Pamukkale Univ Muh Bilim Derg, 31(5), 882-889, 2025

Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi

Pamukkale University Journal of Engineering Sciences

Evsel katı atıkların kaynakta ikili ayrılması özel halinin çevresel, ekonomik, sosyal ve teknik kriterler açısından analitik hiyerarşi prosesi yardımıyla analizi

Analysis of the special case of binary separation at source of municipal solid waste with the help of analytical hierarchy process in terms of environmental, economic, social and technical criteria

Ömer Apaydın[1*]

[1]Çevre Mühendisliği Bölümü, İnşaat Fakültesi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbu, Türkiye.
apaydin@yildiz.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 28.09.2024 Düzeltme Tarihi/Revision: 22.01.2025 doi: 10.5505/pajes.2025.05324
Kabul Tarihi/Accepted: 28.01.2025 Araştırma Makalesi/Research Article

Öz

Bu çalışmanın amacı, Sıfır Atık Yönetmeliği (SAY) minimum kriteri olan kaynakta ikili ayırma durumu için evsel katı atık yönetim seçeneklerine karar vermektir. Bu amaca ulaşmak için çok kriterli karar verme aracı olarak analitik hiyerarşi prosesi (AHP) kullanılmıştır. Karar noktaları olarak beş farklı evsel katı atık yönetim seçeneği seçilmiştir. Karar noktalarını etkileyen ana kriter olarak SAY minimum zorunlu kriteri olan evsel katı atıkların kaynakta ikili ayrılması, alt kriterler olarak ise beş çevresel, dört ekonomik, üç sosyal ve üç teknik parametre seçilmiştir. Hem alt kriterlerin kendi içinde hem de evsel katı atık yönetim seçeneklerinin her bir kritere göre ikili karşılaştırma verisi temini için uzman görüşlerine başvurulmuştur. Uzman görüşlerinin alınması, Google Formlar kullanılarak hazırlanan anket çalışmasıyla sağlanmıştır. Uzman görüşlerinden elde edilen sayısal verilerin geometrik ortalamaları kullanılarak, her bir alt kriter grubu (çevresel, ekonomik, sosyal ve teknik) için kendi içinde SAY minimum kriteri kapsamında ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulmuş ve gerekli AHP analiz süreçleri uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre; evsel katı atık yönetim seçenek tercihleri, çevresel kriterler açısından maddesel geri dönüşüm(0.381)> ısıl işlem(0.193)> biyometanizasyon(0.187)> kompostlaştırma(0.125)> düzenli depolama(0.112), ekonomik kriterler açısından düzenli depolama(0.357)> materyal geri dönüşüm(0.247)> kompostlaştırma(0.193)> biyometanizasyon(0.097)> ısıl işlem(0.054), sosyal kriterler acısından maddesel geri dönüşüm(0.393)> kompostlaştırma(0.233) =biyometanizasyon(0.233)> ısıl işlem(0.086)> düzenli depolama(0.055), teknik kriterler açısından maddesel geri dönüşüm(0.381)> düzenli depolama(0.315)> kompostlaştırma(0.143)> biyometanizasyon(0.114)> ısıl işlem (0.047) olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak; kaynakta ikili ayırma durumunda katı atık yönetim seçenek önceliğinin çevresel, sosyal ve teknik kriterler açısından maddesel geri dönüşüm, ekonomik kriterler açısından ise düzenli depolama olduğu belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Analitik hiyerarşi prosesi, Google formlar anketi, katı atık yönetim seçenekleri, Kaynakta ikili ayırma, sıfır atık yönetmeliği.

Abstract

The aim of this study is to decide on the municipal solid waste (MSW) management option for the minimum criterion of Zero Waste Regulation (ZWR) which is binary separation at source. To achieve this aim, analytical hierarchy process (AHP) was used as a multi-criteria decision-making tool. Five different waste management alternatives were selected as decision points. The main criterion affecting the decision points was binary separation of solid waste at source, and five environmental, four economic, three social and three technical criteria were selected as sub-criteria. Expert opinions were consulted to obtain binary comparison data both within the sub-criteria themselves and for each criterion of MSW management alternatives. The survey prepared using Google Forms. Using the geometric means of the numerical data obtained from expert opinions, binary comparison matrices were created for each sub-criteria group within the scope of the ZWR minimum criterion and the necessary AHP analysis processes were applied. According to the results obtained; MSW management alternative preferences were calculated as material recovery(0.381)> thermal process(0.193)> biomethanization(0.187)> composting(0.125)> sanitary landfill(0.112) for environmental; sanitary landfill(0.357)> material recovery(0.247)> composting(0.193)> biomethanization(0.097)> thermal process (0.054) for economic; material recovery(0.393)> composting(0.233)= biomethanization(0.233)> thermal process(0.086)> sanitary landfill(0.055) for social; material recovery (0.381)> sanitary landfill(0.315)> composting(0.143)> biomethanization (0.114)> thermal process (0.047) for technical criteria. As a result; in case of applying binary separation at source, it has been determined that the priority of domestic solid waste management alternative is material recovery in terms of environmental, social and technical criteria, and sanitary landfill in terms of economic criteria.

Keywords: Analytical hierarchy process, Google forms survey, Solid waste management alternatives, Binary separation at source, Zero waste regulation.

1 Giriş

Günümüzde sürdürülebilir katı atık yönetimi, insanlarla doğrudan temas halinde olması nedeniyle iyi planlanması ve yönetilmesi gereken önemli konulardan biridir. Atık azaltma sürecinden başlayarak, hammadde kullanımını en aza indirecek bir yönetim sürecinin uygulanması beklenen ve istenen bir yaklaşımdır. Bu bağlamda atık hiyerarşisi, sürdürülebilir atık yönetimi ve sıfır atık yönetimi gibi kavramlar birçok toplum için günlük yaşamın vazgeçilmez unsurları olarak algılanmaktadır. Katı atık yönetim sürecinin sürdürülebilirliğinin, kaynakta azaltma/yeniden kullanım/geri dönüşüm süreçlerinin etkin bir şekilde uygulanmasıyla sağlanabileceği bilinen bir gerçektir [1],[2]. Belirtilen süreçler kapsamında yönetilen katı atıklar, ikincil üretim süreçlerine entegrasyon ve enerji geri kazanımı için kullanım seçenekleri

