

T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMLERİYLE KATI
ATIK BERTARAF YÖNTEMİ SEÇİMİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

AYŞEGÜL İŞILDAR

DENİZLİ, MART 2018

T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI



ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMLERİYLE KATI
ATIK BERTARAF YÖNTEMİ SEÇİMİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

AYŞEGÜL İŞILDAR

DENİZLİ, MART 2018

KABUL VE ONAY SAYFASI

Ayşegül İŞILDAR tarafından hazırlanan “ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMLERİYLE KATI ATIK BERTARAF YÖNTEMİ SEÇİMİ” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 23.03.2018 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği ile Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Danışman

Dr. Öğretim Üyesi Hacer GÜNER GÖREN

.....

Üye

Dr. Öğretim Üyesi A. Aliye SUPÇİLLER
Pamukkale Üniversitesi

.....

Üye

Dr. Öğretim Üyesi A. Deniz KARAOĞLAN
Balıkesir Üniversitesi

.....

Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
25/04/2018 tarih ve ...17/06... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....

Prof. Dr. Uğur YÜCEL

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğine beyan ederim.



Ayşegül IŞILDAR

ÖZET

ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMLERİYLE KATI ATIK BERTARAF YÖNTEMİ SEÇİMİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

AYŞEGÜL İŞILDAR

PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

(TEZ DANIŞMANI: YRD. DOÇ. DR. HACER GÜNER GÖREN)

DENİZLİ, MART 2018

Son yıllarda, katı atıklardan kaynaklanan çevre sorunlarının artması nedeniyle katı atığın çevresel ve ekonomik açıdan etkin bir şekilde bertaraf edilmesi zorunlu hale gelmiştir. Dolayısıyla, önemli bir karar verme problemi olan katı atık yönetim sisteminin seçiminde ekonomik, sosyal, kültürel ve teknik faktörlerin birlikte ele alınması gereği ortaya çıkmıştır. Bir katı atık yönetim sisteminde, çeşitli kriterlerin değerlendirildiği farklı alternatifler söz konusu olabilir. Bu durumda problem, Çok Kriterli Karar Verme Problemi haline gelir. Bu çalışmada, Ankara ilinde katı atık bertaraf etme yöntemi seçim problemi ele alınmıştır. İlk olarak katı atık yönetimi, çok kriterli karar verme ve katı atık bertaraf yöntemleri anlatılmıştır. Katı atık bertaraf teknolojisi seçimi problemi için karar vericiler ile anket değerlendirmesi sonucu on beş kriter ve sekiz alternatif belirlenmiştir. Problemin çözümü için ilk olarak literatürde bu problemin çözümünde sıklıkla tercih edilen TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) ve PROMETHEE (Preference Ranking Organization Method For Enrichment Evaluations) yöntemleri kullanılmıştır. Üçüncü yöntem olarak, literatürde bu problem için henüz uygulanmamış bir karar verme yöntemi olan EN İYİ-EN KÖTÜ METODU (BEST WORST METHOD) ile çözüm önerilmiştir. Üç yöntem sonucunda elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış ve değerlendirilmiştir.

ANAHTAR KELİMELEER: ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME, KATI ATIK YÖNETİMİ, TOPSIS, PROMETHEE, EN İYİ-EN KÖTÜ METODU.

ABSTRACT

SOLID WASTE DISPOSAL METHOD SELECTION WITH MULTI-CRITERIA DECISION MAKING APPROACHES

MSC THESIS

AYŞEGÜL İŞILDAR

PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE

INDUSTRIAL ENGINEERING

(SUPERVISOR: ASST. PROF. DR. HACER GÜNER GÖREN)

DENİZLİ, MARCH 2018

In recent years, effective disposing of solid waste environmentally and economically has become mandatory due to the increase in environmental problems resulted by the solid waste. Furthermore, choosing a solid waste management system appears to be an important decision making problem. Hence, economical, social, cultural and technical factors in choosing the solid waste management systems should be considered together. A solid waste management system may have different alternatives to be evaluated by considering several criteria. Hence, this type of problem is considered as Multi Criteria Decision Making problem. In this study, the best alternative has been chosen among solid waste disposal technology in Ankara. First, solid waste management, multi-criteria decision making and solid waste disposal methods are explained. For the problem of solid waste disposal technology selection, a survey was conducted to the decision makers. Fifteen criteria and eight alternatives have been identified. For the solution of the problem, firstly TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) and PROMETHEE (Preference Ranking Organization Method For Enrichment Evaluations) methods which are frequently preferred in literature, are used. As a third method, a solution has been proposed by using BEST-WORST METHOD, a decision-making method that has not yet been applied to this problem before. The results obtained using three different approaches have been compared and evaluated.

ANAHTAR KELİMELER: MULTI-CRITERIA DECISION MAKING, SOLID WASTE MANAGEMENT, TOPSIS, PROMETHEE, BEST WORST METHOD.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

İÇİNDEKİLER	iii
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Problem Tanımı	2
1.2 Tezin Amacı	2
1.3 Tezin Önemi ve Literatüre Katkısı	2
1.4 Tezin Organizasyonu	3
2. KATI ATIK YÖNETİM SİSTEMİ	5
2.1 Katı Atık	5
2.2 Katı Atık Türleri	5
2.3 Katı Atıkların Zararları	7
2.4 Katı Atık Yönetimi	7
2.4.1 Entegre Katı Atık Yönetimi	8
2.4.2 Katı Atık Bertaraf Yönetimleri	12
3. KARAR ANALİZİ VE ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME	16
3.1 Karar Analizi	16
3.1.1 Karar Analizi Metotları	16
3.2 Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri	17
4. LİTERATÜR	21
5. YÖNTEM	29
5.1 TOPSIS Yöntemi	29
5.2 PROMETHEE Yöntemi	33
5.3 EN İYİ-EN KÖTÜ (BEST WORST METHOD) YÖNTEMİ	38
6. UYGULAMA	41
6.1 Problemin Tanımlanması	41
6.2 Kriterlerin Tespit Edilmesi	42
6.3 Alternatiflerin Tespit Edilmesi	44
6.4 Hiyerarşik Yapının Oluşturulması	45
6.4.1 TOPSIS Yöntemine Göre Çözüm	45
6.4.2 PROMETHEE Yöntemine Göre Çözüm	58
6.4.3 EN İYİ-EN KÖTÜ (BEST WORST) Yöntem İle Çözüm	64
7. SONUÇ	74
8. KAYNAKLAR	76
9. EKLER	85
10.ÖZGEÇMİŞ	94

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1: Katı atık yönetimi akış diyagramı.	8
Şekil 2.2: Entegre katı atık yönetim seçenekleri	9
Şekil 2.3: Termal bertaraf yöntemleri.....	11
Şekil 3.1: Karar analizi metotlarının sınıflandırılması	16
Şekil 3.2: Çok kriterli karar verme yöntemlerinin sınıflandırılması.	18
Şekil 5.1: PROMETHEE tecih fonksiyonu tablosu.....	40
Şekil 5.2: BWM referans karşılaştırma.	44
Şekil 6.1: Katı atık bertaraf yöntemi hiyerarşik yapı.....	50

TABLolar LİSTESİ

Sayfa

Tablo 4.1: Literatür taraması tablosu	20,21,22,23,24,25,26
Tablo 6.1: Fayda-maliyet kriterleri	51
Tablo 6.2: TOPSIS değerlendirme tablosu	52
Tablo 6.3: Tek tipe dönüşmüş kriterler (fayda) tablosu	53
Tablo 6.4: Pozitif ve negatif ideal çözüm setleri.....	57
Tablo 6.5: İdeal uzaklık değerleri tablosu	59
Tablo 6.6: Si* değerleri tablosu	60
Tablo 6.7: Düzenli depolama için ideal uzaklık değerleri	60
Tablo 6.8: Si* değerleri tablosu	61
Tablo 6.9: İdeal çözüme göreli yakınlık hesabı	62
Tablo 6.10: PROMETHEE değerlendirme tablosu.....	63
Tablo 6.11: (A,B) Ortak tercih fonksiyonu tablosu	66
Tablo 6.12: (B,A) Ortak tercih fonksiyonu tablosu	67
Tablo 6.13: PROMETHEE yöntemi sonucunda elde edilen sıralama	68
Tablo 6.14: En iyi kritere göre değerlendirme tablosu	69
Tablo 6.15: En kötü kritere göre değerlendirme tablosu.....	70
Tablo 6.16: Karar matrisi tablosu.....	73
Tablo 6.17: Ağırlıklı karar matrisi tablosu.....	74
Tablo 6.18: Düzenli depolama ağırlık oranı çarpılmış değer sonucu	75
Tablo 6.19: EN İYİ-EN KÖTÜ metoda göre elde edilen sonuç	76
Tablo 6.20: Sonuç tablosu.....	76

SEMBOL LİSTESİ

A^*	:	Pozitif ideal çözüm
A	:	Negatif ideal çözüm
W	:	Ağırlık matrisi
a_{ij}	:	Her kriteri hakkında alternatifinin performansı
S_i^*	:	Pozitif ideal ayırım ölçüsü
d	:	Aynı kriter açısından iki alternatifin performansları arasındaki fark
p	:	Kesin tercih eşik değeri
q	:	Farksızlık değeri
s	:	Standart sapma
$P(A,B)$:	Ortak tercih fonksiyonu
$\pi(A,B)$:	Tercih indeksi
$\Phi(A)$:	Net üstünlük
$(A)^+$:	Pozitif üstünlük
$(A)^-$:	Negatif üstünlük

ÖNSÖZ

İlk olarak tez çalışmam boyunca her anda destek olup sorularımı yanıtlayan, ilgi ve sabırla yaklaşım beni aydınlatan saygıdeğer danışmanım Yrd. Doç. Dr. Hacer Güner Gören'e en içten teşekkürlerimi sunarım.

Aldığım dersler sürecinde beni aydınlatan, yardımlarını esirgemeyen Pamukkale Üniversitesi Endüstri Mühendisliği öğretim üyelerine teşekkür ederim.

Her daim güç aldığım canım kuzenlerim Ayşe Güven ve Ünzile Güven'e, pozitif enerjileriyle beni teşvik eden dostlarım Serap Bağcı ve Akın Özçınar'a teşekkürü borç bilirim.

Ayrıca her zaman yanımda olan, sevgisini ve desteğini her yerde hissettiren, sahip olduğum için şanslı olduğum biricik aileme; kıymetli babam Abdurrahman ŞENYER'e, değerli annem Nazife ŞENYER'e, canım kızkardeşim Selin ŞENYER'e ve sevgili eşim Halil Mert İŞILDAR'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

1. GİRİŞ

Atıklar; hayatın her alanında var olan ve yapılan bütün faaliyetler sonucunda ortaya çıkan, somut ve tamamen ortadan kaldırılamayacak olan ancak çeşitli yöntem ve çabalarla en iyi şekilde bertaraf edilebilecek istenmeyen maddelerdir. Gerek nitelik gerekse nicelik olarak hızla artan atıkların çevre üzerinde oluşturduğu olumsuz etkiler, nüfus artışı, teknolojik gelişme, sanayileşme ve kentleşme gibi faktörlerin de etkisiyle ihmal edilemeyecek kadar önemli bir soruna dönüşmüştür (Aydın 2007).

Katı atık yönetimi ise, atıkların, bölgedeki katı atık programından doğrudan etkilenen çevre halkı tarafından desteklenen, çevreye zarar vermeyen en iyi yaklaşımla uzaklaştırılması çabası olarak tanımlanabilir. Uygun olmayan bir katı atık yönetimi, çevre ve sağlık açısından ciddi sorunlar doğurabilir. Bu tür sorunlarla karşılaşmamak için katı atık yönetimi, katı atık bertaraf etme yöntemini ve çevresel etkilerini hassasiyetle ele almalıdır (Karagiannidis ve Moissiopolous 1997) (Khan ve Faisal 2008) (Turan vd. 2009).

Katı atık yönetim sistemi; geri dönüşüm ve sürdürülebilirlik için teknik, sosyal ve ekonomik faktörleri inceleyen karmaşık ve disiplinler arası bir problemdir. Dolayısıyla bu alanda kullanılan farklı yaklaşımlar olabilir. Katı atık yönetim sistemini modelleyen çalışmalar 1970'lerde başlamış ve bilgisayar teknolojisinin gelişmesiyle 1980'lerde hızlanmıştır. 1980'lerde çoğunlukla olayın ekonomik boyutu incelenmiş (Gottinger 1988), 1990'lı yıllarda belediyeye ait katı atık yönetim sistemi planlanması (MacDonald 1996) için geri dönüşüm ve diğer atık yönetim metotlarını içeren modeller geliştirilmeye başlanmıştır.

Artan hayat standartları, nüfus ve sanayileşme katı atık oluşumunun artmasını ve dolayısıyla katı atık yönetim sistemlerine olan ihtiyacı doğurmuştur. Belirli kriterler değerlendirildikten sonra en uygun katı atık bertaraf teknolojisinin seçilmesi gerek çevreye gerekse insana ekonomik, maddi ve sosyal açıdan birçok fayda sağlayacaktır.

1.1 Problem Tanımı

Çalışmada öncelikle son zamanlarda çok sayıda çalışmaya konu olmuş katı atık yönetim sistemi açıklanmış ve katı atık yönetimi bertaraf yöntemlerinden bahsedilmiştir. Çalışmanın temel amacı, katı atık bertaraf yöntemi seçiminde ele alınan kriterleri belirlemek ve bu doğrultuda seçilen bir yerleşim yeri için alternatifler arasından en uygun olanına karar verebilmektir.

Ankara, nüfusu en kalabalık ve atık miktarı en fazla illerimizden biridir. Oluşan atıkların çevreye, atmosfere ve insanlara zarar vermemesi için uygun bir şekilde bertaraf edilmesi gerekmektedir. Bu çalışma kapsamında Ankara ili için en uygun olabilecek katı atık yönetim sistemi belirlenmeye çalışılmıştır. Bertaraf yöntemlerinin değerlendirilebilmesi için uzman görüşü ve geçmişte yapılan çalışmalar eşliğinde ilk yatırım maliyeti, işletme maliyeti, çevresel risk, emisyonlar, kalifiye eleman gereksinimi, hava kirliliği kontrolü, yeterlilik, teknik güvenilirlik, kapasite, verimlilik, bertaraf edilebilen atık çeşidi, enerji geri kazanımı, süreklilik, kullanım yaygınlığı olmak üzere on beş adet kriter belirlenmiştir. PROMETHEE, EN İYİ-EN KÖTÜ METOT ve TOPSIS olmak üzere üç farklı karar verme tekniği kullanılarak uygun sonucu veren bertaraf yöntemi seçilmiştir.

1.2 Tezin Amacı

Çalışmada katı atık bertaraf yöntemlerini hangi kriterlerin etkilediği ve bu kriterlerin yöntemlere olan bağının incelenmesi, ilgili bertaraf yöntemlerinin karar verme teknikleriyle değerlendirilip uygun olanının tespit edilmesi amaçlanmıştır. Bu sebeple Ankara ilindeki atıklar çeşitli karar verme yöntemleri uygulanarak uygun sonucu veren katı atık bertaraf yönteminin belirlenebilmesi hedeflenmiştir.

1.3 Tezin Önemi ve Literatüre Katkısı

Günümüzde atıklar büyük bir çevre sorunu oluşturmaktadır. Çevrenin önemi gün geçtikçe daha çok bilinmekte, çevre kirliliğinin azaltılması ve çevre temizliği ile ilgili konularda yapılan çalışmalar gitgide önem kazanmaktadır. Atıklar, çevreye

doğrudan ve dolaylı olarak zarar vermekte olup atıkların oluşumu hiçbir şekilde önlenememektedir. Bu sebeple atık yönetiminin düzgün bir şekilde sağlanması ve katı atık bertarafı ile atıkların kontrol altına alınması büyük önem arz etmektedir.

Artan nüfus ile birlikte, endüstrinin gelişmesi, kaynakların kısıtlı olması, atık alanlarının belirli ve sınırlı yerler olması, atıkların canlılara, atmosfere, doğaya zarar vermesi gibi etkenler yüzünden katı atık bertaraf yöntemlerine olan ihtiyaç artmaktadır. Bu ihtiyacın doğru bir şekilde giderilmesi; doğaya, canlılara ve atmosfere faydalı bir şekilde sonuçlanabilmesi için uygun sonucu veren katı atık bertaraf yönteminin seçilmesi gerekmektedir.

Yapılan çalışmada, popüler bir konu olan katı atık bertaraf yöntemlerinin belirli kriterler baz alınarak karar verme teknikleriyle seçimi incelenmiş ve Ankara ilinde çeşitli karar verme teknikleri kullanılarak bir uygulama gerçekleştirilmiştir. Uygulamada, TOPSIS, EN İYİ-EN KÖTÜ METODU ve PROMETHEE yöntemleri kullanılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Literatürde TOPSIS, PROMETHE, ELECTRE, ANP, DEMATEL, GAIA, AHP gibi yöntemlerin kullanıldığı, bu yöntemler içerisinde ise TOPSIS, PROMETHE, ELECTRE, AHP yöntemlerinin en çok kullanılan yöntemler olduğu gözlemlenmiştir. Çalışmanın literatüre önemli bir katkısı da bulunmaktadır. Katı atık yönetim seçimi problemi için yazarın bilgisi dahilinde literatürde ilk kez bu çalışmada EN İYİ-EN KÖTÜ METODU kullanılmıştır.

1.4 Tezin Organizasyonu

Katı atık bertaraf yöntemi seçimini ele alan çalışmanın ilk bölümünde katı atık yönetim sistemine giriş yapılarak problemin tanımı, tezin amacı, tezin önemi ve literatüre katkısı açıklanmıştır. İkinci bölümde katı atığın tanımı yapılmış olup atık türleri, atıkların zararları, entegre katı atık yönetimi ve katı atık bertaraf yöntemlerinden bahsedilmiştir. Üçüncü bölümde karar analizi ve çok kriterli karar verme yöntemleri anlatılmıştır. Dördüncü bölümde, konuyla ilgili geçmiş yıllarda yapılan çalışmalarını kapsayan literatür çalışmasına yer verilmiştir. Beşinci bölümde çalışma kapsamında kullanılan TOPSIS, EN İYİ-EN KÖTÜ METOT ve

PROMETHEE yöntemleri açıklanmıştır. Altıncı bölümde uygulamaya yer verilmiş ve problem bu yöntemlerle çözülmüştür. PROMETHEE, EN İYİ-EN KÖTÜ METOT ve TOPSIS yöntemlerine göre elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Son bölümde, yapılan çalışma sonucunda elde edilen bulgular açıklanmış ve gelecekte yapılabilecek çalışmalar kısaca özetlenmiştir.

2. KATI ATIK YÖNETİM SİSTEMİ

2.1 Katı Atık

Atıklar ekonomik bir aktivitenin sonucu olarak ortaya çıkmakta ve uzaklaştırma süresinde çevresel etkileri de içermektedir. Atıklar esas olarak materyallerin ve enerjinin uygun şekilde kullanılmamaları ve süreçlerin yetersiz olması nedeniyle oluşmaktadır (İdikut 1999).

Katı atık, en yalın anlatımıyla evsel, ticari ve endüstriyel işlevler sonucu oluşan ve tüketicisi tarafından artık işe yaramadığı gerekçesiyle atılan ancak çevre ve insan sağlığı yanında diğer toplumsal faydalar nedeniyle düzenli biçimde uzaklaştırılması gereken maddeler olarak tanımlanabilir (Clayton ve Huie 1973; Erdin 1996).

Palabıyık ve Altunbaş tarafından “evsel, ticari ve/veya endüstriyel faaliyetler sonucu oluşan ve tüketicisi tarafından artık işe yaramadığı gerekçesiyle atılan, ancak, çevre ve insan sağlığı yanında diğer toplumsal yararları nedeniyle düzenli biçimde uzaklaştırılması gereken maddeler olarak tanımlanmıştır (Palabıyık ve Altunbaş 2004).

Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği’nde (2005) ise “katı atık”, “üreticisi tarafından atılmak istenen ve toplumun huzuru ile özellikle çevrenin korunması bakımından, düzenli bir şekilde bertaraf edilmesi gereken katı maddeler ve arıtma çamuru” olarak tanımlanmaktadır.

2.2 Katı Atık Türleri

Katı atıklar; evsel katı atık, tehlikeli katı atık, endüstriyel katı atık, tarımsal ve bahçe atıkları, özel atıklar, tıbbi atıklar ve inşaat ve moloz atıkları olmak üzere çeşitlendirilmiştir.

Evsel Katı Atıklar

Evsel katı atıklar normal belediye hizmeti ile toplanıp taşınan, evsel çöp depolama sahalarında bertaraf edilebilen, ayırma yolu ile geri kazanılabilen, kompost yapılabilen veya yakılabilen evsel ve endüstri kökenli atıklardır. Mutfak çöpleri, ambalaj atıkları, ofis çöpleri vb. atıklardır (Sayar 2012).

Tehlikeli Katı Atıklar

Üretim tesislerinden veya sanayiden çıkan çevreye zarar veren akü, boya, pil gibi tehlikeli maddeler ihtiva eden atıklardır.

Endüstriyel Katı Atıklar

Endüstriyel faaliyetlerden kaynaklanan atıklardır. Endüstriyel işlemler sırasında ve/veya endüstriyel işlemler sonucunda oluşan atıkları kapsamaktadır (Sayar 2012).

Tarımsal ve Bahçe Atıkları

Bitkisel ve hayvansal ürün elde edilmesi ve işlenmesi sonucunda ortaya çıkan atık ve artıklardır. Üretilen katı atıkların miktarı ve içerik özellikleri topluluk ya da toplumların sosyoekonomik özellikleri, beslenme alışkanlıkları, gelenekler, coğrafya, meslekler ve iklim gibi değişik şartlardan etkilenmektedir (Palabıyık ve Altunbaş 2004).

Özel Katı Atıklar

Uzaklaştırılması özel önem taşıyan atıklardır. Radyoaktif atıklar, tehlikeli ve zararlı endüstriyel atıklar, evsel atıklar içerisindeki boya, inceltici, temizlik maddeleri, piller vb. lastik tekerlekler, atık su çamurları, inşaat ve yıkıntı atıkları ile hastane atıkları bu gruptandır (Palabıyık ve Altunbaş 2004).

