KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GERİ DÖNÜŞÜM ŞİRKETİNDE VERİ ZARFLAMA ANALİZİ VE PROMETHEE YÖNTEMLERİNİN UYGULANMASI

YASEMİN ÖZDİN OFLU

KOCAELİ 2019

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GERİ DÖNÜŞÜM ŞİRKETİNDE VERİ ZARFLAMA ANALİZİ VE PROMETHEE YÖNTEMLERİNİN UYGULANMASI

YASEMİN ÖZDİN OFLU

Prof. Dr. Zerrin ALADAĞ		
Danışman,	**Kocaeli Üniversitesi**	.....
Dr. Öğr. Üyesi Atakan ALKAN		
Jüri Üyesi,	**Kocaeli Üniversitesi**	.....
Dr. Öğr. Üyesi Alper GÖKSU		
Jüri Üyesi,	**Sakarya Üniversitesi**	.....

Tezin Savunulduğu Tarih: 27.06.2019

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Bu tez çalışması, geri dönüşüm şirketinde söküm yapılan parçaların etkinlik ölçümünü yapmak amacıyla gerçekleştirilmiştir.

Lisans öğrenimim, yüksek lisans öğrenimim ve tez çalışmam boyunca desteğini esirgemeyen, çalışmalarıma yön veren, bana güvenen ve yüreklendiren danışmanım Prof. Dr. Zerrin ALADAĞ'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmamda görüşleri ile çalışmalarıma katkıda bulunan, karşılaştığım her zorlukta desteğini ve zamanını esirgemeyen hocam Arş.Gör. Selen AVCI'ya teşekkürlerimi sunarım.

Akademik çalışmalarım sırasında, birçok aşamada beni destekleyen Endüstri Mühendisliği Bölümü tüm hocalarıma teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Hayatım boyunca üzerimdeki emekleri için minnettar olduğum sevgili babam Kamil ÖZDİN, annem Filiz ÖZDİN, kardeşlerim Beyza ÖZDİN ve Melih Eren ÖZDİN'e teşekkürlerimi sunarım.

Hayatıma girdiği andan beri bana güç veren en büyük destekçim, her aşamada sıkıntılarımı ve mutluluklarımı paylaşan sevgili eşim Mehmet OFLU'ya teşekkürlerimi sunarım.

Haziran-2019 Yasemin ÖZDİN OFLU

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR i
İÇİNDEKİLER ii
ŞEKİLLER DİZİNİ iii
TABLOLAR DİZİNİ iv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ v
ÖZET vi
ABSTRACT vii
GİRİŞ 1
1. VERİ ZARFLAMA ANALİZİ 3
1.1. Literatürde Veri Zarflama Analizi 3
1.2. Veri Zarflama Analizinin Avantajları ve Dezavantajları 6
1.3. Veri Zarflama Analizinin Uygulama Aşamaları 7
1.4. Veri Zarflama Analizi Modelleri 9
1.4.1. CCR (Charnes-Cooper-Rhodes) yöntemi 10
1.4.2. BCC (Banker-Charnes-Cooper) yöntemi 13
2. PROMETHEE YÖNTEMİ 16
2.1. Literatürde PROMETHEE Yöntemi 16
2.2. PROMETHEE Algoritmasının Avantaj ve Dezavantajları 18
2.3. PROMETHEE Algoritması 19
3. GERİ DÖNÜŞÜM İŞLETMESİNDE VZA VE PROMETHEE YÖNTEMLERİNİN UYGULANMASI 21
3.1. Veri Zarflama Analizi 25
3.1.1. Araştırmanın amacı ve kapsamı 25
3.1.2. Karar verme birimlerinin seçimi 25
3.1.3. Değişkenlerin seçimi 26
3.1.4. Metodoloji 26
3.1.5. Araştırma bulguları 27
3.2. Promethee Senaryo 1 31
3.2.1. Araştırmanın amacı ve kapsamı 31
3.2.2. Kriterlerin belirlenmesi 32
3.2.3. Tercih fonksiyonlarının belirlenmesi 32
3.2.4. Pozitif ve negatif üstünlük değerlerinin hesaplanması 33
3.2.5. Kısmi ve tam sıralama 34
3.2.6. Araştırma bulguları 35
3.3. Promethee Senaryo 2 36
3.4. Spearman Korelasyon Analizi 38
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 39
KAYNAKLAR 44
EKLER 48
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER 51
ÖZGEÇMİŞ 52

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. VZA uygulama aşamaları 7
Şekil 2.1. PROMETHEE algoritma aşamaları 17
Şekil 2.2. Tercih fonksiyonları 18
Şekil 3.1. Üretim süreçleri 21
Şekil 3.2. Kablo kırma makinesi 22
Şekil 3.3. Hurda parça sökümü 23
Şekil 3.4. Tehlikeli atık sahası üretim grafiği 23
Şekil 3.5. Elektronik atık sahası üretim grafiği 24
Şekil 3.6. Otomobil atık sahası üretim grafiği 24
Şekil 3.7. PROMETHEE I uygulaması ekran görüntüsü 33
Şekil 3.8. Pozitif ve negatif üstünlük değerleri 34
Şekil 3.9. Kısmi sıralama 34
Şekil 3.10. Tam sıralama 35
Şekil 3.11. PROMETHEE senaryo 2 uygulaması ekran görüntüsü 37
Şekil 3.12. PROMETHEE senaryo 2 pozitif ve negatif üstünlük değerleri 37
Şekil A.1. VZA modeli ekran görüntüsü 49
Şekil A.2. VZA çözüm ekran görüntüsü 49
Şekil B.1. Spearman korelasyon testi tablosu 50

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 2.1. Veri matrisi 18
Tablo 3.1. Karar verme birimleri ve sembolleri 25
Tablo 3.2. Girdi ve çıktı değişkenleri 26
Tablo 3.3. Karar verme birimleri ve girdi çıktı kümesi verileri 27
Tablo 3.4. KVB'lerin süper etkinlik değerleri, referans kümeleri ve görülme sıklıkları 28
Tablo 3.5. KVB'lerin olumsuzluk değerleri 28
Tablo 3.6. KVB'lerin artık değerleri 29
Tablo 3.7. KVB'lerin etkinlik sıralaması 31
Tablo 3.8. PROMETHEE senaryo 1 sıralama sonuçları 36
Tablo 3.9. Spearman korelasyon karşılaştırma tablosu 38
Tablo 4.1. Çözüm sonuçları karşılaştırma tablosu 41

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

m	:	Girdi sayısı
n	:	Karar verme birimi sayısı
p	:	Kesin tercih eşiği
q	:	Farksızlık değeri
s	:	Çıktı sayısı
u_n	:	n. çıktının ağırlığı
u_r	:	Sıfırıncı karar verme birimi tarafından r. çıktıya verilen ağırlık
v_i	:	Sıfırıncı karar verme birimi tarafından i. girdiye verilen ağırlık
v_m	:	m. girdinin ağırlığı
x_{i0}	:	Sıfırıncı karar verme biriminin kullandığı i. girdi miktarı
x_{ij}	:	j. karar verme biriminin kullandığı i. girdi miktarı
x_m	:	m. girdinin miktarı
y_n	:	n. çıktının miktarı
y_{r0}	:	Sıfırıncı karar verme birimi tarafından üretilen r. çıktı miktarı
y_{rj}	:	j. karar verme birimi tarafından üretilen r. çıktı miktarı
α	:	Güven aralığı
θ	:	Etkinlik skoru

Kısaltmalar

AEA	: Araç Elektronik Aksam
BM	: Bulaşık Makinesi
ÇM	: Çamaşır Makinesi
DEA	: Data Envelopment Analysis (Veri Zarflama Analizi)
K	: Klima
KE	: Kahverengi Eşya
KEA	: Küçük Ev Aletleri
KM	: Kompresör Motoru
M	: Küçük Motor
PİŞ	: Pişirici
PROMETHEE	: The Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation (Tercih Sıralaması Organizasyonu Değerlendirme Zenginleştirme Yöntemi)
R	: Radyatör
SS	: Su Sebili
Ş	: Şanzuman
T	: Turbo
VZA	: Veri Zarflama Analizi

GERİ DÖNÜŞÜM ŞİRKETİNDE VERİ ZARFLAMA ANALİZİ VE PROMETHEE YÖNTEMLERİNİN UYGULANMASI

ÖZET

Günümüz modern dünyasında, yükselen eğitim seviyeleri, çevre bilinci, doğayı koruma içgüdüsünden dolayı geri dönüşüm sektörünün önemi ve sektöre katılan işletme sayısı büyük ölçüde artış göstermektedir. Oluşan ekonomik şartlar ve artan rekabete direnç göstermek zorlaşmıştır. Firmalar bu rekabet ortamında kısıtlı kaynakları ile sürdürülebilir bir başarıyı ve en verimli çıktıyı elde edebilmek için her geçen gün daha fazla iyileştirme yapmak durumundadır. Bu çalışmada geri dönüşüm sektöründe faaliyet gösteren bir şirketin performansını önemli ölçüde etkilediği düşünülen girdi ve çıktı kaynakları veri zarflama analiz yöntemi kullanılarak söküme giren parçalar arası etkinlikleri değerlendirilmiştir. Değerlendirme sonucunda malzeme sökümlerinin etkin olabilmeleri için hangi alanda iyileştirme yapması gerektiği hakkında öneriler sunulmuştur. PROMETHEE yöntemi ile iki ayrı senaryo için alternatiflerin etkinlik sıralaması elde edilip veri zarflama analizi ile elde edilen sonuçlarla birbirlerini destekler nitelikte olup olmadığı değerlendirilmiştir. Değerlendirmeler sonucunda yöntemlerin uygulanması ile ilgili öneriler sunulmuştur.

Anahtar kelimeler: Çevre, Geri Dönüşüm, Performans, PROMETHEE, Veri Zarflama Analizi.

DATA ENVELOPMENT ANALYSIS AND APPLICATION OF PROMETHEE METHODS IN RECYCLING COMPANY

ABSTRACT

In today's modern world, the importance of the recycling sector and the number of enterprises participating in the sector are increasing due to the increasing levels of education, environmental awareness and instinct to protect nature. Resistance to the economic conditions and increasing competition has become difficult. In this competitive environment, companies have to make more improvements every day in order to achieve a sustainable success and the most efficient output with limited resources. In this study, input and output sources, which are thought to have a significant impact on the performance of a company operating in the recycling sector, are evaluated by using the data envelopment analysis method. At the end of the evaluation, suggestions were made about which areas should be improved in order to be effective. With PROMETHEE method, the efficiency ranking of the alternatives was obtained for two separate scenarios and the results obtained by data envelopment analysis were evaluated to support each other. As a result of the evaluations, suggestions were made regarding the application of the methods.

Keywords: Environment, Recycling, Performance, PROMETHEE, Data Envelopment Analysis.

GİRİŞ

Performans kelime anlamı olarak herhangi bir başarı, elde edilen iyi sonuç gibi anlamları bulunmaktadır. Herhangi bir olayı veya durumu başarma isteği ve gücüdür. Bir işi yapan bir bireyin veya grubun o işle amaçlanan hedefe yönelik olarak neye ulaşabildiğini, neyi sağlayabildiğini nicel ve nitel olarak belirten bir kavramdır [1]. Performans o işle ulaşmak istediği amaç yönünde bireyin ya da grubun kendisi için belirlenen hedeflere ve standartlara ne ölçüde ulaşabildiğinin göstergesidir.

Etkinlik, bir örgütte belirlenen hedeflerin gerçekleştirilebilmesi için tüketilmesi beklenen kaynaklar ile gerçekleşen tüketilen kaynaklar arasındaki ilişki olarak tanımlanmaktadır [2]. Yani bir işletmenin faaliyetleri ile ilgili planladığı programı gerçekleştirebilme derecesidir.

Etkililik ise çıktılarla ve amaçlarla ilgilidir. Amaçların gerçekleşme seviyesini örgütün çıktıları ile ilişkileriyle belirlenir.

Etkinlik ve etkililik birbirine yakın kavramlar gibi gözükmelerine rağmen aslında farklı kavramlardır. Şöyle ki; etkinliğin mevcut kaynaklarla kullanımı ile ve araçlarla ilgili bir kavram olmasına karşın, etkililik amaçlarla, daha doğrusu çıktılarla ilgili bir kavramdır, etkinlik var olan durumu ölçer. Hâlbuki etkililik şimdiki durumu, eğer kaynaklar daha etkin yönetilir ve kullanılırsa olabilecek durumla karşılaştırılır. Hedefe yönelik çalışmayı sağlar [3].

Politik veya ekonomik, üretim tipi ne olursa olsun, verimlilik tanımı aynıdır. Bu nedenle verimlilik kişiler için farklı anlamlara gelse de temel kavram daima, üretilen ürün/hizmet miktarı, tutarı ve kalitesi ile bunları üretmek için kullanılan kaynaklar arasındaki ilişki olarak tanımlanır [4].

Genel anlamı ile üretilen çıktıların, bu çıktıları üretmek için kullanılan girdilere oranıdır.

Atıkların hiçbir işleme tabi tutulmadan üretim şekli korunarak ekonomik ömrü tamamlanana kadar kullanılmasına yeniden kullanım denir.

Atıkların fiziksel veya kimyasal işlemlerle başka bir ürüne çevrilmesine geri kazanım denir.

Atıkların fiziksel veya kimyasal işlemlerden geçirilerek ikincil hammaddeye dönüştürülüp tekrar üretim sürecine katılmasının sağlanmasına geri dönüşüm denir.

Geri dönüşüm uygulamalarının en temel amacı yeni hammadde satın almak yerine atıklardan hammadde elde etmektir. Böylece daha ucuza mal edilen maddelerin geri dönüşümü ile hammadde ihtiyacı karşılanmaktadır.

Türkiye de yaklaşık olarak yılda 25 milyon ton evsel atık, 1,2 milyon ton endüstriyel atık, 100 bin ton tıbbi atık ve 530 bin ton e-atık ortaya çıkmaktadır. Bu atıkların % 43'ünü kâğıt, % 27'sini plastik, % 12'sini cam, % 8'ini tekstil ürünleri, % 4'ünü de metal oluşturuyor.

Atıkların geri dönüştürülmesinde ekonomik olarak en büyük pay metal ürünlerindedir. Bu ürünler demir, çelik, alüminyum, bakır, pil, akümülatörler, ambalaj, elektronik atık ve diğer metal ürünleridir.

1. VERİ ZARFLAMA ANALİZİ

Veri Zarflama Analizi, aynı tür girdileri kullanarak aynı tür çıktıları üreten karar verme birimlerinin, birbirlerine göre göreli etkinliklerini ölçmek için tasarlanmış, doğrusal programlama ilkelerine dayanan, parametrik olmayan bir yöntemdir [6]. Literatür de etkinlik analizi olarak da bilinmektedir.

Veri Zarflama Analizi'nin temelini Farrell'in 'The Measurement of Productivite Efficiency' adlı makalesinde yer alan 'etkin sınır' kavramına dayanmaktadır [7]. Bu makaleyi temel alan ilk makale Charnes Cooper ve Rhodes tarafından 1984 yılında yayımlanmıştır. Bu çalışmada kuramsal gelişimi açısından Veri Zarflama Analizi'nin etkinlik ölçümündeki gücü ortaya konularak, CCR ve BCC modelleri oluşturulmuştur [8].

Veri zarflama analizi yöntemi çok sayıda karar verme birimlerinin farklı birimlerle ifade edilen girdi ve çıktılar ile etkinliklerini değerlendirir [9]. Etkin olan karar verme birimleri ve etkin olmayan karar verme birimlerini belirleyerek, etkin olmayan karar verme birimleri için referans küme oluşturur. Böylece yöntem etkin olmayan karar verme birimlerinin etkin duruma gelebilmeleri için onlara yol gösterici olur.

Ayrıca etkin olmayan karar verme birimleri için etkinsizlik nedenlerini ortaya koyarak, verimsiz kaynak kullanımlarını azaltmaya veya yok etmeye yardımcı olur.

1.1. Literatürde Veri Zarflama Analizi

Doğan ve Tanç (2008), Kapadokya'daki 18 konaklama işletmelerinin etkinlik ölçümlerini VZA kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Etkin olmayan işletmeler için öneriler sunmuşlardır [10].