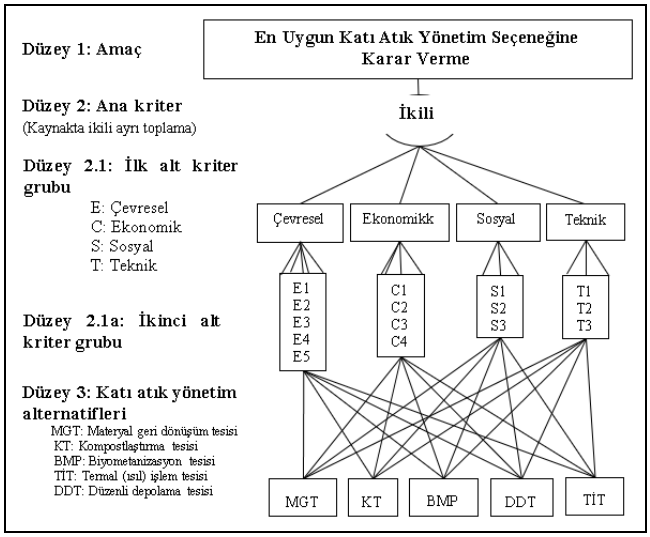
*Yazışılan yazar/Corresponding author

de dahil olmak üzere birçok yönetim seçeneğine tabi tutulmaktadır. Sürdürülebilir belediye katı atık yönetim süreçlerinde yaygın olarak kullanılan beş ana yönetim seçeneği olduğu bilinmektedir[3]: (1) sürdürülebilir ve ikincil hammadde temini kapsamında değerlendirilebilecek bir yönetim seçeneği olarak materyal geri dönüşüm tesisi (MGT), (2) genellikle aerobik biyolojik geri dönüşüm işlemiyle kompost gübrenin elde edildiği kompostlama tesisi (KT), (3) anaerobik şartlarda organik maddenin metan gazına dönüştürüldüğü biyomatanizasyon tesisi (BMT), (4) atıkların enerji geri kazanımlı olarak yönetildiği seçenek olarak termal işlem tesisi (TİT) ve (5) nihai yönetim seçeneği olarak ise düzenli depolama tesisi (DDT). Türkiye'de 2019 yılından beri yürürlükte olan Sıfır Atık Yönetmeliği (SAY), katı atık yönetim sürecinin en verimli şekilde yönetilmesinde faydalı olacağı düşünülmektedir. SAY, evsel katı atıkların "kaynakta ikili ayrılmasını" minimum kriter olarak zorunlu kılmaktadır [4]. Yönetmeliğin, son zamanlarda ilgiyle takip edilen akıllı şehir yaklaşımlarına [5] da katkı sağlayacağı umulmaktadır. Sıfır atık vizyonlu akıllı bir şehir, üç strateji gerektirir: atık önleme, uygun şekilde atık toplama ve son olarak toplanan atıkların uygun şekilde geri kazanımı [6]. Akıllı şehir teknolojilerinin sürdürülebilir katı atık yönetim sürecinde başarıyla uygulanabilmesi için çevresel, ekonomik, teknik ve sosyal kriterlerin değerlendirilmesine ek olarak paydaşların görüşlerinin de alınması önerilmektedir. Çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemlerinin [7]-[9] karar vericilerin kabul edilebilir, uygun fiyatlı ve etkili sürdürülebilir atık yönetim seçeneklerine karar vermelerine yardımcı olduğu iyi bilinmektedir [10]. Katı atık yönetiminin sürdürülebilirliğini sağlamak için hangi yönetim seçenekleri veya alternatiflerinin kullanılabileceği konusu, karar vericilerin çözmesi gereken temel sorunlardan biridir. Karar vericilerin gündemindeki bir diğer soru ise hangi yönetim seçeneğinin uygulanacağı ve hangi toplama seçeneğinin en verimli düzeyde kullanılacağıdır. Analitik hiyerarşi prosesi (AHP), karar vericilerin sürdürülebilir katı atık yönetimi ile ilgili karşılaştıkları karar verme problemlerini çözmede yardımcı bir karar verme aracı olarak kolaylıkla kullanılabilmektedir. Evsel katı atık yönetimi alanında, ÇKKV yöntemleri kullanılarak çok sayıda çalışma yapılmıştır: Tamasila ve diğ. tarafından yapılan bir çalışmada [11], bulanık AHP ve bulanık TOPSIS (Technique for order preference by similarity to ıdeal solution) kullanılarak mevcut atık yönetim sistemini iyileştirmek için belediye katı atık yönetimi sisteminin ana faktörlerini belirlenmesi amaçlanmıştır. Shahnazari ve diğ. tarafından yapılan bir çalışmada [12], AHP ve VIKOR (Öz eleştirel optimizasyon ve uzlaşma çözümü) modelleri kullanılarak hangi kompostlaştırma tipinin en iyi organik gübreyi üretebileceği değerlendirilmiştir. Xi ve diğ. tarafından yapılan bir çalışmada [13] evsel katı atıkların bileşenlerine ayrılması durumunu değerlendirmek için AHP ve ANN (Artificial neural network) modelleri kullanılmıştır. AlHumid ve diğ. tarafından yapılan bir çalışmada [14], evsel katı atık yönetim sistemi uzun vadeli sürdürülebilirlik açısından incelenmiş, sisteminin tüm temel bileşenleri Bulanık AHP aracılığıyla değerlendirilmiştir. Zhou ve diğ. tarafından yapılan bir çalışmada [15], AHP ile FCE (Fuzzy comprehensive evaluation method) birlikte kullanılarak kırsal katı atık tesisi sabit yataklı gazlaştırma işlemi değerlendirilmiştir. Ampofo ve diğ. tarafından yapılan bir çalışmada [16], mevcut depolama sahası konumu değerlendirilmiş ve AHP ve coğrafi bilgi sistemi (CBS) kullanılarak bir belediye mücavir alanı içinde yeni bir depolama sahası için olası yeni bir yer seçilmiştir. Karimzadeh ve diğ. tarafından yapılan bir çalışmada [17], Delphi ve AHP kullanılarak bir evsel katı atık yönetim sistemi sağlık, güvenlik ve çevre açılarından değerlendirilmiştir.

