



Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü
İşletme Anabilim Dalı Yönetim Organizasyon ve Örgütsel Davranış Bilim Dalı

ENERJİ ENDÜSTRİSİNDE KARAR DESTEK SİSTEMİ GELİŞTİRİLMESİ VE UYGULANMASI

Kazım Barış Atıcı

Yüksek Lisans Tezi

Ankara, 2008

ENERJİ ENDÜSTRİSİNDE KARAR DESTEK SİSTEMİ GELİŞTİRİLMESİ VE UYGULANMASI

Kazım Barış Atıcı

Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü
İşletme Anabilim Dalı Yönetim Organizasyon ve Örgütsel Davranış Bilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Ankara, 2008

KABUL VE ONAY

Kazım Barış Atıcı tarafından hazırlanan “Enerji Endüstrisinde Karar Destek Sistemi Geliştirilmesi ve Uygulanması” başlıklı bu çalışma, 11 Haziran 2008 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda başarılı bulunarak jürimiz tarafından Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Mehmet Baha KARAN (Başkan)

Prof. Dr. Mustafa Ömer İPÇİ

Doç. Dr. Necmettin BAĞDADIÖĞLU

Doç. Dr. Armağan TARIM

Doç. Dr. Aydın ULUCAN (Danışman)

Yukarıdaki imzaların adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. İrfan Çakın

Enstitü Müdürü

BİLDİRİM

Hazırladığım tezin tamamen kendi çalışmam olduğunu ve her alıntıya kaynak gösterdiğimi taahhüt eder, tezimin kağıt ve elektronik kopyalarının Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü arşivlerinde aşağıda belirttiğim koşullarda saklanmasına izin verdiğimi onaylarım:

- ☐ Tezimin tamamı her yerden erişime açılabilir.
- ☐ Tezim sadece Hacettepe Üniversitesi yerleşkelerinden erişime açılabilir.
- ☐ Tezimin ... yıl süreyle erişime açılmasını istemiyorum. Bu sürenin sonunda uzatma için başvuruda bulunmadığım takdirde, tezimin tamamı her yerden erişime açılabilir.

11.06.2008

Kazım Barış Atıcı

TEŞEKKÜR

Gerek bu çalışmanın hazırlanmasında, gerekse tüm yüksek lisans eğitimim boyunca bana yol gösteren, beni destekleyen, öneri ve eleştirileriyle çalışmalarımın daha anlamlı bir hale gelmesini sağlayan değerli hocam ve tez danışmanım Doç.Dr. Aydın ULUCAN'a,

Yüksek Lisans öğrenimimde kazandırdığı bakış açısıyla beni yönlendiren sayın hocam Prof. Dr. Azize ERGENELİ'ye,

Çalışmamı yürütebilmem için gerekli huzurlu ortamı sağlayan ve beni destekleyen sayın hocam Prof. Dr. Mustafa Ömer İPÇİ'ye,

Çalışmama yönelik ilgi, destek ve katkılarından dolayı sayın hocalarım Prof. Dr. Mehmet Baha KARAN, Doç.Dr. Necmettin BAĞDADIÖĞLU, Doç.Dr.Armağan TARIM ve Öğr. Gör. Mustafa KAYA'ya

Destek ve ilgilerini esirgemeyen ve üzerimde çok büyük emekleri olan İşletme Bölümü hocalarıma,

Başta, Arş.Gör. Dilek ULU, Arş.Gör. Hürcan KABAKCI ve Arş. Gör. Bülent ÇEKİÇ olmak üzere İşletme bölümündeki tüm çalışma arkadaşlarıma,

Yüksek Lisans eğitimim sürecince bana maddi destek sağlayan Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu'na

Hayatımın her aşamasında yanımda olan, her türlü desteğini her zaman arkamda hissettiğim sevgili babam Nasuh ATICI, annem Gülay ATICI ve kardeşim Berna ATICI'ya en içten sevgi, saygı ve teşekkürlerimi sunuyorum.

Bu çalışmayı anneme ve babama ithaf ediyorum.

ÖZET

ATICI, Kazım Barış. *Enerji Endüstrisinde Karar Destek Sistemi Geliştirilmesi ve Uygulanması*, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 2008.

Enerji ve Çevre konusu, son yıllarda, bir çok alanda üzerinde sıklıkla durulan konulardan biridir. Birçok sektörde olduğu gibi enerji sektöründe de planlama önemli bir kavram olarak karşımıza çıkmaktadır. Enerjinin etkin bir şekilde üretilmesi, üretilen enerjinin verimli kullanılması ve enerji üretiminin çevreye etkilerinin yönetilmesi gibi birçok konu planlama ile yakından ilişkilidir. Performans Değerlendirilmesi ve Karar Verme kavramları planlamanın temel öğeleri arasında yer almaktadır.

Bu çalışmanın temel amacı, Enerji ve Çevre konusunda Performans Değerlendirmesi ve Karar Vermeye yönelik olarak çeşitli teknikleri ve literatürde uygulanmış problem parametrelerini kullanarak analiz yapmaya imkan sağlayan, analizlerle elde edilen sonuçları uygun ve anlaşılabilir bir şekilde raporlayan bir Karar Destek Sistemi'nin oluşturulması ve oluşturulan bu sistemde Türkiye enerji sektörüne yönelik çeşitli uygulamaların yapılmasıdır.

Çalışmanın ilk iki bölümü, Enerji ve Çevre konularında literatürde yer alan Performans Değerlendirmesi ve Karar Analizi çalışmalarını detaylı bir biçimde ele almaktadır. Üçüncü bölümde, çalışma kapsamında hazırlanan Karar Destek Sistemi'nde yer alan bütün tekniklerin matematiksel temelleri, detayları ile incelenmektedir. Çalışmanın dördüncü bölümünde, literatür araştırması ve tekniklerin incelenmesi ışığında hazırlanan Karar Destek Sistemi'nin yapısı ve işleyişi anlatılmaktadır. Bu bölümde, kurulan sistem, kullanıcı arayüzü, model tabanı, veri tabanı, rapor arayüzü ve çeşitli uygulamaların yer aldığı örnek olay tabanı olmak üzere beş adet temel başlık altında incelenmektedir. Çalışmanın son bölümünde ise, oluşturulan Karar Destek Sistemi'nde Türkiye enerji sektöründe gerçekleştirilen beş adet uygulama ile sonuçları yer almaktadır.

Anahtar Sözcükler: Performans Değerlendirmesi, Karar Analizi, Karar Destek Sistemi

ABSTRACT

ATICI, Kazım Barış. *Development and Implementation of a Decision Support System in Energy Industry*, Master's Thesis, Ankara, 2008.

Energy and Environment studies have become one of the most popular issues recently. Like in every industry, planning is an important issue for energy industry also. Issues like producing energy effectively, efficient use of produced energy and management of the effects of energy production on the environment are all related to planning. Performance Evaluation and Decision making are two important concepts which have a close relationship with planning.

The aim of this study is to develop a Decision Support System which enables making analysis on Energy and Environment issues by using various techniques of Performance Evaluation and Decision Analysis and also problem types and parameters of the previous studies. Another aim is to perform several applications using the developed support system in Turkey's energy industry.

The first and second chapters of the study involve the findings of the literature survey on Performance Evaluation and Decision Analysis studies related to Energy and Environment issues. In the third chapter, the mathematical foundation of the techniques which take place in the support system are briefly explained. The fourth part of the study mentions about the details and processes of the Decision Support System which is prepared in the light of the findings of the literature survey. In this chapter, the support system is explained in five main parts which are; user interface, model base, data base, report interface and sample case base (applications of the system). At the last part of the study, five applications in Turkey energy industry are performed and results are discussed.

Keywords: Performance Evaluation, Decision Analysis, Decision Support System

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
TABLolar DİZİNİ	vii
GİRİŞ	1
ENERJİ – ÇEVRE VE PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ	4
1.1. Performans Değerlendirmesi ve Veri Zarflama Analizi	6
1.2. Enerji ve Çevre Konusunda Veri Zarflama Analizi Uygulamaları	7
1.2.1. Elektrik Sanayi Uygulamaları	7
1.2.1.1. Elektrik Üretim Birimlerinin Performansı	8
1.2.1.2. Elektrik Dağıtım Birimlerinin Performansı	9
1.2.2. Çevresel Performans Ölçümü Uygulamaları	10
1.2.3. Enerji Verimliliği Ölçümü Uygulamaları	12
1.2.4. Belirli Sektörlerde Performans Ölçümü Uygulamaları.....	14
ENERJİ – ÇEVRE VE KARAR VERME	16
2.1. Karar Analizi Teknikleri	17
2.1.1. Tek Amaçlı Karar Verme	18
2.1.2. Karar Destek Sistemleri	18
2.1.3. Çok Kriterli Karar Verme	18
2.2. Enerji ve Çevre Konusunda Karar Analizi Uygulamaları.....	24
2.2.1. Uygulama Alanları	24
2.2.2. Uygulanan Karar Analizi Teknikleri.....	27
2.2.3. Enerji Tipleri	27
KDS MODEL TABANINDA YER ALAN TEKNİKLER	29
3.1. Veri Zarflama Analizi	29
3.1.1. Ölçeğe Göre Sabit Getirili Modeller	31
3.1.2. Ölçeğe Göre Değişken Getirili Modeller	35
3.1.3. Ölçüt Odaklı Modeller	36
3.2. ELECTRE III Tekniği	38

3.3. PROMETHEE Tekniği	44
3.3.1. PROMETHEE I ve PROMETHEE II	44
3.3.2. PROMETHEE – Grup Karar Destek Sistemi	50
3.4. UTADIS Tekniği	52
ENERJİ KARAR DESTEK SİSTEMİNİN HAZIRLANMASI	59
4.1. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	59
4.2. Çalışmanın Yöntemi	61
4.3. Karar Destek Sistemi’nin Yapısı ve İşleyişi	64
4.3.1. Kullanıcı Arayüzü	66
4.3.2. Model Tabanı	70
4.3.3. Veri Tabanı	85
4.3.4. Rapor Arayüzü	89
4.3.5. Örnek Olay Tabanı	90
KARAR DESTEK SİSTEMİ UYGULAMALARI	91
5.1. Performans Değerlendirmesi Uygulamaları	91
5.1.1. Elektrik Sanayi Uygulaması	91
5.1.2. Enerji Verimliliği Ölçümü Uygulaması	104
5.2. Karar Analizi Uygulamaları	112
5.2.1. Hidroelektrik Santral Projelerinin Değerlendirilmesi (ELECTRE III Uygulaması)	113
5.2.2. Rüzgar Santral Projelerinin Değerlendirilmesi (PROMETHEE Uygulaması)	117
5.2.3. Elektrik Dağıtım Şirketlerinin Gruplanması (UTADIS Uygulaması)	121
SONUÇ VE DEĞERLENDİRME	128
KAYNAKÇA	134
EK 1	147
ÖZGEÇMİŞ	153

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1 : Karar Analizi Tekniklerinin Sınıflandırılması

Şekil 2.2 : Çok Kriterli Karar Verme Süreci

Şekil 3.1 : PROMETHEE Grup Karar Verme Süreci

Şekil 3.2 : UTADIS Tekniğinde Fayda Ölçeğinde Sınıflandırma

Şekil 4.1 : Karar Destek Sistemi'nin Bileşenleri

Şekil 4.2 : Karar Destek Sistemi Ana Formu

Şekil 4.3 : Formların Genel Akışı

Şekil 4.4 : Veri Zarflama Analizi Süreci

Şekil 4.5 : Ölçüt Odaklı Veri Zarflama Analizi Süreci

Şekil 4.6 : ELECTRE III Süreci

Şekil 4.7 : PROMETHEE Süreci

Şekil 4.8 : UTADIS Süreci

Şekil 5.1 : Elektrik Sanayi Uygulaması Girdi ve Çıktıları

Şekil 5.2 : Enerji Verimliliği Uygulaması Girdi ve Çıktıları

Şekil 5.4 : Hidroelektrik Uygulaması ELECTRE III Toplam Sıralama

Şekil 5.5 : Rüzgar Santralleri PROMETHEE I Kısmi Sıralama

Şekil 5.6 : Rüzgar Santralleri PROMETHEE II Tam Sıralama

Şekil 5.7 : UTADIS Uygulamasında Yer Alan Kriterlerin Marjinal Faydaları

TABLolar DİZİNİ

- Tablo 1.1 :** Elektrik Üretim Birimlerinin Analizinde Kullanılan Değişkenler
- Tablo 1.2 :** Elektrik Dağıtım Birimlerinin Analizinde Kullanılan Değişkenler
- Tablo 1.3 :** Çevresel Performansı Ölçmeye Yönelik VZA Uygulamalarına Örnekler
- Tablo 1.4 :** Enerji Verimliliği Ölçmeye Yönelik VZA Uygulaması Örnekleri
- Tablo 1.5 :** Belirli Sektörlerde Performans Ölçümünde VZA Uygulaması Örnekleri
- Tablo 3.1 :** PROMETHEE Değerlendirme Matrisi
- Tablo 3.2 :** PROMETHEE Tercih Fonksiyonu Tipleri
- Tablo 4.1 :** Karar Destek Sistemi'nde Yer Alan Model Tabanı Formları
- Tablo 4.2 :** Performans Değerlendirmesi Veri Tabanı
- Tablo 4.3 :** Karar Analizi Veri Tabanı
- Tablo 4.4 :** Sonuç Raporları
- Tablo 5.1 :** Girdi Odaklı Sabit Getirili Veri Zarflama Analizi Sonuç Raporu
- Tablo 5.2 :** Girdi Odaklı Değişken Getirili Veri Zarflama Analizi Sonuç Raporu
- Tablo 5.3 :** Ölçüt Odaklı Sabit Getirili Model Sonuç Raporu
- Tablo 5.4 :** Ölçüt Odaklı Değişken Getirili Model Sonuç Raporu
- Tablo 5.5 :** Ölçüt Odaklı Sabit Getirili Model Hedef Yüzdeleri
- Tablo 5.6 :** Ölçüt Odaklı Değişken Getirili Model Hedef Yüzdeleri
- Tablo 5.7 :** Ölçüt Odaklı Sabit Getirili Model Bölge Etkinlik Skorları
- Tablo 5.8 :** Ölçüt Odaklı Değişken Getirili Model Bölge Etkinlik Skorları
- Tablo 5.9 :** İmalat Sanayi Grupları
- Tablo 5.10 :** Girdi Odaklı Sabit Getirili Model Sonuç Raporu
- Tablo 5.11 :** Girdi Odaklı Değişken Getirili Model Sonuç Raporu
- Tablo 5.12 :** Ölçüt Odaklı Sabit Getirili Model Sonuç Raporu

Tablo 5.13 : Ölçüt Odaklı Değişken Getirili Model Sonuç Raporu

Tablo 5.14 : Ölçüt Odaklı Sabit Getirili Model Hedef Yüzdeleri

Tablo 5.15 : Ölçüt Odaklı Değişken Getirili Model Hedef Yüzdeleri

Tablo 5.16 : Hidroelektrik Santral Uygulamasında Yer Alan Santraller

Tablo 5.17: Hidroelektrik Santral Uygulaması Kriterleri

Tablo 5.18 : Hidroelektrik Santral Uygulaması ELECTRE III Sonuç Raporu

Tablo 5.19 : Rüzgar Santrali Uygulaması Kriterleri

Tablo 5.20 : Rüzgar Santralleri Uygulaması PROMETHEE Sonuç Raporu

Tablo 5.21 : Utadis Uygulaması Değerlendirme Kriterleri

Tablo 5.22 : Elektrik Dağıtım Şirketleri UTADIS Uygulaması Sonuç Raporu

Tablo 5.23 : UTADIS Modeli Hata Yüzdeleri

GİRİŞ

Enerji ve Çevre konusu, özellikle 1970 ve 1980'lerden sonra gittikçe artan bir önem kazanan ve birçok araştırmacının dikkatini çekmekte olan bir konu olarak karşımıza çıkmaktadır. Enerji kaynaklarının sonsuz olmadığına anlaşılmaması ve artan enerji kullanımının çevreye olan etkileri konusundaki artan bilinç, tüm dünyada Enerji ve Çevre konusunda yapılan çalışmaların her geçen gün artmasına neden olmaktadır. Enerjiyi etkin bir şekilde üretebilmek, üretilen enerjiyi verimli kullanabilmek, enerji kullanımının çevreye verdiği zararları yönetebilmek ve enerji ile çevre konularında ileriye dönük rasyonel politikalar geliştirebilmek gibi konuların üzerinde hem sektör, hem de akademik çevreler tarafından çokça durulmaktadır. Enerji ve Çevre konusunda çok çeşitli araştırmalar yapılan ve teknikler geliştirilen alanlardan biri de Yöneyim Araştırması'dır. Ekonometrik teknikler, öngörü teknikleri, optimizasyon teknikleri ve Karar Analizi teknikleri gibi birçok matematiksel teknik, Enerji ve Çevre konularında yaygın uygulama alanı bulmuştur.

Bütün sektörlerde olduğu gibi, enerji sektöründe de etkili ve verimli bir yönetim sürdürmenin yollarından biri planlamadan geçmektedir. Planlamanın temel unsurları arasında, mevcut performansın değerlendirilmesi ve karar verme kavramlarını saymak mümkündür. Geleceğe yönelik politikalar geliştirilmesi için, mevcut performansın değerlendirilmesi şüphesiz gerçekleştirilmesi gereken bir eylemdir. Karar verme ise planlamanın her aşamasında gerçekleştirilen temel bir unsurdur. Yöneyim Araştırması konuları arasında Performans Değerlendirmesi ve Karar Vermeye yönelik geliştirilen birçok matematiksel tekniğin varlığından bahsedilebilmektedir.

Bu çalışmanın temel amacı, Enerji ve Çevre konusunda Performans Değerlendirmesi ve Karar Vermeye yönelik olarak çeşitli teknikleri ve literatürde uygulanmış problem parametrelerini kullanarak analiz yapmaya imkan sağlayan, analizlerle elde edilen sonuçları uygun ve anlaşılabilir bir şekilde raporlayan bir Karar Destek Sistemi'nin oluşturulması ve oluşturulan bu sistemde Türkiye enerji sektörüne yönelik çeşitli uygulamaların yapılmasıdır. Çalışma kapsamında, Enerji ve Çevre konularında yapılmış Yöneyim Araştırması çalışmalarından Performans Değerlendirmesi ve Karar

Analizi'ne yönelik olarak geniş bir literatür çalışması gerçekleştirilmiş ve çeşitli matematiksel teknikler ile problem alanları belirlenmiştir. Belirlenen bu teknikleri kullanarak uygulama yapılabilen bir Karar Destek Sistemi oluşturularak, literatür araştırmasının bulguları olan enerji ile ilgili problem tipleri ve parametreler sistemin içine dahil edilmiştir. Çalışmanın son aşamasında, oluşturulan Karar Destek Sistemi'nde Türkiye enerji sektörü verileri ile çeşitli uygulamalar yapılarak bir örnek olay tabanı oluşturulmuştur.

Çalışmanın, çeşitli matematiksel teknikleri bir araya toplayan bir Karar Destek Sistemi geliştirilmesi, Enerji ve Çevre konusunda yapılan Performans Değerlendirmesi ve Karar Analizi çalışmalarının geniş bir şekilde incelenmesi ve Türkiye enerji sektöründe çeşitli tekniklerle, çeşitli amaçlara yönelik uygulamalar yapılması bakımından geniş kapsamlı bir çalışma olduğu söylenebilir.

Çalışmanın birinci bölümünde, Enerji ve Çevre konularında yapılan Performans Değerlendirmesi uygulamaları ele alınmaktadır. Bu bölümde, ilk olarak Performans Değerlendirmesi tekniklerinden Veri Zarflama Analizi ile ilgili genel bilgiler verilmektedir. Daha sonra, bu teknik ile Enerji ve Çevre konusunda yapılan çalışmalar ele alınarak literatürde yer alan problem tipleri ve parametreleri incelenmektedir.

İkinci bölümde, Karar Analizi teknikleri ile Enerji ve Çevre konusunda yapılan çalışmaların incelendiği literatür araştırmasının sonuçları yer almaktadır. Karar Analizi teknikleri hakkında genel bilgiler verilmekte ve hangi tekniklerin Enerji ve Çevre konusunda ne şekilde uygulandığı konusu irdelenmektedir. Bu bölümde, Karar Analizi teknikleri ile yapılan Enerji ve Çevre çalışmaları uygulama alanları, teknikler ve enerji tipleri gibi çeşitli yönlerden ele alınmaktadır.

Üçüncü bölümde çalışma kapsamında hazırlanan Karar Destek Sistemi'nde yer alan bütün tekniklerin matematiksel temelleri ele alınmaktadır. Teknikler detaylı bir biçimde anlatılmakta, kullanılan matematiksel formülasyonlar verilmektedir. Bu bölümde, Karar Destek Sistemi'nin teknikleri olan Veri Zarflama Analizi, Ölçüt Odaklı Veri Zarflama

Analizi, ELECTRE III, PROMETHEE, PROMETHEE – GDSS ve UTADIS teknikleri detaylı bir biçimde anlatılmaktadır.

Çalışmanın dördüncü bölümünde hazırlanan Karar Destek Sistemi'nin yapısı ve işleyişi anlatılmaktadır. Çalışmanın temel amaçları ve kapsamına değinildikten sonra kurulan sistemin işleyiş detayları ele alınmaktadır. Kurulan sistem, kullanıcı arayüzü, tekniklerin yer aldığı model tabanı, çeşitli problem parametrelerinin yer aldığı veri tabanı, sonuçların kullanıcıya sunulduğu rapor arayüzü ve çeşitli uygulamaların yer aldığı örnek olay tabanı olmak üzere beş adet temel başlık altında incelenmektedir. Örnek olay tabanı detaylı olarak beşinci bölümde ele alınmaktadır.

Çalışmanın son bölümünde, oluşturulan Karar Destek Sistemi'nde Türkiye enerji sektöründe gerçekleştirilen yukarıda sayılan beş adet uygulama yer almaktadır. Veri Zarflama Analizi kullanılarak yapılan uygulamalar genel olarak “Performans Değerlendirmesi Uygulamaları”, Karar Verme teknikleri ile yapılan uygulamalar ise “Karar Analizi Uygulamaları” başlıkları altında incelenmektedir. Her bir uygulama, elde edilen sonuçların değerlendirilmesini de içermektedir.

1. BÖLÜM

ENERJİ – ÇEVRE VE PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ

Bu bölümde, genel olarak Enerji ve Çevre konusunda yapılan performans değerlendirmesi uygulamaları ele alınmaktadır. Performans değerlendirmesi tekniklerinden, birimlerin birbirlerine göre performanslarını ölçmeye yönelik olarak yaygın bir şekilde kullanılan Veri Zarflama Analizi temel alınmıştır. İlk kısımda, Veri Zarflama Analizi ile ilgili genel bilgiler verilmekte, ikinci kısımda ise literatürde Enerji ve Çevre konusunda yapılmış olan Veri Zarflama Analizi uygulamaları irdelenmektedir. Yapılmış çalışmalar, Elektrik Sanayi Uygulamaları, Çevresel Performans Ölçümü, Enerji Verimliliği Ölçümü ve Belirli Sektörlerde Performans Ölçümü olmak üzere dört ana gruba ayrılarak incelenmektedir. Bu bölümün amacı, Enerji ve Çevre konusunda yapılan Veri Zarflama Analizi uygulamalarının problem tiplerini ve problemlerde ele alınan parametreleri özetlemektir.

1973-1974 petrol krizi geleneksel enerji kaynaklarının tükenebilir ve kullanımlarının ekonomik, teknik ve politik birçok faktörle sınırlı olduğu gerçeğini açıkça ortaya çıkarmıştır. Kriz sonrası dönemde, krizin ortaya çıkardığı gerçeklerden hareketle sanayileşmiş ülkelerdeki enerji planlayıcıları yükselen enerji fiyatlarının kendi ekonomilerine getireceği istenmeyen etkileri yok etmek amacıyla politikalar üretmeye yönelmişlerdir. Bu dönemdeki temel amaç, yabancı kaynaklardan sağlanan enerjiye olan bağımlılığını azaltmak ve yerel enerji kaynaklarına doğru yönelirken enerjinin korunmasına yönelik teknolojileri geliştirerek uygulamak olmuştur (Diakoulaki vd., 1999). Enerji araştırmacılarının, enerji çalışmalarında analitik modelleme teknikleri geliştirmeye ve uygulamaya yönelik ilgilerinin artması da bu döneme rastlamaktadır (Loken, 2007).

1980'lere gelindiğinde enerji kullanımının artışı, enerji araştırmalarına olan ilginin yanı sıra çevre konularına da büyüyen bir bilincin oluşmasını beraberinde getirmiştir (Zhou vd., 2007). Artan enerji üretiminin ve kullanımının doğal çevreye, dolayısıyla

insan sağlığı ve ekolojik dengeye negatif etkilerinin olduğu gerçeği ile yüzyüze gelinmiştir (Diakoulaki vd., 1999).

Enerji kaynaklarının sonsuz olmadığının ve artan enerji kullanımının çevreye gittikçe daha fazla zarar verdiğinin anlaşılması ile birlikte enerjiyi etkin bir şekilde üretmek, üretilen enerjiyi verimli kullanmak, enerji kullanımının çevreye verdiği zararları yönetebilmek ve enerji ile çevre konularında ileriye dönük rasyonel politikalar üretebilmek gibi konular hem makro hem de mikro düzeyde çok daha fazla önem kazanmıştır.

Enerji ve Çevre konularına yönelik olarak 1970 ve 1980’lerde ortaya çıkan ve gittikçe artan bu bilinç, bu alanlarda birçok tekniğin geliştirilmesinin ve uygulanmasının yolunu açmıştır. Ekonometrik teknikler, öngörü teknikleri, optimizasyon teknikleri ve Karar Analizi teknikleri gibi birçok matematiksel teknik, Enerji ve Çevre konularında uygulama alanı bulmuştur. Bu teknikler, Enerji ve Çevre politikalarını hem makro, hem de mikro düzeylerde daha etkin bir şekilde yönetebilmek amacı ile Enerji ve Çevre konularına uygun hale getirilerek yaygın bir şekilde kullanılmaya başlamıştır.

Performans değerlendirmesi, rekabetin her geçen gün yoğun bir şekilde arttığı günümüzde, rekabetçi kalabilmek için sürekli gelişmeyi sağlayabilecek önemli gelişim araçlarından biridir. Performans değerlendirmesi ve kıyaslama, işletmenin ya da işletme biriminin sürekli gelişmesini ve rekabetin olduğu global işletme çevresinde başarıya ulaşmasını artırıcı yönde olumlu etki yapar. Performans değerlendirmesi ile, işletme faaliyetlerinin ve süreçlerinin güçlü ve zayıf yönleri görülebilir, müşterilerin ihtiyaçları daha iyi karşılanabilir ve işletme faaliyetlerinin geliştirilmesi için yeni fırsatlar elde edilebilir (Zhu, 2002).

Bu yapısıyla, performans değerlendirmesi yönetim biliminde önemli yer tutan konulardandır. Bu konu, doğal olarak, Enerji ve Çevre çalışmalarında da kendine geniş bir şekilde yer bulmuştur. Enerjinin daha etkin bir şekilde üretilmesi ve kullanılmasının yollarının araştırılmasında, çevre politikalarının yönetilmesinde ve ileriye yönelik politikalar üretilmesinde mevcut performansın ölçümü ve değerlendirilmesi kuşkusuz

yol gösterici bir niteliktedir. Bu açıdan, Enerji ve Çevre çalışmalarının bir bölümü, mikro veya makro düzeyde performans ölçülmesine yarayan tekniklerin kullanıldığı çalışmalardır.

1.1. Performans Değerlendirmesi ve Veri Zarflama Analizi

Enerji ve Çevre modellemesinde kullanılan teknikler arasında, parametrik olmayan bir etkinlik ölçme yaklaşımı olan Veri Zarflama Analizi performans değerlendirmesinde sıklıkla kullanılan tekniklerden biri olarak karşımıza çıkmaktadır. Farrell (1957) tarafından gerçekleştirilen çalışmadan temellerini alan ve Charnes, Cooper ve Rhodes (1978) tarafından ortaya atılan Veri Zarflama Analizi ortaya çıkışından beri yönetim bilimi, ekonomi ve yöneylem araştırması gibi birçok alanın uzmanları tarafından artan bir şekilde uygulanan bir teknik haline gelmiştir.

Özellikle 1980'lerin sonlarından itibaren ortaya çıkan enerji sektöründeki özelleştirme dalgasından itibaren birçok ülkedeki enerji sektöründe (özellikle elektrik sektörü) Veri Zarflama Analizi önemli bir göreceli performans ölçme ve kıyaslama tekniği olarak kabul görmektedir (Jamass ve Pollitt, 2001).

Veri Zarflama Analizi, odak noktası, tükettiği girdilerin miktarı ve ürettiği çıktılarının miktarı birbirinden farklı olan bir grup Karar Birimi'ni birbirleri ile kıyaslamak olan matematiksel bir tekniktir. Veri Zarflama Analizi'nde amaç, bir karar birimini seçmekten ziyade, ele alınan girdi ve çıktılar ışığında etkin olan veya etkin olmayan karar birimlerini belirlemek ve aynı zamanda da etkin olmayan karar birimlerinin etkinsizlik durumlarının kaynağını analiz etmektir (Stewart, 1996).

Veri Zarflama Analizi'nin temeli doğrusal programlamaya dayanır. Ele alınan girdi ve çıktı değerlerine göre karar birimlerinin etkinlik sınırı belirlenir. Etkin sınırdaki yer alan birimlerin etkinlik skoru %100 alınarak diğer karar birimlerinin etkinlik skorları göreceli olarak hesaplanır (Jamass ve Pollitt, 2001). Veri Zarflama Analizi'nin en önemli avantajı, girdi ve çıktılar arasında fonksiyonel ilişkilere ihtiyaç duymamasıdır. Bu özelliği ile parametrik olmayan bir etkinlik ölçüm tekniğidir (Seiford ve Thrall, 1990).

Benzer görevleri yerine getiren örgütler ya da örgüt birimleri arasında, belli girdiler ve çıktılar dikkate alınarak etkinlik kıyaslaması yapılabilen Veri Zarflama Analizi, bankacılık, demir-çelik endüstrisi, haberleşme ve eğitim gibi birçok özel sektör ve kamu sektörü örgütlerinde görece performans değerlendirmesi amacı ile kullanılmakta olan bir tekniktir (Sarkis ve Weinrach, 2001). Yukarıda da bahsedildiği üzere, bu teknik, Enerji ve Çevre konusunda da özellikle 1980'lerin sonundan itibaren dikkate değer biçimde uygulanmaktadır.

1.2. Enerji ve Çevre Konusunda Veri Zarflama Analizi Uygulamaları

Literatürde Enerji ve Çevre alanında Veri Zarflama Analizi ve türevi yöntemler kullanılarak yapılan çalışmaları uygulama alanlarına göre dört ana grupta toplamak mümkündür (Zhou vd., 2007):

- 1) Elektrik Sanayi
- 2) Çevresel Performans Ölçümü
- 3) Enerji Verimliliği Ölçümü
- 4) Belirli Sektörlerde Performans Ölçümü (Petrol, doğalgaz, kömür vb.)

1.2.1. Elektrik Sanayi Uygulamaları

Veri Zarflama Analizi ile yapılan Enerji ve Çevre çalışmalarında en büyük kısmı elektrik sanayinde yapılan çalışmalar oluşturmaktadır. 1990 öncesinde elektrik sanayinde yapılan Veri Zarflama Analizi çalışmaları genellikle elektrik üretim tesisleri üzerinde durmaktadır. 1990'ların başından itibaren Veri Zarflama Analizi elektrik dağıtım sektörü için de popüler bir kıyaslama tekniği olarak ön plana çıkmaktadır (Zhou vd., 2007). Bu açıdan bakıldığında, elektrik sanayinde yapılan Veri Zarflama Analizi uygulamalarını elektrik üretiminde yapılan uygulamalar ve elektrik dağıtımında yapılan uygulamalar olmak üzere iki ayrı kategoride düşünebiliriz.

1.2.1.1. Elektrik Üretim Birimlerinin Performansı

1980’lerin başından itibaren araştırmacılar, Veri Zarflama Analizi’ni elektrik üretim birimlerinin verimlilik performansı ölçümlerinde sıklıkla kullanmışlardır (Lam ve Shiu, 2001). Bu alanda yapılan ilk çalışma, Fare vd. (1985) tarafından kamu ve özel sektör elektrik üretim birimlerinin verimliliğini kıyaslamak üzere yapılmıştır. Daha sonra elektrik üretimi alanında uygulanmış çalışmalara Golany, Roll ve Rybak (1994), Goto ve Tsutsui (1998), Lam ve Shiu (2001), Cook ve Green (2005) ve Pombo ve Taborda (2006) örnek olarak verilebilir. Bu konuda yapılan çalışmalar Amerika Birleşik Devletleri, İngiltere, İsrail, Japonya, Çin, Hindistan, Kore gibi dünyanın birçok ülkesinde gerçekleştirilmiştir.

Dünyada elektrik üretimi, fosil yakıt enerjisi , nükleer enerji, jeotermal enerji, güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, doğalgaz ve su gibi çok çeşitli kaynaklar kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Buna bağlı olarak, elektrik üretim birimleri kavramı bu kaynakların herhangi birini kullanarak elektrik üretimi gerçekleştiren her türlü işletmeyi ya da işletme birimini içine alan bir kavram olarak düşünülmelidir. Yapılan çalışmalar genellikle fosil yakıtlar kullanılarak termik olarak elektrik enerjisi üreten tesisler üzerinde yoğunlaşmıştır.

Elektrik üretimi sektöründe Veri Zarflama Analizi ile performans değerlendirmesi yapan uygulamalarda sıklıkla kullanılan değişkenler Tablo 1.1’de gösterilmiştir.

Tablo 1.1 – Elektrik Üretim Birimlerinin Analizinde Kullanılan Değişkenler

Girdiler	Çıktılar
▪ Kurulu güç (Kapasite) ▪ Yakıt Tüketimi ▪ Sermaye ▪ İşgücü ▪ Sistem Kayıpları ▪ Maliyetler	▪ Üretilen Güç ▪ Gaz Salınımı

Yapılan çalışmalar genellikle fosil yakıt kullanarak elektrik enerjisi üreten birimlere yoğunlaştığı için yakıt tüketimi ve gaz salınımı değişkenleri analizlerde sıklıkla yer almaktadır. Gaz salınımı değişkeni genellikle karbondioksit (CO₂) ve kükürtdioksit (SO₂) gazlarının salınımını ifade etmektedir. Kurulu güç, sermaye, işgücü, sistem kayıpları, maliyetler ve üretilen güç gibi değişkenler farklı tipteki elektrik üretim alanlarının göreceli etkinlik ölçümlerinde kullanılabilecek ortak değişkenlerdir.

1.2.1.2. Elektrik Dağıtım Birimlerinin Performansı

Elektrik dağıtım birimlerinin verimliliği konusunda Veri Zarflama Analizi ile yapılan ilk çalışma Weyman-Jones (1991) tarafından gerçekleştirilen ve İngiltere'deki elektrik dağıtım sektörünün etkinliğini ölçen çalışmadır. Bu çalışmadan sonra, literatürde bu konuda yapılan uygulamaların sayısı gittikçe artmış ve ölçekleri tek ülkeden uluslararası düzeye genişlemiştir. Yapılan çalışmalara örnek olarak; Hjalmarsson ve Veiderpass (1992), Forsund ve Kittelsen (1998), Lo, Chien ve Thin (2003), Jamasb ve Pollitt (2003) ve Edvardsen ve Forsund (2003) verilebilir.

Elektrik dağıtım birimlerinin verimliliğinin Veri Zarflama Analizi ile değerlendirildiği çalışmaların Japonya, Çin, Filipinler gibi Asya ülkeleri, İngiltere, Norveç, İsveç, Finlandiya, Yunanistan ve Türkiye gibi Avrupa ülkeleri, Amerika Birleşik Devletleri, Brezilya ve Şili gibi Amerika kıtası ülkeleri gibi dünyanın birçok ülkesinde yapıldığı görülmektedir.

Yapılan çalışmalara bakıldığında analizlerde ele alınan girdi ve çıktıların birçoğunun ortak olduğu göze çarpmaktadır. Elektrik dağıtım birimlerinin verimliliğinin kıyaslandığı 20 çalışmada kullanılan girdi ve çıktılar Jamasb ve Pollitt tarafından 2001 yılında yapılan çalışmada sıralanmıştır. Tablo 1.2'de bu girdi ve çıktıların en yaygın olarak kullanılanları gösterilmektedir.

Tablo 1.2 – Elektrik Dağıtım Birimlerinin Analizinde Kullanılan Değişkenler

Girdiler	Çıktılar
▪ Personel Sayısı ▪ Hat Uzunluğu ▪ Trafo Kapasitesi ▪ İşletme Giderleri ▪ Sermaye ▪ Enerji Kayıpları ▪ Satın alınan güç ▪ Hizmet Alanı ▪ Maksimum Talep	▪ Satılan Elektrik ▪ Müşteri Sayısı ▪ Hizmet Alanı ▪ Maksimum Talep ▪ Hat Uzunluğu ▪ Trafo Sayısı

Kaynak: Jamasb ve Pollitt (2001)

Tablo 1.2 incelendiğinde hizmet alanı, hat uzunluğu ve maksimum talep gibi değişkenlerin bazı çalışmalarda girdi, bazılarında ise çıktı olarak alındığı görülmektedir. Bu değişkenlerden hizmet alanı ve maksimum talep daha çok çıktı olarak kullanılırken, hat uzunluğu çoğunlukla girdi olarak analizlerde yer almıştır. Listelenen değişkenler arasında, en çok kullanılan girdi olarak personel sayısı, hat uzunluğu, trafo kapasitesi, işletme giderleri ve sermaye ön plana çıkmaktadır. Analizlerde en sık kullanılan çıktılar ise satılan enerji miktarı, müşteri sayısı ve hizmet alanıdır (Jamasb and Pollitt, 2001).

1.2.2. Çevresel Performans Ölçümü Uygulamaları

Çevresel performansın ölçümü Enerji ve Çevre konularında Veri Zarflama Analizi'nin uygulandığı bir başka popüler alan olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu konuda yapılan çalışmaların sayısı 1999-2006 döneminde dikkat çekici biçimde artmıştır. Çevre konularına ve sürdürülebilir kalkınmaya yönelik olarak dünya çapında artan ilgi yapılan çalışmaların sayısındaki artışın en büyük nedenidir.

Tyceta (1997, 1998), Boyd ve McClelland (1999), Hernandez-Sancho vd. (2000) ve Boyd vd. (2002) tarafından gerçekleştirilen çalışmalarda Veri Zarflama Analizi çevresel performansı firma düzeyinde (mikro düzeyde) değerlendirmek amacıyla kullanılmıştır.

Son dönemlerde, makro düzeyde çevresel performans modellenmesinde de Veri Zarflama Analizi uygulamalarına yönelik eğilim artış göstermektedir. Bölgesel veya ulusal seviyede karbondioksit salınımı konusunda Veri Zarflama Analizi uygulamaları yaygınlıkla görülmeye başlamıştır. Zaim ve Taskin (2000), Ramanathan (2002), Fare vd. (2004) Veri Zarflama Analizi ile çevresel performans değerlendirmesinde makro düzeyde yapılan çalışmalara örnek olarak verilebilir (Zhou vd., 2007).

Çevresel performansın değerlendirilmesine yönelik olarak yapılan Veri Zarflama Analizi çalışmaları modelleme açısından standart yöntemlerden farklılık göstermektedir. Veri Zarflama Analizi yaklaşımı genel olarak etkin sınır belirlendikten sonra karar birimlerini girdilerini azaltmaya ya da çıktıları arttırmaya yönlendirerek etkin sınıra yaklaştırmaya çalışan bir yapıya sahiptir. Ancak, bazı durumlarda üretim sürecinde istenmeyen çıktı ya da girdiler yer almaktadır. Örneğin; fosil yakıtlarla elektrik üretim süreci karbondioksit ve kükürtdioksit salınımıyla sonuçlanan bir süreçtir. Veri Zarflama Analizi'nin çıktıları arttırarak etkin sınıra yaklaşma bakış açısı istenmeyen çıktılar durumunda farklı bir şekilde ele alınmalıdır (Seiford ve Zhu, 2002). Bu noktadan hareketle, istenmeyen çıktıların varlığı durumunda uygulanabilecek Veri Zarflama Analizi modelleri geliştirilmiştir. Bunlara örnek olarak Seiford ve Zhu (2002) veya Fare vd. (1989) en yaygın bilinen örnekler olarak verilebilir. Seiford ve Zhu'nun modeli veri ve standart Veri Zarflama Analizi modellerinin dönüşümüne odaklanırken, Fare vd. (1989) tarafından geliştirilen model doğrusal olmayan programlama tabanlı bir Veri Zarflama Analizi yaklaşımıdır (Zhou vd., 2007).

Çevresel performansın ölçümünde Veri Zarflama Analizi'nin kullanıldığı bazı çalışmalar ve bu çalışmalarda dikkate alınan girdi, çıktı ve istenmeyen çıktılar Tablo 1.3'te gösterilmiştir. Fosil atıkla çalışan elektrik üretim birimlerinde ve atık yönetiminde yapılan çalışmalar firma düzeyinde yapılan çalışmalara örnek teşkil etmektedir. Makro düzeyde yapılan çevresel performans değerlendirmesine örnek olarak ülkeler düzeyinde enerji tüketimi ve karbondiyoksit salınımı analizi yapan Ramanathan (2005) ve Zhou (2006b) örnek olarak verilmiştir. Tablo 1.3'te görüldüğü üzere makro analizlerde gayri safi milli hasıla, enerji arzı, nüfus, enerji tüketimi ve karbondiyoksit salınımı gibi makro değişkenler dikkate alınırken, mikro düzeyde

yapılan analizler işletme bazında değişkenleri kullanmaktadır. Ayrıca analizlerde girdi ve çıktı faktörlerinin yanında istenmeyen çıktı değişkeni de analize dahil edilen bir boyut olarak karşımıza çıkmaktadır.

Tablo 1.3 – Çevresel Performansı Ölçmeye Yönelik VZA Uygulamalarına Örnekler

Alan	Değişkenler	Ölçek	Çalışma
Fosil Atıkla Çalışan Elektrik Birimleri	Çıktı: Elektrik Üretimi Girdiler: Çalışan Sayısı, Fosil Yakıtlar, Sermaye İstenmeyen çıktılar: SO ₂ , NO _x , CO ₂	Mikro	Fare vd. (1996), Tyteca (1997, 1998)
Atık Yönetimi	Çıktı: Atık Sapma Oranı Girdi: Geri Dönüşüm Maliyeti İstenmeyen Çıktı: Çöküntü Atık Oranı	Mikro	Courcelle vd. (1998)
CO ₂ Salınımı (30 OECD ülkesi)	Çıktı: Gayri Safi Milli Hasıla Girdiler: Enerji Arzı, Nüfus İstenmeyen Çıktı: Karbondioksit (CO ₂)	Makro	Zhou vd. (2006b)
Enerji tüketimi ve CO ₂ Salınımı (17 ülke)	Çıktılar: Fosil Olmayan Yakıt Enerji Tüketimi, Gayri Safi Milli Hasıla Girdiler: Fosil Yakıt Enerji Tüketimi, Karbondioksit Salınımı	Makro	Ramanathan (2005)

1.2.3. Enerji Verimliliği Ölçümü Uygulamaları

Enerji verimliliğinin ölçülmesi ve gözlenmesi konusu Enerji ve Çevre çalışmalarında gittikçe gelişen bir konu olarak yerini almaktadır. Enerji verimliliğinin ölçülmesinin önemi ve Veri Zarflama Analizi'nin birçok faktörü bir araya getirebilme yeteneği düşünüldüğünde enerji verimliliğini ölçmeye yönelik çalışmalarda bu tekniğin kullanımı kaçınılmaz hale gelmektedir. Nitekim, bu konuda yapılmış mikro ve makro düzeyde çalışmalar olduğu gibi, yakın gelecekte enerji verimliliğini ölçmek amacıyla Veri Zarflama Analizi ve türevi tekniklerin kullanımının artacağı öngörülmektedir (Zhou vd., 2007).

Yapılan makro düzeydeki çalışmalar genellikle bölgesel ya da uluslararası ölçekte enerji kullanım performansını ölçmeye yönelik olarak yapılmışlardır. Bu tip çalışmalarda sermaye birikimi, işgücü ve enerji tüketimi gibi makro değişkenler girdi olarak; gayri safi milli hasıla da çıktı olarak alınmıştır. Bu makro değişkenler ışığında çeşitli bölgelerin ya da ülkelerin göreceli enerji verimlilikleri hesaplanmaktadır. Bu tip çalışmalara örnek olarak Hu ve Wang (2006) ve Hu ve Kao (2007) verilebilir.

Tablo 1.4 – Enerji Verimliliği Ölçmeye Yönelik VZA Uygulaması Örnekleri

Çalışma	Uygulama Alanı	Değişkenler
Hu ve Wang (2006)	Çin - 29 Eyalet	Girdiler: İşgücü, Sermaye Birikimi, Enerji Tüketimi, Ekili alan toplamı Çıktı: Gayri Safi Milli Hasıla
Hu ve Kao (2007)	17 APEC (Asya Pasifik Ekonomik İşbirliği) Ülkesi	Girdiler: Sermaye Birikimi, İşgücü, Enerji Tüketimi Çıktı: Gayri Safi Milli Hasıla
Chauan vd. (2006)	Hindistan - 97 tarım çiftliği	Girdi: Enerji Kullanımı Çıktı: Ürün (Tarım)
Onut ve Soner (2006)	Türkiye – Antalya – 32 otel	Girdiler: Personel Sayısı, Yıllık Elektrik Tüketimi, Su Tüketimi, Lpg Tüketimi Çıktılar: Doluluk oranı, Yıllık Toplam Gelir, Toplam Konuk Sayısı

Veri Zarflama Analizi ile enerji verimliliği ölçme konusunda mikro düzeyde yapılan çalışmalara bakıldığında ise sektörel ya da firma ölçeğinde çalışan sayısı ve yıllık enerji tüketimi gibi faktörler girdi olarak; yıllık gelir ve hizmet sektörü firmaları için müşteri sayısı, üretim sektörü firmaları için üretim miktarı gibi faktörler çıktı olarak alınarak Veri Zarflama Analizi ile enerji verimliliği ölçümü yapıldığı görülmektedir. Bu tip bir çalışmaya örnek olarak Onut ve Soner (2006) tarafından Antalya'daki 32 beş yıldızlı otel üzerinde yapılan çalışma verilebilir. Bu çalışmada çalışan sayıları, yıllık elektrik, su ve lpg tüketimleri girdi olarak; doluluk oranları, yıllık gelirleri ve toplam müşteri sayıları da çıktı olarak alınarak gerçekleştirilen Veri Zarflama Analizi ile otellerin göreceli enerji verimlilikleri hesaplanmıştır. Chauan vd. (2006) tarafından Hindistan'da

gerçekleştirilen çalışmada da benzer bir şekilde kullanılan enerji girdi, elde edilen ürün çıktı olarak alınarak 97 çiftlik için enerji verimliliği ölçümü yapılmıştır.

