme dışı kalabilir. Bu bağlamda, karar vericilerin subjektif değerlendirmelerini de dikkate alacak şekilde farklı girdi-çıkıtı değişkenleri kullanılarak etkinlik ölçümü gerçekleştirilebilir.

BVZA literatürü sürekli gelişmekte olan bir alandır. Literatürdeki BVZA modelleri güçlü modeller olmalarına rağmen teorik ve/veya hesaplama açısından bazı kısıtları bulunmakta ve bazı modeller sadece spesifik üretim süreçleri için uygun olmaktadır. Bu nedenle gerçek hayat problemlerine uygulanabilmeleri için daha ileri düzey çalışmalar gerekmektedir (Soleimani-damaneh ve diğerleri, 2006: 1207). BVZA modelleri genellikle farklı varsayımlara sahip olduğu için birbirinden oldukça farklı etkinlik sıralamaları elde edilebilmektedir. Bu nedenle hangi BVZA modelinin doğru sonuç verdiğinden çok hangi modelin daha az hesaplama gerektirdiği konusu önem kazanmaktadır. Çalışmada kullanılan dört BVZA modeli de  $\alpha$ -kesimlere dayalı olarak etkinlik ölçmektedir.  $\alpha$ -kesimler yaklaşımı üretim sürecindeki belirsizliğin tamamını içermediğinden bir miktar bilgi kaybı olmaktadır. Ayrıca tüm girdi ve çıktı değişkenlerinin aynı  $\alpha$ -kesim düzeyinde yer aldığı varsayılmaktadır. Bununla birlikte, uygulama sonunda elde edilen bulanık etkinlik skorlarının sıralanması için de bir bulanık sıralama yöntemine ihtiyaç duyulmaktadır. Literatürde farklı varsayımlara sahip ve farklı sonuçlar verebilen birçok bulanık sıralama tekniği önerilmiştir. İleriki çalışmalar bağlamında farklı BVZA modelleri ve farklı bulanık sıralama yöntemleri kullanılarak ilgili firmaların etkinlik durumu incelenebilir.



## YARARLANILAN KAYNAKLAR

- Abramo, Giovanni ve diğlerleri (2011), "A Field-Standardized Application of DEA to National-Scale Research Assessment of Universities", **Journal of Informetrics**, 5(4), 618-628.
- Adamo, Jean Marc (1980), "Fuzzy Decision Trees", **Fuzzy Sets and Systems**, 4 (3), 207-219.
- Adler, Nicole ve Golany, Boaz (2001), "Evaluation Of Deregulated Airline Networks Using Data Envelopment Analysis Combined With Principal Component Analysis With An Application to Western Europe", **European Journal of Operational Research**, 132(2), 260–273.
- Ahangar, Reza Gharoie (2011), "The relationship between intellectual capital and financial performance: An empirical investigation in an Iranian Company", **African Journal of Business Management**, 5(1), 88-95.
- Akal, Zühal (2005), **İşletmelerde Performans Ölçüm ve Denetimi**, 6. Basım, No. 473 Ankara: Milli Produktivite Merkezi Yayınları.
- Aktaş, Hüseyin (2001), "İşletme Performansının Ölçülmesinde Veri Zarflama Analizi Yaklaşımı", **Yönetim ve Ekonomi**, 7(1), 163-175.
- Alam, I.M. Semenick ve Sickles, Robin C.(1998), "The Relationship Between Stock Market Returns and Technical Efficiency Innovations: Evidence from the US Airline Industry", **Journal of Productivity Analysis**, 9 (1), 35-51.
- Alfaro J. Jose ve diğlerleri (2007), "Performance Measurement System for Business Processes", **Production Planning & Control: The Management of Operations**, 18(8), 641-654.
- Allahviranloo, Tofigh ve diğlerleri (2007), "Fuzzy Efficiency Measure with Fuzzy Production Possibility Set", **Applications and Applied Mathematics: An International Journal**, 2 (2), 152-166.

- Allen, Rachel ve diğ erleri, (1997) "Weights Restrictions and Value Judgements in Data Envelopment Analysis: Evolution, Development and Future Directions", **Annals of Operations Research**, 73, 13-34.
- Andre, Francisco J. ve diğ erleri (2010), "A Modified DEA Model to Estimate the Importance of Objectives with an Application to Agricultural Economics", **Omega**, 38, 371-382.
- Andreica, Madalina Ecaterina ve Andreica Marin (2012), "Stock Investment Management under Uncertainty, **Proceedings of the 6th International Management Conference on Approaches in Organisational Management**", (655-662), Bucharest, Romania.
- Asady, Babak ve Zendehnam, Akbar (2007), "Ranking Fuzzy Numbers by Distance Minimization", **Applied Mathematical Modelling**, 11, 2589-2598.
- Asl, Manouchehr Behboudi diğ erleri (2012), "Identifying and Ranking the Effective Factors on Selecting Enterprise Resource Planning (ERP) System Using the Combined Delphi and Shannon Entropy Approach", **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, 41, 513-520.
- Ata, H. Ali ve Yakut, Emre (2009), "Finansal Performansa Dayalı Etkinlik Ölçümü: İmalat Sektörü Uygulaması", **Kocaeli Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi** 18(2), 80-100.
- Athanassopoulos, Antreas (2003), "Strategic Groups, Frontier Benchmarking and Performance Differences: Evidence from the UK Retail Grocery Industry", **Journal of Management Studies**, 40(4): 921-953.
- Avkiran, Necmi (2001), "Investigating Technical and Scale Efficiencies of Australian Universities through Data Envelopment Analysis", **Socio-Economic Planning Sciences**, 35, 57-80.
- Aydemir, Zeynep Canan (2002), **Bölgesel Rekabet Edebilirlik Kapsamında İllerin Kaynak Kullanım Görece Verimlilikleri: Veri Zarflama Analizi Uygulaması**, No: 2664, Ankara: DPT Yayınları.
- Azadeh, Ali (2008), "A Fuzzy Mathematical Programming Approach to DEA Models", **American Journal of Applied Sciences**, 5 (10), 1352-1357.

- Azadeh, Ali ve diğerkleri (2010), "An Integrated Fuzzy DEA Algorithm for Efficiency Assessment and Optimization of Wireless Communication Sectors With Ambiguous Data", **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, 52(5), 805–819.
- Baas, Sjoerd M. ve Kwakernaak, Huibert (1977), "Rating and Ranking of Multiple-Aspect Alternatives Using Fuzzy Sets", **Automatica**, 13(1), 47–58.
- Baldwin, James F. ve Gulid N.C.F. (1980), "Comparison of Fuzzy Sets on the Same Decision Space", **Fuzzy Sets and Systems**, 2 (3), 213–231.
- Banker, Rajiv D. ve diğerkleri (1984), "Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis", **Management Science**, 30 (9), 1078-1092.
- Banker, Rajiv D. ve diğerkleri (2011), "Returns to Scale in DEA", Cooper, William ve diğerkleri (Ed), **Handbook of Data Envelopment Analysis içinde** (41-70), İkinci Baskı, New York: Springer.
- Başkaya, Zehra ve Öztürk, Burcu (2012), "Measuring Financial Efficiency of Cement Firms Listed in Istanbul Stock Exchange via Fuzzy Data Envelopment Analysis", **Muhasebe ve Finansman Dergisi**, 54, 175-188.
- Baykal, Nazife ve Beyan, Timur (2004), **Bulanık Mantık İlke ve Temelleri**, Ankara: Bıçaklar Kitabevi.
- Baysal, Mehmet Emin (2007), "An Efficiency Study in Turkish Telecommunication Company Using Data Envelopment Analysis", **Journal of Science and Technology**, 1(1), 58-71.
- Berndt, Ernst R. ve diğerkleri (2002), "High-Tech Capital Formation and Labor Composition in U.S. Manufacturing Industries: An Exploratory Analysis", **NBER Working Paper**, No. 4010.
- Bian, Yiwen ve Yang, Feng (2010), "Resource and Environment Efficiency Analysis of Provinces in China: A DEA Approach Based On Shannon's Entropy", **Energy Policy**, 38, 1909-1917.
- Bojadziev, George ve Bojadziev, Maria (2007), **Fuzzy Logic for Business, Finance, and Management**, 2. Baskı, London: World Scientific Publishing.