Bu çalışmada; sürdürülebilir evsel katı atık yönetim süreci için SAY minimum kriteri olan kaynakta "ikili ayırma" ana kriter, katı atık yönetim seçenekleri ise karar noktaları olarak seçilmiş ve karar verme aracı olarak ta AHP kullanılmıştır.

Bilindiği gibi AHP, herhangi bir konu veya evsel katı atık yönetimi konusunda karar vermeye yardımcı olmak için kullanılan bir yöntemdir. AHP, karar vericinin kararına göre belirli bir alternatif kümenin önceliklerini belirlemeyi amaçlamaktadır. Yöntem, karar vericinin sezgisel yargılarının önemini ve karar alma sürecinde alternatifleri karşılaştırmada tutarlılığın önemini vurgulamaktadır. Dahası, yöntem karar vericinin davranışıyla iyi uyum sağlamaktadır, çünkü alınan kararlar karar vericinin bilgi ve deneyimine dayanmaktadır [9].

Bu makalenin amacı; SAY minimum kriteri kapsamında uygulanacak evsel katı atık yönetim sürecindeki yönetim seçenek önceliklerine çevresel, ekonomik, sosyal ve teknik alt kriterleri kapsamında AHP kullanılarak karar verilmesidir. Bu kapsamda ikinci bölümde, karar verme problem tanımlanmış, model sürecinde kullanılacak parametrelerle ilgili detaylı bilgi verilmiştir. AHP kapsamında yapılacak çalışmalarla ilgili kullanılacak yöntemler detaylı olarak açıklanmıştır. Üçüncü bölümde, AHP kapsamında yapılan çalışmalar ve elde edilen sonuçlar verilmiştir. Öncelikle seçilen dört alt kriterin (çevresel, ekonomik, sosyal, teknik) kendi içinde ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulmuş ve her bir alt kriter grubu için öncelik vektörü hesaplanmıştır (Bölüm 3.1.1). Ardından her bir ikinci alt kriter için (Bk. Şekil 1), karar noktası olarak seçilen katı atık yönetim seçeneklerinin ikili karşılaştırma matrisleri ve karar noktalarının öncelik vektörleri hesaplanmıştır (Bölüm 3.1.2). Daha sonra her bir alt kriter grubu için karar noktalarının öncelikleri ayrı ayrı belirlenmiştir (Bölüm 3.1.3). Dördüncü bölümde ise elde edilen sonuçlar, literatür göz önüne alınarak tartışılmış ve gelecekte yapılması önerilen çalışmalar özetlenmiştir.



Şekil 1. Modelin yapısı.

Figure 1. The model structure.

2 Yöntem

Bu araştırmada, karar noktaları olarak evsel katı atık yönetim seçenekleri (MGT, KT, BMT, TİT ve DDT) ve karar noktalarını

etkileyen ana kriter olarak ise SAY minimum gerekliliği olan "evsel katı atıkların kaynakta ikili ayrılması" belirlenmiştir. Ana kritere bağlı ilk alt kriterler olarak çevresel, ekonomik, sosyal ve teknik kriterler seçilmiştir. Her bir alt kriter için ikinci alt kriterler olarak beş çevresel, dört ekonomik, üç sosyal ve üç teknik kriter belirlenmiştir (Tablo 3'e bk.). Karar noktalarının tercih sırasını belirlemek amacıyla çok kriterli karar verme yöntemlerinden AHP kullanılmıştır. Bu çalışma kapsamında oluşturulan ve Şekil 1'de verilen modele göre planlanan çalışmalara veri temin etmek için uzman görüşlerine başvurulmuştur. Uzman görüşlerinin alınması anket marifetiyle yapılmıştır. Anket, Google Formlar kullanılarak hazırlanmış ve seçilen uzmanların elektronik posta adreslerine gönderilmiştir. Anket formunda ilk alt kriterlerin kendi içinde ikili karşılaştırıldığı 22 soru ve her bir alt kriter (Çevresel, ekomomik, sosyal ve teknik) açısından katı atık yönetim alternatiflerinin ikili olarak kıyaslandığı 40 soru yer almıştır. Anket çalışmasında, uzmanlardan her soruda iki farklı parametreyi karşılaştırmaları ve kriterleri Tablo 4'te verilen ikili karşılaştırma ölçeği kapsamında değerlendirmeleri istenmiştir. Her bir ikili karşılaştırma sorusunun uzmanlar tarafından cevaplanma süresi en az 1 dk. olacağı ve 62 sorunun cevaplama süresinin 62 ile 90 dk. arasında bir zaman alacağı varsayılmıştır. Uzman tarafından elektronik ortamda işaretlenen nicel veriler, anket bitiminde kendisi tarafından yapılan onaylama neticesinde aynı platform vasıtasıyla anlık olarak elimize ulaşmıştır. Uzman görüşleri MS Excel dokümanına aktarılmış ve AHP analiz süreçleri uygulanmıştır. Anket, 23 uzmanın elektronik posta adreslerine link olarak gönderilmiş ve 11 uzmandan geri bildirim alınabilmiştir. Bu makalede kullanılan veriler, 11 uzmandan gelen 62'şer ikili karşılaştırma nicel verisinin geometrik ortalamasıdır. Her bir ikili karşılaştırma göz önüne alınarak ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulmuş ve oluşturulan ikili karşılaştırma matrislerinin AHP metodolojisine uygun olarak tutarlılık analizleri yapılmıştır. Tutarsız sonuçlu ikili karşılaştırma matrislerdeki nicel değerlerin düzeltilerek, ikili karşılaştırma matrislerinin tutarlı sonuç verecek hale getirilmesi gerekebilmektedir. İkili karşılaştırma matrislerinin tutarlılık analizi yapıldığında çıkan tutarsız sonuçlar, her bir nicel verinin bir birimden fazla değiştirilmemesine dikkat edilerek düzeltilmiştir. İkili karşılaştırma matrislerinde tutarlılık sağlandıktan sonra karar noktalarının bulunması süreçleri devam ettirilmiştir. AHP kapsamında yapılan bütün analizlerde MS Excel kullanılmıştır.