Enerji verimliliği ölçümü ile Veri Zarflama Analizi'nin bir araya geldiği 4 çalışma, çalışmaların uygulama alanları ve bu çalışmalarda kullanılan değişkenler Tablo 1.4'te özetlenmiştir. Yapılan çalışmaların temel mantığı, kullanılan enerjinin girdi, üretilen ürünün (ya da elde edilen gelirin) çıktı olarak alınmasıdır. Makro düzeyde yapılan çalışmalarda makro göstergeler değişken olarak alınırken (örn. Gayri Safi Milli Hasıla), işletme düzeyinde mikro göstergeler değişken olarak alınmaktadır (örn. Yıllık Gelir).

1.2.4. Belirli Sektörlerde Performans Ölçümü Uygulamaları

Veri Zarflama Analizi, bahsedilen uygulama alanları (Elektrik sanayisi, çevre performans ölçümü ve enerji verimliliği ölçümü) dışında, enerjinin farklı birçok sektöründe de performans ölçüm aracı olarak sıklıkla kullanılmaktadır. Örnekler arasında gaz sektörü, petrol endüstrisi, kömür madenleri, ve merkezi ısıtma sistemleri sayılabilir. Tablo 1.5 farklı sektörlerde Veri Zarflama Analizi ile performans ölçüm uygulamalarına örnekler içermektedir.

Tablo 1.5 – Belirli Sektörlerde Performans Ölçümünde VZA Uygulaması Örnekleri

Çalışma	Uygulama Alanı	Değişkenler
Hawdon (2003)	Uluslararası Doğalgaz sektörü (33 Ülke)	Girdiler: Gaz Tüketimi, Müşteri Sayısı Çıktılar: İşgücü, Boru Hattı Uzunluğu
Sueyoshi (2000)	Petrol Sektörü (Japon Petrol Şirketi – 60 İstasyon)	Girdiler: Çalışan sayısı, İstasyon Büyüklüğü, İşletme Giderleri Çıktılar: Benzin Miktarı, Petrol Miktarı
Raczka (2001)	Merkezi Isıtma Sistemleri (Polonya – 41 tesis)	Girdiler: İşgücü, Yakıt, Kirlilik Çıktı: Isı Üretimi
Kulshreshtha ve Parikh (2002)	Kömür Madenleri (Hindistan – 30 bölge)	Girdiler: İşgücü, Madencilik Ekipmanları Çıktılar: Çıkarılan Kömür

Özet olarak, Veri Zarflama Analizi, Enerji ve Çevre alanında bir performans değerlendirme aracı olarak geniş olarak yer bulmuştur. Uygulama alanına ve karar birimlerinin yapısına göre çok çeşitli girdi ve çıktılar dikkate alınarak Veri Zarflama Analizi ve ondan türeyen modeller Enerji ve Çevre konusunun birçok alanına uygulanmıştır. Başlıca uygulama alanları; elektrik sektörü, çevresel performansın ölçülmesi, enerji verimliliğinin değerlendirilmesi ve belirli enerjinin birçok sektöründe performansın değerlendirilmesi olarak sıralanmaktadır.

Sadece Enerji ve Çevre alanında değil, birçok sektörde geleceğin planlanmasında mevcut performansın değerlendirilmesi önemli bir yer tutmaktadır. Bu açıdan bakıldığında, Enerji ve Çevre alanı için de performans ölçümü, enerjinin daha etkin kullanılabilmesi, sektörün çevreye olan zararlı etkilerinin azaltılması ve sürdürülebilir kalkınmanın gerçekleştirilmesi yönünde yapılacak planlama çalışmaları için önemli bir kavram olarak karşımıza çıkmaktadır. Birimlerin birbirlerine göre performanslarının ölçülmesine olanak sağlayan ve performans ölçümüne parametrik olmayan bir bakış açısı getiren bir yöntem olan Veri Zarflama Analizi'nin de bu noktada uygulama alanı bulması kaçınılmaz olmaktadır.

2. BÖLÜM

ENERJİ – ÇEVRE VE KARAR VERME

Bu bölümde, Enerji ve Çevre konusunda yapılan Karar Analizi çalışmalarına genel bir bakış yapılmaktadır. İlk kısımda Karar Analizi tekniklerinin genel sınıflandırılmasından ve tekniklerden bahsedilmektedir. İkinci kısımda ise Enerji ve Çevre konusunda yapılmış Karar Analizi uygulamaları uygulama alanları, teknikler ve enerji tipleri açısından ele alınmaktadır. Bu bölümün amacı, Enerji ve Çevre konusuna uygulanmış Karar Analizi tekniklerinin uygulandığı problem tiplerini, alanları ve kullanılan teknikleri özetlemektir.

Enerji ve Çevre konularının 1970’lerden günümüze artarak kazandığı önem, bu konularda yapılan çalışmalarda, performans ölçümünün yanısıra bir konuyu daha gündeme getirmiştir; “Enerji ve Çevre Kararları”. Genel olarak, enerji ve enerji ile ilişkili çevre konuları karmaşık ve birçok amacın çeliştiği niteliktedir. Çoğunlukla, büyük miktarda belirsizlik, uzun zaman çerçevesi, sermaye yoğun yatırım ve herbiri farklı eğilimdeki birçok farklı ilgi grubunu içerirler (Zhou vd., 2006a). Enerji ve Çevre konularının bu özelliklerinden dolayı, bu konularda alınacak kararlar da birden fazla amacın, kriterin veya niteliğin bir araya geldiği bir yapıdadır. Bu yapıları itibarıyla, Enerji ve Çevre kararları, Yönetim Bilimi ve Yöneylem Araştırması’nın konularından biri olan Karar Analizi’nin uygulama alanına girmektedir.

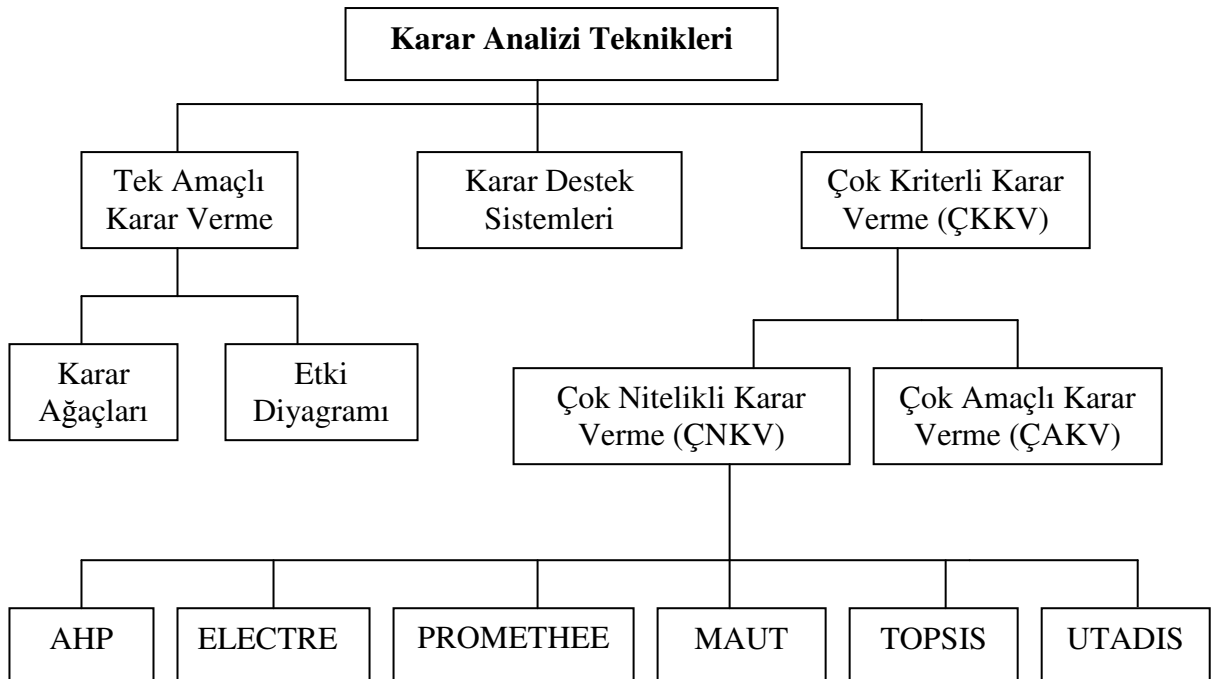
Karar Analizi, işletmelerde karar verme sürecinde karşılaşılabilecek problemlerin matematiksel modeller, sayısal ve istatistiksel teknikler kullanılarak irdelenmesi yolu ile çeşitli hareket tarzları önermeye yönelik bir yöntem olarak tanımlanabilir. Karar Analizi teknikleri işletmelerde, insan kaynakları yönetimi, finansal yönetim ve üretim yönetimi gibi birçok konuda uygulama alanı bulmaktadır. Enerji sektöründe faaliyet gösteren işletmeler için de bu durum söz konusudur. Enerji sektörü için 1960’lardan itibaren planlama, yatırım, teknoloji seçimi, proje değerlendirmesi ve çevre politikalarının belirlenmesi gibi birçok konuda Karar Analizi tekniklerinden faydalanan çalışmalar yapılmıştır.

Huang (1995) tarafından gerçekleştirilen ve enerji ile çevre konularına Karar Analizi tekniklerinin uygulandığı çalışmaları inceleyen literatür araştırmasına göre bu konularda yapılmış 95 yayın karşımıza çıkmaktadır. 2004 yılına gelindiğinde Zhou yapılan bir literatür çalışması ise bu sayının neredeyse üçe katlanarak 252'ye ulaştığını göstermektedir. 1995 sonrası gerçekleşen bu artış Enerji ve Çevre konularının artan bir şekilde güncellik kazandığını ve birçok disiplinde olduğu gibi Yöneylem Araştırması disiplininde de çokça yer almaya başladığını göstermesi açısından önemlidir.

2.1. Karar Analizi Teknikleri

Karar Analizi teknikleri genel olarak Tek Amaçlı Karar Verme, Karar Destek Sistemleri ve Çok Kriterli Karar Verme olmak üzere 3 grupta incelenebilir. Karar Analizi tekniklerinin sınıflandırılması Şekil 1.1'de özetlenmektedir.

Şekil 2.1 – Karar Analizi Tekniklerinin Sınıflandırılması



Kaynak : Zhou vd. (2006a)

2.1.1. Tek Amaçlı Karar Verme

Tek Amaçlı Karar Verme, tek hedef altında belirsiz getirileri olan alternatiflerin değerlendirilmesine yönelik metodları içerir. Klasik yaklaşımları, karar problemlerinin basit ve kompakt bir şekilde ifade edildiği karar ağacı ve etki diyagramı yaklaşımlarıdır (Zhou vd., 2006a).

2.1.2. Karar Destek Sistemleri

Karar Destek Sistemleri, karar vericiler tarafından kullanılabilecek modelleri, veritabanlarını ve diğer Karar Analizi araçlarını içeren her türlü interaktif yazılımı içeren sistemlerin genel ifadesidir. Karmaşık ve yapısal olmayan karar problemlerinin çözümünü sağlamaya yönelik olarak geliştirilirler. Geleneksel karar destek sistemleri modellerin ve parametrelerinin belirlenmesi konusunda kullanıcının deneyimine dayanır (Zhou vd., 2006a). Karar Destek Sistemleri hem tek Amaçlı Karar Verme hem de Çok Kriterli Karar Verme modellerini temel alarak hazırlanabilirler.

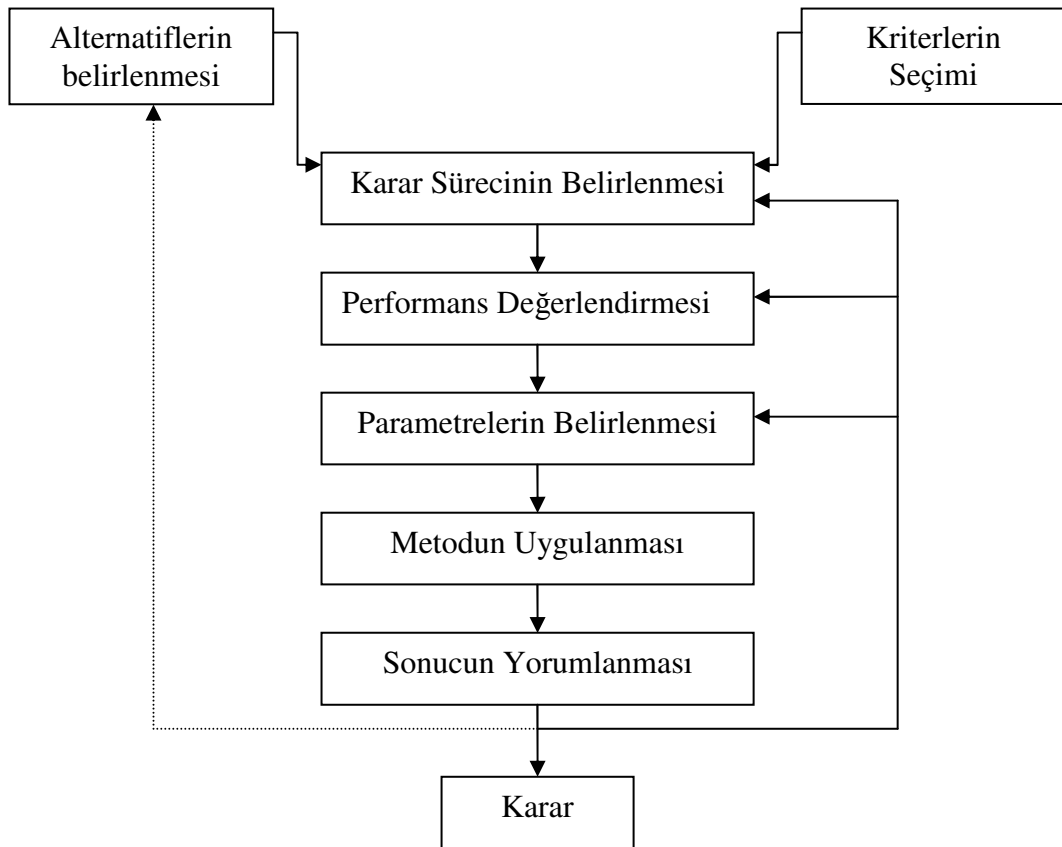
2.1.3. Çok Kriterli Karar Verme

Çok Kriterli Karar Verme, Karar Analizi'nin en yaygın kullanılan yöntemlerini içeren dalıdır. Birden fazla karar kriterinin değerlendirilmesi ile alternatifler arasından seçim yapılmasını, alternatiflerin gruplanmasını veya sıralanmasını sağlayan yöntemler içerir. Çok Nitelikli Karar Verme ve Çok Amaçlı Karar Verme olmak üzere iki türe ayrılabilir. Her iki tür de çeşitli modelleme yaklaşımları içermektedir. Ayrıca, Çok Kriterli Karar Verme teknikleri, karar probleminin yapısına ve uygulanan tekniğin modellenmesine bağlı olarak deterministik, stokastik veya bulanık yapıda olabilir. Karar verici sayısına göre de tek başına karar verme veya grup karar verme yöntemleri olarak da uygulanabilirler (Pohekar ve Ramachandran, 2004).

Çok Kriterli Karar Verme yöntemlerinin uygulanmasında genel olarak izlenen yol Şekil 2.2'de gösterilmektedir. Buna göre süreç, alternatiflerin ve karar kriterlerinin seçimi ile başlar. Daha sonra, karar sürecinin ne şekilde işleyeceği, başka bir deyişle hangi Karar

Analizi yönteminin, ne şekilde kullanılacağına karar verilir. Performans değerlendirmesi aşamasından kasıt, her bir alternatifin her bir kriter gere değerin belirlenmesidir. Performans Değerlendirmesi aşamasından sonraki aşamalarda, sırasıyla; uygulanacak yönteme uygun olarak problem parametrelerinin belirlenmesi, metodun uygulanması ve elde edilen sonuçların yorumlanarak bir karara varılması evreleri yer alır. Karar metodunun uygulanmasından sonra sonuçların yorumlandığı evrede karar verici bir karara ulaşmakta sıkıntı yaşıyorsa, model parametrelerinin belirlenmesi, performans değerlendirmesi veya karar sürecinin belirlenmesi aşamalarını gözden geçirerek süreci tekrar işletebilir. Karar vermedeki sıkıntının devamı durumunda alternatiflerin seçimi aşamasına geri dönülmelidir.

Şekil 2.2 – Çok Kriterli Karar Verme Süreci



Kaynak: Pohekar ve Ramachandran, 2004.

Şekil 2.1’de de görüldüğü üzere Çok Kriterli Karar Verme, Çok Amaçlı Karar Verme ve Çok Nitelikli Karar Verme olmak üzere 2 ayrı kola ayrılmaktadır. Bu kollardan Çok Nitelikli Karar Verme tekniklerine örnek olarak, AHP (Analytic Hierarchy Process), ELECTRE (Elimination and Choice Translating Reality), PROMETHEE (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation), MAUT (Multi-attribute Utility Theory), TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) ve UTADIS (Utilities Additives Discriminantes) gibi yöntemler sıralanmaktadır. Çok Nitelikli Karar Verme yöntemlerine örnek olarak verilen bu yöntemlerle ilgili temel bilgiler aşağıda sıralanmaktadır:

i. AHP Yöntemi

Çok Nitelikli Karar Verme teknikleri arasında yer alan AHP, Türkçe deyiimiyle Analitik Hiyerarşi Süreci, Saaty (1980) tarafından geliştirilen ve en yaygın olarak kullanılan Karar Analizi araçlarından biridir. Bir alternatif kümesini sıralamak veya bir alternatif kümesi içinden en iyiyi seçmek amacıyla kullanılabilen bir tekniktir. Seçme veya sıralama işlemi, temel bir hedefe yönelik olarak, hedefi bir kriter setine parçalayarak gerçekleşir. AHP metodu, ortaya atılmasından itibaren kendisine geniş bir uygulama alanı bulmuştur. Popülaritesi, modelin basitliğine, esnekliğine ve hem niteliksel hemde niceliksel kriterleri aynı çerçeve içerisinde toplayabilmesine dayanmaktadır (Ramanathan, 1999).

AHP temel olarak üç prensibe dayanır. Bu prensipler; karmaşık bir karar probleminin hedef, kriter ve alternatif hiyerarşisi olarak yapılandırılması, hiyerarşinin her seviyesinde, her bir kriter gere, elemanların ikili olarak karşılaştırılması ve hiyerarşinin bütün seviyelerindeki yargıların birleştirilmesi olarak sıralanabilir (Saaty, 1980; Tiwari and Banerjee, 2001). Başka bir deyişle AHP yöntemi her bir alternatifin toplam hedefteki etkisini hesaplamaya çalışan bir tekniktir (Kablan, 2004). Planlama, performans ölçme, kaynak dağıtımı, proje değerlendirme, yer ve teknoloji seçimi gibi birçok konuda uygulama alanı bulmaktadır (Saaty, 1980). Karar problemlerinin yapısına göre Saaty (1980) tarafından geliştirilen orjinal modelin üzerinde bazı geliştirmeler yapılarak yöntemin çeşitli türevleri de oluşturulmuştur (Ramanathan, 1999).

ii. ELECTRE Yöntemi

Çok Nitelikli Karar Verme teknikleri arasında sıralanan yöntemlerden bir diğeri olan ELECTRE, Türkçe'ye "Uyum – Uyumsuzluk Yöntemi" olarak çevrilebilir. Benayoun (1966) tarafından yapılan çalışmadan köklerini alan ELECTRE yönteminin asıl ortaya çıkışı Roy (1968) tarafından yapılan çalışmayla olmuştur (Figueira vd., 2005). Temel olarak, çeşitli alternatiflerin, belirlenen kriterlere uyum ya da uyumsuzluklarının her bir kriter için belirlenen eşik değerleri aracılığıyla değerlendirildiği bir teknik olarak ortaya çıkmıştır. Zaman içerisinde, yapılan uygulamalardaki ihtiyaca göre evrimleşen yöntemin, alternatifler arasında seçim yapmaya, alternatifleri sıralamaya veya alternatifleri gruplamaya yönelik olarak çeşitli türleri geliştirilmiştir. ELECTRE yönteminin enerji, finans, proje seçimi, ulaştırma, tarım ve askeri alanlar gibi birçok uygulama alanı mevcuttur.

ELECTRE yönteminin çeşitli amaçlara yönelik olarak geliştirilmiş 7 adet türünden söz etmek mümkündür. Bunlardan, alternatifler arasından seçim yapmak amacıyla kullanılanları; ELECTRE I, ELECTRE IV ve ELECTRE IS teknikleridir. Alternatiflerin sıralanması için ise ELECTRE II, ELECTRE III ve ELECTRE IV yöntemleri mevcuttur. Gruplama amacına yönelik olarak ise, ELECTRE TRI tekniğinden söz etmek mümkündür (Figueira vd., 2005). Güncel olarak literatürde en yaygın kullanılan ELECTRE türünün alternatiflerin sıralanmasına yarayan ELECTRE III olduğu söylenebilir (Tam vd, 2003).

iii. PROMETHEE Yöntemi

Brans vd. (1986) tarafından ortaya atılan PROMETHEE tekniği diğer Çok Kriterli Karar Verme yöntemlerine oranla kavraması ve uygulaması daha kolay olan bir sıralama yöntemidir (Goumas ve Lygerou, 1999). Diğer Karar Analizi yöntemlerinde olduğu gibi PROMETHEE tekniğinde de alternatiflerin çeşitli kriterler açısından değerlendirilerek sıralanması söz konusudur. Alternatifler, kriterler açısından değerlendirilirken her kriterin yapısına uygun olarak seçilen tercih fonksiyonlarından

yararlanılır. PROMETHEE tekniğinin uygulanışı genel olarak 3 aşamadan oluşur (Topcu ve Ulengin, 2004):

- 1) Alternatifler her bir kritere göre kriter için seçilen tercih fonksiyonları yardımı ile kıyaslanır.
- 2) Yapılan kıyaslamalarda elde edilen değerlerin ağırlıklı ortalaması ile tercih matrisi oluşturulur.
- 3) Oluşturulan tercih matrisinin sütun ve satır toplamlarından yararlanılarak alternatiflerin skorları hesaplanır ve alternatifler sıralanır.

PROMETHEE tekniği bankacılık, işgücü planlaması, yatırım kararları, sağlık, ilaç ve kimya endüstrileri gibi birçok alana uygulanmıştır (Brans ve Mareschal, 2005). ELECTRE yönteminde olduğu gibi çeşitli ihtiyaçlara göre PROMETHEE yönteminde yeni türleri geliştirilmiştir. Literatürde en yaygın kullanılan türleri, bir kısmi sıralama yöntemi olan PROMETHEE I ve bir tam sıralama yöntemi olan PROMETHEE II türleridir. Ayrıca, Macharis vd. (1998) tarafından yapılan çalışma ile PROMETHEE yöntemi birden fazla karar vericinin bulunması durumunda grup kararlarının verilebileceği bir yapıyabüründürülerek PROMETHEE – GDSS (Grup Karar Destek Sistemi) geliştirilmiştir.

iv. MAUT Yöntemi

Çok Nitelikli Karar Verme yöntemleri arasında sayılan MAUT yöntemi, Türkçe olarak “Çok Nitelikli Fayda Teorisi” olarak ifade edilebilir. Keeney ve Raiffa (1976) tarafından ortaya atılmıştır. Bu yöntem, temel olarak karar vericinin karar kriterlerini fayda fonksiyonları ile ifade etmesi, her bir kriter için ağırlık belirlemesi ve alternatiflerin toplam fayda skorlarına göre sıralanması esasına dayanır. Toplam fayda, kriterlerin ağırlıkları ile fayda fonksiyonlarının çarpımlarının toplanması ile elde edilir (Kelly ve Thorne, 2001). MAUT yöntemi, genellikle finansal yatırım kararları verilmesinde uygulanmıştır.

v. TOPSIS Yöntemi

TOPSIS yöntemi, ELECTRE yöntemine bir alternatif olarak Hwang ve Yoon (1981) tarafından geliştirilmiş bir Çok Nitelikli Karar Verme yöntemidir. TOPSIS, seçilen alternatifin geometrik olarak, ideal çözüme en kısa mesafede, negatif ideal çözüme de en uzak mesafede olacak şekilde belirlenmesine dayanan bir yaklaşımdır. TOPSIS yaklaşımı, her kriterin monotonik olarak artan ya da azalan fayda yaratma eğiliminde olduğunu varsayar. Bu nedenle ideal ve negatif ideal çözümlerin belirlenmesi kolaydır. Alternatiflerin ideal çözüme göreceli yakınlığı Euclidean uzaklığı yaklaşımı ile belirlenir. Alternatiflerin tercih sırası da bu göreceli uzaklar karşılaştırılarak bulunur (Ulucan, 2004). TOPSIS uygulamaları literatürde yaygın olsa da, Enerji ve Çevre konusunda geniş uygulama alanı bulmuş bir teknik değildir (Zhou vd., 2006a).

vi. UTADIS Yöntemi

İlk kez Devaud vd. (1980) tarafından ortaya atılan ve Jacquet – Lagreze ve Siskos (1982) ve Jacquet – Lagreze (1995) tarafından yapılan çalışmalarla ileriye götürülen UTADIS metodu Çok Nitelikli Karar Verme yöntemlerine verilebilecek bir diğer örnektir. Sıralama problemlerinde toplam fayda fonksiyonları oluşturmak amacıyla kullanılan UTA metodundan türeyerek ortaya çıkmış bir yaklaşım olan UTADIS metodu, önceden tanımlanmış homojen gruplardaki bir dizi alternatifin minimum hata ile sınıflandırılması için bir fayda modeli geliştirmeyi amaçlayan bir Çok Kriterli Karar Verme yöntemidir. Bu teknik, geleneksel istatistiksel ve ekonometrik sınıflandırma tekniklerinde (diskriminant analizi, logit, probit gibi) kullanılan sistemlere çok benzeyen, parametrik olmayan sıralı bir regresyon temelli bir sistem üzerinde işlemektedir. Modelin amacı önceden belirlenmiş gruplardaki alternatifleri sınıflamak ve grupların eşiklerini hatayı minimize edecek şekilde belirlemektir (Zopounidis ve Doumpos, 1999). UTADIS yöntemi daha çok, araştırma ve geliştirme projelerinin seçilmesi, iflas riski tahmini, portföy yönetimi, yatırım kararları gibi daha çok finansal yönü ağır basan konularda uygulama alanı bulmuş bir sınıflama amaçlı Karar Analizi yöntemi olarak karşımıza çıkmaktadır (Diakoluaki vd., 1999).

2.2. Enerji ve Çevre Konusunda Karar Analizi Uygulamaları

2.2.1. Uygulama Alanları

Enerji ve Çevre konusu Karar Analizi tekniklerinin sıklıkla uygulama alanı bulduğu bir konudur. Karar Analizi'nin Enerji ve Çevre konusuna uygulandığı çalışmalar, uygulama alanları itibariyle 6 ayrı başlık altında incelenebilir (Zhou vd., 2006a):

i. Enerji Politikaları Analizi

Enerji politikalarının üretilmesi ve geliştirilmesine yol göstermek amacıyla, enerji sistemlerinin değerlendirilmesi ile ilgilenen alandır. Bu alan, ulusal veya bölgesel enerji sistem değerlendirmesi, enerji korunumu stratejileri, enerji müzakereleri ve enerji kaynak dağıtımı gibi konuları kapsar. Bu alanda yapılmış çalışmalara örnek olarak; 13 ülkenin enerji politikaları ile ilgili parametreleri kriter olarak alınarak, UTADIS metodu ile gruplandığı Diakoulaki vd. (1999), bir Yunan adası için ortaya konan çeşitli enerji stratejilerinin ELECTRE III metodu ile değerlendirildiği Georgopoulou vd. (1997), Çin'in kırsal enerji sektörünün sürdürülebilir kalkınmasının AHP tekniği kullanılarak analiz edildiği Wang ve Feng (2002) ve Nijerya'nın petrol sektörüne Çok Kriterli Karar Analizi'nin uygulandığı Kalu (1998) gibi bölgesel, ulusal veya uluslararası düzeyde çeşitli çalışmalar sıralanabilir.

ii. Elektrik Enerjisi Planlaması

Elektrik üretimi, iletimi ve dağıtımı sırasındaki stratejik planlama konularıyla ilgilenen alandır. Elektrik üretimi büyüme planlaması, elektrik iletimi büyüme planlaması ve elektrik dağıtım planlaması gibi konuları içerir. Bu alanda yapılmış çalışmalara örnek olarak; elektrik planlamasının iyileştirilmesine yönelik olarak Çok Kriterli Karar Verme yöntemlerinin kullanılabileceğini öneren ve kullanılabilecek çeşitli kriterleri sıralayan Mills vd. (1996), belirsizlik ve risk altında kullanılabilecek ve Çok Kriterli Karar Verme temeline dayanan bir elektrik planlaması modeli öne süren Linares (2002) ve Rusya'da

bir elektrik üretim işletmesinde Çok Kriterli Karar Verme yaklaşımı ile büyüme planlaması uygulaması yapan Voropai ve Ivanova (2002) verilebilir.

iii. Teknoloji Seçimi ve Proje Değerlendirmesi

Enerji teknolojilerinin değerlendirilmesini ve seçimini, enerji ile ilgili yatırım projelerinin değerlendirilmesini kapsayan alandır. Bu alanda yapılmış bazı çalışmalara örnek olarak; çeşitli jeotermal kaynaklar yoluyla enerji üretimi projelerinin PROMETHEE yöntemi kullanılarak değerlendirildiği Goumas vd. (1999) ile Haralambopoulos ve Polatidis (2003), çeşitli yenilenebilir enerji kaynaklarının belirlenen kriterler ışığında ELECTRE yöntemi kullanılarak değerlendirildiği Beccali vd. (1998) ve Beccali vd. (2003) verilebilir.

iv. Enerji Üretimi ve Yönetimi

Enerji fiyatlandırması, elektrik santrali yerleşimi ve enerji şirketlerinin yönetimi gibi operasyonel konularla ilgilenen alandır. Enerji kaynakları ile ilgili bütün çalışmaları içine alır. Ayrıca, elektrik tesislerinin yönetimine yönelik geliştirilen Karar Destek Sistemleri de bu alanın konusudur. Bu alanda yapılan çalışmalara verilebilecek örnekler arasında; New York elektrik üretim tesislerinin yönetsel stratejilerinin Karar Analizi yardımıyla değerlendirildiği Dunning vd. (2001), elektrik santrallerinin dizaynı ile ilgili bir Karar Destek Sistemi sunan Dargam ve Perz (1998) ve firmalar için stratejik kaynak planlamasında bir Çok Nitelikli Karar Verme yaklaşımı sunan Pan vd. (2000) sayılabilir.

v. Enerji İlişkili Çevre Politikaları Analizi

İklim politikalarının değerlendirilmesi, sera gazları ve hava kirliliği kontrol politikaları gibi enerji ile ilişkili çevre problemlerinin politikaları ile ilgilenen alandır. Bu alandaki çalışmalara örnek olarak; iklim değişikliği üzerinde duran Hobbs vd. (1997) ile Ramanathan (1998), enerji sektöründe sera gazlarının azaltılması konusunun ele alındığı

Georgopoulou vd. (2003), Loulou ve Kanidia (1999), Ramanathan (1999), Vaillancourt ve Waaub (2004) verilebilir.

vi. Enerji İlişkili Çevresel Kontrol ve Yönetim

Katı atık yönetimi, atık depolama alanlarının değerlendirilmesi, kalkınma projelerinin çevresel etki analizi gibi enerji sektörünün çevreye olan etkilerini kontrol etmeye ve yönetmeye yönelik konuları ile ilgilenen alandır. Bu alanda yapılan çalışmalara örnek olarak; Finlandiya'daki iki bölgede çeşitli katı atık yönetimi senaryolarının ELECTRE metodu kullanılarak değerlendirildiği Hokkanen ve Salminen (1997), katı atık tesislerinin yerlerini belirlemeye yönelik olarak yapılan Lahdelma vd. (2002), çevre problemlerinin çözümüne yönelik olarak kullanılabilecek tekniklerin karşılaştırıldığı Salminen vd. (1998) ve çevresel etki değerlendirmesine yönelik olarak AHP tekniğinin kullanıldığı Ramanathan (2001) verilebilir.

Enerji ve Çevre konusunda Karar Analizi'nin uygulandığı çalışmalara bakıldığında, yukarıda sayılan uygulama alanlarından Enerji İlişkili Çevre Politikaları Analizi ve Enerji İlişkili Çevresel Kontrol ve Yönetim alanlarında yapılan çalışmaların toplam çalışmalar içindeki ağırlığının son yıllarda arttığı gözlemlenmiştir. 1975 – 1984 yılları arasında çevre ile ilişkili çalışmaların toplam çalışmalar içindeki oranı %15 iken, bu oran 1995 – 2004 yılları arasında %34'e yükselmiştir (Zhou vd., 2006a). Bu durum, enerjinin yanı sıra, enerji ile ilişkilenen çevre konusuna verilen önemin ve bu konuya olan artan ilginin bir sonucu olarak karşımıza çıkmaktadır.

Yapılan çalışmalarda bir başka dikkat çekici nokta ise, uygulama alanlarından Elektrik Enerjisi Planlaması'nın bütün çalışmalar içindeki oranının 1975'ten 2004'e sürekli artış göstermesidir. Çalışmaların çoğu elektrik üretiminde büyüme ile ilgili çalışmalar olup son yıllarda elektrik sektöründe görülen özelleştirme dalgasının bir sonucudur (Zhou vd., 2006a).

2.2.2. Uygulanan Karar Analizi Teknikleri

Enerji ve Çevre konusunda Karar Analizi tekniklerinin kullanıldığı çalışmalara bakıldığında en yoğunlukla kullanılan yöntemlerin Çok Kriterli Karar Verme yöntemleri olduğu görülmektedir. Çok Kriterli Karar Verme yöntemlerinden AHP, ELECTRE, PROMETHEE, MAUT ve Çok Amaçlı Karar Verme yöntemleri yaygınlıkla kullanılan tekniklerdir. Çok Nitelikli Karar Verme teknikleri arasında sayılan, TOPSIS tekniğinin Enerji ve Çevre çalışmalarında kendine pek uygulama alanı bulamadığı göze çarpmaktadır (Zhou vd., 2006a).

Tek Amaçlı Karar Verme teknikleri, 1974 – 1984 ve 1985 – 1994 zaman dilimlerinde yaygınlıkla uygulama alanı bulurken 1995 – 2004 döneminde özellikle Karar Ağacı tekniğinin kullanımında belirgin bir azalma görülmektedir (Zhou vd., 2006a). Karar Analizi tekniklerinin bir diğer ana türü olan Karar Destek Sistemlerinin kullanımı ise, gelişen bilgisayar teknolojisi ile birlikte enerji planlaması ve kaynak dağıtımında gittikçe daha popüler bir hale gelmektedir (Pohekar ve Ramachandran, 2004).

Çok Kriterli Karar Verme yöntemlerinden Enerji ve Çevre konusunda en yaygın kullanılan Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) tekniğidir. AHP yöntemini MAUT ve Çok Amaçlı Karar Verme teknikleri izlemektedir. MAUT tekniğinin bütün çalışmalar arasındaki kullanım oranı yüksek olsa da, yıllara göre bakıldığında bu tekniğin oranının büyük bir düşüş izlediği görülmektedir. 1975 – 1984 arasında yapılan uygulamalarda MAUT tekniğinin kullanım oranı %40 iken 1995 – 2004 arasında bu oran %13'e gerilemiştir. MAUT tekniğinin kullanımının azalmasında analizde gerek duyulan fayda fonksiyonlarının formüle edilmesindeki güçlük yatmaktadır. Bu tekniğin aksine, sıralama yöntemleri ELECTRE ve PROMETHEE tekniklerinin kullanımı gittikçe artmaktadır (Zhou vd., 2006a).

2.2.3. Enerji Tipleri

Enerji ve Çevre konusunda yapılan Karar Analizi uygulamalarına bakıldığında yapılan çalışmalar birçok enerji tipi açısından da birçok alanda uygulanmıştır. Nükleer enerji,

yenilenebilir enerji türleri (hidro enerji, güneş enerjisi, rüzgar enerjisi ve jeotermal enerji), elektrik enerjisi, kömür, petrol ve doğalgaz bu tipler arasında sayılabilir. Yapılan çalışmalarda en çok payı elektrik enerjisi alırken, yenilenebilir enerji tipleri konusundaki çalışmaların sayısı da her geçen gün artmaktadır.

Nükleer enerji ile ilgili yapılan çalışmalara örnek olarak Atherton ve French (1998), Winterfeldt ve Schweitzer (1998), Dunning vd. (2001) verilebilir. Yenilenebilir enerji türleri ile ilgili yapılan bazı çalışmalar ise Beccali vd. (1998), Goumas vd. (1999), Beccali vd. (2003), Haralambopoulos ve Polatidis (2003) olarak sıralanabilir. Elektrik enerjisi ile ilgili olarak ise, Mills vd. (1996), Wang ve Feng (2002), Voropai ve Ivanova (2002), gibi çalışmalar yapılmıştır. Kömür, petrol ve doğalgaz konularında yapılan çalışmalara örnek olarak, Burnett vd. (1993), Kalu (1998), Skaf (1999) verilebilir.

Sonuç olarak, Enerji ve Çevre konusunda yapılan Karar Analizi çalışmaları incelendiğinde uygulama alanları, kullanılan teknikler ve enerji tipleri açısından şu 3 temel sonuca varmak mümkündür:

- 1) Enerji ve enerji ile ilişkili çevre konusunda yapılan Karar Analizi çalışmalarının sayısı artmaktadır. Bu çalışmalar içinde, özellikle *Elektrik Enerjisi Planlaması*, *Çevre Politikası Analizi* ve *Çevresel Kontrol ve Yönetim* alanları öne çıkan alanlar olmaktadır.
- 2) Uygulanan teknikler içerisinde *AHP* uygulama kolaylığının da avantajı ile en yaygın kullanılan teknik olarak öne çıkmaktadır. Bunun dışında, Enerji ve Çevre konusunda yapılan *ELECTRE* ve *PROMETHEE* uygulamaları da dikkat çekici biçimde artmaktadır.
- 3) Enerji tipleri açısından en yaygın çalışma yapılan tip olarak *Elektrik Enerjisi* ön plana çıkmaktadır. Bunun yanı sıra, *Yenilenebilir Enerji* türlerine (hidro enerji, güneş enerjisi, rüzgar enerjisi ve jeotermal enerji) yönelik çalışmaların sayısında belirgin bir artış görülmektedir.

3. BÖLÜM

KDS MODEL TABANINDA YER ALAN TEKNİKLER

Bu bölümde, çalışma kapsamında hazırlanması planlanan Karar Destek Sistemi'nde yer alması planlanan Performans Değerlendirmesi ve Karar Analizi tekniklerine değinilmektedir. Performans Değerlendirmesi tekniklerinden Veri Zarflama Analizi ve Karar Analizi tekniklerinden ELECTRE (*Elimination and Choice Translating Reality*), PROMETHEE (*Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation*) ve UTADIS (*Utilities Additives Discriminantes*) teknikleri detaylı olarak ele alınmaktadır. Bu bölümün amacı, karar destek sisteminde kullanılacak tekniklerin matematiksel formülasyonlarını ve uygulanış biçimlerini detaylı bir biçimde incelemektir.

3.1. Veri Zarflama Analizi

Farrell (1957) tarafından gerçekleştirilen çalışmadan temellerini alan Veri Zarflama Analizi, ilk kez Charnes, Cooper ve Rhodes (1978) tarafından ortaya atılmıştır. Veri Zarflama Analizi, benzer görevleri yerine getiren örgütler ya da örgüt birimleri arasında, göreceli etkinliğin objektif bir değerlendirmesini sağlayan doğrusal programlama temelli bir tekniktir. Bu değerlendirme yapılırken birimlerin kullandığı girdi ve ürettiği çıktı miktarları ele alınır. Veri Zarflama Analizinde, girdi ve çıktılar arasında fonksiyonel ilişkilere ihtiyaç duyulmamaktadır. Bu özelliği ile, parametrik olmayan bir etkinlik ölçüm tekniği olarak karşımıza çıkmaktadır.

Veri Zarflama Analizi'nde amaç, ele alınan girdi ve çıktılar ışığında etkin olan veya etkin olmayan karar birimlerini göreceli olarak belirlemek ve etkin olmayan karar birimlerinin etkinsizlik durumlarının kaynağını analiz etmektir. Bu teknikte, ele alınan girdi ve çıktı değerlerine göre karar birimlerinin etkinlik sınırı belirlenir. Diğer karar birimlerinin etkinlik skorları da bu etkinlik sınırına göre göreceli olarak hesaplanır.

Veri Zarflama Analizi etkinlik kavramı üzerine odaklanan bir tekniktir. Etkinlik kavramı, performans ölçütlerinden biri olan ve yaygın olarak kullanılan verimlilik kavramından farklılık göstermektedir. Verimlilik, veya diğer adıyla üretkenlik veya prodüktivite kavramı en basit tanımı ile, çıktının girdiye oranıdır. Bu çerçevede, verimlilik kavramı göreceli bir kavram değildir. İncelenen karar birimlerinin verimliliklerini birbirinden bağımsız olarak ölçme imkanı vardır (Tarım, 2001).

Etkinlik kavramı ele alınırken iki ayrı performans indikatörü olan teknik etkinlik ve ölçek etkinliği kavramlarından bahsetmek yerinde olacaktır. Teknik etkinlik, girdi bileşiminin en verimli şekilde kullanılarak mümkün olan maksimum çıktıyı üretme başarısıdır. Ölçek etkinliği ise, uygun ölçekte üretim yapma başarısını ifade etmektedir. Teknik etkinlik kavramı ile verimlilik kavramı da birbirinden ayrılan kavramlardır. Teknik olarak etkin olan bir karar birimi, teknik etkinsizlik yaşayan bir karar birimi ile karşılaştırıldığında verimsiz bulunabilir (Tarım, 2001).

Veri Zarflama Analizi, ortaya çıkışından itibaren yönetim bilimi, ekonomi ve yöneylem araştırması gibi birçok alanda uygulama alanı bulmuş bir tekniktir. Ayrıca, model sürekli geliştirilerek yeni yaklaşım biçimleri kazanmıştır. Charnes, Cooper ve Rhodes tarafından ortaya çıkarılan ilk model CCR etkinlik modeli olarak anılmaktadır. Bu yaklaşımın temel varsayımı *Ölçeğe Göre Sabit Getiri* (CRS – Constant Returns to Scale) varsayımdır (Zhu, 2002). Bu model ile bulunan etkinlik skorları, teknik ve ölçek etkinliklerini birlikte içermektedir. Ancak, toplam etkinlik skoru içinde teknik ve ölçek etkinlik bileşenlerinin büyüklüğü bilinmemektedir (Tarım, 2001).

1984 yılında Banker, Charnes ve Cooper tarafından yapılan çalışma ile modele yeni bir boyut kazandırılmıştır. Bu geliştirilen model, BCC etkinlik modeli olarak anılmakta ve varsayım olarak *Ölçeğe Göre Değişken Getiri* (VRS – Variable Returns to Scale) yaklaşımını kullanmaktadır. Bu yaklaşımda, üretim imkanları kümesi, gözlemlenen birimlerin konveks kombinasyonu olarak varsayılmaktadır. Banker, Charnes ve Cooper tarafından getirilen yaklaşım, saf teknik etkinliğin hesaplanabilmesine imkan sağlamaktadır. CCR modelinin çözümü ile elde edilen toplam etkinlik skorunu, BCC

modeli sonucunda bulunan saf teknik etkinlik skoruna bölünerek ölçek etkinlik skoru elde edilebilmektedir.

Veri Zarflama Analizi'nde model oluşturulurken, girdi odaklı veya çıktı odaklı olmak üzere iki adet yaklaşım söz konusudur. Girdi odaklı yaklaşım, karar birimlerinin girdi değerleri dikkate alınarak modellenir, etkin sınır buna göre belirlenir ve etkin olmayan birimler için girdileri değiştirmeye yönelik hedefler belirlenir. Çıktı odaklı yaklaşımda ise belirlenen etkin sınıra yaklaşmak için konulan hedefler çıktıların arttırılmasına yönelik olarak belirlenir. Banker ve Morey (1986) tarafından yapılan çalışma ile bu iki yaklaşıma, *Ölçüt Odaklı* (Measure Specific) Veri Zarflama Analizi yaklaşımı da eklenmiştir. Bu yaklaşımda, bütün girdilere veya bütün çıktılara odaklanmak yerine, belirlenen girdi ve çıktılar veya her bir çıktı ayrı ayrı ele alınabilmektedir. Bu yaklaşım, birimlerin yalnızca belli ölçütlerine (girdi veya çıktı) müdahale edilebildiği durumlara yöneliktir. Etkin sınıra yaklaşmak için belirlenen hedefler, sadece ele alınan girdi veya çıktılara yöneliktir.

Veri Zarflama Analizi'nin yukarıda bahsedilen analiz ve ölçek tipleri bir araya getirilerek çeşitli modelleme türleri geliştirilmiştir. Girdi Odaklı – Ölçeğe Göre Sabit Getirili (CRS), Çıktı Odaklı – Ölçeğe Göre Sabit Getirili (CRS), Girdi Odaklı – Ölçeğe Göre Değişken Getirili (VRS), Çıktı Odaklı – Ölçeğe Göre Değişken Getirili (VRS), Ölçüt Odaklı – Ölçeğe Göre Sabit Getirili (CRS) ve Ölçüt Odaklı – Ölçeğe Göre Değişken Getirili (VRS) olmak üzere çeşitli yaklaşımlar mevcuttur. Bu yaklaşımlar aralarında çeşitli yaklaşım farkları bulunan ancak temel olarak benzer mantık üzerinde işleyen doğrusal programlama modellerine sahiptir. Karar birimlerinin ve kriterlerin, başka bir deyişle verinin yapısına bakılarak değişik tiplerde Veri Zarflama Analizi yaklaşımları kullanılabilir. Genellikle birden fazla türdeki model uygulanarak sonuçların tutarlılığı karşılaştırılır.