- Boussofiane, Aziz ve diğ erleri (1991), “Applied Data Envelopment Analysis”, **European Journal of Operational Research**, 2 (6), 1-15.
- Bowlin, William, F. (1998), “Measuring Performance: An Introduction to Data Envelopment Analysis (DEA)”, **The Journal of Cost Analysis**, 15(2), 3-27.
- Buckley, James J ve Jowers, Leonard, J. (2006), **Simulating Continuous Fuzzy Systems**, Berlin: Springer-Verlag.
- Burgess, James ve Wilson Paul (1988), “Decomposing Hospital Productivity Changes 1985-1988: A Nonparametric Malmquist Approach”, **Journal of Productivity Analysis**, 6, 343-363.
- Cadenas, Jose M. ve diğ erleri (2010), “Fuzzy Linear Programming in Practice: An Application to the Spanish Football League”, Lodwick, Weldon A. ve Kacprzyk, Janusz (Ed.), **Fuzzy Optimization: Recent Advances and Applications içinde**, (503-529), Berlin: Springer.
- Camp, R.C. (1989), **Benchmarking: The Search for Industry Best Practices That Lead to Superior Performance**, Milwaukee, WI: ASQC Quality Press.
- Carlsson, Christer ve Korhonen, Panu (1986), “A Parametric Approach to Fuzzy Linear Programming”, **Fuzzy Sets and Systems**, 20, 17–30.
- Cerit, Arzu (2011), **Bankacılık Sektörünün 2007–2008 Kriz Döneminde Bulanık Veri Zarflama İle İncelenmesi**, Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Chaghooshi, Ahmad Jafarnejad (2012), “Integration Of Fuzzy Shannon’s Entropy With Fuzzy TOPSIS For Industrial Robotic System Selection”, **Journal of Industrial Engineering and Management**, 5(1), 102-114.
- Charnes, Abraham ve William W. Cooper (1959), “Chance-Constrained Programming”, **Management Science**, 6(1), 73-79.
- \_\_\_\_\_ (1962), “Programming with Linear Fractional Functionals”, **Naval Research Logistics Quarterly**, 9, 181-185.
- \_\_\_\_\_ (1985), “Preface to Topics in Data Envelopment Analysis”, **Annals of Operations Research**, 2, 59-94.

- Charnes, Abraham ve diğerleri (1978), “Measuring the Efficiency of Decision Making Units”, **European Journal of Operational Research**, 2, 429-444.
- Charnes, Abraham ve diğerleri (1985), “Foundations of Data Envelopment Analysis for Pareto–Koopmans Efficient Empirical Production Functions”, **Journal of Econometrics**, 30 (12), 91-127.
- Charnes, Abraham ve diğerleri (1994), **Data Envelopment Analysis: Theory, Methodology and Applications**, İkinci Baskı, New York: Springer.
- Chen, Liang-Hsuan (1985), “Ranking Fuzzy Numbers with Maximizing Set and Minimizing Set”, **Fuzzy Sets and Systems**, 17, 113-129.
- Chen, Chie-Bein ve Klein, Cerry M., (1997), “A Simple Approach To Ranking A Group Of Aggregated Fuzzy Utilities”, **IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics – Part B: Cybernetics**, 27, 26–35.
- Chen, Guanrong ve Pham, Trung Tat (2001), **Introduction to Fuzzy Sets, Fuzzy Logic, and Fuzzy Control Systems**, New York: CRC Press.
- Chen, Liang-Hsuan ve Lu, Hai-Wen (2001), “An Approximate Approach for Ranking Fuzzy Numbers Based on Left and Right Dominance”, **Computers and Mathematics with Applications**, 41, 1589-1602.
- Chen, Ming-Chin ve diğerleri (2005) “An empirical investigation of the relationship between intellectual capital and firms’ market value and financial performance”, **Journal of Intellectual Capital**, 6(2), 159 – 176.
- Chen, Lisa Y. ve Wang, Tien-Chin (2009), “Optimizing Partners’ Choice in IS/IT Outsourcing Projects: The Strategic Decision of Fuzzy VIKOR”, **International Journal of Production Economics**, 120(1), 233-242.
- Chen, Yao ve diğerleri (2006), “Evaluation of Information Technology Investment: A Data Envelopment Analysis Approach”, **Computers and Operations Research**, 33, 1368-1379.
- Chew, W. Bruce (1988), “No-Nonsense Guide To Measuring Productivity”, **Harvard Business Review**, 66(1), 110-118.

- Chiou Yu-Chiun ve Chen Yen-Heng (2006), "Route-Based Performance Evaluation of Taiwanese Domestic Airlines Using Data Envelopment Analysis", **Transportation Research Part E: Logistics And Transportation Review**, 42 (2), 116-127.
- Choo, E.U. ve Wedley, W.C. (1985) "Optimal Criterion Weights in Repetitive Multicriteria Decision- Making", **Journal of Operational Research Society**, 36 (11): 983-992.
- Choobineh, F. ve Li, Huishen (1993), "An Index for Ordering Fuzzy Numbers", **Fuzzy Sets and Systems**, 54 (3), 287–294.
- Chu, A.T. W. ve diğerleri (1979) "A Comparison of Two Methods for Determining The Weights of Belonging to Fuzzy Sets", **Journal of Optimization Theory and Applications**, 27(4), 531-538.
- Cingi, Selçuk ve Armağan, Tarım (2000), "Türk Banka Sisteminde Performans Ölçümü: DEA-Malmquist TFP Endeksi Uygulaması", **Türkiye Bankalar Birliği Araştırma Tebliği Serisi**, Sayı: 2000 – 01.
- Clarke, Richard L. ve Gourdin, Kent N., "Measuring the Efficiency of the Logistics Progress", **Journal of Business Logistics**, 12(2):17-33.
- Coelli, Timothy James (1996), A Guide to DEAP Version 2.1: A Data Envelopment Analysis (Computer) Program, CEPA Working Papers 96 (08).
- Coelli, Timothy James ve diğerleri (2005), **An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis**, 2.Baskı, Boston: Kluwer Academic Publishers.
- Colecchia, A ve Schreyer, P. (2001), **The Impact of Information Communications Technology on Output Growth**, Paris: OECD Publishing.
- Cook, Wade D. ve Seiford, L. Michael (1993), "On the Use of Ordinal Data in Data Envelopment", **The Journal of the Operational Research Society**, 44, 133-140.
- (2009), "Data Envelopment Analysis (DEA) - Thirty Years on", **European Journal of Operational Research**, 192, 1-17.
- Cook, Wade D. ve diğerleri (1996), "Data Envelopment Analysis in the Presence of Both Quantitative and Qualitative Factors", **The Journal of the Operational Research Society**, 47, 945-953.

