

Atık Seçiminde Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinin Kullanılması

Eren Batu Günaydın¹, Oğuzhan Turan¹, Hasan Bilgehan Kaplan¹
Mehmet Kaan Temiz¹, Mehmet Pınarbaşı^{1*}

¹Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 71450, Kırıkkale.

Özet

Atık, üretim süreçlerinden kaynaklanan ve artık kullanılamayan maddeler olarak tanımlanır. Üretim tesisleri, bu atıkları teknik ve yasal gerekliliklere uygun şekilde bertaraf etmek zorundadır. Uygun atıkların seçilmesi, yüklenici firmaların çevresel sorumluluklarını yerine getirmeleri ve ekonomik faydaları en üst düzeye çıkarmaları açısından önemli bir süreçtir. Bu seçimde kârlılık, arz sürekliliği, zehir ve su oranı, kalorifik değer gibi birçok kriter etkili olur. Çalışmada, bu kriterlerin belirlenmesi ve değerlendirilmesi için çok kriterli karar verme yöntemlerinden faydalanılmıştır. İlk olarak, kriterlerin önem dereceleri Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) ile hesaplanmıştır. Ardından, belirlenen alternatifler TOPSIS yöntemiyle sıralanmıştır. AHP ve TOPSIS yöntemlerinin bir arada kullanılması, karar verme sürecinde objektifliği artırarak alternatiflerin daha sistematik bir şekilde değerlendirilmesine olanak tanımıştır. Grup karar verme yaklaşımıyla uzmanlardan alınan görüşler doğrultusunda 12 kriter belirlenmiştir. Sonuçlarda "Satın Alma Maliyeti" en etkili, "Bertaraf Yöntemi" ise en az etkili kriter olarak tespit edilmiştir. Çalışma, yüklenici firmaların verimli ve etkili atık seçimi süreçleri oluşturmalarına rehberlik ederek karar alma süreçlerinde katkı sunmayı amaçlamaktadır.

Anahtar Sözcükler

Atık Seçimi, Seçim Kriterleri, Çok Kriterli Karar Verme, AHP, TOPSIS

Using of Multi-Criteria Decision-Making Methods in Waste Selection

Abstract

Waste is defined as materials resulting from production processes that can no longer be used. Production facilities have to dispose of these wastes in accordance with technical and legal requirements. The selection of suitable waste is an essential process for contractor firms to fulfill their environmental responsibilities and maximize economic benefits. This selection is influenced by many criteria, such as profitability, continuity of supply, toxicity and water ratio, and calorific value. In this study, multi-criteria decision-making methods are used to identify and evaluate these criteria. First, the importance levels of the criteria were calculated using the Analytic Hierarchy Process (AHP). Then, the identified alternatives were ranked by the TOPSIS method. The combined use of AHP and TOPSIS methods has enhanced objectivity in the decision-making process, enabling a more systematic evaluation of alternatives. With the group decision-making approach, 12 criteria were determined in line with the opinions received from the experts. In the results, "Purchase Cost" was found to be the most effective criterion, and "Disposal Method" was found to be the least effective criterion. The study aims to contribute to decision-making processes by guiding contractor firms in establishing efficient and effective waste selection processes.

Keywords

Waste Selection, Selection Criteria, Multi Criteria Decision Making, AHP, TOPSIS

1. Giriş

Dünya Sağlık Örgütü, sağlığı sadece fiziksel olarak değil aynı zamanda zihinsel ve sosyal tam bir refah hali şeklinde tanımlamaktadır (World Health Organization, 1948). Tanım, sağlıklı olmanın temel koşullarından birinin sağlıklı bir çevrenin varlığına bağlı olduğunu açıkça ortaya koymaktadır (Akin, 2007). Sanayileşme süreci 19. yüzyıl itibarıyla hız kazanarak çevre sorunlarını daha belirgin hale getirmiştir. Günümüzde de sanayi üretiminin son hızla artmasıyla birlikte çevre sorunları olduğundan daha fazla önemli bir hale gelmiştir. Hızlı kentleşme ve göç, bu sorunların ciddiyetini artırırken, kentleşmenin getirdiği nüfus artışı atık toplama, geri dönüşüm ve bertaraf hizmetlerini gerçekleştiren müesseselerin sayısında da bir artışa neden olmuştur. Çevre sorunlarının en önemlilerinin başını sanayi, tehlikeli ve tıbbi atıklar çekmektedir (İşildar, 2018). Bu tür atıklar çeşitli faaliyetlerin istenmeyen çıktıları olup, çevre, insan gibi faktörler için su ve hava kirliliğine ve buna bağlı olarak insan sağlığı üzerinde olumsuz etkilere ve toprak verimliliğinin düşmesi gibi sorunlara yol açmaktadır (Kızıldemir & Sandıkcı, 2017; Pour vd., 2018).

* Sorumlu Yazar: Tel: +90 (318) 3574242 Faks: +90 (318) 3572459

E-posta: erenbatugunaydin@gmail.com (Günaydın E.B.),
ogzhanturan@hotmail.com (Turan O.), hb_34kaplan@hotmail.com (Kaplan H.B.),
mehmetkaantemiz@gmail.com (Temiz M.K.), mpinarbasi@kku.edu.tr (Pınarbaşı M.)

Gönderim Tarihi / Received : 16/01/2025

Kabul Tarihi / Accepted : 03/03/2025

İnsanlar atıklarla yaşam döngüsü boyunca etkileşim halindedir. Atık yönetim süreçleri doğru yönetilmediği takdirde bu durum insan sağlığı ve çevre kirliliği açısından çeşitli problemlere yol açabilmektedir. (Aydoğdu & Çobanoğlu, 2006).

Atıkların günümüzde önemli bir sorun olduğu dünya genelindeki çevreci örgütler ve devletler tarafından kabul edilmekle beraber kontrol edilmediği takdirde önüne geçilemez sorunlar yaratacağı da bu örgütlerin ve devletlerin yapmakta olduğu çalışmaların sonucu olarak karşımıza çıkmaktadır (Bilgili, 2023). Atıklar, kaynağına ve fiziksel formuna bağlı olarak farklı kategorilere ayrılmaktadır. Endüstriyel süreçlerden, evsel kullanımdan ve tıbbi uygulamalardan kaynaklanan atıklar katı, sıvı ve gaz formunda olabilir. Fakat atık çeşitleri literatürde sadece katı, sıvı ve gaz atıklarla sınırlı olmamakla birlikte ambalaj atıkları da yer almaktadır (Gündüzalp & Güven, 2016). Ambalaj atıkları ise özellikle geri dönüşüm süreçleri açısından ayrı bir sınıflandırma gerektirir. Sıvı atıklar; ev ve işletmelerdeki temizlik suları, kanalizasyon suları, insandan çıkan kirli kan vs. atıkları ifade etmektedir. Gaz atıklar; sanayi işletme bacaları, yakma tesisleri, fosil yakıtların kullanılması, çöp depolama vs. atığın temel kaynaklarıdır (Karasu, 2013). Ambalaj atıklarına örnek olarak ticari açıdan her türlü ambalaj atıkları örnek verilebilir.