3.1.1. Ölçeğe Göre Sabit Getirili Modeller

Veri Zarflama Analizinde modelleme süreci Karar Birimlerinin (DMU – Decision Making Unit) ve bu karar birimleri ile ilişkili girdi ve çıktıların belirlenmesi ile başlar.

n adet karar birimi için, m adet girdi s adet çıktı olduğu varsayımı altında her bir karar birimine DMU_j ($j = 1, \dots, n$) ait girdiler x_{ij} ($i = 1, 2, \dots, m$) ile çıktılar ise y_{rj} ($r = 1, 2, \dots, s$) ile ifade edilmektedir. j indisi karar birimlerini, i ve r indisleri ise girdiler ve çıktıları temsil etmektedir.

Her bir karar biriminin etkinliği, o karar birimine yönelik oluşturulan doğrusal programlama modelinin çözülmesi ile elde edilir. Etkinliği hesaplanmak istenen, başka bir deyişle değerlendirme altındaki, karar birimi DMU_o ile ifade edilir. DMU_o 'ya ait girdi ve çıktılar ise x_{io} ve y_{ro} ile gösterilir. Buna göre, herhangi bir karar birimi DMU_o 'nun etkinliğini Girdi Odaklı olarak ve Ölçeğe Göre Sabit Getiri (CRS) ile ölçen temel Veri Zarflama Analizi modeli (1)'deki gibi oluşmaktadır.

Minimize θ

Kısıtlar:

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} &\leq \theta x_{io} \quad i = 1, 2, \dots, m \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} &\geq y_{ro} \quad r = 1, 2, \dots, s \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j &\geq 0 \quad j = 1, 2, \dots, n \end{aligned} \tag{1}$$

(1)'deki θ değeri, değerlendirilen karar birimi DMU_o 'nun etkinlik skorunu ifade etmektedir. λ_j değişkenleri ise, modelin diğer karar değişkenlerini oluşturmakta ve değerlendirilen karar biriminin etkin sınırla olan ilişkisini göstermektedir. Modelin çözülmesi sonucu elde edilen optimal θ^* değeri 1'e eşit ise değerlendirilen karar birimi etkin sınır üzerindedir. 1'den küçük θ^* değeri karar biriminin etkin olmadığının göstergesidir. Elde edilen λ_j değerleri ile, x_{ij} ve y_{rj} değerleri ile çarpılıp toplanarak, etkin olmayan bir karar birimi için her girdi (i) ve her çıktı (r) açısından etkin sınıra ulaşma hedefleri hesaplanır. (1)'deki model her bir karar birimi için oluşturulup

çözülerek etkin sınırdaki olan ve olmayan karar birimleri ile etkin sınıra ulaşma hedefleri belirlenir.

Bir karar birimi, etkin sınırdaki olmasına rağmen, girdilerini belli bir miktar azaltarak veya çıktılarını belli bir miktar arttırarak etkin sınırdaki başka bir karar birimine yaklaşabilir. Bu durumda, etkin sınırdaki yer alan karar birimleri içinde de bir sınıflama ortaya çıkmaktadır. Etkin sınırdaki yer alan bazı karar birimleri tam etkinken, bazı karar birimlerinin etkinliği zayıftır; yani bu karar birimleri için daha da etkin olmak için hala yapılabilecek birşeyler vardır. Etkin sınırdaki yer alan bazı karar birimleri için bahsedilen bu fazlalık girdi veya eksik çıktı değerleri gevşeklik değerleri olarak adlandırılır ve girdiler için s_i^- , çıktılar için ise s_r^+ olarak ifade edilirler. Bu gevşeklik değerleri, (1)'de yer alan standart girdi odaklı ve ölçeğe göre sabit getirili modele değişken olarak eklenerek kısıtlardaki eşitsizlikler eşitlik haline çevrilebilir. Model tam etkinlik ve zayıf etkinlik durumlarını da dikkate alan ve gevşeklik değişkenlerini de kullanan bir yapıya (2)'deki gibi getirilebilir.

$$\text{Minimize } \theta - \varepsilon \left(\sum_{i=1}^m s_i^- + \sum_{r=1}^s s_r^+ \right)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} + s_i^- = \theta x_{io} \quad i = 1, 2, \dots, m$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} - s_r^+ = y_{ro} \quad r = 1, 2, \dots, s \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j \geq 0 \quad j = 1, 2, \dots, n$$

(2)'de Veri Zarflama Analizi'nin, *Girdi Odaklı – Ölçeğe Göre Sabit Getirili* ve gevşeklik değerlerini de dikkate alan türdeki doğrusal programlama modeli görülmektedir. (1)'deki modelin kısıtlarına ve hedef fonksiyonuna gevşeklik değişkenleri eklenmiş ve eşitsizlikler eşitliğe çevrilmiştir. Modelin hedef fonksiyonunda yer alan ε değeri Arşimedgil olmayan (non-Archimedean) katsayı olarak bilinen 10^{-6}

civarında küçük bir sayıdır ve modelin, minimizasyonu gevşeklik değerlerini ihmal ederek sadece θ değeri üzerinden yapmasını sağlar.

Bu modele göre; bir karar biriminin tam olarak etkin olabilmesi için modelin çözülmesi ile elde edilen θ^* etkinlik skoru 1'e, s_i^{-*} ve s_r^{+*} değerleri ise 0'a eşit olmalıdır. Etkinlik skoru 1; ancak gevşeklik değerleri 0'dan farklı bir karar biriminin etkinliği zayıf etkinlik olarak adlandırılır.

Ölçeğe göre sabit getirili Veri Zarflama Analizi modeli çıktı odaklı olarak da oluşturulabilir. Çıktı odaklı model bir maksimizasyon modelidir ve karar birimlerinin etkinlik skorları ϕ ile ifade edilir. Girdi odaklı modelin tersine, etkinlik skoru çıktıları ile ilişkili kısıtlarda çarpan olarak yer alır. Etkin sınırdaki yer alan karar birimlerinin etkinlik skoru 1 iken, etkin olmayan karar birimleri için bu skor 1'den büyük bir değerdir. (3)'te *Çıktı Odaklı – Ölçeğe Göre Sabit Getirili Veri Zarflama Analizi* modeli gösterilmektedir.

$$\text{Maksimize } \phi - \varepsilon \left(\sum_{i=1}^m s_i^- + \sum_{r=1}^s s_r^+ \right)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} + s_i^- = x_{io} \quad i = 1, 2, \dots, m$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} - s_r^+ = \phi y_{ro} \quad r = 1, 2, \dots, s \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j \geq 0 \quad j = 1, 2, \dots, n$$

(3)'teki o indisi değerlendirme altındaki karar birimini ifade etmektedir. Girdi odaklı modelde olduğu gibi, model yine her karar birimi için kurularak çözülür. Girdi odaklı modelde çıktılar sabit tutularak girdiler minimize edilirken, çıktı odaklı modelde, girdiler sabit tutularak çıktılar maksimize edilmektedir.

3.1.2. Ölçeğe Göre Değişken Getirili Modeller

Banker, Charnes ve Cooper (1984) tarafından yapılan çalışma ile (2) ve (3)'te görülen ve ölçeğe göre sabit getiri varsayımına dayanan CCR yaklaşımına, üretim imkanları kümesinin karar birimlerinin konveks bir kombinasyonu olmasını sağlayan konveksite kısıtı eklenerek BCC olarak bilinen Veri Zarflama Analizi yaklaşımı ortaya atılmıştır. BCC yaklaşımı ölçeğe göre değişken getiri (VRS) varsayımına dayanır. Etkin sınır ölçeğe göre sabit getiri varsayımında olduğunun aksine bir eğri şeklinde oluşur. BCC modeli standart CCR modeline λ_j değişkenlerinin toplamını 1'e eşitleyen bir konveksite kısıtın eklenmesi ile oluşturulur. Ölçeğe göre değişken getiri varsayımının yapıldığı bu modeller de girdi odaklı ve çıktı odaklı olmak üzere iki tipte kurulabilir.

(4)'te *Girdi Odaklı – Ölçeğe Göre Değişken Getirili Veri Zarflama Analizi* modeli gösterilmektedir. Bu model (2)'deki girdi odaklı ölçeğe göre sabit getirili modele yukarıda bahsedilen konveksite kısıtının eklenmesi ile oluşmuştur.

$$\text{Minimize } \theta - \varepsilon \left(\sum_{i=1}^m s_i^- + \sum_{r=1}^s s_r^+ \right)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} + s_i^- = \theta x_{io} \quad i = 1, 2, \dots, m$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} - s_r^+ = y_{ro} \quad r = 1, 2, \dots, s \quad (4)$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j \geq 0 \quad j = 1, 2, \dots, n$$

(5)'te ise *Çıktı Odaklı – Ölçeğe Göre Değişken Getirili Veri Zarflama Analizi* modeli gösterilmektedir. Bu model (3)'teki çıktı odaklı ölçeğe göre sabit getirili modele yukarıda bahsedilen konveksite kısıtının eklenmesi ile oluşmuştur.

$$\text{Maksimize } \phi - \varepsilon \left(\sum_{i=1}^m s_i^- + \sum_{r=1}^s s_r^+ \right)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} + s_i^- = x_{io} \quad i = 1, 2, \dots, m$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} - s_r^+ = \phi y_{ro} \quad r = 1, 2, \dots, s \quad (5)$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j \geq 0 \quad j = 1, 2, \dots, n$$

3.1.3. Ölçüt Odaklı Modeller

1986 yılında, Banker ve Morey tarafından yapılan çalışma ile Veri Zarflama Analizi'ne yeni bir boyut kazandırılmıştır. Buna göre, sadece belli çıktı ve girdiler odak noktası olarak alınarak Veri Zarflama Analizi gerçekleştirilebilmektedir. Bu yaklaşım, *Ölçüt Odaklı Veri Zarflama Analizi* yaklaşımı olarak isimlendirilmektedir. Ölçüt Odaklı Veri Zarflama Analizi ölçeğe göre sabit getiri veya ölçeğe göre değişken getiri varsayımı altında modellenebilmektedir.

Ölçüt Odaklı Veri Zarflama Analizi modelinde $I \subseteq \{1, 2, \dots, m\}$ olmak üzere bir girdi kümesi ve $O \subseteq \{1, 2, \dots, s\}$ olmak üzere bir çıktı kümesi tanımlanır. Modelleme sürecinde, sadece I kümesinde veya O kümesinde yer alan girdi ve çıktıların odaklanılarak model kurulabilir. Her iki kümede de tek bir girdi veya tek bir çıktı yer alabileceği gibi, birden fazla girdi veya çıktı da yer alabilir. Ölçüt Odaklı Veri Zarflama Analizi karar birimlerinin sadece belirli girdi veya çıktılarına müdahale edilebilen durumlar için uygun bir Veri Zarflama Analizi modelidir.

(6)'da *Belirli Girdilere* odaklanan *Ölçüt Odaklı ve Ölçeğe Göre Sabit Getirili Veri Zarflama Analizi* modeli gösterilmektedir.

$$\text{Minimize } \theta - \varepsilon \left(\sum_{i=1}^m s_i^- + \sum_{r=1}^s s_r^+ \right)$$

Kısıtlar:

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} + s_i^- &= \theta x_{io} \quad i \in I \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} + s_i^- &= x_{io} \quad i \notin I \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} - s_r^+ &= y_{ro} \quad r = 1, 2, \dots, s \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j &\geq 0 \quad j = 1, 2, \dots, n \end{aligned} \tag{6}$$

(6)'da odaklanılan girdiler, yani I kümesinin elemanı olan girdiler için etkinlik skoru θ 'nın çarpan olduğu bir kısıt yazılırken I kümesinin dışında kalan girdiler için çıktılar için yazılan kısıta benzer mantıkta bir kısıt yazılmaktadır. Modeli ölçeğe göre değişken getirili bir model haline getirmek için (6)'daki modele $\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$ kısıtının eklenmesi yeterlidir.

(7)'de ise *Belirli Çıktılara odaklanan Ölçüt Odaklı ve Ölçeğe Göre Sabit Getirili Veri Zarflama Analizi* modeli gösterilmektedir.

$$\text{Maksimize } \phi - \varepsilon \left(\sum_{i=1}^m s_i^- + \sum_{r=1}^s s_r^+ \right)$$

Kısıtlar:

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} + s_i^- &= x_{io} \quad i = 1, 2, \dots, m \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} - s_r^+ &= \phi y_{ro} \quad r \in O \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} - s_r^+ &= y_{ro} \quad r \notin O \end{aligned} \tag{7}$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j \geq 0 \quad j = 1, 2, \dots, n$$

Odaklanılan çıktılar ($r \in O$) için ϕ çarpanının yer aldığı kısıt ya da kısıtlar yazılırken, O kümesinde yer almayan çıktılar için, girdiler için hazırlanan kısıtlara benzer bir mantıkta hazırlanan kısıtlar yazılmaktadır. Modeli ölçeğe göre değişken getiri varsayımına dayalı bir model haline getirmek için (7)'deki modele $\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$ kısıtının eklenmesi yeterlidir (Zhu, 2002).

Özet olarak, Veri Zarflama Analizi, analiz tipi ve odak noktasına göre değişik tiplerde uygulanabilmektedir. Girdilere veya çıktılara odaklanılabileceği gibi, tek tek girdilere veya belirli girdi gruplarına ya da tek tek çıktılara veya belirli çıktı gruplarına odaklanılabilir. Analiz, ölçeğe göre sabit getiri ve ölçeğe göre değişken getiri olmak üzere iki ayrı varsayım altında gerçekleştirilebilmektedir.

3.2. ELECTRE III Tekniği

Benayoun (1966) tarafından yapılan çalışmadan köklerini alan ve Roy (1968) tarafından ortaya atılan ELECTRE yönteminin alternatifler arasından seçim yapmak amacıyla kullanılan; ELECTRE I, ELECTRE IV ve ELECTRE IS; alternatiflerin sıralanmasında kullanılan ELECTRE II, ELECTRE III ve ELECTRE IV ve gruplama amacına yönelik olan ELECTRE TRI gibi 7 adet türünden söz etmek mümkündür (Figueira vd., 2005). Bu değişik ELECTRE yöntemleri arasından, Roy (1978) tarafından geliştirilen ve alternatifler arasında sıralama yapmak amacıyla kullanılan ELECTRE III tekniği, Enerji ve Çevre problemlerinde en çok uygulama alanı bulan ELECTRE türü olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu bölümde ELECTRE III tekniğinin uygulandığı ve matematiksel altyapısı üzerinde durulmaktadır.

Çok kriterli karar verme problemleri genel olarak bir alternatif kümesi $A = (a, b, c, \dots, n)$ ve bir kriter seti $(g_1, g_2, \dots, g_m)$ temel alınarak modellenir. Bu tip problemlerde, $g_j(a_i)$

ifadesi, $a \in A$ alternatifinin g_j kriterine göre olan performansını temsil etmektedir (Hokkanen ve Salminen, 1997).

ELECTRE III yönteminde her bir kriter ile ilişkili tercih, farksızlık ve veto olmak üzere üç tip eşik değeri kullanılır. Bu eşikler alternatifler arasında üstünlük sıralaması yapmaya yönelik olarak kullanılacak uyumluluk ve uyumsuzluk matrislerinin oluşturulmasında yararlanılan değerlerdir. Bu değerler, sabit sayılar olarak belirlenebileceği gibi, alternatiflerin kriterlere göre performanslarına ($g_j(a_i)$) bağlı birer fonksiyon olarak da tanımlanabilir. Tercih eşiği $p_j(g_j(*))$, farksızlık eşiği $q_j(g_j(*))$ ve veto eşiği $v_j(g_j(*))$ olarak ifade edilmektedir. Model oluşturulurken eşik değerleri ($v \geq p \geq q$ olacak şekilde) ve her bir kriterin önemini gösteren ağırlık değeri w_j karar verici tarafından belirlenir. Her alternatifin, kriterler açısından performansları saptandıktan ve kriterlerin eşik değerleri ile ağırlıkları belirlendikten sonra ELECTRE III yöntemi ile alternatiflerin sıralanması süreci aşağıdaki aşamalardan oluşmaktadır:

i. Uyumluluk Matrislerinin Oluşturulması

Her alternatif çifti (a,b) 'nin her bir kriter açısından uyumluluk indeksleri aşağıda ifade edilen uyumluluk fonksiyonu $c_j(a,b)$ yardımıyla elde edilir:

$$c_j(a,b) = \begin{cases} 1, & \text{eğer } g_j(a) + q_j(g_j(a)) \geq g_j(b) \\ 0, & \text{eğer } g_j(a) + p_j(g_j(a)) \leq g_j(b) \\ \frac{g_j(a) - g_j(b) + p_j(g_j(a))}{p_j(g_j(a)) - q_j(g_j(a))}, & \text{aksi halde.} \end{cases} \quad (8)$$

(8)'de $c_j(a,b)$ uyumluluk fonksiyonu gösterilmektedir. $g_j(a)$ a alternatifinin g_j kriterindeki performansını, $g_j(b)$ ise b alternatifinin g_j kriterindeki performansını

ifade etmektedir. p_j ve q_j sırasıyla tercih ve farksızlık eşikleridir. Eğer a alternatifinin performansı, b alternatifinin performansı ile farksızlık eşiğinin farkından büyükse uyumluluk indeksi 1 değerini alacaktır. Eğer, a alternatifinin performansı ile tercih eşiğinin toplamı, b alternatifinin performansından küçük ise uyumluluk indeksi 0 değerini almaktadır. Bunların dışındaki hallerde ise, uyumluluk indeksi performans değerleri ve eşiklerle ifade edilen doğrusal bir denklem şeklinde ifade edilmektedir.

Kriter kümesinde yer alan her bir g_j kriteri için alternatifler (8)'deki fonksiyon yardımıyla ikili olarak karşılaştırılıp, her bir kriter için $n \times n$ boyutunda birer uyumluluk matrisi elde edilir.

ii. Kümülatif Uyumluluk Matrisinin Oluşturulması

Bir önceki aşamada elde edilen uyumluluk matrislerinden yararlanılarak $n \times n$ boyutunda bir kümülatif uyumluluk matrisi aşağıdaki gibi elde edilir:

$$C(a,b) = \frac{1}{W} \sum_{j=1}^n w_j c_j(a,b) \quad (9)$$

$$W = \sum_{j=1}^n w_j \quad (10)$$

Kümülatif uyumluluk matrisi, bütün kriterler için oluşturulmuş ve her alternatifin birbiriyle kıyaslandığı $n \times n$ boyutundaki m adet matrisin tek bir matrise indirgenmiş halidir. Her bir kriter için oluşturulan matrislerdeki $c_j(a,b)$ değerleri (9)'daki gibi ağırlıklandırılıp toplanarak $n \times n$ boyutunda ve alternatiflerin $C_j(a,b)$ değerlerinden oluşan kümülatif bir uyumluluk matrisi elde edilmektedir. (9)'da yer alan W bütün kriterlerin ağırlıklarının toplamını ifade etmektedir (bkz. (10)). Kümülatif uyumluluk matrisi 0 ile 1 arasında değerlerden oluşmaktadır. 0 değeri, bütün kriterler için a alternatifinin b alternatifinden kötü olduğunu, 1 değeri ise hiçbir kriter açısından b alternatifinin a alternatifinden iyi olmadığını göstermektedir.

iii. Uyumsuzluk Matrislerinin Oluşturulması

Kümülatif uyumluluk matrisinin oluşturulmasından sonra, her bir kriter için yine alternatiflerin ikili olarak karşılaştırıldığı uyumsuzluk matrisleri elde edilir. Uyumsuzluk matrislerinde ikili karşılaştırma (11)'de verilen uyumsuzluk indeksi fonksiyonu yardımı ile yapılır. $D_j(a,b)$ olarak ifade edilen uyumsuzluk indeksinin hesaplanmasında tercih ve veto eşiklerinden yararlanılmaktadır. Eğer b alternatifinin performansı ile a alternatifinin performansı arasındaki fark tercih eşiklerinden küçükse uyumsuzluk indeksi 0 değerini alır. Eğer b alternatifinin performansı ile a alternatifinin performansı arasındaki fark veto eşiklerinden büyükse fonksiyon 1 değerini alır. Bu da ele alınan kriter açısından b alternatifinin a alternatifinden iyi olduğunu göstermektedir. Bu iki durumun aksi halinde, uyumluluk indeksinin elde edilmesinde olduğu gibi doğrusal bir fonksiyondan yararlanılır. Bütün kriterler açısından, alternatiflerin uyumsuzluk fonksiyonu kullanılarak kıyaslanması ile elde edilen uyumsuzluk indeksleri ile $n \times n$ boyutunda m adet uyumsuzluk matrisi oluşturulur.

$$D_j(a,b) = \begin{cases} 0, \text{ eğer } g_j(b) \leq g_j(a) + p_j(g_j(a)) \\ 1, \text{ eğer } g_j(b) \geq g_j(a) + v_j(g_j(a)) \\ \frac{g_j(b) - g_j(a) - p_j(g_j(a))}{v_j(g_j(a)) - p_j(g_j(a))}, \text{ aksi halde.} \end{cases} \quad (11)$$

iv. Kredibilite Matrisinin Oluşturulması

Uyumluluk ve uyumsuzluk indeksleri, karar vericinin bir alternatifi diğerine tercih etmedeki tatmin ya da tatminsizliğinin ölçütü olarak görülebilir. Sıralama, alternatiflerin uyumluluk indekslerinin yer aldığı uyumluluk matrisi ile her bir kriter için oluşturulan uyumsuzluk matrislerinden yararlanılarak oluşturulan kredibilite matrisi yardımı ile yapılır. Kredibilite matrisi (12)'deki fonksiyon yardımı ile elde edilir:

$$S(a,b) = \begin{cases} C(a,b), \text{ eğer } D_j(a,b) \leq C(a,b), \forall j \\ C(a,b) \prod_{j \in J(a,b)} \frac{1-D_j(a,b)}{1-C(a,b)}, \text{ aksi halde.} \end{cases} \quad (12)$$

(12)'de $J(a,b)$ kümesi $D_j(a,b) > C(a,b)$ koşulunu sağlayan kriterleri temsil etmektedir. Kredibilite matrisi, kümülatif uyumluluk matrisindeki değerler ile her bir kriter için oluşturulmuş m tane uyumsuzluk matrisindeki değerlerin birbiri ile kıyaslanması sonucu elde edilen $n \times n$ boyutunda bir matristir. Bir (a,b) ikilisi için uyum matrisi değeri bütün uyumsuzluk matrislerindeki değerlerden büyükse, bu ikilinin kredibilite matrisi değeri, kümülatif uyum matrisi değerine eşit olmaktadır. Aksi halde, kredibilite matris değeri (12)'de verilen doğrusal denklem yardımı ile hesaplanır. Her bir alternatif ikilisi için elde edilen kredibilite skorları, alternatiflerin sıralanması için kullanılan bir distilasyon süreci için girdi oluştururlar. Başka bir deyişle, elde edilen kredibilite matrisi bir distilasyon sürecine sokularak alternatifler sıralanır.

v. Distilasyon Süreci ve Alternatiflerin Sıralanması

Alternatifleri sıralamak için kullanılan distilasyon süreci, her biri farklı şekilde oluşturulan iki ön sıralama prosedüründen oluşmaktadır. İlk ön sıralama, en iyi alternatiften en kötü alternatife doğru azalan bir yapıdadır. Bu sürece azalan distilasyon adı verilir ve Z_1 şeklinde ifade edilir. İkinci ön sıralama ise en kötü alternatiften en iyi alternatife doğru artan yapıdadır. Buna da artan distilasyon denmektedir ve gösterimi Z_2 şeklindedir. Elde edilen sıralamaların kesişimi ile her iki ön sıralama ile tutarlı bir yapıda olan son sıralama $Z = Z_1 \cap Z_2$ şeklinde oluşturulur.

Distilasyon süreci, öncelikle bir önceki aşamada elde edilen kredibilite matrisinin en büyük değerinin bulunması ile başlar. Kredibilite matrisinde yer alan en büyük değer λ_0 olarak belirlenir. Sıralamaların yapılmasında belirleyici rol oynayacak bir değişken olan λ_1 değişkeni ise; λ_0 değeri ile ayırım eşiği değişkeni farkından küçük en büyük kredibilite matrisi değeri olarak tanımlanır:

$$\lambda_1 = \max_{S(a,b) < \lambda_0 - s(\lambda_0)} S(a,b) \quad (13)$$

$s(\lambda_0)$ ayırım eşiğini ifade etmektedir. ELECTRE III'te ayırım eşiği şu şekilde hesaplanmaktadır:

$$s(\lambda) = 0,3 - 0,15\lambda \quad (14)$$

λ_1 hesaplandıktan sonra alternatiflerin kredibilite matrisindeki değerleri, bu değerle kıyaslanarak her alternatif için güçlülük ve zayıflık skorları elde edilir. Eğer bir (a,b) ikilisinin kredibilite matrisindeki skoru λ_1 değerinden büyükse, a alternatifi +1 güçlülük skoru elde eder. Eğer kredibilite matrisindeki değer λ_1 değerinden küçük ise bu a alternatifi için -1 zayıflık skoru anlamına gelir. Alternatiflerin toplam skorları bu aşamadaki güçlülük ve zayıflıklarının toplanması ile elde edilir.

Azalan distilasyon sürecinde, toplam skoru en yüksek olan alternatif seçilerek ilk sıraya konur. Daha sonra, geriye kalan alternatifler için yeni λ_0 ve λ_1 değerleri yukarıda olduğu gibi hesaplanır ve süreç tekrarlanır. Her aşamada en yüksek skoru elde eden alternatif sıralamaya yerleştirilerek analizden çıkarılır ve süreç geri kalan alternatifler için uygulanır. Artan distilasyonda, azalan distilasyondan farklı olarak, toplam skoru en küçük olan alternatif seçilerek sıraya konur. Sıraya konan alternatif çıkarıldıktan sonra analiz geri kalanlar için devam ettirilerek ilerlenir.

Azalan veya artan distilasyon yapılırken, skoru aynı olan alternatiflerin varlığı durumunda uygulanabilecek ikinci bir adım vardır. Bu adımda, bu kez $\lambda_1 - s(\lambda_1)$ farkı alınarak, bu farktan küçük en büyük değer λ_2 olarak atanır ve yukarıda λ_1 ile gerçekleştirilen analiz bu kez bu değer ile gerçekleştirilir. İkinci adımın sonunda, aynı skoru elde eden alternatiflerin varlığının devamı durumunda bu alternatifler sıralamada aynı sıraya yerleştirilir.

Azalan ve artan distilasyon süreçleri uygulandıktan sonra elde edilen iki ön sıralama birbirleri ile tutarlı bir şekilde kesiştirilerek son bir sıralama elde edilir. Böylece, ELECTRE III yöntemi ile alternatiflerin sıralanması işlemi tamamlanmış olur (Rogers, 2000).

3.3. PROMETHEE Tekniği

PROMETHEE I ve PROMETHEE II yöntemleri Brans vd. (1986) tarafından ortaya atılmış alternatiflerin sıralanmasına yönelik Çok Kriterli Karar Verme yöntemleridir. PROMETHEE I kısmi sıralama yapmaya, PROMETHEE II ise tam sıralama yapmaya yöneliktir. Bu iki yöntemin geliştirilmesinden birkaç sene sonra Brans ve Mareschal tarafından PROMETHEE III ve PROMETHEE IV geliştirilmiştir. 1992 ve 1995 yıllarında yine Brans ve Mareschal tarafından PROMETHEE V ve PROMETHEE VI teknikleri ortaya atılmıştır. PROMETHEE yöntemleri, bankacılık, işgücü planlaması, yatırım kararları, sağlık, ilaç ve kimya endüstrileri gibi birçok alanda uygulama alanı bulmuştur (Brans ve Mareschal, 2005).

PROMETHEE yöntemlerinin bir türü de Macharis vd. (1998) tarafından yapılan çalışma ile geliştirilen ve birden fazla karar vericinin bulunması durumunda grup kararlarının verilebileceği bir yapıya sahip olan PROMETHEE Grup Karar Destek Sistemidir (PROMETHEE – GDSS) . Bu bölümde öncelikle PROMETHEE I ve PROMETHEE II sıralama yöntemlerimin matematiksel altyapısı üzerinde durulacak, daha sonra, PROMETHEE Grup Karar Destek Sisteminden bahsedilecektir.

3.3.1. PROMETHEE I ve PROMETHEE II

Bütün Çok Kriterli Karar Verme yöntemlerinde olduğu gibi PROMETHEE tekniğinde de $A = (a, b, c, \dots, n)$ şeklinde bir alternatif kümesi ve $g_1, g_2, \dots, g_m$ şeklinde bir kriter seti mevcuttur. $g_j(a_i)$ ifadesi, $a \in A$ alternatifinin g_j kriterine göre olan performansını ifade etmektedir. PROMETHEE tekniğinin uygulanmasında ilk aşama, m tane kriter ve n tane alternatif için, alternatiflerin kriterlere göre olan performanslarını gösteren $m \times n$ boyutundaki değerlendirme matrisinin

oluşturulmasıdır. Bu matrisin genel yapısı Tablo 3.1’de gösterilmektedir. Alternatiflerin kriter değerleri belirlendikten sonra, her bir kriterin değerlendirme sürecindeki önemini belirten ağırlıkları ($w_1, w_2, \dots, w_m$) belirlenir.

Tablo 3.1 – PROMETHEE Değerlendirme Matrisi

Kriterler	a	b	...	n
$g_1(\cdot)$	$g_1(a)$	$g_1(b)$	...	$g_1(n)$
$g_2(\cdot)$	$g_2(a)$	$g_2(b)$	...	$g_2(n)$
.	.	.	...	
.	.	.	...	
.	.	.	...	
$g_m(\cdot)$	$g_m(a)$	$g_m(b)$	...	$g_m(n)$

Alternatiflerin kriter değerleri ve kriterlerin ağırlıkları belirlendikten sonra PROMETHEE tekniği ile alternatiflerin sıralanması aşağıdaki aşamalardan oluşmaktadır:

i. Kriterlerin Fonksiyon Tiplerinin ve Parametrelerinin Belirlenmesi

PROMETHEE yönteminde gerçekleştirilmesi gereken ilk aşama, her bir kriter için, alternatiflerin ikili olarak karşılaştırılmasında kullanılmak üzere bir tercih fonksiyonu tipinin ve bu fonksiyon tipi için gereken parametre değerlerinin belirlenmesidir. Yöntemin uygulanmasında kullanılan 6 tip tercih fonksiyonu vardır. Bu fonksiyon tipleri, parameterleri ve grafik gösterimleri Tablo 3.2’de verilmiştir.

Birinci tip fonksiyon, ele alınan değişkenin 0’dan büyük yada küçük olmasına göre 0 ya da 1 değerini alır. İkinci tip fonksiyon, U-tipi olarak adlandırılmaktadır ve eğer değişken l parametresinden büyükse, fonksiyon 1 değerini küçükse 0 değerini almaktadır. Üçüncü tip fonksiyon doğrusal tercih fonksiyonudur. Ele alınan değişkenin m olarak adlandırılan parametre ile kıyaslanması yolu ile x/m ya da 1 değerini alır. Dördüncü tip fonksiyon, p ve q olmak üzere iki parametreye sahiptir ve bu

parametrelerle değişkenin büyüklük ilişkisine göre 0, $\frac{1}{2}$ ve ya 1 değerlerinden birini almaktadır. Beşinci tip fonksiyonda, hem doğrusal tercih hem de farksızlık alanı söz konusudur. Değişkenin, s ve r olmak üzere iki parametre ile kıyaslanmasına dayanır. Son fonksiyon tipi ise, Gaussian fonksiyondur. Parametresi σ olarak gösterilir.

ii. Alternatiflerin Belirlenen Tercih Fonksiyonlarına Göre İkili Olarak Karşılaştırılması

Her bir kriter için bir tercih fonksiyonu tipi ve bu fonksiyon tipi için öngörülen parametre değeri belirlendikten sonra, alternatifler ikili olarak (15)'teki fonksiyon kullanılarak karşılaştırılır ve her ikilinin, her bir kriter için tercih fonksiyonu değeri $P_j(a,b)$ elde edilir. (a,b) alternatif ikilisi için, $g_j(a)$ değerinin $g_j(b)$ değerinden küçük olması durumunda $P_j(a,b)$ değeri 0 olacaktır. Eğer $g_j(a)$ değeri, $g_j(b)$ değerinden büyükse, $P_j(a,b)$ değeri, hangi kriter için değerlendirme yapılıyorsa (j), o kriter için seçilmiş olan tercih fonksiyonunun, $g_j(a) - g_j(b)$ için alacağı değeri alır.

$$P_j(a,b) = \begin{cases} 0, & g_j(a) \leq g_j(b) \\ p(g_j(a) - g_j(b)), & g_j(a) > g_j(b) \end{cases} \quad (15)$$

(15)'te p , kriter için belirlenen tercih fonksiyonunu, $P_j(a,b)$ ise ikililerin tercih fonksiyonu değerlerini ifade etmektedir. Böylece, bütün kriterler için her alternatif ikilisine ait 0 ile 1 arasında m tane $P_j(a,b)$ değeri elde edilir.

Tablo 3.2 – PROMETHEE Tercih Fonksiyonu Tipleri

Tip	Parametreler	Fonksiyon	Grafik, $p(x)$
Birinci Tip (olağan)	-	$p(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 0 \\ 1, & x > 0 \end{cases}$	
İkinci Tip (U-tipi)	l	$p(x) = \begin{cases} 0, & x \leq l \\ 1, & x > l \end{cases}$	
Üçüncü Tip (V-tipi)	m	$p(x) = \begin{cases} x/m, & x \leq m \\ 1, & x \geq m \end{cases}$	
Dördüncü Tip (Seviyeli)	q, p	$p(x) = \begin{cases} 0, & x \leq q \\ 1/2, & q < x \leq q + p \\ 1, & x > q + p \end{cases}$	
Beşinci Tip (Lineer)	s, r	$p(x) = \begin{cases} 0, & x \leq s \\ (x-s)/r, & s \leq x \leq s+r \\ 1, & x \geq s+r \end{cases}$	
Altıncı Tip (Gaussian)	σ	$p(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 0 \\ 1 - e^{-x^2/2\sigma^2}, & x \geq 0 \end{cases}$	

Kaynak: Dağdeviren ve Eraslan (2008).

iii. Tercih İndekslerinin Hesaplanması

Bir önceki aşamada, her alternatif ikilisi için kriter sayısı kadar tercih fonksiyonu değeri $P_j(a,b)$ elde edilmişti. Bu aşamada, her kriter için hesaplanmış $P_j(a,b)$ değerleri, kriterlerin ağırlıkları ile çarpılıp toplanarak her (a,b) ikilisi için tercih indeksi değerini ifade eden $\pi(a,b)$ değeri hesaplanır.

$$\pi(a,b) = \sum_{j=1}^m w_j P_j(a,b) \quad (16)$$

$\pi(a,b)$ değerlerinin hesaplanması ile alternatiflerin ikili karşılaştırmalarının yer aldığı $n \times n$ boyutunda bir karşılaştırma matrisi elde edilmiş olur. $\pi(a,b)$ değerinin 0 değerine yakın olması a 'nın b 'ye göre zayıf bir tercih olduğunu, $\pi(a,b)$ 'nin 1'e yakın olması ise a 'nın b 'ye göre güçlü bir tercih olduğunu ifade etmektedir.

iv. Pozitif ve Negatif Üstünlüklerin Hesaplanması

Her alternatif ikilisi için tercih indeksi değerleri hesaplandıktan sonra, bu değerlerden yararlanılarak her alternatifin pozitif ve negatif üstünlükleri saptanır. Pozitif ve negatif üstünlükler, alternatiflerin ikili karşılaştırmalarda ne oranda baskın tercih ve ne oranda zayıf tercih olarak yer aldığını gösterir. a alternatifinin pozitif üstünlük skoru, $\Phi^+(a)$ olarak ifade edilir ve a 'nın birinci eleman olarak yer aldığı ikililerin tercih indeksleri toplamına eşittir. Negatif üstünlük skoru ise $\Phi^-(a)$ olarak ifade edilir ve a alternatifinin ikinci eleman olarak yer aldığı ikililerin tercih indeksleri toplamıdır. Pozitif ve negatif üstünlüklerin hesaplanması (17) ve (18)'de verilmiştir.

$$\Phi^+(a) = \sum \pi(a,x) \quad x = b,c,d,...,n \quad (17)$$

$$\Phi^-(a) = \sum \pi(x,a) \quad x = b,c,d,...,n \quad (18)$$

v. PROMETHEE I – Kısmi Sıralama

Her alternatif için elde edilen pozitif ve negatif üstünlük skorları karşılaştırılarak, alternatiflerin birbirlerine göre tercih durumları, birbirinden farksız olan alternatifler ve birbirleri ile karşılaştırılamayacak alternatifler belirlenir. Analizin bu aşaması PROMETHEE I olarak isimlendirilir ve alternatiflerin kısmen sıralanmasını sağlar. PROMETHEE I ile sıralama yapılırken dikkate alınan koşullar aşağıda sıralanmaktadır (Dağdeviren ve Eraslan, 2008):

Eğer aşağıdaki koşullardan herhangi biri sağlanıyor ise a alternatifi b alternatifine *tercih edilir*:

- $\Phi^+(a) > \Phi^+(b)$ ve $\Phi^-(a) < \Phi^-(b)$
- $\Phi^+(a) > \Phi^+(b)$ ve $\Phi^-(a) = \Phi^-(b)$
- $\Phi^+(a) = \Phi^+(b)$ ve $\Phi^-(a) < \Phi^-(b)$

Eğer aşağıdaki koşul sağlanıyor ise a alternatifi ile b alternatifi *farksızdır*:

- $\Phi^+(a) = \Phi^+(b)$ ve $\Phi^-(a) = \Phi^-(b)$

Eğer aşağıdaki koşullardan herhangi biri sağlanıyor ise a alternatifi ile b alternatifi *karşılaştırılamaz*:

- $\Phi^+(a) > \Phi^+(b)$ ve $\Phi^-(a) > \Phi^-(b)$
- $\Phi^+(a) < \Phi^+(b)$ ve $\Phi^-(a) < \Phi^-(b)$

vi. PROMETHEE II – Tam Sıralama

PROMETHEE II ile yukarıda elde edilen pozitif ve negatif üstünlük skorları kullanılarak alternatiflerin tam sıralaması elde edilir. Bu aşamada, pozitif ve negatif üstünlük skorlarının farkı alınarak her alternatifi net üstünlük skoru elde edilir ve

sıralama bu net üstünlük skorlarına göre yapılır. $\Phi(a)$ alternatif a için net üstünlük skorunu ifade etmektedir:

$$\Phi(a) = \Phi^+(a) - \Phi^-(a) \quad (19)$$

(20)'de alternatiflerin net üstünlük skorlarının özellikleri gösterilmektedir. Net üstünlük skorları -1 ile 1 arasında değerlere sahiptir ve bütün alternatiflerin net üstünlük skorları toplamı 0'a eşittir.

$$-1 \leq \Phi(a) \leq 1,$$

$$\sum_{x \in A} \Phi(a) = 0 \quad (20)$$

Elde edilen net üstünlük skorlarına göre alternatifler sıralanarak PROMETHEE II aşaması tamamlanmış olur. PROMETHEE uygulamalarında hem PROMETHEE I, hem de PROMETHEE II ile elde edilen sonuçların karar vericiler tarafından dikkate alınması esastır.. Tam sıralama karar vermede tek başına yeterli gibi görünse de, bazı alternatifler arasında, kısmi sıralama aşamasında ortaya çıkabilecek karşılaştırılmaz ilişkisi de, karar vericiye son karara ulaşmasında yardımcı olabilmektedir (Brans ve Mareschal, 2005).

3.3.2. PROMETHEE – Grup Karar Destek Sistemi

PROMETHEE tekniğine grup halinde karar verme boyutu kazandıran PROMETHEE – Grup Karar Destek Sistemi, Macharis vd. (1998) tarafından geliştirilmiştir. PROMETHEE – Grup Karar Destek Sistemi genel olarak 3 evreden oluşan bir süreçte uygulanır. Birinci evre, alternatif ve kriterlerin belirlendiği evredir. İkinci evrede sistemde yer alan her bir karar verici bireysel olarak sıralama yapar. Son evrede ise karar vericilerin bireysel sıralamalarının ışığında genel bir sıralamaya ulaşılır.

i. Alternatiflerin ve Kriterlerin Belirlenmesi

Bu evrede, uygulayıcı, karar vericiler ile bir araya gelerek PROMETHEE metodolojisini ve problemi tanıtır. Daha sonra her bir karar verici tarafından problemin tipine bağlı olarak; strateji, yatırım, proje veya eylem alternatifleri üretilir. Karar vericiler, bireysel olarak alternatifleri belirledikten sonra, bir araya gelerek beyin fırtınası yöntemi ile alternatif seti üzerinde karara varırlar. Benzer bir süreç, değerlendirme kriterleri için de gerçekleştirilerek n alternatif ve m kriterden oluşan değerlendirme setine ulaşılır.

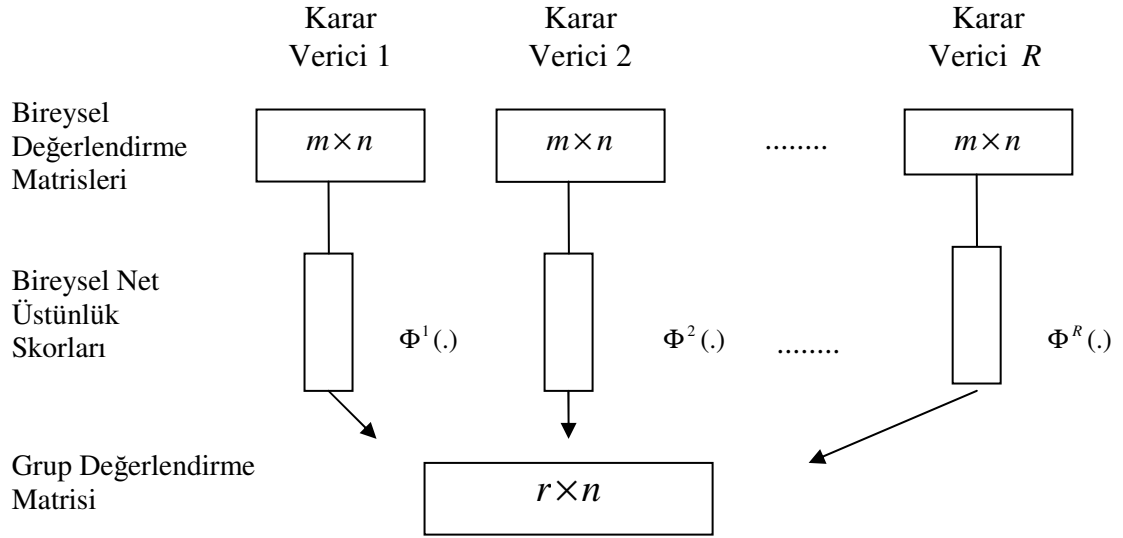
ii. Karar Vericilerin Bireysel Değerlendirmeleri

Bu evrede, öncelikle karar vericiler, kendi değerlendirme matrislerini ve kriter ağırlıklarını belirler ve kendi PROMETHEE analizlerini gerçekleştirerek bir sıralamaya ulaşırlar. Kriter setinde, karar verici için değerlendirmede önemsiz görünen bir kriter varsa, bu kriterin ağırlığını 0 olarak belirlemelidir. Her bir karar verici kendi belirlediği değerlendirme matrisi ve ağırlıklarla kendi analizini uyguladıktan sonra, alternatiflerin her bir karar vericinin analizinde aldıkları skorlar bir araya getirilir.

iii. Grup Değerlendirmesi

Bütün karar vericiler aynı alternatif ve kriterlere kendi analizlerini uyguladıktan sonra, her birinin alternatifler için elde ettiği net üstünlük skorları bir araya toplanır. Bu aşamada, r tane karar verici ve n tane alternatif için $r \times n$ boyutunda yeni bir değerlendirme matrisi elde edilmiş olur. Her bir karar vericinin önem ağırlığı $(w_1, w_2, \dots, w_r)$ belirlenerek, kriterlerin yerinde karar vericilerin yer aldığı bir PROMETHEE analizi gerçekleştirilir. Standart PROMETHEE tekniğindeki her bir kriter için belirlenmesi gereken tercih fonksiyonu tipi üçüncü tip doğrusal ilişki fonksiyonu olarak kabul edilir. Bu fonksiyon için belirlenmesi gereken m parametresi ise 2 olarak alınarak teknik uygulanır. Özet olarak, PROMETHEE Grup Karar Destek Sistemi karar vericilerin bireysel sıralamalarını bir araya toplayarak, oluşturulan değerlendirme matrisine PROMETHEE tekniği uygulamaya dayanır. PROMETHEE Grup Karar Verme Süreci Şekil 3.1’de özetlenmiştir (Brans ve Mareschal, 2005).

Şekil 3.1 – PROMETHEE Grup Karar Verme Süreci



Kaynak: Brans ve Mareschal, 2005

3.4. UTADIS Tekniği

UTADIS tekniği, ilk kez Devaud vd. (1980) tarafından ortaya atılmış ve Jacquet – Lagreze ve Siskos (1982) tarafından yapılan çalışma ile ilerletilmiş bir Çok Nitelikli Karar Verme yöntemidir. Yöntemin, Çok Kriterli Karar Verme araştırmacılarının dikkatini çekmesi 1990’ların ortasına rastlamaktadır. 1995 yılında Jacquet – Lagreze bu metodu araştırma geliştirme projelerini değerlendirmek için kullanmıştır. 1997’den sonra ise finansal karar problemlerinde sınıflama yapmak için yaygınlaştı hale gelmiştir. Son zamanlarda, UTADIS tekniği, FINCLAS (Zopounidis ve Doumpos, 1998) ve PREFDIS (Zopounidis ve Doumpos, 2000) gibi çok kriterli karar destek sistemlerinde uygulama alanı bulmuştur.