Sarı (2015), Hacettepe Erişkin Hastanesine bağlı polikliniklerin performanslarını VZA ile değerlendirmiştir. 20 adet poliklinik için etkin ve etkin olmayan poliklinikleri belirleyip, etkin olmayanlar için referans kümeler oluşturmuştur. Böylece etkin olmayan polikliniklerin etkin olabilmeleri için hangi kaynakları azaltıp

hangi kaynakları artırılacağına ilişkin öneriler sunulmuştur. Böylece etkin olmayan polikliniklerin etkin olabilmeleri için hangi kaynakları azaltıp hangi kaynakları artıracağına ilişkin öneriler sunulmuştur [11].

Ablai (2015), AVM ve cadde üzerinde bulunan mağazaları verimlilik açısından karşılaştırmıştır. Girdi kümesini satılan ürün çeşitliliği, toplam haftalık çalışan süresi, mağaza stok adedi, genel giderler, çıktı kümesi ise satış adedi, ciro, stok devir hızı, kar marjı olarak belirlemiştir. Bu girdi ve çıktı kümeleri değerlerine göre VZA yöntemi ile analiz etmiştir. Analiz sonucunda verimli ve verimsiz mağazalar belirlenip, verimsiz mağazalar için verimsizlik kaynaklarını incelemiştir [12].

Altınsoy (2018), çalışmasında yakın zamanda meydana gelen 4 büyük depremi örneklem olarak ele almıştır. VZA yöntemi ile Türkiye'nin depremlere karşı afet yönetim sistemi performansının değerlendirilmesini yapmıştır. Çalışmanın sonucunda Türkiye'de meydana gelebilecek depremlere karşı oluşturulan afet yönetim sisteminin yeterli olup olmadığı, sistemin eksik yanlarının neler olduğu ve ne gibi tedbirler geliştirilmesi gerektiği ayrıntılı bir şekilde analiz edilmiştir. Girdi kümesini arama kurtarma personel sayısı ve sağlık personeli sayısı olarak, çıktı kümesini ise hayatını kaybeden insan sayısı, yaralanan insan sayısı, hasarlı yapı sayısı, dağıtılan çadır sayısı olarak belirlemiştir [13].

Temiz (2018), çalışmasında 28 ülkenin çevre performanslarını VZA ile değerlendirmiştir. Karar verme birimlerini OECD üyesi ülkeleri olarak belirlemiştir. Girdi kümesini enerji tüketimi ve iş gücü, çıktı kümesini ise CO2 emisyonu, yanabilir ve yenilenebilir atıklar, yenilenebilir kaynaklardan elektrik üretimi, gayri safi yurt içi hasıla, nitrojen oksit emisyonu, sülfür oksit emisyonu, çevre vergisi olarak belirlemiştir. Elde edilen sonuçlarla ülkelerin çevre performans etkinliklerini ölçmüş, birbirlerine göre konumlarını belirlemiş ve ülkelerin etkin olabilmeleri için öneriler sunmuştur [14].

Acar (2018), çalışmasında BRT sistemi olan metrobüslerin etkinliklerini VZA ile değerlendirmiştir. Girdi kümesini araç sayısı, koridor uzunluğu, ve nüfus yoğunluğu, çıktı kümesini ise BRT standart puanı, günlük yolculuk ve işletme hızı olarak belirlemiştir. Analiz sonucunda, İstanbul metrobüs sistemine göre daha etkin olan ve iyileştirme için örnek alınabilecek şehirlerdeki BRT sistemlerini belirleyerek

kıyaslama çalışmaları için altyapı oluşturmuştur. Hem İstanbul'daki mevcut sistemin diğer ülkelerdekine göre eksiklilerini belirlemiş hem de Türkiye'de İstanbul dışındaki şehirlere kurulması muhtemel sistemler için örnek oluşturmuştur [15].

Özden (2008), Türkiye'de bulunan vakıf üniversiteleri arasındaki görece toplam, teknik ve ölçek etkinlikleri, girdi ve çıktı yönelimli CCR ve BCC modelleri ile hesaplanan çözüm sonuçlarını incelemiştir. Ayrıca süper etkinlik modeli yardımı ile vakıf üniversitelerinin etkinlik sıralamalarını belirlemiştir [16].

Okursoy ve Tezsürücü (2014), çalışmalarında Türkiye'nin 81 iline ait kültürel ekonomilerinin VZA ile göreli etkinliklerini değerlendirmişlerdir. Etkin olan ve etkin olmayan illeri belirleyerek iyileştirme önerileri sunmuşlardır [17].

Özçelik ve Tezsürücü (2017), çalışmalarında BİST'te işlem görerek imalat sektöründe yer alan işletmelerin VZA ile etkinlik ölçümünü yapmışlardır. Girdi kümelerini cari oran, likidite oran ve stok devir hızı, çıktı kümelerini ise net kâr marjı, özsermaye kârlılığı ve aktif kârlılık oranları olarak belirlemişlerdir [18].

Akyüz, Yıldırım ve Balaban (2015), çalışmalarında İMKB'de işlem gören Kâğıt ve Kâğıt Ürünleri, Basım ve Yayın Sanayine ait 16 firmanın performanslarını VZA ile karşılaştırmışlardır. Firmaların etkin hale gelebilmeleri için gerekli gerekli önerilerde bulunmuşlardır [19].

Baysal, Uygur ve Toklu (2004), çalışmalarında Türkiye'de hizmet veren, TCDD'ye bağlı 7 limanın etkinliklerini belirlemek için VZA uygulanmıştır. Uygulama sonucunda, etkin olan ve etkin olmayan limanları belirleyip etkin olmayan limanlar için potansiyel iyileştirmeler tavsiye etmişlerdir [20].

Taşdemir (2018), çalışmasında Samsun'daki 18 adet kamu hastanesinin etkinliğini VZA ile ölçmüştür. Girdi kümesini doktor sayısı, poliklinik sayısı, servislerdeki toplam yatak sayısı, toplam yoğun bakım yatak sayısı, çıktı kümesini ise toplam muayene sayısı, toplam ameliyat sayısı, toplam yatılan gün sayısı, toplam yatan hasta sayısı olarak belirlemiştir. 18 adet hastanenin 12 aylık dönem verilerinden 2014-2017 tarihleri arası yıllık olarak düzenlenip her yıl için etkinliklerini ölçmüştür. Veriler kesin olarak bilinmediği için bulanık VZA modeli geliştirmiştir. Çalışma sonucunda

hastanelerin çoğunun etkin olduğunu, bazılarının ise yıl içinde etkinliklerinin zamanla arttığını tespit etmiştir [21].

Sönmez (2018), çalışmasında bir telekomünikasyon sektöründe faaliyet gösteren bir şirketin AR-GE projelerini değerlendirmiştir. Farklı parametrelerle dört farklı alternatif model denemiş varsayımların ve parametre setinin değişmesinin projelerin performans skorunu nasıl etkilediğini gözlemlemiştir. Çalışma sonunda verimlilik sınırındaki projeler ve performans skorlarını hesaplamış, verimsiz projelerin hangi alanlarda iyileşme göstermeleri ve hangi projeleri referans almaları gerektiğini belirlemiştir [22].

1.2. Veri Zarflama Analizinin Avantajları ve Dezavantajları

Veri Zarflama Analizi doğru kullanıldığı zaman verimli bir yöntemdir.

Karar verme birimlerinin çok sayıda girdi ve çıktı kümeleri ile aynı anda değerlendirilebilmesi,

Girdi ve çıktı kümelerinin birimlerinin farklı olabilmesi,

Karar verme birimlerinin etkinsizlik nedenlerinin ve miktarlarının ayrı ayrı belirlenebilmesi gibi avantajlara sahiptir.

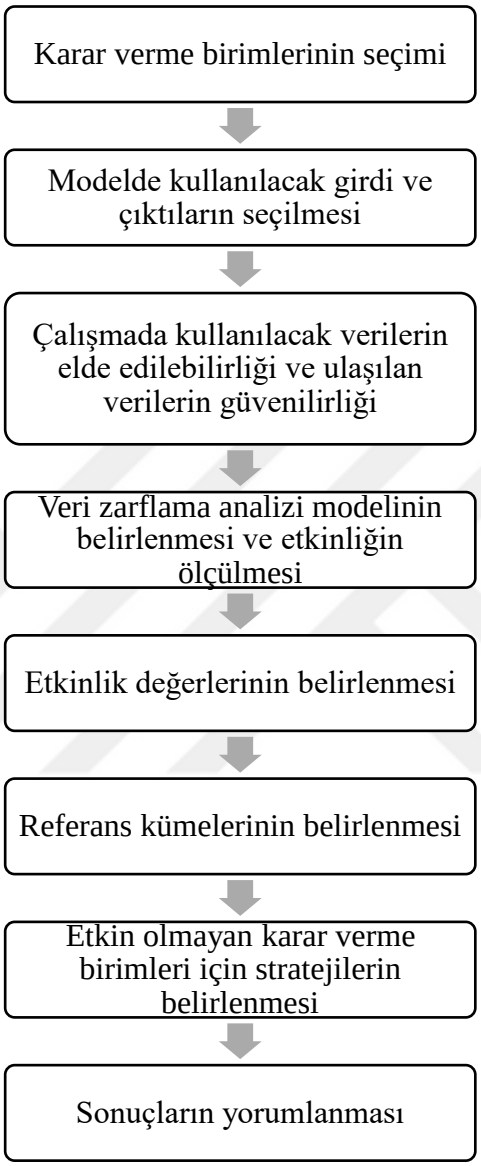
Diğer yandan veri hatalarına ve girdi çıktı kümelerinin seçimine çok duyarlı olması, bir karar verme birimi için yapılabilecek bir hata ile bu karar biriminin aykırı değer olmasına ve etkinlik sınırının biçiminin bozulmasına yol açabilir. Her bir karar verme birimi birbirlerinin etkinlik skorunu etkilediği için elde edilen değerler gerçeği yansıtmayacaktır.

Elde edilen değerler yalnızca analize alınan karar verme birimleri için geçerli olduğundan, farklı bir karar verme birimlerinin yer alacağı başka bir analizden elde edilen değerler ile karşılaştırma yapamamak dezavantajlarından bir diğeridir.

Ayrıca veri zarflama analizinden güvenilir bir sonuç elde edebilmek için karar verme birimlerinin sayısı ile girdi ve çıktı değişkenlerinin sayısı kurallara uygun olmalıdır.

1.3. Veri Zarflama Analizinin Uygulama Aşamaları

Veri zarflama analizinin uygulama aşamaları Şekil 1.1.'deki gibidir;



Şekil 1.1. VZA uygulama aşamaları

Adım 1 : Karar verme birimlerinin seçimi

Veri zarflama analizi, belirlenen girdi ve çıktı kümelerine göre birimlerin etkinliklerini ölçer. Bu birimler karar verme birimleridir. Karar verme birimleri homojen yapıda olmalıdır. Yani karar verme birimleri aynı girdi ve çıktılarla ölçülebilir olmalı, aynı amaca hizmet etmeli ve aynı üretim prosesi ile faaliyet göstermelidir. Karar verme birimlerinin seçiminde önemli olan bir diğer önemli konu

ise birimlerin sayısıdır. Bu konuda literatürde birçok görüş yer almaktadır. Bunlardan bazıları şunlardır: Boussofiane, Dyson ve Thanassoulis' e (1991) göre, girdi sayısı m, çıktı sayısı da s ise en az m+s+1 tane karar birimi gereklidir [23]. Norman ve Stoker' e (1991) göre, kullanılacak girdi ve çıktı sayısına bağlı olmakla birlikte, KVB sayısı en az 20 olmalıdır [24]. Ramanathan' a (2003) göre ise, KVB sayısı girdi ve çıktı sayısı toplamının en az 2 ya da 3 katı olmalıdır [25].

Adım 2: Girdi ve çıktıların seçimi

VZA'da girdi ve çıktı değişkenlerinin doğru seçilmesi analiz sonucunun güvenilirliği bakımından önemlidir. Eğer model için önemli sayılabilecek bir değişken atlanırsa karar verme birimlerinin etkinlik değerleri değişebilir. Bu da sonuca etkileyecektir. Bu yüzden girdi ve çıktı değişkenlerine karar verirken özenli olunmalıdır. Ayrıca girdi ve çıktı değişkenlerinin sayısı karar verme birimlerinin sayısı ile uyumlu olmalıdır. Aksi takdirde analizin ayrım gücünü olumsuz etkilemektedir.

Adım 3: Verilerin Elde Edilmesi

Analiz aşamasında verilerin güvenilir olması çok önemlidir. Eksik veya güvenilir olmayan karar verme birimleri analizden çıkarılır.

Adım 4: Modelin Seçimi

VZA girdi yönlü ve çıktı yönlü olmak üzere 2 modeli vardır. Eğer karar vericinin kontrol edebilme fırsatı girdiler üzerinde var ise girdi yönlü, çıktılar üzerinde var ise çıktı yönlü model tercih edilmelidir [26]. Girdi yönlü modelde amaç etkin olmayan karar verme birimlerini etkin hale getirebilmek için girdilerin ne kadar azaltılabileceğini, çıktı yönlü modelde ise belli değerdeki girdilerle elde edebileceği çıktıların ne kadar arttırılabileceğini araştırmaktır.

Ayrıca eğer KVB' lerin etkinliği ölçek ekonomisine bağlı ise ölçeğe göre değişken getiri (Variable Return to Scale-VRS), değilse ölçeğe göre sabit getiri (Constant Return to Scale-CRS) varsayımı seçilir [14].

Adım 5: Etkinlik Değerleri

Her bir KVB analiz sonucunda 0 ile 1 arasında bir değer alır. 1 değerini alan KVB'ler etkin, diğer KVB'ler ise etkin olmayan KVB'lerdir.

Adım 6: Referans Kümesinin Belirlenmesi

Etkin olmayan KVB'ler etkin olabilmek için etkin olan KVB'leri kendilerine örnek alırlar. Etkin olmayan KVB'ler için örnek aldıkları etkin KVB'ler onların referans kümelerini oluşturur.

Adım 7: Etkin olmayan KVB' ler için stratejilerin belirlenmesi

Etkin olmayan KVB'ler etkin olabilmek için kendilerini referans kümelerindeki etkin KVB'lere benzetmeye çalışırlar. Referans kümelerine göre girdilerdeki fazlalıkları veya çıktılardaki eksiklikleri gidermeyi amaçlarlar.

Adım 8: Sonuçların Belirlenmesi

Etkinlik değeri 1 olan KVB' ler en iyi gözlem kümesini ve etkinlik sınırını temsil etmektedir. Etkin olmayan KVB' lerin etkinlik değerlerinin 1 değerinden sapmaları göreli verimsizlik ölçüsünü vermektedir. Etkin olmayanların hangi karar birimlerine göre etkin olmadıkları ve etkinliğe ulaşmak için girdi ve çıktı düzeyinde neler yapılması gerektiği sonuçları elde edilir.

1.4. Veri Zarflama Analizi Modelleri

Veri zarflama analizi modelleri kısıtlayıcılar altında amaç fonksiyonunun maksimize veya minimize edilmesi şeklindedir.

Veri zarflama analizi girdi ve çıktı olmak üzere 2 yönlü kullanılabilir. Eğer çıktılar üzerinde kontrol azsa girdi yönlü, girdiler üzerinde kontrol azsa çıktı yönlü model kullanılır. Girdiye yönelik veri zarflama analizinde belirli değerdeki çıktıları elde edebilmek için en uygun girdi değerlerini belirlemeye, çıktıya yönelik veri analizinde ise belirli değerdeki girdilerle en uygun değerdeki çıktı değerlerini belirlemeye ça VZA, hem ölçeğe göre sabit getiri hem de değişken getiri varsayımı altında kullanılabilir. CCR modeli ölçeğe göre sabit getiri varsayımı altında toplam etkinliği ölçerken, BCC modeli ölçeğe göre değişken getiri varsayımı altında teknik etkinliği

ölçmektedir. Toplam etkinlik= teknik etkinlik x ölçek etkinliği olduğundan dolayı ölçeğe göre sabit getiri olduğunda her iki ölçüm aynı sonucu vermektedir [27].