Tıbbi Atıklar

Hastane, muayenehane gibi sağlık kuruluşlarında meydana gelen atıklar ve kullanılmış ilaçlar, malzemeleri kapsamaktadır.

İnşaat Artığı ve Moloz Atıklar

Çeşitli inşaatların yapımı, yıkımı, tadilatında meydana gelen taş, toprak gibi artıkları kapsamaktadır.

2.3 Katı Atıkların Zararları

Katı atıklar hava, su, toprak gibi birçok yönden çevreye zarar vermekte ve insanlığı etkilemektedir. Bu zararları en aza indirebilmek için uygun bertaraf yöntemi seçilmeli ve katı atıkların canlılara verecek olduğu olumsuz etkiler önlenmelidir.

Katı atıklardaki organik bileşenler zamanla sızıntı suyu oluşturmakta ve insanlara zarar verebilmektedir. Bu durum katı atıklardan çıkan koku ve gazlar yer altına ve atmosfere geçerek çevre için tehlike oluşturabilmektedir. Atık maddelerin çürümesiyle içinden çeşitli gazlar çıkmakta bu gazlar atıkların içten yanmasına ve patlamalar yaşanmasına neden olur. Katı atıkların olduğu yerlerde çoğalan haşere, kuş ve sinekler bulaşıcı hastalıkları taşıyıp salgınlara neden olabilmektedir. Pis kokulara ve görsel olarak kirliliğe sebep olmaktadır.

2.4 Katı Atık Yönetimi

Çevre yönetiminin gereği olarak ortaya çıkan katı atık yönetimi dünyamızın sahip olduğu enerji, hammadde gibi doğal kaynakların kıtlığı ve kullanılmasında maksimum verimi sağlanması zorunluluğu ile teknik, ekonomik ve sosyal disiplinlerle çok yönlü ilişkilerle ele alınan bir faaliyet alanı olarak ifade edilmektedir (DPT 2001).

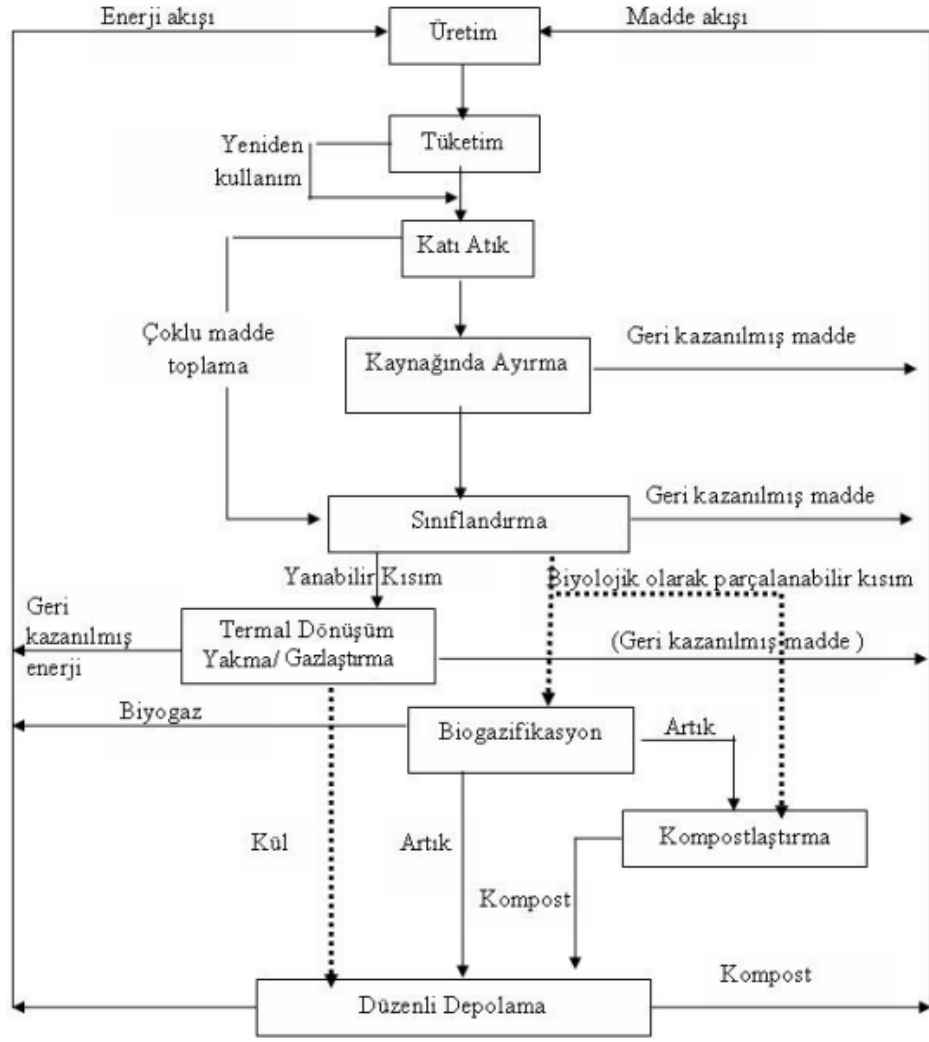
Katı atık yönetimi az atıklı bir üretiminin desteklenmesi, katı atıkların hammadde veya başka amaçlara yönelik olarak geri kazanımı, katı atıkların toprak, hava, su ortamına ve canlılara zarar vermeyecek şekilde nihai bertaraf esaslarının uygulanması amacıyla geliştirilen sistem olarak tanımlanmaktadır (Uçkun 2002).

2.4.1 Entegre Katı Atık Yönetimi

Katı atık atıkların bütüncül yönetilmesi ve tüm atıklara entegre olarak uygulanmasına entegre katı atık yönetimi denmektedir.

Entegre katı atık yönetiminin temel amacı, birden fazla program ve teknolojinin rasyonel ve eşgüdüm içerisinde kullanımının katı atık yönetimde çevresel ve ekonomik anlamda başarıyı sağlayacağıdır. Her topluluk/toplum, kendi koşullarında üretilen atık özelliklerini, teknik ve mali olanakları da göz önünde tutarak entegre katı atık yönetimi kavramı içinde belli uygulamalara önem vermelidir. Entegre katı atık yönetimde örgütsel ve bireysel sorumluluk kentsel katı atık yönetim sistemi aktörlerindedir. Başta yerel yönetimler olmak üzere, merkezi yönetim kurum ve kuruluşları, özel sektör, gönüllü kuruluşlar ve bireyler birlikte sorumluluk sahibidir (Palabıyık 2001).

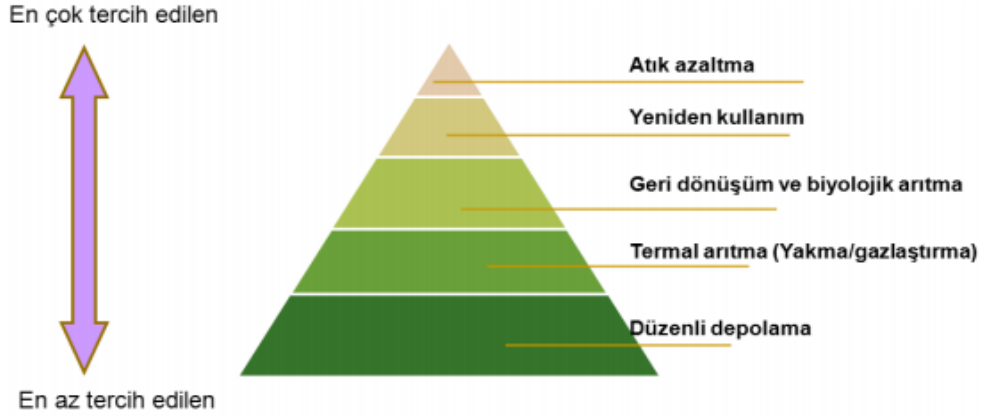
Entegre katı atık yönetimde belirli bir akış mevcuttur. Üretim, tüketim, katı atık, kaynağında ayırma, sınıflandırma, termal dönüşüm, yakma/gazlaştırma, biyogazifikasyon, kompostlaştırma, düzenli depolama basamaklarından ve bahsedilen basamaklar arası çeşitli ilişkilerden oluşan bu akışa ait “katı atık yönetim sistemi akışı diyagramı” Şekil 2.1’de gösterilmiştir.



Şekil 2.1: Katı atık yönetimi akış diyagramı (Öztürk, Özabalı ve Tezer 2005)

Entegre Katı Atık Bileşenleri

Entegre katı atık birçok bileşenden oluşmaktadır, entegre katı atık yönetimine ait bileşenler Şekil 2.2’de verilmiştir.



Şekil 2.2: Entegre katı atık yönetim seçenekleri (Öztürk 2010)

Entegre atık yönetiminde atık azaltımı, yeniden kullanım, geri dönüşüm ve biyolojik arıtma, termal arıtma (yakma/gazlaştırma) ve düzenli depolama seçenekleri bulunmakta ve atık yönetiminde en çok atık azaltma en az düzenli depolama tercih edilmektedir.

Atık Azaltma

Entegre katı atık yönetimindeki ilk basamak atık azaltımıdır. Atık azaltımı, süreç ve ürün bazlı olarak gerçekleştirilebilir. Süreç bazlı atık azaltımı, endüstrideki üretim sırasında daha az enerji ve hammadde kullanımı ile üretimin gerçekleştirilmesi anlamına gelmektedir (Karakaya 2008). Ürün bazlı atık azaltımında ise cam şişe, plastik ambalaj ve karton kutu gibi ürünlerin kontrolü söz konusudur. Bu gibi ürünlerin birden fazla kullanılması ve böylece tüketiciler tarafından daha az satın alınması yolu ile atık azaltımı gerçekleştirilebilmektedir (Öztürk 2010).

Yeniden Kullanım

Bir ürünün kullanıldıktan sonra tüketici tarafından ilk kullanım amacıyla veya başka bir amaçla tekrar kullanılması yeniden kullanım olarak ifade edilir. Bu açıdan bakıldığında yeniden kullanımın yaygınlaşmasının ancak toplumsal bilincin artmasıyla olacağı söylenebilir. Alışveriş sırasında alınan ürünlerin bulunduğu poşetlerin evdeki çöpleri koymak için kullanılması, okunan gazete ve dergilerin

ocakta ateş yakmak için kullanılması yeniden kullanıma örnek olarak verilebilir (Vesilind ve diğ. 2002).

Atıkların temizleme dışında hiçbir işleme tabi tutulmadan aynı şekilde defalarca kullanılması; geri dönüşüm, atıkların fiziksel ve/veya kimyasal işlemlerden geçirildikten sonra ikinci hammadde olarak üretim sürecine sokulması ve geri kazanım ise, tekrar kullanım ve geri dönüşüm kavramlarını da kapsayan, atıkların özelliklerinden yararlanılarak içindeki bileşenleri fiziksel, kimyasal ya da biyokimyasal yöntemlerle başka ürünlere veya enerjiye çevrilmesidir (Palabıyık ve Altunbaş 2004).

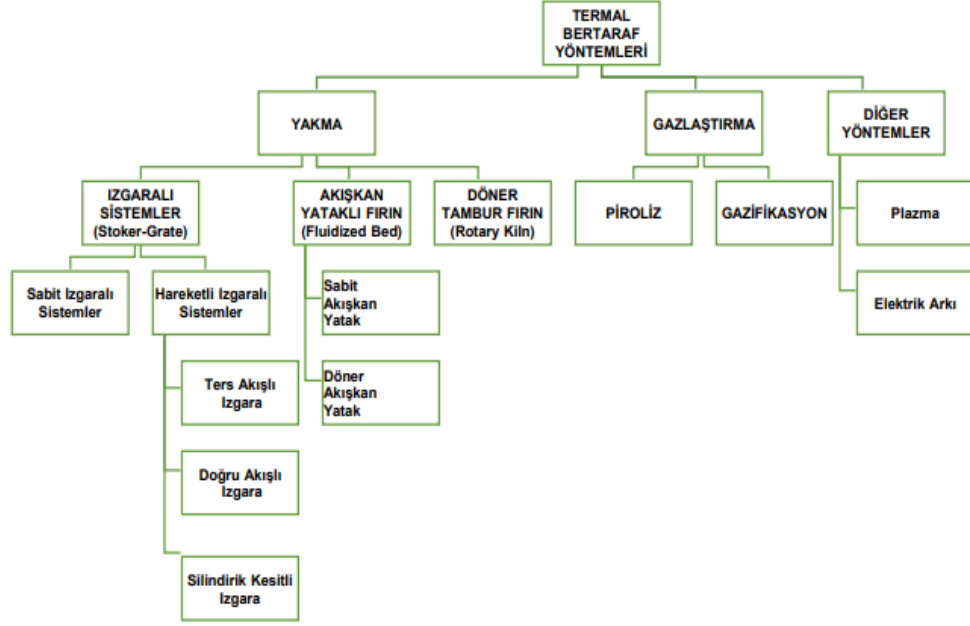
Geri dönüşüm ve biyolojik arıtma

Katı atık içindeki cam, plastik, metal, kâğıt ve karton gibi malzemeleri fiziksel, kimyasal ve biyolojik işlem ve süreçlerden geçirip bunlardan ikinci ürün ve hammadde elde edilmesi, yani malzemelerin yeniden değerlendirilmesine denir (Karaman 2015).

Termal arıtma

Yakma, özellikle atıkların düzenli depolanması için yeterli arazi bulunmayan ülkelerde yaygın olarak kullanılan bir atık bertaraf metodudur. Yakma sonucu atık hacminin onda bire düşmesi sağlanabilmektedir. Proses sonucu üretilen enerjinin buhar ve/veya elektrik olarak geri kazanımı mümkün olmaktadır (Öztürk 2010).

Termal bertaraf yöntemleri kapsamında yakma, gazlaştırma, plazma, piroliz, gazifikasyon gibi birçok bileşen içermektedir. Termal bertaraf yöntemlerine ait grafik Şekil 2.3'te gösterilmiştir.



Şekil 2.3: Termal bertaraf yöntemleri (Balahorli, Kemirtlek, Aydoğan, Fidan, Dedeoğlu, Odaman 2015)

2.4.2 Katı Atık Bertaraf Yönetimleri

Katı atıkların bertaraf teknolojileri için farklı yöntemler kullanılmaktadır.

Düzensiz (Vahşi) Depolama

Katı atıkların hiçbir önlem alınmaksızın açık araziye rastgele boşaltılarak insan çevresinden uzaklaştırıldığı, gelişmemiş ya da gelişmekte olan ülkelerde kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntem; depo sahasında rüzgâr etkisi ile toz bulutlarının oluşması, meydana gelen gazların hava kirliliğine neden olması, geniş bir alana yayılan katı atıkların çevre ve görüntü kirliliği yaratması ve bu alanlarda barınan ve beslenen hayvanların bulaşıcı hastalıklara sebep olması gibi ciddi problemleri yaratmaktadır (Yılmaz 2010).

Düzenli Depolama

Katı atıkların depolama yöntemiyle uzaklaştırılması, atıkların çevre ve insan sağlığına olumsuz etkilerinin anlaşılması ve bu alanda teknik uygulamaların gelişmesi sonucunda depolama merdiveni biçiminde adlandırılan düzensiz depolama -kontrollü depolama-mühendisli depolama-düzenli sıhhi depolama gelişme çizgisini takip etmiştir (Rushbrook 1998). Uygun yer seçimi ve çevre koruma önlemleri gibi teknik standartlara uygun şekilde inşa edilmiş düzenli depolama alanları atıklardan kurtulmanın en etkili yoludur.

Kompostlama

Gıda ve toprak (çimen, bahçe artıkları vs.) artıkları gibi organik maddelerin biyolojik bozulmasını kontrol altına alan bir yöntemdir. Bu yöntemin; toprağa besleyici maddeler kazandırması, yararlı toprak organizmalarını artırması, depolama alanları dışındaki organik atıkların geri kazanılması, belirli bitkisel hastalıkları önlemesi, gübre ve pestisitlere olan ihtiyacı azaltması, toprak erozyonunu engellemesi, kirlilik problemine çözüm getirmesi ve doğal kaynakları koruması gibi birçok yararı söz konusudur (Gören 2005).

Yakma Yöntemi

Katı atıkların özel olarak projelendirilmiş tesislerde hacim olarak azaltma ve/veya enerji elde etmek amacıyla yakılarak uzaklaştırma ve enerji kazanım yöntemidir. Başlıca amacı depolama ile uzaklaştırılacak atık miktarının azaltılması olan yakma yöntemi ile katı atıklar hacimce %80-90, ağırlık bakımından %75-80 oranında azaltılabilir (O'reilly 1991).

Biyometanizasyon Yöntemi

Organik atıkların oksijensiz bir ortama sokularak anaerobik mikroorganizmalar yardımıyla ayrıştırılması yöntemidir.

Gazifikasyon Yöntemi

Karbon içeren maddelere oksijen, buhar, su karışımlarından verilir ve yanıcı gaz üretilir. Gazlaştırmada küçük bir miktar oksijen üretilir. Gazlaştırma sürecinde sentez gazının içindeki hidrokarbonlar (kontrollü miktarda oksijen verilerek) ayrıştırılmaktadır (Tuna 2010).

Plazma Yöntemi

Plazma yöntemi termal atık bertaraf etme yöntemlerinden biridir. Plazma tesisinde katı atıklar, çok yüksek sıcaklıklarda işlem görmektedirler. Bu yöntem sayesinde organik atıkların tamamı çeşitli gazlara dönüşmektedir. Bu gazlar vasıtasıyla elektrik enerjisi üretilebilmektedir.

Piroliz Yöntemi

Piroliz sözcüğü Yunanca'da ortamda gaz (inert, indirgen veya yükseltgen gaz) olmaksızın gerçekleştirilen ısıl bozundurma anlamına gelmektedir. Modern tanımı ile piroliz, organik maddelerin oksijensiz ortamda ısıtılarak gaz, katı veya sıvı ürünlere ayrılması (bozundurulması) işlemidir. Pirolizde teorik olarak gerekli ısı miktarı, organik maddenin kimyasal ısını bozacak ve yeni kimyasal maddelerin oluşumunu sağlayacak düzeyde olmalıdır. Isıl bozundurma işlemi katı yakıt açısından değerlendirildiğinde “karbonizasyon”, gaz ve sıvı yakıt açısından değerlendirildiğinde ise “piroliz” olarak bilinir (Tuna 2010).

Atıktan Türetilmiş Yakıt (ATY) Yöntemi

Atıktan Türetilmiş Yakıt, Ek Yakıt ve Alternatif Hammadde Tebliği'nde (2014) atıktan türetilmiş yakıt (ATY); maddesel geri dönüşümü ekonomik olmayan ambalaj atıkları, belediye atıkları ve sanayiden kaynaklanan atıklardan üretilen yakma veya beraber yakma tesislerinde kullanılabilen atıktan türetilmiş yakıt olarak ifade edilmektedir.

Kentsel katı atıklar, yüksek maliyetleri ve yeterince ilgi gösterilmemesi nedeniyle kentlerin karşı karşıya kaldığı büyük problemlerdendir. Bu sadece teknik bir problem değil aynı zamanda politik, yasal, sosyokültürel, çevresel ve ekonomik faktörlerle karşılıklı etkileşim içinde bulunan karmaşık bir problemdir (Sharholly 2007).

Ekonomik gelişim ve yükselen yaşam standartları ile ürün ve hizmetlerle ilgili talepteki artış sonucunda kişi başına katı atık üretimi artmıştır. Artan nüfus, büyüyen ekonomi, hızlı kentleşme ve yükselen yaşam standartlarının bir araya gelmesi ile birlikte özellikle gelişmekte olan ülkelerde kentsel katı atıklar büyük bir sorun haline gelmiştir.

3. KARAR ANALİZİ VE ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME

3.1 Karar Analizi

İnsanoğlu çeşitli alternatifleri arasından birini seçerek karar vermek zorunda kalır. Karar verme kavramına dair birden çok tanım yapılmıştır. Bunlardan bazıları şunlardır:

Karar verme, birden fazla boyutu olan olay ve olayların mevcut olduğu durumlarda seçim yapmaktır (Özkan 1992).

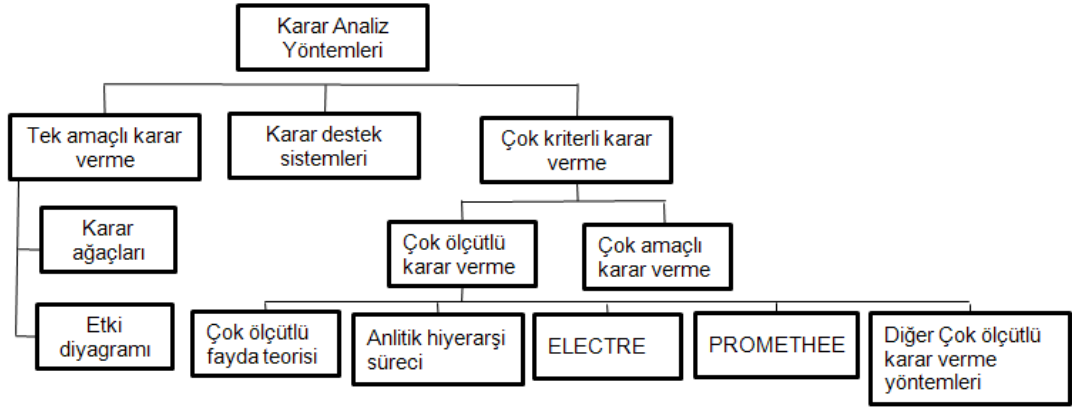
Karar verme, mevcut tüm alternatifler arasından amaç veya amaçlara en uygun ve mümkün olan bir veya birkaçını seçme sürecidir (Filiz 2004).

Karar verme işlemi, karar vericinin değişik seçeneklerle karşı karşıya bulunduğu durumlarda, bunlar arasından kendi amaçlarına uygun, kendisince belirlenmiş ölçütlere en uygun olanı seçebilmesidir (Tekin 1996).

Karar analizinde ilk olarak sorun tanımlanmalı ve seçenekler ve olaylar listelenmelidir. Seçenekler olaylara göre değerlendirilmeli ve bir karar modeli belirlenmelidir. Karar modelinde uygulama yapıldıktan sonra en iyi seçenek seçilip karar verilmelidir.

3.1.1 Karar Analizi Metotları

Karar analizi metotları aşağıda şekil 3.1’de görüldüğu gibi genel olarak Tek Amaçlı Karar Verme, Karar Destek Sistemleri ve çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) olmak üzere üç grupta incelenmektedir (Ünal 2010).



