



T.C.
OSMANIYE KORKUT ATA ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÖNETİM VE BİLİŞİM SİSTEMLERİ
ANABİLİM DALI

BULANIK VERİ ZARFLAMA ANALİZİ İLE KÖMÜR
İŞLETMELERİNİN ETKİNLİK SKORLARININ
İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Halenur SOYSAL KURT

OSMANIYE / 2017

T.C.
OSMANİYE KORKUT ATA ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
YÖNETİM VE BİLİŞİM SİSTEMLERİ ANABİLİM DALI

BULANIK VERİ ZARFLAMA ANALİZİ İLE KÖMÜR İŞLETMELERİNİN
ETKİNLİK SKORLARININ İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Halenur SOYSAL KURT

Danışman: DOÇ. DR. MUSTAFA FEDAİ ÇAVUŞ

Jüri Üyesi: YRD. DOÇ. DR. EMRE YAKUT

Jüri Üyesi: YRD. DOÇ. DR. BİLGE AKSAY

OSMANİYE / 2017

Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Müdürlüğüne;

Bu çalışma, jürimiz tarafından Yönetim ve Bilişim Sistemleri Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Başkan: Doç. Dr. Mustafa Fedai ÇAVUŞ
(Danışman)

Üye: Yrd. Doç. Dr. Emre YAKUT

Üye: Yrd. Doç. Dr. Bilge AKSAY

ONAY

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim elemanlarına ait olduklarını onaylarım.

07/08/2017

Doç. Dr. Bülent ÖZ
Enstitü Müdürü

NOT: Bu tezde kullanılan ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu'ndaki hükümlere tabidir.

ETİK BEYANI

Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
 - Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
 - Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
 - Kullanılan verilerde ve ortaya çıkan sonuçlarda herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
 - Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,
- bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim. 07/08/2017

Halenur SOYSAL KURT

ÖZET

BULANIK VERİ ZARFLAMA ANALİZİ İLE KÖMÜR İŞLETMELERİNİN ETKİNLİK SKORLARININ İNCELENMESİ

Halenur SOYSAL KURT

Yüksek Lisans Tezi, Yönetim ve Bilişim Sistemleri Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Mustafa Fedai ÇAVUŞ

Ağustos 2017, 77 sayfa

Gelişen ekonomi, sanayileşme ve nüfus artışı ile ülkemizin enerjiye olan talebi her geçen yıl artmaktadır. Ülkemiz mevcut üretim kapasitesinde yerli enerji kaynakları ile artan enerji talebini karşılamakta zorluk çekmekte olup enerji kaynaklarının ithalatına başvurmaktadır. Elektrik üretiminde en fazla kullanılan yakıtın kömür olduğu ve ülkemizin linyit rezervleri açısından zengin olduğu düşünüldüğünde enerji üretiminde kömüre yönelmek kaçınılmazdır. Ancak ülkemiz mevcut kömür rezervlerini etkin kullanamamaktadır. Kömür üretiminin artırılması için rezervlerin etkin ve verimli şekilde işletilmesi gerekmektedir. Bunu gerçekleştirebilmek kaynakların optimum düzeyde kullanımına bağlıdır. Veri Zarflama Analizi, işletmelerin kaynaklarını etkin bir şekilde kullanıp kullanmadığını araştırmaya ve işletmelerin etkinliğini benzer işletmelerle kıyaslamaya yardımcı olan bir yöntemdir.

Bu tez çalışmasının amacı, klasik ve bulanık veri zarflama analizi yöntemlerinin kömür madenciliği işletmelerine uygulanabilirliğini test etmek, kömür üretiminde önde gelen kuruluşlardan birisi olan Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumuna bağlı işletmelerin etkinliklerini incelenmek ve kullanılan iki yöntemin sonuçlarını karşılaştırmaktır.

Gerçekleştirilen analizler sonucunda, etkin olan ve olmayan işletmeler tespit edilmiş ve etkin faaliyet gösterme konusunda fikir verecek iyileştirme önerileri sunulmuştur. Ek olarak, klasik ve bulanık veri zarflama analizi yöntemlerinin işletmelerin etkinlik sıralamalarını benzer şekilde oluşturduğu ve her iki yöntemin de kömür madenciliği işletmelerinin etkinliklerini değerlendirmek için uygun olduğu anlaşılmıştır.

Anahtar kelimeler: Veri zarflama analizi, Bulanık mantık, Güvenilirlik teorisi, Ortak ağırlık kümesi, Kömür işletmeleri.

ABSTRACT**ANALYSING EFFICIENCY SCORES OF COAL ENTERPRISES BY FUZZY
DATA ENVELOPMENT ANALYSIS****Halenur SOYSAL KURT****Master Thesis, Department of Management and Information Systems****Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Mustafa Fedai ÇAVUŞ****August 2017, 77 pages**

With the emerging economy, industrialization and population increase, the energy demand of our country is increasing every year. Our country has difficulty in meeting the increasing energy demand with domestic energy sources at its current production capacity and is applying for the import of energy resources. When it is thought that the most used fuel in electricity generation is coal and our country is rich in terms of lignite reserves, it is inevitable to tend to coal mine in energy production. However, our country can not efficiently use existing coal reserves. Reserves must be operated efficiently and productively in order to increase coal production. Achieving this depends on optimum use of resources. Data Envelopment Analysis is a method that helps businesses investigate whether they are efficiently using the resources and compare the efficiency of businesses to similar businesses.

The purpose of this thesis is to test the applicability of classical and fuzzy data envelopment analysis methods to coal mining enterprises, to examine the efficiencies of the enterprises affiliated to Turkish Coal Enterprises, one of the leading companies in coal production, and to compare the results of the two methods used.

As a result of the analyzes performed, efficient and inefficient enterprises have been identified and suggestions for improvement have been given to give an idea of efficient operation. In addition, it has been found that classical and fuzzy data envelopment analysis methods are similar in that the efficiency rankings of the enterprises and both methods are suitable for evaluating the efficiencies of coal mining enterprises.

Keywords: Data envelopment analysis, Fuzzy logic, Credibility theory, Common set of weights, Coal enterprises.

ÖN SÖZ

Bu tez çalışmasında, önemli enerji kaynaklarımızdan olan kömürün üretiminin Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumuna bağlı işletmeler tarafından etkin şekilde yapılar yapılmadığı matematiksel yöntemlerden klasik ve bulanık Veri Zarflama analizi yöntemleri ile incelenmeye, etkin olan ve olmayan işletmeler tespit edilmeye çalışılmıştır.

Tez çalışmam boyunca bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan, akademisyenliğe adımımı attığım ilk andan itibaren bana bu meslekte yol gösteren, varlıklarını her an yanımda hissettiğim, manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen ve bana her zaman sonsuz güvendiklerini bildiğim değerli hocalarım Sayın Doç. Dr. M. Fedai ÇAVUŞ ve Yrd. Doç. Dr. Emre YAKUT'a en derin teşekkürlerimi sunarım.

Tüm hayatım boyunca büyük zorluklara rağmen beni eğiten, okutan ve kollayan annem Şirin SOYSAL ve babam Hüseyin SOYSAL'a teşekkürlerimi bir borç bilirim. Ayrıca akademisyen olmamda ve akademik çalışmalarım sürecinde beni her zaman destekleyip anlayış gösteren sevgili eşim Ümit KURT'a sevgi ve teşekkürlerimi sunarım.

Ağustos 2017

Halenur SOYSAL KURT
(Endüstri Yüksek Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
ÖN SÖZ	vi
KISALTMALAR	ix
TABLolar LİSTESİ	x
ŞEKİLLER LİSTESİ	xi

BÖLÜM I

GİRİŞ	1
--------------------	----------

BÖLÜM II

KÖMÜR SEKTÖRÜ

2.1. Dünyada Kömür Sektörünün Durumu	7
2.2. Türkiye’de Kömür Sektörünün Durumu.....	8
2.3. Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu	11

BÖLÜM III

VERİ ZARFLAMA ANALİZİ, BULANIK MANTIK, GÜVENİLİRLİK ÖLÇÜMÜ

3.1. Veri Zarflama Analizi	15
3.1.1. Veri Zarflama Analizi Modelleri	17
3.1.1.1. CCR (Charnes-Cooper-Rhodes) Modeli	18
3.1.1.2. Ortak Ağırlık Kümesine Dayalı VZA Modeli.....	19
3.1.2. Veri Zarflama Analizinin Uygulama Adımları.....	21
3.2. Bulanık Mantık	24
3.2.1. Bulanık Sayılar	27
3.2.1.1. Üçgen Bulanık Sayılar	27
3.2.1.2. Yamuk Bulanık Sayılar	29
3.2.2. Durulaştırma Yöntemleri	31
3.3. Güvenilirlik Ölçümü	35

3.4. Ortak Ağırlık Kümesine Dayalı Bulanık Veri Zarflama Analizi.....	38
3.4.1. Verilerin Bulanıklaştırılması	38
3.4.2. Güvenilirlik Teorisine ve Ortak Ağırlık Kümesine Dayalı Bulanık Veri Zarflama Analizi	39
3.4.3. Bulanık Etkinliklerin Karşılaştırılması ve Sıralanması	41

BÖLÜM IV

KLASİK VE BULANIK VZA İLE KÖMÜR İŞLETMELERİNİN ETKİNLİK ÖLÇÜMÜ

4.1. Kömür İşletmelerinin Etkinliğinin Ölçümünde Kullanılan Faktörler.....	44
4.2. Kömür İşletmelerinde Klasik Veri Zarflama Analizi Uygulaması	46
4.3. Kömür İşletmelerinde Bulanık Veri Zarflama Analizi Uygulaması.....	49

BÖLÜM V

SONUÇ VE ÖNERİLER	59
KAYNAKÇA	63
EKLER	68
ÖZGEÇMİŞ	77

KISALTMALAR

- ABD:** Amerika Birleşik Devletleri
BCC: Banker, Charnes ve Cooper modeli
CCR: Charnes, Cooper ve Rhodes modeli
CR: Güvenilirlik
CRS: Ölçeğe göre sabit getiri
ETKB: Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
EÜAŞ: Elektrik Üretim Anonim Şirketi
KVB: Karar verme birimi
MAX: En büyük
MIN: En küçük
MTA: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü
NEC: Gereklilik
POS: Olabilirlik
SUP: Supremum-En küçük üst sınır
ŞKG: Şu kısıtlara göre
TKİ: Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu
TTK: Türkiye Taşkömürü Kurumu
VRS: Ölçeğe göre değişken getiri
VZA: Veri zarflama analizi
WCA: World Coal Association-Dünya Kömür Birliği

TABLOLAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 1. 2013-2015 yılları arası ülkemiz enerji hammaddeleri üretimleri	11
Tablo 2. 2008-2012 yılları arası beş yılın işletmelere göre normalize edilmiş ortalamaları	47
Tablo 3. Ortak ağırlık kümesine ait optimal ağırlıklar	48
Tablo 4. Kömür işletmelerinin ortak ağırlık kümesine dayalı VZA'ya göre hesaplanan etkinlik skorları ve sıralaması	48
Tablo 5. Kömür işletmelerinin bulanıklaştırılmış girdileri	50
Tablo 6. Kömür işletmelerinin bulanıklaştırılmış çıktıları	51
Tablo 7. Farklı α düzeyleri için optimal ağırlıklar	53
Tablo 8. Farklı α düzeyleri için bulanık etkinlik skorları	53
Tablo 9. Farklı α düzeyleri için bulanık etkinlik skorları (devamı)	54
Tablo 10. Farklı α düzeylerinde bulanık tabanlı etkinlik sıralamaları	55
Tablo 11. Farklı α düzeylerinde durulaştırılmış değerleri hesaplanmış etkinlik skorları	56
Tablo 12. Farklı α düzeylerinde durulaştırılmış değerlere ölçek dönüşümü uygulanmış etkinlik skorları	57
Tablo 13. Farklı α düzeylerinde etkin bulunan işletmeler	57
Tablo 14. İşletmelerin klasik ve bulanık VZA'ya göre karşılaştırmalı etkinlik sıralaması	58

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1. 2016 yılı dünya rezerv oranları dâhil içerdikleri nem ve karbon oranına göre kömür tipleri	7
Şekil 2. 2005-2015 yılları arasında bulunan linyit rezervlerinin konumlarına göre miktarları	9
Şekil 3. 1973-2015 yılları arası Türkiye taşkömürü üretimi dağılımı	10
Şekil 4. 1973-2015 yılları arası Türkiye linyit üretimi dağılımı.....	10
Şekil 5. İki girdi ve bir çıktılı bir sistemin etkin sınırının gösterimi	16
Şekil 6. Ölçeğe göre getiri ve yönelim durumuna göre VZA yaklaşımları	18
Şekil 7. Bulanık kümelerin üyelik fonksiyonunu tanımlayan özellikler	26
Şekil 8. Üçgen bulanık sayı üyelik fonksiyonu	28
Şekil 9. Yamuk bulanık sayı için üyelik fonksiyonu.....	29
Şekil 10. Maksimum üyelik derecesi durulaştırma yöntemi	31
Şekil 11. Ağırlık merkezi durulaştırma yöntemi	32
Şekil 12. Ağırlıklı ortalama durulaştırma yöntemi.....	32
Şekil 13. En büyüklerin ortalaması durulaştırma yöntemi	33
Şekil 14. Toplamların merkezi durulaştırma yöntemi	33
Şekil 15. En büyük alanın merkezi durulaştırma yöntemi.....	34
Şekil 16. En büyüklerin ilki durulaştırma yöntemi.....	34
Şekil 17. İki üçgen bulanık etkinlik skoru arasındaki ilişkinin gösterimi - 1	42
Şekil 18. İki üçgen bulanık etkinlik skoru arasındaki ilişkinin gösterimi - 2.....	43

BÖLÜM I

GİRİŞ

Günümüzde üretim teknolojilerinin devamlı olarak kendini yenilemesi, sektörde güçlü isimlerin yer alması ve yenilerinin eklenmesi işletmeler için yoğun rekabet ortamı yaşanmasına sebep olmaktadır. Bunun yanında, her geçen gün ihtiyaç duyulan üretim kaynaklarının azalması işletmeleri kaynaklarını etkin şekilde kullanmaya zorlamaktadır. İşletmelerin yaşanan zorlu rekabet ortamında ayakta kalabilmeleri için çeşitli stratejiler geliştirerek güncel teknolojileri takip etmesi, değişken koşullara ayak uydurabilmesi ve maliyetlerini mümkün olan en düşük seviyeye düşürebilmesi gerekmektedir.

İşletmelerin, ayakta kalma çabalarını sürdürürken göz ardı etmemesi gereken en önemli husus, işletme performansının hangi düzeyde gerçekleştiği ve benzer mal veya hizmet üreten rakiplerine göre hangi konumda olduklarının bilinmesidir. Bunu anlayabilmek için rakipleri ile karşılaştırmalı bir değerlendirme yapmaları gerekmektedir. Bu aşamada yöneticiler üretim süreci hakkında karar almalarına yardımcı olacak bilimsel tekniklerden faydalanabilmektedir. Bu tekniklerden biri, işletmelerin üretim sürecini oluşturan birden fazla girdi ve çıktı değişkeninin hesaba katılarak işletmelerin görece etkinliklerinin ölçüldüğü Veri Zarflama Analizi (VZA)'dir. VZA ile işletmelerin görece etkinliklerinin değerlendirilebilmesi için, seçilen işletmelerin benzer pazar koşullarına, benzer amaçlara ve benzer girdi ve çıktılara sahip olması gerekmektedir. VZA, doğrusal programlama tabanlı bir yöntem olup; uygun karar birimlerinin seçilerek doğru verilerin toplanması durumunda görece etkinlik hakkında yaklaşık olarak doğru fikirler verecektir.

Etkinlik kavramını net bir şekilde anlayabilmek için verimlilik, etkinlik ve etkililik kavramlarının bir arada açıklanması faydalı olacaktır.

Verimlilik (productivity): Belirli bir dönem içerisinde üretilmiş olan belirli bir mal veya hizmet (çıkıtı) ile, üretimi gerçekleştirmek amacıyla aynı dönem içerisinde kullanılmış olduğu üretim kaynakları (girdi) arasındaki ilişkidir. “Üretilen çıktılar / Kullanılan girdiler” oranıyla bir işletmedeki belirli bir mal veya hizmetin üretiminin verimliliği ölçülmektedir.

Etkinlik (efficiency): İşletmenin mevcut imkânları dahilinde üretim kaynaklarını ne derece iyi kullandığı ile ilgili bir kavram olup bir işletmenin etkinliği optimal girdi bileşimi ile mümkün olan en fazla çıktıyı üretme başarısıdır (Farrell, 1957, s. 254).

Etkililik (effectiveness): Çıktılar ile ilgili olup işletmenin belirli bir mal veya hizmet için önceden belirlemiş olduğu amaçlara ulaşmadaki başarısıdır. Bir işletmenin etkililiği, gerçekleşen çıktıların amaçlanan çıktılara oranlanmasıyla ölçülmektedir.

Etkinlik kavramı genel olarak teknik, ölçek ve fiyat etkinliği olarak üç farklı şekilde ele alınabilmektedir. Teknik etkinlik; işletmenin belirli miktarda girdi kullanarak mümkün olan en fazla çıktıyı elde etmedeki başarısı ya da belirli miktardaki çıktıyı elde etmek için mümkün olan en az girdiyi kullanmadaki başarısı olarak tanımlanabilir. Ölçek etkinliği; işletmenin uygun ölçekte üretim yapmadaki başarısıdır. Fiyat etkinliği, işletmenin üretim sürecindeki girdi ve çıktılarının fiyatlarını göz önünde bulundurarak en düşük maliyeti sağlayan girdi/çıkıtı bileşimini sağlamadaki başarısıdır. Tahsis etkinliği olarak da adlandırılmaktadır.

Veri zarflama analizi etkinliği sayısal veriler üzerinden hesapladığı için, verilere karşı çok hassas olup veriler üzerinde yapılan herhangi bir değişiklik etkinlikleri önemli ölçüde değiştirebilmektedir. Bu bakımdan, VZA'nın doğru bir şekilde gerçekleştirilebilmesi için kesin ve net verilere ulaşılması gerekmektedir. Ancak gerçek dünya problemlerinde kesin ve net bilgilere ulaşmak her zaman mümkün olmamaktadır. Sistem analizi, yöneylem araştırması gibi birçok bilimsel alanda, modeller genellikle yaklaşık olarak bilinen veriler üzerinden kurulmaktadır. Geleceğin net olarak öngörülemediği, günlük hayatımızdaki çoğu şeyin belirsizlik içerdiği bir dünyada matematiksel modellerin “yaklaşık”, yani aslında “bulanık” veriler içermesi oldukça doğal bir durumdur. Verilerin kesin olmayan değerler olduğu ya da “biraz”, “çok”, “ılık”, “yaşlı” gibi net olmayan dilsel ifadelerin kullanıldığı durumların modellenmesinde “bulanık mantık” devreye girmektedir. Bulanık mantık, geleneksel ikili mantık sisteminden (1-0) daha esnek ve daha detaylı bilgi sağlamaktadır. Bunun esas sebebi; bulanık mantık tabanlı oluşturulan modellerin klasik modellerden farklı olarak, yapılan analiz sonucunda tek ve kesin bir sonuç vermek yerine gerçekleşmesi muhtemel sonuçları vermesidir. Bu bakımdan, bulanık veriler içeren problemlerin modellenmesinde klasik yöntemler yerine bulanık mantığa dayalı yöntemlerin kullanılması en doğru tercih olacaktır.

Dünyada ve ülkemizde endüstrileşme, teknolojik gelişmeler, artan teknoloji kullanımı ve insan nüfusunun her geçen gün hızla çoğalması ile birlikte enerjiye olan

talep de geçmişe göre fazlasıyla artmıştır. Ülkenin kalkınabilmesi ve ekonomisini büyütebilmesi için enerji talebini gerek mevcut kaynaklarla gerekse ithal ederek karşılaması gerekmektedir. Yerli kaynakların etkin ve verimli kullanılmaması durumunda ülkenin dışa bağımlı olması söz konusu olacaktır. Ülkenin enerji ithalatı konusunda ortaya çıkabilecek herhangi bir sorunda kendine yetebilir olması için yüksek başarı oranı sağlayabileceği yerli kaynaklara yönelmesi ve bu alanda teknolojilerini yenilemesi gerekmektedir. Türkiye'nin enerji arz güvenliği risklerini azaltabileceği ve enerji taleplerini önemli oranda karşılayabileceği en uygun kaynak, ülke sınırlarımız içerisinde yaygın olarak bulunan kömürdür. Kömür, dünyada ve ülkemizde elektrik üretiminde kullanılan en önemli kaynaklardan biridir. Ayrıca, demir-çelik sanayisinde ve çimento üretiminde en fazla kullanılan enerji kaynağıdır. Bu açılarından bakıldığında kömürün ülkemiz için önemi oldukça yüksektir. Ülkenin enerji taleplerini önemli ölçüde karşılaması istenilen kömürün, etkili arama faaliyetleri yürütülerek rezervlerinin tespit edilmesi, en düşük maliyetlerle çıkarılması ve en uygun şekilde işletilmesi gerekmektedir. Bu amaçla, devamlı olarak verimlilik ve etkinlik artırıcı çalışmaların yapılması doğru olacaktır. Kömür madenciliğindeki işletmelerin birbirleri arasında ne derece etkin faaliyette bulduklarını tespit etmek ve etkinliklerini iyileştirebilmek için kullanabilecekleri yöntemlerden birisi veri zarflama analizi yöntemidir.

Literatürde kömür madenciliğindeki işletmelerin etkinlik analizlerinin yapıldığı çalışma sayısı sınırlı sayıda olup genellikle veri zarflama analizi yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Yapılan çalışmalar arasında, işletmelerin teknik etkinliklerini ve ekonomik etkinliklerini inceleyen çalışmalar yer almaktadır. Uygulamalarda kullanılan girdi ve çıktı değişkenleri incelendiğinde çoğunlukla benzer değişkenlerin kullanıldığı anlaşılmıştır. Sınırlı veri tabanlarında yapılan araştırmalar sonucunda literatürde bulanık veri zarflama analizi ile kömür madenciliği işletmelerinin göreceli etkinliklerinin ölçüldüğü çalışmalara rastlanmamış olması, ülkemizde kömür madenciliğindeki işletmelerin bulanık VZA ile etkinliklerinin incelendiği bu çalışmaya ilk olma özelliği kazandırmaktadır.

VZA ile kömür işletmelerinin etkinliğinin ölçüldüğü ilk çalışmalardan biri Thompson, Dharmapala ve Thrall (1995)'in çalışmasıdır. Çalışmalarında Illinois kömür madenciliği verilerini kullanarak kârlılık oranlarını ve teknik etkinliği incelemek için bir VZA uygulaması gerçekleştirmişlerdir. Girdi olarak maden işgünü sayısı, ekipman yatırımları miktarı ve temiz kömür miktarını; çıktı olarak çıkarılan kömür miktarını kullanmışlardır. Yaptıkları analiz sonucunda, VZA'nın teknik etkinliği sağlarken maksimum kâr oranını beraberinde getirmediğini; tam tersi şekilde de VZA'nın

maksimum kâr oranını sağlarken teknik etkinliği beraberinde getirmediğini; bu sebepten kârlılık oranlarının ve teknik etkinliğin ayrı ayrı değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymuşlardır.

Kulshreshtha ve Parikh (2002), VZA ile 1985-1997 yılları arasındaki dönemde Hindistan'ın farklı bölgeleri için açık ocak ve yeraltı madenciliğinin ayrı ayrı etkinliğini ve verimliliğini incelemişlerdir. Çalışmanın sonucunda, Hindistan'da açık ocak madenciliğinin yeraltı madenciliği ile benzer verimlilik artışı sağladığını tespit etmişlerdir.

Fang, Wu ve Zeng (2009) çalışmalarında, VZA ile Çin ve Amerika Birleşik Devletleri (ABD)'deki borsaya kayıtlı kömür madenciliği şirketlerinin görece teknik etkinliklerini karşılaştırmaya çalışmıştır. Girdi değişkenleri aktif toplamı, işletme maliyetleri ve personel sayısıdır. Çıktı değişkenleri işletme gelirleri, vergi öncesi net kâr ve hisse başına kârlardır. Yaptıkları analizlerin sonucunda, Çin kömür madenciliği şirketlerinin etkinliklerinin ABD şirketlerine göre çok daha düşük olduğu tespit edilmiştir.

Kasap ve Konuk (2012), 2006 yılı verileriyle Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumuna (TKİ) bağlı olan Ilgın, Soma, Çan, Seyitömer, Yatağan, Milas, Orhaneli ve Tavşanlı linyit işletmelerinin görece etkinliklerini VZA ile incelemiştir. Analizde kullanılan girdiler, yatırım harcamaları, personel sayısı, kömür rezervi, kömür ısı değeri ve sülfür oranı olup çıktılar, satılan kömür miktarı ve toplam gelirdir. Analizler sonucunda Soma, Milas ve Ilgın işletmelerini etkin; Çan, Orhaneli, Tavşanlı, Seyitömer ve Yatağan işletmelerini görece olarak etkin olmayan işletmeler olarak bulmuşlardır.

Bakırcı, Yakut, Demirci ve Gündüz (2014) Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumuna bağlı sekiz linyit işletmesinin 2003-2010 yılları arasındaki görece etkinliklerini VZA ve veri madenciliği yöntemleri ile değerlendirmiştir. Girdi değişkenleri olarak, kömür rezervi, personel sayısı, araç sayısı, yatırımlar ve arazi alanı; çıktı değişkenleri olarak, üretim miktarı, satılabilir miktar ve satış miktarını kullanmışlardır. Sonuç olarak, etkinlik skorları hesaplanan işletmelerden Milas ve Seyitömer işletmelerinin tüm yıllarda etkin olduğunu, diğer işletmelerin etkinliklerinin yıllara göre değişkenlik gösterdiğini tespit etmişlerdir.

Aksoy, Ömürbek ve Karaatlı (2015) yaptıkları çalışmada, 2008-2012 yılları verilerini kullanarak AHP temelli Multimoora ve Copras yöntemleri ile Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumuna bağlı sekiz kömür işletmesinin performanslarını karşılaştırarak sıralamıştır. Analizde kullanılan değişkenler personel sayısı, rezerv miktarı, faaliyet kârı,

toplam satış, dekapaj miktarı, yatırım harcamaları ve üretim miktarıdır. Çalışmanın sonucunda, her iki yöntemle elde edilen etkinlik sıralamalarının aynı olduğunu tespit etmişlerdir.

Bu tez çalışmasının amacı; parametrik olmayan yöntemler olan klasik ve bulanık veri zarflama analizi yöntemlerinin kömür madenciliği işletmeleri için uygunluğunu test ederek kömür işletmelerinin faaliyetlerinin ne derece etkin olduğunu belirli faktörler açısından değerlendirmek, göreceli etkinlikleri ölçülen işletmeler arasında en iyi performans gösteren kömür işletmelerini tespit etmek ve her iki yöntemin sonuçlarını karşılaştırmaktır.

Tez çalışmasının giriş bölümünü takip eden ikinci bölümünde kömür hakkında kısa bilgiler, dünyada ve ülkemizde kömür sektörünün mevcut durumu ve Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu hakkında genel bilgiler yer almaktadır. Üçüncü bölümde, çalışmanın uygulama kısmında kullanılan veri zarflama analizi, bulanık mantık, güvenilirlik ölçümü ve bulanık VZA yöntemleri açıklanmaktadır. Dördüncü bölüm çalışmanın uygulama kısmını oluşturmaktadır. Bu kısımda kömür işletmelerinin etkinliğini etkilediği düşünülen faktörlerden bahsedilmiş, Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu işletmelerinin etkinlikleri klasik ve bulanık VZA yöntemleri ile ölçülmüştür. Çalışmanın beşinci ve son bölümünde, çalışmadan elde edilen sonuçlar ve bu sonuçlar doğrultusunda geliştirilen öneriler yer almaktadır.