- Cooper, William W. ve diğlerleri (1999), "IDEA and AR-IDEA: Models for Dealing with Imprecise Data in DEA", **Management Science**, 45, 597- 607.
- 
- (2001), "An Illustrative Application of Idea (Imprecise Data Envelopment Analysis) to a Korean Mobile Telecommunication Company", **Operations Research**, 49(6), 807-820.
- Cooper, William W. ve diğlerleri (2000), **Data Envelopment Analysis: A Comprehensive Text with Models, Applications, References and DEA-Solver Software**, New York: Kluwer Academic Publishers.
- Cooper, William W. ve diğlerleri (2011), "Data Envelopment Analysis History, Models and Interpretations", Cooper William ve diğlerleri (Ed), **Handbook of Data Envelopment Analysis içinde** (1-39), İkinci Baskı, New York: Springer.
- Çakır, Süleyman ve Perçin, Selçuk (2013), "Çok Kriterli Karar Verme Teknikleriyle Lojistik Firmalarında Performans Ölçümü", **Ege Akademik Bakış**, 13(4), 449-459.
- Çelikyılmaz, Aslı ve Türksen, I. Burhan (2009), **Modeling Uncertainty with Fuzzy Logic**, Berlin: Springer-Verlag.
- Çiçek, Hüseyin ve Onat, Osman Kürşat (2012), "İnovasyon Odaklı Faaliyetlerin Firma Performansına Etkisinin Veri Zarflama Analizi İle Belirlenmesi; İMKB Üzerine Bir Araştırma", **Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi SBE Dergisi**, 4(7), 46-53.
- Çüçen, A. Kadir (2004), **Klasik Mantık**, Ankara: Asa Kitabevi.
- Dario, Cinzia ve Simar, Leopold (2007), **Advanced Robust and Nonparametric Methods in Efficiency Analysis**, XXII: 248, New York: Springer.
- Daveri, Francesco (2002), "The New Economy in Europe, 1992–2001", **Oxford Review of Economic Policy**, 18(3), 345–362.
- Deborger, Bruno ve diğlerleri (1998), "Choice of a Technical Efficiency Measure on the Free Disposal Hull Reference Technology: A Comparison Using U.S Banking Data", **European Journal of Operational Research**, 105(3), 427-446.
- Delen, Dursun ve diğlerleri (2013), "Measuring firm performance using financial ratios: A decision tree approach", **Expert Systems with Applications**, 40, 3970–3983.

- Deniz, Nurcan (2009), **Türkiye’deki İllerin Kaynak Kullanımlarına Göre Göreli Etkinliklerinin Klasik ve Bulanık Veri Zarflama Analizi Yöntemleriyle Belirlenmesi**, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Despotis, Dimitris K. ve Smirlis, Yiannis G. (2002), “Continuous Optimization Data Envelopment Analysis with Imprecise Data”, **European Journal of Operational Research**, 140, 24-36.
- Devlet Planlama Teşkilatı Müsteşarlığı (2011), **Bilgi Toplumu İstatistikleri**, No:2286 Ankara: DPT Yayınları.
- Dewan, Sanjeev ve Min, Chung-ki (1997), “The Substitution of Information Technology For Other Factors of Production: A Firm Level Analysis”, **Management Science**, 443(12), 1660–1675.
- Dia, M. (2004), “A Model of Fuzzy Data Envelopment Analysis”, **INFOR**, 42 (4), 267–279.
- Diakoulaki Danae ve diğerleri (1995) “Determining Objective Weights in Multiple Criteria Problems: The Critic Method”, **Computers& Operations Research**, 22, 763-770.
- Dill, Rodrigo ve diğerleri (2014), “Corporate Profitability Analysis: A Novel Application for Paraconsistent Logic”, **Applied Mathematical Sciences**, 8(26), 1271 – 1288.
- Dinçer, Erdal (2008), “Veri Zarflama Analizinde Malmquist Endeksiyle Toplam Faktör Verimliliği Değişiminin İncelenmesi ve İMKB Üzerine Bir Uygulama”, **Marmara Üniversitesi İİBF Dergisi**, 25(2), 825-846.
- Donthu, Naveen ve diğerleri (2005), “Benchmarking Marketing Productivity Using Data Envelopment Analysis”, **Journal of Business Research**, 58 (11), 1474-1482.
- Dubois, Didier ve Prade, Henri (1980), **Fuzzy Sets and Systems: Theory and Applications**, New York: Academic Press.
- (1983), “Ranking Fuzzy Numbers in the Setting of Possibility Theory”, **Information Sciences**, 30,183-224.
- Dumanoğlu, Sezai ve Ergül, Nuray (2010), “İMKB’de İşlem Gören Teknoloji Şirketlerinin Mali Performans Ölçümü”, **Muhasebe ve Finansman Dergisi**, 48,101-111.



- Dyson, Robert G. ve diğerleri (1988), "Reducing Weigth Flexibility in Data Envelopement Analysis", **Journal of the Operational Research Society**, 39(6), 563-576.
- Elmas, Çetin (2003), **Bulanık Mantık Denetleyiciler**, 1. Baskı, Ankara: Seçkin Yayıncılık
- Emrouznejad, Ali ve diğerleri (2008), "Evolution of Research in Efficiency and Productivity: A Survey and Analysis of the First 30 Years of Scholarly Literature in DEA", **Socio-Economic Planning Sciences**, 42, 151-157.
- Emrouznejad, Ali ve Cabanda, Emilyn (2010), "An Aggregate Measure of Financial Ratios Using a Multiplicative DEA Model", **International Journal of Financial Services Management**, 4(2):114-126.
- Emrouznejad, Ali ve diğerleri (2012), "General and Multiplicative Non-Parametric Corporate Performance Models with Interval Ratio Data", **Applied Mathematical Modelling**, 36, 5506–5514.
- Entani, Tomoe ve diğerleri (2002), "Dual Models of Interval DEA and Its Extension to Interval Data", **European Journal of Operational Research**, 136 (1), 32-45.
- Erginel, Nihal ve diğerleri (2012), "Fuzzy DEA Approach to Solve the Location Selection of Wind Energy", Kahraman, Cengiz ve diğerleri (Ed.), **Uncertainty Modelling in Knowlege Engineering and Decision Making içinde** (207-212), London: World Scientific Publishing.
- Ertuğrul İrfan, Karakaşoğlu, Nilsen (2009), "Performance Evaluation of Turkish Cement Firms with Fuzzy Analytic Hierarchy Process and TOPSIS methods", **Expert Systems with Applications**, 36, 702–715.
- Fanchon, Philip (2003), "Variable Selection For Dynamic Measures Efficiency in The Computer Industry", **International Advances in Economic Research** 9(3), 175–188.
- Feng, Cheng-Min ve Wang, Rong-Tsu (2000), "Performance evaluation for airlines including the consideration of financial ratios", **Journal of Air Transport Management**, 6, 133-142.
- Fernandez-Castro, Angel ve Smith, P. (1994), "Towards a General Non-Parametric Model of Corporate Performance", **Omega**, 22 (3), 237-249.

- Ganley, J. Augustine ve Cubbin, John (1992), **Public Sector Efficiency Measurement: Applications of Data Envelopment Analysis**, North Holland: Elsevier Science Publishers.
- Garcia, P.A.A ve diğerleri (2005), “A Fuzzy Data Envelopment Analysis Approach for FMEA”, **Progress in Nuclear Energy**, 46 (3-4), 359-373.
- Ghorbani, Mazaher ve diğerleri (2012), “An Integrated Model For Supplier Selection and Order Allocation; Using Shannon Entropy, SWOT and Linear Programming”, **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, 41, 521-527.
- Girod, Olivier (1996), **Measuring Technical Efficiency in a Fuzzy Environment**, Yayımlanmamış Doktora Tezi, Virginia Polytechnic Institute and State University.
- Goto, Mika ve Sueyoshi, Toshiyuki (2006), “Financial Ratio Analysis: An Application to US Energy Industry”, **Productivity, Efficiency, and Economic Growth in the Asia-Pacific Region Contributions to Economics içinde** (59-79). Physica-Verlag HD.
- Greene, William (2008), **Econometric Analysis**, 6. Baskı, New Jersey: Pearson Education, Inc.
- Gregoriou, Greg N. ve Zhu, Joe (2005), **Evaluating Hedge Fund and CTA Performance: Data Envelopment Analysis Approach**, New Jersey: John Wiley & Sons.
- Guo, Peijun ve diğerleri (2000), “Self-Organizing Fuzzy Aggregation Models to Rank the Objects with Multiple Attributes”, **IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Part A - Systems and Humans**, 30 (5), 573-580.
- Guo, Peijun ve Hideo Tanaka (2001), “Fuzzy DEA: A Perceptual Evaluation Method”, **Fuzzy Sets and Systems**, 119 (1), 149–160.
- \_\_\_\_\_ (2008), “Decision Making Based on Fuzzy Data Envelopment Analysis”, Ruan, D. ve Meer, K. (Ed.), **Intelligent Decision and Policy Making Support Systems içinde** (39-54), Berlin/Heidelberg: Springer.
- Guo, Peijun (2009), “Fuzzy Data Envelopment Analysis and Its Application to Location Problems”, **Information Sciences**, 179 (6), 820-829.