UTADIS tekniğinde de, diğer Çok Kriterli Karar Verme tekniklerinde olduğu gibi, $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ olmak üzere n tane alternatiften oluşan bir alternatif kümesi ile $g_1, g_2, \dots, g_m$ şeklinde m tane kriterden oluşan bir kriter kümesi bulunur. Alternatifler öncelikle karar verici tarafından belirli bir özellikleri dikkate alınarak $C_1, C_2, \dots, C_Q$ gibi Q tane sınıfa ayrılır. Gruplar arasındaki tercih ilişkisi (21)’deki gibidir:

$$C_1 \mathbf{P} C_2 \dots, C_{Q-1} \mathbf{P} C_Q \quad (21)$$

$\mathbf{P}$, gruplar arasındaki tercih ilişkisini göstermek üzere, birinci grup C_1 , ikinciye tercih edilmektedir. Başka bir deyişle, en iyi alternatifler birinci grupta en kötü alternatifler Q grubunda yer alacak şekilde gruplama yapılır. UTADIS'te amaç C_1 grubundaki alternatiflerin en yüksek skorları alacağı şekilde, alternatifleri bütün kriterlere göre 0 ile 1 aralığında yeni bir ölçeğe taşımak ve bu ölçekteki grup eşiklerini belirlemektir.

Her değerlendirme kriteri g_i için $G_i = [g_{i*}, g_i^*]$ aralığı tanımlanır. g_{i*} ve g_i^* sırasıyla g_i kriteri için A setinde yer alan bütün alternatifler içinden en az tercih edilen ve en çok tercih edilen değerlerdir. Başka bir deyişle, alternatiflerin g_i kriterindeki performanslarının maksimum ve minimum değerlerini ifade etmektedir. G_i aralığı $a_i - 1$ eşit aralığa $([g_i^j, g_i^{j+1}], j = 1, 2, \dots, a_i - 1)$ bölünür. G_i 'nin kaç alt aralığa bölüneceği yani $a_i - 1$ değeri karar verici tarafından belirlenir. Bu değer, her marjinal fayda u_i için öngörülen noktaların sayısını ifade etmektedir. Alt aralık sayısının alternatif sayısına yakın belirlenmesi marjinal fayda ölçeği ile eldeki veri setini birbirine yaklaştırarak daha doğru sonuçlar elde edilmesini sağlar; ancak aynı zamanda modelin aşırı büyümesine yol açar. Bu yüzden, alt aralık sayısı alternatif sayısına çok yakın olmayacak bir şekilde, ortalama bir değer olarak belirlenmelidir. Alt aralıkları belirleyen, her bir nokta, doğrusal enterpolasyon ile (22)'deki gibi hesaplanır:

$$g_i^j = g_{i*} + \frac{j-1}{a_i-1} (g_i^* - g_{i*}) \quad (22)$$

Amaç, alternatiflerin, bu belirlenen noktalardaki marjinal faydalarının hesaplanmasıdır. Alternatif a 'nın g_i kriterindeki değeri $g_i(a)$ olarak gösterilir ve $g_i(a) \in [g_i^j, g_i^{j+1}]$ koşulu geçerlidir. a alternatifinin marjinal faydası $u_i[g_i(a)]$, doğrusal enterpolasyon ile (23)'teki gibi hesaplanır.

$$u_i[g_i(a)] = u_i(g_i^j) + \frac{g_i(a) - g_i^j}{g_i^{j+1} - g_i^j} [u_i(g_i^{j+1}) - u_i(g_i^j)] \quad (23)$$

Kısıtların monotonluğunun sağlanabilmesi için (24)'teki kısıtın sağlanması gereklidir. Bu tip kısıtlar monotonluk kısıtları olarak isimlendirilir. Bu durum, modele kriter sayısı ile belirlenen alt aralık sayısı çarpımı kadar monotonluk kısıtı eklenmesi zorunluluğunu getirmektedir.

$$u_i(g_i^{j+1}) - u_i(g_i^j) \geq 0, \forall i \quad (24)$$

Modele getirilen bu monotonluk kısıtları, modeli büyütmede ve çözümü zorlaştırıcı yönde etki etmektedir. Modelin çözülmesinde yaşanacak bu zorluk, bu monotonluk kısıtlarının, sıfır olmama kısıtlarına dönüşümü ile sağlanmaktadır. Bu dönüşüm, Siskos ve Yannacopoulos (1985) tarafından ortaya atılan yaklaşım ile sağlanmaktadır. Buna göre, modele iki ardışık kesim noktasının marjinal faydaları arasındaki farkı temsil eden yeni w_{ij} artık değişkenleri eklenmektedir ve (25) ve (26)'da gösterilen dönüşümler gerçekleştirilmektedir.

$$w_{ij} = u_i(g_i^{j+1}) - u_i(g_i^j) \geq 0, \forall i, j \quad (25)$$

$$u_i(g_i^j) = \sum_{k=1}^{j-1} w_{ik} \quad (26)$$

(25) ve (26)'daki dönüşümler gerçekleştirildikten sonra, (23)'teki bir alternatifin marjinal faydasını gösteren fonksiyon (27)'deki gibi ifade edilebilir. $u_i(g_i^{j+1}) - u_i(g_i^j)$

ifadesi yerini w_{ij} değişkenine, $u_i(g_i^j)$ ise yerini $\sum_{k=1}^{j-1} w_{ik}$ ifadesine bırakmıştır.

$$u_i[g_i(a)] = \sum_{k=1}^{j-1} w_{ik} + \frac{g_i(a) - g_i^j}{g_i^{j+1} - g_i^j} w_{ij} \quad (27)$$

Alternatifin global faydası $U(a)$ ise her bir kriter için olan marjinal faydalarının toplamı şeklinde (28)'deki gibi ifade edilmektedir.

$$U(a) = \sum_{i=1}^m u_i[g_i(a)] \quad (28)$$

Modelde yer alan diğer bir kısıt grubu ise (29) ve (30)'da gösterilen normalizasyon kısıtlarıdır. Bu kısıtlar, alternatiflerin marjinal faydalarının toplamının üst sınırını 1, alt sınırını ise 0'a eşitleyen kısıtlardır. Başka bir deyişle, global faydaların, 0 ile 1 arasında değişen bir ölçek arasında yer almasını sağlayan kısıtlardır.

$$\sum_{i=1}^n u_i(g_i^*) = 1 \quad (29)$$

$$\sum_{i=1}^n u_i(g_{i*}) = 0 \quad (30)$$

Modelde yapılan dönüşümler ve w_{ij} artık değişkenlerinin modele eklenmesi ile, (29) ve (30)'daki normalizasyon kısıtları da çeşitli dönüşümlere uğramaktadır. Bu kısıtlar için, (31) ve (32)'deki dönüşümler gerçekleştirilmekte ve (30)'daki kısıt modelden düşürülürken, (29)'daki normalizasyon kısıtı (33)'deki gibi modele eklenen w_{ij} değişkenleri ile ifade edilmektedir (Siskos ve Yannacopoulos, 1985).

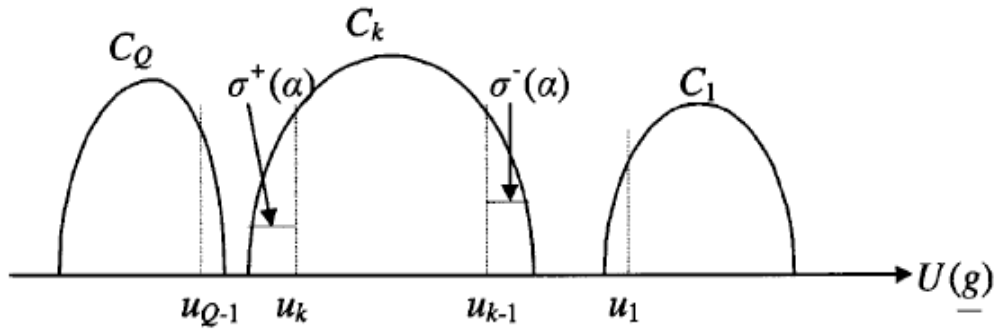
$$u_i(g_{i*}) = 0 \quad (31)$$

$$u_i(g_i^*) = \sum_{k=1}^{a_i-1} w_{ik} \quad (32)$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{a_i-1} w_{ij} = 1 \quad (33)$$

Alternatiflerin global faydası $U(a)$ ile ilişkili iki tip sınıflandırma hatasından bahsedilebilir: fazla tahmin hatası $\sigma^+(a)$ ve eksik tahmin hatası $\sigma^-(a)$. Fazla tahmin hatası $\sigma^+(a)$, bir alternatifin, sahip olduğu faydaya göre, ait olduğu sınıftan daha alt bir sınıfa konulması (C_1 sınıfına ait olan bir alternatifin C_2 sınıfında yer alması gibi) durumunda oluşur. Bu durumda, doğru bir şekilde sınıflandırma yapmak için, $\sigma^+(a)$ hata payının bu alternatifin global fayda fonksiyonuna eklenmesi gerekmektedir. Eksik tahmin hatası $\sigma^-(a)$ ise, bir alternatifin sahip olduğu faydaya göre, ait olduğu sınıftan daha üst bir sınıfa konulması (C_2 sınıfına ait olan bir alternatifin C_1 sınıfında yer alması gibi) durumunda ortaya çıkmaktadır. Bu durumda, doğru bir şekilde sınıflandırma yapmak için, $\sigma^-(a)$ hata payının bu alternatifin global fayda fonksiyonundan çıkarılması gerekmektedir. Bu iki tip hata Şekil 3.2’de gösterilmektedir.

Şekil 3.2 – UTADIS Tekniğinde Fayda Ölçeğinde Sınıflandırma



Kaynak: Zopounidis ve Doumpos, 1999.

Alternatiflerin sınıflandırılması, her birinin global faydasının uygun düşen fayda eşiği ile karşılaştırılması yolu ile yapılmaktadır. Fayda eşikleri, bir sınıfı diğerinden ayıran değerlerdir. Fayda eşikleri ile alternatiflerin global faydaları arasındaki ilişkilere göre alternatifler (34), (35), (36) ve (37)’deki gibi sınıflandırılır. $u_1, u_2, \dots, u_{k-1}, u_k, \dots, u_{Q-1}$ değerleri fayda eşiklerini göstermektedir.

$$U(a) \geq u_1 \Rightarrow a \in C_1 \quad (34)$$

$$u_2 \leq U(a) < u_1 \Rightarrow a \in C_2 \quad (35)$$

.....

$$u_k \leq U(a) < u_{k-1} \Rightarrow a \in C_k \quad (36)$$

.....

$$U(a) < u_{Q-1} \Rightarrow a \in C_Q \quad (37)$$

(28)'deki global fayda fonksiyonunun tanımı ve bahsedilen iki tip hata payı dikkate alınarak yukarıdaki eşitsizlikler (38), (39) ve (40)'daki gibi ifade edilebilirler.

$$\sum_{i=1}^m u_i [g_i(a)] - u_1 + \sigma^+(a) \geq 0 \quad \forall a \in C_1 \quad (38)$$

$$\left. \begin{array}{l} \sum_{i=1}^m u_i [g_i(a)] - u_{k-1} - \sigma^-(a) \leq -\delta \\ \sum_{i=1}^m u_i [g_i(a)] - u_k + \sigma^+(a) \geq 0 \end{array} \right\} \quad \forall a \in C_k \quad (39)$$

$$\sum_{i=1}^m u_i [g_i(a)] - u_{Q-1} - \sigma^-(a) \leq -\delta \quad \forall a \in C_Q \quad (40)$$

(39) ve (40)'taki δ değeri çok küçük, pozitif bir reel sayı değerini temsil etmektedir. Bu değer, global fayda değeri $U(a)$ 'nın u_{k-1} ($a \in C_k$, $k > 1$ durumunda) ve u_{Q-1} ($a \in C_Q$ olduğu durumlarda) değerleri ile kesin eşitsizliğini sağlamak için kullanılmaktadır. Amaç $u_i [g_i(a)]$ marjinal faydalarının ve u_k fayda eşiklerinin yukarıda belirtilen kısıtları sağlayacak ve tüm hataların toplamını minimize edecek şekilde belirlenmesidir. Bu koşullar altında UTADIS tekniğinin modeli aşağıda gösterilen şekilde oluşmaktadır:

$$\text{Minimize } F = \sum_{a \in C_1} \sigma^+(a) + \dots + \sum_{a \in C_k} [\sigma^+(a) + \sigma^-(a)] + \dots + \sum_{a \in C_Q} \sigma^-(a) \quad (41)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{i=1}^m u_i [g_i(a)] - u_1 + \sigma^+(a) \geq 0 \quad \forall a \in C_1 \quad (42)$$

$$\left. \begin{aligned} \sum_{i=1}^m u_i [g_i(a)] - u_{k-1} - \sigma^-(a) &\leq -\delta \\ \sum_{i=1}^m u_i [g_i(a)] - u_k + \sigma^+(a) &\geq 0 \end{aligned} \right\} \quad \forall a \in C_k \quad (43)$$

$$\sum_{i=1}^m u_i [g_i(a)] - u_{Q-1} - \sigma^-(a) \leq -\delta \quad \forall a \in C_Q \quad (44)$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{a_i-1} w_{ij} = 1 \quad (45)$$

$$u_{k-1} - u_k \geq s \quad k = 2, 3, \dots, Q-1 \quad (46)$$

$$w_{ij} \geq 0, \sigma^+ \geq 0, \sigma^- \geq 0 \quad (47)$$

(46)'da yer alan kısıttaki s parametresi, sınıfları ayıran fayda eşikleri arasındaki, kesin tercih ilişkisini sağlamak için modele eklenmiş bir parametredir. Özet olarak UTADIS tekniğinin amacı önceden belirlenmiş gruplardaki alternatiflerin global fayda skorlarını hesaplamak, alternatifleri 0 ile 1 arasında değişen yeni bir ölçeğe taşımak ve grupların eşiklerini hatayı minimize edecek şekilde belirlemektir. Bu amaç, yukarıda (41), (42), (43), (44), (45), (46) ve (47) ile belirtilen matematiksel model aracılığı ile başarılmaktadır (Zopounidis ve Doumpos, 1999).

4. BÖLÜM

ENERJİ KARAR DESTEK SİSTEMİNİN HAZIRLANMASI

Bu bölümde, öncelikle, yapılan çalışmanın amacı ve kapsamı ile çalışmada izlenen yöntem, aşamalarıyla detaylı bir şekilde ele alınmaktadır. Daha sonraki kısımda ise, çalışma kapsamında hazırlanan Karar Destek Sistemi'nin genel yapısı, öğeleri ve işleyiş prensipleri üzerinde durulmaktadır.

4.1. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Bu çalışmanın temel amacı, Enerji ve Çevre konusunda Performans Değerlendirmesi ve Karar Vermeye yönelik olarak çeşitli teknikleri ve literatürde uygulanmış problem parametrelerini kullanarak analiz yapmaya imkan sağlayan, analizlerle elde edilen sonuçları uygun ve anlaşılabilir bir şekilde raporlayan bir Karar Destek Sistemi'nin oluşturulması ve oluşturulan bu sistemde Türkiye enerji sektörüne yönelik çeşitli uygulamaların yapılmasıdır. Bu temel amaç ışığında, çalışma ile gerçekleştirilmek istenen dört ana hedeften bahsedilebilir.

Çalışmanın birinci hedefi, Enerji ve Çevre konusunda yapılmış Performans Değerlendirmesi ve Karar Analizi çalışmalarını inceleyerek, yaygın olarak kullanılan teknikleri bir araya getiren bir model tabanının oluşturulmasıdır. Literatürde yapılan çalışmalar incelenerek, Performans Değerlendirmesi'ne yönelik olarak Veri Zarflama Analizi'nin ve Karar Analizi'ne yönelik olarak ELECTRE (*Elimination and Choice Translating Reality*), PROMETHEE (*Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation*) ve UTADIS (*Utilities Additives Discriminantes*) tekniklerinin sistemin model tabanında yer alması kararlaştırılmıştır. Veri Zarflama Analizi'nin standart modellerinin yanısıra, analize yeni bir boyut kazandıran Ölçüt Odaklı Veri Zarflama Analizi de model tabanında yer alan tekniklerdendir. Bundan başka, PROMETHEE tekniğinin, grup halinde karar vermeye yönelik olarak modellenen bir türü olan PROMETHEE – Grup Karar Destek Sistemi de oluşturulan model tabanının tekniklerinden biridir. Çeşitli tip ELECTRE yaklaşımlarından da bir sıralama tekniği

olan ELECTRE III yaklaşımının sistemde yer alması kararlaştırılmıştır. Bahsedilen tekniklerin matematiksel altyapıları üçüncü bölümde detaylı olarak incelenmektedir. Amaç, bu tekniklerin bilgisayar destekli olarak modellenmesi ve sistemin kullanıcıya bahsedilen teknikler arasından seçim yaparak uygulama yapma imkanı sağlayacak biçimde tasarlanmasıdır.

Çalışmanın bir diğer hedefi, literatürde uygulanmış problem tiplerinin ve problem parametrelerinin Karar Destek Sistemi'nde yer almasıdır. Bu problem tipleri ve parametreleri Karar Destek Sistemi'nin veri tabanını oluşturacaktır. Bu hedefin gerçekleştirilmesine yönelik olarak, Enerji ve Çevre konusunda geniş bir literatür araştırması yapılmış ve çeşitli problem tipleri belirlenmiştir. Veri Zarflama Analizi'ne yönelik olarak yapılan literatür araştırmasında elde edilen bilgiler çalışmanın birinci bölümünde, Karar Analizi'ne yönelik gerçekleştirilen literatür araştırmasının bulguları ise çalışmanın ikinci bölümünde özetlenmektedir. İncelenen çalışmalar ışığında, Veri Zarflama Analizi'ne yönelik olarak sıklıkla kullanılan girdi ve çıktılar; Karar Analizi tekniklerine yönelik olarak ise sıklıkla kullanılan kriterler belirlenmiştir. Amaç, sistemin belirlenen bu parametreleri kullanıcıya seçenek olarak sunan ve analizleri bu parametreler ışığında gerçekleştirebilen bir yapıda tasarlanmasıdır.

Çalışmanın üçüncü hedefi, Karar Destek Sistemi yolu ile elde edilen sonuçların raporlanması başka bir deyişle, sistemin rapor arayüzü ile ilgilidir. Sistemin, kullanıcıya ihtiyacı olan sonuçları yapısal olarak uygun ve anlaşılabilir bir şekilde rapor olarak sunması amaçlanmaktadır. Karar Destek Sistemi'nde yer alan her bir teknik değişik tipte sonuçlar içermektedir. Veri Zarflama Analizi, birimlerin etkinlik skorlarını hesaplar; ELECTRE ve PROMETHEE teknikleri çeşitli alternatiflerin sıralanmasına yöneliktir. UTADIS tekniği ise bir grupta tekniği olarak sistemde yer almaktadır. Birbirinden farklı biçimlerde çıktıları sahip olan bu tekniklerin her biri için kullanıcının kolaylıkla yorumlayabileceği yapıda sonuç raporlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Çalışmanın temel hedeflerinden biri de; Karar Destek Sistemi'nin, düzgün ve rahat anlaşılacak bir raporlama sistemine sahip bir biçimde yapılandırılmasıdır.

Çalışmada ulaşılmak istenen dördüncü ve son hedef ise, yukarıda sayılan amaçlara uygun bir biçimde tasarlanarak oluşturulan Karar Destek Sistemi'nde uygun Türkiye enerji sektörü verileri kullanılarak çeşitli uygulamalar yapılması ve sonuçların yorumlanmasına yöneliktir. Bahsedilen bu uygulamalar, Karar Destek Sistemi'nin örnek olay tabanını oluşturacaktır. Çeşitli kaynaklardan sistemin yapısına uygun bir şekilde elde edilen veriler kullanılarak sistemin çalıştırılması ve elde edilen sonuç raporlarının yorumlanması çalışmada varılmak istenen son noktadır. Bu amaca yönelik olarak Türk sektörünün yapısının incelenmesi ve uygun verilerin toplanması da çalışmanın kapsamı içerisinde yer almaktadır. Türkiye enerji sektöründe yapılan uygulamalar çalışmanın beşinci bölümünde detaylı olarak ele alınmaktadır.

2007 yılında Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi tarafından Türkiye enerji sektörünün 2005-2006 yıllarına ilişkin değerlendirilmesine yönelik hazırlanan raporda sektörün temel sorunlarından birinin sektör hizmetlerinin verimliliğini sağlayacak nitelikte doğru ve gerçek verilere dayalı bir planlama yaklaşımının benimsenmeyişi olduğu vurgulanmaktadır. Çalışmanın çıkış noktası, enerji sektöründeki bu planlama eksikliğine yönelik bir yaklaşım sunmaktır. Planlamanın temel unsurlarından biri de mevcut performansın değerlendirilmesidir. Çalışmada yer alan performans değerlendirmesi boyutu bu amaca hizmet etmektedir. Karar Analizi boyutu ile ise sektörde verilecek yatırım kararlarının kalitesinin artırılmasına ve kararların matematiksel modeller aracılığı ile daha kantitatif bir yaklaşımla alınmasına hizmet edilmesi hedeflenmektedir.

4.2. Çalışmanın Yöntemi

Çalışma kapsamında hazırlanan Karar Destek Sistemi Visual Basic for Applications (VBA) programlama dili kullanılarak Microsoft Excel programı üzerinde kurulmuştur. VBA dili standart Visual Basic dilinin Microsoft Office programları ile birlikte kullanmaya yönelik uyarlanmış halidir. Karar Destek Sistemi, Microsoft Excel çalışma sayfalarını ve VBA programlama dili kodlarını kullanarak analizleri gerçekleştirmektedir. Ayrıca, Excel'in Visual Basic editörünün form özellikleri kullanılarak sisteme görsellik kazandırılmaktadır. Çalışmada izlenecek yöntem yukarıda

sıralanan hedeflere yönelik olarak gerçekleştirilmiştir ve temel olarak beş aşamada incelenebilir:

Aşama 1: Model Tabanının Oluşturulması

Çalışmanın bu aşaması, Karar Destek Sistemi'nde yer alması planlanan altı tekniğin (Veri Zarflama Analizi, Ölçüt Odaklı Veri Zarflama Analizi, ELECTRE III, PROMETHEE, PROMETHEE – GDSS ve UTADIS) Microsoft Excel'de modellenmesini içermektedir. Üçüncü bölümde matematiksel temelleri detaylı bir şekilde açıklanan teknikler, çalışma sayfaları ve VBA programlama dili kodları kullanılarak Excel'de modellenmiş ve ayrı ayrı oluşturulan modeller daha sonra bir araya getirilmiştir.

Aşama 2: Veri tabanının Oluşturulması

Bu aşama, literatürde Enerji ve Çevre konusunda yapılmış Performans Değerlendirmesi ve Karar Analizi çalışmalarının incelenmesini ve bu çalışmalar ışığında tekniklerin uygulanmasında kullanılabilecek model parametrelerini içeren bir veri tabanının oluşturulmasını içermektedir. Veri tabanının oluşturulmasında çalışmanın birinci ve ikinci bölümlerinde özetlenen literatür araştırmasının bulguları kullanılmıştır. Veri Zarflama Analizi ve Ölçüt Odaklı Veri Zarflama Analizi için literatürde sık uygulanmış problem tipleri ve bu problemlerde sıklıkla kullanılan girdi ve çıktılarından oluşan bir veri tabanı oluşturulmuştur. Karar Analizi teknikleri için ise kullanılabilecek kriterleri içeren bir veri tabanı hazırlanmıştır. Veri tabanında yer alan öğeler üçüncü aşamada hazırlanan formlarda kullanıma sunulmaktadır.

Aşama 3 : Kullanıcı Arayüzünün Hazırlanması

Çalışmanın bu aşaması, ilk iki aşamada oluşturulan model ve veri tabanlarını da içerecek şekilde kullanıcı formlarının hazırlanmasını içermektedir. Model tabanında yer alan her bir teknik değişik girdilere ihtiyaç duymaktadır. Hazırlanan formlar, kullanıcıdan elde edilmesi gereken bu girdileri alacak şekilde tasarlanmıştır. Ayrıca veri

tabanında yer alan parametreleri kullanıcıya yol gösterici olacak şekilde şablon olarak sunan formlar da sisteme dahil edilmiştir.

Aşama 4 : Rapor Arayüzünün Oluşturulması

Çalışmanın dördüncü aşamasında düzgün ve anlaşılır bir raporlama hedefine uygun düşecek bir şekilde rapor arayüzü oluşturulmuştur. Bu aşamada, analizlerin sonucunda kullanıcıya sunulmak istenen veriler kararlaştırılmış ve belirlenen bu verileri sistemli bir şekilde kullanıcıya sunacak rapor biçimleri düzenlenmiştir. Karar Destek Sistemi'nin gereken sonuçları kullanıcıya ayrı bir Excel çalışma sayfası olarak sunması planlanmaktadır. Bu amaca uygun olarak, analizlerin gerçekleştirildiği çalışma sayfalarından gerekli bilgileri alarak ayrı bir çalışma sayfası olarak raporlayan bir yapının kurulması gereklidir. Bu yapının oluşturulması için gerekli olan VBA kodlarının oluşturulması bu aşamada gerçekleştirilmiştir. Rapor arayüzünün de oluşturulması ile Karar Destek Sistemi kullanıma hazır hale gelmiştir. Karar Destek Sisteminin yapısı ve işleyişi bu bölümün üçüncü kısmında detaylı bir biçimde ele alınmaktadır.

Aşama 5 : Örnek Olay Tabanının Oluşturulması

Çalışmanın son aşamasında, amaçlara uygun olarak hazırlanan Karar Destek Sistemi'nde Türkiye enerji sektörü verileri için çeşitli uygulamalar yapılması yer almaktadır. Yapılan bu uygulamalar, Karar Destek Sistemi'nin örnek olay tabanını oluşturmaktadır. Örnek olay tabanı ile, çalışma kapsamında hazırlanan Karar Destek Sistemi, sektörün birçok alanından toplanan verilerle yapılan uygulamalar ile zenginleştirilmiştir. Yapılan uygulamalarda elde edilen sonuçların yorumlanması da bu aşamada gerçekleştirilen bir diğer eylemdir. Yapılan uygulamalar ve sonuçları çalışmanın beşinci bölümünde ele alınmaktadır.

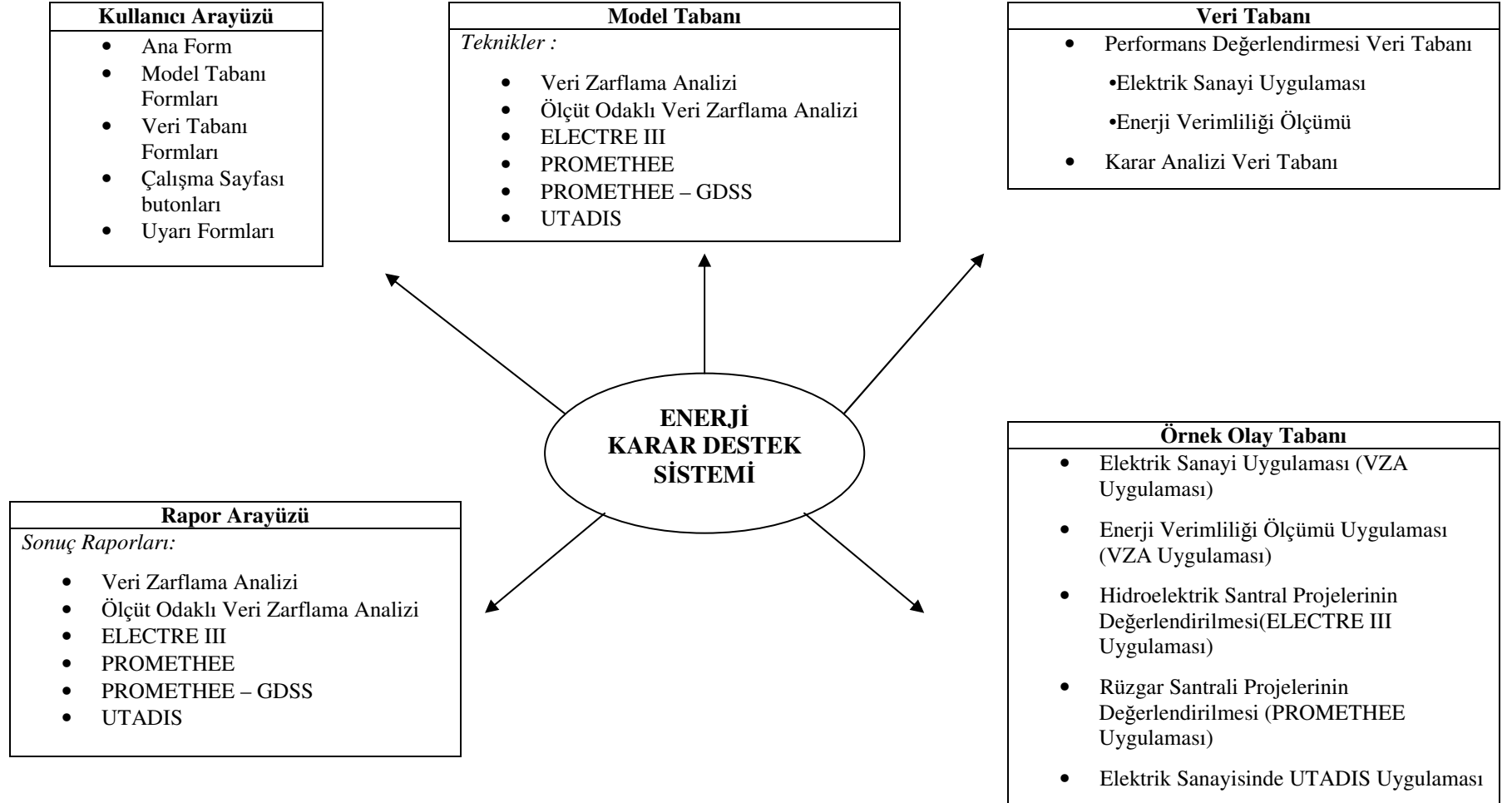
4.3. Karar Destek Sistemi'nin Yapısı ve İşleyişi

Bu kısımda, çalışma kapsamında hazırlanan Karar Destek Sistemi'nin genel yapısı ve çalışma sistemi anlatılmaktadır. Çalışma kapsamında hazırlanan Karar Destek Sistemi, temelinde, bir önceki yöntem bölümünde sıralanan aşamalara paralel olarak, beş bileşenden oluşmaktadır. Bu bileşenler; Kullanıcı Arayüzü, Model Tabanı, Veri Tabanı, Rapor Arayüzü ve Örnek Olay Tabanı olarak sıralanabilir. Karar Destek Sistemi'nin bu temel bileşenleri Şekil 4.1'de özetlenmektedir.

Kullanıcı Arayüzü, genel olarak, bir ana form, teknikler için hazırlanmış altı adet model tabanı formu, veri tabanında yer alan problem tipleri ile parametreler için hazırlanmış veri tabanı formları, çalışma sayfasında yer alan çeşitli butonlar ve çeşitli durumlarda gösterilmek üzere hazırlanmış uyarı formlarından oluşmaktadır. Kullanıcı arayüzü ve bu arayüzün işleyişi Bölüm 4.3.1'de ele alınmaktadır. Model Tabanı, sistemde yer alan tekniklerin yer aldığı bileşendir. Her bir teknik VBA programlama dili kodları kullanılarak modellenmiştir. Model tabanında yer alan tekniklerin işleyiş süreçleri Bölüm 4.3.2'de detaylı olarak ele alınmaktadır. Veri Tabanı, literatür araştırmasının sonucu olarak elde edilen örnek problem tipleri ve bu problem tipleri için uygun parametrelerin (girdi, çıktı veya kriter) yer aldığı sistem bileşenidir. Genel olarak, Performans Değerlendirmesi veri tabanı ve Karar Analizi veri tabanı olmak üzere iki kısımda incelenmektedir. Veri tabanı bileşeninin detayları Bölüm 4.3.3'te incelenmektedir.

Rapor Arayüzü, analizler sonucu elde edilen sonuçların kullanıcıya raporlanması ile ilişkili Karar Destek Sistemi bileşenidir. Bu bileşen, her teknik için, analiz sonucunda elde edilen bilgilerin ayrı bir çalışma sayfası olarak kullanıcıya raporlanması sürecine odaklanmaktadır. Rapor arayüzü detaylı olarak Bölüm 4.3.4'te ele alınmaktadır. Karar Destek Sistemi'nin son bileşeni, Örnek Olay Tabanıdır. Bu bileşen, geliştirilen Karar Destek Sistemi'nin Türkiye enerji sektöründen elde edilen gerçek verilerle uygulanması sürecini içermektedir. Örnek Olay Tabanı, çalışmanın beşinci bölümünde detaylı olarak açıklanmaktadır.

Şekil 4.1 – Karar Destek Sistemi’nin Bileşenleri



4.3.1. Kullanıcı Arayüzü

Hazırlanan Karar Destek Sistemi'nin kullanıcı arayüzü, genel olarak, biri ana form olmak üzere toplamda 11 adet genel formdan oluşmaktadır. Bu formların bir kısmı model tabanı formları olup, sistemde kullanılan tekniklerin analizde ihtiyaç duyduğu bazı parametrelerin kullanıcıdan alınmasına hizmet etmektedir. Bu formlardan başka, hata durumları için tasarlanmış uyarı formları ile Excel'in form özelliği kullanılarak hazırlanan ve "Sayfa1" çalışma sayfasında yer alan çeşitli butonlar da kullanıcı arayüzünde yer alan öğelerdir. Tasarlanan formların diğer kısmı ise, veri tabanı formlarıdır. Bu gruptaki formlar kullanıcının çeşitli problem tiplerini seçmesine imkan tanıyan veya problemlerde yer alabilecek bazı girdi, çıktı ve kriterleri kullanıcıya seçenek olarak sunan tipte formlardır. Bütün formlar, kullanıcın geçersiz değer girmesi veya bazı parametre değerlerini eksik bırakması durumunda gerekli uyarı mesajlarını verecek bir biçimde tasarlanmıştır. Kullanıcı arayüzünde yer alan formlar Ek 1'de gösterilmektedir.

Karar Destek Sistemi'nin başlangıcı olan ana form ise kullanıcının analizde kullanmak istediği tekniği seçtiği ve sıfırdan yeni bir analiz yapmaya veya veri tabanında yer alan şablonları kullanmaya karar verdiği bir form olarak tasarlanmıştır. Ana form Şekil 4.2'de gösterilmektedir.

Şekil 4.2 – Karar Destek Sistemi Ana Formu

Şekil 4.2’de gösterilen ana formda kullanıcı sol taraftaki panelden kullanmak istediği tekniği sağ taraftaki panelden ise “Yeni Analiz” veya “Şablonlar” seçeneklerinden birini seçerek “Tamam” butonuna bastığında sistemi başlatmış olmaktadır. Sağ taraftaki eylem panelinde “Yeni Analiz” seçildiğinde kullanıcı hangi tekniği seçtiyse o teknik için hazırlanmış olan model tabanı formu gösterilmektedir. Karar Destek Sistemi içerisinde yer alan model tabanı formları ve bu formlarda sorgulanan parametreler Tablo 4.1’de gösterilmektedir.

Tablo 4.1 – Karar Destek Sistemi’nde Yer Alan Model Tabanı Formları

Form Adı	Bilgiler
1. Veri Zarflama Analizi Formu	- Karar Birimi Sayısı - Girdi Sayısı - Çıktı Sayısı
2. Ölçüt Odaklı Veri Zarflama Analizi Formu	- Karar Birimi Sayısı - Girdi Sayısı - Çıktı Sayısı
3. ELECTRE III Formu	- Kriter Sayısı - Alternatif Sayısı - Eşik Tipleri ve Türleri
4. PROMETHEE Formu	- Kriter Sayısı - Alternatif Sayısı
5. PROMETHEE – GDSS Formu	- Karar Verici Sayısı - Alternatif Sayısı
6. UTADIS Formu	- Kriter Sayısı - Alternatif Sayısı - Alt Aralık Sayısı

“Şablonlar” eylemi seçildiğinde ise Veri Zarflama Analizi ve Ölçüt Odaklı Veri Zarflama Analizi için bir “Problem Tipi” Formu ekrana gelmektedir. “Problem Tipi” formunda, “Elektrik Sanayi Uygulaması” ve “Enerji Verimliliği Uygulaması” olmak üzere iki tipte problemden biri seçilebilmektedir. Problem tipi belirlendikten sonra,

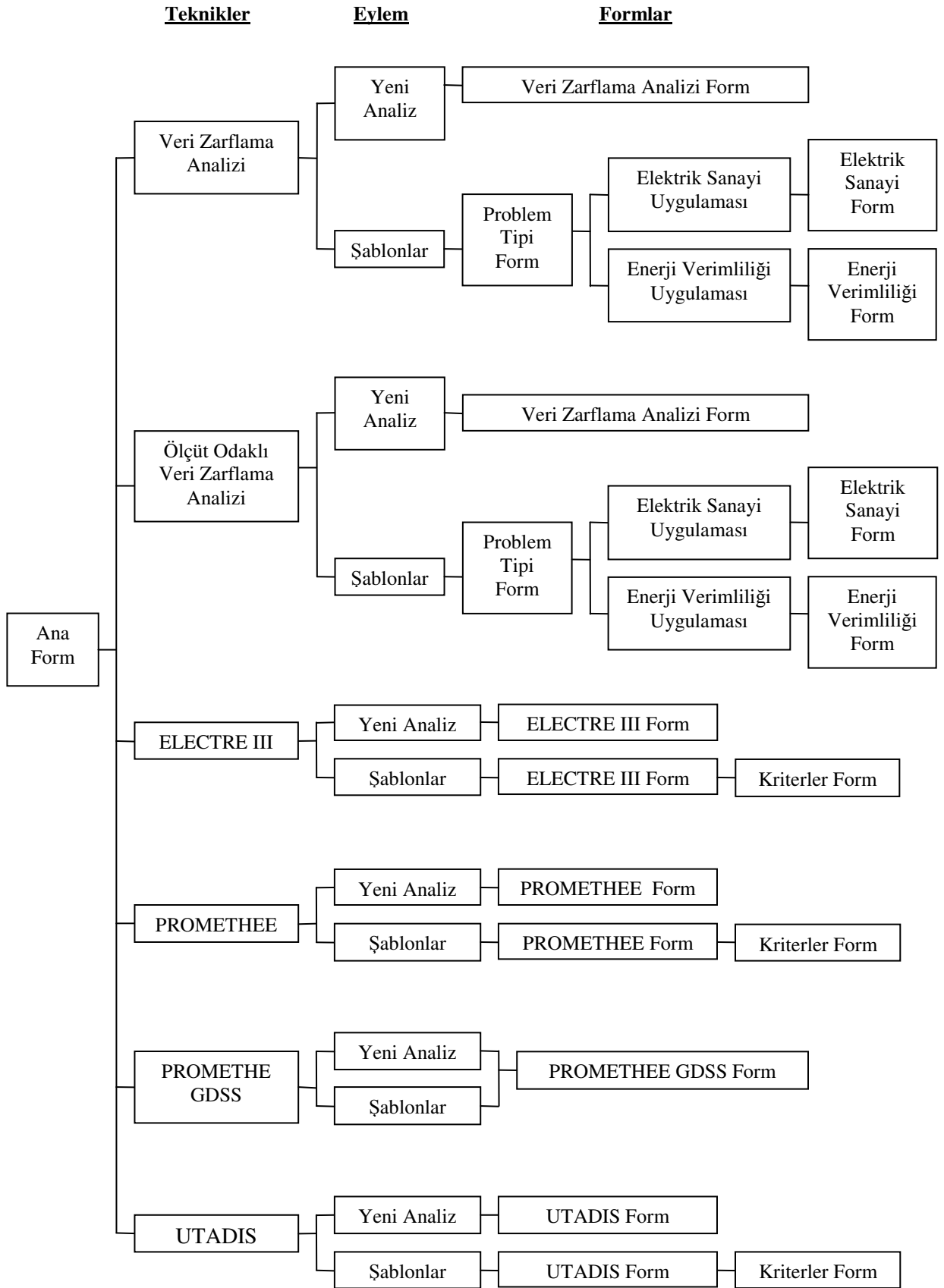
belirlenen tip için hazırlanmış veri tabanı formu ekrana gelmektedir. Bu veri tabanı formlarında, kullanıcı Karar Birimi sayısını belirlemekte ve listelenen problem tipine uygun girdi ve çıktılar arasından seçim yapabilmektedir. Ayrıca, kullanıcı listede var olmayan girdi veya çıktının ismini analize ekleyebilmektedir.

Karar Analizi metodları (ELECTRE III, PROMETHEE ve UTADIS) için ise “Şablonlar” eylemi seçildiğinde, önce seçilen teknik için hazırlanan model tabanı formu görünmekte, kullanıcı o formdaki parametreleri girdikten sonra veri tabanında yer alan kriterler arasından seçim yapabileceği bir “Kriterler” formu ekrana gelmektedir. Bu kriter formunda listelenen kriterler literatür araştırmasının bulguları olarak elde edilmiş kriterlerdir. Kullanıcı bu listelerden analizde kullanılacak kriterleri belirleyebilmekte ve bunları sisteme eklemektedir. Ayrıca, listede yer almayan bir kriter de sisteme dahil edilebilmektedir.

PROMETHEE – GDSS tekniği için bir veri tabanı formu yoktur. Bunun nedeni bu tekniğin, Bölüm 3.3’te detaylı olarak bahsedildiği üzere, alternatifler için karar vericilerin ayrı ayrı gerçekleştirdiği analiz skorlarına ihtiyaç duymasıdır. Başka bir deyişle, standart PROMETHEE uygulamasındaki kriterlerin yerini PROMETHEE – GDSS tekniğinde karar vericiler almıştır. PROMETHEE – GDSS tekniği seçildiğinde “Yeni Analiz” veya “Şablonlar” seçeneklerinden hangisi seçilirse seçilsin ekrana karar verici sayısı ve alternatif sayısı parametrelerini soran PROMETHEE – GDSS formu gelmektedir.

Karar Destek Sistemi’nde yer alan formların genel akışı Şekil 4.3’te gösterilmektedir. Buna göre sistemde Tablo 4.1’de listelenen model tabanı formlarının yanısıra Problem Tipi Formu, Elektrik Sanayi Formu, Enerji Verimliliği Formu ve Kriter Formu olmak üzere 4 adet veri tabanı formu yer almaktadır. Bütün model tabanı ve veri tabanı formları Ek 1’de gösterilmektedir. Elektrik Sanayi, Enerji Verimliliği ve Kriterler formlarında yer alan girdi, çıktı ve kriterler, veri tabanının anlatıldığı Bölüm 4.3.3’te detaylı olarak ele alınmaktadır.

Şekil 4.3 – Formların Genel Akışı



Karar Destek Sistemi'nde verilerin girildiği ve teknikler için analizin temel yapısının kurulduğu bölüm "Sayfa1" isimli çalışma sayfasıdır. Verilerin girildiği ve analizin başlatıldığı bu sayfaya "Çalıştır", "Analizi Temizle", "Veriyi Temizle" ve "Yeni Analiz" olmak üzere dört adet buton oluşturulmuştur. Bu butonlar Excel'in form özelliği kullanılarak oluşturulmuş ve gerekli VBA kodları ile ilişkilendirilmiştir. Bu butonlar, kullanıcının analizi başlatması veya temizlemesi ile yeni bir analiz için ana forma geri dönmesi işlevlerini gerçekleştirmektedirler.

4.3.2. Model Tabanı

Karar Destek Sistemi'nin model tabanını Performans Değerlendirmesi tekniklerinden Veri Zarflama Analizi ve onun bir türevi olan Ölçüt Odaklı Veri Zarflama Analizi ile Karar Analizi tekniklerinden ELECTRE III (*Elimination and Choice Translating Reality*), PROMETHEE (*Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation*), UTADIS (*Utilities Additives Discriminantes*) ve PROMETHEE tekniğinin bir türevi olan PROMETHEE – GDSS (*Group Decision Support System*) oluşturmaktadır.

Kullanılacak teknik seçildikten ve ilişkili formlar aracılığı ile gerekli parametreler kullanıcıdan alındıktan sonra, sistemin "Sayfa1" isimli çalışma sayfasında verilerin girilmesi için uygun bir alan oluşturulmaktadır. Belirlenen alana, kullanıcı tarafından analiz edilmek istenen veriler girilmelidir. Kullanıcı verileri girdikten sonra "Çalıştır" butonuna bastığında seçilen teknik için oluşturulmuş algoritma çalışmakta ve elde edilen sonuçlar ayrı bir çalışma sayfası şeklinde rapor olarak sunulmaktadır. Model tabanında yer alan her bir teknik için sistemin işleyişi aşağıda özetlenmektedir.

i. Veri Zarflama Analizi

Model tabanında yer alan ilk teknik Veri Zarflama Analizi'dir. Şekil 4.2'de görüldüğü üzere Karar Destek Sistemi'nde teknik olarak Veri Zarflama Analizi ve eylem olarak "Yeni Analiz" seçildiğinde kullanıcının analiz için bazı parametreleri girmesi gereken bir Veri Zarflama Analizi formu ekrana gelmektedir. Bu form Tablo 4.1'de gösterildiği

üzere Karar Birimi Sayısı, Girdi Sayısı ve Çıktı Sayısı parametrelerinden oluşmaktadır. Eylem olarak “Şablonlar” seçeneğinin seçilmesi durumunda kullanıcıdan iki adet problem tipinden birini seçmesinin istendiği bir “Problem Tipi” formu ekrana gelmekte ve seçilen problem tipine uygun bir form açılmaktadır. Kullanıcı bu formlardan analizde yer vereceği girdi ve çıktıları veri tabanından seçebilmektedir.

Karar birimi sayısı ile girdi ve çıktılar belirlendikten sonra sistem “Sayfa1” isimli çalışma sayfasında verilerin girilebilmesi için gerekli bir alan oluşturmaktadır. Bu alan, satırlarda karar birimlerinin, sütunlarda ise girdi ve çıktıların yer aldığı bir yapıdadır. Kullanıcı şablon girdi veya çıktıları kullanmıyorsa sayfada karar birimleri DMU1, DMU2,...vb. şeklinde, girdi ve çıktılar ise Girdi1, Girdi2,..., Çıktı1, Çıktı2,...vb. şeklinde varsayılan isimlerle yer almaktadır. Şablonların kullanıldığı durumlarda veri tabanı formlarından seçilen girdi ve çıktılar sayfaya gelmektedir.