BÖLÜM II

KÖMÜR SEKTÖRÜ

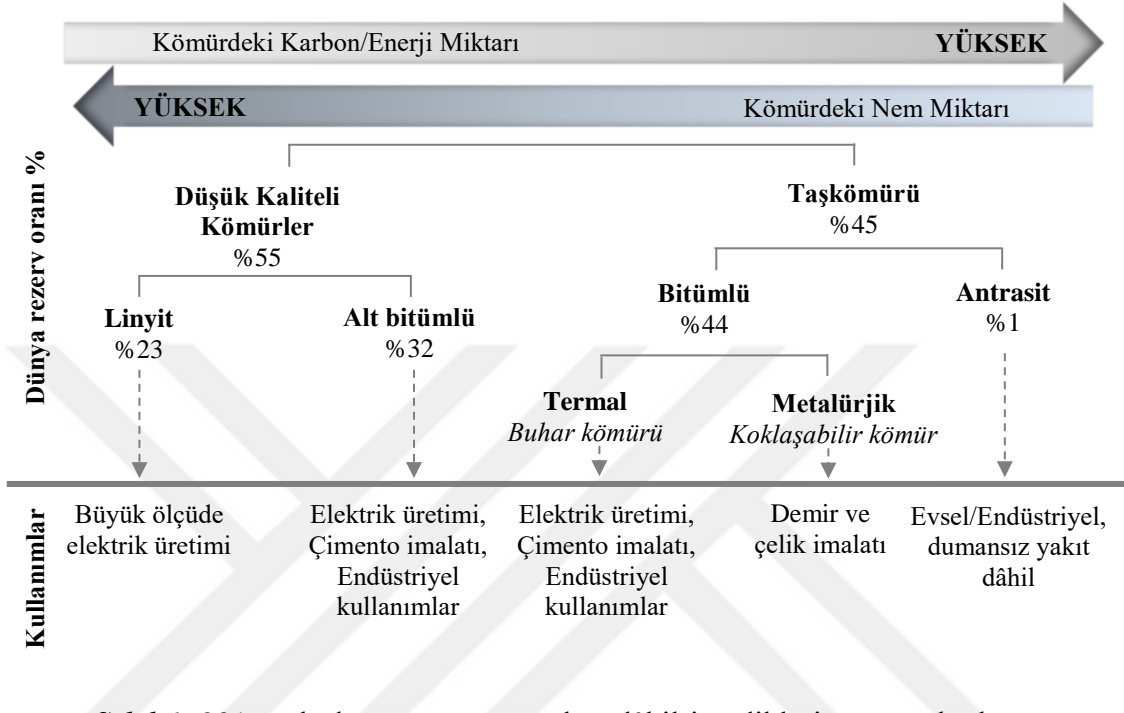
Kömür, dünyada yaygın olarak bulunan bir kayacı tanımlamak için kullanılmaktadır. Bu kayaç, içerisinde hidrojen, oksijen ve diğer elementlerin bulunduğu, karbon açısından zengin, bataklıklarda oluşan tarih öncesi bitki örtüsünün kalıntılarından meydana gelmiş, sıkıştırılmış yanabilen bir fosil yakıttır (Kernot, 2000, böl. 3, s. 1).

Dünya Kömür Birliği (WCA)'ne göre kömür oluşumu 290 milyon ila 360 milyon yıl öncesinden başlamıştır ve bugün kömürden alınan enerji milyonlarca yıl önce bitkilerin güneşten emdiği enerjiden gelmektedir. Kömür yataklarının kalitesi, sıcaklık, basınç ve “organik olgunluk” olarak adlandırılan oluşum süresiyle belirlenmektedir (WCA, 2017, s. 1).

Kömürün oluşum sürecinde başlangıçta “turba kömürü”, düşük organik olgunluktaki “kahverengi kömüre” yani “linyite” dönüşmüştür. Linyit, diğer kömür çeşitleriyle kıyaslandığında oldukça yumuşaktır ve rengi koyu siyahtan kahverenginin farklı tonlarına doğru değişmektedir. Sıcaklığın ve basıncın milyonlarca yıl süren etkileri ile linyitin olgunluğu daha da dönüşüme uğramış ve “alt bitümlü kömür” olarak adlandırılan bir türe dönüşmüştür. Bu kömürler, daha da sertleşip karararak “bitümlü” yani “taşkömür” formunu alana kadar kimyasal ve fiziksel değişikliklere uğramaya devam etmiştir. Uygun koşullar altında organik olgunluğun artması sonucunda “antrasit” oluşana kadar bu süreç devam edebilmektedir (WCA, 2009, s. 2).

Linyit ve alt bitümlü kömürler gibi düşük kaliteli kömürler genellikle mat, toprak görünümlü, yumuşak ve kırılmalı malzemelerdir. Karakteristik özellikleri, yüksek nem ve düşük karbon içermesi, bu sebepten düşük enerjili olmalarıdır. Düşük kaliteli kömürler daha çok elektrik enerjisi üretiminde kullanılmakta olup çimento imalatı ve endüstriyel amaçlarla kullanımı da yaygındır. Yüksek kaliteli kömürler genellikle, daha sert ve daha güçlüdür; aynı zamanda siyah ve camsı bir parlaklığa sahiptir. Daha düşük nem ve daha fazla karbon içermeleri sayesinde daha yüksek enerjilidirler. Koklaşabilir kömür, demir-çelik sektöründe yüksek fırınlarda yaygın olarak kullanılırken buhar kömürü daha çok termik santrallerde elektrik enerjisi üretimi için kullanılmaktadır. Antrasit, en yüksek kaliteli ve enerjili kömür olup en düşük nem ve en yüksek karbon miktarına sahip olan

kömür çeşididir. Tutuşması zor, kokusuz ve dumansız taşkömürü çeşididir. Doğada az bulunduğu için pahalı olup kullanımı sınırlıdır, çoğunlukla yüksek enerji gerektiren lokomotiflerde kullanılmaktadır (WCA, 2009, s. 2). Şekil 1’de 2016 yılı dünya kömür rezerv oranları dâhil içerdikleri nem ve karbon oranına göre kömür tipleri görülmektedir.



Şekil 1. 2016 yılı dünya rezerv oranları dâhil içerdikleri nem ve karbon oranına göre kömür tipleri

Kaynak: WCA, 2009, s. 4; Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı [ETKB], 2017a

2.1. Dünyada Kömür Sektörünün Durumu

Kömür, düşük maliyetlerle elde edilebilmesi, dünyanın her yerinde yaygın olarak bulunabilmesi, temiz ve emniyetli olması sayesinde dünyada elektrik üretiminde en fazla tüketilen enerji kaynakları arasında ikinci sırada kullanılan enerji kaynağı durumundadır ve ilerleyen yıllarda da diğer fosil yakıt türlerine göre stratejik konumunu koruyacaktır. Her geçen yıl doğalgaz ve petrol rezervleri kömüre oranla daha hızlı bir şekilde azalmaktadır. 2016 yılı itibariyle mevcut petrol rezervlerinin dünya enerji tüketimini 51 yıl karşılayabileceği, doğalgaz rezervlerinin tüketimi 53 yıl karşılayabileceği ve kömür rezervlerinin ise 114 yıl karşılayabileceği öngörülmektedir (ETKB, 2017a, s. 5).

2016 yılı dünya kömür rezervi verilerine göre yaklaşık 892 milyar ton kanıtlanmış işletilebilir kömür rezervi bulunmaktadır. Bu rezervin 403 milyar tonu antrasit ve bitümlü

kömür (%45), 287 milyar tonu alt bitümlü kömür (%32), 201 milyar tonu ise linyit (%23) halindedir.

Kömür rezervlerinin %34,8'lik pay ile en büyük kısmını oluşturan 310,5 milyar tonu Avrupa-Avrasya ülkelerinde, %32,3 pay ile 288,3 milyar tonu Asya-Pasifik ülkelerinde, %27,5 pay ile 245 milyar tonu Kuzey Amerika ülkelerinde, %3,7 pay ile 33 milyar tonu Afrika-Doğu Akdeniz ülkelerinde %1,6'lık kısmı ise 14,6 milyar ton ile Orta ve Güney Amerika ülkelerinde bulunmaktadır. Bu ülkeler içerisinde dünya kömür rezervleri içerisinde yaklaşık %27 ile en büyük paya sahip olan ülke ABD'dir. ABD'yi takip eden ülkeler sırasıyla yaklaşık %17,6 pay ile Rusya Federasyonu, %12,8 ile Çin, %9 ile Avustralya, %7 ile Hindistan, %4,5 ile Almanya, %3,8 ile Ukrayna, %3,8 ile Kazakistan ve %3,4 ile Güney Afrika Cumhuriyeti olmuştur. Bu oranlar incelendiğinde dünya kömür rezervlerinin yaklaşık %90'ının bu ülkelerin sınırları içinde yer aldığı anlaşılmaktadır (ETKB, 2017a, s. 11; 2017b; BP, 2016, s. 30).

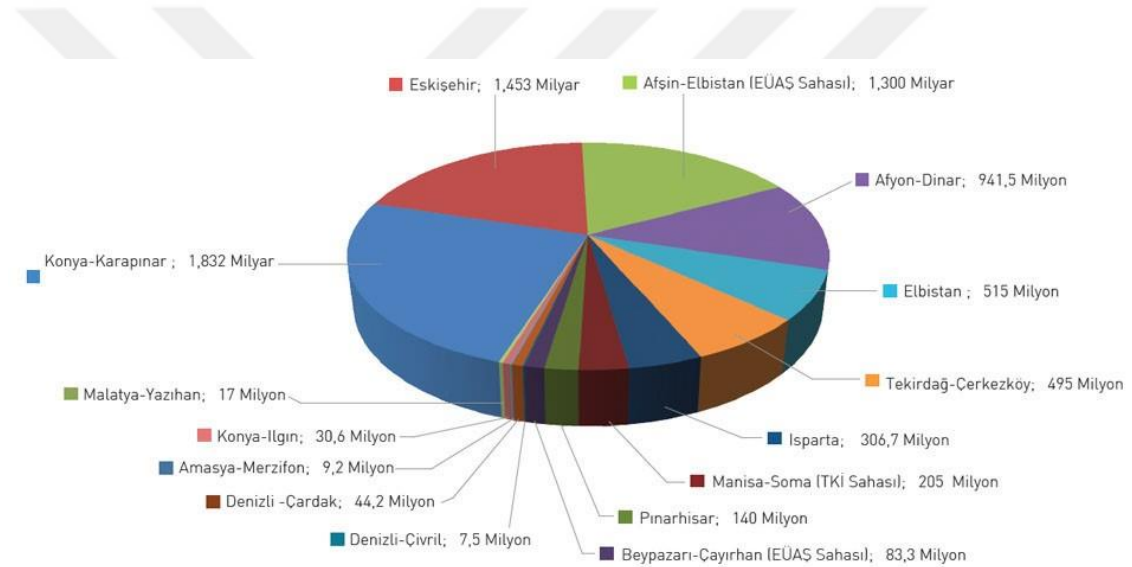
Dünya kömür üretimi son 35 yıl içerisinde yaklaşık iki katına çıkmıştır. Kömür üretimindeki artışın en temel sebebi dünya nüfusunun artmasına bağlı olarak elektrik enerjisindeki talebin artmasıdır. 2016 yılı elektrik üretim verileri incelendiğinde, %24,1 ile dünya genelindeki en yüksek elektrik üretim değerine sahip olan ülke Çin, ikinci sıradaki ülke %17,9 ile ABD olmuştur. Takip eden sırada sırasıyla Hindistan %5,4, Rusya %4,4 ve Japonya %4,3 gelmektedir. Türkiye 22 ülke arasında %1,1 elektrik üretim oranı ile 17. sırada yer almaktadır. Bu ülkelerin elektrik üretimlerinin kullanılan kaynaklara göre dağılımı incelendiğinde kömür, petrol, doğalgaz, nükleer, yenilenebilir enerji ve diğer enerji kaynakları arasında en yoğun kullanılan kaynağın kömür olduğu anlaşılmıştır. Çin, elektrik üretimini tüm enerji kaynakları içerisinde %72,5 oranla; Hindistan %75,1 oranla, ABD %39,5 oranla, Almanya %45,4 oranla kömürden sağlamaktadır (TKİ, 2017a, s. 4; ETKB, 2017a, s. 8).

2.2. Türkiye'de Kömür Sektörünün Durumu

BP dünya enerji istatistiklerine göre (2016, s. 30) dünya kömür rezervleri içerisinde Türkiye'nin sahip olduğu pay 8,7 milyar ton ile yaklaşık %1'dir. Kömür rezervlerimizin 8,38 milyar tonunu linyit ve alt bitümlü kömür, 322 milyon tonunu antrasit ve bitümlü kömür oluşturmaktadır. Rezervlerimizin yaklaşık %96,3'ü linyit ve

alt bitümlü kömürden oluşmaktadır. Linyitlerimizin büyük oranda düşük enerjili olması sebebiyle daha çok termik santrallerde kullanımı yaygınlaşmıştır.

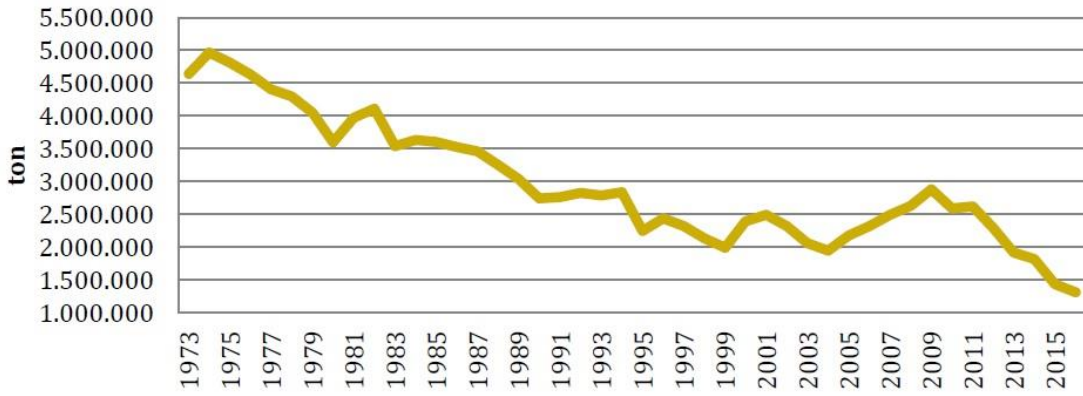
Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA)'nın verilerine göre Türkiye'de kömür sahaları içerisinde 2005-2015 yılları arasında bulunan linyit rezervleri miktarlarının ülkemizdeki konumlarına göre dağılımı Şekil 2'de gösterilmektedir. Şekil 2'deki sahaların dışında ülkemizde bulunan kömür sahaları arasında Adana-Tufanbeyli, Adıyaman-Gölbaşı, Amasya-Yeniçeltik, Ankara-Gölbaşı, Balıkesir, Bingöl-Karlıova, Bolu-Göynük-Mengen, Bursa-Keleş-Orhaneli, Çankırı-Orta, Çanakkale-Çan, Çorum-Dodurga, Edirne, İstanbul-Silivri, Kütahya-Gediz-Seyitömer-Tunçbilek, Muğla-Milas, Sivas-Kangal, Tekirdağ-Saray, Yozgat-Sorgun linyit sahaları ve Zonguldak-Bartın taşkömürü havzaları bulunmaktadır.



Şekil 2. 2005-2015 yılları arasında bulunan linyit rezervlerinin konumlarına göre miktarları

Kaynak: MTA, 2017

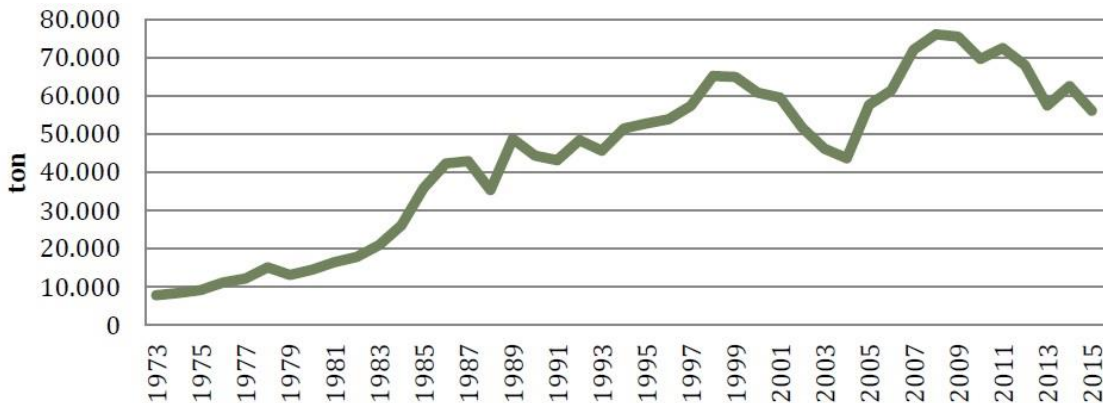
Ülkemizde 2015 yılı sonu itibariyle satılabilir kömür üretimi; 56,1 milyon ton linyit, 1,4 milyon ton taşkömürü ve 0,9 milyon ton asfaltit olmak üzere 2014 yılına göre %10,5 azalarak toplam 58,4 milyon ton olarak gerçekleşmiştir. Taşkömürünün üretimi 1980 yılından bugüne kadar büyük oranda düşüş göstermiştir. 2004-2009 yılları arasında artışa geçen taşkömürü üretimi bu tarihten sonra tekrar gerilemeye devam etmiş ve ülke enerjisi talebine olan katkısı her geçen yıl azalmıştır (Şekil 3). Son yıllarda gerçekleşen taşkömürü üretimindeki azalışın son yasal düzenlemelerden, ciddi maliyet sorunlarından ve ithal kömür rekabetinden kaynaklandığı düşünülmektedir (TKİ, 2017a).



Şekil 3. 1973-2015 yılları arası Türkiye taşkömürü üretimi dağılımı

Kaynak: TKİ, 2017a, s. 16

1970'li yılların başında gerçekleşen petrol krizleri ve elektrik üretiminde petrole bağımlılık, ülke içinde enerji arz güvenliği sorunlarını ortaya çıkarmıştır. Türkiye'nin o yıllardaki enerji arz güvenliği tedbirleri kapsamında, elektrik üretimine yönelik linyit işletmeleri yatırımlarının yapılması ile yerli kömür rezervlerinin önemi artmış, linyit üretimi hız kazanmıştır. 1970 yılında 5,8 milyon ton olan yerli linyit üretimi 2000'li yılların başına kadar artarak devam etmiş, o dönemlerde yapılan doğalgaz anlaşmaları ile üretimde düşüş yaşanmaya başlamıştır (Şekil 4). 2004 yılında en düşük seviyeye ulaşan linyit üretimi, o tarihten itibaren artış ve azalışlar göstererek 2015 yıl sonu itibariyle 56,1 milyon ton seviyesine ulaşmıştır (TKİ, 2017a, s. 16).



Şekil 4. 1973-2015 yılları arası Türkiye linyit üretimi dağılımı

Kaynak: TKİ, 2017a, s. 16

Tablo 1'de 2013-2015 yılları arasında ülkemizde enerji hammaddelerinin kurumlara ve maden cinsine göre üretim değerleri ve oranları yer almaktadır. Üretim

miktarlarının genel toplam içerisindeki payları incelendiğinde 2013 yılında kömür üretiminin en fazla gerçekleştiği kurum yaklaşık %35’lik bir oran ile TKİ olmuştur. TKİ’nin kömür üretimindeki payı günümüze yaklaştıkça azalmıştır. Diğer kamu kurumlarının üretim miktarları incelendiğinde her geçen yıl kömür üretim payının azaldığı görülmektedir. Özel sektör kuruluşlarının kömür üretim seviyelerine bakıldığında ise, 2014 ve 2015 yıllarında en fazla kömür üretim oranına sahip sektör olduğu ve üretimin yıllar itibariyle arttığı gözlenmiştir. TKİ’nin ve diğer kamu kurumlarının üretim oranlarının azalıp özel sektör kurumlarının payının artmasının en önemli sebebi son yıllarda kamu kurumlarında yapılan özelleştirmeler olmuştur. Kamuya ait olan Türkiye Taş Kömürü Kurumu (TTK)’nın yurtiçi kömür üretimine katkısı ise düşük oranda seyretmiştir.

Tablo 1

2013-2015 Yılları Arası Ülkemiz Enerji Hammaddeleri Üretimleri

Maden adı	Kurum	Üretim miktarı (ton)					
		2013	Pay %	2014	Pay %	2015	Pay %
Asfaltit		648.953	0,97	336.852	0,49	837.112	1,35
Bitümlü madde	TKİ	149.828	0,22	259.508	0,38	288.185	0,47
	EÜAŞ	16.011.459	23,93	18.987.907	27,63	10.855.125	17,53
Kömür (Linyit, kok, türetilmiş gazlar toplamı)	TKİ	23.257.009	34,76	22.854.114	33,25	12.432.171	20,07
	Diğer kamu	11.245.055	16,81	1.063.927	1,55	399.816	0,64
	Özel sektör	12.810.342	19,14	23.301.062	33,91	35.043.058	56,59
Taşkömürü	TTK	2.789.338	4,17	1.916.833	2,79	2.074.049	3,35
Genel Toplam		66.911.984	100	68.720.204	100	61.929.516	100

Kaynak: ETKB, 2017a, s. 41

2.3. Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu

Türkiye maden kömürlerinin çağın tekniğinden yararlanılarak en iyi şekilde işletilmesi ve yönetimin ihtisaslaşmış kadrolarla tek merkezden yürütülmesini sağlamak

amacıyla hazırlanıp 22.05.1957 tarih ve 6974 sayılı TKİ Kurumu Teşkilat Kanunu'nun 31 Mayıs 1957 tarih ve 9621 sayılı Resmi Gazete'de ilanı ile Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu kurularak kömür üretim faaliyetleri ile uğraşan Ereğli Kömür İşletmesi, Türkiye Kömür Satış ve Tevzii Müessesesi, Armutçuk Kömürleri İşletmesi ve Garp Linyitleri Müessesesi Etibank'tan ayrılp tüzel kişiliğe ve ekonomik bağımsızlığa sahip olan TKİ bünyesinde toplanmıştır (TTK, 2017; TKİ, 2015, s. 7).

04.10.1978 tarihi ve 2172 sayılı “Devletçe İşletilecek Madenler Hakkında Kanun” kapsamında devletçe aranması ve işletilmesi öngörülen madenlerden linyitin işletilmesi görevi aynı tarihte TKİ'ye verilmiştir. Yapılan düzenleme ile, termik santrallerin ihtiyaçlarının güvence altına alınarak zamanında karşılanması, kömür üretiminin belirli bir plan dâhilinde yapılarak enerji santral bölgelerine yakın ve linyit işletilmesine uygun bulunan kömür sahalarının ilgili devlet kuruluşu eliyle işletilmesi karara bağlanmıştır. Bu düzenleme sonucunda Orhaneli, Keles, Tunçbilek, Ömerler, Seyitömer, Işıklar, Eynez, Darkale, Tınaz-Bağyaka, Sivas-Kangal, Beypazarı-Çayırhan, Afşin-Elbistan ve Bingöl-Karlıova yatırım projeleri TKİ tarafından devreye sokulmuştur. Ancak sonraki yıllarda yatırım projelerinde daralmaya gidilerek TKİ'nin gerçekleştirdiği projelerden olan Sivas-Kangal 1989 yılında, Afşin-Elbistan 1995 yılında, Beypazarı-Çayırhan 2000 yılında EÜAŞ'a devredilmiştir. TKİ bünyesinden özelleştirilerek ayrılan kömür işletmeleri ise Seyitömer-Kütahya (2012), Yatağan ve Milas-Muğla (2013) ve son olarak Orhaneli-Bursa (2014) olmuştur (TKİ, 2015, s. 7).

Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu 08.06.1984 tarih ve 233 sayılı KHK ile düzenlenmiş olup bir İktisadi Devlet Teşekkülü olarak çalışmalarına 27.11.1984 tarih ve 18588 sayılı Resmî Gazetede yayımlanan “Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu Ana Statüsü” hükümlerine göre devam etmektedir (TKİ, 2017b).

TKİ Genel Müdürlüğü Ana Statüsü Madde 4'e göre kurumun amacı (TKİ, 2017b);

“Devletin genel enerji ve yakıt politikasına uygun olarak linyit, turb, bitümlü şist, asfaltit gibi enerji hammaddelerini değerlendirmek, ülkenin ihtiyaçlarını karşılamak, yurt ekonomisine azami katkıda bulunmak, plan ve programlar tanzim etmek, takip etmek, uygulama stratejilerini tespit etmek ve gerçekleşmesini sağlamaktır.”

TKİ 2015-2019 Stratejik Planı'na göre TKİ'nin stratejik amaçları (TKİ, 2015, s. 45);

- Yerli kömür üretimini ve pazar payını artırmak, pazarda kalıcı ve etkin olmak,
- Rekabet gücünü ve kârlılığı artırmak için maliyetleri düşürerek verimliliği yükseltmek,

- Araştırma ve geliştirme faaliyetlerine yoğunluk vererek yeni ve güncel teknolojiler edinmek, kömürün çeşitli alanlarda kullanılabilmesi için ürün yelpazesini genişletmek,
- Kurumsal yapıyı güçlendirmek, gelişimini ve sürekliliğini sağlamaktır.

2016 yılı Linyit Kömür Sektör Raporu'na göre ülkemizin toplam linyit rezervinin %22,7'lik kısmına ve linyit üretim kapasitesinin yaklaşık %20'sine Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu sahiptir. Kurum tarafından çıkartılan düşük kalorili kömür, eleme/ayıklama ve lavvar tesislerinden geçirildikten sonra kalitesi iyileştirilerek çevreye daha uyumlu hale getirilmekte ve termik santraller ile ısınma ve sanayi sektörlerine satılmaktadır. Kurumun endüstriyel pazarı içinde öncelikli hedefi, elektrik üretim tesislerinin birincil enerji ihtiyacıdır. Satış hacmi bakımından ise, ısınma ve sanayi sektörlerinin ihtiyacının karşılanmasıdır. TKİ'nin kömür sağladığı ana müşterileri arasında EÜAŞ ve bağlı ortaklıkları, çimento ve şeker fabrikaları, toprak, tekstil ve demir-çelik sanayi gibi üreticiler bulunmaktadır (TKİ, 2017a, s. 37).

TKİ'de kömür üretimi açık işletmecilik ve yeraltı işletmeciliği olarak iki şekilde yapılmaktadır. Açık işletmecilik yöntemi ile üretim, linyitin toprak yüzeyine yakın konumlanmasından ve ekonomik nedenlerden dolayı yapılırken, derin kömür damarları yeraltı işletmeciliği yöntemi ile ortaya çıkartılmaktadır. TKİ, yeraltı işletmeciliği ile üretilen tüvenan kömür miktarını artırmak için rödovans karşılığında ve hizmet alımı şeklinde yüklenici firmalardan destek almaktadır (TKİ, 2017a, s. 34).

2017 yılı itibariyle TKİ bünyesinde, merkez teşkilatı ile tüzel kişiliğe sahip iki adet bağlı müessese müdürlüğü, müesseseye bağlı bir işletme müdürlüğü ve genel müdürlüğe bağlı olup rödovans karşılığı özel kuruluşlara işlettirilen, sahalardaki çalışmaların kontrolü için kurulmuş olan yedi adet kontrol müdürlüğü bulunmaktadır (TKİ, 2017c, s. 12).

Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumuna bağlı müdürlükler:

- | | |
|--|------------------|
| - Garp Linyitleri İşletmesi Müessesesi Müdürlüğü | Tavşanlı-Kütahya |
| - Ege Linyitleri İşletmesi Müessesesi Müdürlüğü | Soma-Manisa |
| • Çan Linyitleri İşletmesi Müdürlüğü | Çan-Çanakkale |
| - Silopi Kontrol Müdürlüğü | Silopi-Şırnak |
| - Dodurga Kontrol Müdürlüğü | Dodurga-Çorum |
| - Göynük Kontrol Müdürlüğü | Göynük-Bolu |
| - Saray Kontrol Müdürlüğü | Saray-Tekirdağ |

- | | |
|---------------------------|-------------|
| - Ilgın Kontrol Müdürlüğü | Ilgın-Konya |
| - Keles Kontrol Müdürlüğü | Keles-Bursa |
| - Alpu Kontrol Müdürlüğü | Alpu-Ankara |

Bu tez çalışmasında, 2017 yılı itibariyle TKİ'nin bünyesinde veri zarflama analizi uygulaması yapabilmek için yeterli sayıda işletmenin olmaması sebebiyle, en fazla işletmenin olduğu yıllar olan 2008-2012 yılları arası ve o dönemde faaliyet gösteren kömür işletmeleri veri seti olarak kullanılmıştır. Kullanılan kömür işletmeleri; Yatağan-Muğla, Milas-Muğla, Ilgın-Konya, Orhaneli-Bursa, Soma-Manisa, Çan-Çanakkale ve Tavşanlı-Kütahya'dır. Bunlardan Yatağan ve Milas-Muğla işletmeleri 2013 yılında, Orhaneli-Bursa işletmesi 2014 yılında devredilmiş olup Ilgın-Konya işletmesi 2013 yılında kontrol müdürlüğüne dönüştürülmüştür.

BÖLÜM III

VERİ ZARFLAMA ANALİZİ, BULANIK MANTIK, GÜVENİLİRLİK ÖLÇÜMÜ

Bu bölümde çalışmanın uygulama kısmında kullanılacak yöntemlerden bahsedilecektir. Bu tez çalışması kapsamında Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumuna bağlı olarak faaliyet gösteren kömür işletmelerinin etkinlikleri klasik veri zarflama analizi ve güvenilirlik ölçümüne dayalı bulanık veri zarflama analizi yöntemleri ile hesaplanacaktır. Her iki VZA yöntemi uygulanırken analizde kullanılan kriterler için “ortak ağırlık kümesi” yaklaşımı esas alınacaktır. Öncelikle temel yöntem olan Veri Zarflama Analizi açıklanacak, sonrasında ise sırasıyla bulanık mantık, güvenilirlik ölçümü, güvenilirlik ölçümüne ve ortak ağırlık kümesine dayalı bulanık VZA yöntemi açıklanacaktır.

3.1. Veri Zarflama Analizi

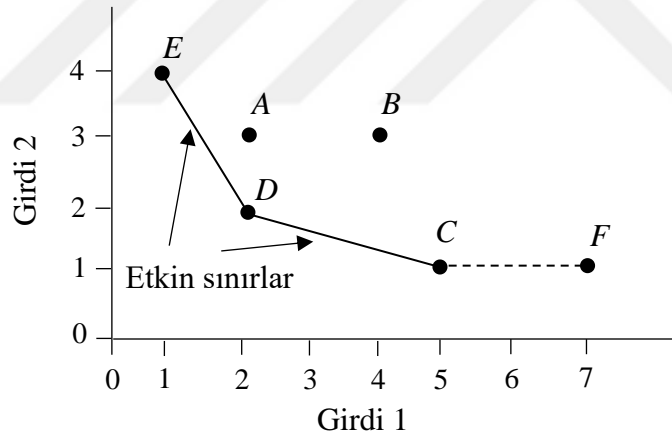
Veri Zarflama Analizi etkinlik ölçümü gerçekleştiren, doğrusal programlamaya dayalı parametrik olmayan bir yöntemdir. Bu yöntemde homojen olduğu varsayılan (üretilen mal veya hizmet yönünden birbirine benzeyen) karar verme birimlerinin (KVB) etkinlikleri kendi içlerinde kıyaslanmaktadır. İlk olarak Charnes, Cooper ve Rhodes (1978) tarafından ortak girdi ve çıktıya sahip KVB’lerin “karar verme etkinliği” ölçümünü geliştirme amacıyla literatüre kazandırılmıştır.

Karar verme birimleri, kâr amaçlı olan ya da olmayan işletmelerde sistemin etkinliğini etkileyen girdilerin çıktılarına dönüşümünü sağlayan birimlerdir. Bu birimler fabrikalar, hastaneler, oteller ve bankalar gibi mal ve hizmet üreten işletmeler olabileceği gibi ülkeler, şehirler ve coğrafi bölgeler de olabilmektedir (Cooper, Seiford & Tone, 2006, s. 22). KVB’ler girdilerin çıktıya dönüşüm sürecinde faaliyetlerini belli etkinlik düzeylerinde gerçekleştirmektedirler ve bu etkinlik düzeylerinin göreceli olarak ölçülmesi veri zarflama analizinin konusunu oluşturmaktadır.

VZA’da, homojen olan karar verme birimlerinin etkinliği hesaplanırken sürecin etkinliğini etkileyen çok sayıda ortak girdi ve çıktılar temel alınarak KVB’lerin birbirleri ile karşılaştırılması sonucu referans belirlenen en iyi KVB’ye göre göreceli bir

değerlendirme yapılmaktadır. Yapılan değerlendirmelerden yola çıkarak her bir KVB'nin görelî etkinlik skoru sıfır ile bir arasında değişen değerlerde hesaplanmakta ve KVB'ler etkin olup olmama durumuna göre sınıflandırılmaktadır. Yani, VZA ile KVB'lerin kendi başlarına bireysel etkinlikleri değil diğer KVB'ler içerisindeki görelî etkinlikleri hesaplanmaktadır.

VZA modellerinde her bir KVB'nin görelî etkinlik skoru, KVB'lerin etkin sınıra olan uzaklığına göre hesaplanmaktadır. Etkin sınır, görelî etkinlik skorları bire eşit olan etkin KVB'lerden oluşmaktadır. KVB'ler bu sınıra olan radyal uzaklığa göre etkin veya etkin olmayan birimler olarak ifade edilmektedir. Etkinliğin belirlenmesinde etkin sınırın ve radyal uzaklığın dikkate alınması "zarflama" terimi ile ifade edilmektedir. Etkin sınır, etkin olmayan KVB'lerin belirlenmesinin yanı sıra etkin olmayan KVB'lerin etkin olmalarını sağlamak için referans kümelerin belirlenmesinde de rol oynamaktadır. Etkin sınırın ve referans kümelerin daha iyi anlaşılabilmesi için örnek olarak Şekil 5'te iki girdi ve bir çıktılı (çıkıtı değerleri bire eşit olan) bir sistem gösterilmektedir (Cooper vd., 2006, s.30).



Şekil 5. İki girdi ve bir çıktılı bir sistemin etkin sınırının gösterimi

Kaynak: Cooper vd., 2006, s. 30

Şekil 5'te iki girdi ve bir çıktı (çıkıtı değeri bir olan) için CCR (ölçeğe göre sabit getiri) etkinliği A, B, C, D, E ve F olarak altı adet KVB kullanılarak oluşturulmuştur. Etkin sınır üzerinde bulunan E, D ve C birimleri görelî olarak etkin olan KVB'lerdir. F birimi grafikte etkin bir KVB gibi gözükürken, esasında C ile karşılaştırıldığında girdilerde fazlalık sıkıntısı bulunmaktadır. Bu durumda F birimi için "oransal etkin" ancak "karma" etkinsiz ifadesini kullanmak daha doğru olacaktır. Etkin sınırın altında

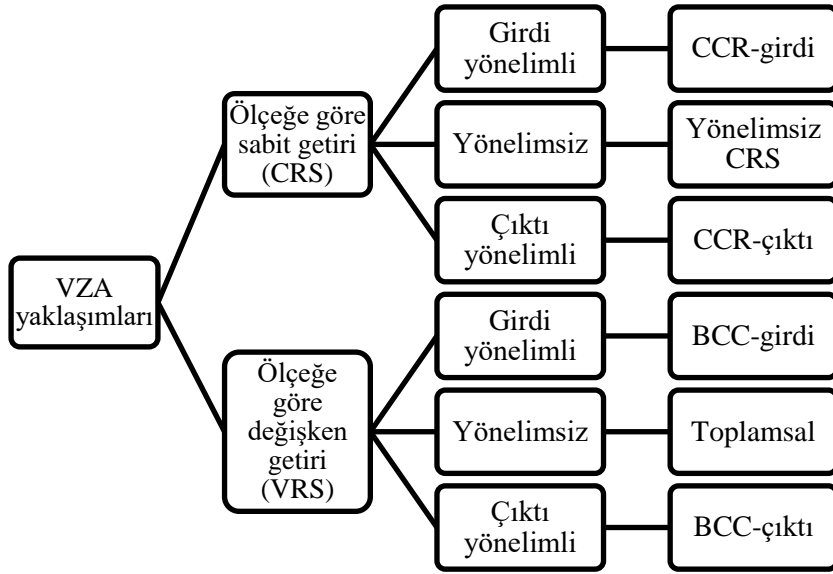
kalan A ve B birimleri ise etkin olmayan karar verme birimleridir. A biriminin etkin olabilmesi için referans kümesinin tespit edilip etkin sınırın üzerine gelmesi gerekmektedir. A 'nın referans kümesi radyal uzaklık dikkate alındığında E ve D birimlerinden oluşmaktadır. B 'nin referans kümesi ise D ve C birimlerinden oluşmaktadır.

3.1.1. Veri Zarflama Analizi Modelleri

Bu kısımda VZA modelleri hakkında kısa bir bilgi verilecektir. Şekil 6'da ölçeğe göre getiri ve yönelim durumlarına göre VZA modelleri genel kapsamıyla gösterilmektedir.

Veri zarflama analizi modelleri genel olarak ölçeğe göre sabit (CRS-constant returns to scale) ve ölçeğe göre değişken getirili (VRS-variable returns to scale) olmak üzere iki sınıfa ayrılmaktadır. Ölçeğe göre sabit getiri yaklaşımında, karar verme birimlerinin ölçeği ile etkinliği arasında önemli bir ilişki olmadığı ve girdilerin değiştiği oranda çıktılarının da değiştiği varsayılmaktadır. Ölçeğe göre değişken getiri yaklaşımında ise üretim süreci için ölçeğe göre artan, azalan ve sabit getiri söz konusudur.

VZA modelleri yönelimlerine göre girdi yönelimli, çıktı yönelimli ve yönelimsiz olarak farklılaşmaktadır. Girdi yönelimli modellerde, önceden belirlenmiş çıktı miktarlarını üretmek için kullanılacak olan girdi miktarlarının en aza indirgenmesi amaçlanmaktadır. Çıktı yönelimli modellerde, önceden belirlenmiş girdi miktarları kullanılarak maksimum çıktının üretilmesi amaçlanmaktadır. Toplam etkinliği hesaplayan ilk VZA modeli (CCR) Charnes vd. (1978) tarafından oluşturulmuştur ve ölçeğe göre sabit getiri olma zorunluluğu bulunmaktadır. Banker, Charnes ve Cooper (1984) tarafından geliştirilen BCC modelinde ise ölçeğe göre sabit getiri olma kısıdı yoktur. BCC modeli, ölçeğe göre değişken getiri varsayımı altında ölçeğe göre yerel etkinlikleri incelemektedir (Charnes vd., 1994, s. 7). Bir KVB'nin CCR-etkin olabilmesi için hem teknik hem de ölçek etkin olması gerekirken, BCC-etkin olabilmesi için yalnızca teknik etkin olması yeterli gelmektedir (Bowlin, 1998, s. 9).



Şekil 6. Ölçeğe göre getiri ve yönelim durumuna göre VZA yaklaşımları

Kaynak: Ali, 1994, s. 66

3.1.1.1. CCR (Charnes-Cooper-Rhodes) Modeli

Bu tez çalışmasının uygulama kısmında yalnızca temel CCR modeli kullanıldığı için bu kısımda VZA modellerinden sadece ölçeğe göre sabit getiri varsayımına dayalı temel CCR modeli açıklanacaktır.

Temel CCR modeli, belli miktardaki çıktıya karşılık gelen optimum girdi miktarı üzerine odaklanmaktadır. Karar verme birimlerinin etkinliği, sanal çıktıların sanal girdilere oranı ile sağlanmaktadır.

m girdili ve s çıktılı KVB_o için $u = (u_1, \dots, u_s)$ ve $v = (v_1, \dots, v_m)$ karar değişkenlerinin ağırlık vektörlerini ifade etsin. n adet KVB varken KVB_j ($j = 1, \dots, n$)'nin girdi ve çıktı vektörleri $x^t_j = (x_{1j}, \dots, x_{mj})$ ve $y^t_j = (y_{1j}, \dots, y_{sj})$ olsun. Temel CCR modelinin vektörel değişkenlerle ifade edilen kesirli programlama formülasyonu Denklem 1'deki gibidir.

$$\begin{aligned}
 & \text{Max} \quad \frac{u y_o}{v x_o}, \\
 & \text{s.k.g.} \quad \frac{u y_j}{v x_j} \leq 1 \quad j = 1, \dots, n \\
 & \quad \quad u \geq 1_s \epsilon, \\
 & \quad \quad v \geq 1_m \epsilon
 \end{aligned}
 \tag{Denklem 1}$$

Kesirli programlama modellerinin çözümü doğrusal programlamaya nazaran daha zor olduğu için bu model Denklem 2'deki şekilde doğrusal programlama modeline dönüştürülür, her iki model birbiri ile aynıdır.

$$\begin{aligned}
 & \text{Max } uy_0, \\
 & \text{ş.k.g. } vx_0 = 1, \\
 & \quad uy_j - vx_j \leq 0, \quad j = 1, \dots, n \\
 & \quad u \geq 1_s \epsilon, \\
 & \quad v \geq 1_m \epsilon
 \end{aligned}
 \tag{Denklem 2}$$

x_j ve y_j vektörleri karar verme birimlerinin girdi ve çıktılardaki miktarlarıdır ve tüm elemanları pozitifdir. ϵ değeri genellikle 10^{-6} değerini ya da sıfıra çok yakın bir değeri ifade ederken, 1_s ve 1_m tüm elemanları bire eşit olan satır vektörleridir. Doğrusal programlama modelini optimum yapan değer “bir” olarak bulunduğu KVB₀ etkin, birden küçük bulunduğu etkin değildir. Bu model ele alındığında $uy_j - vx_j \leq 0$ kısıdını en büyük değerle sağlayan KVB, etkinliği en yüksek olan, en tercih edilebilir KVB olacaktır.

3.1.1.2. Ortak Ağırlık Kümesine Dayalı VZA Modeli

Klasik VZA modellerinde, etkin olmayan birimler kendi aralarında etkinlik skorlarına göre sıralanabilirken, etkin KVB'ler kendi içlerinde kıyaslanamamakta, aynı etkinlikte gözükmektedir. Özellikle KVB sayısının az olduğu durumlarda, KVB'lerin büyük bir kısmının etkin bulunması durumunda VZA'nın ayırt ediciliği azalmış olacaktır. Ortaya çıkan bu sorunu gidermek için literatürde farklı VZA modelleri ve sıralama yöntemleri geliştirilmiştir (Cook & Kress, 1990, 1991; Andersen & Petersen, 1993; Mehrabian, Alirezaee & Jahanshahloo, 1999). Bu yöntemlerden biri ortak ağırlık kümesine dayalı VZA modelidir. VZA'da ortak ağırlık kümesinin kullanılması fikri ilk olarak Cook vd. (1990) ve Roll vd. (1991) tarafından karayolu bakım birimlerini değerlendirmek için ortaya konmuştur (Sinuany-Stern & Firedman, 1998, s. 470).

Klasik VZA modellerinde her bir KVB için ayrı ayrı model kurulmakta ve farklı KVB'ler için her bir faktöre farklı ağırlık kümeleri atanmaktadır. Bazı durumlarda aynı faktörlere büyük oranda farklılaşan ağırlıkların atanması kabul edilemez olabilmektedir.

Bu sorunun üstesinden gelebilmenin bir yolu ortak ağırlık kümesinin oluşturulmasıdır (Jahanshahloo vd., 2005, s. 266). VZA'da ortak ağırlık kümesinin kullanılmasındaki esas amaç, farklı KVB'lerdeki aynı faktörlerin önem ağırlıklarındaki farklılıkların en aza indirgenmesidir. Her KVB için faktörlere verilen ortak ağırlıklar sayesinde bir grup içerisindeki tüm KVB'ler kendi aralarında adil ve tarafsız şekilde karşılaştırılmaktadır (Roll vd., 1991, s. 8).

Temel CCR modelinde girdi ve çıktıların optimum ortak ağırlık kümesini (u^*, v^*) bulmak için oluşturulan çok amaçlı doğrusal programlama modeli şu şekildedir:

$$\begin{aligned}
 &Max \quad uy_j - vx_j, & j = 1, \dots, n \\
 &ş.k.g. \quad uy_j - vx_j \leq 0, & j = 1, \dots, n \\
 &u \geq 1_s \epsilon, \\
 &v \geq 1_m \epsilon
 \end{aligned}
 \tag{Denklem 3}$$

Oluşturulan bu çok amaçlı programlama modelini çözmek için modele ağırlıklı toplam metodu uygulandığında yeni doğrusal program Denklem 4'teki şekilde olacaktır.

$$\begin{aligned}
 &Max \quad uy - vx, \\
 &ş.k.g. \quad uy_j - vx_j \leq 0, & j = 1, \dots, n \\
 &u \geq 1_s \epsilon, \\
 &v \geq 1_m \epsilon
 \end{aligned}
 \tag{Denklem 4}$$

$y = \sum_{j=1}^n y_j$ ve $x = \sum_{j=1}^n x_j$ tüm KVB'lerin çıktı ve girdi vektörlerinin toplamıdır. Yeni modelin çözülmesi için verilerin normalize edilmesi gerekmektedir. Ortak ağırlık kümesine dayalı optimal ağırlıklar (u^*, v^*) bulunduğunda KVB_j ($j = 1, \dots, n$)'nin etkinlik skoru şu formüle göre hesaplanmaktadır:

$$\theta_j^* = \frac{u^* y_j}{v^* x_j}
 \tag{Denklem 5}$$

3.1.2. Veri Zarflama Analizinin Uygulama Adımları

Veri zarflama analizi ile karar verme birimlerinin etkinliğinin doğru bir şekilde ölçülebilmesi için sırasıyla belli aşamalardan geçilmesi gerekmektedir. Bu kısımda veri zarflama analizinin uygulama adımlarından bahsedilecektir.

Karar verme birimlerinin seçilmesi: Birbirine benzeyen bir grup karar biriminin performanslarının VZA ile birbiriyle karşılaştırılmalı olarak değerlendirmesine karar verildikten sonra yapılacak ilk şey analize katılacak karar verme birimlerinin seçilmesidir. KVB'lerin seçiminde dikkat edilecek en önemli husus, KVB'lerin kendi aralarında "homojen" olmasıdır. Bu sayede, KVB'lerin etkinlikleri anlamlı bir şekilde değerlendirilecek ve KVB'ler arasındaki farklılıklar daha rahat anlaşılacaktır.

KVB'lerin homojenliği şu şekilde sağlanmaktadır (Golany & Roll, 1989, s. 239):

- Seçilecek olan KVB'ler benzer amaçlar doğrultusunda aynı görevleri yapmalıdır.
- Tüm KVB'ler benzer pazar koşullarına ve benzer dış faktörlere sahip olmalıdır.
- Birimlerin performansını etkileyen faktörler (hem girdiler hem de çıktılar) aynı olmalıdır.

Göreliliklerin daha doğru bir şekilde değerlendirilmesi ve birbirinden farklı değerler alabilmesi için yeterli miktarda KVB seçilmesi gerekmektedir. KVB sayısının yetersiz seçilmesi durumunda VZA'nın etkinlikleri ayırt etmedeki gücü daha az olacaktır. Öte yandan KVB sayısının fazla olması durumunda ise gözlem kümesinin homojenliğinin azalması söz konusu olacaktır (Golany & Roll, 1989, s. 239).

Literatürde KVB sayısının belirlenmesi hususunda çeşitli görüşler bulunmaktadır. Bu görüşlerden biri, KVB sayısının girdi ve çıktı sayısı toplamından en az üç kat daha fazla olması gerektiğidir (Raab & Lichty, 2002, s. 587). Başka bir görüşe göre, KVB sayısı girdi ve çıktı sayısı toplamından daha fazla olmalıdır (Boussofiane, Dyson & Thanassoulis, 1991, s. 2). Diğer bir görüş ise, her bir girdi veya çıktı başına en az iki KVB seçilmesi gerektiğidir (Bowlin, 1987, s. 128). Literatürde KVB sayısının belirlenmesi konusunda kesin ve net bilgiler olmadığı için KVB sayısının az olduğu çalışmalar da bulunmaktadır (Mehrabian vd., 1999; Kasap & Konuk, 2012).

Girdi ve çıktıların belirlenmesi: Bir üretim sisteminin etkinliği amaçları gerçekleştirecek olan girdi ve çıktılara bağlı olarak ölçülmektedir ve sistemi en iyi temsil edecek girdi ve çıktıların belirlenmesi VZA’da büyük önem arz etmektedir. Sistemin performansını etkileyen faktörler tüm yönleriyle ele alınarak mümkün olduğunca fazla tutulmalıdır. Bu faktörler KVB’ler tarafından kısmen veya tamamen kontrol edilebilir olabildiği gibi, KVB’lerin kontrolü dışında olan çevresel faktörler de olabilmektedir (Golany & Roll, 1989, s. 240).

Faktörlerin seçiminde uzman kişilerin görüşlerinden veya daha önce aynı alanda uygulanmış çalışmalardan faydalanmak mümkündür. Ancak yine de performans ölçümünde aynı faktörlerin kullanılma zorunluluğu yoktur.

Gereksiz girdi ve çıktıların çıkartılması: Üretim sisteminin performansında etkisi olan tüm faktörler sıralandıktan sonra KVB’lerin ortak etkilendikleri ve etkinlik üzerinde ayırt edicilik yaratacak düzeyde önemi olan sınırlı sayıdaki faktörler tespit edilmelidir. Tespit edilen faktörler analize katılacak olan faktörler olup geri kalanlar performans üzerinde azımsanacak düzeyde etkisi olan ve analize dahil edilmeyen “açıklayıcı” faktörlerdir.

Faktörlerin eliminasyon aşaması VZA’nın sağlıklı bir şekilde gerçekleştirilebilmesi için önem arz etmektedir. Önemli olan bazı faktörlerin değerlendirmeye katılmaması sonucunda bu faktörleri etkin kullanan birimlerin etkinliğinin düşük çıkması söz konusu olacaktır.

Faktör eliminasyonu üç aşamalı olarak gerçekleştirilebilir (Golany & Roll, 1989, s. 240):

- **Peşinen ayırma:** KVB’lerin faaliyet gösterdiği alanda uzman farklı karar vericilere danışarak faktörlerin seçimi konusunda ortak görüş birliği sağlanabilir. Faktörler ile ilgili yeterli verinin varlığı ya da güvenilir olup olmadığı da faktörlerin seçim kararına baştan etki eden diğer bir unsurdur.
- **VZA olmayan nicel yöntemler ile ayırma:** Çeşitli istatistiksel yöntemlerle varyanslar ve kovaryanslar dikkate alınarak en az bilgi kaybı veren ve aralarında güçlü korelasyon bulunan faktörlerden birkaçı çıkartılarak eleme yapılabilir.
- **VZA tabanlı ayırma:** Faktör eliminasyonunun bir diğer yolu VZA ile deneme analizlerinin yapılmasıdır. Bu yöntemle eliminasyon yapılacaksa deneme analizi sonuçlarının iyi irdelenmesi gerekmektedir. Faktörlerin farklı

kombinasyonları ile etkinlik skorları üzerinde ufak farklılıklar yaratan faktörler tespit edilerek bu faktörler analizden çıkarılabilir.

Verilerin elde edilmesi ve veriler arasındaki dengesizliklerin giderilmesi:

Analize katılacak KVB'lerin ve girdi/çıktıların belirlenmesinden sonra her bir faktöre ait verilerin eksiksiz ve güvenilir şekilde toplanması gerekmektedir. Gerekli verilerin bulunamaması durumunda başvurulacak ilk yol, ait olduğu KVB'nin analize dahil edilmemesidir. Ancak bu durumda etkin sınırın ve buna bağlı olarak etkinliklerin değişmesi söz konusu olacaktır. Kayıp verilerin yerleri genellikle en iyi tahminin yapılması gibi öznel değerlendirmelerle doldurulmaktadır. Bunun yerine kayıp veri için iyimser, kötümser ve en iyi değerler tespit edilip beklenen değer hesaplanarak yerine yazılması mümkündür (Sarkis, 2007, s. 317).

Veri setinin toplanmasından sonra daha doğru analiz yapabilmek için veri büyüklüklerinin incelenerek dengesizliklerin giderilmesi gerekmektedir. KVB'lere ait veri setinde dengesizliklerin olmaması için her bir KVB'nin verisinin benzer büyüklükte olması daha uygun olacaktır. Ancak yine de farklı büyüklükteki veriler normalize edilerek aralarındaki dengesizlikler giderilebilmektedir. Bu sayede matematiksel modellerin optimal sonucu verememe probleminin önüne geçilebilir.

VZA ile göreliliğin ölçülmesi: Verilerin toplanıp düzenlenmesi aşamasından sonra KVB'lerin göreliliğinin ölçülmesi için amaca en uygun VZA modeli belirlenerek analiz gerçekleştirilmelidir. Veri zarflama analizi modelleri DEAP, EMS, MDEAP, Frontier Analyst gibi VZA'ya yönelik hazırlanmış paket programlar ile çözülebildiği gibi KVB'lerin etkinlik skorları için MS Excel Solver, MATLAB, Lingo gibi doğrusal programlama çözebilen programlar da kullanılabilir.

VZA ile analiz gerçekleştirildikten sonra her bir KVB'nin göreliliği skorları hesaplanacak ve en iyi faaliyeti gösteren karar birimleri etkinlik sınırını oluşturacaktır. Analize tabi tutulan tüm karar birimleri sıfır ile bir arasında değişen etkinlik skorlarına sahip olacaktır.

Her bir KVB'nin etkinlik skorlarının değerlendirilmesi: Göreliliği skorları hesaplanan karar birimlerinden etkinlik sınırı üzerinde yer alanlar etkin KVB'lerdir ve bunların etkinlik skorları birine eşittir. Etkin sınırın altında olan birimler ise göreliliği olarak etkin olmayan birimlerdir. Ancak analiz bulanık tabanlı gerçekleştirildiği takdirde bu sonuç farklı olabilmektedir.

Etkin olmayan KVB'lere iyileştirme önerileri geliştirilmesi: Göreli etkinlikleri hesaplanan KVB'lerden etkin bulunmayanların etkin olabilmeleri için gerekli görüldüğü durumlarda iyileştirme önerileri geliştirilebilir. Bunun için etkin olmayan KVB'lere etkin birimlerden oluşan referans kümeler atanarak seçilen modelin amacına uyacak şekilde girdi veya çıktılarda iyileştirmeler yapılabilir.

Genel sonuçların değerlendirilmesi: Etkinliği hesaplanan her bir KVB'nin detaylı incelemesi yapıldıktan sonra analizin genel sonuçlarının değerlendirmesi yapılmalıdır. Burada üzerinde en çok durulması gereken husus, etkinliği en düşük bulunan birimlerin etkin olmama sebeplerinin neler olabileceği ve bu birimler için neler yapılabileceğidir.

3.2. Bulanık Mantık

Bulanık küme kavramı ilk kez 1965 yılında matematik ve bilgisayar bilimcisi olan Prof. Dr. Lotfi Aliasker Zadeh tarafından yapılan çalışma ile literatüre kazandırılmıştır. Zadeh'in yaptığı bu çalışma bulanık küme teorisinin gelişimini, daha genel anlamda da bulanık mantığın gelişimini sağlamıştır. Bulanık mantık, geleneksel mantığa dayalı sistemlerin aksine, kesin olan akıl yürütme yöntemleri için değil de yaklaşık olan akıl yürütme yöntemleri için bir model sağlamayı amaçlamaktadır (Zadeh, 1990, s. 95).