VZA'da temel olarak iki yöntem kullanılmaktadır. Bu yöntemler;

- Charnes-Cooper-Rhodes (CCR) Yöntemi
- Banker-Charnes-Cooper (BCC) Yöntemi

Benzer karar verme ünitelerinin göreceli etkinliğini ölçmeye yarayan çok faktörlü bir verimlilik ölçüm modeli olan VZA' da birden fazla girdi ve çıktı olması durumunda etkinlik skoru aşağıdaki şekilde olduğu gibi formüle edilmektedir [28].

$$\text{Etkinlik} = \frac{u_1 y_1 + u_2 y_2 + \ldots + u_n y_n}{v_1 x_1 + v_2 x_2 + \ldots + v_m x_m} \quad (1.1)$$

Formül (1.1)'de j karar noktası için n adet çıktı ve m adet girdi bulunmaktadır. u_n: n. çıktının ağırlığını, y_n: n. çıktının miktarını, v_m: m. girdinin ağırlığını, x_m: m. girdinin miktarını vermektedir.

1.4.1. CCR (Charnes-Cooper-Rhodes) yöntemi

Veri Zarflama Analizi'nin ilk önerilen modeli olan Charnes Cooper Rhodes – CCR modeli ile ölçeğin sabit getirisi varsayımı altında teknik etkinlik ölçülmektedir. Bu tip Veri Zarflama Analizi modellerinde etkinlik sınırı orijinden başlayıp, etkin olan karar verme birimlerinden geçen bir doğru ile gösterilmektedir. Charnes Cooper Rhodes modeli Girdi yönlü ve Çıktı yönlü olmak üzere iki şekilde tanımlanabilmektedir [29].

Girdi yönlü CCR modelinde θ^* etkinlik skoru olmak üzere;

$\theta^*= 1$ ise ve artıklar sıfırsa bu karar verme birimi etkindir,

$\theta^*<1$ ise bu karar verme birimi etkin değildir.

Çıktı yönlü CCR modelinde ise;

$\theta^*=1$ ise ve artıklar sıfırsa bu karar verme birimi etkindir,

$\theta^*>1$ ise bu karar verme birimi etkin değildir [30].

Girdi yönlü CCR primal modeli aşağıdaki gibidir;

Min θ

$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j x_{ij} - \theta x_{i0} \leq 0$,

$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j x_{rj} - \theta x_{r0} \geq 0$,

$\lambda_j \geq 0$

Girdi yönlü CCR dual modeli aşağıdaki gibidir;

Max $\sum_{r=1}^{s} u_r y_{r0}$,

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

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

j=1,…,n

$u_r \geq 0$

$v_i \geq 0$

Bu modellerde s çıktı sayısını, m girdi sayısını, n ise karar verme birimi sayısını gösterir. Dual modelde görüldüğü gibi, etkinliği hesaplanmak istenilen karar verme biriminin, çıktıların ağırlıklı ortalamasının maksimum yapılması amaçlanmıştır. Kısıtlarda ise etkinliği hesaplanmak istenilen karar verme biriminin girdilerinin ağırlıklı ortalaması 1 olması sağlanmıştır. Daha sonraki kısıt bütün karar verme birimleri için çıktıların ağırlıklı ortalamasının girdilerin ağırlıklı ortalamasından küçük olmasını sağlamıştır. Bu sayede çıktı/girdi oranı her bir karar verme birimi için en fazla 1 olabilir. Buradan bir karar verme birimi için optimum çıktı ortalaması en fazla 1 olabilir [32].

Çıktı yönlü CCR primal modeli aşağıdaki gibidir;

Max Φ

$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j x_{ij} - \theta x_{i0} \leq 0$,

$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j x_{rj} - \theta x_{r0} \geq 0$,

$\lambda_j \geq 0$

Çıktı yönlü CCR dual modeli aşağıdaki gibidir;

Min $\sum_{i=1}^{s} v_i x_{i0}$,

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

r=1,…,s

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

j=1,…,n

$u_r \geq 0$

$v_i \geq 0$

Bu primal ve dual modellerinde;

x_{ij} ; j. karar verme biriminin kullandığı i. girdi miktarı,

y_{rj} ; j. karar verme birimi tarafından üretilen r. çıktı miktarı,

x_{i0} ; sıfırıncı karar verme biriminin kullandığı i. girdi miktarı,

y_{r0} ; sıfırıncı karar verme birimi tarafından üretilen r. çıktı miktarı,

u_r; sıfırıncı karar verme birimi tarafından r. çıktıya verilen ağırlık,

v_i; sıfırıncı karar verme birimi tarafından i. girdiye verilen ağırlık

olarak tanımlanmıştır [32, 33].

Bu modellerde s çıktı sayısını, m girdi sayısını, n ise karar verme birimi sayısını gösterir. Dual modellerde görüldüğü gibi, etkinliği hesaplanmak istenilen karar verme biriminin, girdilerinin ağırlıklı ortalamasın minimum yapılması amaçlanmıştır.

Kısıtlarda ise etkinliği hesaplanmak istenilen karar verme biriminin çıktılarının ağırlıklı ortalaması 1 olması sağlanmıştır. Daha sonraki kısıt bütün karar verme birimleri için çıktıların ağırlıklı ortalamasının girdilerin ağırlıklı ortalamasından küçük olmasını sağlamıştır. Bu sayede çıktı/girdi oranı her bir karar verme birimi için en az 1 olabilir. Buradan bir karar verme birimi için optimum çıktı ortalaması en az 1 olabilir [34].

Girdi yönlü CCR modeli ile etkin bulunan bir karar verme birimi çıktı yönlü CCR modelinde de etkin bulunmaktadır. Aralarında ilişki incelendiğinde $\theta=1/\theta^*$ olduğu görülmektedir. Ayrıca girdi yönlü CCR modeliyle bulunan λ_j'lerin bölünmesiyle çıktı yönlü CCR modelindeki λ_j değerlerine ulaşılır [35].

1.4.2. BCC (Banker-Charnes-Cooper) yöntemi

Banker vd. (1984) tarafından önerilen Banker Charnes Cooper-BCC modeli, ölçeğe göre değişen getiri varsayımı altında karar verme birimlerinin etkinliğini ölçmektedir. Bu modelde, CCR modelinden farklı olarak sadece zarflama modeline konvekslik kısıtı eklenmektedir [35].

θ^* etkinlik skoru olmak üzere,

Girdi yönlü BCC modelinde;

$\theta^* = 1$ ise ve artıklar sıfırsa bu karar verme birimi etkindir,

$\theta^* < 1$ ise bu karar verme birimi etkin değildir.

Çıktı yönlü BCC modelinde ise;

$\theta^* = 1$ ise ve artıklar sıfırsa bu karar verme birimi etkindir,

$\theta^* > 1$ ise bu karar verme birimi etkin değildir.

Girdi yönlü BCC primal modeli aşağıdaki gibidir;

Min θ

$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j x_{ij} - \theta x_{i0} \leq 0$,

$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j x_{rj} - \theta x_{r0} \geq 0$,

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

$\lambda_j \geq 0$

CCR modelinden farklılığı yaratan konvekslik kısıtı nedeniyle u_0 değişkeni eklenen dual formu ise aşağıdaki gibidir;

Max $\sum_{r=1}^{s} u_r y_{r0} - u_0$,

$u_r \geq 0$

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

$v_i \geq 0$

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

Çıktı Yönlü BCC primal modeli aşağıdaki gibidir;

Max Φ

$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j x_{ij} - x_{i0} \leq 0$,

$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j y_{rj} - \Phi y_{r0} \geq 0$,

$\sum_{j=1}^{s} \lambda_j = 1$,

$\lambda_j \geq 0$

Çıktı yönlü CCR dual modeli aşağıdaki gibidir;

Min $\sum_{i=1}^{s} v_i x_{i0} - v_0$,

$v_i \geq 0$,

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

$u_r \geq 0$,

$j=1,\ldots,n$

$\sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^{m} v_i x_{ij} - v_0 \leq 0$

$i=1,\ldots,n$

2. PROMETHEE YÖNTEMİ

Promethee (1982) yılında Branş tarafından literatüre kazandırılan ve (1985) yılında Brans ve Vincke tarafından geliştirilen çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemidir. PROMETHEE yönteminin temel özellikleri açıklık, basitlik ve dengeli oluşudur [36].

Promethee Bankacılık, insan gücü planlaması, yatırımlar, tıp, kimya, endüstriyel tesis, su kaynakları, yatırımlar, sağlık, dinamik, turizm yönetimi gibi çeşitli alanlarda çalışmaları bulunmaktadır.

2.1. Literatürde PROMETHEE Yöntemi

Kücü (2007), bir işletmenin personel seçim sürecine göre kriterleri belirleyip, alternatifleri PROMETHEE sıralama yöntemi ile öncelik sıralarını belirlemiştir. Böylece alternatifler arasındaki en uygun adayı bilimsel bir yöntemle belirleyip seçim sürecindeki subjektif değerlendirmeleri en aza indirmiştir [37].

Şahin ve Akkaya (2013), çalışmalarında portföy oluştururken tercih edilecek olan hisse senetlerinin seçiminde Promethee yönteminden faydalanmışlardır. Temettü, işlem miktarı, volatilite ve işlem hacmi kriterleri açısından portföye dahil edilmesi gereken hisse senetlerini tespit edip, Promethee sıralama yönteminin portföy oluşturmada çözüm önerebilen bir araç olduğunu belirtmişlerdir [38].

Özgüven (2012) çalışmasında, promethee yönteminin pazarlama alanında uygulamasını yapmıştır. Tüketicilerin, özel alışveriş sitelerini tercih etmeleri, teslimat süresi, kampanya geçerlilik süresi, indirim çekleri, taksit imkanı, güncel kampanya sayısı ve kampanyalı kredi kartı sayısını kriterler olarak belirlemiştir. Çalışma sonucunda alışveriş sitelerinin etkinlik sıralamasını elde etmiştir [39].

Koçdağ (2013), bir tekstil firmasının belli bir bütçe dahilinde 30 projeden firmanın kriter ve hedefleri doğrultusunda en uygun projeyi seçmeyi hedeflemiştir. AHS ve PROMETHEE yöntemlerini entegre ederek hibrit bir model kurmuştur. Bu modele

dayanarak kriter ağırlıklarını AHS ile bulup nihai sıralamayı PROMETHEE yöntemini kullanarak belirlemiştir [40].

Özdağoğlu (2013) çalışmasında, çalışma hassasiyeti, kesim hızı, konumlama hızı, ivme ve eksen derinliği değerlendirme ölçütlerine göre lazer kesme makinelerini Promethee yöntemini kullanarak karşılaştırmıştır [41].

Bülbül ve Köse (2016) çalışmalarında Türk Sigorta Sektöründe hayat dışı branşlarda faaliyet gösteren şirketlerin 2010-2013 dönemine ait bilanço verileri doğrultusunda performanslarını incelemişlerdir. Yıllar bazında hayat dışı sigorta şirketlerine ait performans sıralamalarını karşılaştırmışlardır. İstikrarlı şirketlerin yanı sıra istikrarsız şirketleri de belirleyerek bu şirketlerin performanslarının değişiminde rol oynayan değişkenlere bağlı olarak olası nedenleri tespit etmişlerdir. Çalışma sonucunda bu değişkenlerdeki olası iyileştirmeler doğrultusunda uygulayabilecekleri politikaları da öneri olarak sunmuşlardır [42].

Bottero, D'Alpaos ve Oppio (2018) çalışmalarında, Kuzey İtalya'daki bir kentsel bölgenin alternatif yenileme stratejilerinin değerlendirilmesinde SWOT Analizi, Paydaş Analizi ve Promethee yöntemini birleştiren bir modelden faydalanmışlardır [43].

Ömürbek, Karaatlı ve Eren (2014) çalışmalarında, hafif ticari araç seçiminde Promethee yönteminden faydalanmışlardır. Dokuz farklı hafif ticari araç türünü, fiyat, yakıt, maksimum hız, beygir gücü, performans, yük hacmi, dayanıklılık, marka, servis imkanı ve ikinci el fiyatı kriterleri açısından değerlendirmişlerdir. Sürece etki eden kriterleri ve kriterler arasındaki etkileşimleri yaptıkları anket çalışması sonucunda belirlemişlerdir. Çalışma sonucunda Wolkswagen Caddy Maxi Van modelini en iyi hafif ticari araç olarak belirlemişlerdir [44].

Budak (2014), Ankara'da faaliyet gösteren kamu ve özel hastanelerin ayrı ayrı performanslarını hem ANP hem de PROMETHEE yöntemleri ile değerlendirip sonuçları karşılaştırmıştır. İki yöntem için de birbiri ile uyumlu sonuçlar elde etmiştir [45].

Onan (2014) çalışmasında, PROMETHEE yöntemi ve GAIA düzlemini kullanarak, İzmir ili Karşıyaka ilçesindeki satışa sunulmuş olan çeşitli konut projelerini, konfor, büyüklük, oda sayısı, şehir içi konum gibi özellikler bakımından değerlendirilmesini gerçekleştirmiştir [46].

İmamoğlu (2015), Trabzon ili içerisinde yeni kurulacak bir hastane için en uygun ilçenin seçilmesine yönelik melez bir Çok Ölçütlü Karar Verme modeli sunmuştur. Kriter ağırlıklarını Analitik ağ süreci ile belirleyip, ilçelerin nihai sıralamasını Promethee yöntemi ile bulmuştur [47].

Dinçer, Ekin ve Karakaş (2017) çalışmalarında, Türkiye'nin en büyük hava araçları bakım onarım merkezinde uçak komponentlerinin bakım ve tamirini yapan atölyelerin, uçaklardan sökülüp taraflarına gelen komponentlere iş önceliği atanmasında Promethee yöntemi kullanılarak tamir sürecine yön verilmesini işlemişlerdir. Süreci etkileyen kriterleri belirledikten sonra anket çalışmasıyla ağırlıkları belirlemişlerdir. Böylece promethee yöntemi ile atölyelerdeki işlerin sıralamasını gerçekleştirebilmişlerdir [48].

Bedir (2018), bir hidroelektrik santralinde vardiya personelinin çizelgelenmesi ve bu sayede personelden kaynaklı üretim duruşlarının önüne geçilmesini amaçlamıştır. Analitik Hiyerarşi Süreci yöntemi ile personel yetkinliklerini etkleyen faktörleri ağırlıklandırarak nihai sıralamayı Promethee yöntemi ile elde etmiştir. Böylece dengeli ve yetenek temelli bir vardiya çizelgesi elde ederek %86 iyileşme sağlamıştır [49].

2.2. PROMETHEE Algoritmasının Avantaj ve Dezavantajları

Promethee yönteminde her kritere özel tercih fonksiyonu belirlenir böyle her kriter kendine ait tercih fonksiyonu ile değerlendirilir buda bize daha esnek bir çözüm fırsatı sağlar. Ayrıca kriterlerin önemi göre ağırlıklandırılarak her bir kriter için farklı önem derecesi altında alternatifleri değerlendirebiliriz.

Tercih fonksiyonları veriler doğrultusunda amaca uygun doğru belirlenemezse sonuçlar bizi yanıltabilir.

2.3. PROMETHEE Algoritması

Promethee yönteminin süreç algoritması aşağıdaki gibidir;



Şekil 2.1. PROMETHEE algoritma aşamaları

PROMETHEE'nin ana aşamaları PROMETHEE I ve PROMETHEE II dir. PROMETHEE I de pozitif ve negatif üstünlük değerlerine göre alternatiflerin kısmi sıralaması, PROMETHEE II de ise net değerlere göre alternatiflerin tam sıralaması elde edilir. PROMETHEE 7 adımdan oluşmaktadır.

Adım 1: Alternatiflerin, kriterlerin ve ağırlıkların belirlenmesi

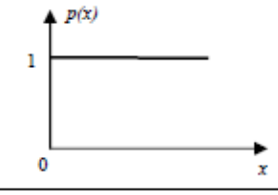
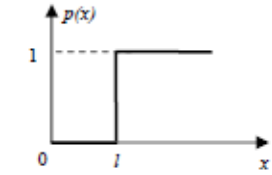
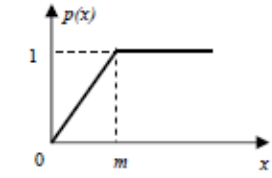
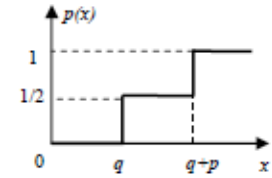
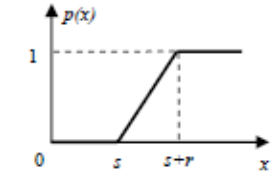
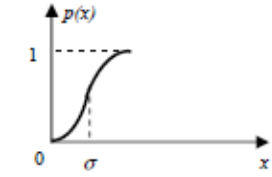
PROMETHEE çözümü oluşturulacak seçimler arasından alternatifler belirlenir. Daha sonra bu alternatiflerin sahip olması gereken özelliklere göre kriterler belirlenir. Bu kriterlerin birbirlerine göre önem derecelerine bağlı olarak ağırlıkları verilir. Belirlenen alternatifler, kriterler, kriter ağırlıkları ve alternatiflerin ilgili kriterlere göre aldığı değerlerle bir veri matrisi oluşturulur.