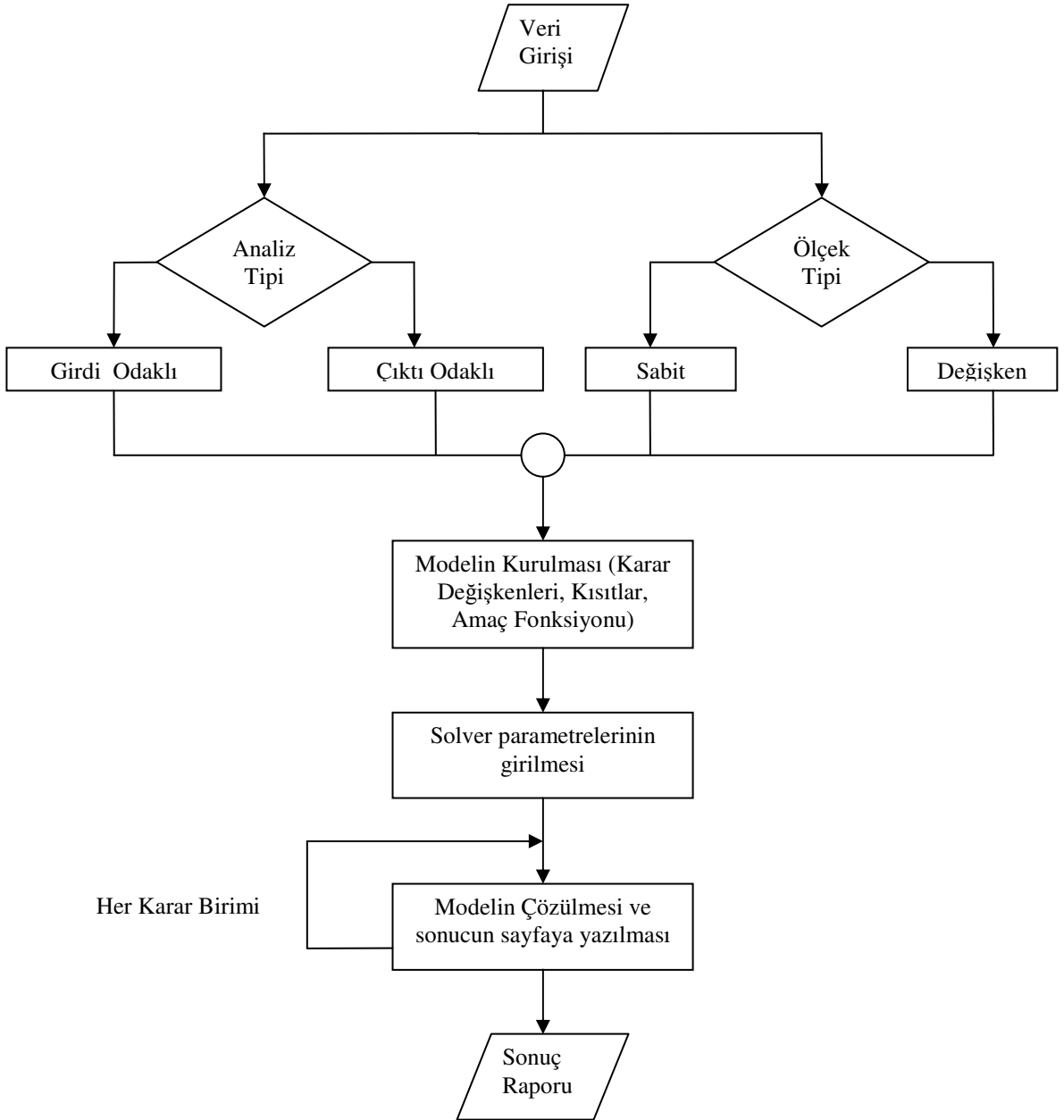
Veri girişi için çalışma sayfasında uygun alan oluştuktan sonra kullanıcıdan analizde kullanacağı verileri girmesi beklenmektedir. Kullanıcı verileri girerken karar birimi veya girdi, çıktı isimlerini de sayılarını değiştirmeden düzenleyebilmektedir. Kullanıcı tarafından girilen bu isimler sonuç raporunda gösterilebilmektedir. Veri girişi tamamlandıktan sonra, “Sayfa1”de yer alan “Çalıştır” butonu vasıtasıyla analiz başlamaktadır.

Analizin ilk aşaması, kullanıcıya Analiz Tipi ve Ölçek Tipi bilgilerinin sorulduğu bir formdur. Analiz tipi, Girdi Odaklı veya Çıktı Odaklı; Ölçek Tipi ise Sabit veya Değişken olarak belirlenebilmektedir. Böylece, sistem Bölüm 3.1’de matematiksel modelleri ele alınan dört tip Veri Zarflama Analizi’nden (Girdi Odaklı Sabit Ölçekli, Girdi Odaklı Değişken Ölçekli, Çıktı Odaklı Sabit Ölçekli ve Çıktı Odaklı Değişken Ölçekli) birini gerçekleştirmektedir. Özet olarak, Veri Zarflama Analizi’nin gerçekleşmesi için sisteme girilmesi gereken bilgiler şöyle sıralanabilir :

- Karar Birimi Sayısı
- Girdi Sayısı
- Çıktı Sayısı

- Analiz Tipi (Girdi Odaklı, Çıktı Odaklı)
- Ölçek Tipi (Sabit, Değişken)

Şekil 4.4 – Veri Zarflama Analizi Süreci



Gerekli veriler kullanıcıdan elde edildikten sonra, analizin gerçekleştiği model, “Sayfa1”de kurulmaktadır. Karar Değişkenleri (λ) için hücreler belirlenmekte, modelin kısıtları ile hedef fonksiyonu için gerekli hücre formülleri yazdırılmaktadır. Gerekli hücre yapısı hazırlandıktan sonra Microsoft Excel’in optimizasyon modellerine yönelik

geliştirilmiş bir eklentisi olan Solver, VBA dili kodları vasıtası ile çağrılarak gerekli parametreler girilmektedir. Solver parametreleri girildikten sonra, analiz altındaki karar birimini gösteren bir hücredeki değerin teker teker değiştirilmesi vasıtası ile model her bir karar birimi için çözdürülmekte ve karar birimlerinin etkinlik skorları ile hedef değerleri elde edilmektedir. Sonuçlar, çözüm sırasında “Sayfa1”e yazdırılmakta, daha sonra, elde edilen tüm sonuçlar, “VZA_Sonuç” isimli bir sonuç sayfası oluşturularak kullanıcıya raporlanmaktadır. Veri Zarflama Analizi’nin veri girişi tamamlandıktan sonraki işleyen süreci Şekil 4.4’te özetlenmektedir.

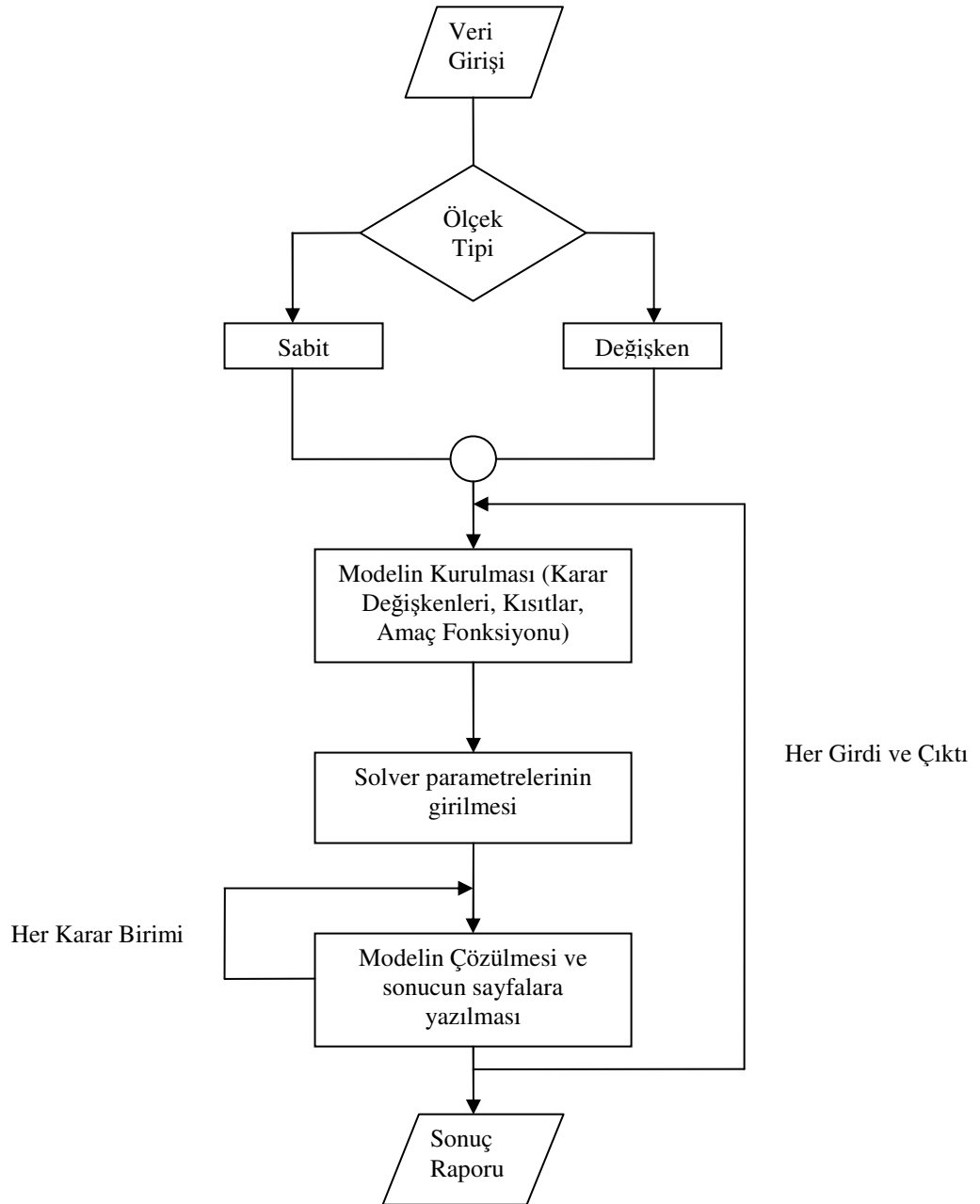
ii. Ölçüt Odaklı Veri Zarflama Analizi

Model tabanında yer alan tekniklerden Ölçüt Odaklı Veri Zarflama Analizi’nin form süreci Veri Zarflama Analizi ile benzer biçimde tasarlanmıştır. Teknik olarak Ölçüt Odaklı Veri Zarflama Analizi ve eylem olarak “Yeni Analiz” seçildiğinde Karar Birimi Sayısı, Girdi Sayısı ve Çıktı Sayısı bilgilerini soran bir form ekrana gelmektedir. Veri Zarflama Analizi’nde olduğu gibi kullanıcı, “Şablonlar” seçeneğini seçerek Elektrik Sanayi veya Enerji Verimliliği olmak üzere iki tipte problem için veri tabanında yer alan girdi ve çıktılarından seçim yapabilmektedir. Formlar vasıtasıyla karar birimi ile girdi ve çıktı sayıları elde edildikten sonra “Sayfa1” isimli çalışma sayfasında bu sayılara uygun bir alan belirlenir ve kullanıcıdan verileri bu alana girmesi beklenir. Veri Zarflama Analizi’nde olduğu gibi “Yeni Analiz” için varsayılan isimler; “Şablonlar” için seçilen girdi ve çıktı isimleri sayfada yer alır. Kullanıcı bu isimleri çalışma sayfasında da düzenleyebilmektedir. Veri girişi tamamlandıktan sonra “Çalıştır” butonuna basılması ile analiz süreci başlar.

Ölçüt Odaklı Veri Zarflama Analizi sürecinde her bir girdi ve çıktı için model tekrar tekrar kurulup çözdürülerek girdi ve çıktı sayısı toplamı kadar sonuç raporu elde edilmektedir. Başka bir deyişle, analiz her bir girdi veya çıktı odaklı olarak gerçekleştirilmektedir. Ölçek Tipi ise, analizin başında kullanıcı tarafından bir form vasıtası ile Sabit veya Değişken olarak belirlenmektedir. Her girdi ve çıktı sırayla odak olarak alınarak model “Sayfa1”de kurulmakta ve Veri Zarflama Analizi’nde olduğu gibi her bir karar birimi için çözdürülmektedir. Sonuç raporları, ayrı çalışma sayfaları

şeklinde gösterilmektedir. Örneğin; iki girdi ve iki çıktı kullanılan bir model için Girdi1 odaklı sonuç yaratılan “1” isimli sayfada, Girdi2 odaklı sonuç “2” isimli sayfada, Çıktı1 odaklı sonuç “3” isimli sayfada ve Çıktı2 odaklı sonuç ise “4” isimli sayfada raporlanmaktadır. Bütün bu sonuç raporlarındaki etkinlik skorları ise “OVZA_Sonuç” isimli bir sayfada bir araya toplanarak raporlanmaktadır.

Şekil 4.5 – Ölçüt Odaklı Veri Zarflama Analizi Süreci



Ölçüt Odaklı Veri Zarflama Analizi, analizin her bir girdi ve çıktıyı ayrı ayrı odak olarak modeli her biri için tekrar kurup çözmesi açısından Veri Zarflama Analizi sürecinden farklılık göstermektedir. “Sayfa1”de her girdi ve çıktı için kısıtlar ve amaç fonksiyonu her seferinde tekrar yazılmakta ve Solver parametreleri baştan girilmektedir. Böylece girdi ve çıktı sayısı toplamı kadar Veri Zarflama Analizi gerçekleştirilmiş olmaktadır. Ölçüt Odaklı Veri Zarflama Analizi’nin veri girişi sonrası süreci süreci Şekil 4.5’te özetlenmektedir.

iii. ELECTRE III

Model tabanında yer alan tekniklerden biri de alternatiflerin sıralanmasına yönelik bir teknik olan ELECTRE III yöntemidir. Karar Destek Sistemi ana formunda teknik olarak ELECTRE III, eylem olarak “Yeni Analiz” seçildiğinde ekrana ELECTRE III için hazırlanmış olan model tabanı formu gelmektedir. “Şablonlar” seçildiğinde ise aynı model tabanı formu gösterilmekte ve bilgiler girildikten sonra, veri tabanında yer alan kriterlerden seçim yapılabilecek “Kriterler” formu ekrana gelmektedir (bkz. Şekil 4.3). Her iki durumda da kullanıcı ELECTRE III model tabanı formuna gerekli parametreleri girmektedir. ELECTRE III formu Tablo 4.1’de de gösterildiği üzere Kriter Sayısı, Alternatif Sayısı ve Eşik Tipleri bilgilerini kullanıcıdan alan bir yapıdadır. Analizin gerçekleştirilmesi için gerekli olan eşik değerleri kullanıcı tarafından değer olarak girilebilmekte veya alternatiflerin kriter değerlerinin bir fonksiyonu olarak tanımlanabilmektedir. Bunu sağlamak için, ELECTRE III formunda eşikler için “Elle Gir” ve “Fonksiyon” olmak üzere iki seçenek tanımlanmıştır. Kullanıcı “Elle Gir” seçeneğini işaretlediğinde çalışma sayfasında eşiklerin girilmesi için bir alan belirlenmektedir. “Fonksiyon” seçeneğinin işaretlenmesi durumunda ise kullanıcıdan aynı form üzerinde fonksiyonun katsayı değerlerini girmesi beklenmektedir. Formun bir diğer özelliği de, veto eşiği kullanılıp kullanılmayacağına karar verilmesidir. Veto eşiği kutucuğu işaretlendiğinde analizde veto eşikleri de yer almaktadır.

“Şablonlar” seçeneğinin seçilmesi durumunda ELECTRE III formunun doldurulmasının ardından “Kriterler” veri tabanı formu ekrana gelmektedir. Kullanıcı buradan veri tabanında yer alan çeşitli kriterleri seçerek analize dahil edebilmektedir. Kriter,

alternatif ve eşik bilgileri kullanıcıdan alındıktan sonra “Sayfa1” çalışma sayfasında verilerin girilmesi için gerekli alan oluşturulmaktadır. Bu alan, satırlarda alternatiflerin sütunlarda kriterlerin yer aldığı bir yapıdadır. “Yeni Analiz” durumunda kriter isimleri Kriter1, Kriter2, Kriter3,...vb. gibi varsayılan isimlerle alternatif isimleri ise Alternatif1, Alternatif2, Alternatif3,...vb. gibi varsayılan isimlerle sayfada yer almaktadır. ELECTRE III sürecinde de kullanıcı, alternatif ve kriter isimlerini sayılarını değiştirmeden çalışma sayfasında düzenleyebilmektedir. “Şablonlar”ın seçilmesi durumunda seçilen kriter isimleri sayfada yer almaktadır. Ayrıca her bir kriter sütununun altında kriterlerin ağırlıklarının girilmesi için “Ağırlıklar” alanı mevcuttur. Eşikler için “Elle Gir” seçeneğinin işaretlenmesi durumunda, çalışma sayfasında “Tercih Eşiği” ve “Farksızlık Eşiği” alanları oluşturulur. Eşikler için “Fonksiyon” seçeneğinin seçilmesi durumunda kullanıcı fonksiyonların katsayılarını formda tanımlamaktadır. Bu durumda, sayfada eşik bilgileri yer almamaktadır.

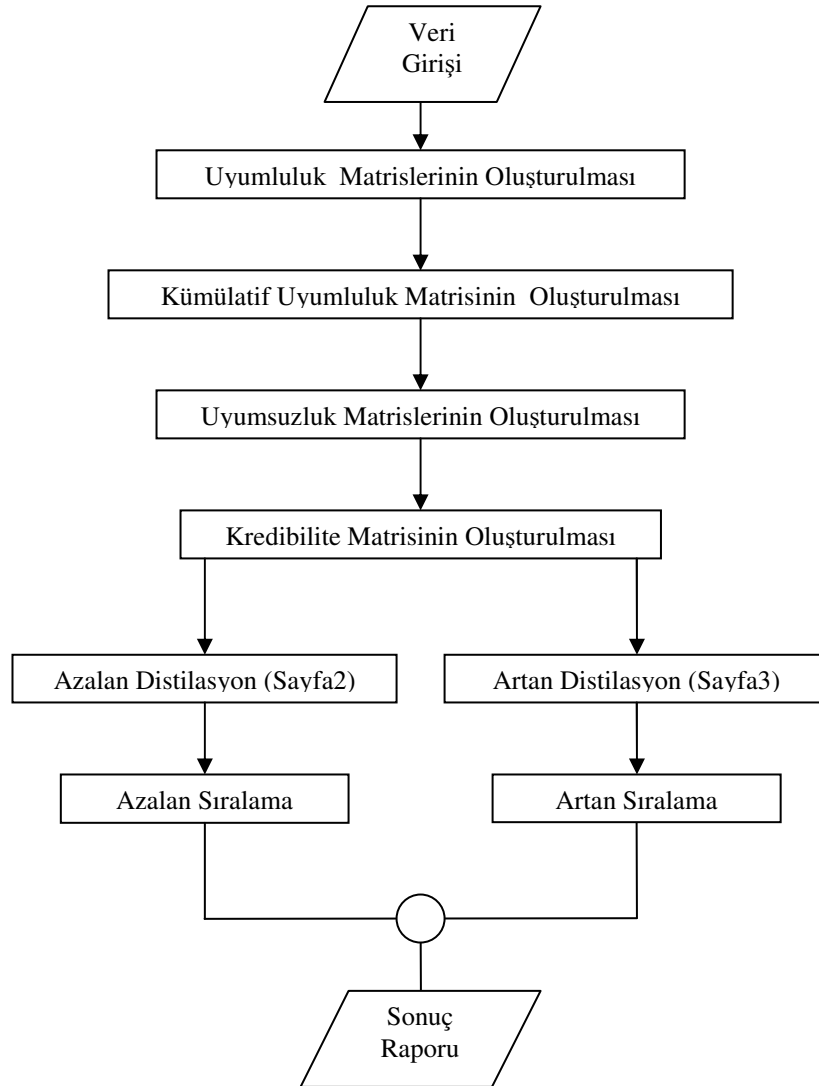
Bölüm 3.2’de belirtildiği üzere ELECTRE III tekniği uygulanırken veto eşiği kullanılıp kullanılmayacağı tercihe bağlıdır. ELECTRE III formu, bu seçimi yapmaya imkan tanıyan bir yapıdadır. Formda yer alan “Veto Eşiği” kutucuğunun işaretlenmesi ile kullanıcı analizinde veto eşiği kullanacağını sisteme belirtmiş olur. Bu durumda eşiklerin elle girilmesi seçimi yapılmışsa çalışma sayfasında diğer eşiklerle beraber “Veto Eşiği” bölümü de yer bulur. Eşiklerin fonksiyon olarak tanımlandığı durumda ise ELECTRE III formunda veto eşiğinin fonksiyon katsayısının girileceği bölüm aktif hale gelir.

Formlar vasıtası ile gerekli bilgiler kullanıcıdan alındıktan ve “Sayfa1” veri girişine uygun bir yapıda düzenlendikten sonra kullanıcıdan veri girişi yapması beklenir. Analiz süreci, kullanıcı alternatiflerin kriter değerlerinin, kriterlerin ağırlıklarının ve eğer elle girmeyi tercih etmişse eşiklerin girişini tamamladıktan sonra çalışma sayfasında bulunan “Çalıştır” butonuna basması ile başlar.

ELECTRE III süreci öncelikle sistemin “Sayfa1” isimli çalışma sayfasında kredibilite matrisinin elde edilmesine kadar olan modelin kurulması ile başlar. Bu süreçte ELECTRE III tekniğinin, Bölüm 3.2’de detayları anlatılan; uyumluluk matrislerinin

oluşturulması, kümülatif uyumluluk matrisinin oluşturulması, uyumsuzluk matrislerinin oluşturulması ve bu matrisler kullanılarak kredibilite matrisinin elde edilmesi işlemleri yer almaktadır. Bu işlemler, VBA programlama dili ile tanımlanmış fonksiyonlar kullanılarak gerçekleştirilir.

Şekil 4.6 – ELECTRE III Süreci



Kredibilite matrisi oluşturulduktan sonra, Karar Destek Sistemi'nin "Sayfa2" isimli çalışma sayfasında Bölüm 3.2'de anlatılan azalan distilasyon; "Sayfa3" isimli sayfasında ise artan distilasyon süreçleri gerçekleştirilir. Bu distilasyon süreçleri sırasında elde edilen sıralama "Sayfa4" isimli çalışma sayfasına yazdırılır. Bu yapıyla,

Karar Destek Sistemi'nin ELECTRE III süreci dört adet çalışma sayfasına ihtiyaç duyan bir analiz sürecidir. Elde edilen sıralama sonuçları, en son oluşturulan "ELECTRE_Sonuç" isimli bir çalışma sayfası ile kullanıcıya raporlanmaktadır. ELECTRE III sürecinin veri girişi tamamlandıktan sonra işleyişi Şekil 4.6'da özetlenmektedir.

iv. PROMETHEE

Model tabanının tekniklerinden birisi de PROMETHEE tekniğidir. Bu teknikte Bölüm 3.3.1'de detaylı olarak anlatıldığı gibi alternatifler için PROMETHEE I ve PROMETHEE II olmak üzere kısmi sıralama veya tam sıralama yapmaya yönelik olarak iki tip skor hesaplanmaktadır. Karar Destek Sistemi'nde teknik olarak PROMETHEE ve eylem olarak "Yeni Analiz" seçildiğinde ekrana PROMETHEE model tabanı formu gelmektedir. Bu formda, Tablo 4.1'de de belirtildiği üzere analizde yer alacak kriterlerin ve alternatiflerin sayısı sorulmaktadır. Eğer, teknik olarak PROMETHEE, eylem olarak ise "Şablonlar" seçildiyse PROMETHEE model tabanı formu görünecek; kriter ve alternatif sayıları girildikten sonra ekrana "Kriterler" veri tabanı formu gelecektir. Kullanıcı bu formdan analizde kullanmak istediği kriterleri seçebilmektedir.

Formlar aracılığı ile gerekli bilgiler alındıktan sonra "Sayfal" çalışma sayfasında satırlarda kriterlerin, sütunlarda alternatiflerin yer aldığı bir alan oluşturulmaktadır. ELECTRE III sürecinde olduğu gibi "Yeni Analiz" durumunda Kriter1, Kriter2, Alternatif1, Alternatif2 gibi varsayılan isimler getirilmekte; "Şablonlar" seçeneği kullanılarak kriterler veri tabanından seçildiğinde ise, seçilen bu kriter isimleri sayfaya getirilmektedir. Kullanıcı varsayılan biçimde gelen kriter ve alternatif isimlerini çalışma sayfasında da düzenleyebilmektedir.

PROMETHEE sürecinde alternatiflerin kriter değerlerinin yanısıra kullanıcıdan bazı bilgileri sisteme girmesi beklenmektedir. Bu bilgiler için uygun alanlar çalışma sayfası içerisinde oluşturulur. Alternatiflerin bittiği sutunda önce, kriterin minimum değerde veya maksimum değerde olması tercihi yer alır. Sistem, varsayılan olarak bütün kriterler

için “Max” değerini getirmektedir. Eğer bir kriterin minimum değerinde olması uygunsa (örneğin; bir maliyet kriteri ise) bu kriterin “Min/Max” değeri “Min” olarak değiştirilmelidir. “Min/Max” sütununun yanında “Kriter Ağırlığı” sütunu yer alır. Burada kullanıcıdan her kriterin önem ağırlığını girmesi beklenir. Kriter ağırlığını yanındaki sütun ise kriterin fonksiyon tipine ayrılmıştır. Burada, her bir kriter için Tablo 3.2’de listelenen 6 adet fonksiyon tipinden birinin numarasının girilmesi beklenir. PROMETHEE süreci temel olarak iki aşamada gerçekleşmektedir. Alternatiflerin kriter değerleri ve istenen diğer bilgiler girilip “Çalıştır” butonuna basıldığında, öncelikle girilen kriter fonksiyonu tipleri için istenen parametreler kriterlerin hizasına yazdırılır. Kullanıcı bu parametreleri de girdikten sonra “Çalıştır” butonuna bir daha bastığında analiz gerçekleştirilir. Özet olarak, PROMETHEE tekniğinde uygulama yapılabilmesi için sisteme girilmesi gereken bilgiler şöyle sıralanabilir:

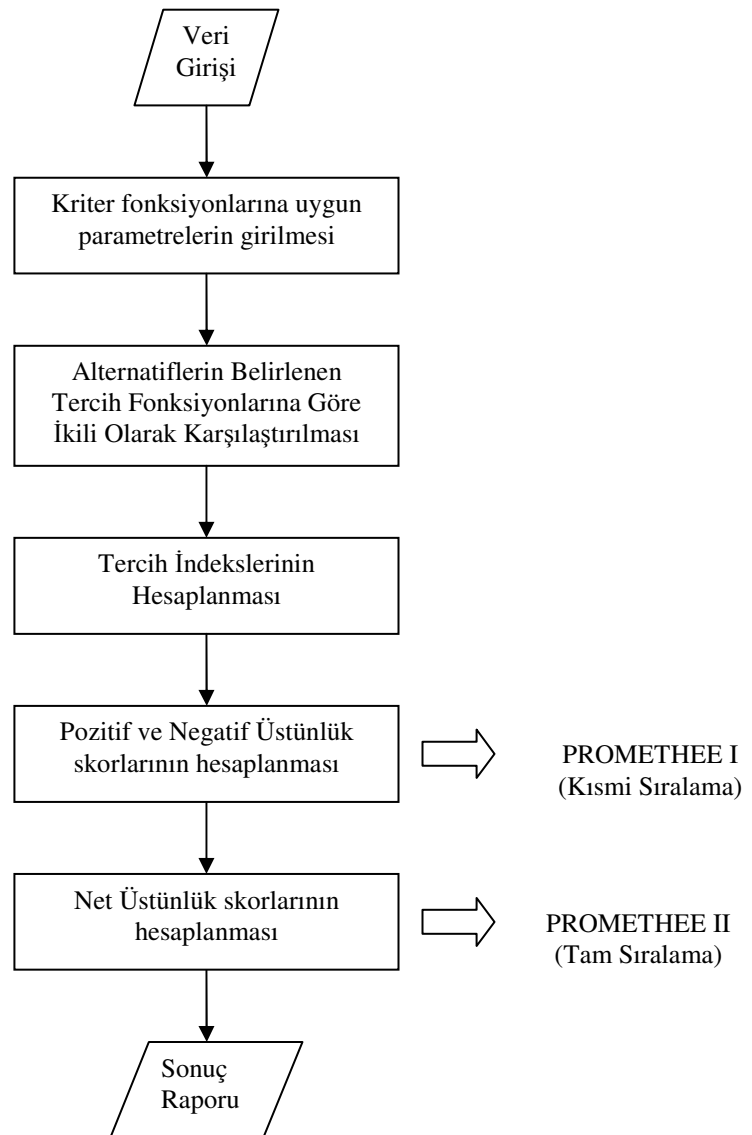
- Kriter Sayısı
- Alternatif Sayısı
- Alternatiflerin Kriter Değerleri
- Kriterlerin Minimum ya da Maksimum Tercihi
- Kriter Ağırlıkları
- Kriter Fonksiyon Tipleri
- Kriter Fonksiyon Tiplerinin Parametreleri

Yukarıda sıralanan bilgiler sağlandıktan sonra analiz süreci başlar. Analiz süreci, Bölüm 3.3.1’de anlatıldığı üzere, Alternatiflerin Belirlenen Tercih Fonksiyonlarına Göre İkili Olarak Karşılaştırılması, Tercih İndekslerinin Hesaplanması, Pozitif ve Negatif Üstünlüklerin Hesaplanması ile PROMETHEE I sıralamasının ve Net Üstünlük skorunun hesaplanması ile PROMETHEE II skorlarının elde edilmesi aşamalarından oluşur.

Alternatifler öncelikle, her bir kriter açısından belirlenen kriter fonksiyonu ve bu fonksiyonların parametreleri ışığında ikili olarak karşılaştırılır. Burada, VBA dili kodları yardımı ile tanımlanan fonksiyonlardan yararlanılır. Daha sonra, ikili karşılaştırma skorları ağırlıklandırılıp toplanarak, her alternatif ikilisi için tercih indeksi

elde edilir. Tercih indeksleri yardımı ile negatif ve pozitif üstünlükler hesaplandıktan sonra PROMETHEE I ve PROMETHEE II skorları elde edilir. Bu sürecin matematiksel temeli Bölüm 3.3.1’de detaylı olarak ele alınmaktadır. Analizin bu sıralanan süreçleri “Sayfal” isimli çalışma sayfasında gerçekleştirilir. Daha sonra alternatiflerin skorları, sıralanmış bir şekilde “PrometheeSonuç” isimli bir sayfa vasıtası ile kullanıcıya raporlanır. PROMETHEE süreci veri girişinden itibaren Şekil 4.7’de özetlenmektedir.

Şekil 4.7 – PROMETHEE Süreci



v. *PROMETHEE – GDSS*

PROMETHEE – GDSS, Karar Destek Sistemi’nde grup halinde karar verme sürecine yönelik olarak yer alan bir tekniktir. Model tabanında, PROMETHEE – GDSS süreci, PROMETHEE süreci ile benzerlik göstermektedir. Daha önce de belirtildiği üzere PROMETHEE – GDSS için veri tabanından bir seçim söz konusu değildir. Bunun nedeni, bu teknikte kriterlerin yerini karar vericilerin almış olmasıdır. Bölüm 3.3.2’de anlatıldığı üzere PROMETHEE – GDSS, başka bir deyişle PROMETHEE – Grup Karar Destek Sistemi, birden fazla karar vericinin, aynı alternatifler için kendi kriterleri ile yaptıkları PROMETHEE analizi sonuçlarını biraraya toplayarak, her karar vericiyi bir kriter gibi düşünüp yeni bir PROMETHEE analizi uygulamaya dayanan bir sistemdir.

Model tabanında, PROMETHEE – GDSS süreci kullanıcıya karar verici sayısının ve alternatif sayısının PROMETHEE – GDSS formu ile sorulması ile başlar. Kullanıcı karar verici ve alternatif sayılarını girdikten sonra “Sayfa1”de alternatifler için her bir karar vericinin PROMETHEE analizi sonuçlarının girilmesinin beklendiği bir alan oluşturulur. Bu bilgiye ek olarak, kullanıcıdan, her karar verici için bir ağırlık değeri girmesi beklenir. Gerekli bilgiler girildikten sonra analiz standart PROMETHEE analizi olarak gerçekleşir. Buradaki farklı nokta, bütün kriterler (karar vericiler) için fonksiyon tipinin üçüncü tip doğrusal ilişki fonksiyonu, bu fonksiyon için belirlenmesi gereken m parametresi ise 2 olarak alınmasıdır. Özet olarak, PROMETHEE – GDSS sürecinde özel bir PROMETHEE uygulaması gerçekleştirilmektedir.

vi. *UTADIS*

Karar Destek Sistemi’nin model tabanında yer alan son teknik ise, alternatiflerin gruplanmasına yönelik bir teknik olan UTADIS tekniğidir. UTADIS tekniğinin süreci de diğer tekniklere benzer biçimde problem parametrelerinin kullanıcıya sorulduğu bir formun gösterilmesi ile başlar. Bu formda girilmesi gereken parametreler, analizde kullanılacak Kriter Sayısı, Alternatif Sayısı ve Alt Aralık Sayısı olarak sıralanmaktadır.

Bölüm 3.4’te ele alındığı üzere, UTADIS tekniğinde, her değerlendirme kriteri g_i için $G_i = [g_{i*}, g_i^*]$ aralığı tanımlanır. g_{i*} ve g_i^* sırasıyla g_i kriteri için alternatiflerin g_i kriterindeki performanslarının maksimum ve minimum değerlerini ifade etmektedir. G_i aralığı $a_i - 1$ eşit aralığa ($[g_i^j, g_i^{j+1}]$, $j = 1, 2, \dots, a_i - 1$) bölünür. G_i ’nin kaç alt aralığa bölüneceği yani $a_i - 1$ değeri karar verici tarafından belirlenir. Bu değer, her marjinal fayda u_i için öngörülen noktaların sayısını ifade etmektedir. Bu noktada, belirtilen bu alt aralık sayısı Karar Destek Sistemi’nde UTADIS formunda yer alan “Alt Aralık Sayısı” bölümü ile alınır. Burada, alınan değer a_i değeridir.

Diğer Karar Analizi tekniklerinde olduğu gibi, UTADIS tekniğinde de, kullanıcı analizde kullanacağı kriterleri veri tabanından seçebilmektedir. Teknik olarak UTADIS, eylem olarak “Şablonlar” seçildiğinde önce UTADIS model tabanı formu ekrana gelmekte, gerekli bilgiler (kriter sayısı, alternatif sayısı ve alt aralık sayısı) girildikten sonra “Kriterler” veri tabanı formu görünmektedir. Kullanıcı kriterlerini, bu formda yer alan kriterler arasından seçebilmektedir.

Kullanıcı kriter sayısı, alternatif sayısı ve alt aralık sayısını belirledikten sonra, diğer tekniklerde olduğu gibi “Sayfa1” çalışma sayfasında alternatiflerin kriter değerlerinin girilmesi için uygun alan oluşturulur. Burada, kullanıcıdan alternatiflerin kriter değerlerine ek olarak, alternatiflerin belirlenen ilk sınıflarını ve kriterlerin maksimum veya minimum tercihlerini girmesi beklenir. Sistem varsayılan olarak bütün kriterler için “Max” değerini getirmektedir. Minimum değeri tercih edilen kriterler için alternatif değerleri (-) ile çarpılarak analize dahil edilir. İlk sınıflar girildikten ve maksimum-minimum tercihleri yapıldıktan sonra “Çalıştır” butonuna basılması ile analiz süreci başlar.

Analizin ilk aşaması, sayısı belirlenen alt aralıklar için kesim noktalarının belirlenmesidir. Her bir kriter için, alternatif değerleri alt aralık sayısı kadar aralığa ayrılarak bu aralıkların kesim noktalarına denk gelen değerler, Excel’in “Percentile” fonksiyonu yardımı ile hesaplanmaktadır. Daha sonra bu kesim noktalarından yararlanılarak her değer için, üst ve alt limitler, her alternatif değerinin düştüğü alt

grubu bulmak amacıyla hesaplanır. Üst ve alt limit değerleri hesaplandıktan sonra her değer yer aldığı grubu gösteren bir matris oluşturulur.

Analizin bir sonraki aşaması Bölüm 3.4 Denklem (27)'de belirtilen;

$$u_i[g_i(a)] = \sum_{k=1}^{j-1} w_{ik} + \frac{g_i(a) - g_i^j}{g_i^{j+1} - g_i^j} w_{ij}$$

fonksiyonu kullanılarak alternatifin marjinal faydasının hesaplanmasıdır. Burada marjinal fayda fonksiyonu üç ayrı parça olarak ele alınır. Önce $\frac{g_i(a) - g_i^j}{g_i^{j+1} - g_i^j}$ değerleri hesaplanır. Daha sonra w_{ij} değerleri için hücreler belirlenir. Son olarak da kümülatif w değerlerini ifade eden $\sum_{k=1}^{j-1} w_{ik}$ değerleri hesaplanır. Fonksiyonun bu üç ayrı parçası hesaplandıktan sonra, değerler bir araya getirilerek marjinal fayda değerleri elde edilmiş olur.

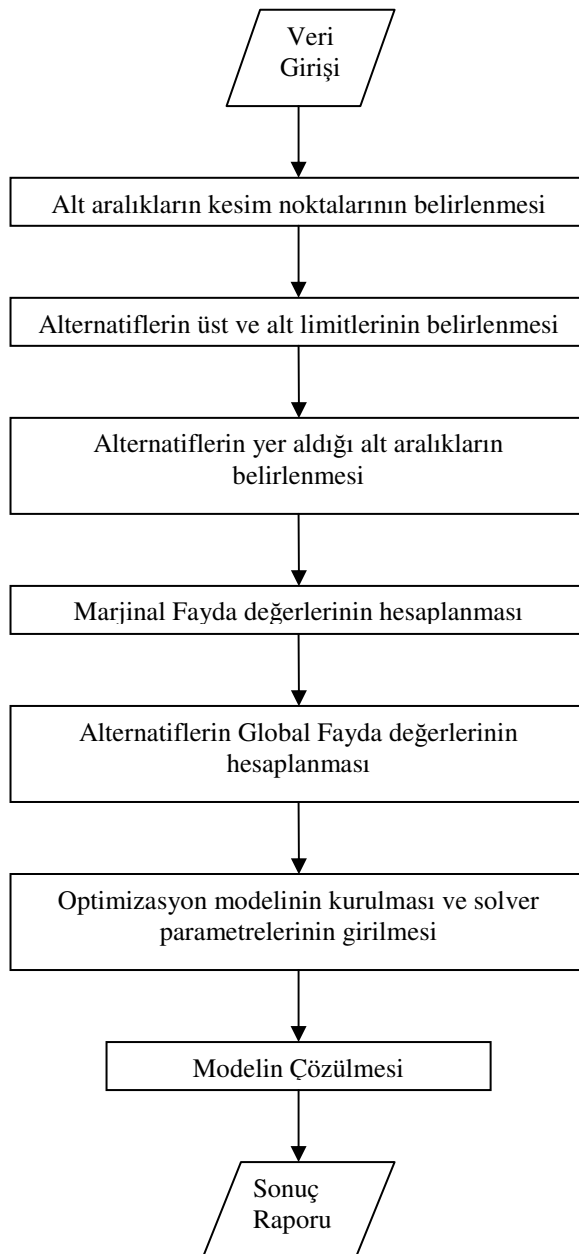
Marjinal fayda değerleri hesaplandıktan sonraki aşama alternatiflerin global fayda değerlerinin hesaplanmasıdır. Global fayda değerleri de Bölüm 3.4 Denklem (28)'de gösterilen $U(a) = \sum_{i=1}^m u_i[g_i(a)]$ fonksiyonu yardımı ile hesaplanır.

Global fayda değerleri hesaplandıktan sonra, optimizasyon modelinin kurulması aşaması başlar. Model, Bölüm 3.4'te yer alan (41), (42), (43), (44), (45), (46) ve (47) ile belirtilen matematiksel modele uygun olarak hazırlanır. $\sigma^+(a)$ ve $\sigma^-(a)$ değerleri için gerekli hücreler belirlenir. Amaç fonksiyonu bu hata değerlerinin toplamı olarak bir hücrede belirtilir. u_k fayda eşikleri için de hücreler belirlenir. Ayrıca modelde yer alan δ , $-\delta$ ve s parametreleri için de hücreler atanarak, değerleri yazdırılır. Modelin karar değişkenleri fayda eşikleri, hata değerleri ve w_{ij} artık değişkenleri olarak belirlenir. Hücreler düzenlendikten ve model kurulduktan sonra Microsoft Excel'in Solver eklentisi VBA kodları vasıtası ile çağrılarak modelin gerekli parametreleri girilir. Amaç

fonksiyonu, karar değişkenleri ve uygun kısıtlar Solver parametreleri olarak girildikten sonra model çözümler ve sonuçlar elde edilir.

UTADIS tekniğinin yukarıda anlatılan bütün modelleme ve çözüm işlemleri “Sayfa1” çalışma sayfasında gerçekleştirilir. Elde edilen global fayda skorları ve fayda eşikleri ise “UTADIS_Sonuç” isimli bir sayfa yaratılarak kullanıcıya raporlanır. Karar Destek Sistemi’nin veri girişı tamamlandıktan itibaren gerçekleşen UTADIS süreci Şekil 4.8’de özetlenmektedir.

Şekil 4.8 – UTADIS Süreci



4.3.3. Veri Tabanı

Karar Destek Sistemi'nin veri tabanı literatür araştırması sonucu belirlenen problem parametrelerinden oluşmaktadır. Model tabanının anlatıldığı Bölüm 4.3.3'te sıklıkla değinildiği üzere, Karar Destek Sistemi kullanıcıya literatürde kullanılmış model parametrelerini seçerek analize dahil etme imkanı sunmaktadır. Bu amaca yönelik olarak, çeşitli tipte veri tabanı formları tasarlanmıştır. Tasarlanan bu formlar vasıtası ile, veri tabanında yer alan öğeler arasından seçim yapılarak analizde kullanılabilir. Veri tabanı, genel olarak Performans Değerlendirmesi ve Karar Analizi olmak üzere iki ayrı boyutta ele alınabilir.

i. Performans Değerlendirmesi Veri Tabanı

Performans Değerlendirmesi veri tabanında, Veri Zarflama Analizi'nde kullanılmak üzere belirlenmiş problem tipleri ve parametreleri yer almaktadır. Enerji ve Çevre konusunda yapılan çalışmalar ışığında temel olarak iki problem tipi belirlenmiştir. Bunlar “Elektrik Sanayi Uygulaması” ve “Enerji Verimliliği Ölçümü”dür.

“Elektrik Sanayi Uygulaması”, elektrik üretim ya da dağıtım birimlerinin performans ölçümüne yönelik bir problem tipidir. Karar birimlerini, elektrik üreten ya da dağıtan santraller, üniteler ya da tesisler oluşturmaktadır. Performans Değerlendirmesi veri tabanında yer verilen bir diğer problem tipi de “Enerji Verimliliği Ölçümü”dür. Bu problem tipi, mikro veya düzeyde birimlerin göreceli olarak enerji verimliliklerinin ölçülmesine yöneliktir. Belirlenen bu iki problem tipine yönelik olarak hazırlanan veri tabanında yer alan girdi ve çıktılar Tablo 4.2'de sıralanmaktadır.

Veri tabanında yer alan öğelerin kullanıcıya sunulması hazırlanan veri tabanı formları vasıtası ile olmaktadır. Performans Değerlendirmesi veri tabanının kullanıcıya sunulmasına yönelik olarak “Elektrik Sanayi Uygulaması” ve “Enerji Verimliliği Ölçümü” formları hazırlanmıştır. Kullanıcı ana form da teknik olarak Veri Zarflama analizi veya Ölçüt Odaklı Veri Zarflama Analizi'ni eylem olarak da “Şablonlar” eylemini seçerek bu formlara ulaşabilmektedir. Bahsedilen bu formlar yardımıyla veri

tabanında yer alan çeşitli girdi ve çıktıları analize dahil edebilmektedir. Karar Destek Sistemi'nin veri tabanı boyutu, kullanıcıya, literatürde yapılan uygulamalarda sıklıkla kullanılan girdi ve çıktıları görme ve aralarından seçim yapabilme şansı tanımaktadır. Bu açıdan bakıldığında, kullanıcı için yol gösterici bir niteliktedir. Veri tabanında yer alan girdi ve çıktıların yanısıra formlarda var olan “Diğer” seçeneği kullanılarak analize, kullanıcının kendi tanımlayacağı girdi ve çıktılar da dahil edilebilmektedir.

Tablo 4.2 – Performans Değerlendirmesi Veri Tabanı

	Girdiler	Çıktılar
Elektrik Sanayi Uygulaması	• Hat Uzunluğu • Hizmet Alanı • İşgücü • İşletme Giderleri • Kurulu Güç • Maksimum Talep • Sermaye • Sistem Kayıpları • Trafo Kapasitesi • Yakıt Tüketimi	• Gaz Salınımı • Hat Uzunluğu • Hizmet Alanı • Maksimum Talep • Müşteri Sayısı • Satılan Güç • Trafo Sayısı • Üretilen Güç
Enerji Verimliliği Ölçümü	• Çalışan Sayısı • Doğalgaz Tüketimi • Elektrik Tüketimi • Enerji Tüketimi • İşgücü • Nüfus • Sermaye • Su Tüketimi	• Gayri Safi Milli Hasıla • Katma Değer • Müşteri Sayısı • Satışlar • Üretim Miktarı • Yıllık Gelir

Tablo 4.2'nin Elektrik Sanayi Uygulaması kısmında bulunan bazı parametreler hem girdi hem de çıktı olarak yer aldığı görülmektedir. Bunun nedeni, bu parametrelerin bazı analizlerde girdi bazı analizlerde çıktı olarak ele alınmış olmasıdır. Enerji Verimliliği

Ölçümü kısmında yer alan parametrelerden bir kısmı makro ölçekte, bir kısmı da mikro ölçekte değişkenlerdir. Bu yapısıyla “Enerji Verimliği Ölçümü” veri tabanı, makro düzeyde veya mikro ölçekte karar birimlerinin analizine olanak tanımaktadır.

ii. Karar Analizi Veri Tabanı

Karar Analizi veri tabanında ELECTRE III, PROMETHEE ve UTADIS tekniklerinde kullanılmak üzere hazırlanmış çeşitli tipte kriterler yer almaktadır. Literatürde Enerji ve Çevre konusunda yapılan çalışmalar incelenerek oluşturulan bu veri tabanında yer alan kriterler genel olarak üç başlık altında toplanmıştır:

- 1) Ekonomik Kriterler
- 2) Enerji Kriterleri
- 3) Çevre Kriterleri

Ekonomik kriterler, alternatiflerin getiri, maliyet, sermaye veya ekonomik kaynak kullanımı ile ilgili kriterlerdir. Enerji kriterleri ise, enerji kullanımı veya üretimine yönelik kriterleri içeren kriter grubudur. Bir diğer kriter grubu olan Çevre kriterleri ise, alternatiflerin çevreye olan etkilerini ölçen yapıda kriterlerdir. Karar Analizi veri tabanında yer alan kriterler Tablo 4.3’te listelenmektedir.