Şekil 3.1: Karar analizi metotlarının sınıflandırılması (Zhou vd. 2006)

3.2 Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri

İnsanoğlu hayatın her alanında çeşitli kararlar vermek zorunda kalmaktadır. Bu kararlar değişik amaçlara hizmet etmekte ve ilişkili kriterler barındırmaktadır. Çok kriterli karar verme (ÇKKV), kararı verecek olan kişinin en az iki kriter kullanarak seçim yapmasıdır. ÇKKV hakkında çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Karar verici problemi çözme sürecinde ilk olarak yöntem karar vermelidir. Yöntem belirlendikten sonra problemin kriterleri oluşturulmaktadır ve problemin alternatifleri belirlenmektedir. Karar verici alternatifleri kriterlere göre değerlendirmekte ve sonuca göre alternatifler arasından en iyi çığana göre kararını vermektedir.

Bir başka deyişle, birden fazla kriter ve birbiriyle çatışan birden fazla amacın olduğu durumlarda en iyi alternatifin ya da seçeneğin belirlenmesi esasına dayanarak karar verme problemine çözüm üretir. Gerçek hayatta çoğunlukla tüm amaçlar için uygun olan ideal bir alternatif yoktur. Bu nedenle ÇKKV problemlerinin en önemli işlevi, iyi bir uzlaşmacı çözüm bulmaktır. Tüm amaçlar eş zamanlı olarak değerlendirildiğinde, karar vericinin seçebileceği muhtemel alternatifler arasından en iyi performans gösteren alternatif, uzlaşmacı çözüm olacaktır (Çakin 2013).

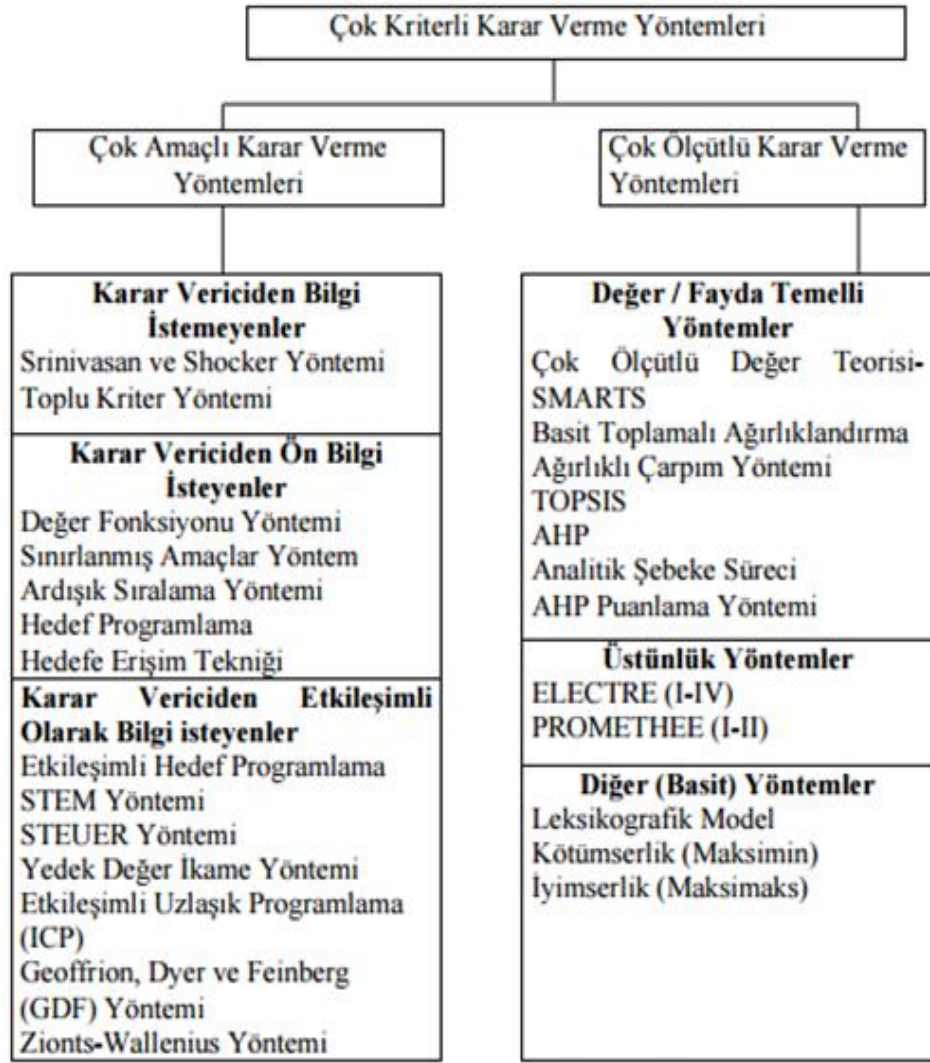
ÇKKV yaklaşımı, genellikle Amerikalı araştırmacılar tarafından çok kriterli karar alma (Multicriteria Decision Making- MCDM), Avrupalı araştırmacılar tarafından ise çok kriterli karar verme desteği (Multicriteria Decision Aid-MCDA)

olarak adlandırılmakta olup, birden fazla kriter dikkate alınarak bir örnek kümesi içinde objektif bir sınıflandırma gerçekleştirmeyi amaçlamaktadır. ÇKKV yaklaşımı, 1970’li yıllarda başlangıç olarak yöneylem araştırması ve karar teorisi alanlarında kullanılmış ve daha sonraları iktisadi ve mali alanlara da uygulanmıştır (Kılıç 2005).

ÇKKV yöntemlerinin ilk aşamasında belirtilen kriterlerin birbirlerine göre önem derecelerinin belirlenmesinde birçok yöntem kullanılmaktadır. ÇKKV problemleri iki büyük kategoriye ayrılmaktadır (Hwang ve Yoon 1981).

- Çok Amaçlı Karar Verme (ÇAKV) (Multiple Objective Decision Making (MODM))
- Çok Ölçütlü Karar Verme (ÇÖKV) (Multiple Attribute Decision Making (MADM))

Bu yöntemler alternatif sayısına göre Şekil 3.2’te incelenebilir (Gregory 1998).



Şekil 3.2: Çok kriterli karar verme yöntemlerinin sınıflandırması (Gregory 1998)

Çok Amaçlı Karar Verme (Multi Objectives Decision Making), karar alanının sürekli olduğu problemler üzerinde çalışır. ÇAKV’de bir amaç fonksiyonu yerine n tane amaç fonksiyonu vardır ve problemin uygun çözümü, tüm amaç fonksiyonlarını karşılayan çözümdür. Ancak, genellikle amaçlar birbirleriyle çelişkili ve negatif yönde etkileşim içinde olduğu için böyle bir çözüme ulaşmak çok zordur. Bu nedenle ÇAKV’de optimum çözüm yerine ”En İyi Uzlaşmacı Çözüm” söz konusu olmaktadır. Çünkü her bir amaç için optimum olan çözümlerin karar vericinin tercihlerini de dikkate alarak uzlaştırılması gerekmektedir (Ünal 2010).

Çok Ölçütlü Karar Verme (Multi Attributes Decision Making), karar vermenin en yaygın kolunu oluşturmaktadır. Bu kol genel yöneylem araştırması sınıfına aittir (Ünal 2010).

Karar probleminin modellenmesi, çözümlenmesi ve analiz işlemleri birçok bilgisayar programı aracılığıyla yapılmaktadır. Bu bilgisayar programları; karar analizi yöntemlerinde kullanılan algoritmaları içerisinde barındıran, bu algoritmaları kullanarak karar verici ya da karar verici grubunun karar problemini modellemesini, kurulan modelin çözümlenmesini ve sonuçların analiz edilerek yorumlanmasını sağlayan paket programlardır (Öz vd. 2004).

Çok Kriterli Karar Verme Sistemi dinamik gelişmekte olan araştırma alanıdır. Seçme, sıralama ve çeşitli alternatifleri sıraya dizmek için bir takım değerlendirme kriterlerinden yararlanır (Vincke 1992). Çeşitli kriterlere göre en çok tercih edilen seçeneğin detaylı seçilmesine izin verir. Çok kriterli karar verme problemlerini çözmek için çeşitli yöntemler vardır: Hedef Programlama, Analitik Ağ Süreci, PROMETHEE, TOPSIS ve ELECTRE (I, II, III, IV, TRI) (Figueira 2005).

4. LİTERATÜR

Katı atık, bertaraf tekniği seçimi, birçok kriteri ve alternatifi içinde barındıran bir karar verme problemidir. Literatür araştırması yapıldığında katı atık bertaraf tekniği seçimi ile ilgili birçok karar verme tekniği uygulama çalışmasına rastlanmaktadır. Bu çalışmalar arasından çok kriterli karar verme teknikleri ile ilgili daha önce yapılmış çalışmalar Ek B’de gösterilmiştir.

Wang ve diğ. (2018) Bulanık DEMATEL ile 4 alternatif prosesin değerlendirildiği senaryo seçimi çalışması yapmıştır.

Çoban ve diğ. (2018) TOPSIS, PROMETHEE I, PROMETHEE II yöntemlerini kullanarak 8 atık bertaraf senaryosu içinden 7 kriter kullanarak senaryo seçimi hakkında çalışmıştır.

Güler ve diğ. (2017) Analitik Hiyerarşi Yöntemi (AHY) ile ağırlıkları hesaplanan kriterlerin İstanbul iline ait veri katmanlarını coğrafi bilgi sisteminin sağladığı konumsal analiz araçları ile değerlendirmiştir.

Özdemir Kipel (2017) çalışmada ArcGIS coğrafi bilgi sistemi ile birlikte bulanık mantığı kullanarak birden fazla kriterle en uygun katı atık depolama tesis konumlarını belirlemiştir.

Aghajani ve diğ. (2016) çalışmada TOPSIS yönteminin geliştirilmiş bir versiyonu ile senaryolar karşılaştırılarak ve sıralanarak en iyi belediye katı atık yönetim metodunu bulmuştur. Çalışmanın temel amacı çok ölçütlü karar verme yöntemleri ile çevresel ve ekonomik kriterler düşünülerek katı atık yönetim sisteminin sıralanmasıdır.

Vucijak ve diğ. (2016) çalışmada Bosna Hersek katı atık yönetiminde en iyi senaryoyu bulabilmek için çok kriterli karar verme uygulaması yapmıştır. Altı farklı alternatif arasında en iyi belediye katı atık yönetimi senaryosunu seçmek amacıyla teknolojik, ekonomik, sosyal ve çevresel hedefler hesaba katılmış ve çok kriterli karar verme yöntemleri değerlendirilmiştir.

Jovanovic S. ve diğ. (2016) Sırbistan'ın Kragujevac kenti için basit katma ağırlıklandırma yöntemi (saw) ve TOPSIS yöntemleri ile yaratılan stratejilerin her biri IWM2 yazılım paketiyle simüle edilmiştir.

Soltani ve diğ. (2015) katı atık yönetiminin çok sayıda çevresel ve sosyoekonomik kriter içeren karmaşık bir süreç olduğunu ve uygun atık arıtma yerleri ve stratejileri bulmak gibi sorunların çözümü için rehberlik edebilecek karar destek seçenekleri bulunduğunu tespit etmişlerdir. Makale katı atık yönetim sistemi sorunlarını çözmek için çok kriterli karar verme uygulanması üzerine yapılan araştırmaları gözden geçirmektedir.

Herva ve Roca (2013) yaptıkları çalışmada katı atık yönetiminin dört farklı seçeneği; ekolojik ayak izi (EF) ve EF'yi su tüketimi, hava ve su emisyonları ve dolgu hacmi ile ilgili diğer malzeme akış göstergeleriyle bütünleştiren çok kriterli analizi olmak üzere iki farklı yöntem uygulanarak sıralanmıştır. Çok kriterli analizi için AHP ve PROMETHEE/GAIA kullanılmıştır.

Khalili ve Duecker (2013) yaptıkları çalışmada sürdürülebilirlik için çok kriterli karar analizi ELECTRE III uygulaması yapmışlardır. Kirliliğin önlenmesi, daha temiz üretim ve sürdürülebilirlik gibi proaktif çevre yönetimi girişimleri, karar vermenin tüm aşamalarında çevresel, endüstriyel, ekonomik ve sosyal kriterlerin birlikte düşünülmesini gerektiren çok yönlü objektif süreçlerdir.

Eskandari ve diğ. (2012) depolama alanı seçimi için on üç kriterli ve on beş kısıtlı çok kriterli karar verme çalışması yapmıştır. Alternatifler ekonomik çevresel ve sosyokültürel olmak üzere üç kısma ayrılmış ve otuz beş uzman eşliğinde değerlendirilmiştir.

Hanan ve diğ. (2012) Isle of Wight adasında atık kâğıt yönetimi için çok kriterli karar analizi çalışması yapmıştır. Yedi adet ekonomik, yedi adet finansal ve yedi adet sosyal olmak üzere kriterler belirlenmiştir. Gazifikasyon ve geri dönüşümün en iyi puana sahip alternatifler olduğu, yakma ve depolamanın en düşük skora sahip alternatifler olduğu tespit edilmiştir.

Karmperis ve diğ. (2012) bu çalışma atık yönetim projesinin niceliksel risk analizi yoluyla değerlendirilmesini incelemektedir. Risk tabanlı çok kriterli

değerlendirme yaklaşımı geliştirilmiş ve kriterlerin ağırlıkları ile karar vericilerin risk tercihleri analiz edilmektedir.

Koroneos ve Nanaki (2012) Selanik (Yunanistan) şehrinde yaptıkları çalışmada atıkların gelecek nesiller için probleme yol açacağına değinmiş ve sosyal çevresel ve ekonomik etkiler düşünülerek bütünleşik katı atık yönetim sistemi değerlendirilmiştir.

Korucu ve Erdağı (2012) tarafından yapılan çalışmada katı atık bertarafı yer seçimi problemlerinin çok kriterli karar verme teknikleri ile çözümünde; üç ana kriter eleştirilerek dört ana kriterin çalışmaya daha çok katkısı olduğu belirtilmiştir.

Srivastava ve diğ. (2012) katı atık yönetimi için uzun vadeli planlamayla ilgili belirsizlik altında, işleme ve imha tesislerinin optimum yer seçimi ve kapasite planlaması hakkında çalışmıştır. Bulanık parametrik programlama modeli, katı atık yönetimi için entegre planlama için objektif ve çok dönemli bir sistemi temel almaktadır. Model dinamik olarak tesisleri bulmakta ve bulanık atık miktarını ve atık yönetim tesisi kapasitesini göz önüne alarak atığı tahsis etmektedir. Model atık miktarındaki belirsizliği ve aynı zamanda atık yönetim tesislerinin işletme kapasitesindeki belirsizlikleri ele almaktadır.

Ning ve diğ. (2012) iki tip katı atık yakma teknolojisi olan akışkan yataklı fırını ve mekanik ızgaralı yakma tesisatı için karşılaştırmalı aerodinamik döngü hakkında çalışmıştır.

Dursun ve diğ. (2011) bulanık çok kriterli karar verme tekniğiyle tıbbi atıklar üzerinde çalışma yapmıştır. Yakma, buhar sterilizasyonu, mikrodalga ve depolama dolması gibi sağlık hizmetlerinde kullanılan seçenekleri değerlendirmek için ekonomik, teknik, çevresel ve sosyal ölçütler ve bunlarla ilgili alt ölçütler dikkate alınarak “Bulanık ölçüme dayalı bulanık çok kriterli karar verme” ve “hiyerarşik aralığa dayalı bulanık çok kriterli karar verme” yöntemleri ile sonuçlar değerlendirilmiştir.

Huang ve diğ. (2011) çevre hakkındaki makalelerde çok kriterli karar analizi tekniklerini analiz etmiştir. 2000 ve 2009 yılları arasındaki çalışmalarda 300’ den

fazla bildiri incelemiştir. Çevresel projelerde karar verme, sosyopolitik, çevresel ve ekonomik etkileri arasındaki dengeyi göz önünde bulundurmayı gerektirmektedir. Çevresel uygulamalar için birden fazla çok kriterli karar analizi aracının başarıyla kullanıldığı görülmüştür.

Pires ve diğ. (2011) Peninsula'da katı atık yönetimi için beş alternatif, dört ana kriter ve on dört alt kriter belirleyerek bulanık TOPSIS uygulamıştır.

Tavares ve diğ. (2011) tarafından yapılan çalışmada belediye katı atık yakma tesisi kurmak ve ekonomik, çevresel, sağlık ve sosyal maliyetleri en aza indirecek mevcut en iyi yerin belirlenmesi için kapsamlı bir değerlendirme yapılmıştır. Seçilen değerlendirme kriter ağırlıklarını mekânsal veri analizi için coğrafi bilgi sistemleri ile tahmin etmek için analitik hiyerarşi sürecini birleştirir. Seçilen değerlendirme kriter ağırlıklarının tespitinde coğrafi bilgi sistemleri ile tahmin etmek için analitik hiyerarşi sürecini birleştirmektedir.

Banar ve diğ. (2010) tarafından yapılan çalışma kapsamında Eskişehir'deki belediye katı atık kompozisyonu ile ilgili beş geri dönüşüm senaryosu sunulmuş ve bu senaryolar analitik ağ süreci (ANP) ve ELECTRE III teknikleriyle fayda maliyet ve risk faktörlerine göre değerlendirilmiştir.

Balaban ve Baki (2010), Trabzon ili için katı atık bertaraf etme problemi seçeneklerinin değerlendirilmesinde çok kriterli karar verme yöntemi olan analitik ağ sürecini kullanmışlardır. Çalışmadaki kriterler; finansal, çevresel olabilirlik, personel yönetimi, toplum algısı ve teknoloji olmak üzere beş gruba ayrılmış ve bir ağ modeli oluşturulmuştur. Düzenli depolama, kompostlama ve yakma seçenekleri en iyiler olarak bulunmuştur.

Beltran ve diğ. (2010) çalışmada İspanya'nın Metropolitan bölgesinde katı atık tesisinin için en iyi yer seçiminde analitik ağ süreci uygulamasını ele almıştır. Tesis konumunun seçilmesi; ekonomik, teknik, hukuki, sosyal veya çevresel konuları barındıran karmaşık birçok kriterli karar verme problemi olarak görülmektedir. Karar verme sürecinde yirmi bir kriter ile hiyerarşi modeli ve ağ tabanlı model olmak üzere iki farklı analitik ağ süreci (ANP) kullanılmıştır.

Ekmekçioğlu ve diğ. (2010) uygun atık yönteminin ve katı atık tesisi alanının seçimi için bulanık TOPSIS metodolojisini önermiştir. Belirsiz niteliksel verileri temsil etme ve farklı derecelerde ye olma olası sonuğlarını sunma kabiliyetine sahip olduğundan yöntem diğer yöntemlere göre daha üstündür. Düzenli depolama, kompostlama, yakma ve atıklardan türetilmiş yakıt alternatifler olarak dşnlmştir. Seçim kriterlerinin ağrılıkları Analitik Hiyerarşi Süreci bulanık çift karşılaştırma matrisleri ile belirlenmiştir. Atıklardan türetilmiş yakıtın İstanbul ili için en iyi alternatif olduğu tespit edilmiştir.

Hanandeh ve diğ. (2010) ęalıřmada Sidney belediyesinde katı atığın biyobozunabilir fraksiyonu için bir yönetim stratejisi seçme ęalıřması yapmıştır. Belirsizlik altında ęok kriterli karar verme prosedürü geliştirerek "ELECTRE SS" adını vermişlerdir. On bir kriter ve on alternatif değerlendirilerek düzenli depolama alternatifinin en iyi alternatif olduğu tespit edilmiştir.

Perkoulidis ve diğ. (2010) ęalıřmada Orta Yunanistan bölgesi için entegre atık-enerji tesisi için bölgesel atık yönetimi senaryoları, ęok kriterli karar verme yöntemi olan ELECTRE III vasıtasıyla değerlendirilmiştir.

Garfi ve diğ. (2009) tarafından yapılan ęalıřmanın amacı Saharawi mülteci kamplarındaki (Cezayir) atık yönetimini ve bunun ęevresel, sosyal yönlerini inceleyerek uygulanacak karar verme yönteminin fizibilitesini yapmaktır. ęalıřma ęok kriterli karar analizine ve analitik hiyerarşi sürecine (AHP) dayanmaktadır.

Karagiannidis ve Perkoulidis (2009) ęalıřmada belediye katı atıkların organik fraksiyonlarının iyileştirilmesi için uygun olan farklı anaerobik sindirim teknolojilerini değerlendirmiştir. ELECTRE III yöntemi seçilen beş alternatif anaerobik sindirim teknolojisinin karşılaştırılması ve sıralanması için uygulanmıştır.

Roussat ve diğ. (2009) tarafından yapılan alışmada Fransa-Lyon' da sürdürülebilir bir imha atık yönetimi stratejisi için ELECTRE III karar verme yönteminin bir uygulamasını sunulmuştur. ęalıřma için dokuz alternatif ve sekiz kriter belirlenmiştir.

Tseng M. L. (2009) Metro Manila (Filipinler) için katı atık yönetimi hakkında çalışmıştır. Katı atık yönetimi çözümü seçimi, çok sayıda karmaşık kriter dikkate alınmasını gerektiren çok ölçütlü bir karar verme problemidir. Çalışmada, farklı katı atık yönetim çözümlerini değerlendiren uzman gruba yardımcı olmak için kombine bir ANP ve DEMATEL yöntemine dayanan etkili bir çözüm uygulanmıştır.

Chang ve diğ. (2008) katı atık yönetim sistemi için gerekli atık depolama tesisinin yer seçiminde bulanık çok kriterli karar verme tekniği ile birlikte coğrafi bilgi sistemi uygulaması yapmıştır.

Contreras ve diğ. (2008) makalede Boston şehrinde katı atık yönetimi için bir karar destek aracı olarak yaşam döngüsü değerlendirmesi (LCA) ile birlikte analitik hiyerarşik süreç (AHP) hakkında çalışmıştır. Sonuç olarak biyogazifikasyon en uygun yöntem olarak tespit edilmiştir.

Erkut ve diğ. (2008) 2002'ye kadar, Yunanistan Katı Atık Yönetimi (KAY) politikası, elli dört hükümetinin kendi KAY sistemini planlayarak yürütülmüştür. 2002'den sonra bu ülkenin tüm 13 bölgesi ile gerçekleştirilmiştir. Makedonya' da tesis yeri seçimi ve katı atık yönetimi hakkında çalışılmıştır.