T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı atık yönetimi ve tehlikeli atıkların kontrolü hakkındaki yönetmelikleri (T.C. Resmi Gazete, 2005; 2015) ile işletmelere birtakım yükümlülükler yüklemektedir. Bu yükümlülükler arasında atık yönetim planı hazırlama, atıkları türlerine göre ayrıştırma ve depolama, geri dönüşüm ve yeniden kullanım teşviki, tehlikeli atıkların güvenli yönetimi, düzenli beyan ve raporlama, çalışanların eğitimi, yasal uygunluk ve denetimlere uyma, diğer işletmeler ve yerel yönetimlerle iş birliği yapma, atık yönetimi maliyetlerini karşılama ve ulusal ve uluslararası çevre standartlarına uygunluk gibi maddeler bulunur. Bu yükümlülükler, işletmelerin çevreye zarar vermeden faaliyetlerini sürdürmesini ve yasal gerekliliklere uymasını sağlamayı amaçlamaktadır.

Atık bertarafını ticari bir iş olarak yürüten işletmeler için bu yükümlülüklerin yerine getirilmesi, hem çevreye duyarlı bir faaliyet yürütmeyi hem de rekabet avantajı elde etmeyi mümkün kılar. Rekabet avantajı açısından atık bertaraf şirketleri uygun atıkları alıp kendi işletmesinin şartlarına uygun atıkları seçip işleme durumu ile karşı karşıya kalmaktadır. Uygun atık, atık bertaraf ve geri dönüşüm tesislerinin kabul edebileceği özelliklere sahip atıklardır. Uygun atık sadece kimyasal ve fiziksel etkileri değil, aynı zamanda çevresel etkileri de dahil edilerek belirlenen kriterlere dayanarak seçilen atıklardır. Bir atığın kokusu, zehir miktarı, su miktarı, kalorifik değeri gibi birçok kriter bu kriterler arasında sayılabilir.

Bu çalışmada, atık bertarafını ticari bir iş olarak yapan bir işletmenin, atık seçimi için dikkate aldığı kriterlerin belirlenmesi ve önceliklendirilmesi amaçlanmıştır. Bu kriterler Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) yöntemi kullanılarak ağırlıklandırılmış ve TOPSIS yöntemi ile de alternatif atıklar önceliklendirilmiştir. Bu sayede, işletmenin atık yönetim planını daha verimli hale getirerek çevresel, ekonomik, teknik ve yasal faktörleri göz önünde bulundurmasını ve bu kriterler ile alternatifleri sistematik bir şekilde değerlendirmesi sağlanmıştır. Çalışma hakkındaki literatür araştırmasına ait özet bilgilere Tablo 1’de yer verilmiştir.

Tablo 1: Atık seçimi ile ilgili literatür araştırması

Yazarlar	Konu	Yöntemler	Gösterge
(Dijkgraaf & Vollebergh, 2004)	Katı atık bertaraf yöntemlerinin sosyal maliyet analizi	Sosyal maliyet analizi	Bertaraf yöntemlerinin maliyet farkları
(Ghose vd., 2006)	Katı atık taşımacılığı için GIS tabanlı model	Coğrafi Bilgi Sistemi (GIS)	Ulaşım mesafesi, maliyet, kapasite
(Koushki vd., 2004)	Kuveyt'teki evsel katı atıkların taşıma ve toplama maliyetleri	Maliyet analizi	Toplama maliyeti, taşıma maliyeti
(Wu vd., 2020)	Atık toplama ve taşıma için araç rotası optimizasyonu	Araç rotası optimizasyonu	Mesafe, maliyet, zaman
(Korkmazer vd., 2016)	Atık bertaraf firması seçimi	Çok ölçütlü karar verme (ÇÖKV)	Maliyet, çevresel etki, firma performansı
(Hasanov vd., 2013)	Kapalı devre tedarik zinciri sisteminin enerji ve maliyet analizi	Tedarik zinciri modeli	Enerji tüketimi, atık bertaraf maliyeti, ulaşım maliyeti
(Gopalakrishnan vd., 2021)	Blockchain tabanlı atık yönetimi sisteminin maliyet analizi	Maliyet analizi ve optimizasyon	Blockchain güvenliği, işlem maliyetleri
(Kaçtıoğlu & Şengül, 2010)	Erzurum'daki ambalaj atıklarının geri dönüşüm ağı tasarımı	Tersine lojistik ve karma tamsayılı programlama modeli	Maliyet, ağı tasarımı, geri dönüşüm kapasitesi
(Eriksson vd., 2016)	Süpermarketlerde gıda atığını azaltma	Depolama sıcaklığı kontrolü	Maliyet, enerji tüketimi, gıda kaybı oranı
(Ulucak & Erdem, 2014)	Türkiye'deki çevre politikalarının etkinliği	Çevre-iktisat analizi	Çevresel sürdürülebilirlik, politika etkinliği
(İşildar, 2018)	Katı atık bertaraf yöntemi seçimi	Çok kriterli karar verme yöntemleri	Bertaraf yöntemlerinin maliyet ve çevresel etkisi
(Kılıç & Tüylü, 2019)	Atık döküm kumlarının hazır beton üretiminde kullanımı	Endüstriyel simbiyoz	Maliyet, çevresel etki, üretim kapasitesi

Tablo 1'in devamı

Yazarlar	Konu	Yöntemler	Gösterge
(Aka, 2021)	Endüstriyel atık geri dönüşüm kriterleri	BWM (Best-Worst Method)	Karar kriterlerinin etkisi (plastik, cam, çelik endüstrisi)
(Ertas & Güden, 2019)	Hastanelerde tıbbi atık yönetimi	Yönetim analizi	Maliyet, sağlık riskleri, çevresel etkiler
(Saltabaş vd., 2009)	İstanbul'da termal atık bertaraf yöntemleri	Termal bertaraf yöntemi analizi	Enerji üretimi, çevresel etki, maliyet
(Demirarslan & Başak, 2018)	Doğu Karadeniz illeri katı atık yönetimi	Bölgesel analiz	Katı atık türleri, toplama yöntemleri, maliyet
(Oğuz, 2018)	Tedarikçi seçimi	AHP ve TOPSIS	Maliyet, kalite, teslimat süresi

Literatürde atık seçimi konusunda, özellikle sanayi alanında seçim problemi çok azdır. Ağırlıklı olarak bertaraf yöntemi seçimleri veya tesis yeri seçimi problemleri ele alınmıştır. Bundan dolayı bu çalışmanın literatüre katkısını şu şekilde maddelendirmek mümkündür;

- Atık seçimi konusunda karar verme süreçlerinde çok kriterli karar verme yöntemlerinin uygulanabilirliğini göstermek,
- Atık türü ve yönetimi stratejilerindeki avantajları karşılaştırarak yeni bir bakış açısı sunmak,
- Atık seçiminde AHP ve TOPSIS yöntemlerinin bir arada kullanıldığı örnek bir çalışma sunmak.