- Gutiérrez-Nieto, Begoña ve diğerleri (2007), “ Microfinance institutions and Efficiency” **Omega**, 35, 131 – 142.
- Güneş, Tuğba (2009), **Bulanık Veri Zarflama Analizi**, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Hackman, Steven (2008), **Production Economics: Integrating the Microeconomic and Engineering Perspectives**, Berlin: Springer-Verlag.
- Haghighat, Mehdi Sohrabi ve Khorram, Esmail (2005), “The Maximum and Minimum Number of Efficient Units In DEA with Interval Data”, **Applied Mathematics and Computation**, 163 (2), 919-930.
- Halkos, George ve Tzeremes Nickolaos (2007), “International Competitiveness in the ICT Industry: Evaluating the Performance of the Top 50 Companies”, **Global Economic Review**, 36(2), 167-182.
- (2012), “Industry performance evaluation with the use of financial ratios: An application of bootstrapped DEA”, **Expert Systems with Applications**, 39, 5872–5880.
- Hanss, Michael (2005), **Applied Fuzzy Arithmetic: An Introduction with Engineering Applications**, Berlin: Springer-Verlag.
- Harold, O. Fried ve diğerleri (2008) **The Measurement of Productive Efficiency and Productivity Growth**, New York: Oxford University Press.
- Hatami-Marbini, Adel ve diğerleri (2009), “An Application of Fuzzy Numbers Ranking in Performance Analysis”, **Journal of Applied Sciences**, 9 (9), 1770-1775.
- (2011), “A Taxonomy and Review of the Fuzzy Data Envelopment Analysis Literature: Two decades in the Making”, **European Journal of Operational Research**, 214, 457–472.
- Hosseinzadeh-Lotfi, Farhad ve diğerleri (2009), “Basic DEA Models in the Full Fuzzy Position”, **International Mathematical Forum**, 4 (20), 983–993.
- Hosseinzadeh Lotfi, Farhad ve Fallahnejad, Reza (2010), “Imprecise Shannon’s Entropy and Multi Attribute Decision Making”, **Entropy**, 12, 53-62.

- Hougaard, Jens Leth (2005), "A Simple Approximation of Productivity Scores of Fuzzy Production Plans", **Fuzzy Sets and Systems**, 152 (3), 455-465.
- Hwang, Ching-Lai ve Lin, Ming-Jeng (1987), **Group Decision Making Under Multiple Criteria: Methods and Application**, New York: Springer-Verlag.
- Hwang, Junseok ve Lee, Youngjin (2010), "External Knowledge Search, Innovative Performance and Productivity in The Korean ICT Sector", **Telecommunications Policy**, 34, 562–571.
- Jackson, M. ve Petersson, P. (1999), "Productivity: An Overall Measure of Competitiveness", **Proceedings of the 2nd Workshop on Intelligent Manufacturing Systems**, 573-581, Leuven.
- Jahanshahloo, Gholam Reza ve diğerleri (2004a), "Ranking by  $l_1$ -norm in Data Envelopment Analysis", **Applied Mathematics And Computation**, 153 (1), 215–224.
- (2004b), "Measure of Efficiency in DEA with Fuzzy Input-Output Levels: A Methodology for Assessing, Ranking and Imposing of Weights Restrictions", **Applied Mathematics and Computation**, 156 (1), 175-187.
- (2004c), "Sensitivity and Stability Analysis in DEA with Interval Data", **Applied Mathematics and Computation**, 156 (2), 463-477.
- (2004d), "On Return to Scale Of Fully Efficient Dmus in Data Envelopment Analysis Under Interval Data, **Applied Mathematics and Computation**, 154 (1), 31–40.
- (2004e), "On FDH Efficiency Analysis with Interval Data, **Applied Mathematics and Computation**, 159 (1), 47-55.
- (2007a), "Ranking DMUs with Fuzzy Data in DEA", **International Journal Contemporary Mathematical Sciences**, 2 (5), 203-211.
- (2007b), "Using a Certain Linear Ranking Function to Measure the Malmquist Productivity Index with Fuzzy Data and

- Application In Insurance Organization”, **Applied Mathematical Sciences**, 1 (14), 665–680.
- Jain, Ramesh C. (1976), “Decisionmaking in the Presence of Fuzzy Variables”, **IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics**, 6 (10), 698-703.
- (1977), “A Procedure For Multiple-Aspect Decision Making Using Fuzzy Sets”, **International Journal of Systems Science**, 8 (1), 1-7.
- Jalava, Jukka ve Pohjola, Matti (2002), “Economic Growth in The New Economy: Evidence From Advanced Economies”, **Information Economics and Policy, Elsevier** 14(2), 189–210.
- (2007), “ICT As a Source of Output and Productivity Growth in Finland”, **Telecommunications Policy**, 31, 463–472.
- Jenkins, Larry ve Anderson, Murray (2003), “A Multivariate Statistical Approach to Reducing The Number Of Variables in Data Envelopment Analysis”, **European Journal of Operational Research**, 14 (1), 51–61.
- Jiang Ningchuan ve Yang Yi Jiang (2007), “A Fuzzy Chance-Constrained DEA Model Based on Cr Measure”, **International Journal of Business and Management**, 2 (2), 17-21.
- Jorgenson, Dale W. ve Stiroh, K.J. (2000), “Raising The Speed Limit: US Economic Growth in The Information Age”, **Brookings Papers on Economic Activity**, 2(1), 125–211.
- Jorgenson, Dale W. (2001), “Information Technology and The US Economy”, **American Economic Review**, 91, 1–32.
- International Telecommunication Union (2012), **Measuring the Information Society**, Geneva, ITU Publishing, <http://www.itu.int/ITU-D/ict/publications/idi/> (15.02.2014).
- Kahraman, Cengiz ve Tolga, Ethem (1998), “Data Envelopment Analysis Using Fuzzy Concept”, **Proceedings of 28th International Symposium on Multiple-Valued Logic**, (338–343), Fukuoka, Japan.
- Kalaycı, Şeref ve diğerleri (Ed.) (2008), **SPSS Uygulamalı Çok Değişkenli İstatistik Teknikleri**, 3. Baskı, Ankara: Asil Yayın Dağıtım.

- Karsak, E. Ertugrul (2008), "Using Data Envelopment Analysis for Evaluating Flexible Manufacturing Systems in the Presence of Imprecise Data", **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, 35: 867–874.
- Kao, Chiang ve Liu, Shiang-Tai (2000a), "Fuzzy Efficiency Measures in Data Envelopment Analysis", **Fuzzy Sets And Systems**, 113 (3), 427–437.
- (2000b), "Data Envelopment Analysis with Missing Data: An Application To University Libraries in Taiwan", **Journal of Operational Research Society**, 51 (8), 897-905.
- (2003), "A Mathematical Programming Approach to Fuzzy Efficiency Ranking", **International Journal of Production Economics**, 86 (2), 145–154.
- Kaufman, Arnold (1986), "Hybrid Data-Variou Associations Between Fuzzy Subsets and Random Variables", Jones, Andre ve diğ erleri (Ed.), **Fuzzy Sets Theory and Applications içinde** (171-211), Netherlands: Springer.
- Kaufman, Arnold ve Gupta, Madan M. (1991), **Introduction to Fuzzy Arithmetic: Theory and Applications**, 2th Ed., New York : Van Nostrand Reinhold Company.
- Khodabakhshi, M. ve diğ erleri (2010), "An Additive Model Approach for Estimating Returns to Scale in Imprecise Data Envelopment Analysis", **Applied Mathematical Modelling**, 34 (5), 1247-1257.
- Kirjavainen, Tanja ve Loikkanent, Heikki A. (1998), Efficiency Differences of Finnish Senior Secondary Schools: An Application of DEA and Tobit Analysis", **Economics of Education Review**, 17(4), 377-394.
- Klimberg, Ronald K. ve Ratick, Samuel J. (2008), "Modeling Data Envelopment Analysis (DEA) Efficient Location/Allocation Decisions", **Computers & Operations Research**, 35(2), 457-474.
- Kocacık, Faruk (2003), "Bilgi Toplumu ve Türkiye", **C.Ü. Sosyal Bilimler Dergisi**, 27 (1), 1-10.
- Koçak, Serdar (2006), **Türk Telekom Eriş im Ş ebekelerinde Performans Öl çümü: Veri Zarflama Analizi Uygulaması**, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