Khan ve diğ. (2008) çalışmada yerel bir sivil toplum kuruluşundaki karar vericilere, uygun belediye katı atık bertaraf yöntemlerini önceliklendirmek ve seçmek için bir değerlendirme yöntemi sunmuştur. Analitik ağ süreci kullanılarak beş ana, on üç alt kriter ve üç alternatif üzerinde çalışılmıştır.

Vego ve diğ. (2008) tarafından yapılan çalışmada dört Dalmaçya bölgesinden oluşan Hırvatistan'ın kıyı kesiminde bir atık yönetim sisteminin sağlanması verimliliği modellenmiştir. Alternatiflerin sistematik analizi ve değerlendirilmesine yardımcı olmak için iki çok kriterli karar verme yöntemi olan PROMETHEE ve GAIA uygulanmıştır.

Louis ve diğ. (2008) Filipinler'deki Bacoor belediyesi, bütüncül bir perspektif setinden oluşan seçilmiş bir atık yönetim stratejisine ulaşmak için çok ölçütlü karar verme yöntemini kullanmışlardır.

Hung ve diğ. (2007) yaptıkları çalışmada katı atık yönetim sisteminin eksikliklerinin üstesinden gelmek için sürdürülebilir karar verme modeli geliştirmiştir. Bu modelde çok kriterli karar verme teknikleri ve konsensus analiz modeli değerlendirilmiştir.

Muşdal (2007) bulanık analitik hiyerarşi prosesine göre tıbbi atıklar hakkında bir çalışma yapmıştır. Kriterler belirlenmiş ve aralarındaki ağ göz önünde bulundurularak bulanık analitik ağ prosesi hakkında çalışılmıştır.

Ohman ve diğ. (2007) makalede gelişmekte olan ve gelişmiş ülkelerdeki birtakım depolama alanları mühendisliği tasarımı ve işletim hedefleri için öncelik sıralamasını ele alan başka bir karar verme aracının, analitik hiyerarşi işleminin (AHP) uygulanmasını tartışmaktadır. Çalışmada AHP, topluluktan depolama alanına ve çökme seviyelerine özgü düzenli depolama ve depolama işlemleri için ekonomik, çevresel, sağlık ve güvenlik, yasal ve kamusal algılama hedeflerini sıralamak ve öncelik vermek için kullanılmaktadır.

Su ve diğ. (2007) yaptıkları çalışmada Tayvan'ın katı atık politikalarını incelemiş ve çevresel, ekonomik, sosyal, teknolojik ve yönetim yönleriyle ilgili faktörlerin etkileri dahilinde atık yönetimi için yeni bir karar verme modeli oluşturmuştur.

Chenayah ve diğ. (2005) çalışmada Malezya'da kişi başına düşen katı atık miktarı, bölgenin ekonomik durumuna bağlı olarak 0.45 kg/gün ile 2 kg/gün arasında değişmektedir. Çeşitli geri dönüşüm stratejilerinin değerlendirilmesi ve geri dönüşüm faaliyetlerinin artırılması konusunda PROMETHEE yöntemini kullanmıştır.

Morrisey ve Browne (2004) çalışmasında belediye atık yönetimi alanında mevcut kullanılan model türlerini gözden geçirmekte ve bu modellerin bazı önemli eksikliklerini vurgulamaktadır. Mevcut atık yönetim modellerinin eksiklikleri arasında karar verme sürecinin kendisinden ziyade değerlendirme adımlarının iyileştirilmesiyle ilgili olmaktadır. Literatürde tanımlanan belediye atık modellerinin çoğu karar destek modelleridir ve bu araştırmanın amaçları doğrultusunda maliyet fayda analizine dayalı olanlar, yaşam döngüsü değerlendirmesine dayalı olanlar ve çok kriterli karar vermeye dayalı olanlar olmak üzere üç kategoriye ayrılmıştır.

Cheng ve diğ. (2003) çalışmada çok kriterli karar analizi ve tam olmayan karışık tamsayılı doğrusal programlama yöntemlerini, TOPSIS yöntemini düzenli depolama alanının seçiminde kullanmıştır.

Kapepula ve diğ. (2003) Dakar kentinde katı atık yönetimi hakkında çalışmıştır. Atıkların üretimi, onların koleksiyonu ve işlenmesi açısından daha iyi bir atık yönetimi için en kötü ve en iyi alanları bulmak amaçlanmış ve bunun için PROMETHEE ve Argos kullanılmıştır.

Hokkanen ve Salminen (1997) çalışmada 1993'te Finlandiya'nın Oulu bölgesinde katı atık yönetim sisteminin seçimi bağlamında ELECTRE III karar vermenin gerçek bir uygulaması hakkında rapor verilmiştir. ELECTRE III yöntemi çeşitli alternatiflerin sonuçlarının bir dereceye kadar belirsiz olduğu durumlarda katı atık yönetim sistemi seçiminde yararlı olmuştur.

4.1. Literatür değerlendirmesi

Literatür taramasından görüleceği üzere katı atık bertaraf teknolojisi seçim problemi hakkında birçok çok kriterli karar verme çalışması yapılmıştır. Elde edilen bulgular aşağıda özetlenmiştir.

Çalışmalar incelendiğinde TOPSIS, PROMETHEE, ELECTRE, AHP gibi yöntemlerin en çok kullanılan yöntemler olduğu görülmüştür. VIKOR, ANP ise az tercih edilen yöntemler olmuştur. Bu çalışmaların hiçbirinde EN İYİ-EN KÖTÜ YÖNTEMİ kullanılmamıştır. Yapılan çalışmaların büyük çoğunluğunda çalışmanın sonucuna göre atık yönetim stratejileri sıralanmıştır. Çalışmalarda en çok ele alınan ikinci konu, ise atık tesisi alan seçimi problemi olarak görülmektedir.

Bu bulgulardan hareketle, bu tez çalışması kapsamında Ankara ili için bir uygulama yapılmış ve öncelikle literatürde en çok tercih edilen yöntemlerden olan TOPSIS ve PROMETHEE yöntemleri dâhilinde probleme çözüm aranmıştır. Bu yöntemlere ek olarak, literatürde bu problem için daha önce uygulanmamış bir yöntem olan EN İYİ-EN KÖTÜ YÖNTEMİ kullanılmış ve elde edilen sonuçlar diğer yöntemlerle karşılaştırılmıştır.

5. YÖNTEM

Katı atık bertaraf seçimi problemi için çalışma kapsamında kullanılan üç yöntem bu bölümde detaylı şekilde anlatılmaktadır.

5.1 TOPSIS Yöntemi

TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) Yöntemi, Hwang ve Yoon (1981) tarafından çok kriterli karar verme tekniği olarak geliştirilmiştir. Yöntemin temeli Pozitif İdeal çözüme en kısa mesafe ve Negatif İdeal çözüme en uzak mesafedeki alternatifi seçmeye dayanmaktadır (Dumanoğlu ve Ergül 2010).

TOPSIS yöntemi, karar vericiler tarafından sıkça kullanılmaktadır. Bunun nedeni ise, sınırlı sayıda öznel girdiye ihtiyaç duymasıdır. Yöntemde kullanılan tek öznel değişken faktör ağırlıklarıdır. Basit ve anlaşılabilir olması ve iyi bir hesaplama etkinliğine sahip olması bu yöntemin temel özellikleridir (Yeh 2002).

Metodun temel konsepti; seçilecek alternatif bir nevi geometrik anlamda ideal çözüme en kısa mesafede ve negatif-ideal çözümden en uzak mesafede olmalıdır. TOPSIS metodu her bir kriterin tekdüze bir şekilde artan ya da azalan fayda eğilimine sahip olduğunu varsaymaktadır. Bundan dolayı, ideal ve negatif-ideal çözümleri tanımlamak kolaydır. Öklid mesafesi yaklaşımı alternatiflerin ideal çözüme göreli yakınlıklarını değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Böylece bu göreli mesafelerin karşılaştırılmalarının bir serisi aracılığıyla alternatiflerin tercih sırası çıkarılabilmektedir (Triantaphyllou 2000).

TOPSIS uygulaması aşağıdaki adımlardan oluşmaktadır.

1. Adım: Karar Matrisinin (A) Oluşturulması

Karar matrisinin satırlarında üstünlükleri sıralanmak istenen karar noktaları (alternatifler), sütunlarında ise karar vermede kullanılacak değerlendirme kriterleri

yer almaktadır. A matrisi karar verici tarafından oluşturulan başlangıç matrisidir. Karar matrisi aşağıdaki gibi gösterilir:

$$A_{ij} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} \cdots & a_{2n} \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ a_{m1} & a_{m2} \cdots & a_{mm} \end{bmatrix} \quad (5.1)$$

A matrisinde m karar noktası sayısını, n değerlendirme kriteri sayısını vermektedir.

2.Adım: Normalize Edilmiş Karar Matrisinin (R) Oluşturulması

Normalize edilmiş karar matrisi olan R matrisi, A matrisinin elemanlarından yararlanılarak ve aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$R_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{k=1}^m a_{kj}^2}} \quad (5.2)$$

$$(i = 1, \dots, m; j = 1 \dots n)$$

R matrisi aşağıdaki gibi elde edilir.

$$R_{ij} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} \cdots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} \cdots & r_{2n} \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ r_{m1} & r_{m2} \cdots & r_{mm} \end{bmatrix} \quad (5.3)$$

3.Adım: Ağırlıklı Standart Karar Matrisinin (V) Oluşturulması

Öncelikle değerlendirme kriterlerine ilişkin ağırlık değerleri (w_i) belirlenir.

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1 \quad (5.4)$$

Daha sonra R matrisinin her bir sütunundaki elemanlar ilgili w_i değeri ile çarpılarak Ağırlıklı Standart Karar Matrisi (V) matrisi oluşturulur. V matrisi aşağıda gösterilmiştir:

$$V_{ij} = \begin{bmatrix} w_1 r_{11} & w_2 r_{12} \cdots & w_n r_{1n} \\ w_1 r_{21} & w_2 r_{22} \cdots & w_n r_{2n} \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ w_1 r_{m1} & w_2 r_{m2} \cdots & w_n r_{mm} \end{bmatrix} \quad (5.5)$$

Değerlendirme kriterlerine ilişkin ağırlıklar w_1, w_2, \dots, w_n şeklinde belirlenir. Oluşturulacak ağırlıklı normalize edilmiş karar matrisi için, R matrisinin sütunlarındaki değerler ilgili değerlendirme kriteri ağırlık değerleri ile çarpılarak V matrisinin sütunları hesaplanmaktadır.

4.Adım: İdeal (A+) ve Negatif İdeal (A-) Çözümlerin Oluşturulması

TOPSIS yöntemi, her bir değerlendirme kriterinin monoton artan veya azalan bir eğilime sahip olduğunu varsaymaktadır. İdeal çözüm setinin oluşturulabilmesi için V matrisindeki ağırlıklandırılmış değerlendirme kriterlerinin yani sütun değerlerinin en büyükleri (ilgili değerlendirme faktörü minimizasyon yönlü ise en küçüğü) seçilir. İdeal çözüm setinin bulunması aşağıdaki formülde gösterilmiştir.

$$A^* = \{(\max_i v_{ij} | j \in J), \min_i v_{ij} | j \in J\} \quad (5.6)$$

Yukarıdaki formülünden hesaplanacak set $A^* = \{v_1^*, v_2^*, \dots, v_n^*\}$ şeklinde gösterilebilir.

Negatif ideal çözüm seti ise, V matrisindeki ağırlıklandırılmış değerlendirme faktörlerinin yani sütun değerlerinin en küçükleri (ilgili değerlendirme faktörü maksimizasyon yönlü ise en büyüğü) seçilerek oluşturulur. Negatif ideal çözüm setinin bulunması formül 5.7'de gösterilmiştir.

$$A^- = \{(\min_i v_{ij} | j \in J), \max_i v_{ij} | j \in J\} \quad (5.7)$$

Formülünden hesaplanacak set $A^- = \{v_1^-, v_2^-, \dots, v_n^-\}$ şeklinde gösterilebilir. Her iki formülde de J fayda (maksimizasyon), J' ise kayıp (minimizasyon) değerini

göstermektedir. Gerek ideal gerekse negatif ideal çözüm seti, değerlendirme faktörü sayısı yani m elemandan oluşmaktadır. İdeal $A+$ ve negatif ideal $A-$ çözüm setleri oluşturulmuştur. ($A+$) seti için V matrisinin her bir sütunundaki en büyük değer, ($A-$) seti için V matrisinin her bir sütunundaki en küçük değer seçilmiş ve setler kriterlerin amaca hizmet edişine göre düzenlenmiştir.

4. adımda ideal $A+$ ve negatif ideal $A-$ çözüm setleri oluşturulmuştur. ($A+$) seti için V matrisinin her bir sütunundaki en büyük değer, ($A-$) seti için V matrisinin her bir sütunundaki en küçük değer seçilmiş ve setler kriterlerin amaca hizmet edişine göre düzenlenmiştir.

5.Adım: Ayırım Ölçülerinin Hesaplanması

TOPSIS yönteminde her bir karar noktasına ilişkin değerlendirme kriteri değerinin ideal ve negatif ideal çözüm setinden sapmalarının bulunabilmesi için Euclidian Uzaklık Yaklaşımından yararlanılmaktadır. Buradan elde edilen alternatiflere ilişkin sapma değerleri ise İdeal Ayırım (S_i+) ve Negatif İdeal Ayırım (S_i-) Ölçüsü olarak adlandırılmaktadır. İdeal ayırım (S_i^*) ve negatif ideal ayırım (S_i^-) ölçüleri aşağıdaki formüllere göre hesaplanmıştır.

$$S_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_{*j})^2} \quad (5.8)$$

Benzer şekilde, her bir alternatifin negatif ideal çözüme uzaklığı;

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_{-j})^2} \quad (5.9)$$

Burada hesaplanacak (S_i^*) ve (S_i^-) sayısı doğal olarak alternatif sayısı kadar olacaktır.

6.Adım: İdeal Çözüme Göreli Yakınlığın Hesaplanması

Her bir alternatifin ideal çözüme göreli yakınlığının (C_i^*) hesaplanmasında ideal ve negatif ideal ayırım ölçülerinden yararlanılmaktadır. Burada kullanılan ölçüt, negatif ideal ayırım ölçüsünün toplam ayırım ölçüsü içindeki payıdır. İdeal çözüme göreli yakınlık değerinin hesaplanması aşağıdaki formülde gösterilmiştir.

$$C_i^* = \frac{Si^-}{Si^- + Si^*} \quad (5.10)$$

7.Adım: Alternatiflerin Sıralamasının ve Puanının Bulunması

6. adımda bulunan değerler büyükten küçüğe sıralanmakta ve önemlerine göre tercih sıraları belirlenmektedir.

5.2 PROMETHEE Yöntemi

PROMETHEE (Preference Ranking Organization Method For Enrichment Evaluations) yöntemi çok kriterli karar verme tekniklerindedir. Kısmi önceliklendirme imkânı sunan PROMETHEE I ve net önceliklendirme imkânı sunan PROMETHEE II yöntemleri 1982 yılında Jean Pierre Brans tarafından geliştirilmiştir. Aynı yıl ilk defa R. Nadau ve M. Landry tarafından Kanada'da bulunan Laval üniversitesinde sunulmuştur. Birkaç yıl sonra J. P. Brans ve Bertrand Mareschal tarafından aralıklı sıralama yapan PROMETHEE III ve devamlı sıralama yapan PROMETHEE IV metotları geliştirilmiştir.1988'de Brans ve Mareschal PROMETHEE metodunu görsel olarak destekleyen GAIA görsel interaktif sunumunu önermişlerdir. 1992 ve 1994 yıllarında ise PROMETHEE V yöntemi ile PROMETHEE VI yöntemleri aynı bilim insanları tarafından geliştirilmiştir.

PROMETHEE yönteminde alternatifler arasında öncelik oluşturabilmek için ikili karşılaştırmalar yapılmaktadır. Kriterler, toplam ağırlıkları bir olacak şekilde ağırlıklandırılmaktadır.

PROMETHEE yöntemi, alternatifler arasında ikili karşılaştırmaya dayanan bir önceliklendirme yapısına sahiptir. Yöntemde, kriterler arasında değerlendirmenin yapılabilmesi için tanımlı altı farklı tercih fonksiyonu yer almaktadır. Bunlar, birinci tip (olağan), ikinci tip (U tipi), üçüncü tip (V tipi), dördüncü tip (seviyeli), beşinci tip (lineer) ve altıncı tip (Gaussian) tercih fonksiyonlarıdır (Brans ve Vincke 1985).

Genel olarak PROMETHEE sıralama yöntemi, PROMETHEE I (kısmi sıralama) ve PROMETHEE II (tüm sıralama) olarak bilinmektedir. Bunların haricinde PROMETHEE III, IV, V ve VI gibi farklı yaklaşımlar da bulunmaktadır. Ayrıca, görsel bir parça olan GAIA ile grafiksel olarak etkin bir gösterim sağlanır. PROMETHEE metodunun çok yaygın olarak başarılı bir şekilde kullanılmasının temelinde matematiksel özellikleri ve kolay kullanımı gelmektedir (Figueira vd. 2004, aktaran Ballı vd. 2007).

PROMETHEE yönteminde birden çok fonksiyon çeşidi vardır, PROMETHEE tercih fonksiyonları Şekil 5.1'de verilmiştir.

Tercih Fonksiyonu Tipi	Grafiksel Gösterim	Fonksiyon Tanımı	Parametre
Birinci Tip (Olağan)		$P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq 0 \\ 1 & d > 0 \end{cases}$	-
İkinci Tip (U Tipi)		$P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq q \\ 1 & d > q \end{cases}$	q
Üçüncü Tip (V Tipi)		$P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq 0 \\ \frac{d}{p} & 0 \leq d \leq p \\ 1 & d > p \end{cases}$	p
Dördüncü Tip (Seviyeli)		$P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq q \\ \frac{1}{2} & q \leq d \leq p \\ 1 & d > p \end{cases}$	p, q
Beşinci Tip (Lineer)		$P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq q \\ \frac{d-q}{p-q} & q \leq d \leq p \\ 1 & d > p \end{cases}$	p, q
Altıncı Tip (Gaussian)		$P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq 0 \\ 1 - e^{-\frac{d^2}{2z^2}} & d > 0 \end{cases}$	z

Şekil 5.1: PROMETHEE tercih fonksiyonu tablosu (Brans ve Mareschal 2005)

Karar vericiler, PROMETHEE yöntemi ile belirli birçok kriterli karar verme probleminin çözümünde yukarıda değinilen tanımlı tercih fonksiyonlarından birisini seçebilirler. Tercih fonksiyonlarının seçilmesinde, kriterlerin yapısı göz önünde bulundurulmalıdır. Üçüncü tip (V tipi) ve beşinci tip (lineer) tercih fonksiyonları, fiyat, maliyet, güç ve benzeri nicel kriterler için uygundur. Üçüncü tip (V tipi) tercih fonksiyonu, beşinci tip (lineer) tercih fonksiyonunun özel bir çeşididir. Bu iki tercih fonksiyonu arasındaki temel farklılık parametrelerdir. Altıncı tip (Gaussian) tercih fonksiyonunun parametrelerinin ayarlanması zordur ve genellikle az kullanılmaktadır. Birinci tip (olağan) ve dördüncü tip (seviyeli) tercih fonksiyonları,

kalitatif kriterlerde oldukça uygun çalışmaktadır. İkinci tip (U Tipi) tercih fonksiyonu ise seviyeli tercih fonksiyonunun özel bir biçimidir ve daha az sıklıkla kullanılmaktadır (Mareschal 2013).

Tercih fonksiyonlarının belirlenmesinin ardından, tercih indeksleri aşağıda belirtilen şekilde hesaplanır (Brans ve Mareschal 2005):

$$\pi(a, b) = \sum_{j=1}^k P_j(a, b)w_j \quad (5.11)$$

$$\pi(b, a) = \sum_{j=1}^k P_j(b, a)w_j \quad (5.12)$$

İlk denklem ile hesaplanan ifade, a 'nın b 'ye göre bütün kriterler üzerinden ne derecede tercih edildiğini, 2. denklem ile hesaplanan ifade ise b 'nin a 'ya göre bütün kriterler üzerinden ne derece tercih edildiğini belirtir. Her bir a ve b çifti için denklem 5.10 ve denklem 5.12 arasında verilen özellikler geçerlidir (Brans ve Mareschal 2005).

$$\pi(a, a) = 0 \quad (5.13)$$

$$0 \leq \pi(a, b) \leq 1 \quad (5.14)$$

$$0 \leq \pi(b, a) \leq 1 \quad (5.15)$$

a ve b arasında şekilde bir ilişki olması, a 'nın b 'ye göre bütün kriterler göz önünde bulundurulduğunda zayıf tercih edilme durumunu belirtmektedir. Benzer şekilde, a ve b arasında şekilde bir ilişki olması, a 'nın b 'ye göre bütün kriterler göz önünde bulundurulduğunda güçlü bir biçimde tercih edilme durumunu belirtmektedir (Brans ve Mareschal 2005).

Tercih endekslerinin hesaplanmasının ardından, her bir alternatif için pozitif ve negatif akım değerleri sırasıyla aşağıda verilen biçimde belirlenir (Brans ve Mareschal 2005).

$$\Phi^+(a) = \frac{1}{n-1} \sum_{x \in A} \pi(a, x,) \quad (5.16)$$

$$\Phi^-(a) = \frac{1}{n-1} \sum_{x \in A} \pi(x, a) \quad (5.17)$$

PROMETHEE üstünlük akımları, solda pozitif akım, sağda negatif akım yer alacak şekilde gösterilmiştir. Pozitif akım, a alternatifinin karşılaştırmada kullanılan diğer alternatifler üzerinde nasıl üstünlük sağladığını, negatif akım ise a alternatifine diğer alternatiflerin nasıl bir üstünlük sağladığını belirtmektedir (Genç 2013).