Çalışmanın ikinci bölümü materyal ve metot hakkında bilgilere yer vermektedir. Üçüncü bölüm uygulama bölümüdür. Dördüncü bölümde ise çalışmanın sonucuna yer verilmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1. AHP Yöntemi

Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP), hiyerarşik yapılar üzerinden çalışan iki yönlü karşılaştırma yaklaşımına dayanan bir çok kriterli karar verme yöntemidir (Felek vd., 2007; Özcan vd., 2017). Bu yöntem, karar sürecine etki eden kriterlerin ağırlıklarını tahmin ederek hesaplayan bir karar mekanizmasıdır (Saaty, 1994). Karar verme süreçlerinde pratik çözümler sunar ve kriter ağırlıklarının belirlenmesinde önemli bir rol oynar. Yöntemin temel uygulama adımları şu şekilde sıralanabilir.

Adım 1. Karar problemi tanımlanarak model kurulur.

Adım 2. İkili karşılaştırma matrisi oluşturulur ve kriterlerden daha öncelikli olanı göstermektedir. Çalışmada 1-9'a kadar sayılar kullanılarak yapılan Saaty ölçeğine göre karşılaştırmalar yapılmıştır (Saaty, 1994). Ölçek Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2: İkili karşılaştırma ölçeği

Önem Ölçeği	Tanım	Açıklama
1	Eşit derecede önemli	Bu seviyedeki kriterler, birbirine yakın öneme sahip olup, her birinin atık yönetimi sürecindeki katkıları eşit derecede önemlidir.
3	Orta derecede önemli	Bu düzeydeki kriterler, sürecin etkinliğini etkileyen ancak daha düşük öneme sahip unsurları ifade eder. Karar süreçlerinde belirli ölçüde etki yaratırlar.
5	Kuvvetli derecede önemli	Kuvvetli derecede önemli kriterler, sürecin başarıya ulaşması için belirleyici rol oynayan, yüksek etkiye sahip faktörlerdir.
7	Kuvvetli derecede önemli	Bu seviyedeki kriterler, genellikle stratejik kararlar üzerinde yüksek derecede etki yapar ve sistemin etkinliğini büyük ölçüde etkiler.
9	Kesin önemli	Kesin olarak önemli kriterler, atık yönetimi sürecinde kritik rol oynayan ve sürecin genel başarısını belirleyen unsurlardır.
2,4,6,8	Ara değerler	Uzlaşma gerektiğinde kullanmak üzere ardışık iki yargı arasındaki değerlerdir.

Adım 3. Öncelik değerlerinin belirlenmesi

Karşılaştırma matrisleri yardımıyla ağırlık vektörü (w) hesaplanır. İlk adımda, ikili karşılaştırma matrisi normalize edilerek $A \cdot w = \lambda_{max} \cdot w$ formülüne uygun hale getirilir. Daha sonra, ağırlık değerleri elde edilir. Normalizasyon işlemi, a_{ij} 'nin elemanlarının her bir sütun toplamına bölünmesiyle gerçekleştirilir (Özcan vd., 2017; Çalışkan & Eren, 2016).

$$W_i = \frac{\sum_{l=1}^n a_{il}}{n} \quad (1)$$

Adım 4: Tutarlılık Oranının (CR) Hesaplanması

CR katsayısı, tutarlılık indeksi (CI) hesaplandıktan sonra belirlenir. İkili karşılaştırma matrislerinde CR değeri 0,1'den küçük olduğunda matrisin tutarlı olduğu kabul edilir. Tutarlılık indeksi aşağıdaki formül ile hesaplanır:

$$CI = (\lambda_{max} - n)/(n - 1) \quad (2)$$

CR ise, tutarlılık indeksinin (CI), rastgele tutarlılık indeksi (RI) değerine bölünmesiyle bulunur. CR değerinin hesaplanmasında aşağıdaki formül kullanılır.

$$CR = CI/RI \quad (3)$$

Elde edilen CR değeri uygun değilse, ikili karşılaştırma matrisindeki değerlerin yeniden gözden geçirilmesi gerekir. Tutarlılık analizinde RI değerleri Tablo 3'e göre kontrol edilir (Özcan vd., 2017; Önder vd., 2014).

Tablo 3: RI indisi

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
RI	0	0	0.58	0.89	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51	1.53	1.56	1.57	1.59

Adım 5: AHP Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Elde edilen sonuçlar tutarlılık açısından uygun bulunduğu, kriterlerin ağırlıkları hesaplanarak belirlenir (Özcan vd., 2017).

2.2. TOPSIS Yöntemi

TOPSIS yöntemi, 1981 yılında Hwang ve Yoon tarafından geliştirilmiş olup, alternatiflerin ideal çözüme olan yakınlığını esas alan bir yöntemdir. Anlaşılır yapısı ve kolay yorumlanabilir sonuçları sayesinde çok kriterli karar verme problemlerinde yaygın olarak tercih edilir (Shyjith, 2008; Yücel, 2018). Bu yöntem, alternatifler arasından en uygun seçeneği belirleme imkânı sunar.

Adım 1: Karar Matrisinin (A) Oluşturulması

Karar matrisi, satırlarında alternatifler ve sütunlarında değerlendirme kriterleri olacak şekilde düzenlenir. Matristeki A_{ij} , A matrisinde i alternatifinin j kriterine göre elde ettiği değeri ifade eder (Çaylak, 2019).

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix} \quad (4)$$

Adım 2: Standart Karar Matrisinin (R) Oluşturulması

$$r_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{k=1}^n a_{kj}^2}} \quad (r_{ij}; i, : 1, 2, \dots, n; \text{kriter Sayısı} \quad j: 1, 2, \dots, k; \text{alternatif sayısı}) \quad (5)$$

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1k} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{a1} & r_{a2} & \dots & r_{nk} \end{bmatrix} \quad (6)$$

Karar matrisi adımı tamamlandıktan sonra, her bir kriterin ağırlığını dikkate alarak ağırlıklı standart karar matrisi (V) oluşturulur. Bu işlem, ilgili formüller yardımıyla verilerin normalize edilmesi ve kriter ağırlıklarıyla çarpılması sonucunda gerçekleştirilir.