“Bulanık” terimi gözlemlerin veya eylemlerin tanımlanmasında küme sınırlarının net olarak tanımlanamadığı durumları ifade etmektedir. Örneğin, 185 cm uzunluğundaki bir adamın “uzun adamlar” sınıfında olduğunu rahatça söyleyebiliriz, fakat 170 cm uzunluğundaki bir adamın bu sınıfta olup olmadığını söyleyebilmek oldukça zor ve belirsizdir. Çünkü “uzun” sıfatının belirli sınırları tanımlanmamıştır. Bu tarzdaki bulanıklıklar günlük hayatımızın her anında ve her yerinde bulunmaktadır (Chen & Hwang, 1992, s. 42). Başka bir örnek olarak, “bugün hava sıcaklığı 20 derece” cümlesi kesin bir durumu ifade ederken “bugün hava sıcaklığı yaklaşık 20 derece” cümlesi bulanık bir durumu ifade etmektedir. Bu ifadeden yola çıkarak havayı sıcak ya da soğuk şeklinde kesin olarak tanımlayabilmek ise oldukça zordur. Çünkü havanın sıcak ya da soğuk olma durumu kesin sınırlar ile ayrılmamıştır ve kişiden kişiye göre değişebilmektedir. Bu durumda hava sıcaklığı için “serin” ve “ılık” gibi ara kavramlar

devreye girmektedir, bu da hissedilen hava sıcaklığının “bulanık” olduğunu ortaya koymaktadır.

Geleneksel iki değerli (0-1) mantıksal sistemlerin ve klasik küme teorisinin gerçek hayattaki belirsizlik, kesin olmama ve karmaşıklık karşısındaki yetersizliğinin fark edilmesi, bulanık küme teorisinin ve bulanık mantığın bilimsel teorilerdeki ve uygulamalarındaki gelişimini tetikleyen unsur olmuştur (Klir & Yuan, 1995, s. 3).

Bulanık küme kavramını daha iyi anlayabilmek için öncelikle klasik yani geleneksel küme kavramını iyi bilmek ve iki küme arasındaki farkları iyi analiz edebilmek gerekmektedir. Bir klasik küme, bir bütün olarak düşünülen şüphesiz ve kesin olan nesnelerin toplamından oluşmaktadır. Küme içerisindeki nesnelere kümenin elemanları olarak adlandırılmaktadır. Her bir klasik kümenin şu iki durumu yerine getirmesi gerekmektedir: Birincisi, küme elemanları birbirlerinden ayırt edilebilir olmalıdır. İkincisi, verilen herhangi bir nesne kümenin ya elemanıdır ya da elemanı değildir. Yani “*a, A kümesinin bir elemanıdır.*” önermesi verilen A kümesi için ya doğrudur ya da yanlıştır. Bu bakımdan klasik kümelerin, kümenin elemanlarını elemanı olmayanlardan ayıran keskin sınırları vardır diyebiliriz. Bulanık kümelerin klasik kümelerden en temel farkı, bulanık kümeler için ikinci durumun geçerli olmamasıdır ve bunun sonucunda bulanık kümelerin keskin sınırlara gerek duymamasıdır (Bělohlávek, Dauben & Klir, 2017, s. 20).

Bir bulanık küme olarak tanımlanan \tilde{A} kümesi, herhangi bir x elemanı için $\mu(x)$ üyelik fonksiyonu ile karakterize edilmektedir ve $\mu(x)$ 'in değeri x elemanının bulanık \tilde{A} kümesindeki üyeliğinin derecesini temsil etmektedir. Herhangi bir bulanık \tilde{A} kümesinin üyelik fonksiyonu $\mu_{\tilde{A}}(x) = [0,1]$ aralığında değerler almaktadır ve bu fonksiyonun değeri bir ne kadar yaklaşırsa x 'in \tilde{A} kümesindeki üyeliğinin büyüklüğü de o kadar artmaktadır (Zadeh, 1965, s. 339). Yani x 'in üyelik fonksiyonunun $\mu_{\tilde{A}}(x) = 0$ olması x 'in \tilde{A} kümesine ait olmadığını, $\mu_{\tilde{A}}(x) = 1$ olması x 'in bulanık \tilde{A} kümesine ait ve tam üye olduğunu ifade etmektedir. A kümesi klasik yani sıradan bir küme ise, x 'in A kümesinde olup olmamasına göre üyelik fonksiyonu $\mu_A(x) = 1$ ya da 0 olacaktır ve bulanıklık ortadan kalkacaktır.

Bulanık kümelerin tüm bilgileri üyelik fonksiyonları ile tanımlandığı için bu fonksiyonun özellikleri şu şekilde açıklanabilir (Ross, 2010):

Öz: Bulanık bir küme içerisinde tam üyeliğe sahip elemanlardan oluşan kümedir. Bu elemanlar bulanık kümedeki en büyük üyelik derecesine sahiptir ve buradaki üyelik fonksiyonları $\mu(x) = 1$ 'dir.

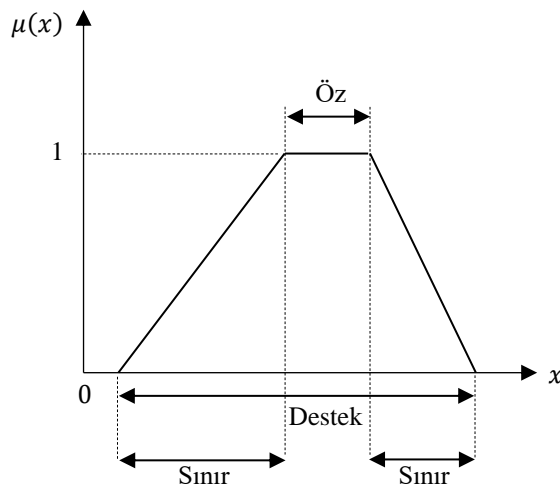
Destek: Bulanık bir küme içerisinde, sıfırdan farklı üyelik derecesine sahip elemanların oluşturduğu kısımdır, yani üyelik fonksiyonları $\mu(x) > 0$ 'dır.

Sınırlar: Bulanık bir küme içerisinde, üyelik derecesi sıfırdan farklı olan fakat bulanık kümeye tam üyeliği olmayan elemanlardan oluşan kısımdır, yani üyelik fonksiyonları $0 < \mu(x) < 1$ 'dir. Bu elemanların, bulanık küme içerisinde bulanıklık dereceleri vardır.

Yükseklik: Bir bulanık küme içerisindeki en büyük üyelik derecesi kümenin yüksekliğini vermektedir. Yani $\tilde{A} \in \tilde{A}(\mathbb{R})$ olarak tanımlanan bir bulanık \tilde{A} kümesi için $yükseklik(\tilde{A}) = \max(\mu(x))$ 'tir. Normal bir bulanık kümede $\mu(x) = 1$ olduğu noktada bulanık kümenin yüksekliği 1'dir. Eğer bir bulanık kümede $yükseklik(\tilde{A}) < 1$ ise bu küme subnormaldir.

Gечиş noktaları: Bir bulanık küme içerisinde, üyelik dereceleri $\mu(x) = 0,5$ 'e eşit olan elemanların oluşturduğu kümedir.

Bir bulanık kümenin üyelik fonksiyonu genel olarak öz, destek ve sınırlardan oluşmaktadır ve Şekil 7'de normal bulanık kümeler için bu özellikler gösterilmektedir.



Şekil 7. Bulanık kümelerin üyelik fonksiyonunu tanımlayan özellikler

Kaynak: Ross, 2010, s. 90

3.2.1. Bulanık Sayılar

Bulanık sayılar reel düzlemin özel alt kümeleridir ve “yaklaşık yedi”, “dokuza yakın”, “birkaç” gibi kesin olmayan değerlerle işlem yapabilmeyi kolaylaştırmak için kullanılmaktadır (Chen & Hwang, 1992, s. 66). Bulanık küme $\tilde{A} \in \tilde{A}(\mathbb{R})$ 'nin bulanık sayı olarak tanımlanabilmesi için şu şartları sağlaması gerekmektedir (Hanss, 2005, s. 45):

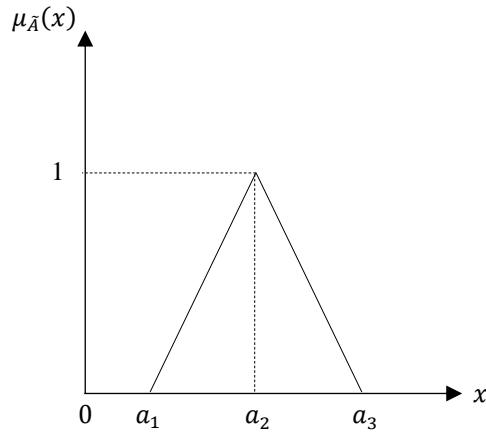
1. \tilde{A} normal bulanık küme olmalıdır, yani $\text{yükseklik}(\tilde{A}) = 1$ olmalıdır.
2. \tilde{A} konveks olmalıdır.
3. $\bar{x} \in \mathbb{R}$ kümesinde tanımlı üyelik fonksiyonu $\mu_{\tilde{A}}(\bar{x}) = 1$ olan en az bir elemanı olmalıdır, yani $\text{öz}(\tilde{A}) = \bar{x}$ olmalıdır.
4. $x \in \mathbb{R}$ kümesinde tanımlı $\mu_{\tilde{A}}(x)$ üyelik fonksiyonu en azından parçalı sürekli olmalıdır.

Bulanık sayılarda aritmetik işlemler Zadeh'in genelleme ilkesi (Zadeh, 1975) esas alınarak yapılmaktadır. Genelleme ilkesi, klasik küme teorisindeki standart cebirsel ve aritmetik işlemlerin bulanık cebirsel işlemlere ve bulanık aritmetiğe genellenebilmesidir (Ross, 2010, s. 408).

Bulanık sayılar genellikle üyelik fonksiyonlarının grafik üzerindeki gösteriminde aldıkları şekle göre adlandırılmaktadır. Literatürde en çok karşılaşılan bulanık sayı türleri üçgen (Kaufmann & Gupta, 1985) ve yamuk bulanık sayılar olmasına rağmen bazı uygulamalarda farklı bulanık sayı türleri de tercih edilmektedir. Bulanık sayı kavramına ve aritmetik işlemlerine katkı sağlayan önemli çalışmalardan birkaçı Mizumoto ve Tanaka (1976), Jain (1976), Dubois ve Prade (1978), Nguyen (1978) ve Nahmias (1978) tarafından yapılmış çalışmalardır.

3.2.1.1. Üçgen Bulanık Sayılar

Literatürdeki çalışmalarda sıklıkla tercih edilen bulanık sayı tiplerinden biri üçgen bulanık sayılardır. \tilde{A} üçgen bulanık sayısı, $\tilde{A} = (a_1, a_2, a_3)$ şeklinde üçlü sayı bileşiminden oluşmaktadır ve üyelik fonksiyonunun şekilsel gösteriminin üçgen tipinde olmasından dolayı bu ismi almıştır. \tilde{A} üçgen bulanık sayısının üyelik fonksiyonuna göre şekilsel gösterimi Şekil 8'deki gibidir.



Şekil 8. Üçgen bulanık sayı üyelik fonksiyonu

Üçgen bulanık \tilde{A} sayısının herhangi bir x değeri için üyelik fonksiyonu şu şekilde hesaplanmaktadır:

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq a_1 \text{ ise} \\ \frac{x-a_1}{a_2-a_1}, & a_1 < x \leq a_2 \text{ ise} \\ \frac{a_3-x}{a_3-a_2}, & a_2 < x < a_3 \text{ ise} \\ 0, & x \geq a_3 \text{ ise} \end{cases} \quad \text{Denklem 6}$$

$\tilde{A} = (a_1, a_2, a_3)$ ve $\tilde{B} = (b_1, b_2, b_3)$ ile gösterilen iki üçgen bulanık sayının matematiksel işlemlerde kullanımın anlamlı olabilmesi için gerekli olan aritmetik işlemler şu şekilde gerçekleştirilmektedir (Denklem 7-14) (Chen & Hwang, 1992, s. 92):

Toplama işlemi:

$$\tilde{A}(+) \tilde{B} = (a_1 + b_1, a_2 + b_2, a_3 + b_3) \quad \text{Denklem 7}$$

Çıkarma işlemi:

$$\tilde{A}(-) \tilde{B} = (a_1 - b_3, a_2 - b_2, a_3 - b_1) \quad \text{Denklem 8}$$

Çarpma işlemi:

$$\tilde{A} > 0, \tilde{B} > 0 \text{ için } \tilde{A}(\times) \tilde{B} = (a_1 \times b_1, a_2 \times b_2, a_3 \times b_3)$$

$$\tilde{A} < 0, \tilde{B} > 0 \text{ için } \tilde{A}(\times) \tilde{B} = (a_1 \times b_3, a_2 \times b_2, a_3 \times b_1)$$

$$\tilde{A} < 0, \tilde{B} < 0 \text{ için } \tilde{A}(\times) \tilde{B} = (a_3 \times b_3, a_2 \times b_2, a_1 \times b_1)$$

Denklem 9

Sabit bir sayı ile çarpma işlemi:

$$k > 0 \text{ için, } k \in R: k(\times)\tilde{A} = (ka_1, ka_2, ka_3)$$

$$k < 0 \text{ için, } k \in R: k(\times)\tilde{A} = (ka_3, ka_2, ka_1)$$

Denklem 10

Bölme işlemi:

$$\tilde{A} > 0, \tilde{B} > 0 \text{ için } \tilde{A}(\div)\tilde{B} = \left(\frac{a_1}{b_3}, \frac{a_2}{b_2}, \frac{a_3}{b_1}\right)$$

Denklem 11

$$\tilde{A} < 0, \tilde{B} > 0 \text{ için } \tilde{A}(\div)\tilde{B} = \left(\frac{a_1}{b_1}, \frac{a_2}{b_2}, \frac{a_3}{b_3}\right)$$

Denklem 12

$$\tilde{A} < 0, \tilde{B} < 0 \text{ için } \tilde{A}(\div)\tilde{B} = \left(\frac{a_3}{b_1}, \frac{a_2}{b_2}, \frac{a_1}{b_3}\right)$$

Denklem 13

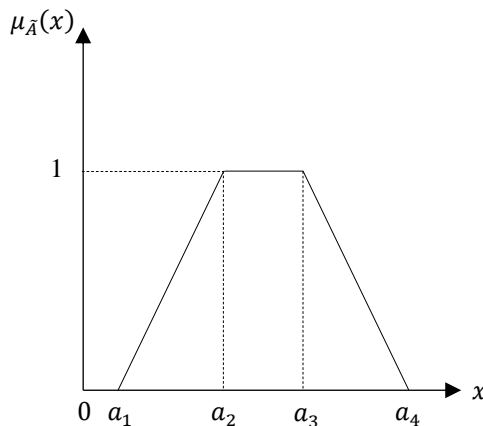
Sayının tersi:

$$\tilde{A}^{-1} = \left(\frac{1}{a_3}, \frac{1}{a_2}, \frac{1}{a_1}\right)$$

Denklem 14

3.2.1.2. Yamuk Bulanık Sayılar

Literatürdeki çalışmalarda genellikle tercih edilen bulanık sayı tiplerinden diğer biri de yamuk bulanık sayılardır. \tilde{A} yamuk bulanık sayısı, $\tilde{A} = (a_1, a_2, a_3, a_4)$ şeklinde dördü sayı bileşiminden oluşmaktadır ve üyelik fonksiyonunun şekilsel gösterimi “yamuk” tipinde olmasından dolayı bu şekilde adlandırılmıştır. Üyelik derecesi 1.00’e eşit olan birden fazla noktası bulunmaktadır. Eğer \tilde{A} yamuk bulanık sayısında $a_2 = a_3$ ise üçgen bulanık sayı olmaktadır, bu da üçgen bulanık sayıların yamuk bulanık sayılar gibi davranabildiklerini göstermektedir. \tilde{A} yamuk bulanık sayısının üyelik fonksiyonuna göre şekilsel gösterimi Şekil 9’daki gibidir.



Şekil 9. Yamuk bulanık sayı için üyelik fonksiyonu

Yamuk bulanık \tilde{A} sayısının herhangi bir x değeri için üyelik fonksiyonu şu şekilde hesaplanmaktadır:

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq a_1 \text{ ise} \\ \frac{x-a_1}{a_2-a_1}, & a_1 < x < a_2 \text{ ise} \\ 1, & a_2 \leq x \leq a_3 \text{ ise} \\ \frac{a_4-x}{a_4-a_3}, & a_3 < x < a_4 \text{ ise} \\ 0, & x \geq a_4 \text{ ise} \end{cases} \quad \text{Denklem 15}$$

$\tilde{A} = (a_1, a_2, a_3, a_4)$ ve $\tilde{B} = (b_1, b_2, b_3, b_4)$ ile gösterilen iki yamuk bulanık sayının matematiksel işlemlerde kullanımın anlamlı olabilmesi için gerekli olan aritmetik işlemler şu şekilde gerçekleştirilmektedir (Denklem 16-23) (Chen & Hwang, 1992, s. 93):

Toplama işlemi:

$$\tilde{A}(+) \tilde{B} = (a_1 + b_1, a_2 + b_2, a_3 + b_3, a_4 + b_4) \quad \text{Denklem 16}$$

Çıkarma işlemi:

$$\tilde{A}(-) \tilde{B} = (a_1 - b_4, a_2 - b_3, a_3 - b_2, a_4 - a_1) \quad \text{Denklem 17}$$

Çarpma işlemi:

$$\begin{aligned} \tilde{A} > 0, \tilde{B} > 0 \text{ için } \tilde{A}(\times) \tilde{B} &= (a_1 \times b_1, a_2 \times b_2, a_3 \times b_3, a_4 \times b_4) \\ \tilde{A} < 0, \tilde{B} > 0 \text{ için } \tilde{A}(\times) \tilde{B} &= (a_4 \times b_1, a_3 \times b_2, a_2 \times b_3, a_1 \times b_4) \\ \tilde{A} < 0, \tilde{B} < 0 \text{ için } \tilde{A}(\times) \tilde{B} &= (a_4 \times b_4, a_3 \times b_3, a_2 \times b_2, a_1 \times b_1) \end{aligned} \quad \text{Denklem 18}$$

Sabit bir sayı ile çarpma işlemi:

$$\begin{aligned} k > 0 \text{ için, } k \in R: \quad k(\times) \tilde{A} &= (ka_1, ka_2, ka_3, ka_4) \\ k < 0 \text{ için, } k \in R: \quad k(\times) \tilde{A} &= (ka_4, ka_3, ka_2, ka_1) \end{aligned} \quad \text{Denklem 19}$$

Bölme işlemi:

$$\tilde{A} > 0, \tilde{B} > 0 \text{ için } \tilde{A}(\div) \tilde{B} = \left(\frac{a_1}{b_4}, \frac{a_2}{b_3}, \frac{a_3}{b_2}, \frac{a_4}{b_1} \right) \quad \text{Denklem 20}$$

$$\tilde{A} < 0, \tilde{B} > 0 \text{ için } \tilde{A}(\div) \tilde{B} = \left(\frac{a_1}{b_1}, \frac{a_2}{b_2}, \frac{a_3}{b_3}, \frac{a_4}{b_4} \right) \quad \text{Denklem 21}$$

$$\tilde{A} < 0, \tilde{B} < 0 \text{ için } \tilde{A}(\div) \tilde{B} = \left(\frac{a_4}{b_1}, \frac{a_3}{b_2}, \frac{a_2}{b_3}, \frac{a_1}{b_4} \right) \quad \text{Denklem 22}$$

Sayının tersi:

$$\tilde{A}^{-1} = \left(\frac{1}{a_4}, \frac{1}{a_3}, \frac{1}{a_2}, \frac{1}{a_1} \right)$$

Denklem 23

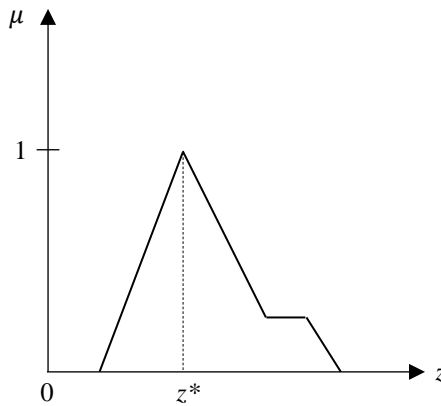
3.2.2. Durulaştırma Yöntemleri

Kesin ve ciddi sonuçlar gerektiren bazı mühendislik ve benzeri alanlardaki problemler (örn. nanometre büyüklüğündeki bir numunedeki mikroskopik bir elektron ışımına odaklanmak) dışında kalan bazı durumlarda bulanık sürecin sonucunda sabit ve tek bir değer elde etmek gerekebilmektedir (Ross, 2010, s. 2). Reel sayıların bulanık bir alt kümesine anlamlı ve kesin değerli gerçek bir sayı atanması işlemine “durulaştırma” (defuzzification) denmektedir (Buckley & Eslami, 2002, s. 91; Hanss, 2005, s. 139).

$\tilde{A} = (a_1, a_2, a_3)$ şeklinde olan ve $a_3 - a_2 = a_2 - a_1$ eşitliğini sağlayan bulanık bir küme veya simetrik üçgen bulanık bir sayı olsun. Bu küme gerçek bir sayıya dönüştürülmek istendiğinde, \tilde{A} kümesinin durulaştırılmış değerinin $defuzz(\tilde{A}) = a_2$ olması mantıksal olarak kabul edilebilir bir durum olacaktır. \tilde{A} kümesi bu iki koşulu sağlamadığında ise durulaştırma bu kadar basit olmamaktadır ve bu sorunu gidermek için literatürde çeşitli yöntemler geliştirilmiştir (Buckley & Eslami, 2002, s. 91).

Durulaştırma yöntemlerinden bazıları şunlardır (Ross, 2010; Buckley & Eslami, 2002):

Maksimum üyelik derecesi yöntemi (max membership principle / height method): Bulanık küme içerisindeki en büyük üyelik derecesine sahip elemanın seçilmesi ile durulaştırma yapılmaktadır.

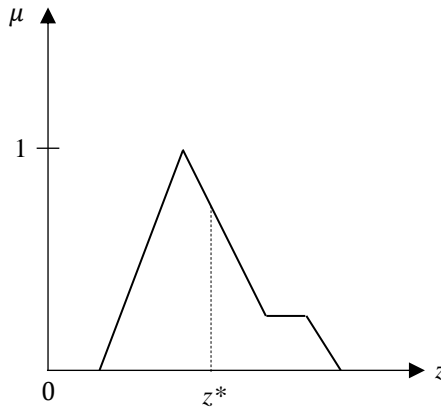


Şekil 10. Maksimum üyelik derecesi durulaştırma yöntemi

Kaynak: Ross, 2010, s. 99

Ağırlık merkezi yöntemi (centroid method / center of area / center of gravity):

Bulanık kümelerin üyelik derecelerinin ağırlık merkezi hesaplanarak buna karşılık gelen değerin seçilmesi ile durulaştırma yapılmaktadır.

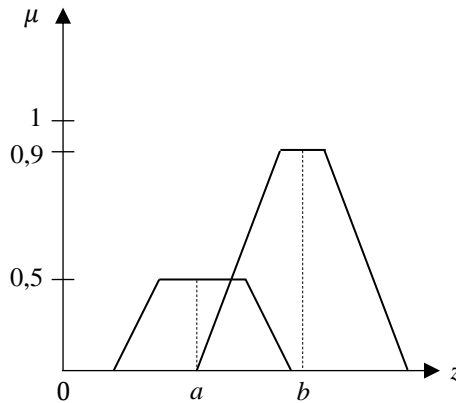


Şekil 11. Ağırlık merkezi durulaştırma yöntemi

Kaynak: Ross, 2010, s. 100

Ağırlıklı ortalama yöntemi (weighted average method): Genellikle simetrik

üyelik fonksiyonuna sahip bulanık kümeleri durulaştırmak için kullanılmaktadır. Çıktıdaki her bir üyelik fonksiyonunun kendi maksimum üyelik derecesi ile ağırlıklandırılması ile oluşturulmaktadır.



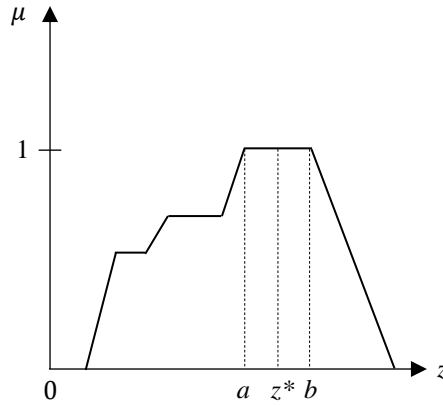
Şekil 12. Ağırlıklı ortalama durulaştırma yöntemi

Kaynak: Ross, 2010, s. 100

En büyüklerin ortalaması yöntemi (middle-of-maxima / mean max

membership): Bulanık küme içerisindeki en büyük üyelik derecesine sahip elemanların belirlenip ortalamalarının alınarak buna karşılık gelen değerin seçilmesi ile durulaştırma

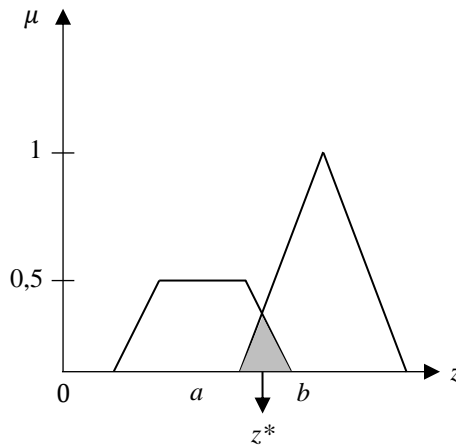
yapılmaktadır. Maksimum üyelik derecesi yönteminden farkı birden fazla maksimum üyelik derecesine sahip elemanın bulunmasıdır.



Şekil 13. En büyüklerin ortalaması durulaştırma yöntemi

Kaynak: Ross, 2010, s. 101

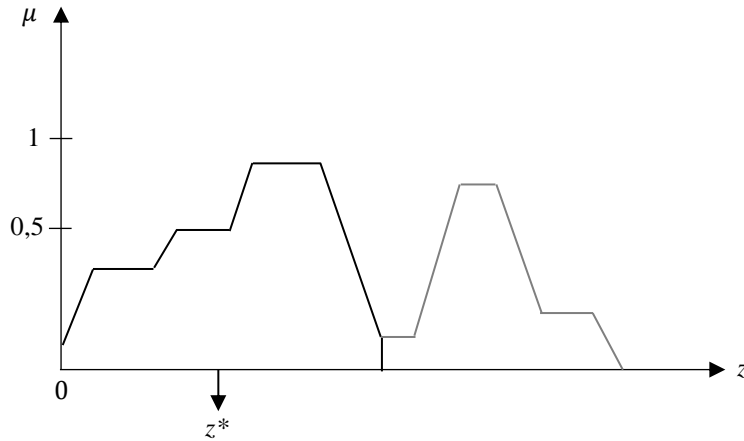
Toplamların merkezi yöntemi (center of sums): Bulanık çıktıyı oluşturan üyelik fonksiyonları, üyelik fonksiyonlarının birleşimi halinde değil de her bir bulanık küme çıktısının cebirsel toplamı hesaplanarak durulaştırma işlemi yapılmaktadır. Yöntemin iki dezavantajı bulunmaktadır; ilki kesişen alanlar iki kez işleme katılmaktadır. İkincisi ise her bir üyelik fonksiyonunun merkezi ayrı ayrı bulunmak zorundadır.



Şekil 14. Toplamların merkezi durulaştırma yöntemi

Kaynak: Ross, 2010, s. 106

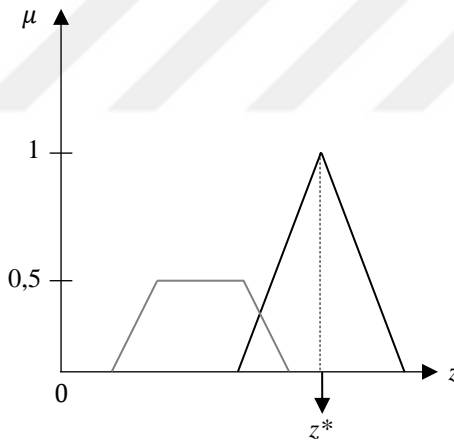
En büyük alanın merkezi yöntemi (center of largest area): Bulanık çıktı kümesi en az iki konveks alt bölgeden oluşuyor ise en büyük alana sahip olan konveks bulanık alt bölgenin ağırlık merkezi durulaştırılmış değeri bulmak için kullanılmaktadır.