Tablo 4.3 – Karar Analizi Veri Tabanı

	Kriterler
Ekonomik Kriterler	• Arazi Kullanımı • Çalışan Sayısı • Gayri Safi Milli Hasıla • Gelirler • İşgücü Yaratma • Karlılık • Maliyet • Müşteri Memnuniyeti • Net Bugünkü Değer

Ekonomik Kriterler (Devam)	• Sermaye • Sürdürme Maliyeti • Ulusal Ekonomiye Katkı • Yatırım Getirisi • Yatırım Maliyeti • Yatırım Riski
Enerji Kriterleri	• Elektrik Tüketimi • Enerji Tasarrufu • Enerji Tüketimi • Enerji Üretimi • Gaz Tüketimi • Güvenlik • Kurulu Güç • Su Tüketimi • Yakıt Tüketimi
Çevre Kriterleri	• Atık Miktarı • Çevre Riski • Çevreye Etki • Ekosisteme Etki • Gaz Salınımı • Hava Kirliliği • Sağlık Etkileri • Yasalara Uygunluk

Karar Analizi veri tabanında yer alan bu kriterler, kullanıcının bir Karar Analizi tekniği (ELECTRE III, PROMETHEE veya UTADIS) ile “Şablonlar” eylemini seçerek önce teknik için gerekli parametreleri model tabanı formu aracılığı ile girmesinden sonra gelen “Kriterler” formunda yer almaktadır. “Kriterler” formundan yukarıda sıralanan kriterler seçilebileceği gibi, listede yer almayan kriterler formda yer alan “Diğer” seçeneği vasıtasıyla sisteme eklenebilmektedir.

4.3.4. Rapor Arayüzü

Karar Destek Sistemi'nin bileşenlerinden biri de Rapor Arayüzüdür. Rapor arayüzü, her teknik için hazırlanan rapor biçimlerinden oluşmaktadır. Analizler gerçekleştirildikten sonra gerekli sonuçlar kullanıcıya ayrı bir çalışma sayfası halinde raporlanmaktadır. Sonuç raporlarında, öncelikle, uygulanan tekniğin adı ve formlar vasıtası ile alınan çeşitli parametreleri (girdi sayısı, çıktı sayısı, kriter sayısı, alternatif sayısı vb.) sıralanmakta, daha sonra her teknik için uygun sonuçlar raporlanmaktadır. Her tekniğin sonuç raporlarında yer alan bilgiler Tablo 4.4'te özetlenmektedir.

Tablo 4.4 – Sonuç Raporları

Teknik	Sonuç Raporu Bilgileri
Veri Zarflama Analizi	- Karar Birimleri Etkinlik Skorları - Karar Birimleri Etkin Olma Hedefleri
Ölçüt Odaklı Veri Zarflama Analizi	- Her Girdi ve Çıktı Odaklı Sonuç Raporları - Karar Birimleri Etkinlik Skorları
ELECTRE III	- Alternatiflerin Azalan Sıralaması - Alternatiflerin Artan Sıralaması
PROMETHEE	- Alternatiflerin Pozitif Üstünlük Skorları - Alternatiflerin Negatif Üstünlük Skorları - Alternatiflerin Net Üstünlük Skorları
PROMETHEE – GDSS	- Alternatiflerin Pozitif Üstünlük Skorları - Alternatiflerin Negatif Üstünlük Skorları - Alternatiflerin Net Üstünlük Skorları
UTADIS	- Alternatiflerin Grupları - Alternatiflerin Global Fayda Skorları - Alternatiflerin Gruplama Hata Değerleri - Fayda Eşikleri - Kriterlerin Analizdeki Ağırlıkları

4.3.5. Örnek Olay Tabanı

Karar Destek Sistemi'nin son bileşeni, Türkiye enerji sektörüne ait verilerle yapılan uygulamaları içeren örnek olay tabanıdır. Karar Destek sistemi hazırlandıktan sonra çeşitli kaynaklardan toplanan Türkiye enerji sektörüne ait veriler sistemede analiz edilmiş ve çeşitli uygulamalar elde edilmiştir. Elde edilen bu örnekler, örnek olay tabanı olarak Karar Destek Sistemi'nde yer almaktadır.

Örnek olay tabanı, genel olarak, performans değerlendirmesi ve Karar Analizi uygulamaları olmak üzere iki ayrı gruptan oluşmaktadır. Performans değerlendirmesi uygulamaları, veri tabanında yer alan problem tiplerine paralel olarak gerçekleştirilmiştir. Burada, Türkiye'deki elektrik dağıtım birimlerinin etkinliğinin ölçümüne yönelik bir uygulama ile Türkiye imalat sanayisinin çeşitli sanayi gruplarının enerji verimliliğinin ölçüldüğü bir uygulama yer almaktadır. Karar Analizi uygulamaları ise, hidroelektrik santral projelerinin ELECTRE III ile sıralanması, rüzgar santrali projelerinin PROMETHEE ile sıralanması ve elektrik dağıtım şirketlerinin UTADIS ile gruplanması olmak üzere üç ayrı tipte uygulamadan oluşmaktadır. Yapılan bu uygulamalar detaylı bir şekilde beşinci bölümde ele alınmaktadır.

5. BÖLÜM

KARAR DESTEK SİSTEMİ UYGULAMALARI

Bu bölümde, çalışma kapsamında hazırlanan Karar Destek Sistemi'nde çeşitli Türkiye enerji sektörü verileri ile gerçekleştirilen uygulamalar ve sonuçları anlatılmaktadır. Yapılan bu uygulamalar, Karar Destek Sistemi'nin Örnek Olay Tabanını oluşturmaktadır. Performans değerlendirmesi ile ilgili olarak, Türkiye'deki elektrik dağıtım şirketlerinin göreceli etkinliklerinin Veri Zarflama Analizi ile ölçüldüğü "Elektrik Sanayi Uygulaması" ile, Türkiye imalat sanayisinin çeşitli sanayi gruplarının enerji verimliliğinin ölçüldüğü "Enerji Verimliliği Ölçümü Uygulaması" gerçekleştirilmiştir. Karar Analizi tekniklerine yönelik olarak ise, çeşitli hidroelektrik santral projelerinin ELECTRE III tekniği ile sıralandığı bir "Hidroelektrik Enerji Uygulaması", çeşitli rüzgar santrali projelerinin PROMETHEE tekniği ile sıralandığı bir "Rüzgar Enerjisi Uygulaması" ile Türkiye'deki elektrik dağıtım şirketlerinin çeşitli kriterler açısından UTADIS tekniği ile gruplandığı bir "Elektrik Sanayi Uygulaması" olmak üzere üç adet uygulama gerçekleştirilmiştir.

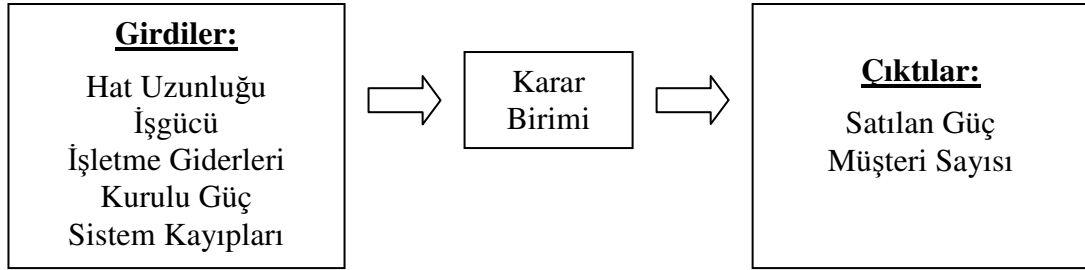
5.1. Performans Değerlendirmesi Uygulamaları

Bu kısımda, hazırlanan Karar Destek Sistemi'nde yer alan Veri Zarflama Analizi ve Ölçüt Odaklı Veri Zarflama Analizi tekniklerinden yararlanılarak iki uygulama gerçekleştirilmektedir. Bu uygulamalar, veri tabanında yer alan problem tipleri ışığında hazırlanan "Elektrik Sanayi" ve "Enerji Verimliliği Ölçümü" uygulamalarıdır.

5.1.1. Elektrik Sanayi Uygulaması

Bu uygulamada, Türkiye'de yer alan elektrik dağıtım şirketlerinin çeşitli girdi ve çıktılar açısından göreceli etkinlik ölçümü Veri Zarflama Analizi ve Ölçüt Odaklı Veri Zarflama Analizi teknikleri vasıtası ile gerçekleştirilmiştir. Model 20 adet karar biriminden (dağıtım şirketinden) oluşmaktadır. Analizde, yer alan girdi ve çıktılar Şekil 5.1'de gösterilmektedir.

Şekil 5.1 – Elektrik Sanayi Uygulaması Girdi ve Çıktıları



Şekil 5.1’de görüldüğü üzere, analizde 5 adet girdi (hat uzunluğu, işgücü, işletme giderleri, kurulu güç ve sistem kayıpları) ve 2 adet çıktı (satılan güç ve müşteri sayısı) kullanılmaktadır. Bu girdi ve çıktılar, literatür araştırmasında incelenen çalışmalar ışığında belirlenmiştir ve tamamı Karar Destek sistemi’nin veri tabanında yer almaktadır. Analizler yapılırken, Karar Destek Sistemi’nin veri tabanına ait formlardan yararlanılmıştır. Dağıtım şirketlerinin, analizde yer alan girdi ve çıktılara ait bilgiler, Türkiye’de, üretilen elektriğin dağıtılmasından sorumlu kurum olan Türkiye Elektrik Dağıtım A.Ş (TEDAŞ)’nden 2006 yılına ait olarak elde edilmiştir.

Analizde yer alan girdilerden biri olan hat uzunluğu, her bir dağıtım şirketinin ünitelerinden çıkan elektrik dağıtım hatlarının kilometre olarak ölçüsünü ifade etmektedir. İşgücü değişkeni olarak, şirketlerde çalışan işçi ve sayılarının toplamı alınmıştır. İşletme giderleri, kurumdan elde edilen bilgiler içerisinde yer alan 2006 yılına ait harcama kalemi olarak alınmıştır ve birimi Yeni Türk Lirasıdır. Kurulu güçler, mva (milyon voltamper) cinsindendir. Sistem kayıpları, kurumdan elde edilen kayıp-kaçak oranı kaleminden alınmıştır. Müşteri sayısı, her bir dağıtım şirketinin abone sayısını ifade etmektedir. Satılan güç değişkeni ise, dağıtım şirketlerinin 2006 yılında gerçekleştirdikleri elektrik dağıtımının mwh (megawatt-saat) cinsinden değeridir.

Analiz için gerekli olan veriler elde edildikten sonra, çalışma kapsamında yer alan Karar Destek Sistemi’nde Veri Zarflama Analizi ve Ölçüt Odaklı Veri Zarflama Analizi gerçekleştirilerek sonuç raporları elde edilmiştir. Veri Zarflama Analizi, girdi odaklı olarak iki farklı ölçekte (sabit getirili ve değişken getirili) gerçekleştirilmiştir. Veri Zarflama Analizi’nin sadece girdi odaklı olarak gerçekleştirilmesi, modelde yer alan

çıktıların (satılan güç ve müşteri sayısı) talebe bağlı değişkenler olmasından kaynaklanmaktadır. Başka bir deyişle, şirketlerin çıktıları kontrol gücü sınırlıdır. Burada, Zhou (2007)'de üzerinde durulan, elektrik üretim veya dağıtım birimlerinin performans ölçümünde çıktıların talebe bağlı olmasından dolayı, girdi odaklı Veri Zarflama Analizi uygulanmasının daha doğru olacağı yaklaşımından hareket edilmektedir. Veri Zarflama Analizi uygulamasında olduğu gibi, Ölçüt Odaklı Veri Zarflama Analizi de hem ölçeğe göre sabit getirili, hem de ölçeğe göre değişken getirili olarak uygulanmaktadır. Karar Destek Sistemi vasıtası ile elde edilen bulgular ve bu bulgular kullanılarak elde edilen sonuçlar, ilerleyen kısımda detayları ile tartışılmaktadır.

i. Veri Zarflama Analizi Uygulaması

20 adet karar birimi ile yukarıda sıralanan 5 girdi ve 2 çıktı kullanılarak gerçekleştirilen Veri Zarflama Analizi'nde elde edilen sonuç raporları, Tablo 5.1 ve Tablo 5.2'de gösterilmektedir. Tablo 5.1, sabit ölçekli olarak gerçekleştirilen analizin sonuçlarını özetlerken; Tablo 5.2'de değişken ölçekte gerçekleştirilen Veri Zarflama Analizi'nin sonuçları özetlenmektedir. Tablo 5.1 ve Tablo 5.2'de yer alan ve Karar Destek Sistemi'nde elde edilen sonuç raporları yapılan analizde kullanılan karar birimi, girdi, çıktı, analiz tipi, ölçek tipi gibi uygulama bilgilerini listeledikten sonra karar birimleri için analiz sonucu elde edilen etkinlik skorlarını ve birimlerin etkin sınıra gelmeleri için gerekli olan girdi ve çıktı hedeflerini sunmaktadır.

Tablo 5.1'e bakıldığında, 9 adet karar biriminin etkinlik skorlarının 1'e eşit olduğu başka bir deyişle, 9 adet karar biriminin etkin sınırdaki yer aldığı görülmektedir. Analiz, ölçeğe göre değişken getirili olarak gerçekleştirildiğinde ise etkin sınırdaki yer alan karar birimi sayısının 16'ya yükseldiği gözlemlenmektedir. Bu durum, ölçeğe göre değişken getirili modelde yer alan etkinlik sınırının parçalı bir yapıya sahip olmasının doğal bir sonucudur. Etkinlik sınırı parçalı bir yapıda olduğundan, daha fazla sayıda karar birimini içerisine almaktadır.

Sonuç raporlarında, etkinlik skorlarının yanısıra etkin olmayan birimlerin etkin sınıra yaklaşımları için gerçekleştirmeleri gereken hedef değerler yer almaktadır. Bu hedef değerler, etkin sınırdaki yer alan karar birimleri için orijinal değerlere eşittir. Etkin sınırdaki yer almayan karar birimleri için her bir girdi ve çıktı açısından erişimleri gereken değerler belirtilmektedir. Model girdi odaklı olarak oluşturulduğundan, karar birimlerinin girdi hedefleri dikkate alınmalıdır. Örneğin, ölçeğe göre sabit getirili modelde, etkin sınırdaki yer almayan Dicle EDAŞ dağıtım şirketinin etkin sınıra gelebilmesi için hat uzunluğunu 10.368,11 km'ye, personel sayısını 822 kişiye, işletme giderlerini 20.086.148 YTL'ye, kurulu gücünü 3.177,68 mva'ya ve kayıp kaçak oranını da 9,36'ya düşürmesi gerekmektedir.

Karar birimleri için, yukarıda bahsedilen etkin sınıra gelme hedefleri model girdi odaklı olduğundan, bütün girdileri kapsamaktadır. Etkin sınırdaki yer almayan bir karar birimi ancak bütün girdiler hedef değerlere getirildiğinde, etkin sınıra gelebilmektedir. İşletmeler açısından, bütün girdi değerlerine müdahale edebilmek her zaman mümkün olmayan bir durum olabilmektedir. Bu noktada, Veri Zarflama Analizi'nin her bir girdi ve çıktıyı odak noktası olarak gerçekleştirilen bir türü olan Ölçüt Odaklı Veri Zarflama Analizi'nin gerçekleştirilmesi ve hedeflerin sadece bir girdiye veya çıktıya yönelik olarak belirlenmesi daha ulaşılabilir bir bakış açısı sunabilir. Uygulamanın ikinci kısmında aynı veriye Ölçüt Odaklı Veri Zarflama Analizi uygulanarak sonuçları tartışılmaktadır.

ii. Ölçüt Odaklı Veri Zarflama Analizi Uygulaması

Elektrik Sanayi Uygulamasının ikinci aşaması olarak Karar Destek Sistemi'nde, 20 adet karar birimine yukarıda listelenen 5 adet girdi ve 2 adet çıktı kullanılarak, Ölçüt Odaklı Veri Zarflama Analizi uygulanmıştır. Bu analizde, Karar Destek Sistemi, her bir girdi ve çıktıyı, birer birer odak noktası olarak alarak 5 girdi, 2 çıktı için 7 adet analiz gerçekleştirmektedir.

Tablo 5.1 – Girdi Odaklı Sabit Getirili Veri Zarflama Analizi Sonuç Raporu

SONUÇ RAPORU								
Teknik	Veri Zarflama Analizi							
Karar Birimi Sayısı	20							
Girdi Sayısı	5							
Çıktı Sayısı	2							
Analiz Tipi	Girdi-Odaklı							
Ölçeğe Göre Getiri	Sabit (CRS)							
Problem Tipi	Elektirik Sanayi Uygulaması							
<u>Etkinlik Skorları & Hedefler</u>								
	Etkinlik	Hat Uzunluğu	İşgücü	İşletme Giderleri	Kurulu Güç	Sistem Kayıpları	Satılan Güç	Müşteri Sayısı
DİCLE EDAŞ	0,674	10.368,11	822	20.086.148,03	3.177,68	9,36	4.763.080,59	944.772
VANGÖLÜ EDAŞ	0,709	8.119,16	421	9.588.163,35	796,63	3,72	991.385,80	375.767
ARAS EDAŞ	0,871	17.359,18	781	20.058.525,63	1.377,40	7,56	1.666.198,42	691.346
ÇORUH EDAŞ	1	30.243,57	1.089	33.945.947,00	1.661,32	12,27	1.875.267,69	950.510
FIRAT EDAŞ	0,881	10.292,82	701	12.913.409,57	1.470,55	5,38	1.913.075,26	630.235
ÇAMLIBEL EDAŞ	0,934	15.439,65	791	18.198.864,29	1.489,59	7,05	1.850.034,70	705.867
TOROSLAR EDAŞ	1	24.011,72	2.092	40.840.882,24	8.327,42	10,83	11.577.352,93	2.516.365
MERAM EDAŞ	0,719	14.647,47	945	24.698.553,15	4.086,74	5,63	5.418.546,52	1.449.915
BAŞKENT EDAŞ	1	54.544,56	3.004	80.222.672,00	8.162,79	9,56	8.836.777,19	2.847.668
AKDENİZ EDAŞ	0,817	16.713,45	930	27.505.993,34	3.472,28	5,41	4.563.278,86	1.338.249
GEDİZ EDAŞ	1	25.620,66	1.425	43.595.629,00	8.343,61	6,48	11.608.840,54	2.241.653
ULUDAĞ EDAŞ	1	27.945,90	1.526	45.798.298,00	5.489,85	8,81	7.201.259,59	2.156.032
TRAKYA EDAŞ	0,837	6.084,75	477	11.293.385,71	2.572,11	3,82	3.575.210,68	763.990
AYEDAŞ	1	11.678,90	2.068	19.191.407,00	5.131,08	10,24	6.971.967,95	1.911.150
SAKARYA EDAŞ	0,874	7.768,00	896	13.968.735,43	4.097,34	5,22	5.513.462,34	1.318.521
OSMANGAZİ EDAŞ	0,829	13.812,17	851	22.885.929,38	3.235,38	4,92	4.272.246,29	1.211.819
BOĞAZİÇİ EDAŞ	1	20.931,45	1.864	39.024.509,00	11.827,87	12,25	15.864.197,98	3.607.318
MENDERES EDAŞ	0,855	11.446,43	807	19.954.706,78	4.203,18	5,04	5.601.914,04	1.387.814
GÖKSU EDAŞ	1	8.816,94	654	17.402.663,00	1.591,00	9,33	2.768.141,95	453.407
YEŞİLIRMAK EDAŞ	1	48.602,52	1.458	42.311.528,00	2.854,48	9,47	3.404.899,71	1.419.577

Tablo 5.2 – Girdi Odaklı Değişken Getirili Veri Zarflama Analizi Sonuç Raporu

SONUÇ RAPORU								
Teknik	Veri Zarflama Analizi							
Karar Birimi Sayısı	20							
Girdi Sayısı	5							
Çıktı Sayısı	2							
Analiz Tipi	Girdi-Odaklı							
Ölçeğe Göre Getiri	Değişken (VRS)							
Problem Tipi	Elektrik Sanayi Uygulaması							
<u>Etkinlik Skorları & Hedefler</u>								
	Etkinlik	Hat Uzunluğu	İşgücü	İşletme Giderleri	Kurulu Güç	Sistem Kayıpları	Satılan Güç	Müşteri Sayısı
DİCLE EDAŞ	0,679	10.450,28	1.050,15	19.632.252,79	3.202,86	9,77	4.763.080,59	1.025.829
VANGÖLÜ EDAŞ	1	11.450,90	931,00	18.421.373,00	1.123,53	63,83	755.965,64	375.767
ARAS EDAŞ	0,948	18.904,36	970,78	23.424.136,12	1.500,01	22,66	1.553.104,56	691.346
ÇORUH EDAŞ	1	30.243,57	1.089,00	33.945.947,00	1.661,32	12,27	1.875.267,69	950.510
FIRAT EDAŞ	1	19.934,51	1.189,00	14.658.612,00	1.669,29	11,68	1.913.075,26	630.235
ÇAMLİBEL EDAŞ	1	16.526,40	928,00	20.310.202,00	1.594,44	8,55	1.763.146,08	705.867
TOROSLAR EDAŞ	1	51.037,00	2.412,00	49.077.685,00	8.341,59	10,85	11.577.352,93	2.516.365
MERAM EDAŞ	0,901	29.913,86	1.059,33	30.950.327,32	5.121,19	7,05	5.630.636,62	1.468.225
BAŞKENT EDAŞ	1	54.544,56	3.004,00	80.222.672,00	8.162,79	9,56	8.836.777,19	2.847.668
AKDENİZ EDAŞ	0,930	27.430,99	1.058,56	29.223.001,60	3.950,98	8,25	4.499.105,20	1.338.249
GEDİZ EDAŞ	1	25.620,66	1.425,00	43.595.629,00	8.343,61	6,48	11.608.840,54	2.241.653
ULUDAĞ EDAŞ	1	27.945,90	1.526,00	45.798.298,00	5.489,85	8,81	7.201.259,59	2.156.032
TRAKYA EDAŞ	1	7.267,58	570,00	19.466.837,00	3.072,11	9,34	3.575.210,68	734.268
AYEDAŞ	1	11.678,90	2.068,00	19.191.407,00	5.131,08	10,24	6.971.967,95	1.911.150
SAKARYA EDAŞ	1	26.901,30	1.026,00	15.990.052,00	6.138,09	10,12	4.995.211,75	1.318.521
OSMANGAZİ EDAŞ	1	16.655,12	1.026,00	31.067.096,00	3.901,32	7,24	4.010.445,88	1.211.819
BOĞAZİÇİ EDAŞ	1	20.931,45	1.864,00	39.024.509,00	11.827,87	12,25	15.864.197,98	3.607.318
MENDERES EDAŞ	1	43.106,82	945,00	25.894.718,00	4.917,76	7,11	4.695.083,92	1.387.814
GÖKSU EDAŞ	1	8.816,94	654,00	17.402.663,00	1.591,00	9,33	2.768.141,95	453.407
YEŞİLIRMAK EDAŞ	1	48.602,52	1.458,00	42.311.528,00	2.854,48	9,47	3.404.899,71	1.419.577

Her bir girdi ve çıktının odak alındığı analizlerde elde edilen etkinlik skorları ölçeğe göre sabit getirili model için Tablo 5.3'te, ölçeğe göre değişken getirili model için Tablo 5.4'te Karar Destek Sistemi'nden alınan sonuç raporları şeklinde gösterilmektedir.

Tablo 5.3'e bakıldığında, girdi odaklı ve sabit getirili olarak gerçekleştirilen Veri Zarflama Analizi'ne göre etkin sınırdaki yer alan 8 adet şirketin (Çoruh, Başkent, Gediz, Uludağ, Ayedaş, Boğaziçi, Göksu ve Yeşilirmak) ölçüt odaklı olarak yapılan analizlerde de her bir girdi veya çıktı açısından etkin sınırdaki oldukları görülmektedir. Girdi odaklı ve ölçeğe göre sabit getirili modele göre etkin sınırdaki yer alan Toroslar dağıtım şirketinin ölçüt odaklı modele göre etkin sınırdaki yer almadığı gözlemlenmektedir. Tablo 5.3 incelendiğinde Toroslar EDAŞ'ın hat uzunluğu haricindeki girdi ve çıktıların odak alındığı modellerde yüksek etkinlik skorları göstermesine rağmen, hat uzunluğu odaklı modelde etkinlik skorunun 0,455 ile diğerlerine göre düşük bir değer aldığı görülmektedir. Bu noktadan hareketle, Toroslar EDAŞ için etkinsizliğin en büyük kaynağının benzer miktarda çıktıyı, yüksek miktarda hat uzunluğu ile üretmesi olduğu söylenebilir.

Uygulamanın ilk kısmında gerçekleştirilen girdi odaklı Veri Zarflama Analizi ile elde edilen etkinlik skorları ile Ölçüt Odaklı Veri Zarflama Analizi ile elde edilen etkinlik skorları kıyaslanarak, etkin sınırdaki olmayan bir karar biriminin etkinsizliğinde büyük rol oynayan değişken belirlenebilmektedir. Örneğin, girdi odaklı ölçeğe göre sabit getirili modelde etkinlik skoru 0,674 olan Dicle dağıtım şirketinin (bkz. Tablo 5.1), ölçüt odaklı ölçeğe göre sabit getirili ve odak noktası sistem kayıpları alınarak gerçekleştirilen analizde etkinlik skoru 0,047 olarak (bkz. Tablo 5.3) elde edilmiştir. Benzer şekilde, girdi odaklı ölçeğe göre sabit getirili modele göre etkinlik skoru 0,709 olan Vangölü EDAŞ için (bkz. Tablo 5.1), ölçüt odaklı ölçeğe göre sabit getirili modelde sistem kayıpları odak alındığında elde edilen etkinlik skoru 0,019 olarak (bkz. Tablo 5.3) elde edilmektedir. Veriye bakıldığında, Dicle ve Vangölü dağıtım şirketleri için sistem kaybı değerlerinin diğer karar birimlerine göre çok yüksek olduğu gözlemlenmektedir. Bu durumda, iki ayrı modeldeki etkinlik skorları arasındaki büyük farklara bakarak, bu iki karar birimi için etkinsizliğin en büyük kaynağının yüksek sistem kayıpları olduğu sonucuna ulaşılabilir.

Tablo 5.3 – Ölçüt Odaklı Sabit Getirili Model Sonuç Raporu

SONUÇ RAPORU							
Teknik	Ölçüt-Odaklı Veri Zarflama Analizi						
Karar Birimi Sayısı	20						
Girdi Sayısı	5						
Çıktı Sayısı	2						
Ölçeğe Göre Getiri	Sabit (CRS)						
Problem Tipi	Elektrik Sanayi Uygulaması						
<u>Etkinlik Skorları</u>							
	Hat Uzunluğu	İşgücü	İşletme Giderleri	Kurulu Güç	Sistem Kayıpları	Satılan Güç	Müşteri Sayısı
DİCLE EDAŞ	0,409	0,313	0,386	0,626	0,047	1,484	1,903
VANGÖLÜ EDAŞ	0,195	0,239	0,205	0,601	0,019	2,429	1,410
ARAS EDAŞ	0,589	0,395	0,444	0,811	0,125	1,591	1,149
ÇORUH EDAŞ	1	1	1	1	1	1	1
FIRAT EDAŞ	0,225	0,361	0,474	0,872	0,208	1,258	1,146
ÇAMLIBEL EDAŞ	0,760	0,658	0,755	0,909	0,483	1,210	1,070
TOROSLAR EDAŞ	0,455	0,720	0,813	0,998	0,959	1,003	1,011
MERAM EDAŞ	0,243	0,379	0,424	0,640	0,536	1,686	1,391
BAŞKENT EDAŞ	1	1	1	1	1	1	1
AKDENİZ EDAŞ	0,235	0,640	0,244	0,788	0,488	1,354	1,223
GEDİZ EDAŞ	1	1	1	1	1	1	1
ULUDAĞ EDAŞ	1	1	1	1	1	1	1
TRAKYA EDAŞ	0,649	0,737	0,452	0,798	0,238	1,194	1,348
AYEDAŞ	1	1	1	1	1	1	1
SAKARYA EDAŞ	0,284	0,664	0,862	0,627	0,432	1,301	1,145
OSMANGAZİ EDAŞ	0,424	0,629	0,404	0,779	0,540	1,383	1,206
BOĞAZİÇİ EDAŞ	1	1	1	1	1	1	1
MENDERES EDAŞ	0,187	0,759	0,568	0,763	0,594	1,479	1,170
GÖKSU EDAŞ	1	1	1	1	1	1	1
YEŞİLIRMAK EDAŞ	1	1	1	1	1	1	1

Tablo 5.4 – Ölçüt Odaklı Değişken Getirili Model Sonuç Raporu

SONUÇ RAPORU							
Teknik	Ölçüt-Odaklı Veri Zarflama Analizi						
Karar Birimi Sayısı	20						
Girdi Sayısı	5						
Çıktı Sayısı	2						
Ölçeğe Göre Getiri	Değişken (VRS)						
Problem Tipi	Elektrik Sanayi Uygulaması						
<u>Etkinlik Skorları</u>							
	Hat Uzunluğu	İşgücü	İşletme Giderleri	Kurulu Güç	Sistem Kayıpları	Satılan Güç	Müşteri Sayısı
DİCLE EDAŞ	0,558	0,389	0,567	0,666	0,133	1,434	1,889
VANGÖLÜ EDAŞ	1	1	1	1	1	1	1
ARAS EDAŞ	0,812	0,601	0,614	0,930	0,340	1,519	1,086
ÇORUH EDAŞ	1	1	1	1	1	1	1
FIRAT EDAŞ	1	1	1	1	1	1	1
ÇAMLIBEL EDAŞ	1	1	1	1	1	1	1
TOROSLAR EDAŞ	1	1	1	1	1	1	1
MERAM EDAŞ	0,472	0,484	0,709	0,738	0,887	1,683	1,253
BAŞKENT EDAŞ	1	1	1	1	1	1	1
AKDENİZ EDAŞ	0,403	0,843	0,402	0,820	0,826	1,353	1,130
GEDİZ EDAŞ	1	1	1	1	1	1	1
ULUDAĞ EDAŞ	1	1	1	1	1	1	1
TRAKYA EDAŞ	1	1	1	1	1	1	1
AYEDAŞ	1	1	1	1	1	1	1
SAKARYA EDAŞ	1	1	1	1	1	1	1
OSMANGAZİ EDAŞ	1	1	1	1	1	1	1
BOĞAZİÇİ EDAŞ	1	1	1	1	1	1	1
MENDERES EDAŞ	1	1	1	1	1	1	1
GÖKSU EDAŞ	1	1	1	1	1	1	1
YEŞİLIRMAK EDAŞ	1	1	1	1	1	1	1

Karar Destek Sistemi'nin model tabanında yer alan Ölçüt Odaklı Veri Zarflama Analizi modülü, Tablo 5.1 ve Tablo 5.2'de gösterilen tipte sonuç raporlarının yanısıra, her bir girdi ve her bir çıktı odaklı olarak gerçekleştirilen analizlerin sonuçlarını da ayrı çalışma sayfaları halinde sunmaktadır. Her bir sonuç sayfasında, hangi değişkenin odak alındığı ve analiz sonucunda elde edilen etkinlik skorları ile karar birimlerinin etkin sınıra gelebilmesi için ulaşması gereken hedef değerler yer almaktadır. Bu sonuçlar arasında, odak noktası alınan girdi veya çıktı için oluşan hedef değeri dikkate alınmalıdır. 5 girdi ve 2 adet çıktı için elde edilen 7 sonuç sonuç sayfasından her bir kriter için hedef değerleri alınmış ve bu değerlerin orijinal değerlerden yüzde değişimleri hesaplanmıştır. Elde edilen hedef değerleri, ölçeğe göre sabit getirili model için Tablo 5.5'te, ölçeğe göre değişken getirili model için Tablo 5.6'da özetlenmektedir.

Tablo 5.5 ve Tablo 5.6'ya bakıldığında etkin sınırdaki yer alan karar birimleri için hedef yüzdelерinin 0 olduğu görülmektedir. Etkin sınırdaki yer almayan karar birimleri için ise etkin sınıra gelebilmeleri için girdi veya çıktılarda gerçekleştirmeleri gereken yüzde değişimler gösterilmektedir. Örneğin, ölçeğe göre sabit getirili modele göre etkin sınırdaki yer almayan Menderes dağıtım şirketinin, bu modele göre etkin sınıra gelebilmesi için hat uzunluğunu %81,32 oranında azaltması veya işgücünü %31,78 oranında azaltması veya işletme giderlerini %43,23 oranında düşürmesi veya kurulu gücünü %23,67 oranında düşürmesi veya sistem kayıplarını %40,63 oranında azaltması veya satılan güçü %47,93 oranında artırması ya da müşteri sayısını %17 oranında arttırması gerekmektedir. Şirket, bu alternatiflerden herhangi birini gerçekleştirdiğinde etkin sınırdaki yer alacaktır. Satılan güç ve müşteri sayısı talebe bağlı değişkenler olduğundan şirketin müdahale edebilme olasılığı düşüktür. Ayrıca hat uzunluğunun kısaltılması veya kurulu gücün düşürülmesi de işletme açısından makul değişiklikler değildir. Bu durumda, Menderes dağıtım şirketi için işgücü, işletme giderleri veya sistem kayıplarında belirtilen hedeflerin, etkin sınıra gelmek için makul ve gerçekçi hedefler olduğu söylenebilir.

Tablo 5.5 – Ölçüt Odaklı Sabit Getirili Model Hedef Yüzdeleri

	Hat Uzunluğu	İşgücü	İşletme Giderleri	Kurulu Güç	Sistem Kayıpları	Satılan Güç	Müşteri Sayısı
DİCLE	-59,15%	-219,31%	-61,40%	-37,40%	-95,27%	48,39%	90,31%
VANGÖLÜ	-80,47%	-318,46%	-79,52%	-39,90%	-98,06%	142,94%	41,04%
ARAS	-41,08%	-153,42%	-55,64%	-18,87%	-87,47%	59,06%	14,85%
ÇORUH	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
FIRAT	-77,55%	-177,00%	-52,57%	-12,78%	-79,16%	25,83%	14,63%
ÇAMLIBEL	-23,98%	-51,91%	-24,54%	-9,06%	-51,70%	21,02%	7,04%
TOROSLAR	-54,45%	-38,80%	-18,67%	-0,18%	-4,06%	0,27%	1,10%
MERAM	-75,68%	-163,74%	-57,62%	-36,01%	-46,43%	68,58%	39,09%
BAŞKENT	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
AKDENİZ	-76,50%	-56,29%	-75,57%	-21,18%	-51,23%	35,36%	22,33%
GEDİZ	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
ULUDAĞ	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
TRAKYA	-35,09%	-35,69%	-54,82%	-20,19%	-76,19%	19,44%	34,82%
AYEDAŞ	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
SAKARYA	-71,56%	-50,59%	-13,75%	-37,25%	-56,76%	30,13%	14,47%
OSMANGAZİ	-57,56%	-59,08%	-59,57%	-22,13%	-46,01%	38,34%	20,58%
BOĞAZİÇİ	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
MENDERES	-81,32%	-31,78%	-43,23%	-23,67%	-40,63%	47,93%	17,00%
GÖKSU	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
YEŞİLIRMAK	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Tablo 5.6 – Ölçüt Odaklı Değişken Getirili Model Hedef Yüzdeleri

	Hat Uzunluğu	İşgücü	İşletme Giderleri	Kurulu Güç	Sistem Kayıpları	Satılan Güç	Müşteri Sayısı
DİCLE	-44,17%	-61,10%	-43,34%	-33,35%	-86,73%	43,41%	88,85%
VANGÖLÜ	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
ARAS	-18,76%	-39,89%	-38,65%	-7,03%	-65,97%	51,88%	8,64%
ÇORUH	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
FIRAT	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
ÇAMLIBEL	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
TOROSLAR	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
MERAM	-52,78%	-51,59%	-29,13%	-26,20%	-11,25%	68,26%	25,28%
BAŞKENT	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
AKDENİZ	-59,74%	-15,65%	-59,78%	-17,95%	-17,35%	35,26%	13,05%
GEDİZ	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
ULUDAĞ	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
TRAKYA	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
AYEDAŞ	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
SAKARYA	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
OSMANGAZİ	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
BOĞAZİÇİ	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
MENDERES	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
GÖKSU	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
YEŞİLIRMAK	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Ölçüt Odaklı Veri Zarflama Analizi ile elde edilen sonuçlardan yararlanılarak gerçekleştirilen bir başka analiz de, dağıtım şirketlerinin yer aldığı Türkiye'nin yedi coğrafi bölgesine (Akdeniz, Ege, Karadeniz, İç Anadolu, Doğu Anadolu, Marmara ve Güneydoğu Anadolu) göre gruplanması ve her bir coğrafi bölge için etkinlik skorlarının elde edilmesidir. Bu analizde, Zhu (2000)'de üzerinde durulan ve firmaların yer aldığı sektörlere göre gruplanarak sektör etkinliklerinin hesaplandığı modelden yararlanılmıştır. Girdilerin odak alındığı modeller için (1)'de gösterilen, çıktıların odak alındığı modeller için (2)'de gösterilen formüller kullanılmıştır.

$$I_k^F = \sum_{d \in F} \theta_d^{k*} \frac{x_{kd}}{\sum_{d \in F} x_{kd}} = \frac{\sum_{d \in F} x_{kd}^*}{\sum_{d \in F} x_{kd}} \quad (1)$$

$$O_q^F = \sum_{d \in F} \phi_d^{q*} \frac{y_{qd}}{\sum_{d \in F} y_{qd}} = \frac{\sum_{d \in F} y_{qd}^*}{\sum_{d \in F} y_{qd}} \quad (2)$$

(1)'de I_k^F ifadesi girdilerin odak alındığı modeller için bölge etkinlik skorunu ifade etmektedir. F ifadesi bölgede yer alan birimlerin kümesini, x_{kd} ifadesi ise d karar biriminin k girdisindeki değerini göstermektedir. x_{kd} değerlerinin etkinlik skorları (θ_d^{k*}) ile çarpım toplamı sonucu x_{kd}^* değerleri elde edilmektedir. Bu değerlerin toplamı olan $\sum_{d \in F} x_{kd}^*$ değeri x_{kd} değerleri toplamına bölünerek bölgenin etkinlik skoru elde edilmektedir. (2)'de de benzer bir şekilde, O_q^F ifadesi F bölgesinin etkinlik skoru, y_{qd} ifadesi karar biriminin çıktı değerini belirtmektedir. Bir modele göre bir bölgenin etkinlik skorunun 1 olabilmesi için, o bölgede yer alan bütün karar birimlerinin söz konusu modele göre etkin sınırdaki yer alıyor olması gereklidir.

(1) ve (2)'de gösterilen formüller ve Karar Destek Sistemi'nde Ölçüt Odaklı Veri Zarflama Analizi uygulaması yapılması ile elde edilen sonuçlar kullanılarak hesaplanan elektrik dağıtım şirketlerinin yer aldığı yedi coğrafi bölgenin bölge etkinlik skorları

Tablo 5.7 ve Tablo 5.8’de özetlenmiştir. Tablo 5.7’de ölçeğe göre sabit getirili olarak kurulan model sonuçları, Tablo 5.8’de ise ölçeğe göre değişken getirili olarak kurulan model sonuçları vardır. Tablolarda, her bölge için, her bir girdi veya çıktı odak alınarak gerçekleştirilen analizlerle elde edilen etkinlik skorları görülmektedir.

Tablo 5.7 –Ölçüt Odaklı Sabit Getirili Model Bölge Etkinlik Skorları

	Hat Uzunluğu	İşgücü	İşletme Giderleri	Kurulu Güç	Sistem Kayıpları	Satılan Güç	Müşteri Sayısı
Akdeniz	0,428	0,742	0,578	0,935	0,828	1,086	1,076
Doğu Anadolu	0,360	0,343	0,383	0,781	0,070	1,590	1,206
Ege	0,477	0,821	0,705	0,882	0,701	1,186	1,100
Güneydoğu	0,409	0,313	0,386	0,626	0,047	1,484	1,903
İç anadolu	0,715	0,739	0,816	0,858	0,690	1,239	1,123
Karadeniz	1	1	1	1	1	1	1
Marmara	0,770	0,930	0,908	0,908	0,747	1,057	1,046

Tablo 5.8 –Ölçüt Odaklı Değişken Getirili Model Bölge Etkinlik Skorları

	Hat Uzunluğu	İşgücü	İşletme Giderleri	Kurulu Güç	Sistem Kayıpları	Satılan Güç	Müşteri Sayısı
Akdeniz	0,786	0,958	0,725	0,946	0,947	1,084	1,041
Doğu Anadolu	0,927	0,835	0,808	0,975	0,815	1,179	1,035
Ege	1	1	1	1	1	1	1
Güneydoğu	0,558	0,389	0,567	0,666	0,133	1,434	1,889
İç anadolu	0,827	0,827	0,926	0,904	0,966	1,214	1,073
Karadeniz	1	1	1	1	1	1	1
Marmara	1	1	1	1	1	1	1

Tablo 5.7’ye bakıldığında yalnızca Karadeniz bölgesi’nin etkin sınırdaki olduğu görülmektedir. Karadeniz bölgesinde yer alan dağıtım şirketleri olan Çoruh ve Yeşilirmak şirketlerinin, ölçeğe göre sabit getirili modelde bütün ölçütler açısından etkin sınırdaki yer alması bu durumun nedenidir (bkz. Tablo 5.3). Tablo 5.8’e bakıldığında ise ölçeğe göre değişken getirili modelde etkin sınırdaki yer alan bölge sayısının üçe çıktığı görülmektedir. Ege, Karadeniz ve Marmara bölgesinde yer alan dağıtım şirketlerinin ölçüt odaklı değişken getirili modelde her bir değişken açısından etkin sınırdaki yer alması bu durumu oluşturan nedendir.

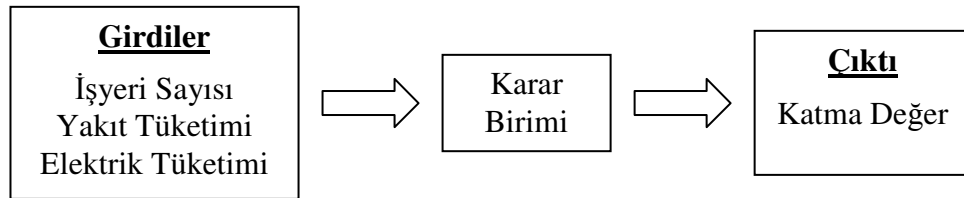
Tablo 5.7 ve Tablo 5.8’de dikkati çeken bir diğer nokta ise, sistem kayıpları açısından Güneydoğu Anadolu bölgesinin etkinlik skorlarıdır. Ölçeğe göre sabit getirili modelde Güneydoğu Anadolu bölgesinin etkinlik skoru 0,047, ölçeğe göre değişken getirili model de ise 0,133 olarak yer almaktadır. Sistem kaybı oranının bu bölgede yer alan tek dağıtım şirketi olan Dicle EDAŞ için yüksek olması Güneydoğu Anadolu bölgesinin sistem kayıpları etkinlik skorunun bu denli düşük olmasının temel nedenidir.

Türkiye’de yer alan elektrik dağıtım şirketlerinin çeşitli girdi ve çıktılar açısından birbirlerine göre olan etkinliklerinin değerlendirildiği bu uygulama, çalışma kapsamında hazırlanan Karar Destek Sistemi’nin model tabanında yer alan Veri Zarflama Analizi ve Ölçüt Odaklı Veri Zarflama Analizi tekniklerinin işleyişini göstermek amacı ile yapılmıştır. Karar Destek sistemi’nin veri tabanında yer alan performans değerlendirmesi problem tiplerinden bir diğeri de “Enerji Verimliliği Ölçümü”dür. Performans değerlendirmesi konusundaki ikinci uygulama bu alanda yapılarak örnek olay tabanına eklenmiştir.

5.1.2. Enerji Verimliliği Ölçümü Uygulaması

Performans Değerlendirmesi uygulamalarından ikincisi enerji verimliliği ölçümü üzerine yapılmıştır. Bu uygulamada, Türkiye imalat sanayisinde yer alan sekiz adet sanayi grubunun özel ve devlet sektörlerinin enerji verimliliği Veri Zarflama Analizi ile değerlendirilmektedir. Analizde yer alan girdi ve çıktılar Şekil 5.2’de gösterilmektedir.

Şekil 5.2 – Enerji Verimliliği Uygulaması Girdi ve Çıktıları



Uygulamada 3 girdi ve 1 çıktı değişkeni kullanılmaktadır. Kullanılan girdiler sanayi gruplarının işyeri sayıları, yakıt tüketim değerleri ve elektrik tüketim değerleridir. Çıktı olarak ise her sanayi grubunun katma değeri alınmıştır. Yakıt tüketimi, elektrik tüketimi

ve katma değer değişkenleri Yeni Türk Lirası cinsindendir. Karar Destek Sistemi'nin veri tabanında enerji verimliliği uygulamaları için elektrik tüketimi ve katma değer yer alırken, yakıt tüketimi ve işyeri sayısı değişkenleri yer almamaktadır. Uygulama yapılırken bu iki değişken veri tabanı formlarının “Diğer” seçeneğinden yararlanılarak eklenmiş, elektrik tüketimi ve katma değer veri tabanından seçilerek analize dahil edilmiştir.

Uygulamada kullanılacak veriler Türkiye İstatistik Kurumundan (TÜİK) 2000 yılına ait olarak elde edilmiştir. Analizler yapılırken sanayi grupları, isimleri uzun olduğundan numaralandırılarak kullanılmıştır. Kullanılan sanayi grupları ve numaraları Tablo 5.9'da verilmiştir. Orman ürünleri ve mobilya sanayi grubu hariç bütün sanayi grupları için devlet sektörü ve özel sektör olmak üzere iki ayrı grup mevcuttur. Orman ürünleri ve mobilya sanayi grubu için özel sektör verisi elde edilebilirken, 2000 yılı için bu gruba ait devlet sektörü verisi yoktur. Analizler, devlet ve özel ayrımı gözetilerek gerçekleştirilmiş ve her bir grubun devlet ve özel sektörleri ayrı birer karar birimi olarak alınmıştır. Bu durumda, 8 sanayi grubu için, (orman ürünleri ve mobilya sanayi grubunun devlet sektörü hariç tutulduğundan) uygulamada kullanılan karar birimi sayısı 15'tir.