Adım 3: Ağırlıklı Standart Karar Matrisinin (V) Oluşturulması

$$W = \begin{bmatrix} W_{11} & W_{12} & \dots & W_{1n} \\ W_{21} & W_{22} & \dots & W_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ W_{a1} & W_{a2} & \dots & W_{nk} \end{bmatrix} \quad (7)$$

Her bir W_j , j kriterinin ağırlığını temsil eder. Normalleştirilmiş karar matrisinin elemanları, kriterlerin önem derecelerine göre ağırlıklandırılarak hesaplanır. Bu işlem, kriterlerin göreceli önemini yansıtan ağırlık değerleriyle gerçekleştirilir. Daha sonra Eşitlik 6'da gösterilen R matrisinin her sütun elemanlarının Eşitlik 7'deki ilgili W_{ij} değeri ile çarpılması ile Eşitlik 8'de verilen V matrisi oluşturulur.

$$V = \begin{bmatrix} V_{11} & V_{12} & \dots & V_{1k} \\ V_{21} & V_{22} & \dots & V_{2k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ V_{a1} & V_{a2} & \dots & V_{nk} \end{bmatrix} \quad (8)$$

Adım 4. Pozitif İdeal ve Negatif İdeal Çözümlerin Oluşturulması:

$$A^- = \{(min V_{ij} | j \in I), (max V_{ij} | j \in J)\} \quad (9)$$

$$A^+ = \{(max V_{ij} | j \in I), (min V_{ij} | j \in J)\} \quad (10)$$

Pozitif ideal çözüm ağırlıklı standart karar matrisinin en iyi performans değerlerini oluştururken negatif ideal çözüm en kötü değerlerini oluşturmaktadır. İdeal çözümler Eşitlik 9 ve Eşitlik 10 kullanılarak hesaplanabilmektedir.

Adım 5. Ayırım Ölçülerinin Hesaplanması:

Öncelikle alternatifler arasındaki uzaklıklar tespit edilir. Her bir seçeneğin pozitif ideal çözümle olan uzaklığı Eşitlik 11'deki formül ile hesaplanır.

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^+)^2} \quad (11)$$

Negatif ideal çözümden elde edilen mesafeler ise Eşitlik 12'den faydalanılarak hesaplanır (Monjezi vd., 2010).

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2} \quad (12)$$

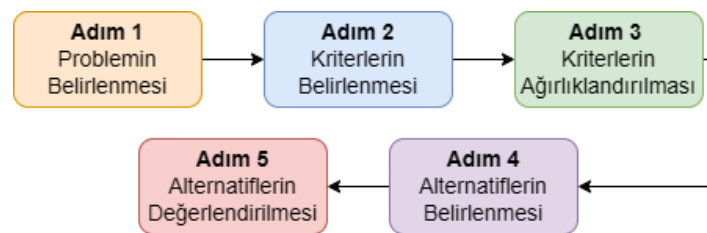
Adım 6. İdeal Çözüme Göreceli Yakınlık Değerinin Hesaplanması:

Eşitlik 13'ten faydalanılarak ideal çözüme göreceli yakınlık değeri hesaplanır (Monjezi vd., 2010).

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^- + S_i^+} \quad 0 \leq C_i^* \leq 1 \quad (13)$$

3. Uygulama

Çalışmada gerçekleştirilen uygulama Şekil 1'de verilen akış şemasına göre yürütülmüştür. Akış şeması problemin belirlenmesi, atık seçimine etki eden kriterlerin uzmanlarca grup karar verme yöntemi ile belirlenmesi, AHP yöntemi ile kriterlerin ağırlıklandırılması ve alternatiflerin değerlendirilmesi öğelerini içermektedir.



Şekil 1: Çalışmanın uygulama adımları

3.1. Problemlerin Belirlenmesi

Atık bertarafını ticari bir iş olarak yapan bir işletme için atık seçimi, çevresel, ekonomik, teknik ve yasal gereklilikler göz önünde bulundurulacak en önemli problemlerden biridir. Bu süreçte, AHP ve TOPSIS yöntemi kullanılarak atık seçimi kriterlerinin değerlendirilmesi ve alternatiflerinin önceliklendirilmesi yapılacaktır. Bir bertaraf işletmesine fabrikalar tarafından birçok atık bertaraf başvurusu yapılmaktadır. Yapılan başvurulardaki atıkların çeşitleri birbirinden çoğunlukla farklıdır. Atık bertaraf şirketinin bu farklı atıklardan kendisine en uygun olanı seçmesi gerekmektedir. Atık şirketi bu seçimi yaparken doğal olarak kendisine en az maliyetli ve en çok fayda sağlayacağı atığı seçmek isteyecektir. Atığın seçimi için ise birden fazla birbiri ile çelişen kriterler söz konusudur. Bu kriterlere maliyet, bertaraf yöntemi ve pazar payı gibi birçok kriter örnek verilebilir. Bu çalışmanın ele aldığı temel problem atık bertaraf şirketi adına bertaraf için başvuru atıklardan uygun atığın seçilmesi problemidir.

3.2. Kriterlerin Belirlenmesi

Atık bertarafını ticari bir iş olarak yapan bir işletmenin atık seçimi kapsamında değerlendirilecek olan kriterler uzman görüşleri ve literatürde yer alan bilgiler ile belirlenmiştir. Literatürde yer alan bilgilerle (Aka, 2021; Wu, 2020; Korkmazer vd., 2016; Balaban ve Baki, 2011) önce bir kriter havuzu belirlenmiş, 4 akademisyen ile firmadan 1 endüstri mühendisi ve 1 çevre mühendisinden oluşan uzman ekibe belirlenen kriterler sunulmuştur. Yüz yüze grup karar verme tekniği kullanılarak belirlenen 12 adet kriter aşağıda verilen şekilde belirlenmiştir.

Satın Alma Maliyeti (SAM): Atıkların bertarafı için satın alma maliyeti, atıkların uygun şekilde toplanması, taşınması, işlenmesi ve gereken hizmetlerin veya ekipmanların edinilmesi sürecinde oluşan maliyetleri kapsamaktadır.

Taşıma Maliyeti (TM): Taşıma maliyeti, atıkların kaynak noktasından bertaraf tesisine taşınması için gereken lojistik işlemlerinin ve nakliye hizmetlerinin maliyetlerini içermektedir.

Bertaraf Maliyeti (BM): Atıkların bertaraf edildiği yerde gerçekleştirilen tüm süreçlerin maliyetini kapsamaktadır.

Depolama Maliyeti (DM): Depolama maliyeti, atıkların özel olarak tasarlanmış depolama alanlarına taşınması ve burada saklanması sürecinde oluşan maliyetleri içermektedir.

Test Maliyeti (TM): Test maliyeti, atıkların çeşidine ve özelliklerine bağlı olarak yapılan laboratuvar testleri için oluşan maliyetleri kapsamaktadır.

Atık Miktarı (AM): Atık yönetimi sürecinde önemli bir parametredir ve atıkların toplam hacmini veya kütlesini ifade etmektedir. Sürdürülebilir talep için oldukça önemlidir.

Pazar Sirkülasyonu (PS): Pazar sirkülasyonu, atıkların ekonomiye geri dönüşüm veya yeniden kullanım yoluyla dahil edilmesini ifade etmektedir.

Pazar Payı (PP): Belirli bir endüstride veya atık yönetimi sektöründe belirli bir atık türünün veya hizmetin pazar içindeki değerinin yüzdesel olarak ifadesidir.

Taşıma Yöntemi (TY): Taşıma yöntemi, atıkların kaynak noktasından bertaraf veya işleme yerine taşınması sürecini ifade etmektedir. Bu yöntemler, atıkların çeşidine, miktarına, taşınacak mesafeye ve yerel düzenlemelere bağlı olarak değişiklik gösterebilir.