Şekil 15. En büyük alanın merkezi durulaştırma yöntemi

Kaynak: Ross, 2010, s. 107

En büyüklerin ilki yöntemi (first of maxima / last of maxima): Bu yöntemde bulanık çıktı kümesinin bütünü veya her bir bulanık çıktı bireysel olarak ele alınarak en büyük üyelik derecesini alan ilk elemanın seçilmesi ile durulaştırma yapılmaktadır.



Şekil 16. En büyüklerin ilki durulaştırma yöntemi

Kaynak: Ross, 2010, s. 107

Kademeli ortalama bütünleşme gösterimi yöntemi (Graded mean integration representation method - GMIR): Chen ve Hsieh (1999) tarafından bulanık sayıları durulaştırmak ve sıralayabilmek için geliştirilmiştir.

$\tilde{A} = (a_1, a_2, a_3)$ şeklinde bir üçgen bulanık sayı olsun. Bu üçgen bulanık sayının kademeli ortalama bütünleşme gösterimi Denklem 24'teki gibidir.

$$P(\tilde{A}) = (a_1 + 4a_2 + a_3)/6 \quad \text{Denklem 24}$$

Orta değer-medyan kuralı (median rule): Bu yöntem Chen (1999) tarafından bulanık sayıların orta değerini esas alarak geliştirilmiştir.

$\tilde{A} = (a_1, a_2, a_3)$ şeklinde bir üçgen bulanık sayı olsun. Bu üçgen bulanık sayının durulaştırma işlemi şu şekilde yapılmaktadır:

$$D(\tilde{A}) = (a_1 + 2a_2 + a_3)/4 \quad \text{Denklem 25}$$

3.3. Güvenilirlik Ölçümü

Güvenilirlik ölçümünün açıklamasını yapabilmek için öncelikle olabilirlik ölçümünün ve gereklilik ölçümünün açıklanması gerekir.

Olabilirlik teorisi, bulanık mantık teorisinden sonra belirsizliğin matematiksel gösterimi amacıyla Zadeh (1978) tarafından geliştirilmiş bulanık bir ölçümdür ve belirsizliklerin modellenmesine yardımcı olmaktadır. Teori, öncelikle doğal dillere özgü olan belirsizlik üzerine odaklanmaktadır ve “olasılıktan” ziyade “olabilirliğe” dayanmaktadır. Olabilirlik kavramı özünde “bulanık kısıtlar” içermektedir. Bulanık kısıdı açıklayabilmek için bir valiz örneği verilecek olursa, valizin esnek olması, valizin alabileceği hacmi etkileyen bir kısıttır. Yani, valizin esneyebileceği bir genişlik aralığı vardır ve bu aralık arasında hacmi değişebilir. Valizin sert kapaklı olması durumunda ise valizin iç hacmini etkileyen bir kısıt olmadığı için bulanıklık yoktur ve hacim kesin bir sayıdır (Zimmermann, 2001, s. 123).

Θ boş olmayan bir kümeyi ve $\rho(\theta)$ Θ kümesinin kuvvet kümesini gösterirken; $Pos\{A\}$ gösterimi, $\rho(\theta)$ kümesi içerisindeki herhangi bir bulanık A olayının (gerçek) olabilirliğini ifade etmektedir (Koissi & Shapiro, 2012, s. 3). Θ kümesi içerisindeki tüm olaylara $[0, 1]$ aralığında olabilirlik değerleri atanmaktadır. Olaylar içerisinde bir tanesi gerçek değer olduğu için olaylardan biri 1 değerini almak durumundadır. Olabilirlik değerleri, esasında bulanık A kümesinin üyelik fonksiyonu değerleri ile tanımlanmaktadır. Bir olayın olabilirlik değerinin “sıfır” olması ortaya çıkma durumunun imkânsız olduğu, “bir” olması ortaya çıkma durumunun sürpriz olmadığı, gerçek değer olduğu anlamına gelmektedir. Bu durum, gerçekleşme olasılığının “bir” olması durumundan farklı ve olasılıktan anlamsal ve mantıksal olarak daha zayıf bir ifadedir.

Olabilirlik teorisinde, bulanık A olayı hakkında herhangi bir bilgi yoksa yani tamamen bilgisizlik durumu söz konusu ise A olayının olabilirlik değeri bire eşittir (Kılıç & Kahraman, 2009, s. 163).

$$Pos\{A\} = \sup_{(\theta_1, \dots, \theta_n) \in A} Pos_1\{\theta_1\} \wedge Pos_2\{\theta_2\} \wedge \dots \wedge Pos_n\{\theta_n\} \quad \text{Denklem 26}$$

Gereklilik (kesinlik) ölçümü, $Nec\{A\}$ olarak gösterilen bulanık bir ölçüm olup bulanık A olayının tümleyeninin (A^c) imkânsızlığıdır, yani bulanık A olayının tümleyeninin olabilirliğinin birden çıkarılmasıdır (Koissi & Shapiro, 2012, s. 3). Olabilirlik ve gereklilik ölçümlerini birbiriyle ilişkili kavramlar olarak düşünmek doğru bir yaklaşım olacaktır. Olasılık teorisi açısından olabilirlik ve gereklilik kavramlarına yaklaşırsak; bir olayın olasılığını onun tümleyeninin olasılığından yola çıkarak hesaplayabilirken, aynı olayın olabilirliğini veya gerekliliğini tümleyeninden yola çıkarak hesaplamak pek mümkün değildir. Bu durumda olabilirlik ve gereklilik ölçümlerinin kendi-duallerinin olmadığı da ortaya çıkmış olmaktadır (Kılıç & Kahraman, 2009, s. 163).

$$Nec\{A\} = 1 - Pos\{A^c\} \quad \text{Denklem 27}$$

Güvenilirlik ölçümü, $Cr\{A\}$ olup bulanık A olayının gerçekleşme şansı olarak tanımlanmaktadır ve olabilirlik ölçümü ile gereklilik ölçümünün ortalamasıdır (Wen, 2015, s. 11; Wen, You & Kang, 2010, s. 3399).

$$Cr\{A\} = \frac{1}{2}(Pos\{A\} + Nec\{A\}) \quad \text{Denklem 28}$$

$$Pos\{A\} = \min(2Cr\{A\}, 1) \quad \text{Denklem 29}$$

$Cr\{\cdot\}$ şu koşulları sağlamaktadır:

- i. $Cr\{\emptyset\} = 0$ ve $Cr\{\Theta\} = 1$ 'dir.
- ii. $A \subset B$ iken $Cr\{A\} \leq Cr\{B\}$ 'dir.
- iii. $Cr\{\cdot\}$ kendi-dualdir; $A \in \rho(\Theta)$ için $Cr\{A\} = 1 - Cr\{A^c\}$ ifadesini sağlar.

ξ , güvenilirlik uzayında ($\Theta, \rho(\Theta), Cr$) tanımlanmış bulanık bir değişken olsun. ξ değişkeninin A kümesine ait olmasının güvenilirliği $Cr\{\xi \in A\}$ şeklinde gösterilmektedir ve güvenilirlik ölçümüne göre tanımlanan üyelik fonksiyonu Denklem 32'deki gibidir (Chutia, Mahanta & Datta, 2011, s. 10).

$$Cr\{\xi \in A\} = \frac{1}{2}(Pos\{\xi \in A\} + Nec\{\xi \in A\}) \quad \text{Denklem 30}$$

$$Cr\{\xi \in A\} = \frac{1}{2}(\sup_{x \in A} \mu(x) + 1 - \sup_{x \in A^c} \mu(x)), \quad x \in R \quad \text{Denklem 31}$$

$$\mu_{\xi}(x) = \min(2Cr\{\xi = x\}, 1) \quad \text{Denklem 32}$$

$\xi = (r_1, r_2, r_3, r_4)$ ile gösterilen yamuk bulanık bir sayı olsun. Bulanık ξ sayısının x değeri için olabilirlik, gereklilik ve güvenilirlik ölçümü şu şekilde gerçekleştirilir (Liu, 2004, s. 94):

$$Pos\{\xi \leq x\} = \begin{cases} 1, & r_2 \leq x \text{ ise} \\ \frac{x-r_1}{r_2-r_1}, & r_1 \leq x < r_2 \text{ ise} \\ 0, & \text{aksi halde} \end{cases} \quad \text{Denklem 33}$$

$$Nec\{\xi \leq x\} = \begin{cases} 1, & r_4 \leq x \text{ ise} \\ \frac{x-r_3}{r_4-r_3}, & r_3 \leq x < r_4 \text{ ise} \\ 0, & \text{aksi halde} \end{cases} \quad \text{Denklem 34}$$

$$Cr\{\xi \leq x\} = \begin{cases} 1, & r_4 \leq x \text{ ise} \\ \frac{-2r_3+r_4+x}{2(r_4-r_3)}, & r_3 \leq x < r_4 \text{ ise} \\ \frac{1}{2}, & r_2 \leq x \leq r_3 \text{ ise} \\ \frac{x-r_1}{2(r_2-r_1)}, & r_1 \leq x < r_2 \text{ ise} \\ 0, & \text{aksi halde} \end{cases} \quad \text{Denklem 35}$$

$\xi = (r_1, r_2, r_3, r_4)$ yamuk bulanık sayısı için $0 \leq \alpha \leq 1$ aralığındaki herhangi bir α güvenilirlik düzeyi için (Liu, 2004, s. 94):

- $\alpha < 0.50$ olduğunda $Cr\{\xi \leq b\} \geq \alpha$, $(1 - 2\alpha)r_1 + 2\alpha r_2 \leq b$ olur.
- $\alpha \geq 0.50$ olduğunda $Cr\{\xi \leq b\} \geq \alpha$, $(2 - 2\alpha)r_3 + (2\alpha - 1)r_4 \leq b$ olur.

Yamuk bulanık sayılara göre verilmiş olan olabilirlik, gereklilik ve güvenilirlik ölçümleri, yamuk sayılara dönüşüm yapıldığı takdirde üçgen bulanık sayılar için de geçerli olmaktadır. $\tilde{c} = (c_l, c_m, c_u)$ ile ifade edilen üçgen bulanık bir sayının yamuk bulanık sayıya dönüşümü $\tilde{c} = (c_l, c_m, c_m, c_u)$ şeklinde yapılmaktadır.

3.4. Ortak Ağırlık Kümesine Dayalı Bulanık Veri Zarflama Analizi

Bu bölümde Payan (2015)'in çalışmasındaki güvenilirlik ölçümüne ve ortak ağırlık kümesine dayalı bulanık tabanlı VZA modeli kullanılmıştır. $\tilde{x}^t_j = (\tilde{x}_{1j}, \dots, \tilde{x}_{mj})$ ve $\tilde{y}^t_j = (\tilde{y}_{1j}, \dots, \tilde{y}_{sj})$ KVB_j ($j = 1, \dots, n$) ile ilişkili pozitif bulanık girdi ve çıktı vektörleri olsun. Optimal ortak ağırlık kümesini (u^*, v^*) bulmak için şu model kullanılmaktadır:

$$\begin{aligned} \text{Max } & u\tilde{y} - v\tilde{x}, \\ \text{ş.k.g. } & u\tilde{y}_j - v\tilde{x}_j \leq 0, & j = 1, \dots, n & \text{Denklem 36} \\ & u \geq 1_s \epsilon, \\ & v \geq 1_m \epsilon \end{aligned}$$

$\tilde{y} = \sum_{j=1}^n \tilde{y}_j$ ve $\tilde{x} = \sum_{j=1}^n \tilde{x}_j$ tüm KVB 'lerin bulanık çıktı ve girdi vektörlerinin toplamıdır. Modeli çözmeden önce kesin değerli verilerin bulanıklaştırılması ve normalize edilmesi gerekmektedir.

3.4.1. Verilerin Bulanıklaştırılması

$\tilde{x}_{ij} = (x_{ij}^l, x_{ij}^m, x_{ij}^u)$ ($i = 1, \dots, m$) ve $\tilde{y}_{rj} = (y_{rj}^l, y_{rj}^m, y_{rj}^u)$ ($r = 1, \dots, s$)'nin KVB_j 'nin sırasıyla i 'inci ve r 'inci üçgensel bulanık girdi ve çıktısı olduğu varsayılırsa, kesin değerli verilerin bulanıklaştırılması şu şekilde yapılmaktadır (Denklem 37-42):

$$x_{ij}^l = \min_{k=1, \dots, p} x_{ij}^{(k)} \quad \text{Denklem 37}$$

$$x_{ij}^u = \max_{k=1, \dots, p} x_{ij}^{(k)} \quad \text{Denklem 38}$$

$$x_{ij}^m = \frac{1}{p} \sum_{k=1}^p x_{ij}^{(k)} \quad \text{Denklem 39}$$

$$y_{rj}^l = \min_{k=1, \dots, p} y_{rj}^{(k)} \quad \text{Denklem 40}$$

$$y_{rj}^u = \max_{k=1, \dots, p} y_{rj}^{(k)} \quad \text{Denklem 41}$$

$$y_{rj}^m = \frac{1}{p} \sum_{k=1}^p y_{rj}^{(k)} \quad \text{Denklem 42}$$

k : yıl

p : yıl sayısı

$x_{ij}^{(k)}, y_{rj}^{(k)}$: k 'inci yılda gözlemlenen girdi ve çıktı verisi

x_{ij}^l : j 'inci KVB'nin i 'inci girdisinin p yıl içerisindeki en küçük değeri

x_{ij}^u : j 'inci KVB'nin i 'inci girdisinin p yıl içerisindeki en büyük değeri

x_{ij}^m : j 'inci KVB'nin i 'inci girdisinin p yıldaki ortalama değeri

y_{rj}^l : j 'inci KVB'nin r 'inci çıktısının p yıl içerisindeki en küçük değeri

y_{rj}^u : j 'inci KVB'nin r 'inci çıktısının p yıl içerisindeki en büyük değeri

y_{rj}^m : j 'inci KVB'nin r 'inci çıktısının p yıldaki ortalama değeri

3.4.2. Güvenilirlik Teorisine ve Ortak Ağırlık Kümesine Dayalı Bulanık Veri Zarflama Analizi

α kısıtların önceden tanımlanmış güvenilirlik düzeyini ifade ederken, güvenilirlik teorisi dikkate alınarak ortak ağırlık kümesine dayalı bulanık veri zarflama modelinin genel formülasyonu şu şekildedir:

$$\begin{aligned} & \text{Max} \quad Cr\{u\tilde{y} - v\tilde{x} \geq 0\}, \\ & \text{s.k.g.} \quad Cr\{u\tilde{y}_j - v\tilde{x}_j \leq 0\} \geq \alpha, \quad j = 1, \dots, n \\ & \quad u \geq 1_s \in, \\ & \quad v \geq 1_m \in \end{aligned} \quad \text{Denklem 43}$$

Modelde kullanılan değişkenler $\tilde{c}_j = (c_j^l, c_j^m, c_j^u)$ ($j = 1, \dots, n$) ile ifade edilen üçgen bulanık sayılar olduğu durumda (Liu, 2004, s. 94; Payan, 2015, s. 190);

$$- \alpha < 0.50 \text{ için, } k_j \text{ pozitif gerçel sayıyı gösterirken } Cr \left\{ \sum_{j=1}^n k_j \tilde{c}_j \leq b \right\} \geq \alpha,$$

$$(1 - 2\alpha) \sum_{j=1}^n k_j c_j^l + 2\alpha \sum_{j=1}^n k_j c_j^m \leq b \text{ ifadesine eşit olmaktadır.}$$

- $\alpha \geq 0.50$ için, k_j pozitif gerçel sayıyı gösterirken $Cr \left\{ \sum_{j=1}^n k_j \tilde{c}_j \leq b \right\} \geq \alpha$,
 $2(1 - \alpha) \sum_{j=1}^n k_j c_j^m + (2\alpha - 1) \sum_{j=1}^n k_j c_j^u \leq b$ ifadesine eşit olmaktadır.

Bu eşitliklerden yola çıkıldığında Denklem 43, güvenilirlik düzeyleri $\alpha < 0.50$ ve $\alpha \geq 0.50$ koşulları için iki farklı kesirli programlama modeline dönüşecektir (Payan, 2015, s. 190).

- α güvenilirlik düzeyi ($0 \leq \alpha < 0.50$) aralığında iken:

$$\begin{aligned} & \text{Max} \frac{uy^l - vx^u}{2((uy^m - vx^m) - (uy^l - vx^u))} \\ \text{\textit{\textless k.g.}} & \quad 2\alpha(uy_j^m - vx_j^m) + (1 - 2\alpha)(uy_j^l - vx_j^u) \leq 0, \quad j = 1, \dots, n \\ & \quad u \geq 1_s \epsilon, \\ & \quad v \geq 1_m \epsilon \end{aligned} \quad \text{Denklem 44}$$

- α güvenilirlik düzeyi ($0.50 \leq \alpha \leq 1$) aralığında iken:

$$\begin{aligned} & \text{Max} \frac{uy^u - vx^l}{2((uy^u - vx^l) - (uy^m - vx^m))} \\ \text{\textit{\textless k.g.}} & \quad (2\alpha - 1)(uy_j^u - vx_j^l) + (2 - 2\alpha)(uy_j^m - vx_j^m) \leq 0, \quad j = 1, \dots, n \\ & \quad u \geq 1_s \epsilon, \\ & \quad v \geq 1_m \epsilon \end{aligned} \quad \text{Denklem 45}$$

Kesirli programlama modelleri olan Denklem 44-45'in daha basit bir şekilde çözülebilmesi için bu iki model Denklem 46-47'deki şekilde doğrusal programlama formatına dönüştürülmüştür. Her iki kesirli programlama modeli ve dönüştürülmüş doğrusal programlama modeli aynı sonuçları vermektedir.

Farklı α güvenilirlik düzeyleri için tanımlanmış, güvenilirlik teorisine ve ortak ağırlık kümesine dayalı bulanık veri zarflama modelleri Denklem 46 ve Denklem 47'deki gibidir (Payan, 2015, s. 190).

- α güvenilirlik düzeyi ($0 \leq \alpha < 0.50$) aralığında iken:

$$\text{Max } uy^l - vx^u,$$

$$\text{s.k.g. } 2((uy^m - vx^m) - (uy^l - vx^u)) = 1,$$

$$2\alpha(uy_j^m - vx_j^m) + (1 - 2\alpha)(uy_j^l - vx_j^u) \leq 0, \quad j = 1, \dots, n$$

$$u \geq 1_s \epsilon,$$

$$v \geq 1_m \epsilon$$

Denklem 46

- α güvenilirlik düzeyi ($0.50 \leq \alpha \leq 1$) aralığında iken:

$$\text{Max } uy^u - vx^l,$$

$$\text{s.k.g. } 2((uy^u - vx^l) - (uy^m - vx^m)) = 1,$$

$$(2\alpha - 1)(uy_j^u - vx_j^l) + (2 - 2\alpha)(uy_j^m - vx_j^m) \leq 0, \quad j = 1, \dots, n$$

$$u \geq 1_s \epsilon,$$

$$v \geq 1_m \epsilon$$

Denklem 47

Her iki modelin amaç fonksiyonu farklı α güvenilirlik düzeyleri için optimal ortak ağırlık kümelerini (u^*, v^*) vermektedir. Her bir α güvenilirlik düzeyi için elde edilen optimal ortak ağırlık kümeleri bulunduktan sonra KVB_j ($j = 1, \dots, n$)'nin bulanık etkinlik skoru şu şekilde hesaplanmaktadır:

$$\tilde{\theta}_j^* = \frac{u^* \tilde{y}_j}{v^* \tilde{x}_j} = \frac{u^*(y_j^l, y_j^m, y_j^u)}{v^*(x_j^l, x_j^m, x_j^u)} \approx \left(\frac{u^* y_j^l}{v^* x_j^u}, \frac{u^* y_j^m}{v^* x_j^m}, \frac{u^* y_j^u}{v^* x_j^l} \right) \quad \text{Denklem 48}$$

3.4.3. Bulanık Etkinliklerin Karşılaştırılması ve Sıralanması

Bulanık etkinlik skorları hesaplanan KVB'lerin etkinliklerinin karşılaştırılması ve sıralanması için literatürde çeşitli modeller geliştirilmiştir. Bu kısımda, çalışmanın uygulama bölümünde kullanılan Wang, Luo ve Liang (2009)'in "Tercih derecesi yaklaşımı" açıklanmıştır.

$\tilde{a} = (a^l, a^m, a^u)$ ve $\tilde{b} = (b^l, b^m, b^u)$ iki üçgensel bulanık etkinlik skoru olsun. $S(\tilde{a} > \tilde{b})$ ve $S(\tilde{b} > \tilde{a})$ sırasıyla $\tilde{a} > \tilde{b}$ ve $\tilde{b} > \tilde{a}$ ilişkilerinin Şekil 17 ve Şekil 18'de

gösterilen alanları olsun. Bu durumda $\tilde{a} > \tilde{b}$ 'nin tercih derecesini hesaplamak için Denklem 49 ve Denklem 50'deki modeller kullanılmaktadır.

$$P(\tilde{a} > \tilde{b}) = \frac{s(\tilde{a} > \tilde{b})}{s(\tilde{a} > \tilde{b}) + s(\tilde{b} > \tilde{a})} \quad \text{Denklem 49}$$

$$P(\tilde{a} > \tilde{b}) = \begin{cases} 1, & \text{Eğer } a^l \geq b^u \\ 0, & \text{Eğer } a^u \leq b^l \\ \frac{(a^u - b^l)^2}{(a^u - b^l + b^m - a^m)(a^u - a^l + b^u - b^l)}, & \text{Eğer } (a^u > b^l) \cap (a^m \leq b^m) \\ 1 - \frac{(b^u - a^l)^2}{(b^u - a^l + a^m - b^m)(a^u - a^l + b^u - b^l)}, & \text{Eğer } (a^m > b^m) \cap (a^l < b^u) \end{cases}$$

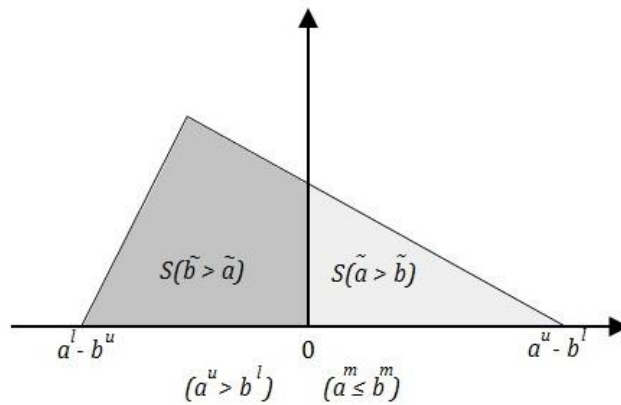
Denklem 50

Tercih derecesi aynı zamanda şu özellikleri sağlamaktadır:

$$0 \leq P(\tilde{a} > \tilde{b}) \leq 1 \quad \text{Denklem 51}$$

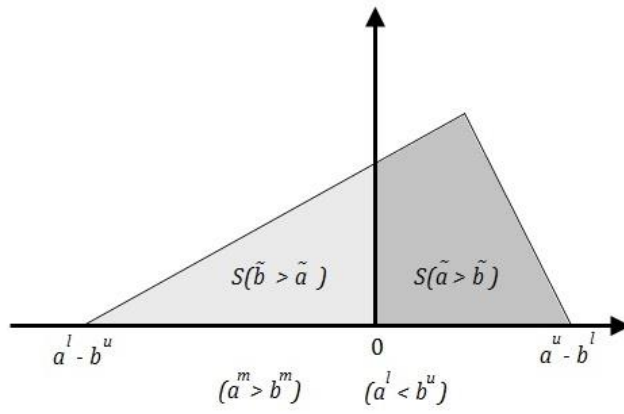
$$P(\tilde{a} > \tilde{b}) + P(\tilde{b} > \tilde{a}) = 1 \quad \text{Denklem 52}$$

Eğer Denklem 50 çözüldüğünde $P(\tilde{a} > \tilde{b}) > P(\tilde{b} > \tilde{a})$ bulunursa, \tilde{a} 'nın \tilde{b} 'ye tercih edilme derecesinin daha yüksek ve \tilde{a} bulanık etkinlik skorunun \tilde{b} 'den daha büyük olduğu anlamına gelmektedir. Eğer $P(\tilde{a} > \tilde{b}) = P(\tilde{b} > \tilde{a}) = 0,5$ olarak bulunursa \tilde{a} ve \tilde{b} etkinlikleri birbirlerine tercih edilemez anlamına gelmektedir ve bu etkinlikler birbirine eşitmiş gibi düşünülmektedir.



Şekil 17. İki üçgen bulanık etkinlik skoru arasındaki ilişkinin gösterimi - 1

Kaynak: Wang vd., 2009, s. 5208



Şekil 18. İki üçgen bulanık etkinlik skoru arasındaki ilişkinin gösterimi - 2

Kaynak: Wang vd., 2009, s. 5208

BÖLÜM IV

KLASİK VE BULANIK VZA İLE KÖMÜR İŞLETMELERİNİN ETKİNLİK ÖLÇÜMÜ

Bu bölümde 2008-2012 yılları arasında Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumuna bağlı olarak faaliyet gösteren yedi işletmenin etkinlikleri klasik VZA ve bulanık VZA ile tespit edilmeye çalışılacaktır. İlk kısımda VZA ile kömür işletmelerinin etkinliğinin ölçülmesinde kullanılan faktörler kısaca açıklanacaktır. Sonra kömür işletmelerinin etkinlikleri ortak ağırlık kümesi kullanılarak klasik VZA yöntemi ile ölçülecek, etkin olan işletmeler tespit edilecek ve işletmelerin etkinlikleri sıralanacaktır. Sonrasında bulanık ortak ağırlık kümesi kullanılarak farklı güvenilirlik düzeyleri için bulanık VZA uygulaması yapılacak, etkin olan işletmeler tespit edilecek ve işletmelerin etkinlikleri sıralanacaktır. Elde edilen sonuçlar ışığında klasik ve bulanık VZA yöntemlerinin sonuçları karşılaştırılacaktır.

2017 yılı itibariyle TKİ'nin bünyesinde VZA uygulaması yapabilmek için yeterli sayıda linyit işletme müdürlüğü bulunmaması sebebiyle, veri seti olarak en fazla işletme müdürlüğünün olduğu yıllar olan 2008-2012 yılları aralığı ve o dönemdeki yedi adet kömür işletmesi kullanılmıştır.

4.1. Kömür İşletmelerinin Etkinliğinin Ölçümünde Kullanılan Faktörler

Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumuna bağlı olan işletmelerin etkinliklerinin ölçümünde kullanılan girdi ve çıktılar Bakırcı vd. (2014); Aksoy vd. (2015); Kasap ve Konuk (2012) tarafından yapılan çalışmalardan faydalanılarak oluşturulmuştur. Değerlendirmeye katılan kömür işletmelerinin girdi ve çıktı verileri TKİ'nin 2008-2012 yıllarına ait yıllık faaliyet raporlarından elde edilmiştir.

Personel sayısı: TKİ'ye bağlı işletmelerde ait olduğu yılda çalışan memur ve işçi sayılarını ifade etmektedir. Personel için yapılan masraflar ve ödenen ücretler işletmeler açısından bir gider kalemi oluşturduğu ve işletmenin üretim sürecinde ve etkinliğinde rol

oyunayan önemli unsurlardan birisi olduğu için personel sayısı analizin girdilerinden biri olarak seçilmiştir.

Dekapaj: “Örtü kazı” anlamına gelmekte olup açık işletme projesine göre maden yatağının üzerindeki veya kantağındaki örtü tabakasının gevşetilmesi, kazılması, yüklenmesi, taşınması, toprak harmanına dökülmesi, serilmesi, harman sahasının düzeltilmesi, toprak harmanı ve kademe yollarının yapımı ve bakımı gibi muhtelif ameliyeleri kapsayan işlerin tümü olarak tanımlanmıştır (Maden İşleri Genel Müdürlüğü, 2017).