Tablo 2.1. Veri matrisi

Kriterler	A	B	C	…	W
f1	f1 (a)	f1 (b)	f1 (c)	…	w1
f2	f2 (a)	f2 (b)	f2 (c)	…	w2
…	…	…	…	…	…
…	…	…	…	…	…
fk	fk (a)	fk (b)	fk (c)	…	wk

Adım 2 : Her kriter için tercih fonksiyonlarının belirlenmesi

Belirlenen kriterler için tercih fonksiyonları tanımlanır. 6 farklı tercih fonksiyonu çizelgede gösterilmiştir.

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

Şekil 2.2. Tercih fonksiyonları [36]

Buradaki parametreler,

q: Farksızlık Değeri

p: Kesin Tercih Eşiği

s: p ve q Arasındaki Ara Değer ya da Standart Sapma

olarak tanımlanır. q Değeri, değerlendirme faktörlerinin karar noktalarına göre en büyük fark değeri iken, p değeri ise en küçük farktır.

Adım 3: Ortak tercih fonksiyonlarının belirlenmesi

Ortak tercih fonksiyonları belirlenirken her bir değerlendirme faktörü için karar noktalarının ikili karşılaştırmaları yapılır. Karar noktalarının ikili karşılaştırmalarında değerlendirme faktörünün maksimizasyon ya da minimizasyon yönlü olup olmadığına dikkat edilir.

Adım 4: Tercih indekslerinin belirlenmesi

Belirlenen ortak tercih fonksiyonlarına göre her alternatif çifti için tercih indeksleri belirlenir. Alternatiflerin tercih indeksleri Formül (2.1) ile hesaplanır.

$$\prod(a,b)=\frac{\sum_{i=1}^{k} w_i x P_i(a,b)}{\sum_{i=1}^{k} w_i} \tag{2.1}$$

Adım 5: Pozitif ve negatif üstünlüklerinin belirlenmesi

Pozitif ve negatif üstünlük değerleri a alternatifi için Eşitlik (2.2) ve Eşitlik (2.3) ile hesaplanır.

$\Phi^{+}(a)=\sum\prod(a, x)$, (2.2)

x=(b, c, d,…)

$\Phi^{-}(a)=\sum\prod(a, x)$, (2.3)

x=(b, c, d,…)

Adım 6: PROMETHEE I ile kısmi önceliklerinin belirlenmesi

Promethee I ile kısmi öncelikler belirlenir. Bu birbirlerine göre kıyaslanabilen alternatiflerin tercih edilme durumlarını ve birbirleriyle kıyaslanamayacak olan

alternatiflerin belirlenmesini sağlar. a ve b alternatiflerinin kısmi önceliklerin belirlenmesinde aşağıdaki durumlar söz konusudur.

Aşağıdaki koşullarda a alternatifi b alternatifine tercih edilir.

$\Phi^{+}(a) > \Phi^{+}(b)$ ve /veya $\Phi^{-}(a) < \Phi^{-}(b)$

$\Phi^{+}(a) > \Phi^{+}(b)$ ve /veya $\Phi^{-}(a) = \Phi^{-}(b)$

$\Phi^{+}(a) = \Phi^{+}(b)$ ve /veya $\Phi^{-}(a) < \Phi^{-}(b)$

Aşağıdaki koşul sağlanıyor ise a alternatifi ile b alternatifi farksızdır.

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

Aşağıdaki koşullarda ise, a alternatifi b alternatifi ile karşılaştırılamaz.

$\Phi^{+}(a) > \Phi^{+}(b)$ ve/veya $\Phi^{-}(a) > \Phi^{-}(b)$

$\Phi^{+}(a) < \Phi^{+}(b)$ ve /veya $\Phi^{-}(a) < \Phi^{-}(b)$

Adım 7: PROMETHEE II ile net önceliklerinin belirlenmesi

PROMETHEE II ile alternatifler için net öncelik değerleri hesaplanır. Bu değerlere göre alternatiflerin tam sıralaması belirlenir.

$$\Phi(a) = \Phi^{+}(b) - \Phi^{-}(a) \qquad (2.4)$$

Eşitlik (2.4)'e göre hesaplanan net öncelik değerine göre;

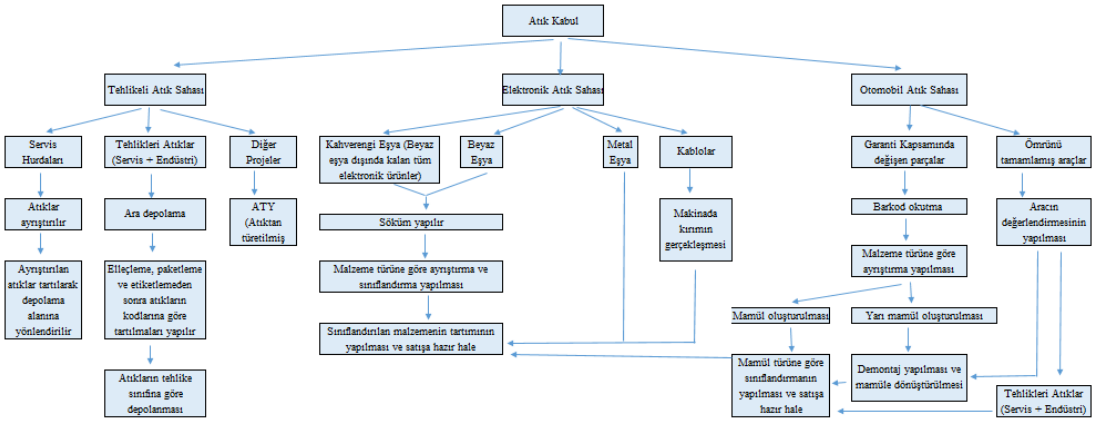
$\Phi(a) > \Phi(b)$ ise a alternatifi daha üstündür,

$\Phi(a) = \Phi(b)$ ise a ve b alternatifleri farksızdır.

3. GERİ DÖNÜŞÜM İŞLETMESİNDE VZA VE PROMETHEE YÖNTEMLERİNİN UYGULANMASI

Bu çalışma Kocaeli'de elektrikli ve elektronik cihaz, ömrünü tamamlamış otomobil, uçak ve aksamları, atık kablo, atık CRT geri dönüşümünün yanı sıra tehlikeli atık ara depolama, metal işleme, atık yönetim hizmeti, atık akümülatör geçici depolaması alanlarında faaliyet göstermekte olan bir geri dönüşüm firmasında uygulanmıştır.

Firmaya gelen atıklar cinslerine göre Şekil 3.1.'teki gibi tehlikeli atık, elektronik atık, otomobil atığı olarak üçe ayrılmaktadır.



Şekil 3.1. Üretim süreçleri

Tehlikeli atıklar elleçleme, paketleme ve etiketlenerek bertaraf edilmek üzere bertaraf firmalarına gönderilmektedir. Elektronik ve otomobil atıkların sökümünden demir, alüminyum, bakır, plastik, kağıt vb hammadde ürünleri elde edilmektedir.

Elektronik atık sahası; Kahverengi Eşya (Beyaz eşya dışında kalan tüm elektronik ürünler), beyaz eşya, metal eşya ve kablo olmak üzere dört gruba ayrılır. Kahverengi ve beyaz eşyalar söküm işlemine tabi tutulmaktadır. Daha sonra malzeme türüne göre ayrıştırma ve sınıflandırma yapılır. Sınıflandırılan malzemenin tartımı yapıldıktan sonra satışa hazır hale gelmektedir. Kablolar makinada kırımı gerçekleştikten sonra tartımı yapılıp satış hale gelmektedir. Metal eşya grubu ise direk tartım işlemi gerçekleştirip satış işlemi yapılmaktadır.



Şekil 3.2. Kablo kırma makinesi

Şekil 3.2.'de elektronik atık sahasına ait bir kablo makinesine ait görüntü bulunmaktadır. İşletmeye doğrudan gelen ya da elektroniklerin sökümünden çıkan kablolardan bu makinede bakır, plastik elde edilmektedir.

Şekil 3.3'te otomobil atık sahasından bir söküm işlemi görünmektedir.

Otomobil Atık Sahasına garanti kapsamında değişen otomobil parçaları ve ömrünü tamamlanmış hurda araç gelmektedir. Ömrünü tamamlamış hurda araçlar değerlendirme sonrası tehlikeli atık ise bertaraf firmalarına yönlendirilmekte, demontaj atık ise söküm işlemleri yapıldıktan sonra sınıflandırılarak satışa hazır hale gelmektedir. Garanti kapsamında ki hurda parçalar önce barkod okutma sonra gerekli söküm işlemleri yapıldıktan sonra sınıflandırılarak satışa hazır hale gelmektedir.

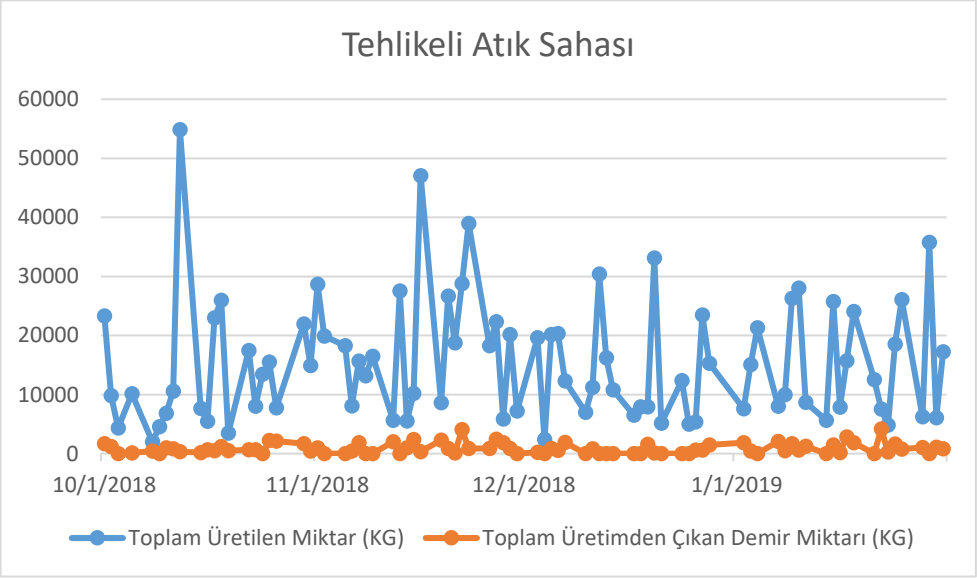
Dünya üstünde en yaygın bulunan metal türüne demir denir. Demirin kullanılmayan geri dönüşüme hazır bekleyen haline ise hurda demir ismi verilmektedir. Genellikle hurda demir özelliğini yitirmiş bir işlevi olmayan metallerdir. Demir hurdası sanayi ve ekonomi açısından gelişmekte olan ülkeler için değerli bir metaldir. Bu metaller yeniden geri dönüşüme kazandırılarak sanayiye ve ekonomiye değer katmaktadır.



Şekil 3.3. Hurda sökümü

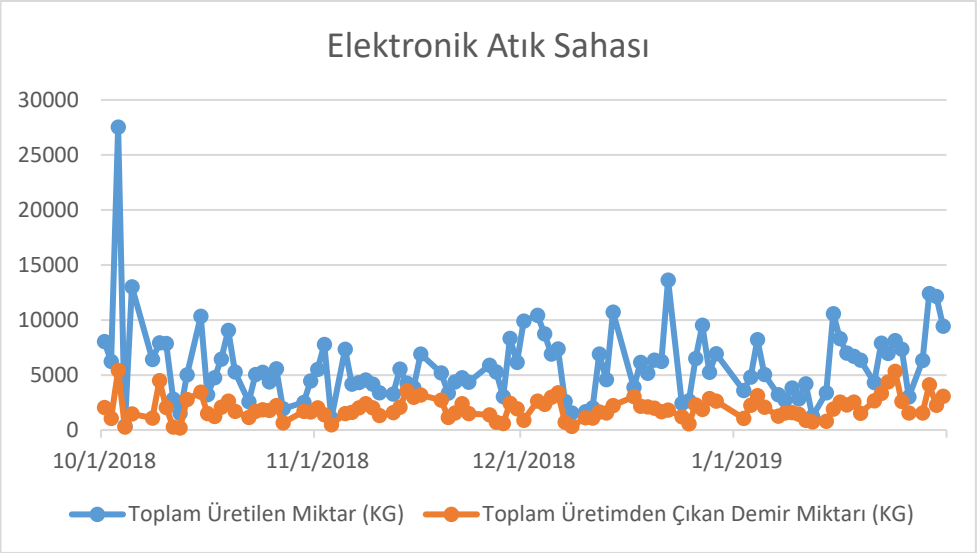
Özellikle demir çelik sanayisi'nin vazgeçilmez ürünüdür. Evimizde işyerlerimizde kullandığımız birçok ürün demir alaşımına sahiptir. Hurda değeri diğer metallere göre biraz daha düşük fakat piyasada en çok bulunan metaller sıralamasında başlarda yer alabilir.

Bu üç atık sahasından da demir hammadde eldesi mümkündür. Firmaya gelen atık miktarları ve uygulanan işlem sonucunda elde edilen demir miktarları günlük olarak 4 aylık süreç için dağılımları Şekil 3.4, Şekil 3.5. ve Şekil 3.6'daki gibidir;



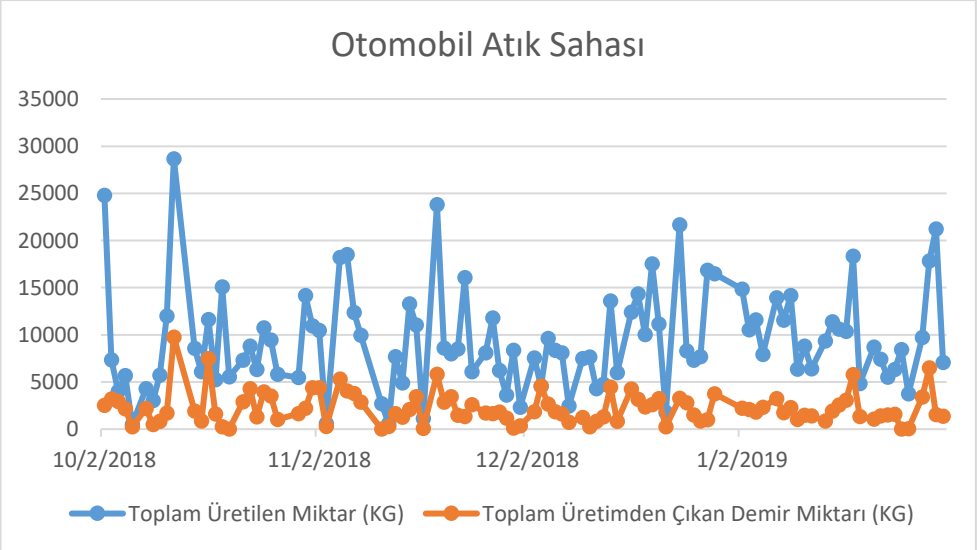
Şekil 3.4. Tehlikeli atık sahası üretim grafiği

Şekil 3.4.'e göre tehlikeli atık sahasında üretime giren malzeme miktarı zaman zaman değişmesine rağmen üretimden çıkan demir miktarında belli bir değişim söz konusu değildir. Bunun nedeni üretim sonunda demir çıkaran atıkların üretime giren miktarlarının günlük ortalama aynı olmasıdır. Üretim miktarlarındaki farklılığı ise bertaraf atık miktarlarındaki değişkenlikten kaynaklanmaktadır.



Şekil 3.5. Elektronik atık sahası üretim grafiği

Şekil 3.5.'teki grafiğe göre elektronik atık sahasında üretime giren atık miktarı ile üretimden çıkan demir miktarları oranlı bir şekilde artıp azalmaktadır. Bunun nedeni üretime giren çoğu elektronik saha atığından demir çıkmasıdır.