Bertaraf Yöntemi (BY): Atıkların kaynak noktasından alınarak son kullanım yerine taşınması ve uygun yöntem ile işlenip bertaraf edilmesini ifade eder.

Atığın Birim Karı (ABK): Atıkların satışından veya işlenmesinden elde edilen gelirden, üretim veya işleme maliyetlerine göre hesaplanan kar miktarını ifade etmektedir.

Atığın Satılabilirliği (AS): Atıkların belirli bir pazarda veya endüstride değer kazanma potansiyelini ifade etmektedir.

3.3. Kriterlerin Ağırlıklandırılması

Bu bölümde problem çözümü için AHP yöntemi kullanılmıştır. Problemin çözülmesi adına öncelikli olarak kriterler belirlenmiş, hiyerarşik yapı inşa edilmiştir. Bu yapı oluşturulduktan sonra alanında uzman kişilerden önem ölçeğine (Saaty, 1994) göre hangi kriterin hangi kritere baskın olduğunu 1-9 arasında değerler vererek belirlemeleri istenmiş ve AHP sürecinde kullanılacak olan kriterler arasında ikili karşılaştırma matrisi oluşturulmuştur. Oluşturulan bu matris Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4: İkili karşılaştırma matrisi tablosu

Kriterler	SAM	TM	BM	DM	TM	AM	PS	PP	TY	BY	ABK	AS
SAM	1,00	3,00	5,00	4,00	3,00	2,00	4,00	4,00	3,00	4,00	2,00	2,00
TM	0,33	1,00	3,00	2,00	3,00	2,00	3,00	3,00	2,00	3,00	2,00	1,00
BM	0,20	0,33	1,00	1,00	2,00	1,00	1,00	1,00	1,00	2,00	3,00	1,00
DM	0,25	0,50	1,00	1,00	1,00	2,00	2,00	2,00	2,00	3,00	1,00	1,00
TM	0,33	0,33	0,50	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	2,00	1,00	1,00
AM	0,50	0,50	1,00	0,50	1,00	1,00	1,00	2,00	2,00	3,00	3,00	1,00
PS	0,25	0,33	1,00	0,50	1,00	1,00	1,00	1,00	2,00	3,00	2,00	1,00
PP	0,25	0,33	1,00	0,50	1,00	0,50	1,00	1,00	1,00	3,00	3,00	1,00
TY	0,33	0,50	1,00	0,50	1,00	0,50	0,50	1,00	1,00	2,00	2,00	1,00
BY	0,25	0,33	0,50	0,33	0,50	0,33	0,33	0,33	1,00	1,00	1,00	1,00
ABK	0,50	0,50	0,33	1,00	1,00	0,33	0,50	0,33	0,50	1,00	1,00	4,00
AS	0,50	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,25	1,00
Toplam	4,70	8,67	16,33	13,33	16,50	12,67	16,33	17,67	17,50	28,00	21,25	16,00

İkili karşılaştırma matrisi oluşturulduktan sonra Microsoft Excel programı yardımıyla her kriterin kendine ait değeri her sütun toplamına bölünerek standart karar matrisi oluşturulmuştur. Daha sonra her bir satır değeri toplanarak kriter sayısına bölünmüş ve kriter ağırlıkları bulunmuştur. Bu hesaplamalar Bölüm 2.1’de verilen AHP yöntemi adımlarına göre devam ettirilmiştir. Normalize karar matrisine ulaşılmasının ardından AHP’nin adımları takip edilerek kriter ağırlıkları elde edilmiştir. Bulunan kriter ağırlıkları Tablo 5’te verilmiştir.

Tablo 5: Sonuç tablosu ölçeği

Kriterler	Kriter Ağırlıkları
SAM	0,2091
TM	0,1326
BM	0,0723
DM	0,0860
TM	0,0592
AM	0,0835
PS	0,0688
PP	0,0647
TY	0,0583
BY	0,0371
ABK	0,0631
AS	0,0652

Ağırlıkları bulunan kriterler için tutarlılık oranı hesabı gerçekleştirilmiştir. Bunun için Tablo 4’te yer alan her bir kriter değeri Tablo 5’teki kriter ağırlıklarıyla çarpılmış ve kriter toplamaları bulunmuştur. Daha sonra kriter toplamaları ile kriter ağırlıkları oranı alınarak λ değeri bulunmuş ve ortalaması alınmıştır. Bulunan değer Tablo 3’te yer alan kriter sayısının 1 eksiğine denk gelen değere bölünerek tutarlılık oranı 0.07 olarak hesaplanmıştır. Bu değer 0 ile 0.10 arasında bir değer olduğu için çalışmanın tutarlılığının kabul edilebilir düzeyde olduğunu göstermektedir. AHP çözümü doğrultusunda kriterlerden en önemlisi satın alma maliyeti kriteri olarak tespit edilmiştir. Taşıma maliyeti kriteri ikinci önemli düzeyde, bertaraf yöntemi kriteri ise en önemsiz düzeyde bulunmaktadır. Karşılaşılan sonucun hayatın olağan akışı ile tutarlılık gösterdiği söylenebilir.

3.4. Alternatiflerin Belirlenmesi

Atık bertarafını ticari bir iş olarak yapan bir işletmenin atık seçimi kapsamında değerlendirilecek olan alternatifler atık yönetimi yönetmeliği (T.C. Resmi Gazete, 2015) incelenerek uzman görüşleri ve işletmeden alınan bilgiler yardımıyla belirlenmiştir.

Sentetik Hidrolik Yağlar (SHY): Petrokimyasal işlemlerden üretilen yağlardır. En çok otomotiv ve endüstri, denizcilik ve tarım alanlarında kullanılmaktadır. Ömrünü tamamladığında doğaya olan zararından dolayı bertaraf edilmesi gerekmektedir.

Elek Üstü Maddeler (EÜM): Partikül boyutuna bağlı olarak belirli bir eleğin üzerinde kalan parçacıklardır. Maden, inşaat, tarım, gıda ve kimya endüstrilerinde hammadde olarak kullanılmaktadır.

Atık Metal (AM): Kullanım ömrünü tamamlamış metal nesnelerdir. Sanayi, inşaat ve otomotiv gibi sektörlerden meydana gelir. Bu metallerin yeniden işlenmesi ekonomik bir değer yaratmaktadır.

Sentetik Yalıtım ve Isı İletim Yağları (SIY): Elektriksel ve ısı yalıtımı için kullanılan sentetik yağlardır. Bu yağlar yüksek sıcaklığa dayanıklıdır. Doğaya zararı fazla olmasından dolayı ömrünü tamamladığında bertaraf edilmelidir.