Dekapaj, madencilik sektöründe açık işletme sahalarında maliyetlerin en büyük kısmını oluşturmaktadır ve TKİ’de dekapaj faaliyetlerinin yarıdan fazlası ihale usulü ile geri kalan kısmı kendi bünyesinde gerçekleştirilmektedir (TKİ, 2013, s. 18). Dekapaj miktarının maliyetlerdeki etkisinden dolayı yapılan analizde girdi olarak seçilmiştir. Bu miktar ihale ve kendi bünyesindeki toplam dekapaj miktarını (m³) içermektedir.

Kömür rezervi: Rezerv, işletilmemiş madenlerin gelecekte ve mevcut şartlarda ülkeye ve işletmelere ekonomik anlamda katkı sağlayacağı için önem teşkil etmektedir. Maden yataklarındaki rezerv miktarı işletmeye kömür girişi sağlayacağı için girdi olarak seçilmiştir. Analizde kullanılan kömür rezervi işletmelerin sahip olduğu mümkün, muhtemel, görünür ve hazır rezervlerini içermekte olup toplam miktarı (bin ton) ifade etmektedir.

Araç sayısı: İşletmelerin her türlü faaliyetlerinde kullanılan içerisinde buldozer, yükleyici, elektrikli ve hidrolik ekskavatör, delik delme makinası, forklift, sulama tankeri, kamyonet, minibüs vs. gibi ağır iş makinalarının ve yardımcı iş makinalarının olduğu makine parkını ifade etmektedir. İşletmenin amaçlarını gerçekleştirmede faaliyetlerine yardımcı olduğu için araç sayısı (adet) girdi olarak belirlenmiştir.

Yatırımlar: TL cinsinden söz konusu yıl içerisinde işletmelere yatırım amaçlı yapılan nakdi harcamalardır. İnşaat, çeşitli etütler, muhtelif işler ve diğer yatırım faaliyetleri için yapılan harcamaları içerisinde barındırmaktadır. Yatırımlar için yapılan harcamalar işletmenin gider kalemlerinden birisi olduğu için analizde girdi olarak kullanılmıştır.

Üretim miktarı: Her bir kömür işletmesinin açık işletme ve yeraltı işletmesinden üretilen o yıl içerisindeki toplam tüvenan kömür miktarını (ton) ifade etmektedir. Toplam tüvenan kömür miktarı rödovans karşılığı, hizmet alımı (ihale) ve işletmelerin kendi imkânları ile elde edilmiştir. Üretim sürecinin ana çıktısını oluşturduğu için analizde çıktı olarak kullanılmıştır.

Satılabilir miktar: Açık işletmeler ve yeraltı işletmelerinden üretilen tüvenan kömürün eleme/ayıklama ve lavvar (yıkama) tesislerinden geçirildikten sonraki kalitesi iyileştirilmiş satılmaya hazır olan miktarını ton cinsinden ifade etmektedir. Kömür işletmelerinin üretim süreçlerinin ana çıktısını oluşturduğu için analizde çıktı olarak kullanılmıştır.

Satış miktarı: İşletmelerin ana amaçlarından biri olup o yıl boyunca gerçekleştirdikleri kömür satışlarının ton cinsinden miktarıdır. Toplam satış miktarı, termik santrallere, ısınma ve sanayi sektörüne yapılan satışları içermektedir. Yapılan satışlar işletmenin geliri ile doğrudan alakalı ve etkinlik üzerinde direkt etkisi olduğu için çıktı olarak analize dahil edilmiştir.

4.2. Kömür İşletmelerinde Klasik Veri Zarflama Analizi Uygulaması

Bu kısımda, grupların etkinliğini belirlemek için tanımlanmış olan “ortak ağırlık kümesi” yaklaşımı Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumunun, bağlı işletmelerinden maksimum etkinliği sağlayabilmesi için kullanılacaktır. Ortak ağırlık kümesine sahip Veri Zarflama Analizinin gerçekleştirilebilmesi için veriler normalize edilerek veri büyüklükleri arasındaki farkların normal seviyelere indirgenmesi gerekmektedir. Öncelikle TKİ’ye bağlı yedi işletmenin kullanılan girdi ve çıktılara göre 2008-2012 yılları arasındaki beş yıla ait verileri normalize edilmiştir. İşletmelerin 2008-2012 yılları veri seti Ek-A içerisinde Tablo A1-A5’te; normalize edilmiş veriler ise Ek-B içerisinde Tablo B1-B5’te yer almaktadır. Her yıl için normalizasyon işlemi gerçekleştirildikten sonra beş yılın genel etkinlik analizi hakkında fikir yürütebilmek için tüm işletmelerin girdi ve çıktılarının beş yıllık ortalamaları alınmıştır. Tablo 2, işletmelerin beş yıla ait normalize edilmiş verilerinin ortalamalarını göstermektedir.

Tablo 2

2008-2012 Yılları Arası Beş Yıllık İşletmelere Göre Normalize Edilmiş Ortalamaları

<i>KVB</i>	Girdi-1	Girdi-2	Girdi-3	Girdi-4	Girdi-5	Çıktı-1	Çıktı-2	Çıktı-3
	Personel Sayısı (adet)	Dekapaj (m ³)	Kömür Rezervi (binton)	Araç Sayısı (adet)	Yatırım (TL)	Üretim Miktarı (ton)	Satılabilir Miktar (ton)	Satış Miktarı (ton)
Soma-Manisa	0,321	0,222	0,359	0,303	0,248	0,351	0,299	0,345
Çan-Çanakkale	0,064	0,118	0,044	0,093	0,034	0,058	0,075	0,068
Tavşanlı-Kütahya	0,325	0,305	0,151	0,208	0,515	0,200	0,149	0,134
Orhaneli-Bursa	0,080	0,074	0,056	0,122	0,034	0,026	0,032	0,051
Yatağan-Muğla	0,125	0,148	0,086	0,148	0,126	0,134	0,175	0,159
Milas-Muğla	0,065	0,130	0,147	0,102	0,033	0,225	0,261	0,236
Ilgın-Konya	0,020	0,003	0,156	0,024	0,012	0,006	0,008	0,007

Ortak ağırlık kümesi ile veri zarflama analizinin gerçekleştirilmesi için Denklem 4'e göre şu şekilde doğrusal programlama modeli oluşturulur:

$$\text{Max } u_1 + u_2 + u_3 - v_1 - v_2 - v_3 - v_4 - v_5$$

$$\text{ş.k.g. } 0,351u_1 + 0,299u_2 + 0,345u_3 - 0,321v_1 - 0,222v_2 - 0,359v_3 - 0,303v_4 - 0,248v_5 \leq 0$$

$$0,058u_1 + 0,075u_2 + 0,068u_3 - 0,064v_1 - 0,118v_2 - 0,044v_3 - 0,093v_4 - 0,034v_5 \leq 0$$

$$0,200u_1 + 0,149u_2 + 0,134u_3 - 0,325v_1 - 0,305v_2 - 0,151v_3 - 0,208v_4 - 0,515v_5 \leq 0$$

$$0,026u_1 + 0,032u_2 + 0,051u_3 - 0,080v_1 - 0,074v_2 - 0,056v_3 - 0,122v_4 - 0,034v_5 \leq 0$$

$$0,134u_1 + 0,175u_2 + 0,159u_3 - 0,125v_1 - 0,148v_2 - 0,086v_3 - 0,148v_4 - 0,126v_5 \leq 0$$

$$0,225u_1 + 0,261u_2 + 0,236u_3 - 0,065v_1 - 0,130v_2 - 0,147v_3 - 0,102v_4 - 0,033v_5 \leq 0$$

$$0,006u_1 + 0,008u_2 + 0,007u_3 - 0,020v_1 - 0,003v_2 - 0,156v_3 - 0,024v_4 - 0,012v_5 \leq 0$$

$$u_1, u_2, u_3 \geq 10^{-6}$$

$$v_1, v_2, v_3, v_4, v_5 \geq 10^{-6}$$

Oluşturulan doğrusal programlama modeli MS Excel 2010 Çözücü eklentisinde çözüldüğünde amaç fonksiyonunu maksimum yapan optimal ağırlık kümesi Tablo 3'teki gibi bulunmuştur. Bu bilgilere göre, girdi ve çıktı değişkenleri içerisinde "kömür rezervi" girdisine ait önem ağırlığı ($v_3 = 0,00000267$) daha yüksek hesaplanmış olup diğer değişkenlerin önem ağırlıkları 0,000001 ile birbirine eşit bulunmuştur. Yani işletmelerin

etkinliklerini en çok etkileyecek olan faktör “kömür rezervi” değişkenidir. Girdi ve çıktı değişkenleri için bulunan bu ağırlıklar tüm KVB’ler için ortak ağırlık kümesini oluşturmaktadır.

Tablo 3

Ortak Ağırlık Kümesine Ait Optimal Ağırlıklar

u1	u2	u3	v1	v2	v3	v4	v5
0,000001	0,000001	0,000001	0,000001	0,000001	0,00000267	0,000001	0,000001

Tablo 3’teki ortak ağırlık kümesi elemanları kullanılarak yedi işletmenin göreceli etkinlik skorları hesaplanmıştır (Denklem 5’ten). Tablo 4’te yedi kömür işletmesinin ortak ağırlık kümesine dayalı göreceli etkinlik skorları ve etkinlik sıralaması gösterilmektedir.

Tablo 4

Kömür İşletmelerinin Ortak Ağırlık Kümesine Dayalı VZA’ya Göre Hesaplanan Etkinlik Skorları ve Sıralaması

KVB	Etkinlik Skoru	Etkinlik Sıralaması
Soma-Manisa	0,485	3
Çan-Çanakkale	0,473	4
Tavşanlı-Kütahya	0,275	5
Orhaneli-Bursa	0,237	6
Yatağan-Muğla	0,603	2
Milas-Muğla	1,000	1
Ilgın-Konya	0,045	7

Etkinlik skorları incelendiğinde 2008-2012 yılları arasındaki beş yılda etkin olarak faaliyet gösteren tek kömür işletmesi “1,00” etkinlik skoru ile Milas-Muğla olmuştur. Milas-Muğla kömür işletmesi %100 etkinlikle çalışmaktadır. Yatağan-Muğla işletmesi %60,3 etkinlikle, Soma-Manisa işletmesi %48,5 etkinlikle, Çan-Çanakkale işletmesi %47,3 etkinlikle, Tavşanlı-Kütahya işletmesi %27,5 etkinlikle ve Orhaneli-Bursa işletmesi %23,7 etkinlikle çalışmakta olup Milas-Muğla işletmesine kıyasla etkisiz bulunmuşlardır. Ilgın-Konya işletmesi ise %4,5 etkinlikle en başarısız faaliyette

bulunan işletme olarak bulunmuştur.

4.3. Kömür İşletmelerinde Bulanık Veri Zarflama Analizi Uygulaması

Bu kısımda TKİ'ye bağlı olarak faaliyette bulunan yedi kömür işletmesinin 2008-2012 yılları arasındaki beş yılın verileri kullanılarak güvenilirlik ölçümüne ve ortak ağırlık kümesi yaklaşımına dayalı Bulanık Veri Zarflama Analizi yöntemi ile etkinlikleri bulunmaya çalışılmıştır. Öncelikle beş yılın normalize verileri bulanıklaştırılmış, sonrasında farklı güvenilirlik seviyeleri için bulanık VZA uygulaması yapılarak bulanık etkinlik skorları hesaplanmıştır. Hesaplanan bulanık etkinlik skorlarına göre işletmelerin etkinlik sıralaması oluşturulmuştur.

TKİ'ye bağlı işletmelerin 2008-2012 yılları arasındaki bulanık tabanlı genel analizini yapabilmek için EK-B içerisinde yer alan Tablo B1-B5'teki normalize edilmiş veriler kullanılmıştır. Tablo B1-B5'teki normalize edilmiş veriler Denklem 37-42'den faydalanılarak üçgen bulanık sayılara dönüştürülmüştür. Tablo 5 ve Tablo 6'da kömür işletmelerinin 2008-2012 yıllarına ait normalize edilmiş girdi ve çıktı değişkenlerinin bulanıklaştırılmış hali görülmektedir.

Tablo 5

Kömür İşletmelerinin Bulanıklaştırılmış Girdileri

KVB	Girdi-1	Girdi-2	Girdi-3	Girdi-4	Girdi-5
	Personel sayısı (adet)	Dekapaj (m ³)	Kömür rezervi (binton)	Araç sayısı (adet)	Yatırım (TL)
Soma-Manisa	(0.306, 0.321, 0.334)	(0.168, 0.222, 0.3)	(0.321, 0.359, 0.397)	(0.296, 0.303, 0.307)	(0.174, 0.248, 0.356)
Çan-Çanakkale	(0.06, 0.064, 0.066)	(0.073, 0.118, 0.166)	(0.038, 0.044, 0.05)	(0.09, 0.093, 0.098)	(0.004, 0.034, 0.059)
Tavşanlı-Kütahya	(0.317, 0.325, 0.338)	(0.224, 0.305, 0.345)	(0.131, 0.151, 0.17)	(0.196, 0.208, 0.214)	(0.414, 0.515, 0.65)
Orhaneli-Bursa	(0.073, 0.08, 0.085)	(0.031, 0.074, 0.11)	(0.05, 0.056, 0.061)	(0.119, 0.122, 0.128)	(0.02, 0.034, 0.046)
Yatağan-Muğla	(0.123, 0.125, 0.127)	(0.125, 0.148, 0.19)	(0.078, 0.086, 0.096)	(0.147, 0.148, 0.15)	(0.04, 0.126, 0.265)
Milas-Muğla	(0.059, 0.065, 0.068)	(0.08, 0.13, 0.188)	(0.125, 0.147, 0.17)	(0.099, 0.102, 0.105)	(0.004, 0.033, 0.082)
İlgın-Konya	(0.019, 0.02, 0.022)	(0.001, 0.003, 0.008)	(0.061, 0.156, 0.224)	(0.023, 0.024, 0.025)	(0.002, 0.012, 0.018)

Tablo 6

Kömür İşletmelerinin Bulanıklaştırılmış Çıktıları

KVB	Çıktı-1	Çıktı-2	Çıktı-3
	Üretim miktarı (ton)	Satılabilir miktar (ton)	Satış miktarı (ton)
Soma-Manisa	(0.253, 0.351, 0.421)	(0.206, 0.299, 0.361)	(0.328, 0.345, 0.363)
Çan-Çanakkale	(0.036, 0.058, 0.092)	(0.05, 0.075, 0.119)	(0.053, 0.068, 0.083)
Tavşanlı-Kütahya	(0.17, 0.20, 0.233)	(0.13, 0.149, 0.169)	(0.124, 0.134, 0.15)
Orhaneli-Bursa	(0.015, 0.026, 0.038)	(0.02, 0.032, 0.045)	(0.038, 0.051, 0.057)
Yatağan-Muğla	(0.112, 0.134, 0.157)	(0.147, 0.175, 0.203)	(0.145, 0.159, 0.172)
Milas-Muğla	(0.196, 0.225, 0.271)	(0.241, 0.261, 0.297)	(0.222, 0.236, 0.264)
Ilgın-Konya	(0.003, 0.006, 0.011)	(0.003, 0.008, 0.016)	(0.004, 0.007, 0.011)

Girdi ve çıktı değişkenleri bulanık VZA'ya uygun hale getirildikten sonra farklı α güvenilirlik seviyeleri için ortak ağırlık kümesine dayalı doğrusal programlama modelleri oluşturulmuştur. Düşük güvenilirlik aralığı için ($0 \leq \alpha < 0,50$) Denklem 44'ten, yüksek güvenilirlik aralığı için ($0,50 \leq \alpha \leq 1$) Denklem 45'ten faydalanılarak doğrusal programlama modeli kurulmuştur.

$\alpha = 0,40$ için oluşturulan doğrusal programlama modeli şu şekildedir:

$$\text{Max } 0,785u_1 + 0,798u_2 + 0,913u_3 - 1,038v_1 - 1,307v_2 - 1,167v_3 - 1,028v_4 - 1,476v_5$$

ş.k.g.

$$2.(0,215u_1 + 0,202u_2 + 0,087u_3 + 0,038v_1 + 0,307v_2 + 0,167v_3 + 0,028v_4 + 0,476v_5) = 1$$

$$0,331u_1 + 0,28u_2 + 0,342u_3 - 0,324v_1 - 0,238v_2 - 0,367v_3 - 0,304v_4 - 0,269v_5 \leq 0$$

$$0,054u_1 + 0,07u_2 + 0,065u_3 - 0,064v_1 - 0,128v_2 - 0,045v_3 - 0,094v_4 - 0,039v_5 \leq 0$$

$$0,194u_1 + 0,145u_2 + 0,132u_3 - 0,328v_1 - 0,313v_2 - 0,155v_3 - 0,209v_4 - 0,542v_5 \leq 0$$

$$0,024u_1 + 0,03u_2 + 0,048u_3 - 0,081v_1 - 0,082v_2 - 0,057v_3 - 0,123v_4 - 0,036v_5 \leq 0$$

$$0,13u_1 + 0,17u_2 + 0,156u_3 - 0,125v_1 - 0,156v_2 - 0,088v_3 - 0,149v_4 - 0,154v_5 \leq 0$$

$$0,219u_1 + 0,257u_2 + 0,234u_3 - 0,065v_1 - 0,142v_2 - 0,152v_3 - 0,102v_4 - 0,043v_5 \leq 0$$

$$0,005u_1 + 0,007u_2 + 0,007u_3 - 0,021v_1 - 0,004v_2 - 0,17v_3 - 0,024v_4 - 0,013v_5 \leq 0$$

$$u_1, u_2, u_3 \geq 10^{-6}$$

$$v_1, v_2, v_3, v_4, v_5 \geq 10^{-6}$$

$\alpha = 1,00$ için oluşturulan doğrusal programlama modeli şu şekildedir:

$$\text{Max } 1,223u_1 + 1,209u_2 + 1,1u_3 - 0,957v_1 - 0,701v_2 - 0,805v_3 - 0,969v_4 - 0,657v_5$$

ş.k.g.

$$2(0,223u_1 + 0,209u_2 + 0,1u_3 + 0,043v_1 + 0,299v_2 + 0,195v_3 + 0,031v_4 + 0,343v_5) = 1$$

$$0,421u_1 + 0,361u_2 + 0,363u_3 - 0,306v_1 - 0,168v_2 - 0,321v_3 - 0,296v_4 - 0,174v_5 \leq 0$$

$$0,092u_1 + 0,119u_2 + 0,083u_3 - 0,06v_1 - 0,073v_2 - 0,038v_3 - 0,09v_4 - 0,004v_5 \leq 0$$

$$0,233u_1 + 0,169u_2 + 0,15u_3 - 0,317v_1 - 0,224v_2 - 0,131v_3 - 0,196v_4 - 0,414v_5 \leq 0$$

$$0,038u_1 + 0,045u_2 + 0,057u_3 - 0,073v_1 - 0,031v_2 - 0,05v_3 - 0,119v_4 - 0,02v_5 \leq 0$$

$$0,157u_1 + 0,203u_2 + 0,172u_3 - 0,123v_1 - 0,125v_2 - 0,078v_3 - 0,147v_4 - 0,04v_5 \leq 0$$

$$0,271u_1 + 0,297u_2 + 0,264u_3 - 0,059v_1 - 0,08v_2 - 0,125v_3 - 0,099v_4 - 0,004v_5 \leq 0$$

$$0,011u_1 + 0,016u_2 + 0,011u_3 - 0,019v_1 - 0,001v_2 - 0,061v_3 - 0,023v_4 - 0,002v_5 \leq 0$$

$$u_1, u_2, u_3 \geq 10^{-6}$$

$$v_1, v_2, v_3, v_4, v_5 \geq 10^{-6}$$

Bu çalışmada $\alpha = 0,40$, $\alpha = 0,50$, $\alpha = 0,60$, $\alpha = 0,70$, $\alpha = 0,80$, $\alpha = 0,90$, $\alpha = 1,00$ güvenilirlik düzeyleri kullanılarak doğrusal programlama modelleri oluşturulmuştur. Sonuçların daha tutarlı çıkması amacıyla $\alpha = 0,40$ 'tan daha düşük güvenilirlik düzeyleri kullanılmamıştır. Bu bölümde yalnızca $\alpha = 0,40$ ve $\alpha = 1,00$ güvenilirlik düzeylerinin doğrusal programlama modelleri verilmiştir, ele alınan diğer düzeylerin modelleri EK-C'de yer almaktadır.

$\alpha = 0,40$, $\alpha = 0,50$, $\alpha = 0,60$, $\alpha = 0,70$, $\alpha = 0,80$, $\alpha = 0,90$, $\alpha = 1,00$ güvenilirlik düzeyleri için hesaplanan optimal ortak ağırlıklar Tablo 7'de yer almaktadır. Bu bilgilere göre, en yüksek önem ağırlığına sahip olup en önemli bulunan değişkenler; $\alpha = 0,40$ ve $\alpha = 0,50$ güvenilirlik düzeylerinde "dekapaj", $\alpha = 0,60$, $\alpha = 0,70$, $\alpha = 0,80$, $\alpha = 0,90$ ve $\alpha = 1,00$ güvenilirlik düzeylerinde "kömür rezervi" girdileridir. Bu değişkenler, kömür işletmelerinin etkinlikleri üzerinde en çok etkiye sahip olan değişkenlerdir.

Tablo 7

Farklı α Düzeyleri İçin Optimal Ağırlıklar

Ağırlıklar	$\alpha = 0,40$	$\alpha = 0,50$	$\alpha = 0,60$	$\alpha = 0,70$	$\alpha = 0,80$	$\alpha = 0,90$	$\alpha = 1,00$
u ₁	0,724906	0,676826	0,920135	0,883852	0,835202	0,783811	0,731127
u ₂	0,000001	0,000001	0,000001	0,000001	0,000001	0,000001	0,000001
u ₃	0,000001	0,000001	0,000001	0,000001	0,000001	0,000001	0,000001
v ₁	0,000001	0,000001	0,000001	0,000001	0,000001	0,000001	0,000001
v ₂	1,121225	1,165623	0,006551	0,000001	0,044339	0,100118	0,161297
v ₃	0,000001	0,003940	1,499666	1,551139	1,538868	1,512220	1,478787
v ₄	0,000001	0,000001	0,000001	0,000001	0,000001	0,000001	0,000001
v ₅	0,000001	0,000001	0,000001	0,000001	0,000001	0,000001	0,000001

Tablo 8 ve Tablo 9, farklı α düzeylerindeki optimal ağırlıklara göre Denklem 48 kullanılarak hesaplanan bulanık etkinlik skorlarını göstermektedir. Etkinlik skorlarının bulanık elde edilmesi sayesinde daha esnek bir bakış açısı sağlanmakta olup bir işletmenin etkinliğinin “alması mümkün olan en küçük değeri”, “en çok beklenen değeri” ve “alması mümkün olan en büyük değeri” rahatça görülebilmektedir. Örneğin, $\alpha = 0,90$ güvenilirlik düzeyinde Tavşanlı-Kütahya işletmesinin etkinlik skoru (0.457, 0.605, 0.827) olarak elde edilmiştir. Bu işletmenin etkinlik skorunun alması mümkün olan en küçük değeri 0,457, en çok beklenen değeri 0,605 ve alması mümkün olan en büyük değeri 0,827’dir. Yani Tavşanlı-Kütahya işletmesinin etkinlik skoru 0,457’den az, 0,827’den fazla olamayacaktır.

Tablo 8

Farklı α Düzeyleri İçin Bulanık Etkinlik Skorları

KVB	$\alpha = 0,40$	$\alpha = 0,50$	$\alpha = 0,60$
Soma-Manisa	(0.545, 1.022, 1.617)	(0.487, 0.913, 1.443)	(0.39, 0.598, 0.802)
Çan-Çanakkale	(0.14, 0.32, 0.818)	(0.126, 0.287, 0.733)	(0.438, 0.81, 1.491)
Tavşanlı-Kütahya	(0.319, 0.425, 0.674)	(0.286, 0.381, 0.604)	(0.609, 0.804, 1.082)
Orhaneli-Bursa	(0.09, 0.224, 0.807)	(0.081, 0.20, 0.721)	(0.154, 0.281, 0.464)
Yatağan-Muğla	(0.381, 0.587, 0.812)	(0.342, 0.526, 0.728)	(0.707, 0.949, 1.227)
Milas-Muğla	(0.674, 1.118, 2.198)	(0.603, 1, 1.963)	(0.704, 0.931, 1.323)
Ilgın-Konya	(0.23, 1.309, 5.457)	(0.188, 1, 4.233)	(0.007, 0.024, 0.111)

Tablo 9

Farklı α Düzeyleri İçin Bulanık Etkinlik Skorları (devamı)

KVB	$\alpha = 0,70$	$\alpha = 0,80$	$\alpha = 0,90$	$\alpha = 1,00$
Soma-Manisa	(0.363, 0.557, 0.747)	(0.338, 0.521, 0.701)	(0.315, 0.486, 0.656)	(0.291, 0.452, 0.613)
Çan-Çanakkale	(0.413, 0.761, 1.396)	(0.359, 0.673, 1.259)	(0.308, 0.587, 1.126)	(0.263, 0.51, 1)
Tavşanlı-Kütahya	(0.57, 0.754, 1.012)	(0.513, 0.679, 0.919)	(0.457, 0.605, 0.827)	(0.405, 0.536, 0.741)
Orhaneli-Bursa	(0.144, 0.263, 0.432)	(0.131, 0.241, 0.404)	(0.117, 0.219, 0.378)	(0.105, 0.199, 0.351)
Yatağan-Muğla	(0.663, 0.888, 1.148)	(0.597, 0.806, 1.045)	(0.533, 0.725, 0.944)	(0.473, 0.649, 0.848)
Milas-Muğla	(0.657, 0.868, 1.232)	(0.607, 0.807, 1.153)	(0.557, 0.746, 1.076)	(0.509, 0.687, 1)
Ilgın-Konya	(0.007, 0.022, 0.103)	(0.007, 0.021, 0.098)	(0.006, 0.02, 0.094)	(0.006, 0.019, 0.089)

Tablo 8 ve 9’da görüldüğü üzere α güvenilirlik düzeyi arttıkça işletmelerin etkinlik skorlarının gerçeğe yakınlık seviyesi de artmıştır. Örneğin $\alpha = 0,40$ ve $\alpha = 0,50$ güvenilirlik düzeylerinde Ilgın-Konya işletmesinin etkinlik değerleri sırasıyla (0.23, 1.309, 5.457) ve (0.188, 1, 4.233) bulunmuşken, $\alpha = 1$ güvenilirlik düzeyinde (0.006, 0.019, 0.089) olarak bulunmuştur. Düşük güvenilirlik düzeylerinde Ilgın-Konya işletmesinin etkinlik skorunun alması mümkün olan en küçük değeri ile alması mümkün olan en büyük değeri arasındaki fark fazlasıyla yüksektir. Aradaki farkın fazla olması bu sonucun güvenilirliğini azaltmıştır. Farklı α güvenilirlik düzeylerinde hesaplanan bulanık etkinlik skorları incelendiğinde, genellikle etkinlik skorlarının en küçük ve en büyük değerleri arasındaki fark fazladır. Bu farklılığın en temel sebebi, işletmelerin etkinliklerinin değerlendirildiği aynı girdi veya çıktı değişkenlerinin birbirlerine yakın değerler olmamasıdır. Diğer bir sebep ise herhangi bir KVB’nin herhangi bir girdisinde ya da çıktısında beş yıl içerisinde meydana gelmiş olan büyük dalgalanmalardır.

Tablo 8 ve Tablo 9’daki bulanık etkinlik skorları klasik VZA ile elde edilen etkinlik skorları (Tablo 4) ile karşılaştırmalı olarak incelendiğinde, bulanık etkinlik skorlarının klasik VZA ile hesaplanan skorları içerisinde barındırdığı görülebilmektedir. Bu durum, bulanık VZA’nın klasik VZA’ya göre daha kapsamlı ve esnek değerlendirme yaptığının bir kanıtıdır.