Ardından, PROMETHEE I ile kısmi öncelikler belirlenir. Böylelikle, alternatiflerin birbirlerine göre tercih edilme durumları, birbirlerinden farksız ve birbirleri ile karşılaştırılmayacak alternatiflerin belirlenmesi sağlanır (Dağdeviren ve Eraslan, 2008). Burada a ve b alternatifleri için çeşitli durumlar söz konusu olabilmektedir:

$$\Phi^+(a) > \Phi^+(b) \text{ ve } \Phi^-(a) < \Phi^-(b) \quad (5.18)$$

$$\Phi^+(a) = \Phi^+(b) \text{ ve } \Phi^-(a) < \Phi^-(b) \quad (5.19)$$

$$\Phi^+(a) > \Phi^+(b) \text{ ve } \Phi^-(a) > \Phi^-(b) \quad (5.20)$$

$$\Phi^+(a) < \Phi^-(b) \text{ ve } \Phi^-(a) < \Phi^-(b) \quad (5.21)$$

Burada, yukarıdaki ilk üç denklemde verilen koşullardan birinin sağlanması durumunda a alternatifi b alternatifine göre daha tercih edilebilir bir alternatiftir.

Alternatifler arasında son denklemde sunulan ilişkinin var olması durumunda bu iki alternatif birbirlerinden farksızdır. Alternatifler arasında, aşağıdaki denklemlerdeki koşullardan birinin sağlanması durumunda ise a alternatifi ile b alternatifi karşılaştırılmaz. PROMETHEE I yöntemi ile karar verici birbiriyle karşılaştırılması mümkün olmayan alternatifler elde edecek ve tam bir sıralama elde edemeyecektir. PROMETHEE II yöntemi ile ise alternatifler arasındaki tam sıralama elde edilebilmektedir. Net akım değeri, aşağıda verilen formüle göre hesaplanır (Brans ve Mareschal 2005):

$$\Phi(a) = \Phi^+(a) - \Phi^-(a) \quad (5.22)$$

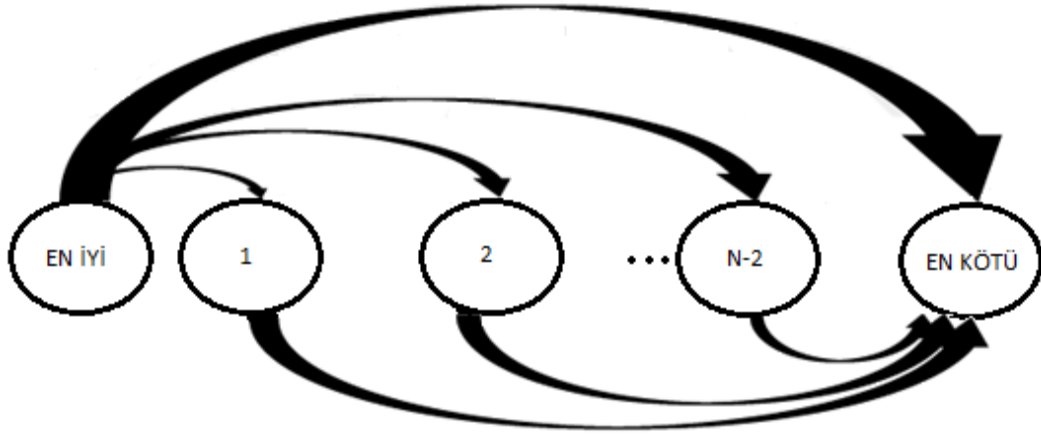
Burada a ve b alternatifleri için söz konusu olan yukarıdaki denklemlerde verilen durumlara dayalı olarak alternatiflere ilişkin karar verilmektedir. İlk denklemde verilen durumun sağlanması durumunda, a alternatifi b alternatifine kıyasla daha üstündür. İkinci denklemde verilen durumun sağlanması durumunda ise, a ile b birbirinden farksız alternatiflerdir.

$$\Phi(a) > \Phi(b) \quad (5.23)$$

Bütün alternatifler için değer hesaplanmakta ve sıralama belirlenmektedir.

5.3 EN İYİ-EN KÖTÜ (BEST WORST METHOD) YÖNTEMİ

EN İYİ-EN KÖTÜ METOT Dr. Jafar Rezaei (2015) tarafından çok kriterli karar verme yöntemi olarak geliştirilmiştir. Bu metotta en iyi (en önemli) ve en kötü (en önemsiz) kriterler karar verici tarafından tanımlanmaktadır. Bu iki kriter (en iyi, en kötü) ve diğer kriterler arasında ikili karşılaştırmalar yapılmaktadır. Çeşitli alternatif ve kriter setlerine ağırlık tanımlanarak son puanlar belirlenmekte en iyi alternatif seçilmektedir.



Şekil 5.2: BMW referans karşılaştırma (Rezaei 2015).

En iyi-En kötü metodu altı adımda gerçekleşmektedir.

Adım 1. Bir dizi karar kriteri belirleyin.

Karar problemine etki eden kriterleri c_1, c_2, \dots, c_n belirlenir.

Adım 2. N kriter arasından en iyisi (örneğin en çok istenen, en önemli) ve en kötü (en az istenen, en önemsiz) kriterleri belirleyin.

Bu adımda, karar verici genel olarak en iyi ve en kötü ölçütleri tanımlar. Bu aşamada karşılaştırma yapılmaz.

Adım 3. Diğer kriterlere göre en iyi kriterin tercihini 1 ile 9 arasında bir sayı kullanarak belirleyin.

1 eşit öneme sahip olduğunu, 9 ise çok önemli olduğunu belirtmektedir.

En iyi kriter-Diğerleri vektörü: $A_B = (a_{B1}, a_{B2}, \dots, a_{Bn})$

burada, a_{Bj} , kriter j üzerinde en iyi kriterin B tercihini belirtir. $a_{BB} = 1$ olduğu açıktır.

Adım4. 1 ile 9 arasında bir sayı kullanarak en kötü kriteri baz alarak diğer kriterlerle karşılaştırmasını yapın.

Ortaya çıkan diğerleri-En kötü vektörler (others to worst)

$$A_W = (a_{1W}; a_{2W}; \dots; a_{NW})^T$$

Burada a_{jW} , ölçüt j'nin en kötü kriter W üzerindeki tercihini belirtir. $A_{WW} = 1$ olduğu açıktır.

Adım 5. Optimum ağırlıkları bulun ($W_1^*, W_2^*, \dots, W_n^*$).

Kriterler için en uygun ağırlık, her bir $W_B = W_j$ ve $W_j = W_W$ çifti için $W_B/W_j = a_{Bj}$ ve $W_j/W_W = a_{jW}$.

Tüm j için bu koşulları yerine getirmek için, burada maksimum mutlak farklılıkların minimize edildiği $\left| \frac{W_B}{W_j} - a_{Bj} \right|$ ve $\left| \frac{W_j}{W_W} - a_{jW} \right|$ bir çözüm bulmalıyız. Ağırlıkların negatif olmamasına ve toplam koşuluna bakıldığında, aşağıdaki problem ortaya çıkmaktadır:

$$\min \max \{ |W_B - W_j a_{Bj}|, |W_j - W_W a_{jW}| \} \quad (5.24)$$

kısıtları altında

$$\sum_j W_j = 1$$

$$W_j \geq 0$$

Denklem doğrusal hale aşağıdaki gibi çevrilebilir:

$$\min \xi \quad (5.25)$$

$$|W_B - W_j a_{Bj}| \leq \xi$$

$$|W_j - W_W a_{jW}| \leq \xi$$

$$\sum_j W_j = 1$$

$$W_j \geq 0$$

Bu modelin çözümü ile kriter ağırlıkları ve ξ elde edilir.

6. UYGULAMA

6.1 Problemin Tanımlanması

Problem, katı atıklara yönelik bertaraf yöntemine karar verme problemidir. Ankara ili için katı atık yönetim sistemlerinde kullanılan bertaraf etme teknolojileri arasından en uygun olanını seçmek için üç farklı yöntem kullanılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Çalışma kapsamında kullanılan yöntemler, TOPSIS, EN İYİ-EN KÖTÜ METOT, PROMETHEE yöntemleridir. TOPSIS tekniği ELECTRE yöntemine alternatif olarak oluşturulmuş olup yöntemin temel mantığı, alternatiflerin geometrik anlamda pozitif ideal çözüme en az uzaklıkta ve negatif ideal çözüme en fazla uzaklıkta olması esasına dayanmaktadır (Triantaphyllou vd., 1998). TOPSIS yönteminin kullanımının yaygın olmasının sebeplerinden biri de farklı alanlarda uygulanabilir olmasıdır. PROMETHEE sıralama yöntemi, diğer çok kriterli karar verme yöntemlerine göre anlaşılması ve uygulanması kolay bir yöntemdir (Goumas ve Lygerou, 2000). EN İYİ-EN KÖTÜ METOT, son yıllarda çok kriterli karar verme problemleri için önerilmiş bir yöntemdir. AHP gibi ikili karşılaştırma esasına dayanmaktadır ancak daha az ikili karşılaştırma yapmakta ve daha tutarlı sonuçlar ürettiği belirtilmektedir (Rezaei, 2015). Bahsedilen bu üstünlükleri sebebiyle, bu çalışma kapsamında TOPSIS, EN İYİ-EN KÖTÜ METOT, PROMETHEE yöntemlerinin problem çözümü için uygun olabileceği düşünülmüştür.

Karar probleminin temel elemanları olan kriter ve alternatiflerin belirlenmesinde belediye ve belediyenin işlerini yapan özel bir şirkette çevre mühendisi ve çevre biriminde çalışan uzmanlar ile çeşitli görüşmeler yapılmıştır. Görüşmeler ve literatürdeki geçmiş çalışmalar da göz önüne alınarak konuyla ilgili on beş kriter ve sekiz alternatif belirlenmiş ve bu doğrultuda bir anket formu hazırlanmıştır. Hazırlanmış olan anketin çevre birimindeki uzmanlar ve mühendisler tarafından puanlanması istenmiştir. Anket formu ekler kısmında EK 2'de yer almaktadır. Karar elemanlarının detaylı açıklamalarına bir sonraki bölümde yer verilmiştir.

6.2 Kriterlerin Tespit Edilmesi

Uzman görüşleri ve literatür çalışması sonucu on beş adet kriter belirlenmiştir. Kriterler, maliyet (cost) ve fayda (benefit) kriteri olmak üzere iki sınıfa ayrılmaktadır. İlk yatırım maliyeti, işletme maliyeti, çevresel risk, emisyonlar, kalifiye eleman gereksinimi, hava kirliliği kontrolü, yeterlilik, teknik güvenilirlik, kapasite, verimlilik, bertaraf edilebilen atık çeşidi, enerji geri kazanımı, süreklilik, kullanım yaygınlığı olmak üzere on beş adet kriter aşağıda detaylı şekilde açıklanmıştır.

İlk Yatırım Maliyeti (İym)

Atık bertaraf tesisinin kurulumunda meydana gelen arazi, tesis, makine gibi maliyetlerdir.

İşletme Maliyeti (İm)

Atık bertaraf tesisinin işletmesi esnasında meydana gelen malzeme, personel, tesis arıza ve bakımı gibi maliyetleri ifade etmektedir.

Çevresel Risk (Çr)

Katı atık bertaraf etme tesisinde oluşabilecek hastalık yayılması, atık tesisinde meydana gelebilecek yangınlar gibi olasılıkları ifade etmektedir.

Emisyonlar (E)

Katı atık bertaraf etme tesisinde oluşabilecek doğal kaynakları kirlenme olasılığını ifade etmektedir.

Kalifiye Eleman Gereksinimi (Ke)

Katı atık bertaraf etme tesisinin işletilmesi esnasında ihtiyaç duyulan kalifiye elemanı belirten kriterdir.

Hava Kirliliği Kontrolü (Hkk)

Atık bertaraf tesisinde hava kirliliğine sebep olan çeşitli gazlar meydana gelmektedir. Katı atık bertaraf yöntemine göre değişen bu gazlar hava kirliliğine sebep olmaktadır. Bu yüzden bu gazlar kontrollü bir biçimde değerlendirilmelidir.

Yeterlilik (Y)

Katı atık bertaraf tesisinden beklenen işlemlerin yeteri kadar yerine getirilmesi yeteneğidir.

Teknik Güvenilirlik (Tg)

Değerlendirilen katı atık bertaraf teknolojilerinden daha önce uygulanmış ve başarılı olmuş olan sistemlerin tercih edilmesini ifade etmektedir.

Kapasite (K)

Katı atık bertaraf tesisinde birim zamanda işlenebilen atık miktarıdır.

Verimlilik (V)

Katı atık bertaraf etme tesisine giren atıkta, hacimsel ya da ağırlık bazında oluşan azalma oranıdır.

Bertaraf Edilebilen Atık Çeşidi (Beatç)

Her atık, her katı atık bertaraf tesisinde işlem göremeyebilir. Bu kriter, katı atık bertaraf etme alternatiflerinde bertaraf edilebilen atık çeşidini ifade etmektedir.

Atık Geri Kazanımı (Agk)

Katı atık bertaraf etme tesisinde geri kazanılan atık miktarını ifade eder.

Enerji Geri Kazanımı (Egk)

Katı atık bertaraf etme tesisinde geri kazanılabilecek olan potansiyel enerji miktarını ifade etmektedir.

Süreklilik (S)

Katı atık bertaraf tesisinin 1 yılda ne kadar çalıştığını belirtmektedir.

Kullanım Yaygınlığı (Ky)

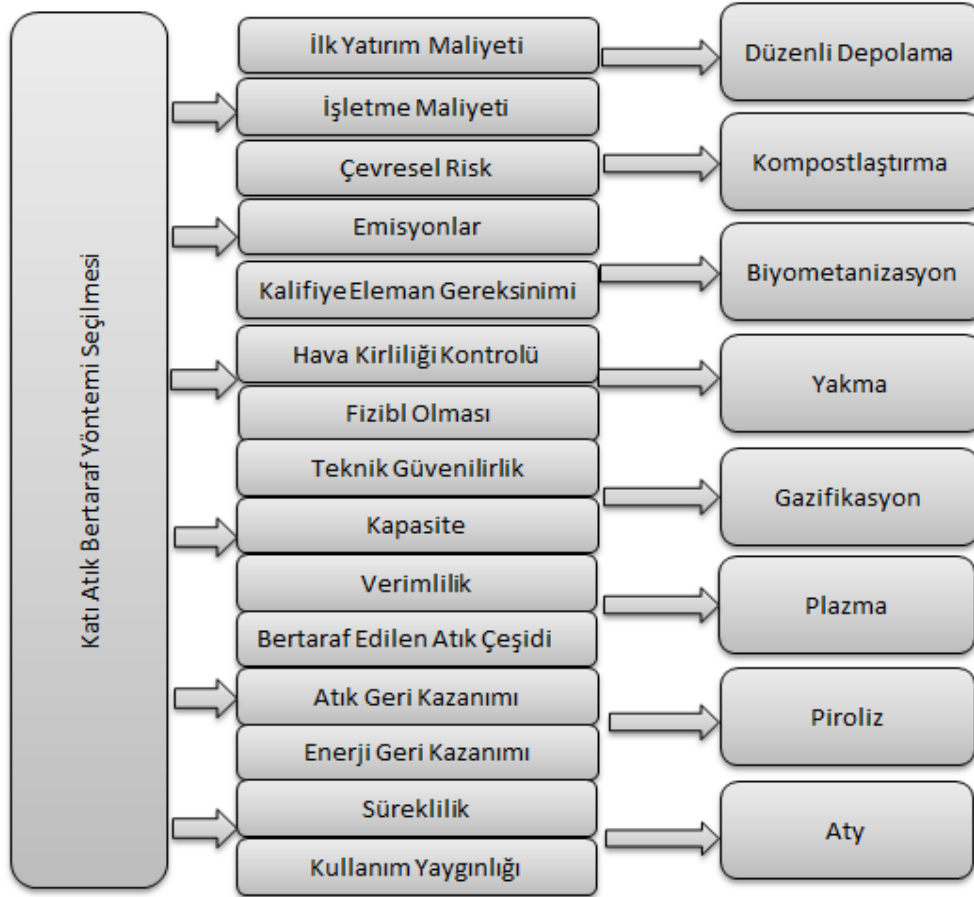
Katı atık bertaraf alternatiflerinden bazıları, diğerlerine göre daha fazla tercih edilmektedir. Mesela düzenli depolama gazifikasyona göre daha çok tercih edilmektedir.

6.3 Alternatiflerin Tespit Edilmesi

Alternatifler, problem çözümünde değerlendirilecek seçeneklerdir. Uzmanlar ile birlikte değerlendirilecek alternatifler belirlenmiş ve katı atık bertaraf teknolojileri arasından düzenli depolama (D), kompostlaştırma (K), biyometanizasyon (B), yakma (Y), gazifikasyon (G), plazma (P), piroliz (Pi) ve atıktan türetilmiş yakıt (ATY) olmak üzere sekiz adet alternatifin problemde ele alınmasına karar verilmiştir.

6.4 Hiyerarşik Yapının Oluşturulması

Alternatifler ve bu alternatiflerin değerlendirileceği kriterler belirlendikten sonra uygun katı atık bertaraf yönteminin seçilebilmesi için modelin hiyerarşik yapısı oluşturulmalıdır. Modelin hiyerarşik yapısı Şekil 6.1’de gösterilmiştir.



Şekil 6.1: Katı atık bertaraf yöntemi hiyerarşik yapı

Hiyerarşik yapı kurulduktan sonra yöntemler ışığında problemin çözümü ele alınmıştır. Sırasıyla TOPSIS, EN İYİ-EN KÖTÜ METOT, PROMETHEE yöntemleri kullanılarak problem ele alınmıştır.

6.4.1 TOPSIS Yöntemine Göre özüm

İlk olarak problem TOPSIS yöntemine göre çözülmüştür. TOPSIS yöntemine göre belirlenen yarar ve zarar kriterleri Tablo 6.1’de gösterilmiştir:

Tablo 6.1: Fayda-maliyet kriterleri

Maliyet kriterleri	Fayda kriterleri
<ul style="list-style-type: none">• İlk yatırım maliyeti,• İşletme maliyeti,• Çevresel risk,• Emisyonlar,• Kalifiye eleman gereksinimi	<ul style="list-style-type: none">• Hava kirliliği kontrolü• Yeterlilik,• Teknik güvenilirlik,• Kapasite,• Verimlilik,• Bertaraf edilebilen atık çeşidi,• Atık geri kazanımı,• Enerji geri kazanımı,• Süreklilik,• Kullanım yaygınlığı

Adım 1. Karar Matrisinin Oluşturulması

Alternatif katı atık bertaraf yöntemlerinin kriterlere göre değerlendirilmesi için geçmişteki çalışmalar incelenerek uzmanlar tarafından 1 ile 10 puan arasında Tablo 6.2'deki gibi bir değerlendirme yapılmıştır.

Tablo 6.2: TOPSIS değerlendirme tablosu

Alternatifler	İym	İm	Çr	E	Ke	Hkk	Y	Tg	K	V	Beatç	Agk	Egk	S	Ky
Düzenli Depolama	1	1	8	10	1	10	10	9	9	1	9	1	5	9	10
Kompostlaştırma	5	3	7	8	4	9	7	8	9	5	5	5	1	6	10
Biyometanizasyon	7	4	5	4	7	8	8	7	6	5	4	4	7	8	8
Yakma	9	8	3	2	8	3	1	8	9	9	7	1	9	7	5
Gazifikasyon	9	8	3	3	8	3	1	7	6	7	6	2	9	7	4
Plazma	9	10	2	3	8	3	1	6	3	8	3	1	8	7	1
Piroliz	9	9	3	3	8	3	1	5	4	8	6	4	8	8	2
ATY	5	6	5	7	6	6	7	8	7	6	8	2	9	6	5

Adım 2. Kriterlerin Tek Tipe - Yarar Kriterine Dönüştürülmesi

Tablo 6.3’de verilen değerler tek tipe yani yarar kriterine dönüştürülmüştür.

Tüm kriterleri yarar (kar) kriteri yapmak istediğimizde, zarar (maliyet) kriterlerinin çarpmaya göre tersinin alınması gerekir (Arıkan 2013). Karar matrisindeki kriterin değeri n olarak ifade edilmekte ve zarar kriteri $1/n$ formülü ile yarar kriteri olarak hesaplanıp aşağıdaki tabloda gösterilmektedir. Birinci adımda kompostlaştırma alternatifinin İym maliyeti 5 iken, ikinci adımda yarar kriterine dönüşmüş hali $1/5=0.20$ olarak hesaplanmaktadır. Bütün zarar kriterlerine aynı işlem uygulanmış ve yarar kriterine dönüştürülmüştür.

Tablo 6.3: Tek tipe dönüşmüş kriterler (fayda) tablosu

Alternatifler	İym	İm	Çr	E	Ke	Hkk	Y	Tg	K	V	Beatç	Agk	Egk	S	Ky
Düzenli Depolama	1	1	0.12	0.10	1	0.10	10	9	10	1	10	1	5	10	10
Kompostlaştırma	0.20	0.33	0.14	0.12	0.25	0.11	6	9	10	4	5	4	1	7	10
Biyometanizasyon	0.14	0.25	0.20	0.25	0.14	0.12	8	8	5	4	4	3	7	9	7
Yakma	0.11	0.12	0.33	0.50	0.12	0.33	1	9	9	9	7	1	9	8	5
Gazifikasyon	0.11	0.12	0.33	0.33	0.12	0.33	1	8	5	7	5	2	9	8	3
Plazma	0.11	0.10	0.50	0.3	0.12	0.33	1	6	3	8	3	1	8	8	1
Piroliz	0.11	0.11	0.33	0.33	0.12	0.33	1	6	4	8	5	3	8	8	2
ATY	0.20	0.17	0.20	0.14	0.17	0.17	6	9	7	6	8	2	9	7	5

Adım 3. Normalize Matris Oluşturulması

Normalize matris R için $R_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{k=1}^m a_{kj}^2}}$ formülü kullanılarak normalize

matris oluşturulmaktadır.

$$a_{11} = \frac{1}{\sqrt{1^2 + 0.200^2 + 0.143^2 + 0.111^2 + 0.111^2 + 0.111^2 + 0.111^2 + 0.200^2}}$$

$$a_{11} = 0.933$$

$$a_{12} = \frac{0,200}{\sqrt{1^2 + 0.200^2 + 0.143^2 + 0.111^2 + 0.111^2 + 0.111^2 + 0.111^2 + 0.200^2}}$$

$$a_{12} = 0.187$$

Diğer bütün alternatif ve kriterler için aynı formül uygulanarak normalize matris oluşturulmuştur.