Kentsel Atık Suyu Arıtılmasından Kaynaklanan Çamurlar (KAS): Arıtma tesislerinde suyun arıtılması sırasında oluşan atıklardır. Çevre ve halk sağlığı için tehdit olan bu atıklar, kurutularak, yakma veya depolama yöntemi ile bertaraf edilir. Ayrıca bazı işlemlerin ardından gübre olarak kullanılabilir.

3.5. Alternatiflerin Değerlendirilmesi

Bu bölümde problem çözümü için TOPSIS yöntemi kullanılmıştır. Öncelikle TOPSIS yönteminde kullanılmak üzere uzman görüşlerinden de yararlanılarak satırlarda alternatifler, sütunlarda ise kriterler yer alacak şekilde alternatiflerin kriterlere göre 1-10 arası önem puanlandırmaları gerçekleştirilerek Tablo 6'daki karar matrisi oluşturulmuştur.

Önem puanlandırmaları yapılırken örneğin atık metal alternatifi, satın alma kriteri açısından oldukça önemli olduğu göz önünde bulundurulmuştur. Önemli bir alternatif olmasının sebebi geri dönüşüm, enerji tüketimi ve doğal kaynakların korunması açısından avantajlar sunmasıdır. Örneğin geri dönüştürülmüş bir metal kullanımı yeni metal üretimine göre enerji tüketimi yüksek oranda azaltabilir. Bundan dolayı diğer alternatiflerle kıyaslandığında önem puanı daha önemli olacak şekilde puanlandırılmalıdır.

Tablo 6: Karar matrisi

Alternatifler- Kriterler	SAM	TM	BM	DM	TM	AM	PS	PP	TY	BY	ABK	AS
SHY	6	5	7	6	7	5	8	8	6	7	8	8
EÜM	3	7	3	3	4	4	4	4	4	4	5	5
AM	8	8	9	9	9	9	7	7	9	9	9	9
SIY	7	6	8	8	8	7	6	6	7	8	7	7
KAS	4	4	6	4	5	6	5	5	5	5	6	6

Kriterlerin puan değerleri Microsoft Excel programı yardımıyla Eşitlik 5 kullanılarak standart hale getirilmiştir. Tablo 7'de bu işlem sonucu oluşturulan matris gösterilmektedir.

Tablo 7: Standart karar matrisi

Alternatifler- Kriterler	SAM	TM	BM	DM	TM	AM	PS	PP	TY	BY	ABK	AS
SHY	0.455	0.379	0.531	0.455	0.531	0.379	0.606	0.606	0.455	0.531	0.606	0.606
EÜM	0.227	0.531	0.227	0.227	0.303	0.303	0.303	0.303	0.303	0.303	0.379	0.379
AM	0.606	0.606	0.682	0.682	0.682	0.682	0.531	0.531	0.682	0.682	0.682	0.682
SIY	0.531	0.455	0.606	0.606	0.606	0.531	0.455	0.455	0.531	0.606	0.531	0.531
KAS	0.303	0.303	0.455	0.303	0.379	0.455	0.379	0.379	0.379	0.379	0.455	0.455

Standart karar matrisi hesaplandıktan sonra AHP yöntemiyle bulunan Tablo 5'teki kriter ağırlıkları Tablo 7'deki değerlerle çarpılarak ağırlıklı standart karar matrisi elde edilmiştir. Elde edilen matris Tablo 8'de verilmiştir.

Tablo 8: Ağırlıklı standart karar matrisi

Alternatifler- Kriterler	SAM	TM	BM	DM	TM	AM	PS	PP	TY	BY	ABK	AS
SHY	0.095	0.050	0.038	0.039	0.031	0.032	0.042	0.039	0.027	0.020	0.038	0.040
EÜM	0.048	0.070	0.016	0.020	0.018	0.025	0.021	0.020	0.018	0.011	0.024	0.025
AM	0.127	0.080	0.049	0.059	0.040	0.057	0.037	0.034	0.040	0.025	0.043	0.044
SIY	0.111	0.060	0.044	0.052	0.036	0.044	0.031	0.029	0.031	0.023	0.033	0.035
KAS	0.063	0.040	0.033	0.026	0.022	0.038	0.026	0.025	0.022	0.014	0.029	0.030

Ağırlıklı standart karar matrisi Microsoft Excel programıyla hesaplandıktan sonra her kriter için pozitif ideal ve negatif ideal çözümlerin belirlenebilmesi için Eşitlik 9 ve Eşitlik 10 kullanılmıştır. Pozitif ideal ve negatif ideal çözümler belirlendikten sonra S_i^+ ve S_i^- değerleri Eşitlik 11-12 ile hesaplanmıştır. Bulunan sayısal değerler Tablo 9'da verilmiştir.

Tablo 9: Pozitif ideal ve negatif ideal değerler tablosu

	S_i^+	S_i^-
SHY	0.055	0.066
EÜM	0.107	0.029
AM	0.007	0.112
SIY	0.035	0.083
KAS	0.091	0.027

Bulunan S_i^+ ve S_i^- değerleri toplanarak S_i^- değerine bölünmüştür. Bunun sonucunda Tablo 10'daki sonuçlar elde edilmiştir.

Tablo 10: Sonuç tablosu

	1	2	3	4	5
Alternatif	Atık Metal	Sentetik Yalıtım ve Isı İletim Yağları	Sentetik Hidrolik Yağlar	Kentsel Atık Suyu Arıtılmasından Kaynaklanan	Elek Üstü Maddeler
Puan	0.94	0.70	0.54	0.24	0.21

Tablo 10'daki sonuçlara göre sıralama şu şekilde oluşmuştur: Atık metal, sentetik yalıtım ve ısı iletim yağları, sentetik hidrolik yağlar, kentsel atık suyu arıtılmasından kaynaklanan çamurlar ve elek üstü maddelerdir. Atık metal, kar oranı açısından oldukça avantajlı bir geri dönüşüm malzemesidir. Metallerin nispeten ağır olmalarına rağmen kolay taşınabilir olması, lojistik süreçlerin daha verimli yönetilmesini sağlamaktadır. Ayrıca atık metal piyasasında sürekli bir talep bulunması, pazar sürekliliğini garanti altına alarak yatırımların karşılığını almayı kolaylaştırmaktadır. Tüm bu faktörler, atık metalin geri dönüşüm sektöründe karlı bir iş fırsatı olarak öne çıkmasına neden olmaktadır.

3.6. Tartışma

Uzmanlarca belirlenen kriterlerden en önemli kriterin 0.2091 ağırlık katsayısı ile satın alma maliyeti olduğu hesaplanmıştır. İkinci ve üçüncü sırada ise 0.1326 ağırlık katsayısıyla taşıma maliyeti ve 0.0860 ağırlık katsayısıyla depolama maliyeti kriterlerinin takip ettiği görülmüştür. Birbirine yakın ağırlık puanları ile sırasıyla geriye kalan kriterler atık miktarı, bertaraf maliyeti, pazar sirkülasyonu, atığın satılabilirliği, pazar payı, atığın birim karı, test maliyeti, taşıma yöntemi ve bertaraf yöntemi şeklinde sıralanmıştır.