Şekil 3.6. Otomobil atık sahası üretim grafiği

Şekil 3.6'daki grafiğe göre otomobil atık sahasında üretime giren atık miktarı ile üretimden çıkan demir miktarları yine oranlı bir şekilde artıp azalmaktadır. Bunun nedeni yine üretime giren çoğu elektronik saha atığından demir çıkmasıdır.

Bu çalışmanın çözümünde veri zarflama analizi yöntemi ile promethee yöntemi kullanılıp, sonuçların birbirlerini destekler nitelikte olup olmadığı irdelenecektir.

3.1. Veri Zarflama Analizi

3.1.1. Araştırmanın amacı ve kapsamı

Araştırmada, bir geri dönüşüm firmasında söküm yapılan malzemeler için etkinlik düzeylerinin veri zarflama analizi yöntemiyle ölçülmesi amaçlanmıştır. Etkin olmayan birimler için etkinsizlik sebebinin kaynakları ve referans almaları gereken birimler belirlenip tam etkin olabilmelerini sağlamak için öneriler sunulacaktır.

Analiz sonucunda elde edilen bulgular değerlendirilerek, söküm yapılan malzemelerden optimum fayda sağlamak istenmektedir.

3.1.2. Karar verme birimlerinin seçimi

Bu çalışmada kullanılan karar verme birimleri aynı proseslerden geçen ve bu prosesler sonucu aynı malzemelerin üretildiği söküm işlemlerinden geçen malzemelerdir. Karar verme birimleri Tablo 3.1'deki gibidir.

Tablo 3.1. Karar verme birimleri ve sembolleri

KARAR VERME BİRİMLERİ	SEMBOL
KAHVERENGİ EŞYA	KE
ÇAMAŞIR MAKİNESİ	ÇM
BULAŞIK MAKİNESİ	BM
PİŞİRİCİ	PİŞ
KLİMA	K
SU SEBİLİ	SS
KÜÇÜK EV ALETLERİ	KEA
KOMPRESÖR MOTORU	KM
ŞANZUMAN	Ş
KÜÇÜK MOTOR	M
ARAÇ ELEKTRONİK AKSAM	AEA
RADYATÖR	R
TURBO	T

3.1.3. Değişkenlerin seçimi

Girdi ve çıktı seçiminde, çoğu zaman konuyla ilgili uzman görüşler, geçmiş deneyimler ve kurumsal bilgi yol gösterici olmaktadır.

Girdi ve çıktı kümeleri seçiminde yönetim tarafından söküm yapılan malzemelerin etkinlikleri üzerinde önemli olduğuna karar verilen değişkenlerden seçilmiştir. Girdi kümesini günlük söküme giren ortalama "malzeme miktarı(kg)", günlük üretime giren ortalama malzeme miktarı için harcanan "ortalama işçilik saati(dk)", günlük söküme giren ortalama malzeme miktarının "alış fiyatı (TL)", çıktı kümesini ise bu malzemelerin sökümünden çıkan ortalama "demir miktarı (kg)" ve bu demir miktarının "satış fiyatı (TL)" oluşturmaktadır. Girdi ve çıktı kümeleri Tablo 3.2.'deki gibidir.

Tablo 3.2. Girdi ve çıktı değişkenleri

GİRDİ KÜMESİ	ÇIKTI KÜMESİ
ÜRETİLEN MİKTAR (KG) İŞÇİLİK SAATİ (DK) ALIŞ FİYATI (TL)	SATIŞ FİYATI (TL) DEMİR MİKTARI (KG)

3.1.4. Metodoloji

Veri zarflama analizi; girdilerde ne oranda artış yapılırsa çıktılarda da aynı oranda artış gösteren ölçeğe göre sabit getiriyi kabul eden CCR modeli ile veya girdilerdeki artış miktarına karşılık çıktılarda daha az veya daha çok artış gösterebilen ölçeğe göre değişken getiri olan BCC modeli ile yapılabilir. Bu çalışmada çıktılar üzerinde fazla değişiklik yapılması mümkün olmadığından dolayı girdiye yönelik CCR modeli ile çözülmüştür. Amaç minimum girdi ile maksimum çıktı elde etmektir.

VZA yöntemi için karar verme birimleri söküm yapılan malzemeler olarak belirlenmiştir. Bu malzemelerin üretim süreçleri ve üretimden çıkan malzemeler benzerdir. Karar verme birimlerinin etkinliklerini önemli ölçüde etkileyeceği düşünülen girdi kümeleri üretim miktarı, işçilik saati ve malzeme alış fiyatı, çıktı kümesi ise üretilen demir miktarı ve satış fiyatı olarak yönetim tarafından belirlenmiştir. İşçilik saatleri ve üretim miktarları verileri 4 ay boyunca günlük

olarak takip edilmiş olan verilerden oluşmaktadır. Alış ve satış fiyatları ise firmanın muhasebe departmanından elde edilmiştir. Problemi analiz etmek için EMS 1.3 paket programı kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan verilerin girdi çıktı değişkenleri ve karar verme birimleri bazında değerleri Tablo 3.3.'teki gibidir.

Tablo 3.3. Karar verme birimleri ve girdi çıktı kümesi verileri

KARAR VERME BİRİMLERİ (KVB)	GİRDİ			ÇIKTI	
	ÜRETİLEN MİKTAR	İŞÇİLİK SAATİ	MALZEME ALIŞ FİYATI	DEMİR SATIŞ FİYATI	DEMİR MİKTARI
KAHVERENGİ EŞYA (KE)	1463,35	1480	0,65	333,61	439,89
ÇAMAŞIR MAKİNESİ (ÇM)	3470,29	1602	0,69	683,34	1007,06
BULAŞIK MAKİNESİ (BM)	2291,77	1244	0,55	432,75	756,42
PİŞİRİCİ (PİŞ)	2641,12	1476	1,02	738,67	1682,36
KLİMA (K)	2406	1475	7,29	100,68	630,58
SU SEBİLİ (SS)	1256,25	1117	2	42,70	401,25
KÜÇÜK EV ALETLERİ (KEA)	2022	1300	0,22	154,08	772
KOMPRESÖR MOTORU (KM)	3782,71	2298	2,8	2740,30	3262,25
ŞANZUMAN (Ş)	993,78	364	0	108,49	163,08
KÜÇÜK MOTOR (M)	374,6	456	0	114,11	128
ARAÇ ELEKTRONİK AKSAM (AEA)	182,75	63	0	25,75	16,4
RADYATÖR	1491	1286	0	235,85	150,22
TURBO	1133,66	910	0	104,33	66,45

3.1.5. Araştırma bulguları

Etkin olan ve olmayan birimler değerlendirilip, referans kümeleri oluşturulmuştur. Etkin olmayan birimler için iyileştirme fırsatları sunulmuştur. Süper etkinlik modeli ile KVB lerin etkinlik değerlerine göre sıralama elde edilmiştir.

VZA yöntemi ile CCR girdi modeline göre analiz sonuçları düzenlenmiştir. Bu analiz sonuçlarına göre süper etkinlik değerleri, referans kümeleri ve artık değerlerine göre yorumlar yapılmıştır.

Tabloda CCR girdi modeline göre analiz sonuçları verilmiştir. Bu analize göre karar verme birimlerinin süper etkinlik değerleri, referans kümeleri ve görülme sıklıkları Tablo 3.4.'te görülmektedir.

Tablo 3.4. KVB'lerin süper etkinlik değerleri, referans kümeleri ve görülme sıklıkları

KARAR VERME BİRİMLERİ		SÜPERETKİNLİK SKORU	BENCMARKS (REFERANS KÜME)	GÖRÜLME SIKLIĞI
1	KAHVERENGİ EŞYA	62,165	4 (0,07) 8 (0,04) 10	
2	ÇAMAŞIR MAKİNESİ	76,097	4 (0,37) 8 (0,77) 10	
3	BULAŞIK MAKİNESİ	81,282	4 (0,37) 8(0,002) 10	
4	PİŞİRİCİ	129,34		4
5	KLİMA	30,39	8 (0,19)	
6	SU SEBİLİ	41,967	4 (0,09) 8 (0,08)	
7	KÜÇÜK EV ALETLERİ	121,144		0
8	KOMPRESÖR MOTORU	257,325		5
9	ŞANZUMAN	159,608		0
10	KÜÇÜK MOTOR	240,96		5
11	ARAÇ ELEKTRONİK AKSAM	137,128		4
12	RADYATÖR	66,451	10 (1,57) 11 (2,20)	
13	TURBO	40,573	10 (0,64) 11 (1,20)	

Tablo 3.4'e göre karar verme birimlerinden pişirici, küçük ev aletleri, kompresör motoru, şanzuman, küçük motor ve araç elektronik aksam etkin olan birimlerdir. Kahverengi eşya, çamaşır makinesi, bulaşık makinesi, klima, su sebili, radyatör ve turbo ise etkin olmayan birimlerdir.

Tablo 3.5. KVB'lerin olumsuzluk değerleri

KARAR VERME BİRİMLERİ		SÜPER ETKİNLİK SKORU	OLUMSUZLUK DEĞERLERİ				
			ÜRETİLEN MİKTAR (KG) (I)	İŞÇİLİK SAATİ (DK) (I)	ALIŞ FİYATI (TL) (I)	SATIŞ FİYATI (TL) (O)	DEMİR MİKTARI (KG) (O)
1	KAHVERENGİ EŞYA	62,165	0,75	0	0,25	0,19	0,43
2	ÇAMAŞIR MAKİNESİ	76,097	0,17	0,34	0,49	0,47	0,29
3	BULAŞIK MAKİNESİ	81,282	0,18	0,42	0,4	0,47	0,34
4	PİŞİRİCİ	129,34	0	0,6	0,4	0	1,29
5	KLİMA	30,39	0,99	0	0	0	0,3
6	SU SEBİLİ	41,967	0,66	0	0,33	0	0,41
7	KÜÇÜK EV ALETLERİ	121,144	0,28	0,43	0,3	0	1,21
8	KOMPRESÖR MOTORU	257,325	0,92	0,08	0	2,57	0
9	ŞANZUMAN	159,608	0	1	0	0	1,6
10	KÜÇÜK MOTOR	240,96	1	0	0	1,29	1,12
11	ARAÇ ELEKTRONİK AKSAM	137,128	0	0,99	0	1,37	0
12	RADYATÖR	66,451	0,32	0,68	0	0,66	0
13	TURBO	40,573	0,34	0,66	0	0,41	0

Pişirici 4 kez, kompresör motoru 5 kez, küçük motor 5 kez ve araç elektronik aksam 4 kez etkin olmayan birimlere referans olmuştur. Örneğin; etkin olan pişirici; etkin olmayan kahverengi eşya, çamaşır makinesi, bulaşık makinesi ve su sebili tarafından referans alınmıştır. Ayrıca tabloda etkin olmayan birimlerin etkinliklerini artırabilmek için etkin olan birimleri ne oranda örnek alması gerektiği de belirtilmektedir. Örneğin etkin bir birim olmayan su sebili; 0,09 oranında 4 numaralı etkin birim olan pişiriciyi ve 0,08 oranında 8 numaralı etkin birim olan kompresör motorunu örnek almalıdır.

Tablo 3.5.'te karar verme birimlerinin etkinliklerini olumsuz yönde etkileyen sebepler ve oranları verilmiştir. Aşağıdaki tabloda ise etkin olmayan birimlerin etkinsizlik nedenleri ve miktarları verilmiştir. Bunlar artık değerler olarak tanımlanır.

Örneğin; kahverengi eşya birimi için süper etkinlik değerinin 62,165 çıkmasının nedeni yukarıdaki tabloya göre 0,75 oranında üretilen miktar, 0,25 oranında alış fiyatı, 0,19 oranında satış fiyatı ve 0,43 oranında demir miktarının olumsuz etkisinden kaynaklanmaktadır. Kahverengi eşya biriminin etkin olabilmesi için bunları iyileştirmenin yanı sıra Tablo 3.6.'ya göre fazlalık olan 20,31 dakikalık işçilik saatinde azalma ile etkin olacağı görülmektedir.

Tablo 3.6. KVB'lerin artık değerleri

KARAR VERME BİRİMLERİ		SÜPER ETKİNLİK SKORU	ARTIK DEĞERLER				
			ÜRETİLEN MİKTAR (KG) (I)	İŞÇİLİK SAATİ (DK) (I)	ALIŞ FİYATI (TL) (I)	SATIŞ FİYATI (TL) (O)	DEMİR MİKTARI (KG) (O)
1	KAHVERENGİ EŞYA	62,165	0,00	20,31	0,00	0,00	0,00
2	ÇAMAŞIR MAKİNESİ	76,097	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	BULAŞIK MAKİNESİ	81,282	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4	PİŞİRİCİ	129,34					
5	KLİMA	30,39	0,00	4,06	3283,01	429	0,00
6	SU SEBİLİ	41,967	0,00	160,01	0,00	0,00	0,00
7	KÜÇÜK EV ALETLERİ	121,144					
8	KOMPRESÖR MOTORU	257,325					
9	ŞANZUMAN	159,608					
10	KÜÇÜK MOTOR	240,96					
11	ARAÇ ELEKTRONİK AKSAM	137,128					
12	RADYATÖR	66,451	0,00	0,00	0,00	0,00	86,83
13	TURBO	40,573	0,00	0,00	0,00	0,00	35,65

Bir başka örnek ile açıklayacak olursak; su sebili birimi için süper etkinlik değerinin 41,967 olmasının nedeni 0,66 oranında üretilen miktar, 0,33 oranında alış fiyatı ve 0,41 oranında demir miktarının olumsuz etkisinden kaynaklanmaktadır. Su sebili biriminin etkin olabilmesi için bunları iyileştirmenin yanı sıra fazlalık olan 160 dakikalık işçilik saatinde azalma ile etkin olacağı görülmektedir.

Geri dönüşüm firmasının 13 çeşit malzemenin 4 aylık verilerine göre, veri zarflama analizi ile etkinlik ölçümü yapılmıştır. Tablolarında bulunan sonuçlar elde edilmiştir.

Geri dönüşüm firmasının söküm yapılan 13 çeşit malzemeden pişirici, küçük ev aletleri, kompresör motoru, şanzuman, küçük motor, araç elektronik aksam etkin olan birimlerdir. Bu birimlerin kaynaklarında israf, girdi ve çıktılarında fazlalık veya azlık yoktur. Ayrıca bu birimler etkin olmayan birimlerin etkin duruma gelebilmeleri için onlara referans olurlar.

Kahverengi eşya, çamaşır makinesi, bulaşık makinesi, klima, su sebili, radyatör ve turbo ise etkin olmayan birimlerdir. Bu birimlerin kaynak kullanımlarında israf vardır. Girdi ve çıktılarında fazlalık veya azlık vardır. Etkin olmayan birimler girdilerindeki fazlalık kadar azaltır, çıktılarındaki eksiklik kadar artırırlarsa etkin bir birim haline gelirler.

Örneğin; klima birimi süper etkinlik değeri 30,39 olup etkin olmayan bir birimdir. İşçilik saatini yaklaşık 4 dk, alış fiyatını yaklaşık 3283 TL azaltıp, satış fiyatını 429 TL artırabilirse etkin bir birim olabilir.

Tablo 3.4.'teki sonuçlar incelendiğinde; en fazla parçaya referans olan karar verme birimleri küçük motor ve kompresör motoru olup toplamda 5 parçaya referans gösterilmiştir. Küçük motoru 4 parçaya referans olmaları ile pişirici ve araç elektronik aksam izlemektedir.

Etkin olan ve olmayan birimleri kendi aralarında sıralamak için süper etkinlik değerlerinden yararlanılmıştır. Model girdi yönlü olduğu için en yüksek etkinlik değerine sahip olan birim karar verme birimleri arasında en etkin olan birimdir. Buna göre en etkin olan birimden en az etkin olan birime doğru sıralama şu şekilde olacaktır; kompresör motoru, küçük motor, şanzuman, araç elektronik aksam, pişirici,

küçük ev aletleri, bulaşık makinesi, çamaşır makinesi, radyatör, kahverengi eşya, su sebili, turbo, klima.