- Kongar, Emre (2001), **Küresel Terör ve Türkiye**, 3. Baskı, İstanbul: Remzi Kitapevi.
- Koopmans, Tjalling Charles (1951), **Activity Analysis of Production and Allocation**, New York: John Wiley and Sons Inc.
- Koski, H. A. ve Majumdar, S. K. (2000), “Convergence in Telecommunications Infrastructure Development in OECD Countries”, **Information Economics and Policy**, 12, 111–131.
- Kök Bayrak, Sabahat (2006), “Bilişim Teknolojilerinin Yönetmel ve Örgütsel Etkileri”, **Ticaret ve Turizm Eğitim Fakültesi Dergisi**, 2, 123-140.
- Kulalı, İhsan ve Bilir, Hakan (2010), **Bilgi ve İletişim (Telekomünikasyon) Sektöründeki Gelişmeler ve Eğilimler**, Ankara: TOBB Yayınları.
- Kuo, Hsien-Chang ve Wang, Lie-Huey (2007), “Operating Performance By The Development Of Efficiency Measurement Based On Fuzzy DEA”, **Proceedings of Second International Conference On Innovative Computing, Information and Control**, (196-199), Shanghai.
- Leachman R.C. ve Hodges, D.A. (1996), “Benchmarking Semiconductor Manufacturing,” **IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing**, 9,(2) 158-169.
- Lee, E.S. ve Li, R.J. (1988), “Comparison of Fuzzy Numbers Based on the Probability Measure of Fuzzy Events”, **Computers & Mathematics with Applications**, 15 (10), 887-896.
- Lee, Hsuan-Shih (2004), “A Fuzzy Data Envelopment Analysis Model Based on Dual Program”, **Proceedings of 27th Edition of the Annual German Conference on Artificial Intelligence**, (31–39), Ulm, Germany.
- Lee, Hsuan-Shih ve diğerleri (2005), “A Fuzzy Method For Measuring Efficiency Under Fuzzy Environment”, **Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics) içinde** (343-349). Melbourne, Australia: Springer Verlag.
- Leon, T. ve diğerleri (2003), “A Fuzzy Mathematical Programming Approach to the Assessment of Efficiency with DEA Models”, **Fuzzy Sets and Systems**, 139 (2), 407–419.

Lertworasirikul, Saowanee (2001), **Fuzzy Data Envelopment Analysis for Supply Chain Modeling and Analysis**, Dissertation Proposal in Industrial Engineering, North Carolina State University.

---

\_\_\_\_\_ (2002), **Fuzzy Data Envelopment Analysis (DEA)**, Yayınlanmamış Doktora Tezi, North Carolina State University.

Lertworasirikul, Saowanee ve diğerleri (2002a), “Fuzzy Data Envelopment Analysis”, **Proceedings of the 9th Bellman Continuum**, (342), Pekin.

---

\_\_\_\_\_ (2002b), “A Possibility Approach to Fuzzy Data Envelopment Analysis”, **Proceedings of the Joint Conference on Information Sciences**, (176-179), Durham, USA.

---

\_\_\_\_\_ (2003a), “Fuzzy Data Envelopment Analysis (DEA): A Possibility Approach”, **Fuzzy Sets and Systems**, 139, 379-394.

---

\_\_\_\_\_ (2003b), “Fuzzy BCC Model for Data Envelopment Analysis”, **Fuzzy Optimization and Decision Making**, 2, 337-358.

Lichtenberg, F.R. 1995. “The Output Contributions of Computer Equipment and Personnel: A Firm Level Analysis”, **Economics of Innovation and New Technologies**, 3(4), 201–217.

Liu, Fuh-Hwa Frankli ve Wang, Peng-hsiang (2008), “DEA Malmquist Productivity Measure: Taiwanese Semiconductor Companies”, **International Journal Of Production Economics**, 112(1), 367–379.

Liu, Shiang-Tai (2008), “A Fuzzy DEA/AR Approach to the Selection of Flexible Manufacturing System”, **Computer and Industrial Engineering**, 54, 66-76.

Lootsma, Freerk. A. (1999), **Multi-Criteria Decision Analysis via Ratio and Difference Judgement**, Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.

Luban, Florica (2009), “Measuring Efficiency of a Hierarchical Organization With Fuzzy DEA Method”, **Economia : Seria Management**, 12 (1), 87-97.

Lukasiewicz, Jan (1920), **On three-valued logic**, (Çev. L. Borkowski), Amsterdam.

Maleki, H.R. (2002), “Ranking Functions and Their Applications to Fuzzy Linear Programming”, **Far East Journal of Mathematical Sciences**, 4 (3), 283–301.



- Manuel Espitia-Escuer ve Lucía Isabel García-Cebrián (2006), "Performance in Sports Teams: Results and Potential in the Professional Soccer League in Spain", **Management Decision**, 44(8), 1020-1030.
- Margaritis, Dimitris ve Psillaki, Maria (2007), "Capital Structure and Firm Efficiency", **Journal of Business Finance & Accounting**, 34 (9), 1447–1469.
- Meada, Yusuke ve diğerleri (1998), "Fuzzy DEA with Interval Efficiency", **Proceedings of 6th European Congress on Intelligent Techniques and Soft Computing, EUFIT'98**, (1067-1071), Aachen, Germany: Verlag Mainz.
- Milana Carlo ve Zeli, Alessandro (2003), "Productivity Slowdown and the Role of ICT in Italy: A Firm-Level Analysis", **OECD, The Economic Impact of ICT**, 261-278.
- Molavi, F. ve diğerleri (2005), "An Efficiency Measurement Model in Fuzzy Environment, Using Data Envelopment Analysis", **Journal of Industrial Engineering International**, 1 (1), 50–58.
- Morrison, Catherine J. ve Ernst R. Berndt (1991), "Assessing The Productivity of Information Technology Equipment in U.S. Manufacturing Industries,", **Cambridge, MA: National Bureau of Economic Research, Working Paper**, No.3582.
- Neely, Andy ve diğerleri (2005), "Performance Measurement System Design: A Literature Review and Research Agenda", **International Journal of Operations & Production Management**, 25 (12), 1228-1263.
- Neshati, R. (2013), "Benchmarking R&D in the Semiconductor Industry Using DEA", **Proceedings of PICMET '13: Technology Management for Emerging Technologies**, (2749-2756), Portland.
- Nigam, Vineeta (2012), "Benchmarking of Indian Mobile Telecom Operators Using DEA With Sensitivity Analysis", **Benchmarking: An International Journal**, 19(2), 219-238.
- Norman, Michael ve Stoker, Barry (1991), **Data Envelopment Analysis: The Assessment of Performance**, England: John Wiley and Sons Publishing.
- Nudurupati, S. Sai ve diğerleri (2011), "State of the Art Literature Review on Performance Measurement", **Computers & Industrial Engineering**, 60, 279–290.

Odeck, James ve Bråthen, Svein (2012), “A Meta-Analysis Of DEA And SFA Studies of the Technical Efficiency of Seaports: A Comparison of Fixed and Random-Effects Regression Models”, **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, 46 (10),1574-1585.