Bulanık sayılar klasik sayılar gibi rahatça kıyaslanıp sıralanamadığı için etkinlik sıralamasının bulanık tabanlı yöntemlerle yapılması gerekmektedir. Bu yüzden, kömür

işletmelerinin etkinlik skorları hesaplandıktan sonra her α güvenilirlik düzeyi için Denklem 50'den faydalanılarak etkinliklerin sıralaması yapılmıştır. Bu sıralamada etkin işletmeler de aldıkları etkinlik skorlarına göre kendi içlerinde sıralanmaktadır (Tablo 10).

Bulanık mantığın doğası gereği, bulanık ortamda yapılan sıralamalar klasik yöntemlere göre daha karmaşık bir yapıya sahip olup Tablo 10'daki gibi farklı α düzeylerinde KVB'lerin sıralamalarının değişmesi olağan bir durumdur.

Tablo 10

Farklı α Düzeylerinde Bulanık Tabanlı Etkinlik Sıralamaları

α düzeyi	Etkinlik sıralaması
$\alpha = 0,40$	İlgın > Milas > Soma > Yatağan > Tavşanlı > Çan > Orhaneli
$\alpha = 0,50$	İlgın > Milas > Soma > Yatağan > Tavşanlı > Çan > Orhaneli
$\alpha = 0,60$	Milas > Yatağan > Çan > Tavşanlı > Soma > Orhaneli > İlgın
$\alpha = 0,70$	Milas > Yatağan > Çan > Tavşanlı > Soma > Orhaneli > İlgın
$\alpha = 0,80$	Milas > Yatağan > Çan > Tavşanlı > Soma > Orhaneli > İlgın
$\alpha = 0,90$	Milas > Yatağan > Çan > Tavşanlı > Soma > Orhaneli > İlgın
$\alpha = 1,00$	Milas > Yatağan > Çan > Tavşanlı > Soma > Orhaneli > İlgın

Tablo 10 incelendiğinde, düşük güvenilirlik düzeylerinde ($\alpha = 0,40$ ve $\alpha = 0,50$) ve yüksek güvenilirlik düzeylerinde ($\alpha = 0,60$, $\alpha = 0,70$, $\alpha = 0,80$, $\alpha = 0,90$ ve $\alpha = 1,00$) elde edilen etkinlik sıralamalarının birbirine benzemediği anlaşılmaktadır. Güvenilirlik düzeyleri $\alpha = 0,40$ ve $\alpha = 0,50$ için elde edilen etkinlik sıralaması sırasıyla İlgın-Konya, Milas-Muğla, Soma-Manisa, Yatağan-Muğla, Tavşanlı-Kütahya, Çan-Çanakkale ve Orhaneli-Bursa şeklindedir. Güvenilirlik düzeyleri $\alpha = 0,60$, $\alpha = 0,70$, $\alpha = 0,80$, $\alpha = 0,90$ ve $\alpha = 1,00$ için oluşturulan etkinlik sıralaması ise sırasıyla Milas-Muğla, Yatağan-Muğla, Çan-Çanakkale, Tavşanlı-Kütahya, Soma-Manisa, Orhaneli-Bursa ve İlgın-Konya şeklinde elde edilmiştir. Güvenilirlik düzeyi arttıkça etkinlik sıralamalarının birbiriyle aynı sonuçları verdiği görülmektedir. Aynı etkinlik sıralamalarının elde edilmesi, yüksek güvenilirlik düzeylerinde oluşturulan etkinlik sıralamalarının tutarlı ve güvenilir olduğunu göstermektedir.

Tablo 10'da etkin olan işletmelerin hangi işletmeler olduğu yapılan etkinlik sıralamasından anlaşılmadığı için, etkin işletmeler hakkında fikir sahibi olmak açısından etkinlik skorları Denklem 24'ten yararlanılarak durulaştırılmış ve Tablo 11'deki şekilde kesin sayılara dönüştürülmüştür.

Tablo 11

Farklı α Düzeylerinde Durulaştırılmış Değerleri Hesaplanmış Etkinlik Skorları

KVB	$\alpha = 0,40$	$\alpha = 0,50$	$\alpha = 0,60$	$\alpha = 0,70$	$\alpha = 0,80$	$\alpha = 0,90$	$\alpha = 1,00$
Soma-Manisa	1,042	0,930	0,597	0,556	0,520	0,486	0,452
Çan-Çanakkale	0,373	0,334	0,862	0,809	0,718	0,630	0,551
Tavşanlı-Kütahya	0,449	0,402	0,818	0,766	0,691	0,617	0,548
Orhaneli-Bursa	0,299	0,267	0,290	0,271	0,250	0,229	0,209
Yatağan-Muğla	0,590	0,529	0,955	0,894	0,811	0,730	0,653
Milas-Muğla	1,224	1,094	0,959	0,894	0,831	0,770	0,710
Ilgın-Konya	1,821	1,404	0,036	0,033	0,032	0,030	0,029

Tablo 11'e göre düşük güvenilirlik düzeyleri olan $\alpha = 0,40$ ve $\alpha = 0,50$ seviyelerinde Ilgın-Konya işletmesi 1,821 etkinlik skoru ile, Milas-Muğla işletmesi 1,224 etkinlik skoru ile, Soma-Manisa işletmesi 1,042 etkinlik skoru ile etkin işletmeler olarak bulunmuştur. $\alpha = 0,60$, $\alpha = 0,70$, $\alpha = 0,80$, $\alpha = 0,90$ ve $\alpha = 1,00$ güvenilirlik düzeylerindeki etkinlik skorları incelendiğinde etkinlik skoru bire eşit olan herhangi bir işletme bulunmamaktadır. Analizin bulanık tabanlı gerçekleştirilmesinden dolayı durulaştırılmış etkinlik skorlarının birden büyük çıkması veya bire eşit herhangi bir KVB'nin olmaması doğal bir durumdur. Etkinlik skoru birden küçük hesaplanan işletmeler için, en büyük etkinlik skorunu alan işletme etkin kabul edilip 1'e ölçek dönüşümü yapılması halinde etkin olan ve etkin olmayan işletmeler hakkında gerçeğe daha yakın bilgiler elde edilmiş olacaktır.

Tablo 12

Farklı α Düzeylerinde Durulaştırılmış Değerlere Ölçek Dönüşümü Uygulanmış Etkinlik Skorları

KVB	$\alpha = 0,40$	$\alpha = 0,50$	$\alpha = 0,60$	$\alpha = 0,70$	$\alpha = 0,80$	$\alpha = 0,90$	$\alpha = 1,00$
Soma-Manisa	1,042	0,930	0,623	0,622	0,626	0,632	0,637
Çan-Çanakkale	0,373	0,334	0,899	0,905	0,864	0,819	0,776
Tavşanlı-Kütahya	0,449	0,402	0,853	0,857	0,832	0,802	0,773
Orhaneli-Bursa	0,299	0,267	0,303	0,303	0,300	0,297	0,294
Yatağan-Muğla	0,590	0,529	0,996	1,000	0,976	0,948	0,920
Milas-Muğla	1,224	1,094	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Ilgın-Konya	1,821	1,404	0,037	0,037	0,038	0,039	0,040

Tablo 12’de durulaştırılmış ve ölçek dönüşümü uygulanmış etkinlik skorları gösterilmektedir. Durulaştırılmış etkinlik skorlarından bire eşit ve birden büyük olan değerlere sahip işletmeler etkin, birden küçük değere sahip olanlar ise etkin olmayan işletmelerdir. Bu bilgilerden yola çıkarak farklı α güvenilirlik düzeyleri için etkin bulunan işletmeler Tablo 13’teki gibi olacaktır.

Tablo 13

Farklı α Düzeylerinde Etkin Bulunan İşletmeler

α düzeyi	Etkin işletmeler
$\alpha = 0,40$	Ilgın, Milas, Soma
$\alpha = 0,50$	Ilgın, Milas
$\alpha = 0,60$	Milas
$\alpha = 0,70$	Milas, Yatağan
$\alpha = 0,80$	Milas
$\alpha = 0,90$	Milas
$\alpha = 1,00$	Milas

Tablo 13 incelendiğinde tüm α düzeylerinde etkin faaliyet göstererek referans

alınan kömür işletmesi Milas-Muğla işletmesi olmuştur. Düşük güvenilirlik düzeyi olan $\alpha = 0,40$ için, Milas-Muğla işletmesinin yanında Ilgın-Konya ve Soma-Manisa işletmeleri de etkin işletmeler olarak bulunmuştur. $\alpha = 0,50$ güvenilirlik düzeyi için, Ilgın-Konya işletmesi Milas-Muğla işletmesi ile birlikte etkin bulunmuştur. $\alpha = 0,70$ için, Milas-Muğla işletmesinin yanında Yatağan-Muğla işletmesi de etkin olarak bulunmuştur. Güvenilirlik teorisinin doğası gereği güvenilirlik düzeyinin artması ile gerçeğe daha yakın ve daha tutarlı etkinlik skorları üretilmiş, etkin olan işletme sayısı azalmıştır.

Tablo 14

İşletmelerin Klasik ve Bulanık VZA'ya Göre Karşılaştırmalı Etkinlik Sıralaması

KVB	Klasik VZA Etkinlik Sıralaması	Bulanık VZA Etkinlik Sıralaması
Milas-Muğla	1	1
Yatağan-Muğla	2	2
Soma-Manisa	3	5
Çan-Çanakkale	4	3
Tavşanlı-Kütahya	5	4
Orhaneli-Bursa	6	6
Ilgın-Konya	7	7

Tablo 14'te klasik VZA ve bulanık VZA sonuçlarının benzerliği incelenirken daha güvenilir sıralama elde edebilmek için düşük güvenilirlik düzeyleri olan $\alpha = 0,40$ ve $\alpha = 0,50$ sıralamaya katılmamıştır. Tablodaki bilgilere göre klasik VZA ve bulanık VZA yöntemleriyle elde edilen etkinlik sıralamalarının birbirlerine benzedikleri görülmektedir. İki yöntemde de 2008-2012 yılları arasında Milas-Muğla kömür işletmesi etkinlik sıralamasında ilk sırada bulunmuştur. Etkinlik skorlarına göre sıralanan işletmeler arasında Milas-Muğla, Yatağan-Muğla, Orhaneli-Bursa ve Ilgın-Konya işletmelerinin sıralamadaki yerleri aynı kalmış, Soma-Manisa, Çan-Çanakkale ve Tavşanlı-Kütahya işletmelerinin yerleri kendi aralarında değişmiştir. Bu bağlamda, iki yönteme göre yapılan analizlerin sonuçlarının birbirleriyle benzer olduğu ve her iki yöntemin de kömür madenciliğindeki işletmelerin etkinliklerini değerlendirmek için uygun olduğu söylenebilir.

BÖLÜM V

SONUÇ VE ÖNERİLER

Günümüzde, gelişen ekonomi, sanayileşme ve nüfus artışıyla beraber enerjiye olan talep her geçen yıl artmakta olup ülkemiz bu talebi karşılayabilmek için enerji kaynaklarının ithalatına başvurmaktadır. Özellikle 1970'lerde ortaya çıkan petrol krizi sonrasında, artan enerji ihtiyacının yerli kaynaklarla karşılanabilmesi ülke enerji arz güvenliği açısından büyük önem teşkil etmektedir. Ülkemizde yaygın olarak bulunan linyit, özellikle elektrik, ısınma ve sanayide kullanımının uygun olması ve ülkenin enerji arz güvenliği üzerinde olumlu etkisi olması sebebiyle öncelik verilmesi gereken bir doğal kaynaktır. Kömür kalitesinin iyileştirilerek çevreye duyarlı şekilde yerli kömür üretiminin artırılması sayesinde enerji kaynaklarında dışa bağımlılık azalmış olacaktır. Yerli kömür üretiminin ve satışlarının artırılması için kömür işletmelerinin kaynaklarını optimum düzeyde kullanarak etkin ve verimli şekilde faaliyet göstermeleri gerekmektedir. İşletmelerin performanslarını değerlendirmek için başvurabilecekleri matematiksel yöntemlerden birisi Veri Zarflama Analizidir. VZA ile işletmelerin etkinliği üzerinde etkisi olan çeşitli faktörler ele alınarak benzer amaçlara hizmet eden işletmeler birbirleriyle kıyaslanabilmekte ve kaynaklarını etkin şekilde kullanıp kullanmadıkları anlaşılabilir.

Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu, enerji sektöründe özellikle elektrik enerjisi üretiminde önemli bir konuma sahip olup gerek istihdama katkısı gerekse ekonomiye katkısı açısından ülkemizin önemli kamu kurumlarından birisidir. Bu tez çalışmasında Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumunun, bünyesindeki kömür işletmelerinden ne düzeyde etkinlik sağlayabildiği araştırılmıştır. Bu amaçla TKİ'ye bağlı olarak faaliyet gösteren linyit işletmelerinin etkinlik analizi yapılmaya çalışılmıştır.

Literatürde kömür madenciliği işletmelerinin etkinlik analizlerinin yapıldığı çalışma sayısı kısıtlı olmakla birlikte etkinlik analizi genellikle veri zarflama analizi yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Kısıtlı veri tabanlarında yapılan araştırmalar sonucunda, literatürde bu tez çalışmasında kullanılan yöntem olan bulanık veri zarflama analizi ile kömür madenciliği işletmelerinin etkinliklerinin değerlendirildiği çalışmalara rastlanmadığı için, ülkemizde kömür madenciliğindeki işletmelerin bulanık VZA ile

etkinliklerinin incelendiği bu çalışma ilk olma özelliği taşımaktadır.

Bu çalışmada, veri seti olarak TKİ'nin en fazla işletme müdürlüğünün olduğu yıllar olan 2008-2012 yılları aralığı ve o dönemde faaliyet gösteren yedi adet kömür işletmesi kullanılmıştır. Bu işletmeler Soma-Manisa, Çan-Çanakkale, Tavşanlı-Kütahya, Orhaneli-Bursa, Yatağan-Muğla, Milas-Muğla ve Iğın-Konya kömür işletmeleri olup buldukları konumlara göre adlandırılmışlardır.

Kömür işletmelerinin etkinliğinde rol oynayan girdi değişkenleri personel sayısı, dekapaj, kömür rezervi, araç sayısı ve yatırımlar; çıktı değişkenleri üretim miktarı, satılabilir miktar ve satış miktarı olarak seçilmiştir.

Kömür işletmelerinin etkinliği ilk olarak Charnes vd. (1978)'nin geliştirdiği temel CCR modeline ortak ağırlık kümesi yaklaşımı entegre edilerek ölçülmüş ve işletmelerin etkinlikleri sıralanmıştır. Bu analizde 2008-2012 yılları arasında görece etkin olan tek kömür işletmesi Milas-Muğla olarak belirlenmiş, diğer kömür işletmeleri görece olarak etkin bulunmuştur. Sonrasında, etkinlik analizini daha esnek ve detaylı gerçekleştirebilmek için kömür işletmelerine ait veriler bulanıklaştırılarak ikinci bir analiz yapılmıştır. Bu analiz bulanık tabanlı gerçekleştirilmiş ve ortak ağırlık kümesine dayalı temel CCR modeline farklı α güvenilirlik düzeyleri için güvenilirlik ölçümü eklenmiştir.

Yapılan analiz sonucunda, bulanık mantığın geleneksel yöntemlere kıyasla birden fazla yıl içeren veri setini ve belirsizlikleri daha detaylı bir şekilde ele alması sebebiyle farklı α güvenilirlik düzeylerinde işletmelerin etkinlik sıralamalarında değişimler olduğu gözlenmiştir. Düşük ve yüksek güvenilirlik seviyelerindeki etkinlik sıralamaları karşılaştırıldığında; belirsizliğin daha fazla olduğu $\alpha = 0.40$ seviyesinde daha fazla işletmenin etkin olduğu, güvenilirlik düzeyi artıp belirsizlik azaldıkça etkin olan işletme sayısının azaldığı ve $\alpha = 0.80$, $\alpha = 0.90$ ve $\alpha = 1.00$ seviyelerinde etkinlik sıralamalarının değişmediği görülmüştür. Yalnızca Milas-Muğla işletmesinin ele alınan tüm güvenilirlik seviyelerinde etkin olduğu, diğer işletmelerin etkinliklerinin güvenilirlik düzeyi farklılaştıkça değiştiği gözlenmiştir. Geleneksel VZA yöntemi ile bulanık VZA yönteminin sonuçları karşılaştırıldığında; iki yöntemde de etkin bulunan kömür işletmesinin Milas-Muğla olduğu, iki yöntemin benzer etkinlik sıralamaları ürettiği, sonuçlarının güvenilir olduğu ve her iki yöntemin kömür madenciliğindeki işletmelerin etkinliklerini değerlendirmede uygun olduğu anlaşılmıştır.

Analizlerden elde edilen bulgular Bakırcı vd. (2014) ve Kasap ve Konuk (2012)'un çalışmalarının bulgularıyla karşılaştırıldığında, Milas-Muğla işletmesinin bu

çalışmalarda ortak olarak etkin bulunan kömür işletmesi olduğu görülmüştür. Çalışmalarda kullanılan faktörlerin ve yılların farklılık göstermesi sebebiyle diğer kömür işletmelerinin etkinlikleri farklılık göstermiştir.

Klasik ve bulanık VZA yöntemlerinin sonuçlarına göre 2008-2012 yılları arasında görece olarak etkin olmayan işletmeler; Soma-Manisa, Çan-Çanakkale, Tavşanlı-Kütahya, Orhaneli-Bursa, Yatağan-Muğla ve Iğın-Konya kömür işletmeleridir. Etkin olmayan işletmeler kaynaklarını verimli şekilde kullanamamış, Milas-Muğla işletmesiyle kıyaslandığında optimal düzeyde çıktı üretememiştir.

Etkin olmayan kömür işletmelerinin etkin faaliyet gösterememelerinin birçok sebebi olduğu düşünülmektedir. Bu sebeplerden en önemlisi, özellikle son yıllarda yerli kömürün karşısındaki en büyük rakip kaynaklar olan doğalgaz ve kaliteli ithal kömürdür. Yerli kömür ihtiyacının büyük bir kısmının TKİ işletmelerinden sağlandığı göz önünde bulundurulduğunda, işletmelerin dış kaynaklara yönelmesi TKİ'nin kömür satışlarında azalmalara sebebiyet vermekte, bunun sonucunda da yerli kömür üretiminde ve buna yönelik yapılan yatırımlarda düşüşler meydana gelmektedir. Diğer sebeplerden biri, TKİ'nin 2016 Kömür Sektör Raporu'nda da belirtildiği üzere, işletmelerdeki makine/teçhizat parkının ve üretim sistemlerinin ekonomik ömürlerini doldurmak üzere olup yeni teknoloji ürünü olmaması ve yenileme/sürdürme projelerinin kısa zamanda gerçekleştirilememesidir. Bu yüzden mevcut kömür rezervleri düşük verimle işletilerek rezerv miktarına oranla daha az üretim yapılmaktadır. Ayrıca, kömür rezervlerinin büyük çoğunluğu TKİ tarafından açık işletmecilikle değerlendirildiği için her geçen yıl açık işletmeye uygun kömür sahaları azalmakta, yeraltı işletmeciliğine uygun rezervler etkin şekilde değerlendirilememektedir. Başka bir sebep ise, özellikle son yıllarda TKİ'nin yeterli verim alamadığı işletmelerin özelleştirilmesine ve yeniden yapılandırılmasına yönelik planlanan çalışmalardır. Bu durum, kurumda çalışan personel için belirsizlik oluşturarak motivasyonları üzerinde olumsuz etki yaratmakta olup işçi randımanlarında düşüşe sebebiyet vermektedir (TKİ, 2017a).

TKİ'nin etkinliğini artırması için öncelikle ana sorunlar üzerinde yoğunlaşp bünyesindeki işletmeler üzerinde iyileştirmeler yapması gerekmektedir. Öncelikle kömür kaynaklı işletmelerin kömür ihtiyacını karşılayabilmesi, bu sayede ithal kömür ihtiyacının önüne geçmesi gerekmektedir. Bunu gerçekleştirebilmek için, mevcut kömür rezervleri modern ve temiz kömür teknolojili makina/ekipmanlarla işletilip kömürün kalitesi iyileştirilmeli, araştırma ve geliştirme faaliyetlerine ağırlık verilerek ürün çeşitliliği artırılmalı, özel sektör firmaları ve üniversiteler ile iş birlikleri kurularak yeraltı

işletmeciliğine uygun sahalar işletilmeye uygun hale getirilmelidir. Bu sayede, değerlendirilemeyen rezervlerin k3m3r olarak kazanılacağı, y3ksek teknoloji makinalar ile işçilerden alınan verimden daha fazlasının alınacağı, k3m3r3n kimyasal yapısından dolayı satışların olumsuz etkilenmesinin 3n3ne geçileceği ve 3retilen k3m3r miktarında ciddi oranda artışlar gerçekleşeceği d3ř3n3lmektedir.



KAYNAKÇA

- Aksoy, E., Ömürbek, N. & Karaatlı, M. (2015). AHP temelli MULTIMOORA ve COPRAS yöntemi ile Türkiye Kömür İşletmeleri'nin performans değerlendirmesi. *Hacettepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 33(4), 1-28.
- Ali, A.I. (1994). Computational aspects of DEA. In A. Charnes, W.W. Cooper, A.Y. Lewin & L.M. Seiford (Eds.), *Data envelopment analysis: Theory, methodology and application* (1st ed.), (pp. 63-88). New York: Springer Science & Business Media.
- Andersen, P. & Petersen, N.C. (1993). A procedure for ranking efficient units in data envelopment analysis. *Management Science*, 39(10), 1261-1264.
- Bakırcı, F., Yakut, E., Demirci, A. & Gündüz, M. (2014). Efficiency measurement in Turkish Coal Enterprises using data envelopment analysis and data mining. *Canadian Social Sciences*, 10(1), 103-110.
- Banker, R.D., Charnes, A. & Cooper, W.W. (1984). Some models for estimating technical and scale efficiencies in data envelopment analysis. *Management Science*, 30(9), 1078-1092.
- Buckley, J.J. & Eslami, E. (2002). *An introduction to fuzzy logic and fuzzy sets*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
- Bělohlávek, R., Dauben, J.W. & Klir, G.J. (2017). *Fuzzy logic and mathematics: A historical perspective*. New York: Oxford University Press.
- Boussofiane, A., Dyson, R.G. & Thanassoulis, E. (1991). Applied data envelopment analysis. *European Journal of Operational Research*, 52(1), 1-15.
- Bowlin, W.F. (1987). Evaluating the efficiency of US air force real-property maintenance activities. *Journal of the Operational Research Society*, 38(2), 127-135.
- Bowlin, W.F. (1998). Measuring performance: An introduction to data envelopment analysis (DEA). *The Journal of Cost Analysis*, 15(2), 3-27.
- BP (2016). *BP statistical review of world energy June 2016*. <https://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/energy-economics/statistical-review-2016/bp-statistical-review-of-world-energy-2016-full-report.pdf>. Erişim tarihi: 03.03.2017.
- Charnes, A., Cooper, W.W. & Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of decision

- making units. *European Journal of Operational Research*, 2(6), 429-444.
- Charnes, A., Cooper, W.W., Lewin, A.Y. & Seiford, L.M. (1994). *Data envelopment analysis: Theory, methodology, and application* (1st ed.). New York: Springer Science & Business Media.
- Chen, S.-M. (1999). Evaluating the rate of aggregative risk in software development using fuzzy set theory. *Cybernetics and Systems*, 30(1), 57-75.
- Chen, S.H. & Hsieh, C.H. (1999). Graded mean integration representation of generalized fuzzy number. *Journal of the Chinese Fuzzy System Association*, 5(2), 1-7.
- Chen, S.-J. & Hwang, C.-L. (1992). *Fuzzy multiple attribute decision making: Methods and applications*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
- Chutia, R., Mahanta, S. & Datta, D. (2011). Arithmetic of triangular fuzzy variable from credibility theory. *International Journal of Energy, Information and Communications*, 2(3), 9-20.
- Cook, W.D. & Kress, M. (1990). Data envelopment model for aggregating preference ranking. *Management Science*, 36(11), 1302-1310.
- Cook, W.D. & Kress, M. (1991). A multiple criteria decision model with ordinal preference data. *European Journal of Operational Research*, 54(2), 191-198.
- Cook, W.D., Roll, Y. & Kazakov, A. (1990). A DEA model for measuring the relative efficiencies of highway maintenance patrols. *Information Systems and Operational Research*, 28(2), 113-124.
- Cooper, W.W., Seiford, L.M. & Tone, K. (2006). *Introduction to data envelopment analysis and its uses: With DEA-Solver software and references*. New York: Springer Science & Business Media.
- Dubois, D. & Prade, H. (1978). Operations on fuzzy numbers. *International Journal of System Sciences*, 9(6), 613-626.
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (2017a). *Dünya ve Türkiye enerji ve tabii kaynaklar görünümü*. http://www.enerji.gov.tr/File/?path=ROOT%2f1%2fDocuments%2fEnerji%20ve%20Tabii%20Kaynaklar%20G%C3%B6r%C3%BCn%C3%BCm%C3%BC%2fSayi_15.pdf. Erişim tarihi: 30.05.2017.
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (2017b). *Kömür*. <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Komur>. Erişim tarihi: 30.05.2017.
- Fang, H., Wu, J. & Zeng, C. (2009). Comparative study on efficiency performance of listed coal mining companies in China and the US. *Energy Policy*, 37(12), 5140-5148.

- Farrell, M.J. (1957). The measurement of productive efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society*, 120(3), 253-290.
- Golany, B. & Roll, Y. (1989). An application procedure for DEA. *Omega*, 17(3), 237-250.
- Hanss, M. (2005). *Applied fuzzy arithmetic: An introduction with engineering applications*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
- Jahanshahloo, G.R., Memariani, A., Lotfi, F. Hosseinzadeh & Rezaei, H.Z. (2005). A note on some of DEA models and finding efficiency and complete ranking using common set of weights. *Applied Mathematics and Computation*, 166(2), 265-281.
- Jain, R. (1976). Tolerance analysis using fuzzy sets. *International Journal of Systems Science*, 7(12), 1393-1401.
- Kasap, Y. & Konuk, A. (2012). The efficiency variations of coal enterprises in Turkey in the case of an environment involving risks and uncertainties. *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy*, 7(3), 252-264.
- Kaufmann, A. & Gupta, M.M. (1985). *Introduction to fuzzy arithmetic: Theory and applications*. New York: Van Nostrand Reinhold.
- Kernot, C. (2000). What is coal? In *The coal industry* (chap. 3, pp. 1-17). Cambridge: Woodhead Publishing Limited.
- Kılıç, S. & Kahraman, C. (2009). Bulanık karar ortamında karınca kolonisi optimizasyonu yöntemiyle araç rotalama. *itüdergisi/d mühendislik*, 8(4), 160-172.
- Klir, G.J. & Yuan, B., (1995). *Fuzzy sets and fuzzy logic: Theory and applications*. New Jersey: Prentice Hall.
- Koissi, M.-C. & Shapiro, A.F. (2012). Credibility theory in a fuzzy environment. *47th Actuarial Research Conference*, 1-4 August, Canada.
- Kulshreshtha, M. & Parikh, J.K. (2002). Study of efficiency and productivity growth in opencast and underground coal mining in India: a DEA analysis. *Energy Economics*, 24(5), 439-453.
- Liu, B. (2004). *Uncertainty theory: An introduction to its axiomatic foundations*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
- Maden İşleri Genel Müdürlüğü (2017). *Resimli madencilik terimleri sözlüğü*. <http://www.migem.gov.tr/sozluk/sozluk-d.htm>. Erişim tarihi: 07.01.2017.
- Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (2017). *Kömür arama araştırmaları*. <http://www.mta.gov.tr/v3.0/arastirmalar/komur-arama-arastirmalari>. Erişim tarihi: 03.05.2017.