Tablo 3.7. KVB'lerin etkinlik sıralaması

KARAR VERME BİRİMLERİ		SÜPERETKİNLİK SKORU	SIRALAMA
8	KOMPRESÖR MOTORU	257,325	1
10	KÜÇÜK MOTOR	240,96	2
9	ŞANZUMAN	159,608	3
11	ARAÇ ELEKTRONİK AKSAM	137,128	4
4	PİŞİRİCİ	129,34	5
7	KÜÇÜK EV ALETLERİ	121,144	6
3	BULAŞIK MAKİNESİ	81,282	7
2	ÇAMAŞIR MAKİNESİ	76,097	8
12	RADYATÖR	66,451	9
1	KAHVERENGİ EŞYA	62,165	10
6	SU SEBİLİ	41,967	11
13	TURBO	40,573	12
5	KLİMA	30,39	13

Tabloya göre en etkin birim kompresör motorudur. Kompresör motorunu küçük motor ve şanzuman takip etmektedir. Etkinliği en düşük olan birim ise klimadır.

3.2. Promethee Senaryo 1

3.2.1. Araştırmanın amacı ve kapsamı

Firmada en çok satışı yapılan ve sürekli gelir getiren önemli kaynaklarından biri demirdir. Demirin yoğun olarak çıktığı malzemeler ise söküm prosesine giren parçalardır. Amaçlarımızdan biri söküm yapılan malzemelerin performanslarını olumsuz yönde etkileyen kriterleri belirleyip, çözüm önerileri sunmak; diğeri ise belirlenen kriterler altında pozitif ve negatif üstünlüklerine göre söküm yapılan parçaların performans sıralamasını görmektir.

Veri zarflama analizinde karar verme birimleri olarak değerlendirilen kahverengi eşya, çamaşır makinesi, bulaşık makinesi, pişirici, klima, su sebili, küçük ev aletleri, kompresör motoru, şanzuman, küçük motor, araç elektronik aksam, radyatör ve turbo parçaları PROMETHEE yöntemi için alternatif birimler olarak değerlendirilecektir.

Veri zarflama analizinde süper etkinlik değerleri ile oluşturulan sıralama ile PROMETHEE yönteminden elde edeceğimiz sıralama arasında istatistiksel olarak uyum olup olmadığı değerlendirilecektir.

3.2.2. Kriterlerin belirlenmesi

Veri zarflama analizinde girdi ve çıktı değişken kümelerini oluşturan üretim miktarı, işçilik saati, alış fiyatı, satış fiyatı ve demir miktarı PROMETHEE yöntemi için kriterler olarak belirlenmesi uygun görülmüştür.

Üretim miktarı (kg): Sökümü yapılan parçaların günlük olarak üretime giren toplam miktarıdır.

İşçilik saati (dak): Günlük üretime giren parçaların toplam miktarının sökülebilmesi için geçen süredir.

Alış fiyatı (TL): Günlük üretime giren parçaların toplam miktarının alış fiyatıdır.

Satış fiyatı (TL): Günlük üretimden çıkan demirin toplam miktarının satış fiyatıdır.

Demir miktarı (kg): Günlük üretime giren parçalardan söküm sonucu çıkan toplam demir miktarıdır.

Kaynak kullanımında israfı azaltmak için; belirlenen kriterlerden üretim miktarı, işçilik saati ve alış fiyatının min olması, satış fiyatı ve üretimden çıkan demir miktarı max olması istenir.

Veri zarflama analizinde girdi ve çıktı kümelerinde herhangi bir ağırlıklandırma yapılmadığı için PROMETHEE'de de kriterler için ağırlıklar eşit kabul edilmiştir.

3.2.3. Tercih fonksiyonlarının belirlenmesi

Her bir kriter için tercih fonksiyonu belirlenmiştir. Bu çalışmada genel amacımız en düşük üretim miktarı, işçilik saati ve alış fiyatları ile en yüksek demir miktarı elde edip en yüksek fiyatta satabilmektir.

Kriter ağırlıkları ve tercih fonksiyonları Şekil 3.7'de görüldüğü gibi belirlenmiştir.

Üretim miktarı ve işçilik saati kriterleri için ortalamanın üzerindeki değerlerin göz ardı edilebileceği ve ortalamanın altındaki değerler tercih edileceği düşünülmüş olup doğrusal (lineer) 5. Tip tercih fonksiyonu kullanılması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.

	Scenario1	Üretilen Mikt...	İşçilik Saati (...	Alış Fiyatı (TL)	Satış Fiyatı (TL)	Demir Miktarı...
	Unit	unit	unit	unit	unit	unit
	Cluster/Group	◆	◆	◆	◆	◆
	Preferences					
	Min/Max	min	min	min	max	max
	Weight	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	Preference Fn.	Linear	Linear	V-shape	V-shape	V-shape
	Thresholds	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute
	- Q: Indifference	182,00	63,00	n/a	n/a	n/a
	- P: Preference	1807,00	1160,00	2952,00	447,00	728,00
	- S: Gaussian	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
	Statistics					
	Evaluations					
☑	KE	1463,35	1480,00	951,18	333,61	439,89
☑	ÇM	3470,29	1602,00	2394,50	683,34	1007,06
☑	BM	2291,77	1244,00	1260,47	432,75	756,42
☑	PİŞ	2641,12	1476,00	2693,94	738,67	1682,36
☑	K	2406,00	1475,00	17539,74	100,68	630,58
☑	SS	1256,25	1117,00	2512,50	42,70	401,25
☑	KEA	2022,00	1300,00	444,84	154,08	772,00
☑	KM	3782,71	2298,00	10591,59	2740,30	3262,25
☑	Ş	993,78	364,00	0,00	108,49	163,08
☑	M	374,60	456,00	0,00	114,11	128,00
☑	AEA	182,75	63,00	0,00	25,75	16,40
☑	RAD	1491,00	1286,00	0,00	235,85	150,22
☑	TUR	1122,66	910,00	0,00	104,33	66,45

Şekil 3.7. PROMETHEE I uygulaması ekran görüntüsü

Alış fiyatı kriteri için firma parçaları ortalamanın altında bir fiyat ile satın almayı tercih etmekte fakat ortalamanın üzerindeki fiyatları da değerlendirmeye almayı istemektedir. Bu nedenle V tipi 3. Tip fonksiyon kullanılmıştır.

Satış fiyatı ve demir miktarı kriterleri için; ortalamanın üzerindeki fiyat ve miktarlar tercih edilip, ortalamanın altındaki miktarlar da değerlendirmeye alınacaktır. Bu nedenle V tipi 3. Tip fonksiyon kullanılmıştır.

3.2.4. Pozitif ve negatif üstünlük değerlerinin hesaplanması

Çalışmada 13 adet alternatifin belirli kriterler altında değerlendirilmesinde uygun görülen kriter ağırlıkları ve fonksiyonlarla çözümünden elde edilen pozitif ve negatif üstünlük değerleri Şekil 3.8.'deki gibi verilmiştir.

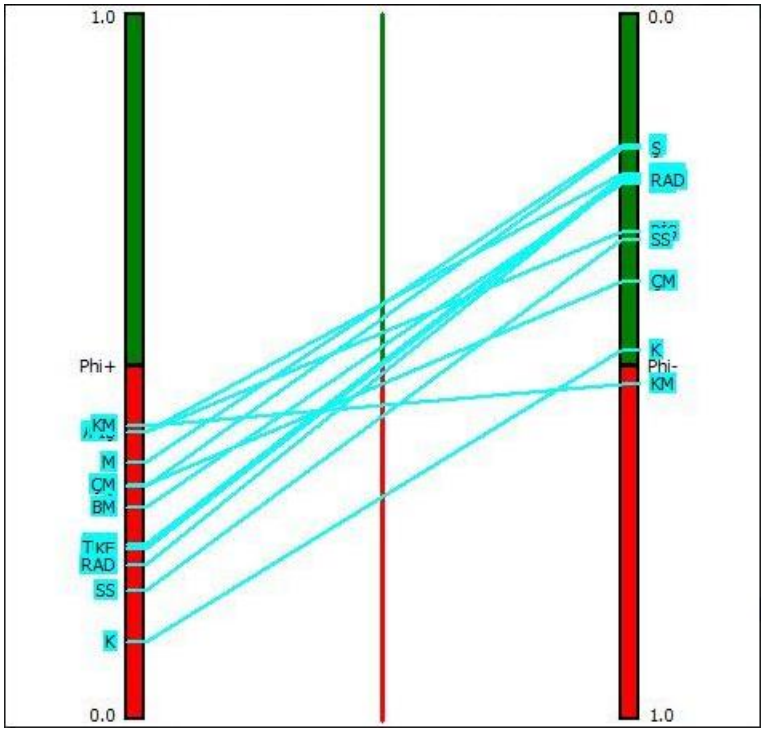
PROMETHEE Flow Table

Rank	action	Phi	Phi+	Phi-
1	AEA	0,1784	0,4065	0,2280
2	M	0,1763	0,3633	0,1870
3	Ş	0,1385	0,3302	0,1917
4	PİŞ	0,0968	0,4063	0,3095
5	BM	0,0584	0,2999	0,2415
6	KEA	0,0161	0,2472	0,2312
7	TUR	0,0089	0,2423	0,2335
8	KE	0,0067	0,2418	0,2351
9	RAD	-0,0185	0,2189	0,2373
10	ÇM	-0,0478	0,3323	0,3801
11	KM	-0,1076	0,4167	0,5242
12	SS	-0,1383	0,1811	0,3194
13	K	-0,3679	0,1091	0,4771

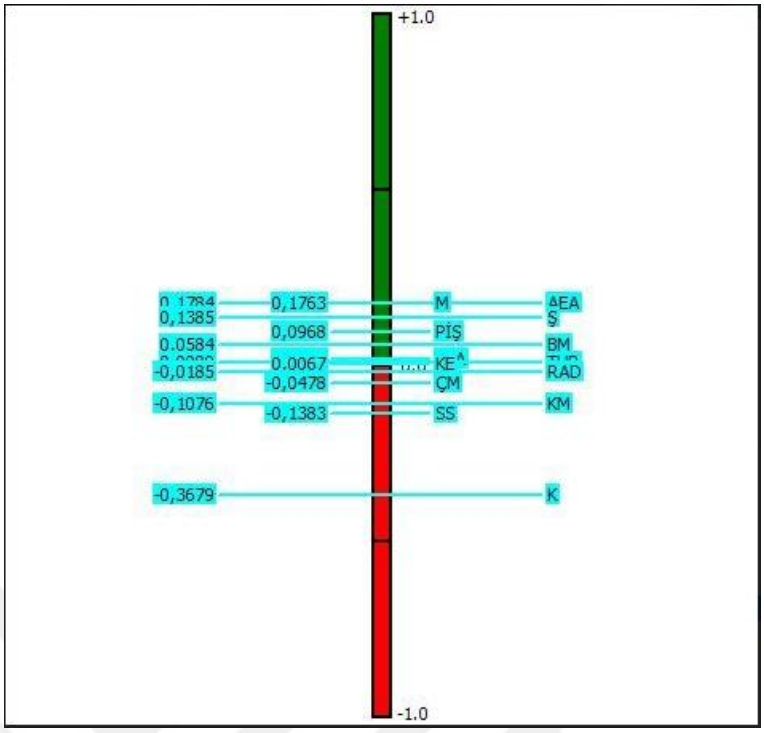
Şekil 3.8. Pozitif ve negatif üstünlük değerleri

3.2.5. Kısmi ve tam sıralama

Pozitif ve negatif üstünlüklerine göre kısmi ve tam sıralamalar Şekil 3.9. ve Şekil 3.10'daki gibidir.



Şekil 3.9. Kısmi sıralama



Şekil 3.10. Tam sıralama

Buna göre öncelik sıralaması net üstünlük değerlerine göre 0,178 değerle ilk sırada araç elektronik aksam, 0,176 değerle motor ikinci sırada, 0,139 değerle şanzuman üçüncü sırada gelmektedir. Bunları sırasıyla pişirici, bulaşık makinesi, küçük ev aletleri, turbo, kahverengi eşya, radyatör, çamaşır makinesi, kompresör motoru, su sebili takip etmektedir. Klima ise -0,368 değerle son sıradadır.

3.2.6. Araştırma bulguları

Firmada üretilen miktar, işçilik saati, satın alma fiyatı, üretilen demir miktarı ve satış fiyatı kriterleri altında söküm işleminden geçen kahverengi eşya, çamaşır makinesi, bulaşık makinesi, pişirici, klima, su sebili, küçük ev aletleri, kompresör motoru, şanzuman, küçük motor, araç elektronik aksam, radyatör ve turbo parça alternatiflerinin öncelik sıralamasını belirlemek amacıyla PROMETHEE yönteminden faydalanılmıştır. Kriterler için önem ağırlıkları eşit kabul edilmiştir. Üretilen parça miktarı, işçilik saati ve satın alma fiyatı için amaç minimize edip, satış fiyatı ve üretimden çıkan demir miktarını maksimize etmektir. Değerlendirme sonucunda 13 adet parça için öncelik sıralaması aşağıdaki gibidir;

Tablo 3.8. PROMETHEE senaryo 1 sıralama sonuçları

SIRALAMA	ALTERNATİFLER
1	ARAÇ ELEKTRONİK AKSAM
2	KÜÇÜK MOTOR
3	ŞANZUMAN
4	PİŞİRİCİ
5	BULAŞIK MAKİNESİ
6	KÜÇÜK EV ALETLERİ
7	TURBO
8	KAHVERENGİ EŞYA
9	RADYATÖR
10	ÇAMAŞIR MAKİNESİ
11	KOMPRESÖR MOTORU
12	SU SEBİLİ
13	KLİMA

Buna göre elimizdeki kısıtlı kaynaklardan verimli bir miktar demir ve satış fiyatı elde etmek için öncelikle araç elektronik aksam söküme girmeli, daha sonra küçük motor ve şanzuman olarak devam etmektedir.

3.3. Promethee Senaryo 2

Senaryo 2'de kriterlere önem ağırlıkları verilmesinin sonuç üzerindeki etkilerinin görülmesi amaçlanmıştır. Önem ağırlıkları şirket yöneticilerinin ortak görüşü sonucu belirlenmiştir.

Buna göre; üretilen miktar kriteri için 0,05, işçilik saati kriteri için 0,08, alış fiyatı kriteri için 0,17, satış fiyatı kriteri için 0,30, demir miktarı kriteri için ise 0,40 ağırlık değerleri verilmiştir. Bu şekilde ağırlıklandırmanın ortak amacı çıktıların önem seviyelerini arttırmaktır. Bizim için en önemli kriter olan demir miktarı en yüksek ağırlık değerini almıştır.

Şekil 3.11.'de görüldüğü gibi, tercih fonksiyonları ve amaçları değiştirilmemiş olup sadece kriter ağırlıkları eklenmiştir. Elde edilen sıralama sonuçları Şekil 3.12'deki gibidir.

Scenario1	Üretilen Mikt...	İşçilik Saati (...	Alış Fiyatı (TL)	Satış Fiyatı (TL)	Demir Miktarı...
Unit	unit	unit	unit	unit	unit
Cluster/Group	◆	◆	◆	◆	◆
Preferences					
Min/Max	min	min	min	max	max
Weight	0,05	0,08	0,17	0,30	0,40
Preference Fn.	Linear	Linear	V-shape	V-shape	V-shape
Thresholds	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute
- Q: Indifference	182,00	63,00	n/a	n/a	n/a
- P: Preference	1807,00	1160,00	2952,00	447,00	728,00
- S: Gaussian	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
Statistics					
Evaluations					
KE	1463,35	1480,00	951,18	333,61	439,89
ÇM	3470,29	1602,00	2394,50	683,34	1007,06
BM	2291,77	1244,00	1260,47	432,75	756,42
PİŞ	2641,12	1476,00	2693,94	738,67	1682,36
K	2406,00	1475,00	17539,74	100,68	630,58
SS	1256,25	1117,00	2512,50	42,70	401,25
KEA	2022,00	1300,00	444,84	154,08	772,00
KM	3782,71	2298,00	10591,59	2740,30	3262,25
Ş	993,78	364,00	0,00	108,49	163,08
M	374,60	456,00	0,00	114,11	128,00
AEA	182,75	63,00	0,00	25,75	16,40
RAD	1491,00	1286,00	0,00	235,85	150,22
TUR	1122,66	910,00	0,00	104,33	66,45

Şekil 3.11. PROMETHEE senaryo 2 uygulaması ekran görüntüsü

PROMETHEE Flow Table

Rank	action	Phi	Phi+	Phi-
1	KM	0,4474	0,7142	0,2667
2	PİŞ	0,4417	0,6446	0,2028
3	ÇM	0,2853	0,5279	0,2426
4	BM	0,1906	0,3987	0,2081
5	KEA	0,0699	0,2979	0,2280
6	KE	-0,0106	0,2512	0,2618
7	Ş	-0,1428	0,1772	0,3199
8	M	-0,1468	0,1803	0,3270
9	RAD	-0,1515	0,1693	0,3208
10	AEA	-0,2234	0,1817	0,4051
11	TUR	-0,2300	0,1338	0,3638
12	SS	-0,2555	0,1322	0,3877
13	K	-0,2745	0,1575	0,4320

Şekil 3.12. PROMETHEE senaryo 2 pozitif ve negatif üstünlük değerleri

Ağırlıklar verildiğinde kompresör motoru 11. sıradan 1. sıraya yükselmiştir. 2. sırayı ise pişirici alırken 3. sırada çamaşır makinesi yer almıştır. Son sırada ise yine klima gelmektedir.