Oliner, S. ve Sichel, D. (2002), “Information Technology And Productivity: Where Are We Now and Where Are We Going?”, **Economic Review**, 3(3),15–41.

Organisation for Economic Co-operation and Development (2007), **Glossary of Statistical Terms**, Paris: OECD Publishing.

---

(2010), **Information Technology Outlook 2010**, Paris: OECD Publishing.  
<http://dx.doi.org/10.1787/888932327249> (15.02.2014).

Oruç, Kenan Oğuzhan (2008), **Veri Zarflama Analizi ile Bulanık Ortamda Etkinlik Ölçümleri ve Üniversitelerde Bir Uygulama**, Yayımlanmamış Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.

Öcal, Emin ve diğerleri (2007), “Industry financial ratios—application of factor analysis in Turkish construction industry”, **Building and Environment**, 42, 385–392.

Öner, Necati (1986), **Klasik Mantık**, 5. Baskı, Ankara: Ankara Üniversitesi İlahiyat Fakültesi Yayınları.

Özden, Ünal H. (2008), “Veri Zarflama Analizi (VZA) ile Türkiye“deki Vakıf Üniversitelerinin Etkinliğinin Ölçülmesi”, **İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Dergisi**, 37 (2), 167-185.

Özkan, M. Mustafa (2003), **Bulanık Hedef Programlama**, İstanbul: Ekin Kitabevi.

Özlem, Doğan (2004), **Mantık (klasik/sembolik mantık, mantık felsefesi)**, 7. Baskı, İstanbul: İnkılap Yayınları.

Paradi, Joseph C. ve Schaffnit, Claire (2004), “Commercial Branch Performance Evaluation and Results Communication in a Canadian Bank: A DEA Application”, **European Journal of Operational Research**, 156, 719-735.

Pastor Jesus T. ve diğerleri (1999), “An Enhanced DEA Russell Graph Efficiency Measure”, **European Journal of Operational Research**, 115 (3), 596-607.

- 
- (2002), “A Statistical Test For Nested Radial DEA Models”, **Operations Research**, 50(4), 728–735.
- Pelletier, Francis Jeffry (2000), “Review of Metamathematics of Fuzzy Logics”, **The Bulletin of Symbolic Logic**, 6 (4), 342-346.
- Perçin, Selçuk ve Karakaya, Aykut (2012), “Bulanık Karar Verme Yöntemleriyle Türkiye’de Bilişim Teknolojisi Firmalarının Finansal Performanslarının Değerlendirilmesi”, **Marmara Üniversitesi İİBF Dergisi**, 33(2), 241-266.
- Pilat, Dirk ve Lee, Frank C. (2001), **Productivity Growth in ICT Producing And ICT-Using Industries: A Source of Growth Differentials in The OECD?**, Paris: OECD Publishing.
- Powell, T.C. ve Denticallef, A.1997.”Information Technology As Competitive Advantage: The Role Of Human, Business and Technology Resources”, **Strategic Management Journal**, 18(5), 375–405.
- Psillaki, Maria ve diğerleri (2010), “Evaluation of credit risk based on firm performance”, **European Journal of Operational Research**, 201, 873–881.
- Puri, Jolly ve Yadav, Shiv Prasad (2013), “A Concept of Fuzzy Input Mix-Efficiency In Fuzzy DEA and Its Application in Banking Sector”, **Expert Systems with Applications**, 40, 1437–1450.
- Qazi, Ahmar Qasim ve Yulin, Zhao (2012), “Productivity Measurement of Hi-tech Industry of China Malmquist Productivity Index–DEA Approach”, **Procedia Economics and Finance**, 1, 330 – 336.
- Qi, Zhang ve Junhai, Ma (2011), “Research on Business Efficiency of Hotel and Tourism Enterprises Based on the Influence of Innovation Factors”, **Energy Procedia**, 5, 742-746.
- Qin, Rui ve diğerleri (2009), “Modeling Fuzzy DEA With Type-2 Fuzzy Variable Coefficients”, **Lecture Notes in Computer Science içinde** (25-34), Berlin/Heidelberg: Springer.
- Qin, Rui ve Liu, Yan-Kui (2009), “A New Data Envelopment Analysis Model with Fuzzy Random Inputs and Outputs”, **Journal of Applied Mathematics and Computing**, 33 (1), 327-356.

- Ramanathan, Ramakrishnan (2003), **An Introduction to Data Envelopment Analysis: A Tool for Performance Measurement**, New Delhi: Sage Publications.
- Ramezanzadeh, Saeed ve diğerleri (2005), “Data Envelopment Analysis with Fuzzy Random Inputs and Outputs: A Chance-Constrained Programming Approach”, **Iranian Journal of Fuzzy Systems**, 2 (2), 21-29.
- Ramík, Jaroslav ve Rımanek, Josef (1985) “Inequality Relation Between Fuzzy Numbers and its Use in Fuzzy Optimization”, **Fuzzy Sets And Systems**, 16, 123-138.
- Rasmussen, Swend (2011), **Production Economics: The Basic Theory of Production Optimisation**, Berlin: Springer-Verlag.
- Reucher, Elmar ve Rödder Wilhelm (2004), “A Fuzzy DEA Approach-Ranking Production Units in Taiwanese Semiconductor Industry”, **Operations Research Proceedings**, 393-399.
- Reynolds Dennis (2004), “An Exploratory Investigation of Multiunit Restaurant Productivity Assessment Using Data Envelopment Analysis”, **Journal of Travel and Tourism Marketing**, 6 (2-3),19–26.
- Rizvi, Syeda Nazish ve diğerleri (2012), “Short Term and Long Term Impact of Sales Promotion on Organizations’ Profitability: A Comparative Study between Convenience and Shopping Goods”, **International Journal of Business and Management**, 7(5), 247-255.
- Rohman, Ibrahim Kholilul (2013), “The globalization and stagnation of the ICT sectors in European countries: An input-output analysis”, **Telecommunications Policy**, 37(4), 387-399.
- Ross, J. Timothy (2010), **Fuzzy Logic with Engineering Applications**, Third Edition, Chichester, West Sussex: Wiley&Sons Ltd.
- Ruggiero, John (2005), “Impact Assessment Of Input Omission On DEA”, **International Journal Of Information Technology & Decision Making**, 04 (03), 359–368.
- Saati, Saber ve diğerleri (2002), “Efficiency Analysis and Ranking of DMUs with Fuzzy Data” **Fuzzy Optimization and Decision Making**, 1, 255-267.
- Saati, Saber ve Memariani, Azizollah (2005), “Reducing Weight Flexibility in Fuzzy DEA”, **Applied Mathematics and Computation**, 161 (2), 611-622.

- 
- \_\_\_\_\_ (2009), “SBM Model with Fuzzy Input–Output Levels in DEA”, **Australian Journal of Basic and Applied Sciences**, 3 (2), 352-357.
- Saaty, Thomas. L. (1980), **The Analytic Hierarchy Process**, New York: McGraw-Hill.
- Sarkis. J. L. (2007), “Preparing Your Data For DEA”. Zhu, Joe, Cook, Wade D. (Ed.). **Modeling Data Irregularities and Structural Complexities in Data Envelopment Analysis içinde** (1-12), New York: Springer.
- Samoilenko, Sergey ve Osei-Bryson, Kweku-Muata (2008), “An Exploration Of The Effects Of The Interaction Between ICT And Labor Force On Economic Growth in Transition Economies”, **International Journal of Production Economics**, 115, 471–481.
- Seçme, Nese Yalçın ve diğerleri (2009), “Fuzzy performance evaluation in Turkish Banking Sector using Analytic Hierarchy Process and TOPSIS”, **Expert Systems with Applications**, 36, 11699–11709.
- Sengupta, Atanu ve Pal, Tapan K. (2000), “On Comparing Interval Numbers”, **European Journal of Operational Research**, 127, 28-43.
- 
- \_\_\_\_\_ (2009), “Fuzzy Preference Ordering of Interval Numbers in Decision Problems”, **Studies in Fuzziness and Soft Computing, içinde** (59-89), Springer.
- Sengupta, Jati K. (1992), “A Fuzzy Systems Approach in Data Envelopment Analysis”, **Computers and Mathematics with Applications**, 24 (8-9), 259–266.
- \_\_\_\_\_ (1993), “Measuring Efficiency by a Fuzzy Statistical Approach”, **Fuzzy Sets and Systems**, 46 (1), 73–80.
- Seo, Hwan-Joo (2009), “Does ICT Investment Widen The Growth Gap?”, **Telecommunications Policy**, 33, 422–431.
- Seyrek, İ. Halil (2011), “Bulut Bilişim: İşletmeler için Fırsatlar ve Zorluklar”, **Gaziantep Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi**, 10(2): 701 -713.
- Shannon, C.E. (1948) “A Mathematical Theory of Communication”, **Bell Systems and Technology Journal**, 27, 379-423.