Ağırlıklandırılmış Matris 6.1.

0.933	0.893	0.149	0.120	0.923	0.140	0.645	0.393	0.497	0.055	0.565	0.149	0.237	0.432	0.565
0.187	0.298	0.171	0.150	0.231	0.156	0.387	0.393	0.497	0.221	0.283	0.596	0.047	0.303	0.565
0.133	0.223	0.239	0.301	0.132	0.175	0.516	0.349	0.248	0.221	0.226	0.447	0.331	0.389	0.396
0.104	0.112	0.399	0.601	0.115	0.467	0.065	0.393	0.447	0.498	0.396	0.149	0.426	0.346	0.283
0.104	0.112	0.399	0.401	0.115	0.467	0.065	0.349	0.248	0.387	0.283	0.298	0.426	0.346	0.170
0.104	0.089	0.598	0.401	0.115	0.467	0.065	0.262	0.149	0.442	0.170	0.149	0.379	0.346	0.057
0.104	0.099	0.399	0.401	0.115	0.467	0.065	0.262	0.199	0.442	0.283	0.447	0.379	0.346	0.113
0.187	0.149	0.239	0.172	0.154	0.233	0.387	0.393	0.348	0.332	0.452	0.298	0.426	0.303	0.283

Adım 4. Ağırlıklandırılmış Normalize Matris Hesabı

Ağırlık değeri, toplam ağırlığa bölünerek ağırlık oranı bulunmaktadır. Normalize karar matrisindeki değerler ile o kritere ait ağırlık oranı çarpılarak ağırlıklandırılmış normalize matris değerleri hesaplanmaktadır. Kompostlaşım alternatifinin, ilk yatırım maliyeti kriterinde normalize matris değeri 0,187 ve ağırlık oranı 0,103 olarak çarpılmış ve bu kriter için ağırlıklandırılmış normalize karar matrisi değeri 0,019 olarak matrise yazılmıştır. Diğer bütün alternatif ve kriterler için aynı işlem uygulanmıştır.

$$w_1 = 10, \text{ ağırlık oranı} = \frac{10}{97} = 0.103$$

$$w_2 = 8, \text{ ağırlık oranı} = \frac{8}{97} = 0.082$$

$$w_3 = 9 \text{ ağırlık oranı} = \frac{9}{97} = 0.093$$

$$w_4 = 8, \text{ ağırlık oranı} = \frac{8}{97} = 0.082$$

$$w_5 = 2, \text{ ağırlık oranı} = \frac{2}{97} = 0.021$$

$$w_6 = 7, \text{ ağırlık oranı} = \frac{7}{97} = 0.072$$

$$w_7 = 8, \text{ ağırlık oranı} = \frac{8}{97} = 0.082$$

$$w_8 = 8, \text{ ağırlık oranı} = \frac{8}{97} = 0.082$$

$$w_9 = 3, \text{ ağırlık oranı} = \frac{3}{97} = 0.031$$

$$w_{10} = 5, \text{ ağırlık oranı} = \frac{5}{97} = 0.052$$

$$w_{11} = 3, \text{ ağırlık oranı} = \frac{3}{97} = 0.031$$

$$w_{12} = 2, \text{ ağırlık oranı} = \frac{2}{97} = 0.021$$

$$w_{13} = 8, \text{ ağırlık oranı} = \frac{8}{97} = 0.082$$

$$w_{14} = 7, \text{ ağırlık oranı} = \frac{7}{97} = 0.072$$

$$w_{15} = 9, \text{ ağırlık oranı} = \frac{9}{97} = 0.093$$

İym kriterinin ağırlık oranı=0.103

Kompostlaştırma alternatifinin iym kriteri normalize matris değeri=0.187

Kompostlaştırma alternatifinin iym kriteri ağırlıklandırılmış normalize matris değeri=0.103x0.187=0.019

Diğer bütün kriterler için aynı işlem uygulanmakta ve aşağıdaki ağırlıklandırılmış normalize matris V_{ij} elde edilmektedir.

Matris 6.2.

0.096	0.074	0.014	0.010	0.019	0.010	0.053	0.032	0.015	0.003	0.017	0.003	0.020	0.031	0.052
0.019	0.025	0.016	0.012	0.005	0.011	0.032	0.032	0.015	0.011	0.009	0.012	0.004	0.022	0.052
0.014	0.018	0.022	0.025	0.003	0.013	0.043	0.029	0.008	0.011	0.007	0.009	0.027	0.028	0.037
0.011	0.009	0.037	0.050	0.002	0.034	0.005	0.032	0.014	0.026	0.012	0.003	0.035	0.025	0.026
0.011	0.009	0.037	0.033	0.002	0.034	0.005	0.029	0.008	0.020	0.009	0.006	0.035	0.025	0.016
0.011	0.007	0.055	0.033	0.002	0.034	0.005	0.022	0.005	0.023	0.005	0.003	0.031	0.025	0.005
0.011	0.008	0.037	0.033	0.002	0.034	0.005	0.022	0.006	0.023	0.009	0.009	0.031	0.025	0.010
0.019	0.012	0.022	0.014	0.003	0.017	0.032	0.032	0.011	0.017	0.014	0.006	0.035	0.022	0.026

Adım 5. İdeal ve Negatif İdeal Çözümlerin Oluşturulması

Kriterlerin normalize matris sütunundaki en büyük değer A^* pozitif ideal çözüm setini, en küçük değeri ise A^- negatif ideal çözüm setini vermekte olup Tablo 6.4'te gösterilmiştir.

Tablo 6.4: Pozitif ve negatif ideal çözüm setleri

Kriter	Pozitif İdeal Çözüm Seti	Negatif İdeal Çözüm Seti
Yeterlilik	0.053	0.005
Teknik Güvenilirlik	0.032	0.022
Kapasite	0.015	0.005
Verimlilik	0.026	0.003
Bertaraf Edilebilen Atık Çeşidi	0.017	0.005
Atık Geri Kazanımı	0.012	0.003
Enerji Geri Kazanımı	0.035	0.004
Süreklilik	0.031	0.022
Kullanım Yaygınlığı	0.052	0.005
İlk Yatırım Maliyeti	0.096	0.011
İşletme Maliyeti	0.074	0.007
Çevresel Risk	0.055	0.014
Emisyonlar	0.050	0.010
Kalifiye Eleman Gereksinimi	0.019	0.002
Hava Kirliliği Kontrolü	0.034	0.010

Adım 6. İdeal Uzaklık Hesabı

Adım 4'teki ağırlıklandırılmış normalize matris değerinden adım 5'teki pozitif ideal çözüm seti değeri çıkartılıp karesi alınmakta ve ideal uzaklık hesabı yapılmaktadır.

Düzenli depolama alternatifinin İym maliyeti kriteri ağırlıklandırılmış normalize matris değeri=0.096

İym maliyeti kriteri pozitif ideal çözüm değeri=0.096

$$\text{İdeal uzaklık} = (0.096 - 0.096)^2 = 0$$

Kompostlaştırma alternatifinin iym maliyeti kriteri ağırlıklandırılmış normalize matris değeri=0.019

İym maliyeti kriteri pozitif ideal çözüm değeri=0.096

$$\text{İdeal uzaklık} = (0.019 - 0.096)^2 = 0.006$$

Diğer bütün kriterler için aynı işlem uygulanmış ve ideal uzaklık matrisi aşağıda gösterilmiştir.

Matris 6.3.

0.000	0.000	0.002	0.002	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.006	0.002	0.002	0.001	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000
0.007	0.003	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.007	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001
0.007	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001
0.007	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002
0.007	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002
0.006	0.004	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001

Ayrıca negatif ideal uzaklık hesabı için adım 4'teki ağırlıklandırılmış normalize matris değerinden adım 5'teki negatif ideal çözüm seti değeri çıkartılıp karesi alınmaktadır.

Düzenli depolama alternatifinin iym maliyeti kriteri ağırlıklandırılmış normalize matris değeri=0.096

İym maliyeti kriteri negatif ideal çözüm değeri=0.011

$$\text{İdeal uzaklık} = (0.011 - 0.096)^2 = 0.007$$

Kompostlaştırma alternatifinin iym maliyeti kriteri ağırlıklandırılmış normalize matris değeri=0.019

İym maliyeti kriteri negatif ideal çözüm değeri=0.011

$$\text{İdeal uzaklık} = (0.019 - 0.011)^2 = 0.000$$

Diğer bütün kriterler için aynı işlem uygulanmış ve negatif ideal uzaklık matrisi aşağıda gösterilmiştir.

Matris 6.4.

0.007	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.001
0.000	0.000	0.001	0.002	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000
0.000	0.000	0.001	0.001	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000
0.000	0.000	0.002	0.001	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000
0.000	0.000	0.001	0.001	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000

Adım 7. Ayırım Ölçülerinin Hesaplanması

Adım 6'daki ideal uzaklık değerleri toplamının karekökü Si^* değerini, negatif uzaklıkların toplamının karekökü Si^- değerini vermektedir.

Düzenli depolama alternatifi için ideal uzaklık değerleri aşağıdaki gibidir:

Tablo 1.5: İdeal uzaklık değerleri tablosu

İym	İm	Çr	E	Keg	Hkk	Y	Tg	K	V	Beatç	Agk	Egk	S	Ky
0	0	0.002	0.002	0	0.001	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Düzenli depolama alternatifi için;

$$Si^* = \sqrt{0 + 0 + 0.002 + 0.002 + 0 + 0.001 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0} \\ = 0.06478377$$

Diğer bütün alternatif ve kriterler için aynı formül uygulanmış ve Tablo 6.6 elde edilmiştir.

Tablo 6.6: Si* değerleri tablosu

Alternatif	Si*
Düzenli Depolama	0.06478377
Kompostlaştırma	0.11708463
Biyometanizasyon	0.11412542
Yakma	0.1259676
Gazifikasyon	0.12888886
Plazma	0.13345148
Piroliz	0.13189503
ATY	0.11903458

Düzenli depolama alternatifi için negatif ideal uzaklık değerleri Tablo 6.7'de verilmiştir.

Tablo 6.7: Düzenli depolama için ideal uzaklık değerleri

İlk Yatırım Maliyeti	0.007
İşletme Maliyeti	0.004
Çevresel Risk (Halk Sağlığı ve Emniyeti)	0.000
Emisyonlar	0.000
Kalifiye Eleman Gereksinimi	0.000
Hava Kirliliği Kontrolü	0.000
Yeterlilik	0.002
Teknik Güvenilirlik	0.000
Kapasite	0.000
Verimlilik(ATık Azaltımı)	0.000
Bertaraf Edilebilen Atık Çeşidi	0.000
Atık Geri Kazanımı	0.000
Enerji Geri Kazanımı	0.000
Süreklilik	0.000
Kullanım Yaygınlığı	0.002

Düzenli depolama alternatifi için;

$$S_i^- = \sqrt{0.007 + 0.004 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0.002 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0.002}$$
$$= 0.131$$

Diğer bütün alternatif ve kriterler için aynı formül uygulanmış ve Tablo 6.8 elde edilmiştir.

Tablo 6.8: Si* değerleri tablosu

Alternatif	Si* (-)
Düzenli Depolama	0.131
Kompostlaştırma	0.06102805
Biyometanizasyon	0.060
Yakma	0.06973564
Gazifikasyon	0.05567795
Plazma	0.06306504
Piroliz	0.05348833
ATY	0.05290272

Adım 8. İdeal Çözüme Göreli Yakınlığın Hesaplanması

Her bir alternatifin ideal çözüme göreli yakınlığının (C_i^*) hesaplanabilmesi için adım 7’de hesaplanan ideal ve negatif ideal ayırım ölçüleri kullanılmalı ve

$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^- + S_i^*}$ formülü ile ideal çözüme göreli yakınlık bulunmalıdır.

Düzenli depolama alternatifi için;

$$S_i^- = 0.131$$

$$S_i^* = 0.06478377$$

$$C_1^* = \frac{0.131}{0.131 + 0.06478377} = 0.6694 \quad (6.1)$$

Aynı yöntemle diğer alternatif ve kriterler için de C^* değerleri bulunmuş ve Tablo 6.9’da gösterilmiştir. İdeal çözüme göre yakınlık değeri en büyükten en küçüğe doğru sıralanarak TOPSIS yöntemine göre alternatifler arasında en iyiden en kötüye sıralama yapılmıştır. TOPSIS sonuçlarına göre 0.6694 ideal çözüme göreli yakınlık değeri (C_i^*) ile ilk sırada düzenli depolama yer almaktadır. Uygulama sırasıyla 0.6694 düzenli depolama, 0.3563 yakma, 0.3436 biyometanizasyon, 0.3426 kompostlaştırma, 0.3209 plazma, 0.3077 aty, 0.3017 gazifikasyon, 0.2885 piroliz olarak sonuçlanmıştır.

Tablo 6.2: İdeal çözüme görelilik yakınlık hesabı

Sıralama	C_i*	Alternatif
1	0.6694	Düzenli Depolama
2	0.3563	Yakma
3	0.3436	Biyometanizasyon
4	0.3426	Kompostlaştırma
5	0.3209	Plazma
6	0.3077	ATY
7	0.3017	Gazifikasyon
8	0.2885 TL	Piroliz

6.4.2 PROMETHEE Yöntemine Göre Çözüm

İkinci olarak problem, PROMETHEE yöntemi kullanılarak çözülecektir.

Adım 1. Alternatif katı atık bertaraf yöntemlerinin kriterlere göre değerlendirilmesi için geçmişteki çalışmalar incelenerek uzmanlar tarafından 1 ile 10 puan arasında Tablo 6.3'teki gibi bir değerlendirme yapılmıştır.

Tablo 6.3: PROMETHEE değerlendirme tablosu

Alternatifler	iyim	im	Çr	E	Ke	Hkk	Y	Tg	K	V	Beatç	Agk	Egk	S	Ky
Düzenli Depolama	1	1	8	10	1	10	10	9	9	1	9	1	5	9	10
Kompostlaştırma	5	3	7	8	4	9	7	8	9	5	5	5	1	6	10
Biyometanizasyon	7	4	5	4	7	8	8	7	6	5	4	4	7	8	8
Yakma	9	8	3	2	8	3	1	8	9	9	7	1	9	7	5
Gazifikasyon	9	8	3	3	8	3	1	7	6	7	6	2	9	7	4
Plazma	9	10	2	3	8	3	1	6	3	8	3	1	8	7	1
Piroliz	9	9	3	3	8	3	1	5	4	8	6	4	8	8	2
ATY	5	6	5	7	6	6	7	8	7	6	8	2	9	6	5

Adım 2. Tercih fonksiyonları aşağıdaki gibi belirlenmiştir.

- Yeterlilik kriteri için 1. tip tercih fonksiyonu;

$$P(d)=\begin{pmatrix} 0 & d \leq 0 \\ 1 & d \geq 0 \end{pmatrix} \quad (6.2)$$

- Teknik güvenilirlik kriteri için 1. tip tercih fonksiyonu;

$$P(d)=\begin{pmatrix} 0 & d \leq 0 \\ 1 & d \geq 0 \end{pmatrix} \quad (6.3)$$

- Emisyon için kriteri 1. tip tercih fonksiyonu;

$$P(d)=\begin{pmatrix} 0 & d \leq 0 \\ 1 & d \geq 0 \end{pmatrix} \quad (6.4)$$

- Kapasite kriteri için 1. tip tercih fonksiyonu;

$$P(d)=\begin{pmatrix} 0 & d \leq 0 \\ 1 & d \geq 0 \end{pmatrix} \quad (6.5)$$

- Kullanım yaygınlığı kriteri için 1. tip tercih fonksiyonu;

$$P(d)=\begin{pmatrix} 0 & d \leq 0 \\ 1 & d \geq 0 \end{pmatrix} \quad (6.6)$$

- Süreklilik kriteri için 2. tip tercih fonksiyonu;

$$P(d)=\begin{pmatrix} 0 & d \leq 2 \\ 1 & d \geq 2 \end{pmatrix} \quad (6.7)$$

- Kalifiye eleman gereksinimi kriteri için 3. tip tercih fonksiyonu

$$P(d)=\begin{pmatrix} 0 & d \leq 0 \\ d/1 & 0 \leq d \leq 1 \\ 1 & d > 1 \end{pmatrix} \quad (6.8)$$

- Verimlilik kriteri için 3. tip tercih fonksiyonu

$$P(d)=\begin{pmatrix} 0 & d \leq 0 \\ d/1 & 1 \leq d \leq 1 \\ 1 & d > 1 \end{pmatrix} \quad (6.9)$$

- Bertaraf edilebilen atık çeşidi kriteri için 3. tip tercih fonksiyonu;

$$P(d)=\begin{pmatrix} 0 & d \leq 0 \\ d/2 & 1 \leq d \leq 2 \\ 1 & d > 2 \end{pmatrix} \quad (6.10)$$

- Atık geri kazanımı kriteri için 3. tip tercih fonksiyonu;

$$P(d)=\begin{pmatrix} 0 & d \leq 0 \\ d/1 & 1 \leq d \leq 1 \\ 1 & d > 1 \end{pmatrix} \quad (6.11)$$

- Hava kirliliği kontrolü için 4. tip tercih fonksiyonu

$$P(d)=\begin{pmatrix} 0 & d \leq 1 \\ 1/2 & 1 \leq d \leq 3 \\ 1 & d > 3 \end{pmatrix} \quad (6.12)$$

- Enerji geri kazanımı kriteri için 4. tip tercih fonksiyonu;

$$P(d)=\begin{pmatrix} 0 & d \leq 1 \\ 1/2 & 1 \leq d \leq 3 \\ 1 & d > 3 \end{pmatrix} \quad (6.13)$$

- İlk yatırım maliyeti kriteri için 5. tip tercih fonksiyonu;

$$P(d)=\begin{cases} 0 & d \leq 1 \\ (d-1)/2 & 1 \leq d \leq 3 \\ 1 & d > 3 \end{cases} \quad (6.14)$$

- İşletme maliyeti kriteri için 5. tip tercih fonksiyonu;

$$P(d)=\begin{cases} 0 & d \leq 1 \\ (d-1)/3 & 1 \leq d \leq 4 \\ 1 & d > 4 \end{cases} \quad (6.15)$$

- Çevresel risk kriteri için 5. tip tercih fonksiyonu

$$P(d)=\begin{cases} 0 & d \leq 1 \\ (d-1)/1 & 1 \leq d \leq 2 \\ 1 & d > 2 \end{cases} \quad (6.16)$$

Yukarıdaki fonksiyonlar tercih edilmiş ve bu fonksiyonlar doğrultusunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir. ,

Adım 3. Bir önceki adımda gösterilen tercih fonksiyonlarına göre ortak tercih fonksiyonları oluşturulmuş ve denklem 4.8'e göre fonksiyonun çözümü olan değerler bulunmuştur. Her bir kriterler için alternatiflerin ikili karşılaştırmaları yapılarak ortak tercih fonksiyonu belirlenerek tablolara aktarılmıştır.

Yeterlilik kriteri için ilk adımdaki karar matrisinde düzenli depolama alternatifini kompostlaştırma alternatifinden daha iyidir dolayısıyla bu adımda değeri 1'dir.

$$f(\text{Düzenli Depolama})-f(\text{Kompostlaştırma})=3$$

$$P(\text{Düzenli Depolama}, \text{Kompostlaştırma})=1$$

Diğer bütün kriter ve alternatifler için aynı işlem uygulanmıştır.

Adım 4. Kriterlere göre hesaplanan ortak tercih fonksiyonları tablolarındaki değerlere bakarak her alternatif çifti için tercih indeksleri belirlenmektedir. $\pi(a, b) = \sum_{j=1}^k P_j(a, b)w_j$ formülüne göre ortak tercih fonksiyonu değerleri hesaplanmaktadır. Bütün alternatif çiftleri için aynı işlem yapılmıştır.

Adım 5. Alternatif bertaraf yöntemleri için pozitif ve negatif üstünlükler aşağıdaki formüller yardımıyla hesaplanmıştır.

$$\Phi^+(a) = \frac{1}{n-1} \sum_{x \in A} \pi(a, x,)$$

$$\Phi^-(a) = \frac{1}{n-1} \sum_{x \in A} \pi(x, a)$$

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

(A,B) ve (B,A) karşılaştırmalarına göre ortak tercih fonksiyonu Tablo 6.11 ve Tablo 6.12’de gösterilmiştir.

Tablo 6.11: (A,B) Ortak tercih fonksiyonu tablosu

(A,B)	D	K	B	Y	G	P	Pi	ATY
Düzenli Depolama	x	0.502	0.498	0.495	0.526	0.526	0.526	0.582
Kompostlaştırma	0.134	x	0.294	0.381	0.495	0.526	0.495	0.199
Biyometanizasyon	0.304	0.340	x	0.330	0.330	0.459	0.443	0.285
Yakma	0.381	0.412	0.485	x	0.356	0.399	0.356	0.232
Gazifikasyon	0.381	0.397	0.371	0.000	x	0.265	0.206	0.201
Plazma	0.340	0.381	0.299	0.000	0.052	x	0.082	0.263
Piroliz	0.340	0.397	0.330	0.000	0.052	0.155	x	0.201
ATY	0.381	0.582	0.345	0.249	0.471	0.526	0.498	x

Pozitif üstünlük değeri $\Phi^+(a) = \frac{1}{n-1} \sum_{x \in A} \pi(a, x,)$ formülünden hesaplanmıştır. Düzenli depolama alternatifi için pozitif üstünlük değeri (A,B) karşılaştırmasına göre yapılmıştır. Düzenli depolama alternatifinin pozitif üstünlük değeri; yukarıdaki (A,B) tablosu düzenli depolama satırında yer alan 0.502, 0.498, 0.495, 0.526,0.526,0.526, 0.582 değerleri toplamı, tablodaki bütün değerlerin toplamı olan 19,057’ye bölünerek bulunmuştur. Diğer alternatifler için pozitif üstünlük değerleri aynı yöntemle hesaplanmıştır.