2.1 Evsel katı atık yönetim seçeneklerine karar verme

Sürdürülebilir belediye katı atık yönetim sistemi hiyerarşik bir yapıya sahiptir ve kaynakta atık azaltımından, nihai yönetim seçeneği olarak kabul edilen düzenli depolama alanına kadar tüm adımları kapsayan bir süreç olarak bilinmektedir [1],[2]. Başlıca evsel katı atık yönetim seçenekleri materyal geri dönüşüm (MGT), kompostlaştırma (KT), biyometanizasyon (BMT), termal işlem (TİT) ve düzenli depolama (DDT) olarak verilebilir. Bu yöntemlerle ilgili gerekli açıklamalar Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1'de belirtildiği üzere; MGT tesisi için gerekli atık, kaynakta ikili ayırma gerektirmektedir, aksi takdirde atığın malzeme geri dönüşüm verimliliği düşmekte ve tesisteki iş yükü artmaktadır.

KT veya BMT işlemi için istenen atıklar, çoğunlukla organik mutfak atıkları ve bahçe atıklarıdır. Bu iki prosese uygun atıkların kaynağında üçlü ayırma ile sağlanması durumunda sürdürülebilirlikten söz edilebilir. Kaynağında ikili veya üçlü ayrı toplama sistemlerinin uygulanmasının TİT yönetim seçeneği için de uygun olabileceği bilinmektedir. Sadece bu şekilde daha yüksek kalorifik değere sahip atıkların sisteme TİT sürecine entegre edilmesi sağlanabilir. Daha düşük kalorifik değere ve yüksek su içeriğine sahip organik mutfak atıklarının TİT proseslerinde değerlendirilmesi için ek yakıt gerekebilir.

Tablo 1. Katı atık yönetim seçenekleri ve amaçları.

Table 1. Solid waste management alternatives and objectives.

Yönetim seçeneği	Amaç/beklenti
Materyal geri dönüşüm tesisi, MGT	Katı atık kütlesini oluşturan malzemelerin gruplandırılması, boyut küçültme işlemi, kompostlaştırma işlemine organik madde temini, atık sıkıştırma, geçici depolama ve pazarlama işlemlerinin yapıldığı tesislerdir. Bu tesisler sayesinde atıkların ikincil hammadde proseslerine entegre edilmesi mümkün olabilmektedir. Böylece sürdürülebilir atık yönetimi ve doğal kaynak kullanımının en aza indirilmesi mümkün olabilmektedir.
Kompostlaştırma Tesisi, KT	Bu işlem sayesinde organik maddelerden kompost gübre üretilir. Böylece toprak yapısını iyileştiren ve sürdürülebilir katı atık yönetimine katkıda bulunan çevreye yararlı bir üründür.
Biyometanizasyon tesisi, BMT	Bu işlem sayesinde organik maddeler oksijensiz ortamda biyolojik olarak dönüştürülür ve metan üretilir. Metanın enerji dönüşüm süreçlerine kontrollü olarak aktarılması olumlu olarak değerlendirilse de, kontrol edilmediği takdirde sera gazı olumsuzlukları ortaya çıkabilir.
Termal (ısıl) işlem tesisi, TİT	Yüksek kalorifik değere sahip (>1600kkal/kg) atık için önerilir. TİT prosesleri sonunda baca gazı, sızıntı suyu ve kül ile ilgili kontrol maliyetleri ön plana çıkmakta ve diğer yönetim seçeneklerine göre daha yüksek birim maliyet gerektirmektedir.
Düzenli depolama tesisi, DDT	Atık hiyerarşisi açısından bakıldığında, DDT, diğer adıyla nihai yönetim seçeneği, hangi yönetim seçeneği kullanılırsa kullanılsın ihtiyaç duyulan geleneksel yöntemdir. DDT tesislerinde oluşan sızıntı suyu, depo gazı ve koku kontrolü gerekmektedir.

Sıfır atık yönetmeliği kapsamında, kaynakta atık toplama seçeneklerinin atık yönetim seçeneklerine etkisi ile ilgili bilgi Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Katı atık toplama yöntemlerinin atık yönetim seçeneklerine etkisi [3].

Table 2. The impact of solid waste collection options on waste management alternatives.

Kaynakta ayırma seçenekleri (Ana faktörler)	Katı atık yönetim seçenekleri (Karar noktaları olarak planlanmıştır)				
	MGT	KT	BMT	TİT	DDT
Üçlü ayırma	+	+	+	+	+
İkili ayırma	+	-	-	-	+
Karışık toplama	-	-	-	-	-

Tablo 2'ye göre; üçlü ayrı toplama, beş yönetim alternatifine de olumlu katkıda bulunacak olsa da, karışık toplama durumunda yönetim seçeneklerinin olumsuz etkileneceği düşünülmektedir.

2.2 Evsel katı atık yönetim seçenekleri ile ilgili kriterlerin belirlenmesi

Bu çalışmada, Şekil 1'de görüldüğü gibi karar noktalarını etkilediği düşünülen ana kriter, SAY mininum kriteri olan "kaynakta ikili ayırma ve ayrı toplama"dır. Bu ana kriteri etkileyen dört ilk alt kriter olarak çevresel, ekonomik, sosyal ve teknik kriterler seçilmiştir (Tablo 3). Ayrıca, bu dört alt kriter için ikinci alt kriterler belirlenmiştir. Çevresel kriterler için beş alt kriter [18],[19], ekonomik alt kriterlere bağlı dört ikinci alt kriter [18],[20],[21], sosyal alt kriterlere bağlı üç ikinci alt kriter [18],[21] ve teknik alt kriterlere bağlı üç ikinci alt kriter [18],[22] belirlenmiştir. Ana kriter göz önüne alınarak, on beş ikinci alt kriter kendi içinde ikili karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Ayrıca, karar noktaları da ikili karşılaştırma yoluyla, belirtilen dört alt kriter açısından değerlendirilmiştir.

Tablo 2. Bu çalışmada kullanılan alt kriterler.

Table 3. Sub-criteria for this study.