3.4. Spearman Korelasyon Analizi

Yöntemler arasındaki benzerlik ilişkisini istatistiksel olarak görebilmek için Spearman korelasyon testi uygulanmıştır. α=0,05 güven aralığı için tablo değeri 0,62'dir.

Tablo 3.9. Spearman korelasyon karşılaştırma tablosu

PARÇALAR / YÖNTEMLER	VZA	PROMETHEE SENARYO 1	PROMETHEE SENARYO 2
ARAÇ ELEKTRONİK AKSAM	4	1	10
KÜÇÜK MOTOR	2	2	8
ŞANZUMAN	3	3	7
PİŞİRİCİ	5	4	2
BULAŞIK MAKİNESİ	7	5	3
KÜÇÜK EV ALETLERİ	6	6	5
TURBO	12	7	11
KAHVERENGİ EŞYA	10	8	6
RADYATÖR	9	9	9
ÇAMAŞIR MAKİNESİ	8	10	3
KOMPRESÖR MOTORU	1	11	1
SU SEBİLİ	11	12	12
KLİMA	13	13	13

Tablo 3.9.'daki karşılaştırmanın test sonuçlarına göre VZA ve PROMETHEE senaryo 1 arasındaki korelasyon katsayısı 0,60 olup, 0,60 < 0,62 olduğundan hipotez reddedilmiştir. İki yöntemin değerlendirme sonuçlarındaki sıralamalar arasındaki ilişki pozitif yönlüdür, kuvvetlidir, fakat benzerlik yoktur. VZA ile PROMETHEE senaryo 2 arasındaki korelasyon katsayısı 0,58 olup, 0,58 < 0,62 olduğundan hipotez reddedilmiştir. Yine iki yöntemin değerlendirme sonuçlarındaki sıralamalar ilişki pozitif yönlüdür, kuvvetlidir, fakat benzerlik yoktur. PROMETHEE senaryo 1 ile PROMETHEE senaryo 2 arasındaki korelasyon katsayısı ise 0,16 olup, 0,16 < 0,62 olduğundan hipotez reddedilmiştir. İki yöntemin değerlendirme sonuçlarındaki sıralamalar ilişki pozitif yönlüdür, zayıftır ve benzerlik yoktur.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Günümüzde insan ve çevre sağlığını olumsuz yönde etkilemekte olan evsel, endüstriyel, tarımsal, ticari ve kurumsal atıklar en büyük paya sahiptir. Bu nedenle gerek bu atıkların bertarafına gerek geri kazanımına gerekse geri dönüşümüne ayrılan kaynakların elde edilmesinde, uygulanan işlem türünün verimlilik ölçümünde karar vericilere önemli bir gösterge olması nedeniyle performans değerlendirmesi oldukça önemlidir. Performans ölçümü için literatürde birçok yöntem kullanılmıştır.

Bu çalışmada, öncelikle veri zarflama analizi ve promethee yöntemleri tanıtılmıştır. Çözüm adımları ve matematiksel formülleri anlatılmıştır. Her iki yöntemin avantaj ve dezavantajları üzerinde durulmuştur.

Daha sonra problem için kriterler ve girdi çıktı kümeleri belirlenmiş, gerekli veriler toplanmış, veri zarflama analizi için çözüm modeli ve promethee için uygulama fonksiyonları tanımlanmıştır. Veri zarflama analizi ve promethee yöntemleri ile ayrı ayrı çözülerek sonuçlar değerlendirilmiştir.

Promethee, ilk olarak 1982 yılında literatüre kazandırılan birçok ölçütlü karar verme tekniğidir. Diğer karar verme yöntemlerine göre avantajı alternatifleri farklı tercih fonksiyonları ile değerlendirmesi ve kriterlere önem ağırlıkları ile çözebilmesidir. Veri zarflama analizi Charnes, Cooper ve Rhodes tarafından 1978 yılında ortaya koyduğu parametrik olmayan ve doğrusal tabanlı bir yöntemdir. Problemi birden fazla girdi ve çıktı ile aynı anda değerlendirebilmektedir.

Çalışmada yöntemler Kocaeli'de bulunan bir geri dönüşüm firmasının malzemeleri için ayrı ayrı uygulanmıştır. Problem öncelikle veri zarflama analizi ile çözülmüştür. Daha sonra PROMETHEE yöntemi ile ilk senaryo için kriterlere ağırlık verilmeden çözülüp ikinci senaryoda kriterlere ağırlık vererek çözülmesi gerektiği düşünülmüştür. Bu nedenle senaryo 2 için kriter ağırlıkları belirlenip tekrar çözülmüş ve çözüm sonuçları karşılaştırılmıştır.

Veri zarflama analizi için günlük üretilen toplam miktar (kg), işçilik saati (dk) ve alış fiyatı (TL) girdi kümesi, satış fiyatı (TL) ve üretimden çıkan demir miktarı (kg) ise çıktı kümesi olarak belirlenmiştir. Karar verme birimleri ise aynı proseslerden geçen ve bu prosesler sonucu aynı malzemelerin üretildiği söküm işlemlerinden geçen malzemeler olarak belirlenmiştir. Bunlar firma tarafından belirlenen tanımlar ile gruplara ayrılmış hali ile; kahverengi eşya, çamaşır makinesi, bulaşık makinesi, pişirici, klima, su sebili, küçük ev aletleri, kompresör motoru, şanzuman, küçük motor, araç elektronik aksam, radyatör ve turbodur. Veri zarflama analizi modeli, çıktılar üzerinde fazla değişiklik yapılamayacağından girdiye yönelik CCR modeli ile çözülmüştür. Amaç minimum girdi ile maksimum çıktı elde etmek olarak belirlenmiştir. Problemi çözmede EMS 1.3 paket programından yardım alınmıştır. Süperetkinlik değerlerine göre öncelik sıralaması elde edilmiştir.

PROMETHEE yöntemi senaryo 1 için üretim miktarı (kg), işçilik saati (dk), alış fiyatı (TL), satış fiyatı (TL) ve üretimden çıkan demir miktarı (kg) kriterler olarak belirlenmiştir. Veri zarflama analizinde her hangi bir ağırlıklandırma yapılmadığından ilk senaryoda PROMETHEE yöntemi için de ağırlandırma yapılmaması uygun görülmüştür. Amaç en düşük üretim miktarı, işçilik saati ve alış fiyatları ile en yüksek demir miktarı elde edip en yüksek fiyatta satabilmek olarak belirlenmiştir. Buna göre üretim miktarı (kg) ve işçilik saati (dk) kriterleri için 5.tip tercih fonksiyonu, alış fiyatı (TL), satış fiyatı (TL) ve demir miktarı (kg) için 3.tip tercih fonksiyonu belirlenmiştir. Kahverengi eşya, çamaşır makinesi, bulaşık makinesi, pişirici, klima, su sebili, küçük ev aletleri, kompresör motoru, şanzuman, küçük motor, araç elektronik aksam, radyatör ve turbo bu yöntem için alternatifler olarak belirlenmiştir. Bu alternatiflerin negatif ve pozitif üstünlük değerleri hesaplanmış, kısmi ve tam sıralamalar elde edilmiştir.

PROMETHEE yöntemi senaryo 2 için ise senaryo 1'den elde edilen değerlendirme sonuçlarına göre kriterlere ağırlık verilmesi ihtiyacı görülmüştür. Ağırlıklar firma yöneticileri tarafından ortak karar verilmiştir. Buna göre; üretilen miktar kriteri için 0,05, işçilik saati kriteri için 0,08, alış fiyatı kriteri için 0,17, satış fiyatı kriteri için 0,30, demir miktarı kriteri için ise 0,40 ağırlık değerleri verilmiştir. Bu şekilde ağırlıklandırmanın ortak amacı çıktıların önem seviyelerini arttırmaktır. Bizim için en önemli kriter olan demir miktarı en yüksek ağırlık değerini almıştır. Senaryo

1’deki aynı kriterler ile aynı alternatiflerin sıralamaları bu ağırlıklar ile yanlış kararların verilmesi önlenmeye çalışılarak daha etkin ve gerçekçi bir şekilde tekrar çözülmüştür. Pozitif ve negatif üstünlükler hesaplanıp kısmi ve tam sıralamalar elde edilmiştir.

Veri zarflama analizi, PROMETHEE senaryo 1 ve PROMETHEE senaryo 2 ile çözümünden elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Tablo 4.1. Çözüm sonuçları karşılaştırma tablosu

SIRALAMA	VZA	PROMETHEE SENARYO 1	PROMETHEE SENARYO 2
1	KOMPRESÖR MOTORU	ARAÇ ELEKTRONİK AKSAM	KOMPRESÖR MOTORU
2	KÜÇÜK MOTOR	KÜÇÜK MOTOR	PİŞİRİCİ
3	ŞANZUMAN	ŞANZUMAN	ÇAMAŞIR MAKİNESİ
4	ARAÇ ELEKTRONİK AKSAM	PİŞİRİCİ	BULAŞIK MAKİNESİ
5	PİŞİRİCİ	BULAŞIK MAKİNESİ	KÜÇÜK EV ALETLERİ
6	KÜÇÜK EV ALETLERİ	KÜÇÜK EV ALETLERİ	KAHVERENGİ EŞYA
7	BULAŞIK MAKİNESİ	TURBO	ŞANZUMAN
8	ÇAMAŞIR MAKİNESİ	KAHVERENGİ EŞYA	KÜÇÜK MOTOR
9	RADYATÖR	RADYATÖR	RADYATÖR
10	KAHVERENGİ EŞYA	ÇAMAŞIR MAKİNESİ	ARAÇ ELEKTRONİK AKSAM
11	SU SEBİLİ	KOMPRESÖR MOTORU	TURBO
12	TURBO	SU SEBİLİ	SU SEBİLİ
13	KLİMA	KLİMA	KLİMA

Veri zarflama analizi için süperetkinlik skorlarına göre elde edilen sıralama şu şekildedir; kompresör motoru, küçük motor, şanzuman, araç elektronik aksam, pişirici, küçük ev aletleri, bulaşık makinesi, çamaşır makinesi, radyatör, kahverengi eşya, su sebili, turbo, klima. PROMETHEE senaryo 1 için ilk sırada araç elektronik aksam yer almaktadır. Daha sonra küçük motor, şanzuman, pişirici, bulaşık makinesi, küçük ev aletleri, turbo, kahverengi eşya, radyatör, çamaşır makinesi, kompresör motoru, su sebili ve klima şeklinde devam etmektedir. PROMETHEE senaryo 2 için ise sıralama; kompresör motoru, pişirici, çamaşır makinesi, bulaşık makinesi, küçük ev aletleri, kahverengi eşya, şanzuman, küçük motor, radyatör, araç elektronik aksam, turbo, su sebili ve klima şeklindedir.

Sonuçlar incelendiğinde VZA da ilk sırayı kompresör motoru alırken PROMETHEE senaryo 1’de kompresör motoru 11. sırada, PROMETHEE senaryo 2’de ilk sırada yer almaktadır. Küçük motor ve şanzuman VZA ve PROMETHEE senaryo 1 için 2

ve 3. sırada yer alırken PROMETHEE senaryo 2 için şanzuman küçük motorun önüne geçerek 7 ve 8.sırada yer almışlardır. Pişirici PROMETHEE senaryo 1 için 4., senaryo 2 için 2. sırada yer alırken VZA için 5.sıradadır. Yine küçük ev aletleri VZA ve PROMETHEE senaryo 1 için 6.sırada, PROMETHEE senaryo 2 için 5. sırada yer almaktadır. Son sıraları ise her üç uygulama için de genel olarak klima, su sebili ve turbo almaktadır.

Spearman korelasyon testine göre VZA'nın sonuçları PROMETHEE yönteminin senaryo 1 ve senaryo 2 sonuçları ile benzer çıkmamıştır. Bunun nedeni kullanılan yöntemlerin birbirlerinin alternatifi olmamasından kaynaklanmaktadır. İki yöntem benzer amaçları gerçekleştirebilmekle birlikte matematiksel model yapısı açısından da oldukça farklıdır.

Karar verme birimlerinin sayısının yetersiz olması very zarflama analizinin sonucunun doğruluğunu olumsuz etkileyebilmektedir. Girdi ve çıktı değişken sayılarına bağlı olarak karar verme birimi sayısında artış yapılırsa iki farklı yöntem arasındaki benzerlik artabilir.

Spearman korelasyon testine göre PROMETHEE senaryo 1 ile PROMETHEE senaryo 2 sıralama sonuçları benzer değildir. PROMETHEE yöntemi için kriterlere verilen ağırlıklar kritik bir öneme sahiptir. PROMETHEE sonuçlarının senaryo 1 ile senaryo 2 arasındaki fark buna kanıt niteliğindedir. Kriterlere verilen ağırlıklar, alternatiflerin negatif ve pozitif üstünlük değerlerini etkileyerek sıralamalarını değiştirmiştir.

PROMETHEE yönteminde kriter ağırlıkları, seçilen tercih fonksiyonları, belirlenen girdi ve çıktı kümeleri problemin farklı sonuçlar vermesine sebep olabilir. Bu nedenle öncelikle karar verici problem ve amacını doğru tanımlamalıdır. Verilerini problem ve amacına uygun toplamalıdır. Daha sonra tercih fonksiyonlarını, girdi ve çıktı değişkenlerini, kriter ağırlıklarını doğru bir şekilde belirlemelidir.

Her iki senaryo için de aynı fonksiyonlar tercih edilen PROMETHEE yöntemi için, farklı bir çalışma konusu olacak şekilde değiştirildiğinde sıralamalar da değişebilecektir.

Veri zarflama analizinin söküm yapılan parçaların etkinliğini ölçmede, PROMETHEE yönteminin söküm yapılan parçalar için performansa dayalı sıralamada ayrı ayrı etkin teknikler oldukları sonucuna varılmıştır.

KAYNAKLAR

[1] Baş T., Ardıç K., Verimlilik İçin İş Disiplini ve Etkin Disiplin Sisteminin Kurulması, *Amme İdare Dergisi*, 2003, **36**(3), 131-143.

[2] Yılmaz E. F., Performans Değerlendirme Sisteminin İşletme Verimliliği Üzerine Etkisi ve Örnek Bir Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Edirne, 2006, 206824.

[3] Büyükkılıç, D., *Kar Amacı Gütmeyen Örgütlerde Verimlilik*, MPM Yayınları, Ankara, 2004.

[4] Prokopenko J., *Verimlilik Yönetimi Uygulamalı El Kitabı*, MPM Yayınları, Ankara, 2005.

[5] Yıldırım, H.H, Avrupa Birligi'ne Üye Ve Aday Ülke Saglık Sistemlerinin Karsılastırmalı Performans Analizi: Veri Zarflama Analizine Dayalı Bir Uygulama, *Verimlilik Dergisi*, 2005, **4**(1), 9–46.

[6] Akal, Z., *İşletmelerde Performans Ölçüm Ve Denetimi: Çok Yönlü Performans Göstergeleri*, MPM Yayınları, Ankara, 1993.

[7] Farrell, M. J., The Measurement of Productive Efficiency, *Journal of the Royal Statistical Society*, 1957, **120**(3), 253-290.

[8] Çağlar A., Veri Zarflama Analizi ile Belediyelerin Etkinlik Ölçümü, Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2003, 131124.

[9] Kale, S., Veri Zarflama Analizi ile Banka Şubelerinin Performansının Ölçülmesi, Doktora Tezi, Kadir Has Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2009, 230761.

[10] Doğan N.Ö., Tanç A., Konaklama İşletmelerinde Veri Zarflama Analizi Yöntemiyle Faaliyet Denetimi: Kapadokya Örneği, *İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 2008, **22**(1), 239-258.