- Sherman, H. David ve Gold, Franklin (1985), “Bank Branch Operating Efficiency”, **Journal of Banking and Finance**, 9, 297-315.
- Sheth, Nimish ve Triantis, Konstantinos (2003), “Measuring and Evaluating Efficiency and Effectiveness Using Goal Programming and Data Envelopment Analysis in A Fuzzy Environment”, **Yugoslav Journal of Operation Research**, 13 (1), 35–60.
- Shin, Hyungwon ve Sohn, So Young (2004), “Multi-Attribute Scoring Method for Mobile Telecommunication Subscribers”, **Expert Systems with Applications**, 6 (3), 363-368.
- Sigala ve diğerleri (2004), “ICT Paradox Lost? A Stepwise Dea Methodology to Evaluate Technology Investments in Tourism Settings”, **Journal of Travel Research**, 43(2), 180-192.
- Simar, Leopold ve Wilson, Paul W. (2001), “Testing Restrictions in Nonparametric Efficiency Models”, **Communications in Statistics**, 30(1), 159–184.
- Soleimani-damaneh, M. ve diğerleri (2006), “Computational and Theoretical Pitfalls In Some Current Performance Measurement Techniques and a New Approach”, **Applied Mathematics and Computation**, 181, 1199–1207.
- Soleimani-Damaneh, M. (2008), “Fuzzy Upper Bounds and Their Applications” **Chaos, Solitons and Fractals**, 36, 217-225.
- Soleimani-damaneh, M. ve Zarepisheh, M. (2009), “Shannon’s Entropy For Combining The Efficiency Results of Different DEA Models: Method and Application”, **Expert Systems with Applications**, 36 (2009), 5146–5150.
- Soteriou, Andreas C. ve Stavriniades, Yiannos (1997), “An Internal Customer Service Quality Data Envelopment Analysis Model for Bank Branches”, **International Journal of Operations & Production Management**, 17 (8), 780-789.
- Srinivasan, V. ve Shocker, Allan D. (1973), “A Composite Criterion Using Pairwise Judgments”, **Psychometrika**, 38(4), 473-493.
- Sueyoshi, Toshiyuki (1999), “DEA Non-Parametric Ranking Test and Index Measurement: Slack-Adjusted DEA and an Application to Japanese Agriculture Cooperatives”, **Omega**, 27(3): 315–26.

- Sumanth, J. David (1984), **Productivity Engineering and Management**, New York: McGraw-Hill.
- Sun, Shinn (2004), “Assessing Joint Maintenance Shops in the Taiwanese Army Using Data Envelopment Analysis”, **Journal of Operations Management**, 22(3):233–245.
- Şen, Zekâi (2003), **Modern Mantık**, İstanbul: Bilge Yayıncılık.
- Şafak, İsmail (2009), “Orman İşletmelerinin Etkinlik Düzeylerinin Klasik ve Bulanık VZA ile Değerlendirilmesi”, **Teknik Bülten**, No.48.
- Tangen, Stefan (2004), “Demystifying Productivity and Performance”, **International Journal of Productivity and Performance Management**, 54(1),34-46.
- Tarım, Armağan (2001), **Veri Zarflama Analizi: Matematiksel Programlama Tabanlı Göreli Etkinlik Ölçüm Yaklaşımı**, No. 15, Ankara: T.C. Sayıştay Başkanlığı Yayınları.
- Tarutė, Asta ve Gatautis, Rimantas (2014), “ICT Impact on SMEs Performance”, **Procedia- Social and Behavioral Sciences**, 110, 1218 – 1225.
- Tavana, Madjid ve diğerkleri (2012), “Fuzzy Stochastic Data Envelopment Analysis with Application to Base Realignment and Closure (BRAC)” **Expert Systems with Applications**, 39 (15), 12247-12259.
- Tektüfekçi, Fatma (2010), “İMKB’ye Kayıtlı Halka Açık Teknoloji Şirketlerinde Finansal Etkinliğin Veri Zarflama Analizi (VZA) İle Değerlendirilmesi”, **Organizasyon ve Yönetim Bilimleri Dergisi** 2(2), 69-77.
- Tlig, Houssine ve Rebai, Abdelwaheb (2009), “A Mathematical Approach to Solve Data Envelopment Analysis Models when Data are LR Fuzzy Numbers”, **Applied Mathematical Sciences**, 3 (48), 2383–2396.
- Tone, Kauro (2001), “Slacks-Based Measure of Efficiency”, Cooper William ve diğerkleri (Ed), **Handbook of Data Envelopment Analysis içinde** (195-209), İkinci Baskı, New York: Springer.
- Triantis, Konstantinos (2003), “Fuzzy Non-Radial Data Envelopment Analysis (DEA) Measures of Technical Efficiency in Support of an Integrated Performance

- Measurement System”, **International Journal of Automotive Technology and Management**, 3 (3-4), 328–353.
- Triantis, Konstantinos ve Olivier, Girod (1998), “A Mathematical Programming Approach For Measuring Technical Efficiency in a Fuzzy Environment”, **Journal of Productivity Analysis**, 10 (1), 85–102.
- Tsai, Hsiang-Chih ve diğerleri (2006), “The Comparative Productivity Efficiency For Global Telecoms”, **International Journal of Production Economics**, 103, 509–526.
- Tseng, Fang-Mei ve diğerleri (2009), “Measuring business performance in the high-tech Manufacturing industry: A case study of Taiwan’s large-sized TFT-LCD panel Companies”, **Omega**, 37, 686 – 697.
- Tucker, Howard, G. (1967), **A Graduate Course in Probability**, NewYork: Academic Press.
- Türkiye Büyük Millet Meclisi (2012), **Bilgi Toplumu Olma Yolunda Bilişim Sektöründeki Gelişmeler İle İnternet Kullanımının Başta Çocuklar, Gençler Ve Aile Yapısı Üzerinde Olmak Üzere Sosyal Etkilerinin Araştırılması Amacıyla Kurulan Meclis Araştırması Komisyonu Raporu**, S.Sayısı: 381, Ankara.
- Türkiye İstatistik Kurumu (2008), **Yıllık Sanayi ve Hizmet İstatistikleri Araştırması**, [http://www.tuik.gov.tr/VeriBilgi.do?alt\\_id=1035](http://www.tuik.gov.tr/VeriBilgi.do?alt_id=1035) (15.02.2014).
- Uemura, Yoshiki (2006), “Fuzzy Satisfactory Evaluation Method for Covering the Ability Comparison In the Context of DEA Efficiency”, **Control and Cybernetics**, 35 (2), 487-495.
- Ueda, Tohru ve Hoshiai, Yoko (1997), “Application Of Principal Component Analysis Forparsimonious Summarization Of DEA Inputs And/Or Outputs”, **Journal Of Theoperations Research Society Of Japan**, 40 (4), 466–478.
- Ulucan, Aydın (2002), “İSO 500 Şirketlerinin Etkinliklerinin Ölçülmesinde Veri Zarflama Analizi Yaklaşımı: Farklı Girdi Çıktı Bileşenleri ve Ölçeğe Göre Getiri Yaklaşımları ile Değerlendirmeler”, **Ankara Üniversitesi, Siyasal Bilgiler Fakültesi Dergisi**, 57 (2), 185-202.