Çok kriterli karar verme yöntemlerinin kullanımı ile gerçekleştirilen bu çalışma, ticari amaçla bu faaliyetleri gerçekleştiren firmada yapılması nedeniyle [Dijkgraaf ve Vollebergh \(2004\)](#) gerçekleştirdiği çalışma ile benzerlik göstermektedir. [Dijkgraaf ve Vollebergh \(2004\)](#) çalışmalarında sosyal maliyet analizine odaklanması ile bu çalışma ile uyumlu olarak maliyet faktörlerinin atık seçim süreçlerindeki belirleyici rolünü bir kez daha göz önüne sermiştir.

Ayrıca literatürde “atık seçimi” konusunda yapılan çalışmalar yok denecek kadar azdır. Mevcut literatürde ağırlıklı olarak atık bertaraf yöntemlerinin belirlenmesi, katı atık seçimi ve tesis yer seçimi gibi konulara odaklanılmıştır. Bu sebeple, literatür taraması göz önünde bulundurulduğunda atık seçimi gerçekleştirilen bu çalışma literatürdeki boşluğu doldurmaktadır.

Çalışmada etkili sonuçların alınabilmesi için AHP-TOPSIS ikilisi beraber kullanılmıştır. [Ercan ve Pınarbaşı \(2024\)](#) çalışmalarında AHP ve TOPSIS yöntemlerini bir arada kullanarak biyogaz enerji santrali kuruluş yeri seçimi gerçekleştirmiştir. Çalışmalarının sonucunda sonuçları karşılaştırarak etkili sonuçlar aldıkları konusunda beyanlarını bildirmişlerdir. Yine literatürde yer alan [Işıldar \(2018\)](#) çalışmasında katı atık bertaraf yöntemlerini TOPSIS, PROMETHEE ve En İyi-En Kötü yöntemlerini kullanarak birbirleriyle kıyaslamış ve en uygun bertaraf yöntemini seçmiştir. Başka bir çalışma olan [Özcan vd. \(2017\)](#) hidroelektrik santrallerinde bakım stratejisi seçimi için AHP ve hedef programlama yaklaşımı ile birlikte TOPSIS yöntemini bir arada kullanmış ve yöntemlerin bir arada kullanılmasıyla beraber etkili sonuçlar aldıklarını not düşmüşlerdir. Literatürde yer alan çalışmalara bakıldığında bu çalışmada birden fazla çok kriterli karar verme yönteminin bir arada atık seçiminde kullanılmasının literatürle uyumlu olarak ne kadar etkili olduğunu göstermektedir.

4. Sonuç

Bu çalışmada, işletmelerin atık bertarafı konusunda karşılaştıkları zorluklara ve çözüm yollarına odaklanılmıştır. Atık yönetimi, sadece çevre için değil, aynı zamanda işletmelerin sürdürülebilirliği ve rekabet avantajı için de kritik bir öneme sahip olmaktadır. AHP yöntemiyle atık seçimi kriterlerinin değerlendirilerek TOPSIS yöntemiyle önceliklendirilmesi

işletmelerin atık yönetim stratejilerini optimize etmelerine yardımcı olabilir. Bu analiz, işletmelerin atık bertarafı için en uygun stratejileri belirlerken çevresel, ekonomik, teknik ve yasal faktörleri dengeli bir şekilde değerlendirmelerine olanak tanımaktadır. Yapılan AHP analizi sonucunda satın alma maliyeti ve taşıma maliyeti en önemli iki kriter olarak tespit edilmiştir. Ağırlığı en düşük olarak son sırada değerlendirilen kriter ise bertaraf yöntemi olarak belirlenmiştir. TOPSIS sonucunda ise atık metal en önemli alternatif olarak karşımıza çıkmaktadır. Sonuç olarak, bu çalışma, işletmelerin çevresel ve yasal yükümlülüklerini yerine getirirken aynı zamanda operasyonel verimliliklerini artırmalarına yardımcı olacaktır.

Bu çalışma gelecekte birçok yeni çalışmaların yapılmasına olanak sağlamaktadır. Kriter ağırlıklarının AHP yöntemi dışında ANP gibi yöntemler ile değerlendirilmesi bir gelecek çalışma önerisidir. Bunun yanı sıra PROMETHEE gibi seçim algoritmaları kullanılarak belirlenen kriter ağırlıkları ile alternatif atıkların değerlendirilmesi umut verici bir gelecek çalışma olacaktır. Çalışmanın kapsamı belediyeler, sağlık sektörü, tarım ve gıda sektörü gibi alanları kapsayacak şekilde genişletilerek bu alanlar için farklı kriter ve alternatifler belirlenerek genişletilebilir.