[11] Sarı Z., Veri Zarflama Analizi ve Bir Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2015, 387349.

[12] Ablai İ. N., Tekstil Sektöründe Mağaza Performans Verimliliklerinin Ölçülmesi: Bir Veri Zarflama Analizi Çalışması, Yüksek Lisans Tezi, Bahçeşehir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2015, 436058.

[13] Altınsoy U., Türkiye'de Meydana Gelebilecek Depremlere Karşı Afet Yönetim Sistemi Ve Acil Durum Yönetimi Performansının Veri Zarflama Analizi ile Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, 2018, 507738.

[14] Temiz I., Veri Zarflama Analizi ile 28 OECD Ülkesinin Çevre Performanslarının Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 2018, 521480.

[15] Acar R., İstanbul Metrobüs Sisteminin Veri Zarflama Analizi İle Etkinlik Değerlendirmesi, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 2018, 512160.

[16] Özden Ü. H., Veri Zarflama Analizi (VZA) ile Türkiye'deki Vakıf Üniversitelerinin Etkinliğinin Ölçülmesi, *İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Dergisi*, 2008, **37**(2), 167-185.

[17] Okursoy A., Tezsürücü D., Veri Zarflama Analizi ile Göreli Etkinliklerin Karşılaştırılması: Türkiye'deki İllerin Kültürel Göstergelerine İlişkin Bir Uygulama, *Yönetim ve Ekonomi Dergisi*, 2014, **21**(2), 1-18.

[18] Özçelik H., Kandemir B., Veri Zarflama Analizi Ve İmalat Sektöründe Bir Uygulama, *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 2017, **22**(1), 43-53.

[19] Akyüz K.C., Yıldırım İ., Balaban Y., Kâğıt Sektöründe Yer Alan Firmaların Veri Zarflama Analizi Yardımıyla Etkinliklerinin Ölçümü, *International Journal of Economic and Administrative Studies*, 2015, **7**(14), 1307-9832.

[20] Baysal M.E., Uygur M., Toklu B., Veri Zarflama Analizi İle Tcdd Limanlarında Bir Etkinlik Ölçümü Çalışması, *Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 2004, **19**(4), 437-442.

[21] Taşdemir N. Z., Sağlık Sektöründe Veri Zarflama Analizi ile Etkinlik Ölçümü: Samsun İli Örnek Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun, 2018, 531408.

[22] Sönmez F., Veri Zarflama Analizi ile Ar-Ge Projelerinin Verimliliğinin Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Bahçeşehir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2018, 525109.

[23] Boussofiane, A., Dyson, R. G., and Thanassoulis, E., Applied Data Envelopment Analysis, 1991, *European Journal of Operational Research*, **52**(1), 1-15.

[24] Norman, M., and Stoker, B., 1991. Data Envelopment Analysis : The Assesment of Performance, Waley, New York, 7, 29-35.

[25] Ramanathan, R., 2003, An Introduction to Data Envelopment Analysis: A Tool for Performance Measurement, New Delhi, Sage Publications, 172-175.

[26] Oruç, K. O., Veri Zarflama Analizi ile Bulanık Ortamda Etkinlik Ölçümleri ve Üniversitelerde Bir Uygulama, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Isparta, 2008, 215698.

[27] Cingi, S. ve Tarım, Ş. A., Türk Banka Sisteminde Performan Ölçümü: DEA-Malmquist TFP Endeksi Uygulaması, Türkiye Bankalar Birliği, Araştırma Tebliğleri Serisi, Sayı: 2000 - 01, Mayıs 2000, https://www.tbb.org.tr/Dosyalar/Arastirma_ve_Raporlar/2TBB.doc

[28] Cooper, W.W., Seiford, L.M., Tone, K., 2000, Data Envelpoment Analysis, Kluwer Academic Publishers, p.1-39.

[29] Charnes, A., Cooper, W.W., and Rhodes, E., "Short Communication: Measuring the Efficiency of Decision Making Units", European J. Oper. Res., 1979, 339.

[30] Charnes, A., Cooper, W.W., and Huang Z.M., Polyhedral Cone-Ratio DEA Models with An Illustrative Application to Large Commercial Banks, *Journal of Econometric*, 1990, **46**, 73-91.

[32] Dinç, M. Haynes, K.E., 1999. Sources of Regional Inefficiency: An Integrated Shift-Share, Data Envelopment Analysis and Input-Output Approach. The Annals of Regional Science. 33 (1), 469-489.

[33] Kıran B., Kalkınmada Öncelikli İllerin Ekonomik Etkinliklerinin Veri Zarflama Analizi Yöntemi ile Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Adana, 2008, 228914.

[34] Cinemre, N., *Doğrusal Programlama*, Beta Basım Yayım, 107-109, İstanbul, 2004.

[35] Cooper, W.W. Seiford, M.L. Tone, K., 2004. Data Envelopment Analysis: History. Models and Interpretations, in Handbook on Data Envelopment Analysis. Cooper, W.W. Seifort, M.L. Zhu, J., Kluwer Academic Publisher, New York, 8-21.

[36] Brans, J. P., Vincke, P., "A Preference Ranking Organization Method: The PROMETHEE Method for MCDM", Management Science, 31(6): 647-656 (1985).

[37] Kücü H., Promethee Sıralama Yöntemi ile Personel Seçimi ve Bir İşletmede Uygulanması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2007, 201059.

[38] Şahin A., Akkaya G. C., Promethee Sıralama Yöntemi ile Portföy Oluşturma Üzerine Bir Uygulama, *Ekonomi ve Yönetim Araştırmaları Dergisi*, 2013, **2**(2) 67-81.

[39] Özgüven N., Promethee Sıralama Yöntemi ile Özel Alışveriş Siteleri Üzerine Bir Araştırma, *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 2012, **27**, 195-201.

[40] Koçdağ V., Ahs ve Promethee Yöntemleri ile Proje Tercih Sıralamasının Çok Ölçütlü Olarak Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2013, 342533.

[41] Özdağoğlu A., Üretim İşletmelerinde Lazer Kesme Makinelerinin Promethee Yöntemi ile Karşılaştırılması, *Uluslararası Yönetim İktisat ve İşletme Dergisi*, 2013, **9**(19), 305-318.

[42] Ergün Bülbül S., Köse A., Türk Sigorta Sektörünün Promethee Yöntemi ile Finansal Performans Analizi, *Marmara Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 2016, **38**(1), 187-210.

[43] Bottero M., D'Alpaos C., Oppio A., Multicriteria Evaluation of Urban Regeneration Processes: An Application of PROMETHEE Method in Northern Italy, Advances in Operations Research, DOI: 10.1155/2018/9276075.

[44] Ömürbek N., Karaatlı M., Eren H., Şanlı B., Ahp Temelli Promethee Sıralama Yöntemi ile Hafif Ticari Araç Seçimi, *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 2014, **19**(4), 47-64.

[45] Budak S. N., Promethee ve Anp Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri: Ankara Sağlık Bakanlığı Hastanelerinde Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2014, 387327.

[46] Onan A., Promethee Sıralama Yönteminin Konut Projelerinin Değerlendirilmesinde Kullanılması, *Journal of Economics and Administrative Sciences*, 2014, **16**(1), 17-28.

[47] İmamoğlu G., Analitik Ağ Süreci Ve Promethee Teknikleri İle Hastane Yer Seçimi: Trabzon Örneği, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2015, 392975.

[48] Dinçer S. E., Ekin T. E., Karakaş K. S., Promethee Yöntemiyle Uçak Komponentlerinin Önceliklendirilmesi Problemlerine Çözüm Yaklaşımı, *Social Sciences Research Journal*, 2017, **6**(3), 106-125.

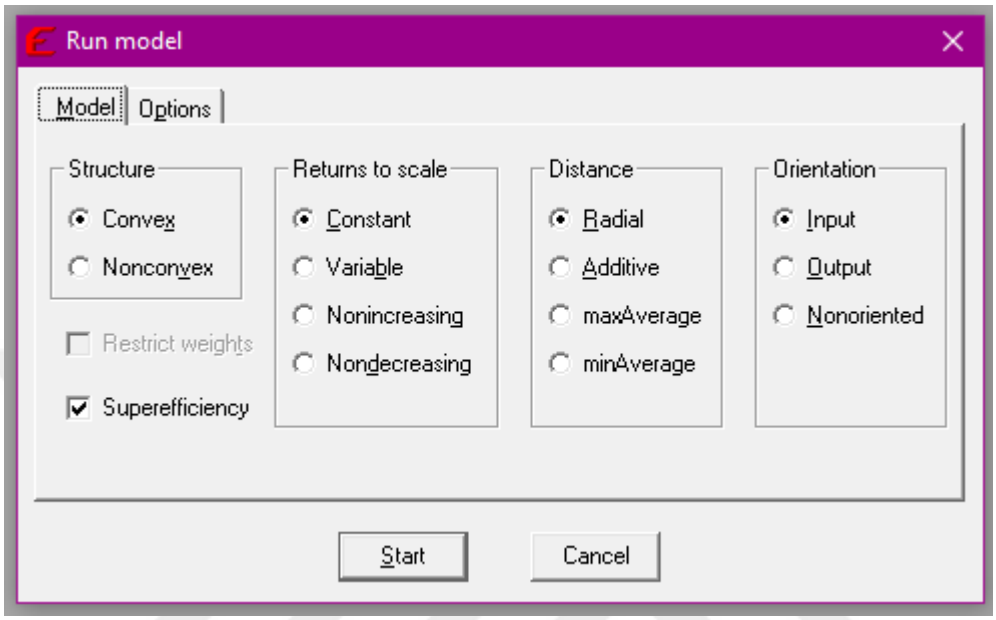
[49] Bedir N., Vardiya Çizelgeleme Probleminin Kombine Ahs-Promethee ve Hedef Programlama Yöntemleri ile Çözümü: Bir Hidroelektrik Santral Örneği, Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale, 2018, 495100.

[50] Can A., *Bilimsel Araştırma Sürecinde Nicel Veri Analizi*, 6, Pagem Akademi, Ankara, 2018.

EKLER

Ek-A

Bölüm 3.1.5'te anlatılan VZA uygulaması için EMS 1.3 programından seçilen modelin ekran görüntüsü aşağıdaki gibidir;



Şekil A.1. VZA modeli ekran görüntüsü

Bölüm 3.1.5'te tablo halinde sonuçları verilen VZA uygulaması için EMS 1.3 programı ile çözümünün ekran görüntüsü aşağıdaki gibidir;

	DMU	Score	uretilenmil {I}{V}	isciliksaati {I}{V}	alisfiyati {I}{V}	satisfiyati {O}{V}	demirmikta {O}{V}	Benchmarks	{S} uretilenmil {I}	{S} isciliksaati {I}	{S} alisfiyati {I}	{S} satisfiyati {O}	{S} demirmiktar {O}
1	KE	62,1649%	0,7451	0,0000	0,2549	0,1930	0,4286	4 (0,0684) 8 (0,0384) 10 (1,5579)	0,0000	20,3143	0,0000	0,0000	0,0000
2	ÇM	76,0966%	0,1731	0,3403	0,4866	0,4724	0,2886	4 (0,3719) 8 (0,0774) 10 (0,0655) 11 (7,3380)	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
3	BM	81,2819%	0,1801	0,4164	0,4035	0,4713	0,3415	4 (0,3723) 8 (0,0020) 10 (0,4785) 11 (3,7892)	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
4	PIŞ	129,3997%	0,0000	0,5990	0,4010	0,0000	1,2940	4					
5	K	30,3900%	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,3039	8 (0,1933)	0,0000	4,0579	3283,0110	429,0047	0,0000
6	SS	41,9661%	0,6672	0,0000	0,3328	0,0000	0,4197	4 (0,0897) 8 (0,0767)	0,0000	160,0141	0,0000	233,8338	0,0000
7	KEA	121,1445%	0,2782	0,4257	0,2961	0,0000	1,2114	0					
8	KM	257,3250%	0,9183	0,0817	0,0000	2,5732	0,0000	5					
9	Ş	159,6078%	0,0000	1,0000	0,0000	0,0000	1,5961	0					
10	M	240,9602%	1,0000	0,0000	0,0000	1,2900	1,1196	5					
11	AEA	137,1282%	0,0000	1,0000	0,0000	1,3713	0,0000	4					
12	RAD	66,4514%	0,3202	0,6798	0,0000	0,6645	0,0000	10 (1,5695) 11 (2,2044)	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	86,8268
13	TUR	40,5733%	0,3360	0,6640	0,0000	0,4057	0,0000	10 (0,6445) 11 (1,1959)	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	35,6542

Şekil A.2. VZA çözüm ekran görüntüsü

Ek-B

Bölüm 3.4.'te çözümü yapılan Spearman korelasyon testinin baz alındığı tablo aşağıdaki gibidir;

	Nominal α					
n	0.10	0.05	0.025	0.01	0.005	0.001
4	1.000	1.000	-	-	-	-
5	0.800	0.900	1.000	1.000	-	-
6	0.657	0.829	0.886	0.943	1.000	-
7	0.571	0.714	0.786	0.893	0.929	1.000
8	0.524	0.643	0.738	0.833	0.881	0.952
9	0.483	0.600	0.700	0.783	0.833	0.917
10	0.455	0.564	0.648	0.745	0.794	0.879
11	0.427	0.536	0.618	0.709	0.755	0.845
12	0.406	0.503	0.587	0.678	0.727	0.818
13	0.385	0.484	0.560	0.648	0.703	0.791
14	0.367	0.464	0.538	0.626	0.679	0.771
15	0.354	0.446	0.521	0.604	0.654	0.750
16	0.341	0.429	0.503	0.582	0.635	0.729
17	0.328	0.414	0.488	0.566	0.618	0.711
18	0.317	0.401	0.472	0.550	0.600	0.692
19	0.309	0.391	0.460	0.535	0.584	0.675
20	0.299	0.380	0.447	0.522	0.570	0.662
21	0.292	0.370	0.436	0.509	0.556	0.647
22	0.284	0.361	0.425	0.497	0.544	0.633
23	0.278	0.353	0.416	0.486	0.532	0.621
24	0.271	0.344	0.407	0.476	0.521	0.609
25	0.265	0.337	0.398	0.466	0.511	0.597
26	0.259	0.331	0.390	0.457	0.501	0.586
27	0.255	0.324	0.383	0.449	0.492	0.576
28	0.250	0.318	0.375	0.441	0.483	0.567
29	0.245	0.312	0.368	0.433	0.475	0.558

Şekil B.1. Spearman korelasyon testi tablosu [50]

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

[1] Aladağ Z., Alkan A., Güler E., **Özdin Y**., Akademik Birimlerin Veri Zarflama Analizi ve Promethee Yöntemleri ile Performans Değerlendirmesi: Kocaeli Üniversitesi Örneği, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi*, 2018, **34**(1),1-13.

[2] Aladağ Z., Alkan A., Güler E., **Özdin Y**., Kaya B., Ahp ve Promethee Yöntemleri ile Örgütsel Performans Değerlendirme Modeli; Kocaeli Üniversitesi Örneği, *18. Uluslararası Ekonometri Yöneylem Araştırması ve İstatistik Sempozyumu*, Trabzon, Türkiye, 5-7 Ekim 2017.

[3] Baynal K., Boyacı A.İ., **Özdin Y**., Sabun Üretim Prosesinin Cevap Yüzeyi Yöntemi ve İstenbilirlik Fonksiyonu Yaklaşımı İle Optimizasyonu, *5th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science and Science*, Bakü, Azerbeycan, 29 September - 01 October 2017.

[4] Özcan B., Şenkaya S., **Özdin Y**., Dinç A., Türkiye'deki İntihar Vakalarının Çeşitli Kriterlere Göre İstatistiksel Olarak İncelenmesi, *Sosyal Politika Çalışmaları Dergisi*, Doı: 10.21560/Spcd.Vi.282723

ÖZGEÇMİŞ

Yasemin ÖZDİN OFLU 1991'de Kayseri'de doğdu. Lise öğrenimini Çorum Anadolu Öğretmen Lisesi'nde tamamladı. 2011 yılında girdiği Kocaeli Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü'nden 2015 yılında mezun oldu. 2016 yılında Kocaeli Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı. Ayrıca, 2017 yılında bir geri dönüşüm şirketinde planlama ve raporlama mühendisi olarak başladığı görevine halen sürdürmektedir.