Tablo 5.9 – İmalat Sanayi Grupları

No	Sanayi Grubu
1	Gıda , içki ve tütün sanayi
2	Dokuma, giyim eşyası ve deri sanayi
3	Orman ürünleri ve mobilya sanayi
4	Kağıt - Kağıt ürünleri ve basım sanayi
5	Kimya - petrol, kömür, kauçuk ve plastik ürünleri sanayi
6	Taş ve toprağa dayalı sanayi
7	Metal ana sanayi
8	Metal eşya - makine teçhizat, ulaşım aracı, ilmi ve mesleki ölçme aletleri sanayi

Elektrik sanayi uygulamasında olduğu gibi bu uygulamada da öncelikle, standart Veri Zarflama Analizi, girdi odaklı olarak sabit ve değişken getirili iki tipte uygulanmış, daha sonra, Ölçüt Odaklı Veri Zarflama Analizi uygulaması gerçekleştirilmiştir. Ölçüt Odaklı Veri Zarflama Analizi de, ölçeğe göre sabit ve değişken getirili olmak üzere iki

tipde uygulanmıştır. Her iki analizden elde edilen sonuçlar ilerleyen kısımda tartışılmaktadır.

i. Veri Zarflama Analizi Uygulaması

15 adet karar birimi ile yukarıda sıralanan 3 girdi ve 1 çıktı kullanılarak gerçekleştirilen Veri Zarflama Analizi'nde elde edilen sonuç raporları, Tablo 5.10 ve Tablo 5.11'de gösterilmektedir. Tablo 5.10, girdi odaklı, ölçeğe göre sabit getirili modelin sonuç raporunu, Tablo 5.11 ise girdi odaklı, ölçeğe göre değişken getirili modelin sonuç raporunu göstermektedir. Raporlarda, uygulama ile ilgili kullanılan teknik, girdi sayısı, çıktı sayısı, analiz tipi, ölçeğe göre getiri ve problem tipi bilgileri listelendikten sonra, karar birimlerinin etkinlik skorları ve etkin sınıra gelebilmeleri için gerçekleştirmeleri gereken hedef değerleri sıralanmaktadır.

Tablo 5.10'a bakıldığında, 3 adet karar biriminin etkin sınırdaki yer aldığı gözlemlenmektedir. Gıda, içki ve tütün sanayi grubunun devlet sektörü (1 Devlet), Kimya - petrol, kömür, kauçuk ve plastik ürünleri sanayi grubunun devlet sektörü (5 Devlet) ve Metal eşya - makine teçhizat, ulaşım aracı, ilmi ve mesleki ölçme aletleri sanayi grubunun özel sektörü (8 Özel) ölçeğe göre sabit getirili modelin etkin sınırını oluşturan sanayi gruplarıdır. Ölçeğe göre değişken getirili model uygulamasında ise bu sanayi gruplarına Dokuma, giyim eşyası ve deri sanayi grubunun devlet sektörü (2 Devlet), Taş ve toprağa dayalı sanayi grubunun devlet sektörü (6 Devlet), Metal eşya - makine teçhizat, ulaşım aracı, ilmi ve mesleki ölçme aletleri sanayi grubunun devlet sektörü (8 Devlet) katılmakta ve etkin sınırdaki yer alan sanayi grubu sayısı 6'ya yükselmektedir (bkz. Tablo 5.11).

Etkin sınırdaki yer alan sanayi gruplarının genellikle devlet sektöründen olması dikkat çekicidir. Bu durum, analizde girdi olarak işyeri sayısının yer almasının bir sonucudur. Veriye bakıldığında, işyeri sayılarının devlet sektörü için özel sektöre oranla çok düşük olduğu görülmektedir. Bu durumda, sanayi gruplarının devlet sektörleri, aynı veya daha fazla katma değeri özel sektöre göre daha az işyeri ile üretiyor durumdadır. Bu nedenle, etkinlik skorları yüksektir.

Tablo 5.10 – Girdi Odaklı Sabit Getirili Model Sonuç Raporu

SONUÇ RAPORU

Teknik	Veri Zarflama Analizi
Karar Birimi Sayısı	15
Girdi Sayısı	3
Çıktı Sayısı	1
Analiz Tipi	Girdi-Odaklı
Ölçeğe Göre Getiri	Sabit (CRS)
Problem Tipi	Enerji Verimliliği Ölçümü Uygulaması

Etkinlik Skorları & Hedefler

	Etkinlik	İşyeri Sayısı	Yakıt Tüketimi	Elektrik Tüketimi	Katma Değer
1 Devlet	1	87	71.033.610	7.925.652	1.107.974.132
1 Özel	0,523	68,28	34.653.031,17	24.546.039,77	1.390.338.326
2 Devlet	0,245	2,13	1.086.691,91	764.689,47	43.392.182
2 Özel	0,271	60,70	28.880.623,65	34.177.606,47	1.696.903.137
3 Özel	0,216	4,75	2.129.742,40	2.662.811,12	131.167.075
4 Devlet	0,093	0,93	2.260.530,49	666.320,96	47.752.729
4 Özel	0,255	7,66	8.250.740,33	4.665.371,82	268.868.544
5 Devlet	1	18	186.019.299	23.819.715	2.616.326.918
5 Özel	0,528	73,35	50.025.004,60	42.000.023,42	2.212.591.217
6 Devlet	0,153	0,77	675.845,79	133.887,23	12.684.562
6 Özel	0,152	36,97	45.060.664,62	22.934.464,43	1.360.627.188
7 Devlet	0,204	2,04	21.098.562,64	2.701.664,57	296.747.368
7 Özel	0,215	21,50	30.236.599,81	13.647.656,53	839.247.428
8 Devlet	0,842	7,16	4.163.603,30	2.114.598,68	132.751.532
8 Özel	1	118	34.191.730	64.743.092	3.037.149.304

Sonuç raporlarında, etkinlik skorlarının yanısıra etkin olmayan birimlerin etkin sınıra yaklaşımları için gerçekleştirmeleri gereken hedef değerler de yer almaktadır. Bu hedef değerler, etkin sınırdaki yer alan karar birimleri için orijinal değerlere eşittir. Etkin sınırdaki yer almayan karar birimleri için her bir girdi ve çıktı açısından erişmeleri gereken değerler belirtilmektedir. Model, girdi odaklı olarak oluşturulduğundan, karar birimlerinin girdi hedefleri dikkate alınmalıdır. Örneğin, ölçeğe göre değişken getirili modele göre etkin sınırın dışında yer alan Kimya - petrol, kömür, kauçuk ve plastik ürünleri sanayi grubunun özel sektörünün (5 Özel) etkin sınıra gelebilmesi için işyeri sayısını 74'e, yakıt tüketimini 50.473.329,94 YTL'ye, elektrik tüketimini ise 42.318.873,64 YTL'ye düşürmesi gerekmektedir.

Tablo 5.11 – Girdi Odaklı Değişken Getirili Model Sonuç Raporu

SONUÇ RAPORU

Teknik	Veri Zarflama Analizi
Karar Birimi Sayısı	15
Girdi Sayısı	3
Çıktı Sayısı	1
Analiz Tipi	Girdi-Odaklı
Ölçeğe Göre Getiri	Değişken (VRS)
Problem Tipi	Enerji Verimliliği Ölçümü Uygulaması

Etkinlik Skorları & Hedefler					
	Etkinlik	İşyeri Sayısı	Yakıt Tüketimi	Elektrik Tüketimi	Katma Değer
1 Devlet	1	87	71.033.610	7.925.652	1.107.974.132
1 Özel	0,5260618	70,72	34.878.264,66	24.705.581,08	1.390.338.326
2 Devlet	1	17	4.430.379	3.117.594	43.392.182
2 Özel	0,2815182	63,06	30.001.213,82	34.591.076,90	1.696.903.137
3 Özel	0,5320784	11,71	5.251.554,15	2.922.667,90	131.167.075
4 Devlet	0,5175096	5,18	6.860.461,41	1.183.562,31	47.752.729
4 Özel	0,3859101	11,58	12.478.097,25	5.146.218,43	268.868.544
5 Devlet	1	18	186.019.299	23.819.715	2.616.326.918
5 Özel	0,5324367	74,01	50.473.329,94	42.318.873,64	2.212.591.217
6 Devlet	1	5	4.414.446	874.516	12.684.562
6 Özel	0,1604157	39,14	47.704.417,56	23.173.509,95	1.360.627.188
7 Devlet	0,6418327	6,42	24.227.913,85	3.377.885,02	296.747.368
7 Özel	0,2424233	24,24	34.093.781,55	13.904.646,92	839.247.428
8 Devlet	1	14	4.944.092	2.510.991	132.751.532
8 Özel	1	118	34.191.730	64.743.092	3.037.149.304

ii. Ölçüt Odaklı Veri Zarflama Analizi Uygulaması

Uygulamanın ikinci kısmında, imalat sanayi verisine Ölçüt Odaklı Veri Zarflama Analizi uygulanarak sanayi gruplarının etkinlik skorları ve her bir değişken açısından etkin sınıra gelebilmeleri için gerçekleştirmeleri gereken hedef değerleri elde edilmiştir. Elektrik sanayi uygulamasında olduğu gibi elde edilen hedef değerlerin orijinal değerlerden olan yüzde değişimleri hesaplanmıştır. Ölçüt Odaklı Veri Zarflama Analizi sonucu, her bir girdi ve çıktıya göre elde edilen etkinlik skorları Tablo 5.12 ve Tablo 5.13'te özetlenmektedir. Tablo 5.12 ölçüt odaklı, ölçeğe göre sabit getirili modelin sonuç raporunu, Tablo 5.13 ise ölçüt odaklı, ölçeğe göre değişken getirili modelin sonuç raporunu göstermektedir.

Tablo 5.12 – Ölçüt Odaklı Sabit Getirili Model Sonuç Raporu

SONUÇ RAPORU				
Teknik	Ölçüt-Odaklı Veri Zarflama Analizi			
Karar Birimi Sayısı	15			
Girdi Sayısı	3			
Çıktı Sayısı	1			
Ölçeğe Göre Getiri	Sabit (CRS)			
Problem Tipi	Enerji Verimliliği Ölçümü Uygulaması			
<u>Etkinlik Skorları</u>				
	İşyeri Sayısı	Yakıt Tüketimi	Elektrik Tüketimi	Katma Değer
1 Devlet	1	1	1	1
1 Özel	0,189	0,236	0,342	1,913
2 Devlet	0,018	0,110	0,100	4,077
2 Özel	0,086	0,179	0,080	3,690
3 Özel	0,041	0,150	0,076	4,634
4 Devlet	0,033	0,022	0,015	10,698
4 Özel	0,062	0,094	0,102	3,919
5 Devlet	1	1	1	1
5 Özel	0,350	0,263	0,357	1,895
6 Devlet	0,017	0,032	0,104	6,532
6 Özel	0,118	0,238	0,178	6,600
7 Devlet	0,204	0,028	0,035	4,898
7 Özel	0,136	0,206	0,091	4,651
8 Devlet	0,237	0,543	0,759	1,187
8 Özel	1	1	1	1

Tablo 5.12 ve Tablo 5.13'e bakıldığında, uygulamanın ilk kısmındaki girdi odaklı Veri Zarflama Analizi'nde etkin sınırdaki yer alan sanayi gruplarının Ölçüt Odaklı Veri Zarflama Analizi uygulamasında da her bir ölçüt açısından etkin sınırdaki yer aldıkları görülmektedir. Dokuma, giyim eşyası ve deri sanayi (2) ve Taş ve toprağa dayalı sanayi (6) gruplarının devlet sektörleri, sabit getirili modelde, bütün girdiler açısından çok düşük, tek çıktı katma değer açısından çok yüksek etkin skorlarına sahiptir. Ancak, ölçeğe göre değişken getirili modelin uygulandığı durumda bu iki karar biriminin etkin sınırdaki yer aldığı görülmektedir. Sabit getirili modele göre yüksek derecede etkinsiz görünen bu karar birimlerinin değişken ölçekte etkin sınıra gelmesi, bu sanayi gruplarının sabit getirili modeldeki etkinsizliklerinin ölçeklerinden kaynaklandığını göstermektedir.

Tablo 5.13 – Ölçüt Odaklı Değişken Getirili Model Sonuç Raporu

SONUÇ RAPORU				
Teknik	Ölçüt-Odaklı Veri Zarflama Analizi			
Karar Birimi Sayısı	15			
Girdi Sayısı	3			
Çıktı Sayısı	1			
Ölçeğe Göre Getiri	Değişken (VRS)			
Problem Tipi	Enerji Verimliliği Ölçümü Uygulaması			
<u>Etkinlik Skorları</u>				
	İşyeri Sayısı	Yakıt Tüketimi	Elektrik Tüketimi	Katma Değer
1 Devlet	1	1	1	1
1 Özel	0,212	0,266	0,343	1,865
2 Devlet	1	1	1	1
2 Özel	0,097	0,321	0,101	1,790
3 Özel	0,323	0,500	0,151	3,660
4 Devlet	0,518	0,188	0,049	7,960
4 Özel	0,209	0,195	0,133	3,540
5 Devlet	1	1	1	1
5 Özel	0,360	0,273	0,397	1,373
6 Devlet	1	1	1	1
6 Özel	0,074	0,115	0,121	2,232
7 Devlet	0,642	0,078	0,046	3,417
7 Özel	0,148	0,207	0,095	3,529
8 Devlet	1	1	1	1
8 Özel	1	1	1	1

Veriye bakıldığında, Dokuma, giyim eşyası ve deri sanayi grubunun devlet sektöründe 17, Taş ve toprağa dayalı sanayi grubunun devlet sektöründe ise yalnızca 5 işyerinin olduğu görülmektedir. Bu sektörler, diğer sektörlerle oranla yakıt tüketimi, elektrik tüketimi ve katma değer açısından ölçek olarak küçüktür. Sabit getirili modeldeki etkinsizlikleri bu ölçek küçüklüğünden kaynaklanmaktadır. Değişken getirili modele göre bu sektörler etkin sınır üzerindedir.

Tablo 5.14 ve Tablo 5.15'te ise Karar Destek Sistemi'nde, Ölçüt Odaklı Veri Zarflama Analizi uygulanması ile elde edilen hedef değerleri her bir girdi ve çıktı için yüzde değişimi değeri olarak hesaplanarak bir araya getirilmiştir. Tablo 5.14, ölçeğe göre sabit getirili modele göre, Tablo 5.15 ise ölçeğe göre değişken getirili modele göre hedef yüzdeleri içermektedir.

Tablo 5.14 – Ölçüt Odaklı Sabit Getirili Model Hedef Yüzdeleri

	İşyeri Sayısı	Yakıt Tüketimi	Elektrik Tüketimi	Katma Değer
1 Devlet	0%	0%	0%	0%
1 Özel	-81,15%	-76,39%	-65,79%	91,33%
2 Devlet	-98,24%	-88,97%	-90,04%	307,69%
2 Özel	-91,43%	-82,07%	-91,95%	269,00%
3 Özel	-95,90%	-85,04%	-92,40%	363,43%
4 Devlet	-96,71%	-97,78%	-98,48%	969,79%
4 Özel	-93,83%	-90,64%	-89,83%	291,89%
5 Devlet	0%	0%	0%	0%
5 Özel	-65,02%	-73,72%	-64,27%	89,50%
6 Devlet	-98,25%	-96,77%	-89,62%	553,17%
6 Özel	-88,21%	-76,23%	-82,19%	559,95%
7 Devlet	-79,58%	-97,25%	-96,50%	389,82%
7 Özel	-86,39%	-79,40%	-90,91%	365,12%
8 Devlet	-76,32%	-45,70%	-24,12%	18,75%
8 Özel	0%	0%	0%	0%

Tablo 5.15 – Ölçüt Odaklı Değişken Getirili Model Hedef Yüzdeleri

	İşyeri Sayısı	Yakıt Tüketimi	Elektrik Tüketimi	Katma Değer
1 Devlet	0%	0%	0%	0%
1 Özel	-78,77%	-73,44%	-65,69%	86,47%
2 Devlet	0%	0%	0%	0%
2 Özel	-90,32%	-67,92%	-89,89%	78,98%
3 Özel	-67,69%	-50,00%	-84,94%	265,98%
4 Devlet	-48,25%	-81,23%	-95,11%	695,96%
4 Özel	-79,07%	-80,47%	-86,66%	254,03%
5 Devlet	0%	0%	0%	0%
5 Özel	-63,99%	-72,69%	-60,35%	37,27%
6 Devlet	0%	0%	0%	0%
6 Özel	-92,62%	-88,50%	-87,86%	123,22%
7 Devlet	-35,82%	-92,19%	-95,41%	241,73%
7 Özel	-85,25%	-79,29%	-90,47%	252,86%
8 Devlet	0%	0%	0%	0%
8 Özel	0%	0%	0%	0%

Tablo 5.14 ve Tablo 5.15'e bakıldığında, etkin sınırdaki yer alan karar birimleri için hedef yüzdelерinin 0 olduğu görülmektedir. Etkin sınırdaki yer almayan karar birimleri için ise etkin sınıra gelebilmeleri için girdi veya çıktılarda gerçekleştirmeleri gereken yüzde değişimler gösterilmektedir. Örneğin, ölçeğe göre değişken getirili modele göre etkin sınırdaki yer almayan Kimya - petrol, kömür, kauçuk ve plastik ürünleri sanayi grubunun

özel sektörünün (5 Özel), bu modele göre etkin sınıra gelebilmesi için işyeri sayısında %63,99 oranında veya yakıt tüketiminde %72,69 oranında veya elektrik tüketiminde %60,35 oranında bir azalma ya da bu sektörün katma değerinde %37,27 oranında bir artış gerçekleşmesi gereklidir.

Tablo 5.14 ve Tablo 5.15'te birçok karar birimi için katma değer hedeflerinin gerçekçi olmayan düzeylerde olduğu göze çarpmaktadır. Özellikle ölçeğe göre sabit getirili modelde katma değer hedeflerinin çok yüksek değerlerde olduğu görülmektedir. Bu durumun kaynağı sektörler arasındaki ölçek farklarıdır. Bu noktada, sektörlerin hedef değerleri yorumlanırken, girdiler için belirtilen yüzde değişim hedeflerinin dikkate alınması daha yerinde olacaktır.

Türkiye imalat sanayisinde yer alan sanayi gruplarının, çeşitli girdi ve çıktılar açısından birbirlerine göre olan enerji verimliliklerinin değerlendirildiği bu uygulama, elektrik sanayi uygulaması ile beraber, çalışma kapsamında hazırlanan Karar Destek Sistemi'nin model tabanında yer alan Veri Zarflama Analizi ve Ölçüt Odaklı Veri Zarflama Analizi tekniklerinin işleyişini görmek amacı ile yapılmış bir performans değerlendirmesi uygulamasıdır. Her iki uygulama da, Karar Destek Sistemi'nin veri tabanında yer alan iki temel problem tipinin uygulanışına ışık tutması açısından önem arz etmektedir. Çalışmanın ilerleyen kısmında Karar Destek Sistemi'nin bir diğer temel boyutu olan Karar Analizi teknikleri üzerine uygulama yapılarak sonuçları yorumlanmaktadır.

5.2. Karar Analizi Uygulamaları

Bu kısımda, Karar Destek Sistemi'nin model tabanında yer alan ELECTRE III, PROMETHEE ve UTADIS tekniklerinin Türkiye enerji sektöründen elde edilen çeşitli verilere uygulaması gerçekleştirilmektedir. ELECTRE III tekniği ile 2006 yılında il etüdü hazırlanan Hidroelektrik santral projeleri çeşitli kriterler ışığında sıralanmaktadır. PROMETHEE tekniği ile Kastamonu yöresi için 2007 yılında teklif verilen Rüzgar santral projeleri çeşitli kriterler dikkate alınarak sıralanmaktadır. Son uygulama da ise, Türkiye'de yer alan elektrik dağıtım şirketleri çeşitli kriterler ışığında UTADIS tekniği

ileüç ayrı gruba ayrılmaktadır. Yapılan bu üç uygulama Karar Destek Sistemi'nin örnek olay tabanının Karar Analizi bölümünü oluşturmaktadır.

5.2.1. Hidroelektrik Santral Projelerinin Değerlendirilmesi (ELECTRE III Uygulaması)

Karar Analizi teknikleri ile yapılan bu ilk uygulamada, seçilen hidroelektrik santral projeleri, çeşitli kriterler açısından Karar Destek Sistemi'nin ELECTRE III model tabanı kullanılarak değerlendirilmiştir. Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü'nden elde edilen bilgiye göre, Türkiye'de 2007 yılı itibari ile hazırlanmış 256 adet hidroelektrik santral projesi bulunmaktadır. Bu projeler “kesin seviyesi hazır”, “master planı hazır”, “fizibilite raporu hazır” veya “ilk etüdü” hazır olmak üzere çeşitli seviyelerdedir. Bu çalışmada, çeşitli yıllarda hazırlanmış, çeşitli seviyelerdeki projeler arasından, rayiç yılı 2006 olan ve ilk etüdü hazır 13 adet hidroelektrik santral projesi seçilerek uygulama yapılmıştır. Bu santral projeleri ile yer aldıkları iller ve nehirler Tablo 5.16'da gösterilmektedir. Uygulamada, bahsedilen 13 adet hidroelektrik santral projesi, Tablo 5.17'de listelenen kriterler ele alınarak ELECTRE III yöntemi ile sıralanmakta ve sonuçlar yorumlanmaktadır.

Tablo 5.16 – Hidroelektrik Santral Uygulamasında Yer Alan Santraller

	Proje Adı	İli	Nehir	Rayiç Yılı
1	Alata	Antalya	Kayadibi	2006
2	Asarcık	Antalya	Asarcık	2006
3	Erçel	Mersin	Erçel	2006
4	Göngöle	Antalya	Değirmen	2006
5	Kamışlı-1	Adana	Körkün	2006
6	Kamışlı-2	Adana	Körkün	2006
7	Karakız-1	Mersin	Karakız	2006
8	Karakız-2	Mersin	Karakız	2006
9	Karakız-3	Mersin	Karakız	2006
10	Karakız-4	Mersin	Karakız	2006
11	Ketir	Antalya	Fariske	2006
12	Üçtaş	Mersin	Karaoğlan	2006
13	Yassıtaş	Mersin	Yassıtaş	2006

Tablo 5.17– Hidroelektrik Santral Uygulaması Kriterleri

Kriter	Birimi
Kurulu Güç	MegaWatt (MW)
Yıllık Ortalama Enerji	Giga Watt – saat (GWh)
Güvenilir Enerji	Giga Watt – saat (GWh)
Brüt Düşü	Metre (m)
Ortalama Debi	Metreküp/saniye (m ³ /s)
Yatırım Bedeli	10 ³ YTL

Tablo 5.17’da görüldüğü üzere uygulamada 6 adet kriter kullanılmıştır. Bu kriterlerden kurulu güç, yıllık ortalama enerji ve güvenilir enerji kriterleri elektrik üretimi ile ilgili kriterlerdir. Brüt düşü ve ortalama debi kriterleri, hidroelektrik santrallerin üzerine kurulacağı akarsuların teknik özelliklerini yansıtmaktadır. Yatırım bedeli ise maliyet kriteri olarak analizde yer almaktadır.

Hidroelektrik santral projelerinin yukarıda sıralanan kriter değerleri, Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü’nden elde edilmiştir. Veriler elde edildikten sonra, ELECTRE III analizi için gerekli olan problem parametreleri belirlenmiştir. Bu parametrelerden kriter ağırlıkları her bir kriter için eşit alınmıştır. Analiz için gerekli olan tercih ve farksızlık eşikleri belirlenirken Rogers (2000) tarafından yapılan çalışmadan yararlanılmıştır. Buna göre, tercih eşikleri, alternatiflerin kriter değerlerinin bir fonksiyonu olarak tanımlanmıştır. Rogers (2000)’de daha önce yapılan ELECTRE III uygulamaları ışığında, farksızlık eşiği alternatiflerin kriter değerlerinin %10’u, tercih eşiği ise %20’si olarak alınmaktadır. Bu uygulamada da eşik değerleri bu çalışmadan yararlanılarak belirlenmiştir. ELECTRE III uygulamalarında kullanılması isteğe bağlı olan veto eşiği, bu uygulamada kullanılmamaktadır.

Kriter ağırlıkları ve eşik değerleri belirlendikten sonra uygun veriler Karar Destek Sistemi’ne girilerek ELECTRE III uygulaması gerçekleştirilmiştir. Uygulamada, yatırım bedeli kriteri, bir maliyet kriteri olduğundan bu kriter için alternatiflerin değerleri negatif olarak alınmaktadır. Kurulu güç, yıllık ortalama enerji ve yatırım bedeli kriterleri Karar Destek Sistemi’nin veri tabanında yer alırken güvenilir enerji,

brüt düşü ve ortalama debi kriterleri veri tabanı formunun “Diğer” seçeneği kullanılarak analize eklenmiştir. Karar Destek Sistemi’nde yapılan ELECTRE III analizi sonucu elde edilen ve projelerin artan ve azalan sıralamalarını gösteren sonuç raporu Şekil 5.18’de yer almaktadır.

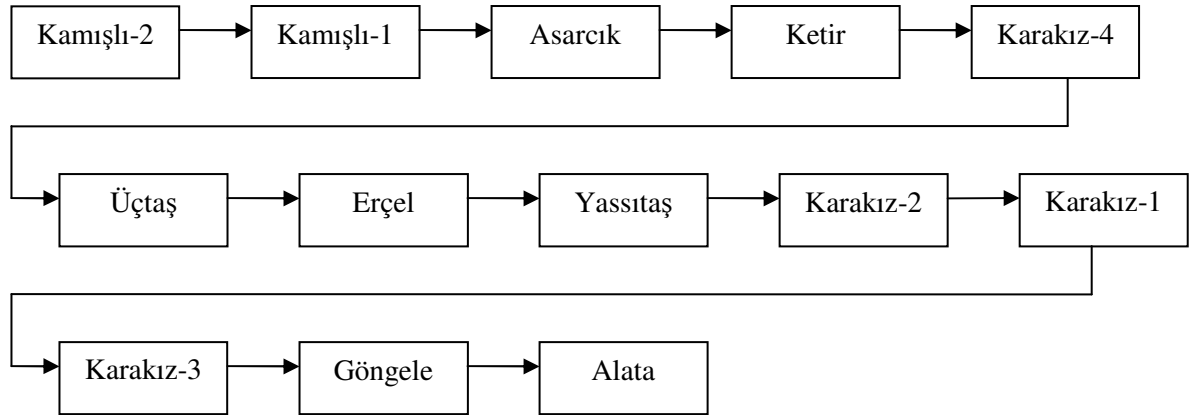
Tablo 5.18’de yer alan sonuç raporuna bakıldığında, öncelikle analizde kullanılan teknik ile kriter ve alternatif sayılarının listelendiği görülmektedir. Daha sonra, azalan ve artan distilasyon süreçleri sonucu elde edilen azalan ve artan sıralamalar raporda yer almaktadır. Elde edilen bu azalan ve artan sıralamalar kesiştirilerek ELECTRE III sıralaması elde edilmektedir. Artan sıralamada en altta yer alan Asarcık ve Kamışlı-1 hidroelektrik santrallerinin eşit önemde olduğu sonucu elde edilmiştir.

Azalan ve artan sıralamalar, ilk sıralarda yer alan santraller hariç, aynı sıralamayı takip etmektedir. Kamışlı-2 santrali azalan sıralamaya göre ilk sırada yer alırken, artan sıralamaya göre ikinci sırada yer almaktadır. Kamışlı-1 ve Asarcık ve santralleri artan sıralamada en iyi alternatifler olarak ilk sırada yer alırken, azalan sıralamaya göre üçüncü ve dördüncü sırada yer almaktadırlar. Buna göre her iki durumda da ilk iki sırada yer alan Kamışlı-2 toplam sıralamada ilk sırayı alacaktır. Kamışlı-2’yi Kamışlı-1 ve Asarcık santralleri izleyecektir. Artan ve azalan sıralamalar kesiştirilerek elde edilen toplam sıralama Şekil 5.3’de gösterilmektedir.

Hidroelektrik santrallerinin çeşitli kriterler açısından ELECTRE III yöntemi ile sıralandığı bu uygulama, Karar Destek Sistemi’nin ELECTRE III model tabanının işleyişini görmek amacı ile yapılmıştır. Uygulamada, Karar Destek Sistemi’nin veri tabanında yer alan kriterlerden yararlanıldığı gibi, veri tabanı formunun yeni kriter ekleme özelliğinden de faydalanılmaktadır. Model tabanında yer alan bir diğer teknik olan PROMETHEE tekniği de ilerleyen kısımda rüzgar santral projelerinin değerlendirilmesinde uygulanmaktadır.

Tablo 5.18 – Hidroelektrik Santral Uygulaması ELECTRE III Sonuç Raporu



Şekil 5.4 – Hidroelektrik Uygulaması ELECTRE III Toplam Sıralama

5.2.2. Rüzgar Santral Projelerinin Değerlendirilmesi (PROMETHEE Uygulaması)

Karar Destek Sistemi'nin model tabanında yer alan Karar Analizi tekniklerinden bir diğeri olan PROMETHEE tekniği, bu uygulamada 2007 yılında Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü'ne teslim edilen ve Kastamonu yöresinde kurulması düşünülen 7 adet rüzgar santrali projesinin çeşitli kriterler açısından değerlendirilmesinde kullanılmaktadır. Analizde yer alan kriterler Tablo 5.19'da sıralanmaktadır.

Tablo 5.19 – Rüzgar Santrali Uygulaması Kriterleri

Kriter	Birim
Ünite Sayısı	Adet
Ünite Kurulu Gücü	KiloWatt (kW)
Tesis Kurulu Gücü	MegaWatt (MW)
Öngörülen Yıllık Ortalama Üretim	KiloWatt – saat (kW-h)
Kapasite Faktörü	Oran

Tablo 5.19'da görüldüğü üzere, analizde 5 adet kriter kullanılmıştır. 7 santral projesi için, kriterlerin değerleri Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü'nden temin

edilmiştir. Veriler elde edildikten sonra, PROMETHEE analizi için gerekli olan problem parametreleri belirlenerek teknik uygulanmıştır. Bütün kriterler için, kriter tipi üçüncü tip doğrusal ilişki fonksiyonu alınmıştır. Bu fonksiyon tipi için belirlenmesi gereken m parametre değerinin hesaplanmasında Haralambopoulos ve Polatidis (2003)'te kullanılan yaklaşımdan faydalanılmıştır. Buna göre, m değeri, bir kriter için bütün alternatifler arasındaki en büyük değer ile en küçük değer arasındaki farkın alternatif sayısına bölümü ile hesaplanmaktadır. Analizde bütün kriterlerin ağırlıkları eşit alınmış ve hepsinin maksimum değerlerde iyi performans gösterdiği kabul edilmiştir. Yapılan PROMETHEE uygulaması sonucu elde edilen PROMETHEE I ve PROMETHEE II skorlarını gösteren Karar Destek Sistemi sonuç raporu Tablo 5.20'de gösterilmektedir.

Tablo 5.20'ye bakıldığında, analizde kullanılan teknik tipi ve kriter ile alternatif sayıları verildikten sonra, önce, rüzgar santrali alternatiflerinin PROMETHEE I kısmi sıralama skorları, daha sonra PROMETHEE II tam sıralama skorları verilmiştir. PROMETHEE I'de yer alan pozitif üstünlük ve negatif üstünlük skorlarına bakılarak, alternatiflerin kısmi sıralaması elde edilmiştir. Kısmi sıralama yapılırken dikkate alınan koşullar aşağıda sıralanmaktadır (Dağdeviren ve Eraslan, 2008).

Eğer aşağıdaki koşullardan herhangi biri sağlanıyor ise a alternatifi b alternatifine *tercih edilir*:

- $\Phi^+(a) > \Phi^+(b)$ ve $\Phi^-(a) < \Phi^-(b)$
- $\Phi^+(a) > \Phi^+(b)$ ve $\Phi^-(a) = \Phi^-(b)$
- $\Phi^+(a) = \Phi^+(b)$ ve $\Phi^-(a) < \Phi^-(b)$

Eğer aşağıdaki koşul sağlanıyor ise a alternatifi ile b alternatifi *farksızdır*:

- $\Phi^+(a) = \Phi^+(b)$ ve $\Phi^-(a) = \Phi^-(b)$

Tablo 5.20 – Rüzgar Santralleri Uygulaması PROMETHEE Sonuç Raporu

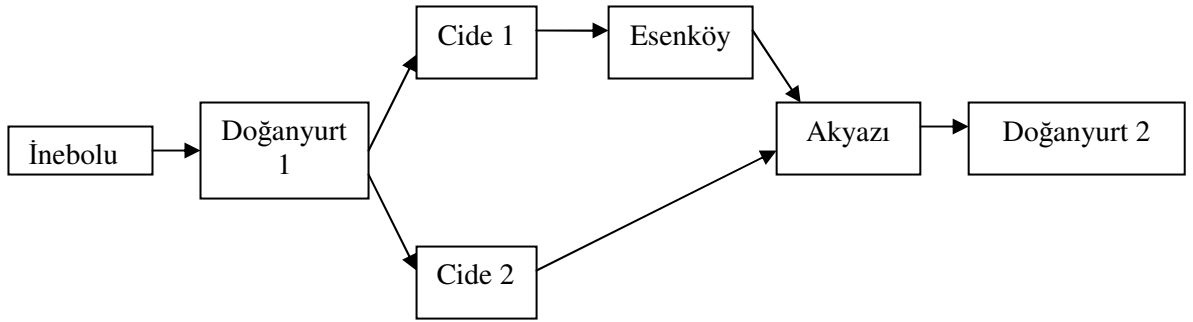
SONUÇ RAPORU								
Teknik	PROMETHEE							
Kriter Sayısı	5							
Alternatif Sayısı	7							
PROMETHEE I								
	Akyazı	Doğanyurt I	Cide I	Doğanyurt II	İnebolu	Cide II	Esenköy	
Pozitif Üstünlük Skoru	0,457	0,905	0,795	0,073	2,063	0,894	0,571	
Negatif Üstünlük Skoru	1,368	0,430	0,432	1,730	0,171	0,935	0,693	
PROMETHEE II								
	Net Üstünlük Skoru							
İnebolu	1,892							
Doğanyurt I	0,475							
Cide I	0,363							
Cide II	-0,041							
Esenköy	-0,121							
Akyazı	-0,911							
Doğanyurt II	-1,657							

Eğer aşağıdaki koşullardan herhangi biri sağlanıyor ise a alternatifi ile b alternatifi karşılaştırılmaz:

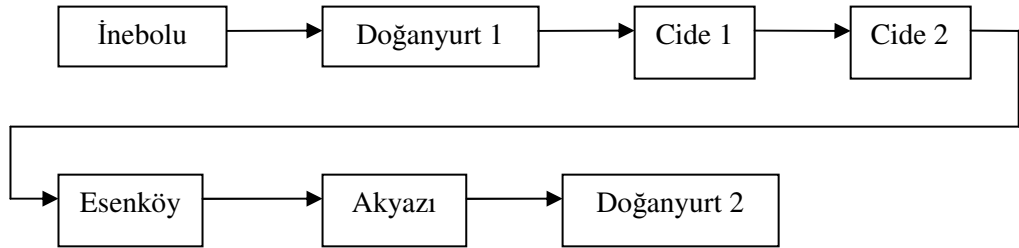
- $\Phi^+(a) > \Phi^+(b)$ ve $\Phi^-(a) > \Phi^-(b)$
- $\Phi^+(a) < \Phi^+(b)$ ve $\Phi^-(a) < \Phi^-(b)$

Yukarıda sıralanan koşullara göre, uygulamada yer alan rüzgar santrallerinin kısmi sıralaması Şekil 5.5'teki gibi oluşmaktadır.

Şekil 5.5 – Rüzgar Santralleri PROMETHEE I Kısmi Sıralama



Şekil 5.6 – Rüzgar Santralleri PROMETHEE II Tam Sıralama



Tablo 5.20'deki pozitif üstünlük ve negatif üstünlük skorlarına yukarıda sıralanan koşullar ışığında bakıldığında Cide 2 santrali ile Cide 1 ve Esenköy santrallerinin birbirleri ile karşılaştırılmadığı görülmüş ve kısmi sıralama ona göre yapılmıştır. Cide 1 ile Esenköy arasında karşılaştırma yapılabilmekte ve Cide 1, Esenköy'den üstün çıkmaktadır. Tablo 5.20'de elde edilen tam sıralama skorları ışığında, Kastamonu

yöresinde kurulması için önerilen 7 proje, çeşitli kriterleri açısından Şekil 5.6'daki gibi sıralanmaktadır.

Kastamonu yöresi için 2007 yılı içinde önerilen 7 adet rüzgar santrali projesinin, çeşitli kriterler açısından değerlendirilerek sıralandığı bu uygulama, Karar Destek sistemi'nin PROMETHEE model tabanının işleyişini görmek amacı ile gerçekleştirilmiştir. Örnek olay tabanında yer alacak uygulamalardan bir diğeri de ilerleyen kısımda anlatılan UTADIS uygulamasıdır.

5.2.3. Elektrik Dağıtım Şirketlerinin Gruplanması (UTADIS Uygulaması)

Karar Destek Sistemi'nin model tabanında yer alan Karar Analizi teknikleri ile yapılan uygulamaların sonuncusu, alternatiflerin gruplanmasına yönelik bir teknik olan UTADIS uygulamasıdır. Bu uygulamada, Türkiye'de yer alan 20 adet elektrik dağıtım şirketi sistem kayıp oranlarına göre üç gruba ayrılarak çeşitli kriterler ışığında UTADIS tekniği uygulanmıştır. Sistem kayıp oranları %9'dan düşük olan şirketler birinci grupta, sistem kayıp oranları %9 ile %20 arasında olan şirketler ikinci grupta ve son olarak %20'den büyük sistem kayıp oranlarına sahip olan şirketler ise üçüncü grupta yer almaktadır. Gruplar belirlenirken, çok yüksek sistem kayıplarına (%20'nin üzerinde) sahip şirketler üçüncü grup olarak belirlenmiş, geriye kalan ve birbirine yakın değerlerde sistem kayıp oranına sahip şirketler için, oranların ortalaması alınarak yaklaşık %9'luk bir değer elde edilmiştir. Elde edilen bu değer birinci ve ikinci grubu ayıran sınır değer olarak kullanılmıştır. Birinci grupta 7, ikinci grupta 10 ve üçüncü grupta 3 adet şirket yer almaktadır.

Şirketler, sistem kayıp oranına göre gruplandıktan sonra analiz için gereken kriterler belirlenmiştir. Kullanılan kriterler Tablo 5.21'de gösterilmektedir. Bu uygulama için, bu bölümün ilk kısmında yer alan ve Karar Destek sistemi'nde performans değerlendirmesine yönelik olarak yapılan, elektrik dağıtım şirketlerinin etkinliklerinin Veri Zarflama Analizi ile değerlendirildiği Elektrik Sanayi Uygulaması için Türkiye Elektrik Dağıtım A.Ş (TEDAŞ)'nden 2006 yılına yönelik elde edilen verilerden

yararlanılmaktadır. Hizmet alanı kriteri için, TEDAŞ'tan elde edilen ve şirketlerin elektrik dağıttığı köy ve belde sayısını gösteren veriden yararlanılmıştır.

Tablo 5.21 – Utadis Uygulaması Değerlendirme Kriterleri

	Değerlendirme Kriteri
1	Hizmet Alanı
2	Personel Sayısı
3	Abone Sayısı
4	Hat Uzunluğu (km)
5	Harcama (YTL)
6	Dağıtım (MWh)

Elektrik şirketlerinin yer alacağı ilk gruplar ve analizde kullanılacak değerlendirme kriterleri belirlendikten sonra Karar Destek Sistemi'nde 20 adet alternatif ve 6 adet kriter için UTADIS uygulaması gerçekleştirilmiştir. Analizde, UTADIS uygulaması için belirlenmesi gereken parametrelerden olan alt aralık sayısı 5 olarak alınmıştır. Yapılan uygulama sonucu elde edilen sonuç raporu Tablo 5.22'de gösterilmektedir. Karar Destek Sistemi'nin UTADIS model tabanının rapor arayüzü, analizle ilgili genel bilgileri (Kriter Sayısı, Alternatif Sayısı, Alt Aralık Sayısı ve Belirlenen Grup Sayısı) verdikten sonra alternatiflerin yer aldıkları grupları, her bir alternatifin global fayda değerlerini, alternatiflerin gruplama hatası değerlerini ve fayda eşiklerini gösterecek şekilde tasarlanmıştır. Sonuç raporunda ayrıca, kriterler için elde edilen ağırlık değerleri de yüzde gösterimi biçiminde yer almaktadır.

Tablo 5.22'ye bakıldığında grupları ayıran eşik değerlerinin 0,6101 ve 0,4937 olarak elde edildiği görülmektedir. Buna göre, 0-1 ölçeğinde global fayda değeri 0,6101'den büyük olan alternatifler birinci grupta, global fayda değeri 0,4937 ile 0,6101 arasında yer alan alternatiflerin ikinci grupta ve global fayda değeri 0,4937'den düşük alternatiflerin üçüncü grupta yer almaları gerekmektedir. Bazı alternatifler için hata değerleri 0'dan farklı değerler olarak elde edilmiştir. Bu alternatifler, elde edilen global fayda değerleri ışığında bakıldığında, sistem kayıp oranına göre belirlenen gruplara ait değildir.

Tablo 5.22 – Elektrik Dağıtım Şirketleri UTADIS Uygulaması Sonuç Raporu

SONUÇ RAPORU					
Teknik	UTADIS				
Kriter Sayısı	6				
Alternatif Sayısı	20				
Grup Sayısı	3				
Alt Aralık Sayısı	5				
Fayda Değerleri ve Skorları					
Alternatifler	Gruplar	Fayda Skorları	+ Hata	- Hata	Eşikler
GEDİZ EDAŞ	1	0,7394	0		0,6101
MENDERES EDAŞ	1	0,6102	0		0,4937
OSMANGAZİ EDAŞ	1	0,6102	0		
MERAM EDAŞ	1	0,6102	0		
ÇAMLIBEL EDAŞ	1	0,4710	0,1392		
ULUDAĞ EDAŞ	1	0,6273	0		
AKDENİZ EDAŞ	1	0,6102	0		
GÖKSU EDAŞ	2	0,4938	0	0	
TRAKYA EDAŞ	2	0,4938	0	0	
YEŞİLIRMAK EDAŞ	2	0,6102	0	0	
BAŞKENT EDAŞ	2	0,8075	0	0,1975	
SAKARYA EDAŞ	2	0,6100	0	0	
AYEDAŞ	2	0,3690	0,1249	0	
TOROSLAR EDAŞ	2	0,7601	0	0,1501	
FIRAT EDAŞ	2	0,4836	0,0102	0	
BOĞAZİÇİ EDAŞ	2	0,6100	0	0	
ÇORUH EDAŞ	2	0,4938	0	0	
ARAS EDAŞ	3	0,4078		0	
DİCLE EDAŞ	3	0,6102		0,1166	
VANGÖLÜ EDAŞ	3	0,2424		0	
Kriter Ağırlıkları					
Hizmet Alanı	24,22%				
Personel Sayısı	0,00%				
Abone Sayısı	5,96%				
Hat Uzunluğu	0,00%				
Harcama	14,81%				
Dağıtım	55,01%				

Çamlıbel, Başkent, Ayedaş, Toroslar, Fırat ve Dicle şirketleri için pozitif veya negatif hata değerlerinden birisi 0'dan farklıdır. Bu şirketler, global fayda değerlerine göre analizin başında belirlenen gruplamada yer aldıkları gruba ait değillerdir. Çamlıbel EDAŞ için global fayda değeri 0,4710 olarak elde edilmiştir. Bu değer, üçüncü grubun

eşik değeri olan 0,4937 değerinden küçük olduğu için Çamlıbel EDAŞ global fayda skoruna göre üçüncü grupta yer almalıdır. Bu şirketin, sistem kayıp oranına göre belirlenen grubu ise birinci gruptur. Bu duruma göre, sistem kayıp oranına göre birinci grupta belirlenen Çamlıbel EDAŞ, değerlendirme kriterlerinin tümü dikkate alındığında üçüncü grupta yer alması gereken bir alternatiftir. Benzer bir şekilde, Dicle EDAŞ için global fayda skoru 0,6102 olarak elde edilmiştir. Bu değer, birinci grubun eşik değeri olan 0,6101'in üzerindedir. Bu yüzden Dicle EDAŞ birinci gruba aittir. Ancak, sistem kayıp oranına göre bu şirket üçüncü grupta yer almaktadır.

Hata skorları ve eşik değerleri ışığında toplamda altı adet alternatifin sınıflandırma hatasına maruz kaldığı gözlemlenmektedir. Çamlıbel EDAŞ birinci grupta değil, üçüncü grupta; Başkent EDAŞ ikinci grupta değil birinci grupta; Ayedaş ikinci grupta değil üçüncü grupta; Toroslar EDAŞ ikinci grupta değil birinci grupta; Fırat EDAŞ ikinci grupta değil üçüncü grupta ve Dicle EDAŞ üçüncü grupta değil birinci grupta yer almalıdır. Sistem kayıp oranı çok yüksek olmayan ve bu kritere göre yapılan sınıflamada orta sınıfta yer alan Ayedaş ve Fırat dağıtım şirketleri, değerlendirme kriterleri de dikkate alındığında bir kademe daha aşağıdaki grupta yer almalıdır. Benzer bir şekilde, orta grupta yer alan Başkent ve Toroslar dağıtım şirketleri, değerlendirme kriterleri açısından ele alındığında bir üst grupta yer alması gereken şirketler olarak karşımıza çıkmaktadır.

Uygulamanın bir sonraki adımı, sonuç raporunda yer alan yukarıdaki sonuçlar ışığında modelin tahmin gücünün hesaplanmasıdır. Tahmin gücünün hesaplanması için, gruplamada hata değeri 0'dan farklı olan alternatif sayılarına bakılır. Burada, fazla tahmin hatası $\sigma^+(a)$ ve eksik tahmin hatası $\sigma^-(a)$ olmak üzere iki tip hatadan söz etmek mümkündür. UTADIS uygulamaları için, fazla tahmin hatası birinci tip hatayı, eksik tahmin hatası ikinci tip hatayı temsil etmektedir (Zopounidis ve Doumpos, 1999). Modelin toplam hatası bu iki tip hatanın toplamına eşittir. Modelin hata yüzdeleri Tablo 5.23'te gösterilmektedir.