Tablo 6.12: (B,A) Ortak tercih fonksiyonu tablosu

(B, A)	D	K	B	Y	G	P	P	ATY
Düzenli Depolama	x	0.134	0.304	0.381	0.381	0.340	0.340	0.381
Kompostlaştırma	0.502	x	0.340	0.412	0.397	0.381	0.397	0.582
Biyometanizasyon	0.498	0.294	x	0.485	0.371	0.299	0.330	0.345
Yakma	0.495	0.381	0.330	x	0.000	0.000	0.000	0.249
Gazifikasyon	0.526	0.495	0.330	0.356	x	0.052	0.134	0.471
Plazma	0.526	0.526	0.459	0.399	0.265	x	0.155	0.526
Piroliz	0.526	0.495	0.443	0.356	0.206	0.340	x	0.498
ATY	0.582	0.452	0.285	0.232	0.201	0.263	0.201	x

Negatif üstünlük değeri $\Phi^-(a) = \frac{1}{n-1} \sum_{x \in A} \pi(x, a)$ formülünden hesaplanmıştır. Düzenli depolama alternatifi için negatif üstünlük değeri (B,A) karşılaştırmasına göre yapılmıştır. Düzenli depolama alternatifinin negatif üstünlük değeri; yukarıdaki (B,A) tablosu düzenli depolama satırında yer alan 0.134, 0.304, 0.381, 0.381, 0.340, 0.340, 0.381 değerleri toplamı, tablodaki bütün değerlerin toplamı olan 19,649'ye bölünerek bulunmuştur. Diğer alternatifler için negatif üstünlük değerleri aynı şekilde hesaplanmıştır.

Pozitif üstünlük değeri ile negatif üstünlük değeri farkı, net öncelik değerini vermektedir. Düzenli depolama alternatifi için Net öncelik değeri, pozitif değer 0.192'den negatif üstünlük değeri olan 0.115 çıkartılarak 0.077 olan net öncelik değeri bulunmuştur. Diğer bütün alternatifler için aynı işlem yapılarak net öncelik değeri hesaplanmıştır. Net öncelik değeri en büyükten en küçüğe doğru sıralanarak PROMETHEE yöntemine göre alternatifler arasında en iyiden en kötüye sıralama yapılmış ve Tablo 6.13'te gösterilmiştir.

Tablo 6.13: PROMETHEE yöntemi sonucunda elde edilen sıralama

Alternatifler	Pozitif Üstünlük Φ^+	Negatif Üstünlük Φ^-	Net Öncelik Φ
Düzenli Depolama	0.192	0.115	0.077
Kompostlaştırma	0.132	0.153	-0.021
Biyometanizasyon	0.131	0.133	-0.003
Yakma	0.137	0.074	0.063
Gazifikasyon	0.096	0.120	-0.025
Plazma	0.074	0.145	-0.071
Piroliz	0.077	0.146	-0.068
ATY	0.160	0.113	0.047

6.4.3 EN İYİ-EN KÖTÜ (BEST WORST) YÖNTEM İle Çözüm

Adım 1. Kriter setini belirleme

PROMETHEE ve TOPSIS yöntemlerinde kullanılan on beş kriter bu yöntemde de kullanılmıştır.

Adım 2. En iyi ve en kötü kriteri belirleme

Yapılan görüşmeler sonucunda uzmanlar, en iyi kriteri ilk yatırım maliyeti (C1) ve en kötü kriteri kalifiye eleman gereksinimi (C5) olarak belirlenmiştir.

Adım 3. En iyi kriterin diğer kriterlere göre önceliğini belirleme

En iyi kriter olan ilk yatırım maliyetinin; diğer kriterler ile ikili karşılaştırmaları uzmanlarla birlikte yapılmış ve a_{Bj} değerleri Tablo 6.14'te gösterilmiştir.

Tablo 6.14: En iyi kritere göre değerlendirme tablosu

En İyi Kriter C1	Kriterler	İlk yatırım maliyeti
İym	C1	1
İm	C2	3
Çr	C3	2
E	C4	3
Keg	C5	9
Hkk	C6	4
Y	C7	3
Tg	C8	3
K	C9	8
V	C10	6
Beatç	C11	8
Agk	C12	9
Egk	C13	3
S	C14	4
Ky	C15	2

Adım 4. En kötü kriterin diğer kriterlere göre önceliğini belirleme

En kötü kriter olan kalifiye eleman gereksiniminin diğer kriterler ile ikili karşılaştırmaları yapılmış ve a_{jw} değerleri Tablo 6.15'te gösterilmiştir.

Tablo 6.15: En kötü kritere göre değerlendirme tablosu

En Kötü Kriter C5	Kriterler	Kalifiye Eleman Gereksinimi
İym	C1	9
İm	C2	7
Çr	C3	8
E	C4	7
Keg	C5	1
Hkk	C6	6
Y	C7	7
Tg	C8	7
K	C9	3
V	C10	4
Beatç	C11	3
Agk	C12	2
Egk	C13	7
S	C14	6
Ky	C15	8

Adım 5. Son ağırlıkların ve çözümün elde edilmesi

Metodun son adımında, son ağırlıkları elde etmek için bir model sunulmaktadır.

$\left| \frac{w_B}{w_j} - a_{Bj} \right| \leq \xi, \left| \frac{w_j}{w_w} - a_{jw} \right| \leq \xi, \sum_j w_j = 1, w_j \geq 0$ formülleri yardımıyla optimal ağırlıklar aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

Optimum ağırlıkları belirlemek için $|w_B - a_{Bj}w_B|$ ve $|w_j - a_{jw}w_w|$ arasındaki maksimum mutlak farkın olduğu bir çözüm bulunmuştur.

Beşinci adımda verilen formüllerden sonra negatif olamama ve ağırlıkların toplamı koşulları dikkate alındığında denklem 5.21 oluşmaktadır.

Denklem 5.21 lineer modele aşağıdaki gibi çevrilmiştir. Çözülürken ağırlıklar ve ξ bulunmaktadır. ξ sifira yaklaştıkça tutarlılık artmaktadır.

$$\min \xi \quad (6.17)$$

$$|W_B - W_j a_{Bj}| \leq \xi W_j$$

$$|W_j - W_W a_{jW}| \leq \xi W_W$$

$$\sum_j W_j = 1$$

$$W_j \geq 0, \quad \forall j$$

Denklem 6.17'de kullanılan değişkenler aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır.

$$j = 1, 2, \dots, 15 \text{ için}$$

$$a_{Bj} = 3. \text{ adımdaki en iyi kriterin diğer kriterlere göre önceliği}$$

$$a_{jW} = 4. \text{ adımdaki en kötü kriterin diğer kriterlere göre önceliği}$$

$$W_B = W_1 \text{ en iyi kriter ilk yatırım maliyetinin ağırlığı}$$

$$W_W = W_5 \text{ en kötü kriter kalifiye eleman gereksinimi ağırlığı}$$

$$W_j = j. \text{ kriterin ağırlığı}$$

$$\sum_j W_j = 1, \quad W_j \geq 0$$

Karar değişkenleri Denklem 6.17'ye göre yazıldığında modelin son hali aşağıdaki gibidir.

$$\min \xi$$

$$|W_1 - W_j a_{1j}| \leq \xi W_j$$

$$|W_j - W_5 a_{j5}| \leq \xi W_5$$

$$j=1, 2, \dots, 3$$

$$\sum_j W_j = 1$$

$$W_j \geq 0, \quad \forall j$$

Değişen hücreler ağırlık değerleri, hedef hücre tutarlılık değeri (ξ) olacak şekilde yukarıdaki model Excel Solver ile çözdürülmüş ve tutarlılığı (ξ) minimum yapan ağırlıklar aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$W_1= 0.12815$$

$$W_2= 0.09120$$

$$W_3= 0.10539$$

$$W_4= 0.09120$$

$$W_5= 0.01210$$

$$W_6= 0.05328$$

$$W_7= 0.09120$$

$$W_8= 0.09120$$

$$W_9= 0.02001$$

$$W_{10}= 0.02909$$

$$W_{11}= 0.02001$$

$$W_{12}= 0.01731$$

$$W_{13}= 0.09120$$

$$W_{14}= 0.05328$$

$$W_{15}= 0.10539$$

$$\xi= 1.59487$$

Uzman görüşü eşliğinde değerlendirilen karar matrisi Tablo 6.16'da gösterilmiştir.

Tablo 6.16: Karar matrisi tablosu

Alternatifler	İym	İm	Çr	E	Ke	Hkk	Y	Tg	K	V	Beatç	Agk	Egk	S	Ky
Düzenli Depolama	1	1	8	10	1	10	10	8	9	1	9	1	5	9	10
Kompostlaştırma	5	3	7	8	4	9	7	8	9	5	5	5	1	6	10
Biyometanizasyon	7	4	5	4	7	8	8	7	6	5	4	4	7	8	8
Yakma	9	8	3	2	8	3	1	8	9	9	7	1	9	7	5
Gazifikasyon	9	8	3	3	8	3	1	7	6	7	6	2	9	7	4
Plazma	9	10	2	3	8	3	1	6	3	8	3	1	8	7	1
Piroliz	9	9	3	3	8	3	1	5	4	8	6	4	8	8	2
ATY	5	6	5	7	6	6	7	8	7	6	8	2	9	6	5

Karar matrisindeki değerler, Adım 5'te hesaplanmış olan ağırlık değerleriyle çarpılmış ve Tablo 6.17'deki matris hazırlanmıştır:

Tablo 6.17: Ağırlıklı karar matrisi tablosu

	İym	İm	Çr	E	Ke	Hkk	Y	Tg	K	V	Beatç	Ağk	Egk	S	Ky
D	0.128	0.091	0.843	0.912	0.012	0.533	0.912	0.730	0.180	0.029	0.180	0.017	0.456	0.480	1.054
K	0.641	0.274	0.738	0.730	0.048	0.480	0.638	0.730	0.180	0.145	0.100	0.087	0.091	0.320	1.054
B	0.897	0.365	0.527	0.365	0.085	0.426	0.730	0.638	0.120	0.145	0.080	0.069	0.638	0.426	0.843
Y	1.153	0.730	0.316	0.182	0.097	0.160	0.091	0.730	0.180	0.262	0.140	0.017	0.821	0.373	0.527
G	1.153	0.730	0.316	0.274	0.097	0.160	0.091	0.638	0.120	0.204	0.120	0.035	0.821	0.373	0.422
P	1.153	0.912	0.211	0.274	0.097	0.160	0.091	0.547	0.060	0.233	0.060	0.017	0.730	0.373	0.105
P i	1.153	0.821	0.316	0.274	0.097	0.160	0.091	0.456	0.080	0.233	0.120	0.069	0.730	0.426	0.211
A T Y	0.641	0.547	0.527	0.638	0.073	0.320	0.638	0.730	0.140	0.175	0.160	0.035	0.821	0.320	0.527

Alternatiflerin kriter değerlerinin hepsi toplanmış sonuç değerleri bulunmuştur. Düzenli depolama alternatifi için kriterlerin ağırlık oranıyla çarpılmış değer sonucu Tablo 6.18'deki gibidir:

Tablo 4: Düzenli depolama ağırlık oranı çarpılmış değer sonucu

Kriter	Değer
İym	0.1281
İm	0.0912
Çr	0.8431
E	0.9120
Ke	0.0121
Hkk	0.5328
Y	0.9120
Tg	0.7296
K	0.1801
V	0.0291
Beatç	0.1801
Agk	0.0173
Egk	0.4560
S	0.4795
Ky	1.0539

Sonuç değeri

$$\begin{aligned} &=0.128+0.091+0.843+0.912+0.012+0.912+0.730+0.180+0.029+0.180+0.017 \\ &+0.456+0.480+1.054 \\ &=6.5570 \end{aligned}$$

Diğer bütün alternatifler için de bu işlem yapılmış ve Tablo 6.19'daki sonuçlar elde edilmiştir:

Tablo 5.19: En iyi-En kötü metoduna göre elde edilen sonuç

Alternatifler	Toplam
Düzenli Depolama	6.5570
Kompostlaştırma	6.2545
Biyometanizasyon	6.3550
Yakma	5.7789
Gazifikasyon	5.5526
Plazma	5.0228
Piroliz	5.2364
ATY	6.2903

Toplam değerler en büyükten en küçüğe doğru sıralanarak EN İYİ-EN KÖTÜ YÖNTEM çözümüne göre alternatifler arasında en iyiden en kötüye sıralama yapılmıştır.

6.4.1 Sonuçlar

Katı atık bertarafına ilişkin değerlendirilen sekiz alternatif üç farklı çok kriterli karar verme tekniği ile çözülmüştür. Sıralama sonucu, yöntemlerin çoğunda benzerlik göstermektedir. Bütün yöntemlerin sonuçları Tablo 6.20’de gösterilmiştir.

Tablo 6.20: Sonuç tablosu

Alternatif	PROMETHEE	TOPSIS	BWM
Düzenli Depolama	1	1	1
Kompostlaştırma	5	2	4
ATY	3	5	3
Yakma	2	3	5
Gazifikasyon	6	6	6
Biyometanizasyon	4	4	2
Plazma	8	7	8
Piroliz	7	8	7

Sonuçlara bakıldığında, üç yöntemde de düzenli depolama seçeneğinin ilk sırada yer aldığı görülmektedir. Aynı şekilde üç yöntemde de altıncı sırada, gazifikasyon yer almıştır. Biyometanizasyon PROMETHEE ve TOPSIS’te dördüncü, EN İYİ-EN KÖTÜ YÖNTEM çözümü ise ikinci sıradadır. Plazma alternatifi, PROMETHEE ve EN İYİ-EN KÖTÜ YÖNTEM çözümünde sekizinci, TOPSIS’te 7. sıradadır. Piroliz yöntemi ise PROMETHEE ve EN İYİ-EN KÖTÜ YÖNTEM çözümünde yedinci, TOPSIS’te sekizincidir. Kompostlaştırma kriteri PROMETHEE’de beşinci, TOPSIS’te ikinci ve EN İYİ-EN KÖTÜ YÖNTEM çözümünde dördüncüdür. Aty kriteri PROMETHEE ve EN İYİ-EN KÖTÜ YÖNTEM çözümünde üçüncü TOPSIS’te beşincidir. Yakma kriteri PROMETHEE’de ikinci, TOPSIS’te üçüncü, EN İYİ-EN KÖTÜ YÖNTEM çözümünde beşincidir.

Özetlemek gerekirse, üç yöntemde birbirine yakın sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Literatürdeki diğer çalışmalara baktığımızda Ankara ili için katı atık bertaraf teknolojisi seçimi probleminde EN İYİ-EN KÖTÜ YÖNTEM ilk defa uygulanmıştır. Problemin çözümü için üç farklı yöntem kullanılmış ve yöntemlerin sonuçlarının benzer çıkması çalışmadaki uygulamanın tutarlı olduğunu bize göstermiştir.

7. SONUÇ

Yapılan çalışmada, öncelikle katı atık sistemleri anlatılmış ve katı atık bertaraf etme yöntemleri açıklanmıştır. Çok kriterli bir karar verme problemi olan katı atık bertaraf etme yöntemi seçim probleminin kriterleri ve alternatifleri, uzmanlarla yapılan görüşmeler ve literatür çalışması sonucu elde edilen sonuçlar doğrultusunda belirlenmiştir. İlk olarak TOPSIS yöntemi kullanılarak katı atık bertaraf yöntemi seçimi problemi çözülmüştür. Daha sonra sırasıyla, PROMETHEE ve EN İYİ-EN KÖTÜ YÖNTEM kullanılarak problem çözülmüş ve sonuçlar sıralanmıştır.

Çalışmadan da anlaşılacağı gibi katı atık bertaraf yöntemleri çok çeşitlidir ve en uygununu seçebilmek önemlidir. Artan teknoloji ile birlikte katı atık bertaraf yöntemleri gelişebilir ve çeşit çoğaldıkça karar vermek zorlaşabilir. Çalışma, farklı karar verme teknikleri kullanılarak ve farklı katı atık bertaraf yöntemleri alternatif olarak seçilerek geliştirilebilir. Problemin yapısındaki belirsizlikleri de dahil edebilmek adına ileriki çalışmalarda bulanık mantıktan yararlanmak faydalı olacaktır.

Katı atık bertaraf yöntemi seçiminde yapılacak diğer çalışmalarda katı atık bertaraf yöntemleri olan alternatiflerin çeşidi ve belirlenen çeşit dahilinde katı atık bertaraf yönteminin değerlendirileceği ilave kriter sayısı artırılabilir. Atık yöntemi seçiminde yöntemi ilgilendiren iş sağlığı ve güvenliği konuları değerlendirilip çevresel risk ve teknik güvenilirlik kriterleri bu kapsamda kullanılabilir. Fakat bu iki kriter iş sağlığı güvenliğinin iş gücü kısmını kapsamamaktadır. Gelecek çalışmalarda iş sağlığı ve güvenliği ve meslek hastalığı ile ilgili kriterler geliştirilebilir.

Gelecekte yapılacak çalışmada, çalışılan çok kriterli karar verme yöntemlerinin değiştirilmesi, farklı ülkelerin, illerin atık yönetiminin seçimi probleminin değerlendirilmesi uygulanabilir. Diğer çok kriterli karar verme teknikleri ile problem çözümler mevcut sonuçlar ile karşılaştırma yapılabilir.

Uygun bertaraf yöntemini seçmek çok zaman kaybetmemek, ekonomik etkenler ve çevreye verilen zarar azaltılması açısından insanoğluna fayda sağlayacaktır.

8. KAYNAKLAR

Arıkan, E., “Çok kriterli karar verme teknikleri ile katı atık bertaraf etme teknolojisi seçimi ve bir uygulama”, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Konya, 91, (2013).

Arima, A., *Progress in particle and nuclear physics*, 4, New York: Pergamon, 45-52, (1978).

Ateş, F., “Grup ve monoid yapılarına geometrik yaklaşımlar”, Doktora Tezi, *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Matematik Ana Bilim Dalı, Balıkesir, (2007).

Aydın, N., “Katı atık yönetiminde optimal planlama için bulanık doğrusal programlama yaklaşımı”, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, İstanbul, (2007).

Balaban, Y. ve Baki, B. “Analitik ağ süreci yaklaşımıyla en uygun katı atık bertaraf sisteminin belirlenmesi: Trabzon ili örneği”, *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 24 (3), 183-192, (2010).

Balahorli, V., Kemirtlek, A., Fidan, N., Dedeoğlu, Y., Aydoğan, Y., Odaman Cindoruk, Y., *Bursa entegre katı atık yönetim planı*”, Bursa Büyükşehir Belediyesi, 132, (2015).

Ballı S., Karasulu B., Korukoğlu S., “En uygun otomobil seçimi problemi için bir bulanık PROMETHEE yöntemi uygulaması”, *Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 22 (1), 139-147, (2007).

Banar, M., Özkan, A. ve Kulaç, “Choosing a recycling system using anp and electre III techniques”, *Turkish J. Eng. Env. Sci.*, 34, 145-154, (2010).

Beltran, P.A., Fernando, J.P.P., Garcia, F., Agullo A.P., “An analytic network process approach for siting a municipal solid waste plant in the metropolitan area of Valencia (Spain)”, *Journal of Environmental Management*, 91, 1071–1086, (2010).

Brans, J., Figueira J., Mareschal, B., *Multiple criteria decision analysis: state of the art survey*, New York: Springer Science, 164-189, (2005).

Brans, J., Vincke, P., “A preference ranking organization method: the PROMETHEE method for mcdm”, *Management Science*, 31 (6), 647-656, (1985).

Campbel, C. M., Robertson, E. F. and Williams, P. D., On the efficiency of some direct powers groups, Canberra,, Springer-Verlag, 106-113, (1990).

Chang, N., Parvathinathan, G., Breeden, B., “Combining gis with fuzzy multicriteria decision-making for landfill siting in a fast-growing urban region”, *Journal of Environmental Management* , 87, 139–153, (2008).

Chenayah, S., Takeda, E., “PROMETHEE multicriteria analysis for evaluation of recycling strategies in Malaysia”, Osakan, Japan, In: Graduate School of Economics and Osaka School of International Public Policy (OSIPP), (2005).

Cheng, S., Chan, C.W., Huang, G.H., “An integrated multi-criteria decision analysis and inexact mixed integer linear programming approach for solid waste management”, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 16, 543–554, (2003).

Cho, J. and Pride, S. J., “Embedding semigroups into groups, and asphericity of semigroups”, *Int. J. Algebra and Com.*, 3, 1-13, (1993).

Chsiwell, I.M., Collins, D.J. and Huebschmann, J., “Aspherical group presentations”, *Mathematische Zeitschrift*, 178 (1), 1-36, (1981).

Clayton, K. C. ve Huie, J. M., *Solid wastes management:a regional approach*, Cambridge: Ballinger Publisher Company, (1973).

Contreras, F., Hanaki, K., Aramaki, T., Connors, S., “Application of analytical hierarchy process to analyze stakeholders preferences for municipal solid waste management plans”, *Resources, Conservation and Recycling.*, 52(7), 979–991, (2008).

Çakın, E., “Tedarikçi seçim kararında analitik ağ süreci (anp) ve electre yöntemlerinin kullanılması ve bir uygulama”, *Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Ana Bilim Dalı*, (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi), İzmir, (2013).

Çoban, A., Fırtına Ertis, İ., Ayvaz Çavdaroğlu, N., “Municipal solid waste management via multi-criteria decision making methods: A case study in Istanbul, Turkey”, *Journal of Cleaner Production*, 180, 159-167, (2018).

Dağdeviren, M., Eraslan, E., “PROMETHEE sıralama yöntemi ile tedarikçi seçimi”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 23 (1), 69-75, (2008).

Dumanoğlu, S., Ergül, N., “İMKB’de işlem gören teknoloji şirketlerinin mali performans ölçümü”, *Muhasebe Ve Finansman Dergisi*, 48, 101- 110, (2010).

Dursun, M., Karsak, E.E., Karadayı, M.A., “Fuzzy multi-criteria group decision making framework for evaluating health-care waste disposal alternatives”, *Expert Systems with Applications*, 38, 11453-11462, (2011).

Dpt, “Sekizinci beş yıllık kalkınma planı içme suyu, kanalizasyon, arıtma sistemleri ve katı atık denetimi özel ihtisas komisyon raporu”, Ankara, (2001).

Ekmekçioğlu, M., Kaya, T., Kahraman, C., “Fuzzy multicriteria disposal method and site selection for municipal solid waste”, *Waste Management*, 30, 1729-1736, (2010).

Erkut, E., Karagiannidis, A., Perkoulidis, G., Tjandra, S.A., ”A multicriteria facility location model for municipal solid waste management in North Greece”, *European Journal of Operational Research*, 187, 1402–1421, (2008).