İlk alt kriterler	İkinci alt kriterler
Çevresel (E)	E1: Daha az atmosferik emisyon
	E2: Daha az yüzey kirliliği
	E3: Daha az toprak kirliliği
	E4: Enerji geri kazanımı
	E5: Doğal kaynak geri kazanımı
Ekonomik (C)	C1: Yatırım maliyeti
	C2: İşletme maliyeti
	C3: Bakım-onarım maliyeti
	C4: Toplama-taşıma maliyeti
Sosyal (S)	S1: Sürdürülebilir şehirler hakkında farkındalık artışı
	S2: Şehir yaşam kalitesinde artış
	S3: Yeni iş imkanları
Teknik (T)	T1: Yapılabilirlik
	T2: Yenilikçilik
	T3: Uzman personel gereksinimi

2.3 Analitik hiyerarşi süreci ile karar verme

ÇKKV yöntemlerinden biri olan AHP, karar vericilere karar alma sürecinde yardımcı olan yöntemlerden biridir. Kararlar bilgi ve deneyime dayalı olarak verildiğinden, karar vericiyle bütünleşen bir yapıya sahiptir. Somut ve soyut kriterleri organize etme yeteneği, bu yaklaşımın en önemli özelliklerinden biridir. Ek olarak, basit çiftler halinde karşılaştırmalar yoluyla karar alma süreci parametreleri arasında kolayca bir bağlantı kurma yeteneği, bu yöntemin bir avantajıdır [13],[23],[24]. AHP ile karar alma sürecinde, her kriter diğer kriterlerle çiftler halinde karşılaştırılır. Karşılaştırma, 1'den (eşit değer) 9'a (aşırı farklı) kadar tam sayı değerleri kullanılarak yapılır. Büyük sayılar, atanan kriterlerin karşılaştırılan diğer kriterlerden daha önemli olduğu anlamına gelir. Çiftler halinde karşılaştırma ölçeği Tablo 4'te verilmiştir [25].ÇKKV yöntemlerinden AHP, karar verme problemlerinde aşağıdaki yedi adım kullanılarak uygulanmaktadır: 1- İkili karşılaştırma matrisinin oluşturulması (ör. Tablo 6); 2- İkili karşılaştırma matrisi kullanılarak karşılaştırılan parametreler için öncelik vektörünün hesaplanması (ör. Tablo 7 ve denklem 1); 3- Temel değerin (λmax) hesaplanması (Ör. Denklemler 2-4); 4-tutarlılık indeks değerinin (CI) hesaplanması (Ör. Denklem 5), 5- ikili olarak karşılaştırılan kriter sayısına (n) bağlı olarak rasgele indeks değerinin (RI) Tablo 5'ten seçilmesi (ör. Tablo 6 için n=5'tir. Tablo 5'ten n=5 için RI=1.12); 6- karşılaştırmaların tutarlı olup olmadığını kontrol etmek için çiftler arası karşılaştırma matrisinin tutarlılık oranının (CR) hesaplanması (Denklem 6). İkili karşılaştırmanın tutarlı olma şartı, CR<0.1 eşitsizliğin sağlanmasıdır. CR>0.1 olması durumunda ilgili ikili karşılaştırma işleminin tutarsız olduğu sonucuna varılır ve matrisin tekrar oluşturulması gerekir.

Tablo 3. İkili karşılaştırma ölçeği.

Table 4. Pair wise comparison scale.

Ölçek	Açıklama
1	Karşılaştırılan iki kriter eşit önemde
3	İlk kriter diğerine göre biraz daha önemli
5	İlk kriter diğerine göre oldukça önemli
7	İlk kriter diğerine göre çok önemli
9	İlk kriter diğerine göre aşırı derecede önemli
2, 4, 6, 8	Ara değerler

Tablo 4. Ortalama rasgele indeks (RI) değerleri(n=5 için)

Table 5. Mean randon index (RI) values (for n=5)

n	RI
1	0
2	0
3	0.58
4	0.90
5	1.12

Tablo 5. Çevresel kriterler için ikili karşılaştırma matrisi.

Table 6. Pair wise comparison matrix for environmental criteria.

	E1	E2	E3	E4	E5
E1	1	1/3	1/4	1/5	1/7
E2	3	1	1/2	1/3	1/5
E3	4	2	1	1/2	1/3
E4	5	3	2	1	1/2
E5	7	5	3	2	1
Toplam	20	11.33	6.75	4.03	2.18

2.4 Uzman görüşlerinin elde edilmesi

Uzman görüşlerinin alınması için Google Formlar kullanılarak ikili karşılaştırma anketleri hazırlanmıştır. AHP hem yargılardaki tutarsızlığa izin verir hem de tutarlılığı iyileştirmek için bir araç sağlar. Başka bir deyişle, AHP karar vericinin bir çift öğeyi alıp bunları tek bir özellik açısından karşılaştırdığı, ancak diğer özellikleri veya diğer unsurları dahil etmediği bir çerçeve sağlar. Bilindiği üzere, AHP için en az bir karar verici varsa, paydaş beklentileri açısından, karar almada sınır yoktur [26]. Yirmi üç uzmana, AHP analizleri için veri sağlamak amacıyla anket linki iletilmiştir. Elektronik anket formunda hem her bir on beş ikinci alt kriterin (beş çevresel, dört ekonomik, üç sosyal, üç teknik) kendi içindeki ikili karşılaştırmaları hem de katı atık yönetim seçeneklerinin belirtilen dört alt kriterlere göre ikili karşılaştırmaları yer almıştır. On beş ikinci alt kriterin kendi içinde kaynakta ikili ayırma ana kriterine göre ikili karşılaştırması için yirmi iki soru, beş katı atık yönetim alternatifinin dört alt kritere göre ikili karşılaştırması için kırk soru ankette yer almıştır. Geri bildirim yapan uzmanların altısı 8 ile 35 yıllık tecrübeye sahip, ankette belirtilen konular kapsamında eğitim ve araştırma faaliyetleri yapmakta olan akademisyenlerdir. Biri bir belediyede atık yönetim süreçlerinde müdür yardımcısı olarak çalışmaktadır ve konuyla ilgili dokuz yıllık tecrübesi bulunmaktadır. Dördü lisansüstü eğitimlerini devam ettiren ve sürdürülebilir çevre yönetim süreçleri ile ilgili çalıştıkları özel firmalarda iki ile yedi yıl tecrübeye sahip uzmanlardır. Geribildirim yapan on bir uzmanın her bir ikili karşılaştırma puanlarının geometrik ortalaması alınmıştır. Elde edilen veriler AHP analizlerinde kullanılmıştır. Yapılan tutarlılık analizlerinde, tutarlı olmayan ikili karşılaştırma verilerinde düzeltmeler yapılmıştır.