Tablo 5.23'te yer alan birinci tip hata, aslında daha düşük bir sınıfta yer almaları gerektiği halde, sınıflamada, yer alması gereken gruptan üst gruplarda yer alan alternatiflerin bütün alternatifler içindeki yüzdesini göstermektedir.

Tablo 5.23 – UTADIS Modeli Hata Yüzdeleri

	Hata yüzdesi
Birinci Tip Hata	%15
İkinci Tip Hata	%15
Toplam Hata	%30

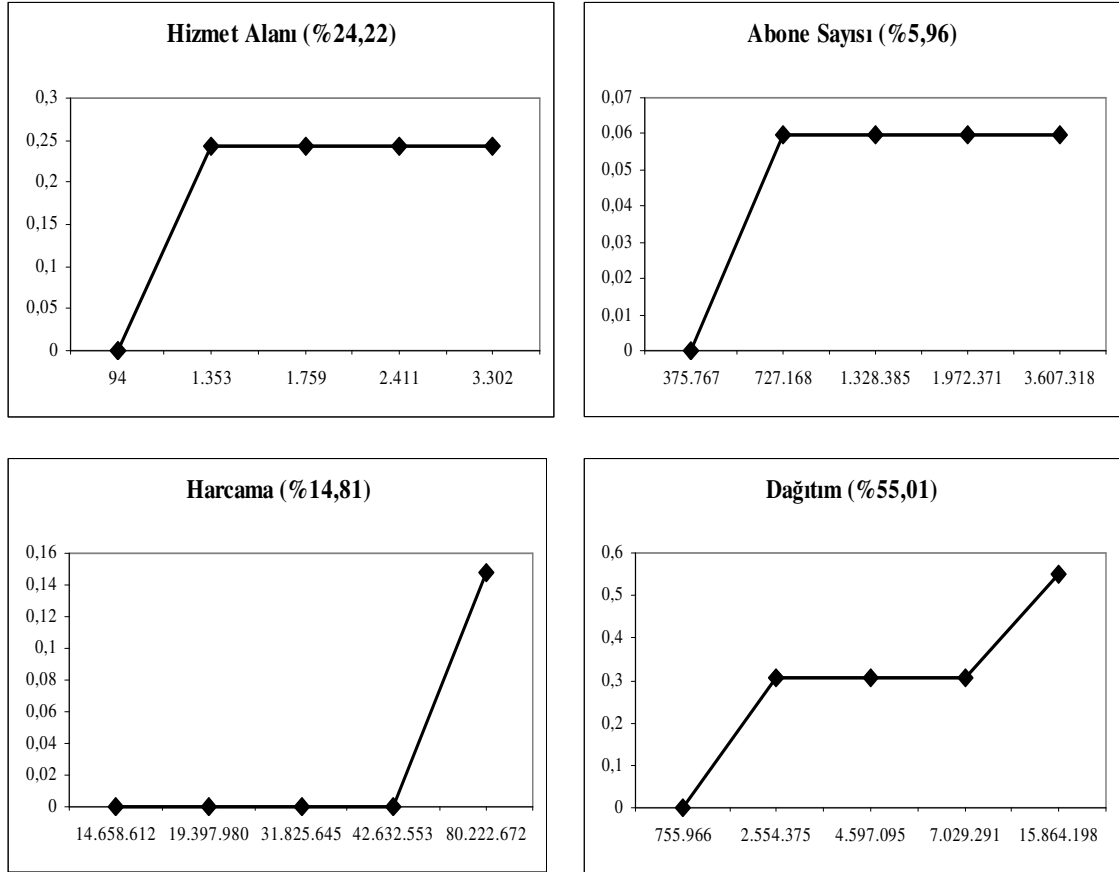
Başka bir ifadeyle, birinci tip hatada yer alan alternatifler, fazla tahmin hatası yapılan alternatiflerdir. İkinci tip hata ise eksik tahmin hatasını ifade etmekte ve daha üst bir grupta yer alması gereken alternatiflerin yüzdesini ifade etmektedir. Bu uygulamada 20 adet alternatiften 3 tanesi fazla tahmin hatası ile, 3 tanesi de eksik tahmin hatası ile sınıflandırılmıştır. Modelin toplam hatası %30 oranındadır. Bu durumda, bu uygulamada kurulan ve çalıştırılan UTADIS modelinin tahmin gücünün % 70 oranında olduğu söylenebilir.

UTADIS sonuç raporu fayda değerleri ve skorlarının yanısıra, analizde yer alan kriterlerin önem ağırlıklarını da sunmaktadır. Tablo 5.22'nin alt kısmında yer alan kriter ağırlıklarına bakıldığında personel sayısı ve hat uzunluğu kriterlerinin önem ağırlıklarının %0 olduğu görülmektedir. Bu durum, bahsedilen kriterlerin, gruplamayı açıklamada herhangi bir etkisi olmadığını göstermektedir. En yüksek ağırlığa sahip kriter %55,01 ile elektrik dağıtım miktarı kriteridir. Sırasıyla, hizmet alanı (%24,22), harcama (%14,81) ve abone sayısı (%5,96) kriterleri, dağıtım kriterini izlemektedir.

Uygulamada, sonuç raporunda yer alan bilgilerin yanısıra, analizde kullanılan kriterlerin marjinal ağırlıkları da elde edilerek yorumlanmaktadır. Karar Destek sistemi'nde modelin kurularak çözüldüğü sayfadan, kriter ağırlıklarının marjinal değerleri ile alt aralıklar için belirlenen kesim noktası değerleri alınarak, kriterlerin marjinal

ağırlıklarının grafik gösterimi çıkarılmıştır. Önem ağırlığı 0'dan farklı olan dört kriter için marjinal kriter ağırlığı grafikleri Şekil 5.7'deki gibi elde edilmiştir.

Şekil 5.7 – UTADIS Uygulamasında Yer Alan Kriterlerin Marjinal Faydaları



Şekil 5.7'e bakıldığında, önem ağırlığı 0'dan farklı olan kriterler için, marjinal ağırlıkları gösteren grafikler görülmektedir. Grafiklerin yatay eksenleri, ilk durumda analizde belirlenen alt aralıkların kesim noktalarını ifade etmektedir. Dikey eksenlerde ise önem ağırlıkları yer almaktadır. Örneğin; hizmet alanı kriteri için önem ağırlığının %24,22 olduğu alternatif değerleri 1.353 ve üzeridir. Başka bir deyişle, hizmet alanı kriter değeri 1.353'ten büyük dağıtım şirketleri, bu kriterin önem ağırlığının %24,22 olmasını sağlamaktadır. Benzer bir şekilde, harcama kriterinin önem ağırlığı yalnızca harcamaları 42.632.553'ten büyük olan şirketler için %14,81'dir. Dağıtım kriteri için bakıldığında, kriter değeri 2.554.375 ile 7.029.291 arasında yer alan alternatifler için bu kriterin ağırlığı %30 civarındadır. Kriter değeri 2.554.375 ile 7.029.291 arasında yer

alan alternatifler bu kriterin ağırlığının %30'luk kısmına etki etmektedir.%55'lik ağırlık ise dağıtım değeri 7.029.291'den büyük alternatiflerin etkisiyle oluşmaktadır. Grafikler, alternatiflerin kriter değerlerinin kriter ağırlıklarına etkisini göstermeleri bakımından önemlidir. Kriterin önem ağırlığının aldığı nihai değer, sonuç raporunda o kriterin önem ağırlığı olarak gösterilmektedir.

Elektrik dağıtım birimlerinin sistem kayıp oranlarına göre gruplanarak, çeşitli kriterler açısından UTADIS tekniği ile değerlendirildiği bu uygulama Karar Destek Sistemi'nin örnek olay tabanının son ögesidir. Bu uygulama ile sistemin UTADIS model tabanı da test edilerek örnek olay tabanı tamamlanmış olmaktadır.

SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Tüm dünyada, özellikle 1970 ve 1980'lerden sonra, enerji kaynaklarının sonsuz olmadığı ve artan enerji kullanımının çevreye olan etkileri konularında artan bir bilinç oluşmuştur. Bu durum, akademik çevrelere de etki etmiş ve Enerji ve Çevre konusunda yapılan çalışmaların sayısının her geçen gün artmasına neden olmuştur. Bütün sektörlerde olduğu gibi enerji endüstrisinde de planlama, yüksek öneme sahip konulardan biridir. Enerjinin etkin bir şekilde üretilmesi, üretilen enerjinin verimli kullanılması ve enerji kullanımının çevreye verdiği zararların yönetebilmesi gibi konuların tümü uygun bir planlama yaklaşımının sağlanmasına dayanmaktadır.

Türkiye'deki enerji endüstrisinin en büyük eksiklerinden birinin planlama olduğu gerçeği, 2007 yılında Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi tarafından enerji sektörünün 2005-2006 yıllarına ilişkin değerlendirilmesine yönelik hazırlanan raporda vurgulanmaktadır. Raporda, sektörün temel sorunlarından birinin sektör hizmetlerinin verimliliğini sağlayacak nitelikte doğru ve gerçek verilere dayalı bir planlama yaklaşımının benimsenmeyişi olduğu belirtilmektedir. Enerji ve Çevre konularına tüm dünyada artarak verilen önem ve Türkiye enerji sektörünün temel sorunlarından biri olarak karşımıza çıkan planlama eksikliği bu çalışmanın temel çıkış noktaları olmuştur. Mevcut performansın değerlendirilmesi ve karar verme planlamanın temel öğeleri arasında yer almaktadır.

Çalışma kapsamında enerji sektörüne yönelik olarak Performans Değerlendirmesi ve Karar Analizi tekniklerinden oluşan bir Karar Destek Sistemi geliştirilerek, sistemde Türkiye enerji sektörüne yönelik çeşitli uygulamalar yapılmıştır. Karar Destek Sistemi genel olarak, çalışma kapsamında detayları ile açıklanan aşağıda sıralanan beş temel bileşenden oluşmaktadır:

- 1) Kullanıcı Arayüzü (Formlar)
- 2) Model Tabanı (Teknikler)
- 3) Veri Tabanı (Problem tipleri ve parametreleri)
- 4) Rapor Arayüzü (Sonuçların kullanıcıya gösterimi)

5) Örnek Olay Tabanı (Uygulamalar)

Model tabanında, Performans Değerlendirmesi ve Karar Analizi'ne yönelik çeşitli teknikler detayları ile incelenerek, modellenmiştir. Sistemin model tabanında, Performans Değerlendirmesine yönelik olarak Veri Zarflama Analizi ve Ölçüt Odaklı Veri Zarflama Analizi; Karar Vermeye yönelik olarak ise ELECTRE (*Elimination and Choice Translating Reality*), PROMETHEE (*Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation*), PROMETHEE – GDSS (*PROMETHEE – Group Decision Support System*) ve UTADIS (*Utilities Additives Discriminantes*) teknikleri yer almaktadır.

Sistemin veri tabanında ise, Enerji ve Çevre konularında yapılan çalışmaların detaylı olarak incelendiği literatür araştırmasının sonuçlarına dayanan çeşitli problem tipleri ve parametreleri yer almaktadır. Model tabanında yer alan tekniklerin belirlenmesinde de yapılan literatür araştırmasının bulgularından yararlanılmıştır. Model tabanı ve veri tabanı bileşenlerinin tamamlanmasından sonra, sistemin kullanıcı arayüzü ve rapor arayüzü bileşenleri tasarlanarak sistem çeşitli tekniklerle, çeşitli problem tiplerine yönelik analizlerin yapılabilirdiği ve sonuçların raporlar şeklinde kullanıcıya sunulduğu bir yapıya büründürülmüştür.

Sistemin hazırlanmasından sonra, aşağıda sıralanan beş adet uygulama yanlarında yer alan teknikler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu uygulamalar sistemin örnek olay tabanını oluşturmaktadır. İlk iki uygulama (elektrik sanayi ve enerji verimliliği) Performans Değerlendirmesine yönelik olarak gerçekleştirilirken, hidroelektrik santral, rüzgar santrali ve elektrik dağıtım şirketleri uygulamaları Karar Analizi'ne yönelik olarak gerçekleştirilmiştir.

- 1) Elektrik Sanayi Uygulaması (Veri Zarflama Analizi).
- 2) Enerji Verimliliği Uygulaması (Veri Zarflama Analizi).
- 3) Hidroelektrik Santral Projelerinin Değerlendirilmesi (ELECTRE III).
- 4) Rüzgar Santral Projelerinin Değerlendirilmesi (PROMETHEE).
- 5) Elektrik Dağıtım Şirketlerinin Gruplanması (UTADIS).

Örnek olay tabanında yer alan Performans Değerlendirmesi uygulamalarından ilki olan elektrik sanayi uygulamasında Türkiye’de yer alan elektrik dağıtım şirketlerinin çeşitli girdi ve çıktılar açısından etkinlikleri, Veri Zarflama Analizi ve Ölçüt Odaklı Veri Zarflama Analizi teknikleri ile değerlendirilmekte ve sonuçları yorumlanmaktadır. 5 girdi ve 2 çıktı kullanılarak girdi odaklı olarak gerçekleştirilen analizlerde, girdi odaklı ölçeğe göre sabit getirili modelde 9 adet şirket etkin sınırdan yeri aldığı tespit edilmiştir. Ölçeğe göre değişken getirili modelde ise etkin sınırdan yeri alan şirket sayısının 16’ya yükseldiği gözlemlenmektedir. Standart Veri Zarflama Analizi uygulamasından sonra şirketler Ölçüt odaklı modele göre değerlendirilmiştir. Burada, ölçeğe göre sabit getirili modelde 8 adet şirketin etkin sınırdan yeri aldığı tespit edilmiştir. Girdi odaklı ve ölçeğe göre sabit getirili modelde elde edilen sonuçla kıyaslandığında Toroslar dağıtım şirketinin ölçüt odaklı modellerde etkin sınırın dışında kaldığı gözlemlenmektedir. Bu durumun nedeni olarak, bu şirketin benzer miktarda çıktıyı yüksek değerde bir hat uzunluğu ile sağlaması gösterilmiştir. Benzer şekilde, ölçüt odaklı olarak elde edilen sonuçlar ile girdi odaklı olarak elde edilen sonuçlar kıyaslanarak bazı şirketler için etkinsizliğin kaynakları belirlenmiştir. Uygulamada daha sonra, ölçüt odaklı modelde elde edilen hedef değerler yüzde oran şeklinde listelenmekte ve yorumlanmaktadır. Bu uygulamanın son aşaması olarak ise, yine ölçüt odaklı analizin sonuçları kullanılarak, şirketlerin yeri aldığı coğrafi bölgeler için etkinlik skorları elde edilmiştir. Buna göre, ölçeğe göre sabit getirili modelde, Karadeniz bölgesinin, ölçeğe göre değişken getirili modelde ise Ege, Karadeniz ve Marmara bölgelerinin etkin sınırdan oldukları belirlenmiştir.

Örnek olay tabanının Performans Değerlendirmesine yönelik olarak gerçekleştirilen ikinci uygulaması olan Enerji Verimliliği uygulamasında ise Türkiye imalat sanayisinin, sanayi gruplarının girdi olarak enerji kullanımı değişkenleri, çıktı olarak ise ürettikleri katma değer kullanılarak enerji verimlilikleri değerlendirilmiştir. Türkiye İstatistik Kurumu’ndan elde edilen veriler ile gerçekleştirilen analizler, ilk uygulamada olduğu gibi önce girdi odaklı olarak sabit ve değişken getirili biçimde; daha sonra ölçüt odaklı olarak sabit ve değişken getirili biçimde gerçekleştirilerek sonuçlar yorumlanmıştır. Girdi odaklı ölçeğe göre sabit getirili modele göre . Gıda, içki ve tütün sanayi grubunun devlet sektörü , Kimya - petrol, kömür, kauçuk ve plastik ürünleri sanayi grubunun

devlet sektörü ve Metal eşya - makine teçhizat, ulaşım aracı, ilmi ve mesleki ölçme aletleri sanayi grubunun özel sektörü enerji verimliliği açısından etkin sınırı oluşturmaktadır. Ölçeğe göre değişken getirili modelde ise etkin sınırda yer alan sektör grubu sayısı 6'ya yükselmektedir. Ölçüt odaklı olarak gerçekleştirilen analizlerde de girdi odaklı modellerle aynı sektörlerin etkin sınırda yer aldıkları gözlemlenmiştir. Uygulamada daha sonra ölçüt odaklı modelde elde edilen hedef değerler listelenerek sektörlerin etkin sınıra gelebilmeleri için girdi ve çıktılarda gerçekleşmesi gereken değişimler yorumlanmaktadır.

Örnek Olay tabanının ikinci bileşeni ise Karar Analizi teknikleri ile yapılan uygulamalardan oluşmaktadır. Bunlardan birincisi, 2006 yılında proje teklifi verilmiş olan Hidroelektrik santral projelerinin çeşitli kriterler açısından ELECTRE III tekniği ile sıralandığı uygulamadır. Uygulamada Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü'nden değerleri elde edilen 6 adet kriter kullanılarak 13 adet proje sıralanmaktadır. Karar Destek Sistemi aracılığı ile elde edilen artan ve azalan sıralamaların kesişimleri ele alınarak projeler için toplam sıralama elde edilmiştir.

Örnek olay tabanının Karar Analizi kısmında yer alan bir diğer uygulama ise, Kastamonu yöresine ait 2007 yılında verilen Rüzgar Santrali projelerinin PROMETHEE tekniği ile çeşitli kriterler ile değerlendirildiği uygulamadır. Kastamonu yöresi için verilen 7 adet rüzgar santrali projesi, Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü'nden değerleri elde edilen 5 adet kriter kullanılarak PROMETHEE I ve PROMETHEE II teknikleri kullanılarak sıralanmaktadır. Uygulamada, Karar Destek Sistemi vasıtası ile elde edilen pozitif üstünlük ve negatif üstünlük skorları kullanılarak PROMETHEE I kısmi sıralaması ve net üstünlük skorları kullanılarak PROMETHEE II tam sıralaması elde edilmiştir.

Örnek olay tabanının son uygulamasını ise Türkiye'de yer alan elektrik dağıtım şirketlerinin, çeşitli kriterler açısından UTADIS tekniği ile gruplanması oluşturmaktadır. Uygulamada, Türkiye'de yer alan 20 adet dağıtım şirketi sistem kayıp oranlarına göre gruplanarak 6 adet kriter için bu grupların eşik değerleri ve gruplandırma hata değerleri Karar Destek sistemi vasıtası ile elde edilmiştir. Buna göre,

6 adet şirket için hata değerleri sıfırdan farklı olarak elde edilmiş ve bu altı şirketin belirlenen ilk gruptan farklı gruplarda yer alması gerekliliği tartışılmıştır. Modelin hata değerleri, uygulama kapsamında elde edilen bir başka unsurdur. Buna göre, uygulamada kullanılan ve sistem kayıplarının baz alındığı gruptan tahmin gücü %70 olarak elde edilmiştir. Bunlardan başka, analizde kullanılan kriterlerin önem ağırlıkları da belirlenmiştir. Dağıtım miktarı kriteri % 55,01 ağırlık ile gruplandırmada en büyük etkiye sahip kriter olarak tespit edilmiştir. Ayrıca, kriterlerin marjinal önem ağırlık değerleri grafik olarak gösterilerek değer aralıklarında, kriterlerin aldığı ağırlık değerleri yorumlanmıştır.

Çalışma kapsamında geliştirilen Karar Destek Sistemi birden fazla tekniği ve literatürde kullanılan Enerji ve Çevre konusuyla ilişkili problem tipleri ile parametrelerini bir araya getirmesi bakımından önemlidir. Veri Zarflama Analizi ve Karar Analizi tekniklerini kullanarak üretim planlaması gerçekleştirilen matematiksel programlama tabanlı Karar Destek Sistemlerine literatürde sıklıkla rastlanabilmektedir. Ancak, Veri Zarflama Analizi ve türevleri ile Karar Analizi tekniklerini bir araya getirmesi açısından bu çalışma bir yenilik arz etmektedir.

Çalışma, literatürde az uygulamaya sahip UTADIS tekniğinin sistemde yer alması ve Türkiye enerji sektöründe uygulamasının gerçekleştirilmesi bakımından çalışma bir ilki temsil etmektedir. ELECTRE ve PROMETHEE gibi alternatiflerin kriterler altındaki skorlarını önceden tanımlı bir metodoloji doğrultusunda rasyonalize etmeye yarayan tekniklerin yanı sıra, önceden tanımlı bir metodoloji yerine hataları minimize eden optimal bir gruplama yaklaşımı olan UTADIS tekniğinin yer alması sistemin çeşitliliğine katkı sağlamaktadır. Benzer bir şekilde, literatürde sıklıkla uygulamalarına rastlanabilen Veri Zarflama Analizi'nin, yeni bir boyutu olan Ölçüt Odaklı Veri Zarflama Analizi yaklaşımının sistemde yer alması ve bu yaklaşıma yönelik Türkiye uygulamalarının gerçekleştirilmesi açısından da bir yenilik getirilmektedir.

Yapılan gözlemlerde, Türkiye enerji sektöründe planlamaya yönelik olarak genellikle rasyo analizine dayalı skorlama yöntemlerinin kullanıldığı tespit edilmiştir. Bu noktadaki temel problem, değerlendirmenin büyük çoğunlukla karar vericinin

yargılarına dayanıyor olmasıdır. Bu çalışma, gerek model tabanında, gerek veri tabanında ve gerekse örnek olay tabanındaki çeşitlilik ve sürece dayalı yaklaşımla karar verme sürecini daha analitik ve standartizasyonun yüksek olduğu bir boyuta taşımaktadır.

Sistem, sektörde karşılaşılabilecek muhtemel farklı problemler için farklı modellerin kullanılabileceği bir yapıdadır. Sistemin temel özelliklerinden biri, gelişmeye açık ve esnek bir yapıda olmasıdır. Model tabanında, her bir teknik ayrı modüller olarak yer almaktadır. Bu özelliği ile model tabanı, yeni tekniklerin eklenmesine uygun bir yapıdadır. Model tabanının, matematiksel programlama tekniklerini içerecek şekilde genişletilmesi ve kullanılan tekniklerde stokastik süreçlerin de yapıya dahil edilmesi, çalışmanın ilerleyen araştırma yönü olarak düşünülebilir.

Karar Destek Sistemi geliştirildikten sonra, örnek olay tabanı adı altında gerçekleştirilen uygulamalar, sistemin işleyişini ve yer alan tekniklerin uygulanışını göstermesi açısından önemlidir. Gerçekleştirilen uygulamalar Türkiye enerji sektörü açısından yenilik arz etmektedir. Örnek olay tabanı da gelişmeye açık bir yapıdadır. Enerji sektöründe gerçekleştirilecek yeni uygulamalarla örnek olay tabanı genişletilebilir.

KAYNAKÇA

- ATHERTON, E., FRENCH, S. (1998). “Valuing the future: a MADA example involving nuclear waste storage”. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*. 7, 304–21.
- BAGDADIOGLU, N., WADDAMS PRICE, C.M., WEYMAN-JONES, T.G., (1996). “Efficiency and ownership in electricity distribution: a non-parametric model of the Turkish experience”. *Energy Economics* 18, 1-23.
- BANKER, R.D., CHARNES, A., COOPER, W.W. (1984). “Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis”. *Management Science*. 30, 1078– 1092.
- BANKER, R.D., MOREY, R.C. (1986). “Efficiency analysis for exogenously fixed inputs and outputs”. *Operations Research* 34, 4, 513–521.
- BECCALI, M., CELLURA, M., ARDENTE, D. (1998). “Decision making in energy planning: the ELECTRE multicriteria analysis approach compared to a fuzzy-sets methodology”. *Energy Conversion and Management*. 39, 16–8.
- BECCALI, M., CELLURA M., MISTRETTA M. (2003). “Decision-making in energy planning: application of the ELECTRE method at regional level for the diffusion of renewable energy technology”. *Renewable Energy*. 28, 2063–87.
- BENAYOUN, R., ROY, B., SUSSMAN, B. (1966). “ELECTRE: Une méthode pour guider le choix en présence de points de vue multiples”. *Note de travail 49, SEMA-METRA International, Direction Scientifique*.
- BOYD, G.A., MCCLELLAND, J.D. (1999). “The impact of environmental constraints on productivity improvement in integrated paper plants”. *Journal of Environmental Economics and Management* 38, 121–142.

- BOYD, G.A., TOLLEY, G., PANG, J. (2002). "Plant level productivity, efficiency, and environmental performance of the container glass industry". *Environmental and Resource Economics*. 23, 29–43.
- BRANS J.P., VINCKE PH., MARESCHAL B. (1986). "How to select and how to rank projects: the PROMETHEE method". *European Journal of Operational Research*. 24, 228–38.
- BRANS, J.P., MARESCHAL, B. (1992). "Promethee-V – MCDM problems with segmentation constraints". *Infor*, 30(2):85–96.
- BRANS, J.P., MARESCHAL, B. (1995). "The PROMETHEE VI procedure. How to differentiate hard from soft multicriteria problems". *Journal of Decision Systems*. 4:213–223.
- BRANS, J.P., MARESCHAL, B. (2005) "PROMETHEE Methods". In: Figueira, J, Greco, S, Ehrgott, M (Eds.), *Multiple Criteria Decision Analysis - State of the Art Surveys*, Springer, New York. pp. 163-195.
- BURNETT, W.M., MONETTA, D.J., SILVERMAN, B.G. (1993). "How the gas research institute (GRI) helped transform the US natural gas industry". *Interfaces*. 23(1), 44–58.
- CHARNES, A., COOPER, W.W., RHODES, E. (1978). "Measuring the efficiency of decision making units". *European Journal of Operational Research*. 2, 429–444.
- CHAUHAN, N.S., MOHAPATRA, P.K.J., PANDEY, K.P. (2006). "Improving energy productivity in paddy production through benchmarking – an application of data envelopment analysis". *Energy Conversion and Management*. 47, 1063–1085. 38

- COOK, W.D., GREEN, R.H. (2005). "Evaluating power plant efficiency: A hierarchical model". *Computers & Operations Research*. 32, 813–823.
- COURCELLE, C., INSTALLE, M., KESTEMONT, M.-P., TYTECA, D. (1998). "Assessing the economic and environmental performance of municipal solid waste management". *Waste Management & Research*. 16, 253-262.
- DAĞDEVİREN, M., ERASLAN, E. (2008). "Promethee Sıralama Yöntemi ile Tedarikçi Seçimi". *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. Cilt* 23, No 1. 69-75.
- DARGAM, F.C.C., PERZ, E.W. (1998). "A decision support system for power plant design". *European Journal of Operational Research*. 109:310–20.
- DEVAUD, J.M., GROUSSAUD, G. AND JACQUET-LAGRÈZE, E. (1980). "UTADIS: Une méthode de construction de fonctions d'utilité additives rendant compte de jugements globaux". *European Working Group on Multicriteria Decision Aid*. Bochum.
- DIAKOULAKI, D., ZOPOUNIDIS, C., MAVROTAS, G., DOUMPOS, M. (1999). "The use of a preference disaggregation method in energy analysis and policy making". *Energy*. 24, 157–66.
- DOUMPOS, M., (2002). "Multicriteria Decision Aid Classification Methods". *Secaucus, NJ, USA: Kluwer Academic Publishers*. 94.
- DUNNING, D.J., LOCKFORT, S., ROSS, Q.E., BECCUE, P.C., STONEBRAKER, J.S. (2001). "New York power authority uses decision analysis to schedule refueling of its Indian point 3 nuclear power plant". *Interfaces*. 31(5), 121–35.
- DÜNYA ENERJİ KONSEYİ TÜRK MİLLİ KOMİTESİ (2007). "2005-2006 Türkiye Enerji Raporu". Ankara.

- EDVARDBSEN, D.F., FØRSUND, F.R. (2003). "International benchmarking of electricity distribution utilities". *Resource and Energy Economics*. 25, 353–371.
- FARE, R., GROSSKOPF, S., LOGAN, J. (1985). "The relative performance of publicly-owned and privately-owner electric utilities". *Journal of Public Economics*. 26, 89–106.
- FARE, R., GROSSKOPF, S., TYTECA, D. (1996). "An activity analysis model of the environmental performance of firms: Application to fossil fuel-fired electric utilities". *Ecological Economics*. 18, 161–175.
- FARE, R., GROSSKOPF, S., HERNANDEZ-SANCHO, F. (2004). "Environmental performance: An index number approach". *Resource and Energy Economics*. 26, 343–352.
- FARRELL, M.J. (1957). "The measurement of productive efficiency". *Journal of the Royal Statistical Society, Series A (General)*. 120, 253–281.
- FIGUEIRA, J., MOUSSEAU V., ROY, B. (2005). "Electre Methods". In: *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys*, (Eds., J. Figueria, S., Greco, M. Ehrgott), Springer Verlag, Boston, Dordrecht, London. 133-162.
- FØRSUND, F.R., KITTENSEN, S.A.C. (1998). "Productivity development of Norwegian electricity distribution utilities". *Resource and Energy Economics*. 20, 207–224.
- GEORGOPOULOU, E., LALAS, D., PAPAGIANNAKIS L. (1997). "A multicriteria decision aid approach for energy planning problems: the case of renewable energy option". *European Journal of Operational Research*. 103, 38–54.
- GEORGOPOULOU, E., SARAFIDIS, Y., MIRASGEDIS, S., ZAIMI, S., LALAS, D.P. (2003). "A multiple criteria decision-aid approach in defining national priorities for

- greenhouse gases emissions reduction in the energy sector”. *European Journal of Operational Research*. 146, 199–215.
- GOLANY, B., ROLL, Y., RYBAK, D. (1994). “Measuring efficiency of power plants in Israel by data envelopment analysis”. *IEEE Transactions on Engineering Management*. 41, 291–301.
- GOTO, M., TSUTSUI, M. (1998). “Comparison of productive and cost efficiencies among Japanese and US electric utilities”. *Omega*. 26, 177–194.
- GOUMAS, M.G., LYGEROU V.A., PAPAYANNAKIS, L.E. (1999). “Computational methods for planning and evaluating geothermal energy projects”. *Energy Policy*. 27, 147–54.
- GOUMAS, M.G, LYGEROU, V. (2000). “An extension of the PROMETHEE method for decision making in fuzzy environment: ranking of alternative energy exploitation projects”. *European Journal of Operational Research*. 123, 606–13.
- HARALAMBOPOULOS, D.A., POLATIDIS, H. (2003). “Renewable energy projects: structuring a multicriteria group decision-making framework”. *Renewable Energy*. 28, 961–73.
- HERNANDEZ-SANCHO, F., PICAZO-TADEO, A.J., REIG-MARTINEZ, E. (2000). “Efficiency and environmental regulation”. *Environmental and Resource Economics*. 15, 365–378.
- HJALMARSSON, L., VEIDERPASS, A. (1992). “Productivity in Swedish electricity retail distribution”. *Scandinavian Journal of Economics* 94 (supplement), 193–205.
- HOBBS, B.F., CHAO, P.T., VENKATESH, B.N. (1997). “Using decision analysis to include climate change in water resources decision making”. *Climatic Change*. 37, 77–202.

- HOKKANEN, J., SALMINEN, P. (1997). "ELECTRE III and IV decision aids in an environmental problem". *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*. 6, 215–26.
- HU, J.L., KAO, C.H. (2007). "Efficient energy-saving targets for APEC economies". *Energy Policy*. 35, 373–382.
- HU, J.L., WANG, S.C. (2006). "Total-factor energy efficiency of regions in China". *Energy Policy*. 34, 3206–3217.
- HUANG, C.L, YOON, K. (1981). "Multi attribute decision making: methods and applications". *New York: Springer-Verlag*.
- HUANG, J.P., POH K.L., ANG B.W. (1995). "Decision analysis in energy and environmental modeling". *Energy*. 20, 843–855.
- JACQUET-LAGRÈZE, E. AND SISKOS, Y. (1982). "Assessing a set of additive utility functions for multicriteria decision making, the UTA method". *European Journal of Operational Research*. 10, 151–164.
- JACQUET-LAGRÈZE, E. (1995). "An application of the UTA discriminant model for the evaluation of R & D projects". In P.M. Pardalos, Y. Siskos, C. Zopounidis (eds.), *Advances in Multicriteria Analysis*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. 203–211.
- JAMASB, T., POLLITT, M. (2001). "Benchmarking and regulation: International electricity experience". *Utilities Policy*. 9, 107–130.
- JAMASB, T., POLLITT, M. (2003). "International benchmarking and regulation: An application to European electricity distribution utilities". *Energy Policy*. 31, 1609–1622.

- KABLAN, M.M. (2004). "Decision support for energy conservation promotion: an analytic hierarchy process approach". *Energy Policy*. 32,1151–8.
- KALU, T. CH. U. (1998). "Domestic petroleum-related expertise utilization and Nigeria's oil industrial survival: a multicriteria decision analysis". *European Journal of Operational Research*. 110, 457–73.
- KEENEY, R.L, RAIFFA, H. (1976). "Decisions with multiple objectives: preference and value tradeoffs". *New York: Wiley*.
- KELLY, M., THORNE, M.C. (2001). "An approach to multi-attribute utility analysis under parametric uncertainty". *Annals of Nuclear Energy*. 28, 875–93.
- KULSHRESHTHA, M., PARIKH, J.K. (2002). "Study of efficiency and productivity growth in opencast and unsergroud coal mining in India: A DEA analysis". *Energy Economics*. 24, 439–453.
- LAHDELMA, R, SALMINEN, P., HOKKANEN, J. (2002). "Locating a waste treatment facility by using stochastic multicriteria acceptability analysis with ordinal criteria". *European Journal of Operational Research*. 142, 45–56.
- LAM, P.L., SHIU, A. (2001). "A data envelopment analysis of the efficiency of China's thermal power generation". *Utilities Policy*. 10, 75–83.
- LINARES, P. (2002). "Multiple criteria decision making and risk analysis as risk management tools for power systems planning". *IEEE Trans Power Syst*. 17, 895–900.
- LO, F.Y., CHIEN, C.F., LIN, J.T. (2001). "A DEA study to evaluate the relative efficiency and investigate the district reorganization of the Taiwan power company". *IEEE Transactions on Power Systems*. 16, 170–178.

- LOKEN, E. (2007). "Use of multicriteria decision analysis methods for energy planning problems". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 11, 1584–1595.
- LOULOU, R., KANUDIA, A. (1999). "Minimax regret strategies for greenhouse gas abatement: methodology and application". *Operations Research Letters*. 25, 219–30.
- MACHARIS, C., BRANS, J.P., MARESCHAL B. (1998). "The GDSS PROMETHEE procedure – A PROMETHEE-GAIA based procedure for group decision support". *Journal of Decision Systems*, 7, 283–307.
- MILLS, D., VLACIC, L., LOWE, I. (1996). "Improving electricity planning-use of a multicriteria decision making model". *International Transactions in Operational Research*. 3, 293–304.
- ONUT, S., SONER, S. (2006). "Energy efficiency assessment for the Antalya Region hotels in Turkey". *Energy and Buildings*. 38, 964–971.
- PAN, J.P., TEKLU, Y., RAHMAN, S., CASTRO, A.D. (2000) "An interval-based MADM approach to the identification of candidate alternatives in strategic resource planning". *IEEE Transactions on Power Systems*. 15, 1441–6.
- POHEKAR, S.D., RAMACHANDRAN, M. (2004). "Application of multi-criteria decision making to sustainable energy planning - a review". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 8, 365–81.
- POMBO, C., TABORDA, R. (2006). "Performance and efficiency in Colombia's power distribution system: Effects of the 1994 reform". *Energy Economics*. 28, 339–369.
- RACZKA, J. (2001). "Explaining the performance of heat plants in Poland". *Energy Economics*. 23, 355–370.

- RAMANATHAN, R. (1998). "A multicriteria methodology for global negotiations on climate change". *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics–Part C: Applications and Reviews*. 28, 541–8.
- RAMANATHAN, R. (1999). "Selection of appropriate greenhouse gas mitigation options". *Global Environmental Change*. 9, 203–10.
- RAMANATHAN, R. (2001). "A note on the use of the analytical hierarchy process for environmental impact assessment". *Journal of Environmental Management*. 63, 27–35.
- RAMANATHAN, R. (2002). "Combining indicators of energy consumption and CO₂ emissions: A cross-country comparison". *International Journal of Global Energy Issues*. 17, 214–227.
- RAMANATHAN, R. (2005). "An analysis of energy consumption and carbon dioxide emissions in countries of the Middle East and North Africa". *Energy*. 30, 2831–2842.
- ROGERS, M. (2000). "Using Electre III to aid the choice of housing construction process within structural engineering". *Construction Management and Economics*. Vol. 18, 333-342(10)
- ROY, B. (1968). "Classement et choix en présence de points de vue multiples (la méthode ELECTRE)". *RIRO*, 8, 57–75.
- ROY, B. (1978). "Electre III; Algorithme de classement base sur une representation floue des preferences en presence de criteres multiples". *Cahiers de CERO*, 20(1), 3-24.
- SAATY, T.L. (1980). "The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting and Resource Allocation". *McGraw-Hill, New York*.

- SALMINEN, P., HOKKANEN, J., LAHDELMA, R. (1998). "Comparing multicriteria methods in the context of environmental problems". *Europ J Oper Res.* 104, 485–96.
- SARKIS, J., WEINRACH, J. (2001). "Using data envelopment analysis to evaluate environmentally conscious waste treatment technology". *Journal of Cleaner Production.* 9, 417–427.
- SEIFORD, L.M., THRALL, R.M. (1990). "Recent developments in DEA: The mathematical programming approach to frontier analysis". *Journal of Econometrics.* 46, 7–38.
- SISKOS, Y., YANNAKOPOULOS, D. (1985). "UTASTAR: An ordinal regression method for building additive value functions". *Investigação Operacional*, **5** (1), 39–53.
- SKAF, M.A. (1999). "Portfolio management in an upstream oil and gas organization". *Interfaces.* 29(6), 84–104.
- STEWART, T.J. (1996). "Relationships between data envelopment analysis and multicriteria decision analysis". *Journal of the Operational Research Society.* 47, 654–665.
- SUEYOSHI, T. (2000). "Stochastic DEA for restructure strategy: An application to a Japanese petroleum company". *Omega.* 28, 385–398.
- TAM, C.M., TONG, K.L., LAU C.T. (2003). "ELECTRE III in evaluating performance of construction plants: case study on concrete vibrators". *Construction Innovation.* 3, 45–61.

- TARIM, A. (2001). “Veri Zarflama Analizi: Matematiksel Programlama Tabanlı Görelî Etkinlik Ölçüm Yaklaşımı”. *Sayıstay Yayınları*. No:15.
- TIWARI, M.K., BANERJEE, R. (2001). “A decision support system for the selection of a casting process using analytic hierarchy process”. *Production Planning & Control*. 12 (7), 689–694.
- TOPCU, Y.I., ULENGİN, F. (2004). “Energy for the future: an integrated decision aid for the case of Turkey”. *Energy*. 29,137–54.
- TYTECA, D. (1997). “Linear programming models for the measurement of environmental performance of firms – concepts and empirical results”. *Journal of Productivity Analysis*. 8, 183– 197.
- TYTECA, D. (1998). “Sustainability indicators at the firm level: Pollution and resource efficiency as a necessary condition toward sustainability”. *Journal of Industrial Ecology*. 2, 61–77.
- ULUCAN, A. (2004). “Analitik Hiyerarşi Süreci”. *Hacettepe Üniversitesi İİBF Yayınları No.34*.
- VAILLANCOURT, K., WAAUB, J.P. (2004). “Equity in international greenhouse gases abatement scenarios: a multicriteria approach”. *European Journal of Operational Research*. 153, 489–505.
- VOROPAI, N.I., IVANOVA, EYU. (2002). “Multi-criteria decision analysis techniques in electric power system expansion planning”. *International Journal of Electrical Power Energy Systems*. 24, 71–8.
- WANG, X., FENG, Z. (2002). “Sustainable development of rural energy and its appraising system in China”. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 6, 395–404.

- WEYMAN-JONES, T.G. (1991). "Productive efficiency in a regulated industry: The area electricity boards of England and Wales". *Energy Economics*. 13, 116–122.
- WINTERFELDT, D., SCHWEITZER, E. (1998). "An assessment of tritium supply alternatives in support of the US nuclear weapons stockpile". *Interfaces*. 28(1), 92–112.
- ZAIM, O., TASKIN, F. (2000). "Environmental efficiency in carbon dioxide emissions in the OECD: A non-parametric approach". *Journal of Environmental Management*. 58, 95–107.
- ZHOU, P., ANG, B.W., POH, K.L. (2006a). "Decision analysis in energy and environmental modeling: An update". *Energy*. 31, 2604–2622.
- ZHOU, P., ANG, B.W., POH, K.L. (2006b). "Slacks-based efficiency measures for modeling environmental performance". *Ecological Economics*. 60, 111–118.
- ZHOU, P., ANG, B.W., POH, K.L. (2007). "A survey of data envelopment analysis in energy and environmental studies". *European Journal of Operational Research*.
- ZHU, J. (2000). "Multi-factor performance measure model with an application to Fortune 500 companies". *European Journal of Operational Research*. 123, 105–124.
- ZHU, J. (2002). "Quantitative Models for Performance Evaluation and Benchmarking: Data Envelopment Analysis with Spreadsheets". *Boston: Kluwer Academic Publishers*.
- ZOPOUNIDIS, C., DOUMPOS M. (1998). "Developing a multicriteria decision support system for financial classification problems: The FINCLAS system". *Optimization Methods and Software*, vol. 8, 277–304.

ZOPOUNIDIS, C., DOUMPOS, M. (1999). "A Multicriteria Decision Aid Methodology for Sorting Decision Problems: The Case of Financial Distress". *Computational Economics*. 14, 197–218.

ZOPOUNIDIS, C., DOUMPOS, M. (2000). "PREFDIS: A multicriteria decision support system for sorting decision problems", *Computers and Operations Research*. Vol. 27, no. 7-8, 779-797.

EK 1

KARAR DESTEK SİSTEMİ KULLANICI ARAYÜZÜ FORMLARI

Form 1 – Veri Zarflama Analizi Model Tabanı Formları

Veri Zarflama Analizi

Karar Birimi Sayısı

Girdi Sayısı

Çıktı sayısı

Tamam İptal <<Geri

VZA - Analiz Tipi & Ölçek

Analiz Tipi

☒ Girdi-Odaklı

☐ Çıktı-Odaklı

Ölçek

☒ Değişken (VRS)

☐ Sabit (CRS)

Tamam İptal

Form 2 – Ölçüt – Odaklı Veri Zarflama Analizi Model Tabanı Formları

Ölçüt Odaklı Veri Zarflama Analizi

Karar Birimi Sayısı

Girdi Sayısı

Çıktı sayısı

Tamam İptal <<Geri

ÖÖ - VZA - Ölçek

Ölçek

☒ Değişken (VRS)

☐ Sabit (CRS)

Tamam İptal

Form 3 – ELECTRE III Model Tabanı Formu

Electre

Kriter Sayısı

Alternatif Sayısı

Eşikler

☒ Elle Gir

☐ Fonksiyon

☐ Veto Eşiği

Eşik Fonksiyonları

p= * g(a)

q= * g(a)

v= * g(a)

Tamam İptal <<Geri

Form 4 – PROMETHEE Model Tabanı Formu

Promethee

Kriter Sayısı

Alternatif Sayısı

Tamam İptal <<Geri

Form 5 – PROMETHEE – GDSS Model Tabanı Formu

Promethee - GDSS

Karar Verici Sayısı

Alternatif Sayısı

Tamam İptal <<Geri

Form 6 – UTADIS Model Tabanı Formu

Utadis

Kriter Sayısı

Alternatif Sayısı

Alt Aralık Sayısı

Tamam İptal <<Geri

Form 7 – Problem Tipi Veri Tabanı Formu

Problem Tipi

☒ Elektrik Sanayi Uygulaması

☐ Enerji Verimliliği Ölçümü Uygulaması

Tamam İptal <<Geri



Form 8 – Elektrik Sanayi Uygulaması Veri Tabanı Formu

Elektrik Sanayi Uygulaması X



Karar Birimi Sayısı :

Girdiler

Hat Uzunluğu
Hizmet Alanı
İşgücü
İşletme Giderleri
Kurulu Güç
Maksimum Talep
Sermaye
Sistem Kayıpları
Trafo Kapasitesi
Yakıt Tüketimi
Diğer

Ekle >>

Sil

Çıktılar

Gaz Salınımı
Hat Uzunluğu
Hizmet Alanı
Maksimum Talep
Müşteri Sayısı
Satılan Güç
Trafo Sayısı
Üretilen Güç
Diğer

Ekle >>

Sil

Tamam İptal <<Geri

Form 9 – Enerji Verimliliği Ölçümü Veri Tabanı Formu

Enerji Verimliliği Ölçümü ✕

Karar Birimi Sayısı :

Girdiler

Çalışan Sayısı

Doğalgaz Tüketimi

Elektrik Tüketimi

Enerji Tüketimi

İşgücü

Nüfus

Sermaye

Su Tüketimi

Diğer

Ekle >>

Sil

Çıktılar

Gayri Safi Milli Hasıla

Katma Değer

Müşteri Sayısı

Satışlar

Üretim Miktarı

Yıllık Gelir

Diğer

Ekle >>

Sil



Tamam

İptal

<<Geri

Form 10 – Kriterler Veri Tabanı Formu

Kriterler



Ekonomik Kriterler

- Arazi Kullanımı
- Çalışan Sayısı
- Gayri Safi Milli Hasıla
- Gelirler
- İşgücü Yaratma
- Karlılık
- Maliyet

Ekle >>

Enerji Kriterleri

- Elektrik Tüketimi
- Enerji Tasarrufu
- Enerji Tüketimi
- Enerji Üretimi
- Gaz Tüketimi
- Güvenlik
- Kurulu Güç

Ekle >>

Çevre Kriterleri

- Atık Miktarı
- Çevre Riski
- Çevreye Etki
- Ekosisteme Etki
- Gaz Salınımı
- Hava Kirliliği
- Sağlık Etkileri

Ekle >>

Kriterler

Sil

Tamam

İptal

<<Geri

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Kazım Barış Atıcı
Doğum Yeri ve Tarihi : Kütahya, 28.08.1982

Eğitim Durumu

Lisans Öğrenimi : Hacettepe Üniversitesi İİBF İşletme Bölümü
Yüksek Lisans Öğrenimi : Hacettepe Üniversitesi İİBF İşletme Bölümü
Bildiği Yabancı Diller : İngilizce
Bilimsel Faaliyetleri :

İş Deneyimi

Stajlar :
Çalıştığı Kurumlar : Hacettepe Üniversitesi İİBF İşletme Bölümü

İletişim

E-Posta Adresi : kba@hacettepe.edu.tr

Tarih : 11.06.2008