Eskandari, M., Homaei, M., Mahmodi, S., “An integrated multi criteria approach for landfill siting in a conflicting environmental, economical and socio-cultural area”, *Waste Management*, 32, 1528-1538, (2012).

Figueira, J., Mousseau, V., Roy, B., “Electre methods [online]”, (18 Şubat 2018) , http://11.lamsade.dauphine.fr/dea103/ens/bouyssou/Outranking_Mousseau.pdf, (2014).

Filiz, H., “Analitik hiyerarşi prosesi yöntemiyle tanksavar silah sistemi seçimi”, Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi, *Hava Harp Okulu Havacılık ve Uzay Teknolojileri Enstitüsü*, İstanbul,s. 4-5, (2004).

Garfi, M., Tondelli, S., Bonoli, A., “Multi-criteria decision analysis for waste management in Saharawi refugee camps”, *Waste Management*, 29, 2729-2739, (2009).

Genç, T., “PROMETHEE yöntemi ve gaia düzlemi”, *Afyon Kocatepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 15 (1), 121-142, (2013).

Gottinger, H.W., “A computational model for solid waste management with application”, *European Journal of Operational Research*, 35(3), 350–364, (1988).

Gouldan, I. P., Jackson, D.M., *Combinatorial enumeration*, Singapore : John Willey and Sons, 41-55, (1983).

Goumos M., Lygerou V., “An extension of the PROMETHEE method for decision making in fuzzy environment: Ranking of alternative energy exploitation projects”, *European Journal of Operational Research*, 123, 606-613, (2000).

Gören, S., *Sanitary Landfill*, İstanbul: Forart Matbaası, (2005).

Gregory, G., *Decision Analysis*, New York: Plenum Pres, 58-78, (1998).

Güler, D., Yomralıoğlu, T., “Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Analitik Hiyerarşı Yöntemi ile Düzenli Deponi Yer Seçimi: İstanbul İli Örneği”, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Geomatik Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, (2016).

Hanan, D., Burnley, S., Cooke D., “A multi-criteria decision analysis assessment of waste paper management options”, *Waste Management*, 1-8, (2012).

Hanandeh, A.E., El-Zein, A., “The development and application of multi-criteria decision-making tool with consideration of uncertainty: the selection of a management strategy for the bio-degradable fraction in the municipal solid waste”, *Bioresource Technology*, 101, 555–561, (2010).

Herva, M., Roca, E., “Ranking municipal solid waste treatment alternatives based on ecological footprint and multi-criteria analysis”, *Ecol. Ind.*, 25, 77–84, (2013).

Hokkanen, J., Salminen, P., “Choosing a solid waste management system using multicriteria decision analysis”, *European Journal of Operational Research*, 98, 19–36, (1997).

Horadam, K. J., “The cohomology ring of a combinatorial aspherical group”, *J.Austral. Math. Soc.*, 47, 453-457, (1990).

Huang, I.B. Keisler, J. Linkov, I., “Multi-criteria decision analysis in environmental sciences: Ten years of applications and trends”, *Science of the Total Environment*, 409, 3578-3594, (2011).

Hung, M., Ma, H., Yang, W., “A novel sustainable decision making model for municipal solid waste management”, *Waste Management*, 27, 209-219, (2007).

Hwang, C.L., K., Yoon, *Multiple attribute decision making: methods and applications*, New York, Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, (1981).

İdikut A., “Avrupa Birliği’nde atık yönetimi, stratejiler, uygulama alanları ve Türkiye ile entegrasyonu”, *İller Bankası Dergisi*, 5, 5-19, (1999).

Jovanovic S., Savic S., Jovicic N., Boskovic G., Djordjevic Z., “Using multicriteria decision making for selection of the optimal strategy for municipal solid waste management”, *The Journal Of The International Solid Wastes And Public Cleansing Association*, 34 (9), 95, (2016).

Kapepula, K., Colson, G., Sabri, K., Thonart, P., “A multiple criteria analysis for household solid waste management in the urban community of Dakar”, *Waste Management*, 27, 1690–1705, (2007).

Karagiannidis, A., Moissiopolous, N., “Application of electre III for the integrated management of municipal waste in the Greater Athens Area”, *European Journal of Operational Research*, 97, 439- 449, (1997).

Karagiannidis, A. ve Perkoulidis, G., “A multi-criteria ranking of different technologies for the anaerobic digestion for energy recovery of the organic fraction of municipal solid wastes”, *Bioresource Technology*, 100, 2355–2360, (2009).

Karaman H., “Otellerin kurumsal çevre politikalarının ve mutfaklarında çevreye duyarlı uygulamalarının mutfak personeli aracılığıyla belirlenmesi (Konya örneği)”, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Çocuk Gelişimi ve Ev Yönetimi Eğitimi Ana Bilim Dalı*, Konya, (2005).

Karmperis, A.C., Sotirchos, A., Aravossis, K., Tatsiopoulou, I.P., “Waste management project’s alternatives: a risk-based multi-criteria assessment (rbmca) approach”, *Waste Management*, 32, 194–212, (2012).

Khalili, N., Duecker, S., “Application of multi-criteria decision analysis in design of sustainable environmental management system framework”, *Journal of Cleaner Production*, 47, 188-198, (2013).

Khan, S., Faisal, M. N., “An analytic network process model for municipal solid waste disposal options”, *Waste Management*, 28, 1500-1508, (2008).

Kılıç, S. B., “Avrupa birliğine üye ve aday ülkelerin bazı temel makro ekonomik kriterlere göre sınıflandırılması: çok kriterli karar alma analizine dayalı bir modelin tahmini”, *Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 14 (2), 339-352, (2005).

Koroneos, C.J. ve Nanaki, E.A., “Integrated solid waste management and energy production, a life cycle assessment approach: the case study of the city of Thessaloniki”, *Journal of Cleaner Production*, 27, 141-150 , (2012).

Korucu, M.K., Erdağı, B., “A criticism of applications with multi-criteria decision analysis that are used for the site selection for the disposal of municipal solid wastes”, *Waste Management*, 1-9, (2012).

Louis, G., Magpili, L., Pinto, A., “Multi-criteria decision making and composting of waste in the municipality of Bacoor in the Philippines”, *Int. J. Environ. Technol. Management*, 7, 351–368, (2007).

MacDonald, M.L., “Solid waste management models: a state of the art review”, *Journal of Solid Waste Technology and Management*, 23 (2), 73–83, (1996).

Morrisey, A.J., Browne, J., “Waste management models and their application to sustainable waste management”, *Waste Management*, 24, 297–308, (2003).

Muşdal, H., “Tıbbi atıkları ileme ve bertaraf etme teknolojisi seçme problemine bulanık analitik hiyerarşi prosesi ve bulanık analitik ağ prosesi yaklaşımı”, Yüksek Lisans tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, İstanbul, (2007).

Ning, S.-K., Chang, N.-B., Hung, M.-C., “Comparative streamlined life cycle assessment for two types of municipal solid waste incinerator”, *Journal of Cleaner Production*, 1-11, (2012).

Ohman, K.V.H., Hettiaratchi, J.P.A., Ruwanpura, J., Balakrishnan, J., Achari, G., “Development of a landfill model to prioritize design and operating objectives”, *Environmental Monitoring and Assessment*, 135, 85-97, (2007).

Erçetin, Ö., Baykoç, Ö.F., “Tedarikçi seçimi problemine karar teorisi destekli uzman istem yaklaşımı”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 19 (3), 275-286, (2004).

Özdemir Kipel, B., “Bulanık mantık kullanarak katı atık depolama tesisi için en uygun konum belirleme”, Yüksek Lisans Tezi, *Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Bilgisayar Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Ankara, (2017).

Özkan, Y., *Karar destek sistemleri: nedir? ne değildir?*, İstanbul: Bilişim Yayınları, 50-52, (1992).

Öztürk, İ., Demir, İ., Özabalı, A., Tezer, H., “İstanbul için AB çevre mevzuatı ile uyumlu entegre katı atık yönetimi stratejik planı”, (2005).

Öztürk, İ., *Katı atık yönetim ve AB uygulamaları Teknik Kitaplar Serisi 2*, İstanbul, (2010).

Palabıyık, H., D., Altunbaş., *Kentsel katı atıklar ve yönetimi, çevre sorunlarına çağdaş yaklaşımlar: ekolojik, ekonomik, politik ve yönetsel perspektifler*, İstanbul: Beta Yayıncılık, C. Marin, U. Yıldırım (Ed.), 103-124, (2004).

Palabıyık H., “Belediyelerde katı atık yönetimi: İzmir büyükşehir belediyesi örneği”, Doktora Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, Kamu Yönetimi Ana Bilim Dalı, İzmir, (2001).

Perkoulidis, G., Papageorgiou, A., Karagiannidis, A. and Kalogirou, S., “Integrated assessment of a new waste-to-energy facility in Central Greece in the context of regional perspectives”, *Waste Management*, 30 (7), 1395–1406, (2010).

Pires, A. Chang, N. Martinho, G., “An Ahp-based fFuzzy interval TOPSIS assessment for sustainable expansion of the solid waste management system in Setúbal Peninsula”, *Portugal, Resources, Conservation and Recycling*, 56, 7-21, (2011).

Rezaei, J., “Best-worst multi-criteria decision-making method”, *Omega*, 53, 49-57, (2015).

Roussat, N., Dujet, C., Mehu, J., “Choosing a sustainable demolition waste management strategy using multicriteria decision analysis”, *Waste Management*, 29, 12-20, (2009).

Rushbrook, P., “Sitting on a log talking to the younger members of the tribe: problematising cbt and teaching practice in Tafe”, *The Journal Of Teaching Practice*, 18 (1-2), 14-29, (1998).

Sayar, Ş., “Sakarya ili entegre atık yönetimi ve ambalaj atıklarının geri dönüşümü”, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Sakarya*, (2012).

Sharholy M., Ahmad K., Vaishya R. Gupta R., “Municipal solid waste characteristics and management in Allahabad, India”, *Waste Management*, 27 (4), 490, (2007).

Soltani, A., Hewage, K., Reza, B., Sadiq, R., “Multiple stakeholders in multicriteria decision making in the context of municipal solid waste management: a review”, *Waste Management*, 35, 318-328, (2015).

Srivastava, A.K., Nema, A.K., “Fuzzy parametric programming model for multi-objective integrated solid waste management under uncertainty”, *Expert Systems with Applications*, 39, 4657–4678, (2012).

Su, J.P., Chiueh, P.T., Hung, M.L., Ma, H.W., “Analyzing policy impact potential for municipal solid waste management decision-making: a case study of Taiwan”, *Resources Conservation Recycling*, 51 (2), 418–434, (2007).

Tavares, G., Zsigraiova, Z., Semiao, V., “Multi-criteria gis-based siting of an incineration plant for municipal solid waste”, *Waste Management*, 31, 1960-1972, (2011).

Tekin, M., *Üretim yönetimi*, Konya: Arı Ofset, 16-1, (1996).

Triantaphyllou, E., “Multi-criteria decision making methods: a comparative study”, *Kluwer Academic Publishers*, 13 (14), 18, (2000).

Tseng, M. L., “Application of anp and dematel to evaluate the decision-making of municipal solid waste management in Metro Manila”, *Environmental Monitoring and Assessment*, 156, 181-197., (2009).

Tamer, T., “Atıkların Gazlaştırılmasına Dayanan Elektrik Üretim Teknolojisi”, TES Mühendislik (2010).

Uçkun S., Uçkun G., “Belediyelerde katı atık yönetimi İzmit Büyükşehir Örneği”, *Yerel Yönetim ve Denetim*, 7 (1), 32-35, (2002).

Ünal, Ö.F., “Analitik hiyerarşi prosesi ile yetkinlik bazlı insan kaynakları yöneticisi seçimi”, Yayımlanmamış Doktora Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Ana Bilim Dalı*, Isparta, (2010).

Vego, G., Kucar Dragicevic, S., Koprivanac, N., “Application of multi-criteria decision-making on strategic municipal solid waste management in Dalmatia, Croatia”, *Waste Management*, 28, 2192-2201, (2008).

Velleman, D. J., *Kanıt nasıl yapılır*, (Çev: M. Terziler, T. Öner), Palme Yayıncılık, 43-54, (2008).

Vesilind, P.A., Worrell, W., Reinhart, D., *Solid waste engineering*, Brooks/Cole Thomson Learning, California: Pacific Grove, (2002).

Von Ledebur, S.C., “Optimizing knowledge transfer by new employees in companies”, *Knowledge Management Research&Practice*, doi: 10.1057/palgrave.kmrp. 8500141, (2007).

Vucijak, B., Kurtagic, S., Silajdzic, I., “Multicriteria decision making in selecting best solid waste management scenario: a municipal case study from Bosnia and Herzegovina”, *Journal of Cleaner Production*, 130, 166-174, (2016).

Wang, Z., Ren, J., Evan Goodsite, M., Xu, G., “Waste-to-energy, municipal solid waste treatment, and best available technology: Comprehensive evaluation by an interval-valued fuzzy multi-criteria decision making method”, *Journal of Cleaner Production*, 172, 887-899, (2018).

Wolchik, S. A., West, S. G., Sandler, I.N., Tein, J., Coatsworth, D., Lengua, L., “An experimental evaluation of theory-based mother and mother-child programs for children of divorce”, *Journal of Consulting and Clinical Psychology*, 68, 843-856, (2000).

Yeh, C.H., “A problem based selection of multi-attribute decision-making methods”, *International Transactions in Operational Research*, 9, 169-181, (2002).

Yılmaz, A., Bozkurt, Y., “Türkiye’deki kentsel atık yönetimi uygulamaları ve Kütahya katı atık birliği (Kükab) örneği”, *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, Isparta, 15 (1), 11-28, (2010).

Zhou, P., Ang, B. W. ve Poh, K. L., “ Decision analysis in energy and environmental modeling: An update”, *Energy*, 31 (14), 2604–2622, (2006).

9. EKLER

EK A Anket

MATRİS	İYM	İM	ÇR	E	KE	HK	Y	TG	K	V	BEATÇ	AGK	EGK	S	KY
İYM															
İM															
ÇR															
E															
KE															
HK															
Y															
TG															
K															
V															
BEATÇ															
AGK															
EGK															
S															
KY															

EK B Literatür Taraması

Yöntem	Yıl	Yazarlar	Konu
Bulanık DEMATEL	2018	Wang vd.	Bulanık DEMATEL ile 4 alternatif prosesin değerlendirildiği senaryo seçimi
TOPSIS, PROMETHEE I, PROMETHEE II	2018	Çoban vd.	8 atık bertaraf senaryosu ve 7 kriter ile senaryo değerlendirmesi
PROMETHEE, TOPSIS, Bulanık TOPSIS	2017	Arıkan vd.	İstanbul kenti için 18 kriter değerlendirilerek 10 bertaraf yöntemi arasından en iyisinin seçimi

Analitık Hiyerarşı Yöntemi, Coğrafi Bilgi Sistemi	2017	Güler Vd.	AHY ile ağırlıkları hesaplanan kriterlerin İstanbul iline ait veri katmanları CBS'nin sağladığı konumsal analiz araçları ile değerlendirilmesi
ArcGIS, Bulank Mantık	2017	Özdemir Kipel	Birden fazla kriterle en uygun katı atık depolama tesis konumlarını belirleme
TOPSIS	2016	Aghajani vd.	Katı atık yönetimi için tanımlanan 11 senaryonun çevresel ve ekonomik koşullara dayalı olarak karşılaştırılması ve TOPSIS ve VIKOR yöntemleri ile senaryo seçimi
TOPSIS	2016	Jovanovic vd.	Kragujevac kenti için basit katma ağırlıklandırma yöntemi (saw) ve TOPSIS yöntemleri ile yaratılan stratejilerin her birinin IWM2 yazılım paketiyle simüle edilmesi

VİKOR	2016	Vucijak vd.	Altı farklı alternatif arasında en iyi belediye katı atık yönetimi senaryosunu seçmek amacıyla çok kriterli karar verme uygulaması
DİĞER	2015	Soltani vd.	Atık yönetim stratejisinde kullanılan çok kriterli karar verme yöntemlerinin analizi ve AHP'nin en yaygın yöntem olduğunun tespit edilmesi
PROMETHEE	2013	Herva vd.	Ekolojik ayak izi, su tüketimi gibi kriterler bazında çevresel açıdan dört farklı katı atık alternatifinin PROMETHEE, GAIA ve AHP ile sıralanması
ELECTRE	2013	Khalili vd.	Atık yönetim stratejisi (sürdürülebilir)
PROMETHEE	2012	Korucu vd.	Üç kriterli alan seçiminde değerlendirilen kriterlerin eleştirel gözle incelenmesi, tesis yeri seçimi için dört kriterli yeni metot analizi
DİĞER	2012	Karmperis vd.	Atık yakma projesi için risk tabanlı çok kriterli değerlendirme (rbmca) uygulaması
DİĞER	2012	Koroneos vd.	Belediye katı atık değerlendirme stratejilerinin çevresel değerlendirmesi

DİĞER	2012	Ning vd.	Katı atık yakma teknolojisi için karşılaştırmalı bir aerodinamik yaşam döngüsü değerlendirmesi (CSLCA)
DİĞER	2012	Srivastava vd.	Bulanık parametrik programlama ile atık tesisi yer seçimi ve kapasite planlaması
CBS	2012	Eskandari vd.	İran Marvdasht'ta on üç kısıt, on beş değerlendirilerek cbs tabanlı katı atık depolama sahası seçimi
AHP	2011	Tavares	Cape Verde'nin Santiago Adası'nda katı atık tesisi yer seçimi yapabilmek adına coğrafi bilgi sistemi ile seçilen değerlendirme kriter ağırlıklarını tahmin etmek için ahp uygulaması
TOPSIS	2011	Dursun vd.	Bulanık TOPSIS ile tıbbi katı atık stratejilerinin belirlenmesi
TOPSIS	2011	Pires vd.	Katı atık yönetimi sürdürülebilirliği için strateji belirleme
TOPSIS	2010	Ekmekçioğlu vd.	İstanbul ilinde uygun atık bertaraf yöntemini belirleme ve modifiye bulanık TOPSIS metodolojisi ile katı atık tesis alanı yer seçimi
ELECTRE	2010	Banar	Tesis yeri seçimi (senaryo analizi)

ELECTRE	2010	Perkoulidis vd.	Atık yönetimi senaryo seçimi
ELECTRE	2010	Hanandeh vd.	ELECTRE SS metoduyla atık yönetim stratejisi seçimi
ANP	2010	Beltran vd.	İspanya Metropolitan bölgesi için 21 ölçütlü iki farklı ANP uygulaması ile atık tesisi yer seçimi
ANP	2010	Balaban vd.	Trabzon ili beş gruba ayrılan kısıtlar değerlendirilerek ağ modeli ile katı atık bertaraf teknolojisi seçimi
PROMETHEE	2009	Karagiannidis vd.	Yunanistan’da beş alternatif anaerobik sindirim teknolojisinin karşılaştırılması ve sıralanması için ELECTRE III uygulanması
AHP	2009	Garfi vd.	Saharawi’de ahp kullanılarak dört farklı atık toplama ve yönetim alternatifini karşılaştırılması
ELECTRE	2009	Roussat vd.	Fransa’nın Lyon kentinde sürdürülebilir yıkım atıklarının yönetim stratejisini ELECTRE III ile belirleme
ANP	2009	Tseng	Metro Manila bölgesi için anp ve DEMATEL yöntemiyle atık yönetim stratejisi belirleme
PROMETHEE	2008	Vego	Atık yönetim stratejisi belirleme

AHP	2008	Contreras vd.	Boston kentinde katı atık yönetimi için bir karar destek aracı olarak yaşam döngüsü değerlendirmesi (LCA) ile birlikte AHP uygulaması
CBS	2008	Chang vd.	Güney Teksas'daki Harlingen şehrinde düzenli depolama sahalarının seçimi için bir coğrafi alan analizi uygulaması
ANP	2008	Khan ve Faisal	ANP tekniği ile katı atık bertaraf yöntemi metodolojisi seçme
DİĞER	2008	Erkut vd.	Atık yönetim politikasını çok kriterli karışık tamsayı doğrusal programlama modeli ile belirleme
AHP	2007	Ohman vd.	Düzenli depolama alanı seçimi için AHP uygulamasının tartışılması ve sonuçların Delphi süreci kullanılarak değerlendirilmesi
AHP	2007	Muşdal	Bulanık AHP ile tıbbi atık yönetim stratejisi belirleme
TOPSIS	2007	Su vd.	Tayvan'ın son on yıllık katı atık yönetim politikaları incelenerek Atık yönetim stratejisi belirleme

PROMETHEE	2007	Louis vd.	Filipinler'deki Bacoor belediyesi, seçilmiş bir atık yönetim stratejisi olan kompostlamanın değerlendirilmesi ve atık yönetim stratejisi belirleme
AHP	2006	Hung vd.	Tayvan'daki gıda atık yönetimi için sosyal faktörler ve halkın katılımı değerlendirilerek bulanık AHP ile sürdürülebilir atık yönetim stratejisi belirleme uygulaması
PROMETHEE	2005	Chenayah ve Takeda	Atık yönetim stratejisi belirleme
DİĞER	2004	Morrisey ve Browne	Atık yönetimi alanında mevcut model türlerini gözden geçirme ve AHP'nin dördüncü aşaması ve ELECTRE'deki ağırlık dağılımlarının iyileştirilmesi çalışması
TOPSIS	2003	Cheng vd.	Basit ağırlıklı ekleme yöntem, TOPSIS ve tamamlayıcı ELECTRE yöntemleri ile katı atık düzenli depolama sahası alternatiflerini değerlendirme
PROMETHEE	2003	Kapepula vd.	Atık yönetim stratejisi belirleme
ELECTRE	2000	Kwok vd.	Regina şehrinde katı atık depolama alanı seçimi için TOPSIS ve ELECTRE ile bulanık çok kriterli karar destek sistemi uygulama

ELECTRE	1995	Hokkanen ve Salminen	Fransa'nın Oulu kentinde ELECTRE III ile atık bertaraf yöntemi seçimi uygulaması
---------	------	----------------------	--

10.ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Ayşegül IŞILDAR

Doğum Yeri ve Tarihi : Kütahya 24.02.1989

Lisans Üniversite : Eskişehir Osmangazi Üniversitesi

Elektronik posta :aysegulsenyer@gmail.com

İletişim Adresi :Kardelen Mah. 2047 Sok. Pınar Sitesi A .Blok
Daire No:20 Batıkent ANKARA