Teşekkür

Sıfır Atık Enerji Geri Kazanım ve Geri Dönüşüm San. ve Tic. Ltd. Şti. sorumlusu Çevre Mühendisi Ali Doğan'a çalışmaya yapmış olduğu katkıları ve destekleri için teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- Aka, D. Ç. (2021). Endüstriyel atık geri dönüşümünde etkili olan karar kriterlerinin bwm ile değerlendirilmesi: plastik, cam ve çelik endüstrisinde uygulama. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 31, 390–398.
- Akin, C. S. (2007). *Sağlık ve sağlık harcamalarının ekonomik büyüme üzerine etkisi: Türkiye 'de sağlık sektörü ve harcamaları* [Yüksek lisans tezi, Çukurova Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Aydoğdu, İ. B., & Çobanoğlu, N. (2006, 16–20 Eylül). *Tıbbi atıkların yönetimi, toplanması, taşınması ve bertarafında yerel yönetimler tarafından uyulacak esaslar* [Bildiri sunumu]. I. Ulusal Yerel Yönetimlerde Sağlık Hizmetleri Kongresi Ankara, Turkey.
- Balaban, Y., & Baki, B. (2011). Analitik ağ süreci yaklaşımıyla en uygun katı atık bertaraf sisteminin belirlenmesi: Trabzon ili örneği. *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 24(3), 183–197.
- Bilgili, M. Y. (2023). Sıfır atık yönetiminin çevre etiği yaklaşımları açısından incelenmesi. *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 64, 21–28. <https://doi.org/10.18070/erciyesuibd.1173752>
- Çalışkan, E., & Eren, T. (2016). Bankaların performanslarının çok kriterli karar verme yöntemiyle değerlendirilmesi. *Ordu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 6(2), 85–107. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/ordubtd/issue/27365/287965>
- Çaylak, M. (2019). TOPSIS yöntemi ile en uygun otel seçimi. *Oğuzhan Sosyal Bilimler Dergisi*, 1(2), 65–76. <https://dergipark.org.tr/en/pub/oguzhan/issue/51155/657321>
- Demirarslan, K. O., & Başak, S. (2018). Doğu Karadeniz Bölgesi illeri katı atık yönetimi. *Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi*, 1(3), 117–132. <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/555407>
- Dijkgraaf, E., & Vollebergh, H. R. (2004). Burn or bury? A social cost comparison of final waste disposal methods. *Ecological Economics*, 50(3–4), 233–247. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2004.01.017>
- Ercan, Z., & Pınarbaşı, M. (2024). Çok kriterli karar verme yöntemleri ile biyogaz enerji santrali kuruluş yeri seçimi: Ankara ili Polatlı ilçesi için bir örnek. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 10(2), 395–408. <https://doi.org/10.21324/dacd.1393150>
- Eriksson, M., Strid, I., & Hansson, P. A. (2016). Food waste reduction in supermarkets—Net costs and benefits of reduced storage temperature. *Resources, Conservation and Recycling*, 107, 73–81. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2015.11.022>
- Ertaş, H., & Güden, M. A. (2019). Hastanelerde tıbbi atık yönetimi. *Sosyal Araştırmalar ve Yönetim Dergisi*, 1, 53–67. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/sayod/issue/44297/541876>
- Felek, S., Yurdakul, Y., & Aladağ, Z. (2007). Mobil iletişim sektöründe pazar paylaşımının tahmininde AHP ve ANP yöntemlerinin kıyaslanması. *Endüstri Mühendisliği Dergisi*, 18(1), 6–22.
- Ghose, M. K., Dikshit, A. K., & Sharma, S. K. (2006). A GIS based transportation model for solid waste disposal: A case study on Asansol municipality. *Waste Management*, 26(11), 1287–1293. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2005.09.022>
- Gopalakrishnan, P. K., Hall, J., & Behdad, S. (2021). Cost analysis and optimization of Blockchain-based solid waste management traceability system. *Waste Management*, 120, 594–607. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.10.027>
- Gündüzalp, A. A., & Güven, S. (2016). Atık, çeşitleri, atık yönetimi, geri dönüşüm ve tüketici: Çankaya belediyesi ve semt tüketicileri örneği. *Hacettepe Üniversitesi Sosyolojik Araştırmalar E-Dergisi*, 9(1), 1–19.
- Hasanov, P., Jaber, M. Y., Zaroni, S., & Zavanella, L. E. (2013). Closed-loop supply chain system with energy, transportation, and waste disposal costs. *International Journal of Sustainable Engineering*, 6(4), 352–358.
- Işıldar, A. (2018). *Çok kriterli karar verme yöntemleriyle katı atık bertaraf yöntemi seçimi* [Yüksek lisans tezi, Pamukkale Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Kaçtıoğlu, S., & Şengül, Ü. (2011). Erzurum kenti ambalaj atıklarının geri dönüşümü için tersine lojistik ağı tasarımı ve bir karma tamsayılı programlama modeli. *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 24(1), 89–112.
- Karasu, A. (2013). *Çevresel atıklar, nedenleri, çevresel atıkların geri dönüştürülmesi ve yenilenebilir enerji olanaklarının araştırılması* [Yüksek lisans tezi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Kılıç, M. Y., & Tüylü, M. (2019). Bursa'daki atık döküm kumlarının endüstriyel simbiyoz ile hazır beton üretiminde ham madde olarak kullanımı. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 24(1), 99–110.
- Kızıldemir, Ö., & Sandıkcı, M. (2017). Otel işletmelerinde katı atık yönetimi: Ön büro departmanındaki uygulamalara yönelik bir araştırma. *Turizm ve Araştırma Dergisi*, 3(2), 42–69. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/turaz/issue/39645/469122>

- Korkmaz, C., Aktar Demirtaş, E., & Erol, D. (2016). Çok ölçütlü karar verme yöntemleri ile atık bertaraf firması seçimi. *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 22(4), 305–313. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/pajes/issue/24686/261043>
- Koushki, P. A., Al-Duaij, U., & Al-Ghimlas, W. (2004). Collection and transportation cost of household solid waste in Kuwait. *Waste Management*, 24(9), 957–964. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2004.03.013>
- Monjezi, M., Dehghani, H., Singh, T. N., Sayadi, A. R., & Gholinejad, A. (2010). Application of TOPSIS method for selecting the most appropriate blast design. *Arabian Journal of Geosciences*, 1, 19–34. <https://doi.org/10.1007/s12517-010-0164-3>
- Oğuz, M. A. (2018). AHP ve TOPSIS yöntemi ile tedarikçi seçimi. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 17(34), 69–89. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/ticaretfbd/issue/55969/506870>
- Önder, E., Önder, G., Kuvat, Ö., & Taş, N. (2014). Identifying the importance level of factors influencing the selection of nursing as a career choice using AHP: Survey to compare the precedence of private vocational high school nursing students and their parents. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 122, 398–404. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.01.1361>
- Özcan, E. C., Ünlüsoy, S., & Eren, T. (2017). A combined goal programming–AHP approach supported with TOPSIS for maintenance strategy selection in hydroelectric power plants. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 78, 1410–1423.
- Pour, N., Webley, P. A., & Cook, P. J. (2018). Potential for using municipal solid waste as a resource for bioenergy with carbon capture and storage (BECCS). *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 68, 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.ijggc.2017.11.007>
- Saaty, T. L. (1994). How to make a decision: The analytic hierarchy process. *Interfaces*, 24(6), 19–43.
- Saltabaş, F., Soysal, Y., Yıldız, Ş., & Balahorli, V. (2009, 15–17 Haziran). *Evsel katı atık termal bertaraf yöntemleri ve İstanbul'a uygulanabilirliği* [Bildiri sunumu]. Türkiye’de Katı Atık Yönetimi Sempozyumu İstanbul, Türkiye.
- Shyjith, K., Ilankumaran, M., & Kumanan, S. (2008). Multi-criteria decision-making approach to evaluate optimum maintenance strategy in textile industry. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 14(4), 375–386.
- T.C. Resmi Gazete. (2005). *Tehlikeli atıkların kontrolü yönetmeliği* (Resmi Gazete Tarih: 14.03.2025, Sayı: 25755). <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2005/03/20050314-1.htm>
- T.C. Resmi Gazete. (2015). *Atık yönetimi yönetmeliği* (Resmi Gazete Tarih: 02.04.2015, Sayı: 29314). <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2015/04/20150402-2.htm>
- Ulucak, R., & Erdem, E. (2014). Çevre-İktisat ilişkisi ve Türkiye’de çevre politikalarının etkinliği, *Akademik Araştırmalar ve Çalışmalar Dergisi (AKAD)*, 4(6), 78–98. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/kilisiibfakademik/issue/19254/204529>
- World Health Organization. (1948). *Preamble to the Constitution of the World Health Organization, as adopted by the International Health Conference*. <https://www.who.int/about/governance/constitution>
- Wu, H., Tao, F., & Yang, B. (2020). Optimization of vehicle routing for waste collection and transportation. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(14), Article 4963. <https://doi.org/10.3390/ijerph17144963>
- Yücel, Y. B. (2018). *Çok kriterli karar verme teknikleri ile tekstil sektöründe en uygun tedarikçi seçimi ve bir yazılım uygulaması* [Yüksek lisans tezi, Bartın Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>