- Uluslararası Yatırımcılar Derneği (2012), **2023 Hedefleri Yolunda Bilgi ve İletişim Teknolojileri**, İstanbul: Yased Yayınları.
- Uri, N. D. 2001. “Changing Productive Efficiency in Telecommunications in The United States”, **International Journal Of Production Economics**, 72, 121–137.
- Van Ark ve diğerleri (2002), “ICT Investments and Growth Accounts For The European Union, 1980–2000”, **Groningen Growth and Development Centre**, Groningen.
- Waggoner, B. Daniel ve diğerleri (1999), “The Forces that Shape Organisational Performance Measurement Systems: An Interdisciplinary Review”, **Int. J. Production Economics**, 60, 53-60.
- Wang, Ying-Ming ve diğerleri (2005), “Interval Efficiency Assessment Using Data Envelopment Analysis”, **Fuzzy Sets and Systems**, 153, 347-370.
- (2009), “Fuzzy Data Envelopment Analysis Based Upon Fuzzy Arithmetic with an Application to Performance Assessment of Manufacturing Enterprises”, **Expert Systems with Applications**, 36, 5205-5211.
- Wang, Yu-Jie (2008), “Applying FMCDM to evaluate financial performance of domestic airlines in Taiwan”, **Expert Systems with Applications**, 34, 1837–1845.
- Wang, Yu-Jie ve Lee, Hsuan-Shih (2008), “A clustering method to identify representative financial ratios”, **Information Sciences**, 178, 1087–1097.
- Wang, Ying Ming ve Luo, Ying (2010) “Integration of Correlations with Standard Deviationsfor Determining Attribute Weights in Multiple Attribute Decision Making”, **Mathematical and Computer Modeling**, 51(1- 2),1-12.
- Wei, Ching-Kuo Ve Diğerleri (2011), “Using the DEA-R Model in the Hospital Industry to Study the Pseudo-Inefficiency Problem”, **Expert Systems with Applications**, 38 (3), 2172-2176.
- Wen, Meilin ve Li, Huaishu (2009), “Fuzzy Data Envelopment Analysis (DEA): Model and Ranking Method”, **Journal of Computational and Applied Mathematics**, 223, 872-878.
- Wen, Meilin ve diğerleri (2010), “A New Ranking Method to Fuzzy Data Envelopment Analysis”, **Computers & Mathematics with Applications**, 59 (11), 3398-3404.

- World Bank (2014), **World Development Indicators**, <http://wdi.worldbank.org/table/5.12> (12.02.2014).
- World Economic Forum (2013), **The Networked Readiness Index**, WEF Publishing, <http://www.weforum.org/issues/global-information-technology> (15/02/2014).
- Wu, Desheng, Dash (2006), “Efficiency Analysis of Cross-Region Bank Branches Using Fuzzy Data Envelopment Analysis”, **Applied Mathematics and Computation**, 181, 271–281.
- Wu, Wei-Wen (2012), “An Integrated Solution For Benchmarking Using DEA, Gray Entropy, and Borda Count”, **The Service Industries Journal**, 32(2), 321-335.
- Yager, Ronald R. (1981), “A Procedure For Ordering Fuzzy Subsets Of The Unit Interval”, **Information Sciences**, 24 (2), 143–161.
- Yavuz, İlknur (2003), **Verimlilik ve Etkinlik Ölçümüne Yeni Yaklaşımlar ve İllere göre İmalat Sanayinde Etkinlik Karşılaştırmaları**, No. 473, Ankara: Milli Prodüktivite Merkezi Yayınları.
- Yazoğlu, Ruhattin ve İmamoğlu, Tuncay (2010), **Klasik Mantık**, Erzurum: Rağbet Yayınları.
- Yıldırım, Cemal (1998), **Mantık Doğru Düşünme Yöntemi**, Üçüncü Basım, Ankara: Bilgi Yayınevi.
- Ying, Zhang ve Ru-chao, Zhang (2010), “Study on the Third Party Logistics Service Providers’ Performance Evaluation Based on the Weighted Entropy and Analysis Process of Grey Relation”, **Proceedings of the International Conference on Management Science & Engineering**, (582-587), Melbourne, Australia.
- Yolalan, Osman Reha (1993), **İşletmeler Arası Görelî Etkinlik Ölçümü**, No: 483, Ankara: Milli Prodüktivite Merkezi Yayınları.
- Yörük, Nevin ve diğerleri (2013), “Examination of Relationship Between Stock Returns”, **Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi**, 13(2), 101-113.
- Zadeh, A. Lotfi (1965), “Fuzzy Sets”, **Information and Control**, 8, 338-353.
- (1975), “The Concept of a Linguistic Variable and its Application to Approximate Reasoning-I”, **Information Sciences**, 8, 199–249.

- Zamani, Mohammad Ali ve diğerleri (2010), “Smart Grid IT Infrastructure Selection: A T3SD Fuzzy DEA Approach”, **Proceedings of Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe** (1-7), Gothenburg, Sweden.
- Zeleny, Milan (1982), **Multiple Criteria Decision Making**, New York: McGraw-Hill.
- Zerfat-Angiz, Majid ve diğerleri (2006), “Solving Possibilistic Linear Programming Problem Considering Membership Function of the Coefficients”, **Advances in Fuzzy Sets and Systems** 1 (2), 131–142.
- (2010a), “Fuzzy Assessment of Performance of Decision Making Units Using DEA: A Non-Radial Approach”, **Expert Systems with Applications**, 37 (7), 5153–5157.
- (2010b), “Aggregating Preference Ranking with Fuzzy Data Envelopment Analysis”, **Knowledge-Based Systems**, 23 (6), 512–519.
- Zhou, Shu-Jing ve diğerleri (2008), “Research of Real Estate Investment Risk Evaluation Based on Fuzzy Data Envelopment Analysis Method”, **Proceedings of the International Conference on Risk Management And Engineering Management**, (444–448), Beijing, China.
- Zhu, Joe (2003), “Imprecise Data Envelopment Analysis (IDEA): A Review and Improvement with an Application”, **European Journal of Operational Research**, 144, 513–529.
- (2008), **Quantitative Models for Performance Evaluation and Benchmarking Data Envelopment Analysis with Spreadsheets**, 2. Baskı, New York: Springer.
- Zimmermann, Hans Jurgen (1976), “Description and Optimization of Fuzzy Systems”, **International Journal of General Systems**, 2, 209-216.
- (1991), **Fuzzy Set Theory and Its Applications**, Boston: Kluwer Academic Publishers.
- (1996), **Fuzzy Set Theory and Its Applications**, Third Edition, Massachusetts: Kluwer Academic Publishers.

Zuhdi, Ubaidillah ve Prasetyo, Ahmad Danu (2014), “Examining the Total Output Changes of ICT Sectors of Japan: An Approach of Input-Output”, **Procedia-Social and Behavioral Sciences**, 109(8), 659-663.

## ÖZGEÇMİŞ

Süleyman ÇAKIR, 01.05.1977 tarihinde Rize’de doğmuştur. İlköğretim ve Lise eğitimini Rize’de tamamladı. 2004 yılında Anadolu Üniversitesi İşletme bölümünden mezun oldu. 2011 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi SBE İşletme Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimini tamamladıktan sonra aynı yerde doktora programına başladı. ÇAKIR, 2009 yılından beri RTE Üniversitesi İİBF İşletme Bölümü Üretim Yönetimi ve Pazarlama Anabilim Dalında Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır.

Evli ve bir çocuk babası olan ÇAKIR’ın yabancı dili İngilizcedir.