3 Bulgular

3.1 AHP kapsamında yapılan analizler ve elde dilen bulgular

Burada, Tablo 3'te verilen kriterlerin, Şekil 1'de verilen model yapısı kapsamındaki AHP analizleri verilmiştir. Analizlerde, Google Formlar kullanılarak uzman görüşlerinin alınmasına yönelik olarak yapılan anket çalışması sonuçları kullanılmıştır. AHP analizlerinin tutarlılık analizi sürecinde, bazı anket verilerinde düzeltme gerekliliği hasıl olmuştur. Yani, AHP sürecinde yapılan hesaplamalarda, ikili karşılaştırılan parametrelerin tutarsız olması durumunda, verilerde uzman görüşlerini olumsuz olarak etkilemeyecek düzeltmeler yapılmıştır. İlk bölümde (Bölüm 3.1.1) çevresel, ekonomik, sosyal ve teknik kriterlerin ikili karşılaştırma matrisleri belirlenmiş ve gerekli hesaplamalar yapılmıştır. Her kriter grubunun kendi içinde kaynakta ikili ayırmaya bağlı olarak oluşan öncelik sıraları da bu bölümde tablolar halinde verilmiştir. Ayrıca; her bir ikili karşılaştırma sonucunda elde edilen çıktıların tutarlılık analiz sonuçları da öncelik sıralamalarının yapıldığı tablolarda verilmiştir. İkinci bölümde (Bölüm 3.1.2) her bir alt kriter için atık yönetim seçeneklerinin ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulmuş ve gerekli hesaplamalar yapılmıştır. Süreçle ilgili hem ikili karşılaştırma matrisleri hem de tutarlılık analizi sonuçları tablolar halinde verilmiştir. Üçüncü bölümde ise (Bölüm 3.1.3), SAY minimum kriteri olan katı atıkların kaynakta ikili ayrılması durumu için, Şekil 1'de planlanan model kapsamında seçilen on beş kritere bağlı olarak yönetim seçenekleri önceliklerinin belirlenmesi yer almaktadır. Bu bölümde; MGT, KT, BMT, TİT ve DDT yönetim seçeneklerinin öncelik sıralaması ile ilgili sonuçlar verilmiştir.

3.1.1 Kriterlerin SAY minimum kriterine göre ikili karşılaştırılması ve tutarlılık analizleri

SAY minimum kriteri, evsel katı atıkların kaynakta ikili olarak ayrılmasıdır. Evsel katı atıkların kaynakta ikili ayrı toplanması ana kriter olarak alınmıştır. Ana kriter göz önüne alınarak ilk alt kriterlerin (Çevresel, ekonomik, sosyal ve teknik) kendi içinde ikili karşılaştırma matrisleri ve gerekli hesaplamalar burada verilmiştir. Çevresel kriterlerin ikili karşılaştırma matrisi ve öncelik vektörü sırasıyla Tablo 6 ve Tablo 7'de verilmiştir. Bu makaledeki tüm ilgili tabloları oluşturma sürecinde (ör. ikili karşılaştırma matrisleri oluşturma, öncelik vektörlerini bulma, tutarlılık analizi yapma ve nihai öncelik vektörlerini belirleme işlemleri), önceki bazı çalışmalarda [3], [25],[27],[28]ayrıntılı olarak açıklandığı gibi Saaty [7]-[9] tarafından önerilen yöntemler kullanılarak yapılmıştır. İkili karşılaştırma matrisi oluşturma ve ilgili hesaplamalar Tablo 6 özelinde burada yapılmıştır. Tablo 6'da görüldüğü gibi beş çevresel ikinci alt kriter SAY minimum kriterine (evsel katı atıkların kaynakta ikili ayrılması) göre ikili olarak karşılaştırılmıştır. Tablonun birinci köşegeninde, kriterlerin kendileriyle karşılaştırılma durumları yer almaktadır ve "eşit önemde" oldukları kabul edilmektedir. Eşit önemde olmayan kriterlerin ikili karşılaştırılması ile ilgili bir örnek olarak E2 kriteri (Daha az yüzey kirliliği) ile E1(Daha az atmosferik emisyon) kriteri karşılaştırılmış ve E2'nin E1'den "biraz daha önemli" olduğu kararı verilerek "3" değeri atanmıştır. Birinci köşegene göre simetrik hücreye atana değer, "3" değerinin tersi olan "1/3" olmuştur. Tablo 6'nın son satırı, her bir çevresel kriter değerinin sütun toplamlarından elde edilmektedir (E1 çevresel kriterinin bulunduğu sütun için hesap: 1+3+4+5+7=20).

Tablo 7. Çevresel kriterler için öncelik vektörü ve tutarlılık analizi sonuçları.

Table 7. The resuls of priority vector and consistency analysis for environmental criteria.

	E1	E2	E3	E4	E5	Öncelik vektörü
E1	0.050	0.029	0.037	0.049	0.066	0.046
E2	0.150	0.088	0.074	0.083	0.092	0.097
E3	0.200	0.177	0.148	0.124	0.153	0.161
E4	0.250	0.265	0.296	0.248	0.230	0.258
E5	0.350	0.441	0.445	0.496	0.459	0.438
						Σ=1.00
λ_{max} =5.08, CI=0.02, RI=1.12, CR=0.018<0.1 Tutarlı						

Tablo 7'de, Tablo 6 için hesaplanmış öncelik vektörü ve tutarlılık analizi sonuçları görülmektedir. Tablo 7 özelinde öncelik vektör hesabı ve tutarlılık analizi işlemleri burada ayrıntılı olarak verilmiştir. Tablo 6'nın her bir hücresindeki sayı, ilgili sayının bulunduğu sütun toplamına bölünerek Tablo 7'deki ikili karşılaştırma hücrelerindeki oranlar elde edilmektedir (Ör. Tablo 7'deki 0.350 sayısı; Tablo 6'daki 7 sayısının, Tablo 6'daki 7 sayısının bulunduğu sütundaki öğelerin toplamı olan 20 sayısına bölünmesiyle elde edilmiştir: 7/20= 0.350). Tablo 7'teki öncelik vektörü (Tablo 6 için eşitlik 1), her bir satırın aritmetik ortalaması alınarak elde edilmektedir (Ör. Tablo 7'deki öncelik vektörünün ilk satırındaki 0.046 değerinin hesabı: 0.050+0.029+0.037+0.049+0.066=0,231 ve 0.231/5=0.0462). Tablo 6'da ikili karşılaştırılan çevresel kriterler için öncelik vektörünün yuvarlatılmamış sayı değerleri Denklem 1'de verilmiştir.