- Mehrabian, S., Alirezaee, M.R. & Jahanshahloo, G.R. (1999). A complete efficiency ranking of decision making units in data envelopment analysis. *Computational Optimization and Applications*, 14(2), 261-266.
- Mizumoto, M. & Tanaka, K. (1976). Algebraic properties of fuzzy numbers. *Proceedings of International Conference on Cybernetic and Society*, 559-563, Washington, DC.
- Nahmias, S. (1978). Fuzzy variables. *Fuzzy Sets and Systems*, 1(2), 97-110.
- Nguyen, H.T. (1978). A note on the extension principle for fuzzy sets. *Journal of Mathematical Analysis and Applications*, 64(2), 369-380.
- Payan, A. (2015). Common set of weights approach in fuzzy DEA with an application. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 29(1), 187-194.
- Raab, R.L. & Lichty, R.W. (2002). Identifying subareas that comprise a greater metropolitan area: The criterion of county relative efficiency. *Journal of Regional Science*, 42(3), 579-594.
- Roll, Y., Cook, W.D. & Golany, B. (1991). Controlling factor weights in data envelopment analysis. *IIE Transactions*, 23(1), 2-9.
- Ross, T.J. (2010). *Fuzzy Logic with Engineering Applications* (3rd ed.). West Sussex: Wiley.
- Sarkis, J. (2007). Preparing your data for DEA. In J. Zhu & W.D. Cook, (Eds.), *Modeling data irregularities and structural complexities in data envelopment analysis* (pp. 305-320). New York: Springer Science & Business Media.
- Sinuany-Stern, Z. & Friedman, L. (1998). DEA and the discriminant analysis of ratios for ranking units. *European Journal of Operational Research*, 111(3), 470-478.
- Thompson, R.G., Dharmapala, P.S. & Thrall, R.M. (1995). Linked-cone DEA profit ratios and technical efficiency with application to Illinois coal mines. *International Journal of Production Economics*. 39(1-2), 99-115.
- Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu (2013). *2012 yılı faaliyet raporu*. <http://www.tki.gov.tr/depo/2017/2012yillikfaaliyetraporu.pdf>. Erişim tarihi: 21.10.2015.
- Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu (2015). *2015-2019 Stratejik planı*. http://www.tki.gov.tr/depo/2017/TKi_StratejikPlan.pdf. Erişim tarihi: 08.11.2016.
- Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu (2017a). *Kömür sektör raporu (Linyit)*. [http://www.tki.gov.tr/depo/file/k%C3%B6mür%20sektör%20raporu%20\(linyit\).pdf](http://www.tki.gov.tr/depo/file/k%C3%B6mür%20sektör%20raporu%20(linyit).pdf)

aporu/k%C3%B6m%C3%BCr%20sekt%C3%B6r%20raporu%202016.pdf.

Erişim tarihi: 02.06.2017.

Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu (2017b). *Kuruluş ve tarihçe*.

<http://www.tki.gov.tr/kurumsal/kurulus-ve-tarihce/81>. Erişim tarihi: 02.02.2017.

Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu (2017c). *2016 yılı faaliyet raporu*.

<http://www.tki.gov.tr/depo/2017/2016faaliyetraporu.pdf>. Erişim tarihi: 03.06.2017.

Türkiye Taşkömürü Kurumu (2017). *Havza tarihi*.

<http://www.taskomuru.gov.tr/index.php?page=sayfagoster&id=8&force=1>.

Erişim tarihi: 02.02.2017.

Wang, Y.-M., Luo, Y. & Liang, L. (2009). Fuzzy data envelopment analysis based upon fuzzy arithmetic with an application to performance assessment of manufacturing enterprises. *Expert Systems with Applications*, 36(3), 5205-5211.

Wen, M. (2015). *Uncertain data envelopment analysis*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.

Wen, M., You, C. & Kang, R. (2010). A new ranking method to fuzzy data envelopment analysis. *Computers and Mathematics with Applications*, 59(11), 3398-3404.

World Coal Association (2009). *The coal resource: A comprehensive overview of coal*. https://www.worldcoal.org/sites/default/files/resources_files/coal_resource_overview_of_coal_report%2803_06_2009%29.pdf. Erişim tarihi: 02.06.2017.

World Coal Association (2017). *Basic coal facts*. https://www.worldcoal.org/sites/default/files/resources_files/WCA_Basic%20Coal%20Facts_0.pdf. Erişim tarihi: 02.06.2017.

Zadeh, L.A. (1965). Fuzzy sets. *Information and Control*, 8(3), 338-353.

Zadeh, L.A. (1975). The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning-I. *Information Sciences*, 8(3), 199-249.

Zadeh, L.A. (1978). Fuzzy sets as a basis for a theory of possibility. *Fuzzy Sets and Systems*, 1, 3-28.

Zadeh, L.A. (1990). The birth and evolution of fuzzy logic. *International Journal of General Systems*, 17(2-3), 95-105.

Zimmermann, H.-J. (2001). *Fuzzy set theory-and its applications* (4th ed.). New York: Springer Science & Business Media.

EKLER**EK-A**

Tablo A1

Kömür İşletmelerinin 2008 Yılına Ait Veri Seti

KVB	Girdi-1	Girdi-2	Girdi-3	Girdi-4	Girdi-5	Çıktı-1	Çıktı-2	Çıktı-3
	Personel Sayısı (adet)	Dekapaj (m ³)	Kömür Rezervi (binton)	Araç Sayısı (adet)	Yatırım (TL)	Üretim Miktarı (ton)	Satılabilir Miktar (ton)	Satış Miktarı (ton)
Soma-Manisa	2.452	53.684.630	662.983	487	8.762.330	8.388.450	6.320.543	10.096.626
Çan-Çanakkale	440	30.200.007	82.924	145	730.033	1.802.459	1.742.254	1.930.330
Tavşanlı-Kütahya	2.382	67.849.335	283.017	342	11.382.004	7.000.674	3.814.406	3.801.379
Orhaneli-Bursa	533	6.214.959	99.112	190	939.897	638.623	545.325	1.495.976
Yatağan-Muğla	909	28.174.959	160.651	236	2.951.432	4.904.157	4.865.722	5.076.815
Milas-Muğla	488	16.177.945	277.844	158	2.268.923	8.486.984	7.336.182	6.962.156
Ilgın-Konya	147	567.180	102.291	40	491.254	85.328	82.715	139.387

Tablo A2

Kömür İşletmelerinin 2009 Yılına Ait Veri Seti

	Girdi-1	Girdi-2	Girdi-3	Girdi-4	Girdi-5	Çıktı-1	Çıktı-2	Çıktı-3
KVB	Personel Sayısı (adet)	Dekapaj (m ³)	Kömür Rezervi (binton)	Araç Sayısı (adet)	Yatırım (TL)	Üretim Miktarı (ton)	Satılabilir Miktar (ton)	Satış Miktarı (ton)
Soma-Manisa	2.298	61.145.116	632.574	488	13.956.593	6.944.006	4.304.074	8.852.555
Çan-Çanakkale	462	33.791.244	80.421	143	2.303.456	2.524.034	2.477.551	1.694.648
Tavşanlı-Kütahya	2.243	45.574.698	275.379	340	16.658.855	6.400.621	3.512.860	3.398.862
Orhaneli-Bursa	574	14.935.942	98.065	189	949.461	1.048.914	928.948	1.470.955
Yatağan-Muğla	869	25.367.365	156.098	234	3.444.764	4.232.159	4.232.159	4.255.164
Milas-Muğla	478	22.406.791	274.644	158	1.361.552	6.037.146	5.149.529	5.689.927
İlgın-Konya	148	267.354	102.152	38	541.652	241.449	239.654	260.796

Tablo A3

Kömür İşletmelerinin 2010 Yılına Ait Veri Seti

	Girdi-1	Girdi-2	Girdi-3	Girdi-4	Girdi-5	Çıktı-1	Çıktı-2	Çıktı-3
KVB	Personel Sayısı (adet)	Dekapaj (m ³)	Kömür Rezervi (binton)	Araç Sayısı (adet)	Yatırım (TL)	Üretim Miktarı (ton)	Satılabilir Miktar (ton)	Satış Miktarı (ton)
Soma-Manisa	2.125	31.807.290	623.679	488	10.213.569	13.066.686	7.382.989	7.703.142
Çan-Çanakkale	432	13.767.497	79.073	143	2.571.343	1.167.405	1.148.787	1.944.557
Tavşanlı-Kütahya	2.084	60.543.982	276.595	340	25.955.835	6.197.748	3.414.927	3.511.348
Orhaneli-Bursa	517	20.858.852	96.938	191	2.691.949	949.088	948.482	1.289.255
Yatağan-Muğla	824	26.351.079	152.485	234	15.519.478	4.323.317	4.139.402	3.401.454
Milas-Muğla	427	35.501.868	267.499	158	1.614.823	6.337.362	5.722.748	5.368.577
İlgın-Konya	132	357.622	424.111	38	103.079	359.320	358.391	255.291

Tablo A4

Kömür İşletmelerinin 2011 Yılına Ait Veri Seti

	Girdi-1	Girdi-2	Girdi-3	Girdi-4	Girdi-5	Çıktı-1	Çıktı-2	Çıktı-3
KVB	Personel Sayısı (adet)	Dekapaj (m ³)	Kömür Rezervi (binton)	Araç Sayısı (adet)	Yatırım (TL)	Üretim Miktarı (ton)	Satılabilir Miktar (ton)	Satış Miktarı (ton)
Soma-Manisa	1.987	37.567.265	609.719	453	8.800.410	15.410.965	9.634.656	9.720.900
Çan-Çanakkale	411	15.065.240	77.195	148	173.047	2.054.989	2.022.141	1.987.772
Tavşanlı-Kütahya	2.065	65.638.121	268.897	295	31.561.863	6.680.471	3.896.990	3.799.542
Orhaneli-Bursa	510	14.669.943	106.456	188	989.132	935.745	934.484	1.449.186
Yatağan-Muğla	789	27.689.770	153.198	225	6.341.760	4.107.869	4.107.869	4.468.423
Milas-Muğla	408	29.492.360	259.400	158	735.161	7.289.296	6.601.732	6.480.508
Ilgın-Konya	122	261.121	424.881	36	594.059	161.394	161.394	111.346

Tablo A5

Kömür İşletmelerinin 2012 Yılına Ait Veri Seti

	Girdi-1	Girdi-2	Girdi-3	Girdi-4	Girdi-5	Çıktı-1	Çıktı-2	Çıktı-3
KVB	Personel Sayısı (adet)	Dekapaj (m ³)	Kömür Rezervi (binton)	Araç Sayısı (adet)	Yatırım (TL)	Üretim Miktarı (ton)	Satılabilir Miktar (ton)	Satış Miktarı (ton)
Soma-Manisa	1.732	25.032.304	720.100	440	12.215.000	15.215.602	10.419.075	10.356.707
Çan-Çanakkale	360	17.348.530	74.800	145	2.046.000	1.879.662	1.849.677	1.500.199
Tavşanlı-Kütahya	1.910	42.023.990	261.600	299	37.529.000	6.334.773	3.764.192	3.518.946
Orhaneli-Bursa	478	11.311.892	105.800	191	2.496.000	571.204	569.729	1.078.508
Yatağan-Muğla	716	26.577.944	154.900	223	2.330.000	4.249.376	4.249.376	4.338.309
Milas-Muğla	334	16.411.500	249.600	157	239.000	8.848.728	7.869.400	7.521.992
Ilgın-Konya	123	1.070.956	424.700	34	850.000	127.333	127.333	178.042

EK-B

Tablo B1

Kömür İşletmelerinin 2008 Yılı Normalize Edilmiş Verileri

	Girdi-1	Girdi-2	Girdi-3	Girdi-4	Girdi-5	Çıktı-1	Çıktı-2	Çıktı-3
KVB	Personel Sayısı (adet)	Dekapaj (m ³)	Kömür Rezervi (binton)	Araç Sayısı (adet)	Yatırım (TL)	Üretim Miktarı (ton)	Satılabilir Miktar (ton)	Satış Miktarı (ton)
Soma-Manisa	0,334	0,265	0,397	0,305	0,318	0,268	0,256	0,342
Çan-Çanakkale	0,060	0,149	0,050	0,091	0,027	0,058	0,071	0,065
Tavşanlı-Kütahya	0,324	0,334	0,170	0,214	0,414	0,224	0,154	0,129
Orhaneli-Bursa	0,073	0,031	0,059	0,119	0,034	0,020	0,022	0,051
Yatağan-Muğla	0,124	0,139	0,096	0,148	0,107	0,157	0,197	0,172
Milas-Muğla	0,066	0,080	0,166	0,099	0,082	0,271	0,297	0,236
Ilgın-Konya	0,020	0,003	0,061	0,025	0,018	0,003	0,003	0,005

Tablo B2

Kömür İşletmelerinin 2009 Yılı Normalize Edilmiş Verileri

	Girdi-1	Girdi-2	Girdi-3	Girdi-4	Girdi-5	Çıktı-1	Çıktı-2	Çıktı-3
KVB	Personel Sayısı (adet)	Dekapaj (m ³)	Kömür Rezervi (binton)	Araç Sayısı (adet)	Yatırım (TL)	Üretim Miktarı (ton)	Satılabilir Miktar (ton)	Satış Miktarı (ton)
Soma-Manisa	0,325	0,300	0,391	0,307	0,356	0,253	0,206	0,345
Çan-Çanakkale	0,065	0,166	0,050	0,090	0,059	0,092	0,119	0,066
Tavşanlı-Kütahya	0,317	0,224	0,170	0,214	0,425	0,233	0,169	0,133
Orhaneli-Bursa	0,081	0,073	0,061	0,119	0,024	0,038	0,045	0,057
Yatağan-Muğla	0,123	0,125	0,096	0,147	0,088	0,154	0,203	0,166
Milas-Muğla	0,068	0,110	0,170	0,099	0,035	0,220	0,247	0,222
Ilgın-Konya	0,021	0,001	0,063	0,024	0,014	0,009	0,011	0,010

Tablo B3

Kömür İşletmelerinin 2010 Yılı Normalize Edilmiş Verileri

	Girdi-1	Girdi-2	Girdi-3	Girdi-4	Girdi-5	Çıktı-1	Çıktı-2	Çıktı-3
KVB	Personel Sayısı (adet)	Dekapaj (m ³)	Kömür Rezervi (binton)	Araç Sayısı (adet)	Yatırım (TL)	Üretim Miktarı (ton)	Satılabilir Miktar (ton)	Satış Miktarı (ton)
Soma-Manisa	0,325	0,168	0,325	0,307	0,174	0,403	0,319	0,328
Çan-Çanakkale	0,066	0,073	0,041	0,090	0,044	0,036	0,050	0,083
Tavşanlı-Kütahya	0,319	0,320	0,144	0,214	0,442	0,191	0,148	0,150
Orhaneli-Bursa	0,079	0,110	0,050	0,120	0,046	0,029	0,041	0,055
Yatağan-Muğla	0,126	0,139	0,079	0,147	0,265	0,133	0,179	0,145
Milas-Muğla	0,065	0,188	0,139	0,099	0,028	0,196	0,248	0,229
Ilgın-Konya	0,020	0,002	0,221	0,024	0,002	0,011	0,016	0,011

Tablo B4

Kömür İşletmelerinin 2011 Yılı Normalize Edilmiş Verileri

	Girdi-1	Girdi-2	Girdi-3	Girdi-4	Girdi-5	Çıktı-1	Çıktı-2	Çıktı-3
KVB	Personel Sayısı (adet)	Dekapaj (m ³)	Kömür Rezervi (binton)	Araç Sayısı (adet)	Yatırım (TL)	Üretim Miktarı (ton)	Satılabilir Miktar (ton)	Satış Miktarı (ton)
Soma-Manisa	0,316	0,197	0,321	0,301	0,179	0,421	0,352	0,347
Çan-Çanakkale	0,065	0,079	0,041	0,098	0,004	0,056	0,074	0,071
Tavşanlı-Kütahya	0,328	0,345	0,142	0,196	0,642	0,182	0,142	0,136
Orhaneli-Bursa	0,081	0,077	0,056	0,125	0,020	0,026	0,034	0,052
Yatağan-Muğla	0,125	0,145	0,081	0,150	0,129	0,112	0,150	0,159
Milas-Muğla	0,065	0,155	0,137	0,105	0,015	0,199	0,241	0,231
Ilgın-Konya	0,019	0,001	0,224	0,024	0,012	0,004	0,006	0,004

Tablo B5

Kömür İşletmelerinin 2012 Yılı Normalize Edilmiş Verileri

	Girdi-1	Girdi-2	Girdi-3	Girdi-4	Girdi-5	Çıktı-1	Çıktı-2	Çıktı-3
KVB	Personel Sayısı (adet)	Dekapaj (m ³)	Kömür Rezervi (binton)	Araç Sayısı (adet)	Yatırım (TL)	Üretim Miktarı (ton)	Satılabilir Miktar (ton)	Satış Miktarı (ton)
Soma-Manisa	0,306	0,179	0,362	0,296	0,212	0,409	0,361	0,363
Çan-Çanakkale	0,064	0,124	0,038	0,097	0,035	0,050	0,064	0,053
Tavşanlı-Kütahya	0,338	0,301	0,131	0,201	0,650	0,170	0,130	0,124
Orhaneli-Bursa	0,085	0,081	0,053	0,128	0,043	0,015	0,020	0,038
Yatağan-Muğla	0,127	0,190	0,078	0,150	0,040	0,114	0,147	0,152
Milas-Muğla	0,059	0,117	0,125	0,105	0,004	0,238	0,273	0,264
Ilgın-Konya	0,022	0,008	0,213	0,023	0,015	0,003	0,004	0,006

EK-C

$\alpha = 0,50$ için oluşturulan doğrusal programlama modeli:

$$\text{Max } 1,223u_1 + 1,209u_2 + 1,1u_3 - 0,957v_1 - 0,701v_2 - 0,805v_3 - 0,969v_4 - 0,657v_5$$

ş.k.g.

$$2(0,223u_1 + 0,209u_2 + 0,1u_3 + 0,043v_1 + 0,299v_2 + 0,195v_3 + 0,031v_4 + 0,343v_5) = 1$$

$$0,351u_1 + 0,299u_2 + 0,345u_3 - 0,321v_1 - 0,222v_2 - 0,359v_3 - 0,303v_4 - 0,248v_5 \leq 0$$

$$0,058u_1 + 0,075u_2 + 0,068u_3 - 0,064v_1 - 0,118v_2 - 0,044v_3 - 0,093v_4 - 0,034v_5 \leq 0$$

$$0,2u_1 + 0,149u_2 + 0,134u_3 - 0,325v_1 - 0,305v_2 - 0,151v_3 - 0,208v_4 - 0,515v_5 \leq 0$$

$$0,026u_1 + 0,032u_2 + 0,051u_3 - 0,08v_1 - 0,074v_2 - 0,056v_3 - 0,122v_4 - 0,034v_5 \leq 0$$

$$0,134u_1 + 0,175u_2 + 0,159u_3 - 0,125v_1 - 0,148v_2 - 0,086v_3 - 0,148v_4 - 0,126v_5 \leq 0$$

$$0,225u_1 + 0,261u_2 + 0,236u_3 - 0,065v_1 - 0,13v_2 - 0,147v_3 - 0,102v_4 - 0,033v_5 \leq 0$$

$$0,006u_1 + 0,008u_2 + 0,007u_3 - 0,02v_1 - 0,003v_2 - 0,156v_3 - 0,024v_4 - 0,012v_5 \leq 0$$

$$u_1, u_2, u_3 \geq 10^{-6}$$

$$v_1, v_2, v_3, v_4, v_5 \geq 10^{-6}$$

$\alpha = 0,60$ için oluşturulan doğrusal programlama modeli:

$$\text{Max } 1,223u_1 + 1,209u_2 + 1,1u_3 - 0,957v_1 - 0,701v_2 - 0,805v_3 - 0,969v_4 - 0,657v_5$$

ş.k.g.

$$2(0,223u_1 + 0,209u_2 + 0,1u_3 + 0,043v_1 + 0,299v_2 + 0,195v_3 + 0,031v_4 + 0,343v_5) = 1$$

$$0,365u_1 + 0,311u_2 + 0,349u_3 - 0,318v_1 - 0,211v_2 - 0,351v_3 - 0,302v_4 - 0,233v_5 \leq 0$$

$$0,065u_1 + 0,084u_2 + 0,071u_3 - 0,063v_1 - 0,109v_2 - 0,043v_3 - 0,093v_4 - 0,028v_5 \leq 0$$

$$0,207u_1 + 0,153u_2 + 0,137u_3 - 0,324v_1 - 0,289v_2 - 0,147v_3 - 0,205v_4 - 0,494v_5 \leq 0$$

$$0,028u_1 + 0,035u_2 + 0,052u_3 - 0,078v_1 - 0,066v_2 - 0,055v_3 - 0,122v_4 - 0,031v_5 \leq 0$$

$$0,139u_1 + 0,181u_2 + 0,162u_3 - 0,125v_1 - 0,143v_2 - 0,084v_3 - 0,148v_4 - 0,109v_5 \leq 0$$

$$0,234u_1 + 0,268u_2 + 0,242u_3 - 0,064v_1 - 0,12v_2 - 0,143v_3 - 0,101v_4 - 0,027v_5 \leq 0$$

$$0,007u_1 + 0,01u_2 + 0,008u_3 - 0,02v_1 - 0,003v_2 - 0,137v_3 - 0,024v_4 - 0,01v_5 \leq 0$$

$$u_1, u_2, u_3 \geq 10^{-6}$$

$$v_1, v_2, v_3, v_4, v_5 \geq 10^{-6}$$

$\alpha = 0,70$ için oluşturulan doğrusal programlama modeli:

$$\text{Max } 1,223u_1 + 1,209u_2 + 1,1u_3 - 0,957v_1 - 0,701v_2 - 0,805v_3 - 0,969v_4 - 0,657v_5$$

ş.k.g.

$$2(0,223u_1 + 0,209u_2 + 0,1u_3 + 0,043v_1 + 0,299v_2 + 0,195v_3 + 0,031v_4 + 0,343v_5) = 1$$

$$0,379u_1 + 0,324u_2 + 0,353u_3 - 0,315v_1 - 0,2v_2 - 0,344v_3 - 0,3v_4 - 0,218v_5 \leq 0$$

$$0,072u_1 + 0,093u_2 + 0,074u_3 - 0,062v_1 - 0,1v_2 - 0,041v_3 - 0,092v_4 - 0,022v_5 \leq 0$$

$$0,213u_1 + 0,157u_2 + 0,14u_3 - 0,322v_1 - 0,272v_2 - 0,143v_3 - 0,203v_4 - 0,474v_5 \leq 0$$

$$0,031u_1 + 0,037u_2 + 0,053u_3 - 0,077v_1 - 0,057v_2 - 0,054v_3 - 0,121v_4 - 0,028v_5 \leq 0$$

$$0,143u_1 + 0,186u_2 + 0,164u_3 - 0,124v_1 - 0,138v_2 - 0,083v_3 - 0,148v_4 - 0,092v_5 \leq 0$$

$$0,243u_1 + 0,275u_2 + 0,247u_3 - 0,062v_1 - 0,11v_2 - 0,139v_3 - 0,101v_4 - 0,021v_5 \leq 0$$

$$0,008u_1 + 0,011u_2 + 0,009u_3 - 0,02v_1 - 0,002v_2 - 0,118v_3 - 0,023v_4 - 0,008v_5 \leq 0$$

$$u_1, u_2, u_3 \geq 10^{-6}$$

$$v_1, v_2, v_3, v_4, v_5 \geq 10^{-6}$$

$\alpha = 0,80$ için oluşturulan doğrusal programlama modeli:

$$\text{Max } 1,223u_1 + 1,209u_2 + 1,1u_3 - 0,957v_1 - 0,701v_2 - 0,805v_3 - 0,969v_4 - 0,657v_5$$

ş.k.g.

$$2(0,223u_1 + 0,209u_2 + 0,1u_3 + 0,043v_1 + 0,299v_2 + 0,195v_3 + 0,031v_4 + 0,343v_5) = 1$$

$$0,393u_1 + 0,336u_2 + 0,356u_3 - 0,312v_1 - 0,19v_2 - 0,336v_3 - 0,299v_4 - 0,204v_5 \leq 0$$

$$0,079u_1 + 0,101u_2 + 0,077u_3 - 0,062v_1 - 0,091v_2 - 0,04v_3 - 0,091v_4 - 0,016v_5 \leq 0$$

$$0,22u_1 + 0,161u_2 + 0,143u_3 - 0,32v_1 - 0,256v_2 - 0,139v_3 - 0,201v_4 - 0,454v_5 \leq 0$$

$$0,033u_1 + 0,04u_2 + 0,055u_3 - 0,075v_1 - 0,048v_2 - 0,053v_3 - 0,12v_4 - 0,025v_5 \leq 0$$

$$0,148u_1 + 0,192u_2 + 0,167u_3 - 0,124v_1 - 0,134v_2 - 0,081v_3 - 0,147v_4 - 0,075v_5 \leq 0$$

$$0,253u_1 + 0,283u_2 + 0,253u_3 - 0,061v_1 - 0,1v_2 - 0,134v_3 - 0,1v_4 - 0,016v_5 \leq 0$$

$$0,009u_1 + 0,013u_2 + 0,009u_3 - 0,02v_1 - 0,002v_2 - 0,099v_3 - 0,023v_4 - 0,006v_5 \leq 0$$

$$u_1, u_2, u_3 \geq 10^{-6}$$

$$v_1, v_2, v_3, v_4, v_5 \geq 10^{-6}$$

$\alpha = 0,90$ için oluşturulan doğrusal programlama modeli:

$$\text{Max } 1,223u_1 + 1,209u_2 + 1,1u_3 - 0,957v_1 - 0,701v_2 - 0,805v_3 - 0,969v_4 - 0,657v_5$$

ş.k.g.

$$2(0,223u_1 + 0,209u_2 + 0,1u_3 + 0,043v_1 + 0,299v_2 + 0,195v_3 + 0,031v_4 + 0,343v_5) = 1$$

$$0,407u_1 + 0,349u_2 + 0,36u_3 - 0,309v_1 - 0,179v_2 - 0,329v_3 - 0,297v_4 - 0,189v_5 \leq 0$$

$$0,085u_1 + 0,11u_2 + 0,08u_3 - 0,061v_1 - 0,082v_2 - 0,039v_3 - 0,091v_4 - 0,01v_5 \leq 0$$

$$0,227u_1 + 0,165u_2 + 0,146u_3 - 0,319v_1 - 0,24v_2 - 0,135v_3 - 0,199v_4 - 0,434v_5 \leq 0$$

$$0,036u_1 + 0,042u_2 + 0,056u_3 - 0,074v_1 - 0,039v_2 - 0,052v_3 - 0,12v_4 - 0,023v_5 \leq 0$$

$$0,152u_1 + 0,197u_2 + 0,169u_3 - 0,123v_1 - 0,129v_2 - 0,079v_3 - 0,147v_4 - 0,057v_5 \leq 0$$

$$0,262u_1 + 0,29u_2 + 0,258u_3 - 0,06v_1 - 0,09v_2 - 0,13v_3 - 0,099v_4 - 0,01v_5 \leq 0$$

$$0,01u_1 + 0,014u_2 + 0,01u_3 - 0,02v_1 - 0,002v_2 - 0,08v_3 - 0,023v_4 - 0,004v_5 \leq 0$$

$$u_1, u_2, u_3 \geq 10^{-6}$$

$$v_1, v_2, v_3, v_4, v_5 \geq 10^{-6}$$

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLERİ

Adı ve Soyadı: Halenur SOYSAL KURT

Doğum Yeri: Kdz. Ereğli / Zonguldak

Adres: Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, İİBF, Yönetim Bilişim Sistemleri Bölümü

İletişim: halenursoysal@osmaniye.edu.tr

EĞİTİM BİLGİLERİ

Yüksek Lisans: Sakarya Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı (2012-2014)

Lisans: Yıldız Teknik Üniversitesi Endüstri Mühendisliği (2007-2011)

İŞ DENEYİMİ

2014 - ... : Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, İİBF, Yönetim Bilişim Sistemleri Bölümü
Araştırma Görevlisi