$$A = \begin{bmatrix} 0.0463362185651237 \\ 0.0973715432406735 \\ 0.160351709010598 \\ 0.257739072545588 \\ 0.438201456638017 \end{bmatrix} \quad (1)$$

Çevresel kriterlerin kendi içinde ikili karşılaştırmasının verildiği matris (Tablo 6) ile ilgili tutarlılık oranı (CR) hesaplama adımları (Tablo 7'deki değerlerin elde edilmesi süreci), Denklem 2 ile Denklem 6 arasında verilmiştir.

$$\begin{bmatrix} 1 & 1/3 & 1/4 & 1/5 & 1/7 \\ 3 & 1 & 1/2 & 1/3 & 1/5 \\ 4 & 2 & 1 & 1/2 & 1/3 \\ 5 & 3 & 2 & 1 & 1/2 \\ 7 & 5 & 3 & 2 & 1 \end{bmatrix} \text{xA=} \begin{bmatrix} 0.233029349498261 \\ 0.490109368950809 \\ 0.815376358237906 \\ 1.32133894143343 \\ 2.24594597492022 \end{bmatrix} \quad (2)$$

Denklem 2'de görüldüğü gibi; Tablo 6'daki ikili karşılaştırma matrisi ile Tablo 7'deki öncelik vektörünün (denklem 1 ya da A) matris çarpımı yapılmıştır. Matris çarpım neticesinde elde edilen vektörün her bir elemanı karşılıklı olarak Tablo 7'de veya denklem 1'de verilen öncelik vektörüne bölünerek denklem 3'teki sonuca ulaşılmaktadır.

$$\begin{bmatrix} 0.233029349498261 \\ 0.490109368950809 \\ 0.815376358237906 \\ 1.32133894143343 \\ 2.24594597492022 \end{bmatrix} \div \text{A=} \begin{bmatrix} 5.02909725295661 \\ 5.03339428172978 \\ 5.08492465262104 \\ 5.12665358955118 \\ 5.12537313808046 \end{bmatrix} \quad (3)$$

Denklem 3'te elde edilen sonuç vektörünün elemanlarının aritmetik ortalaması alınarak temel değer (λ_{max}) elde edilmiş ve denklem 4'te verilmiştir.

$$\lambda_{max} = \frac{(5.03 + 5.03 + 5.08 + 5.13 + 5.13)}{5} = 5.08 \quad (4)$$

Bu aşamada; yukarıda elde edilen bilgiler kullanılarak tutarlılık indeks değeri (CI) hesaplanabilir. CI değeri, Tablo 6'da ikili karşılaştırılan parametre sayısı (n=5) ve temel değer kullanılarak hesaplanmış ve denklem 5'te verilmiştir.

$$CI = \frac{\lambda - n}{n - 1} = \frac{5.08 - 5}{5 - 1} = 0.02 \quad (5)$$

İkili karşılaştırılan parametre sayısına bağlı olarak Tablo 5'ten rasgele indeks değeri seçilmiş (n=5 için, RI=1.12), tutarlılık oranı Tablo 6'daki ikili karşılaştırma matrisi için bulunmuş ve denklem 6'da verilmiştir.

$$CR = \frac{CI}{RI} = \frac{0.02}{1.12} = 0.018 \quad (6)$$

Tutarlılık oranı, CR=0.018<0.1 olduğundan Tablo 6'da verilen çevresel kriterlerin SAY minimum şartı kapsamında yapılan ikili karşılaştırmasının tutarlı olduğu sonucuna varılmıştır.

Bu makale kapsamında yapılan tüm ikili karşılaştırma, öznitelik vektörü bulma ve tutarlılık analizleri, yukarıda aşama aşama detaylı olarak verilen prosedür uygulanarak yapılmıştır.

Ekonomik kriterlerin ikili karşılaştırma matrisi ve öncelik vektörü sırasıyla Tablo 8 ve Tablo 9'da verilmiştir. Tablo 8'e göre; C3 kriteri ile C1 kriterinin ikili karşılaştırılmasında taktir edilen sayı 6'dır ve Tablo 4'e göre ara değer olarak nitelendirilmektedir. C3'ün C1'e göre "oldukça önemli" ile "çok önemli" arasında bir ölçekte değerlendirilmektedir. Diğer bir örnek özelinde Tablo 8'de bir okuma daha yapılırsa; C3 kriteri C4 kriterine göre "oldukça önemli" olarak nitelendirilmiştir. Çünkü ikili karşılaştırma sayısal değeri 7 olarak belirlenmiştir (Bk. Tablo 4).

Tablo 6. Ekonomik kriterler için ikili karşılaştırma matrisi.

Table 8. Pair wise comparison matrix for economic criteria.

	C1	C2	C3	C4
C1	1	1/3	1/6	3
C2	3	1	1/4	4
C3	6	4	1	7
C4	1/3	1/4	1/7	1
Toplam	10.30	5.58	1.56	15

Tablo 7. Ekonomik kriterler için öncelik vektörü ve tutarlılık analizi sonuçları.

Table 9. The resuls of priority vector and consistency analysis for economic criteria.

	C1	C2	C3	C4	Öncelik vektörü
C1	0.097	0.060	0.107	0.200	0.116
C2	0.290	0.179	0.160	0.267	0.224
C3	0.581	0.716	0.641	0.467	0.601
C4	0.032	0.045	0.092	0.066	0.059
					Σ=1.00

λ_{max} =4.18, CI=0.06, RI=0.9, CR=0.07<0.1 Tutarlı

Tablo 9'da; dört ekonomik kriterin SAY minimum şartı kapsamında yapılan ikili karşılaştırması neticesinde elde edilen öncelik vektörü ve tutarlılık analizi sonuçları görülmektedir. Öncelik vektöründe en yüksek öncelik %60.1 (ya da 0.601) sayısal değeri ile C3 kriterine aittir. Ekonomik kriterlerin SAY minimum şartı kapsamındaki değerlendirmeye göre öncelik sırası C3>C2>C1>C4 biçimindedir. Tutarlılık oranı CR=0.07<0.1 olarak hesaplandığından, AHP kapsamında yapılan analizlerin tutarlı olduğu sonucuna varılmaktadır.

Sosyal kriterlerin ikili karşılaştırma matrisi ve öncelik vektörü sırasıyla Tablo 10 ve Tablo 11'de verilmiştir.

Tablo 8. Sosyal kriterler için ikili karşılaştırma matrisi.

Table 10. Pair wise comparison matrix for social criteria .

	S1	S2	S3
S1	1	1	5
S2	1	1	4
S3	1/5	1/4	1
Toplam	2.20	2.25	10

Sosyal kriterlerin ikili karşılaştırmalarının verildiği Tablo 10'a göre; S1 (Sürdürülebilir şehirler hakkında farkındalık artışı) kriteri S3 (Yeni iş imkânları) kriterine göre oldukça önemli olduğu anlaşılmaktadır. Çünkü S1 ile S3 sosyal kriterlerinin ikili karşılaştırmasında sayısal değeri uzman anketleri geometrik ortalaması gereği 5 olarak elde edilmiştir (Bk. Tablo 4).

Tablo 9. Sosyal kriterler için öncelik vektörü ve tutarlılık analizi sonuçları.

Table 11. The resuls of priority vector and consistency analysis for social criteria.

	S1	S2	S3	Öncelik vektörü
S1	0.455	0.444	0.500	0.466
S2	0.455	0.444	0.400	0.433
S3	0.090	0.112	0.100	0.101
				Σ=1.00

λ_{max}=3.01, CI=0.003, RI=0.58, CR=0.005<0.1 Tutarlı

Tablo 11'de, sosyal kriterlerin ikili karşılaştırılması neticesinde elde edilen öncelik vektörü ve tutarlılık analizi sonuçları görülmektedir. Öncelik vektöründe en yüksek öncelik %46.6 (ya da 0.466) sayısal değeri ile C3 (Bakım-onarım maliyeti) kriterine aittir. Sosyal kriterlerin SAY minimum şartı kapsamında yapılan değerlendirmesine göre öncelik sırası S1>S2>S3 biçimindedir. Tutarlılık oranı CR=0.005<0.1 olarak hesaplandığından, AHP kapsamında yapılan analizin tutarlı olduğu sonucuna varılmaktadır.

Teknik kriterlerin ikili karşılaştırma matrisi ve öncelik vektörü sırasıyla Tablo 12 ve Tablo 13'te verilmiştir.

Tablo 10. Teknik kriterler için ikili karşılaştırma matrisi.

Table 12. Pair wise comparison matrix for tecnical criteria.

	T1	T2	T3
T1	1	3	1/4
T2	1/3	1	1/7
T3	4	7	1
Toplam	5.33	11	1.39

Tablo 11. Teknik kriterler için öncelik vektörü ve tutarlılık analizi sonuçları.

Table 13. The resuls of priority vector and consistency analysis for technical criteria.

	T1	T2	T3	Öncelik vektörü
T1	0.188	0.273	0.179	0.213
T2	0.062	0.091	0.103	0.085
T3	0.750	0.636	0.718	0.702
				Σ=1.00

λ_{max}=3.03 CI=0.02, RI=0.58, CR=0.03<0.1 Tutarlı

Teknik kriterlerin ikili karşılaştırmalarının verildiği Tablo 12'ye göre; T3 (Uzman personel gereksinimi) kriteri T2 (Yenilikçilik) kriterine göre çok önemli olduğu anlaşılmaktadır. Çünkü T3 ile T2 teknik kriterlerinin ikili karşılaştırmasında 7 sayısal değeri uygun görülmüştür.

Tablo 13'te; üç teknik kriterin ikili karşılaştırılması neticesinde elde edilen öncelik vektörü ve tutarlılık analizi sonuçları görülmektedir. Tablo 13'e göre en yüksek öncelik %70.2 (Ya da 0.702) sayısal değeri ile T3 kriterine aittir. Öncelik sırası T3>T1>C2 biçimindedir. Tutarlılık oranı, CR=0.03<0.1 olarak hesaplandığından, AHP kapsamında yapılan analizlerin tutarlı olduğu sonucuna varılmaktadır.

3.1.2 Katı atık yönetim seçeneklerinin model için seçilen kriterlere göre ikili karşılaştırması ve tutarlılık analizleri

Modelde, ana kriter göz önüne alınarak seçilen dört ilk alt kriter için beş çevresel, dört ekonomik, üç sosyal ve üç teknik ikinci alt kriter belirlenmiştir. Bu seçilen on beş ikinci alt kriterin her biri için yönetim seçeneklerinin ikili karşılaştırma matrisleri ve AHP kapsamında yapılan ilgili analizleri burada verilmiştir (Bk. Tablo 3). İlk alt kriterlerden "Çevresel" kriteri kapsamında seçilen "daha az atmosferik emisyon (E1)" ikinci alt kriteri için yönetim seçeneklerinin ikili karşılaştırma matrisi ve öncelik vektörü sırasıyla Tablo 14 ve Tablo 15'te verilmiştir.

Tablo 12. Katı atık yönetim seçeneklerinin "daha az atmosferik emisyon" kriterine göre ikili karşılaştırma matrisi.

Table 14. Pairwise comparison matrix of solid waste management alternatives according to the "less atmospheric emissions" criterion.

E1	MGT	KT	BMT	TİT	DDT
MGT	1	5	5	7	7
KT	1/5	1	1	2	2
BMT	1/5	1	1	2	2
TİT	1/7	1/2	1/2	1	1/3
DDT	1/7	1/2	1/2	3	1
Toplam	1.686	8	8	15	12.33

Tablo 13. Katı atık yönetim seçeneklerinin "daha az atmosferik emisyon" kriterine göre öncelik sıralaması ve tutarlılık analizleri.

Table 15. Prioritization and consistency analysis of management alternatives according to the "less atmospheric emissions" criterion.

E1	MGT	KT	BMT	TİT	DDT	Öncelik vektörü
MGT	0.592	0.626	0.626	0.467	0.568	0.575
KT	0.119	0.125	0.125	0.133	0.162	0.133
BMT	0.119	0.125	0.125	0.133	0.162	0.133
TİT	0.085	0.062	0.062	0.067	0.027	0.061
DDT	0.085	0.062	0.062	0.200	0.081	0.098
						Σ=1.00

λ_{max} =5.177, CI=0.044, RI=1.12, CR=0.04<0.1 Tutarlı.

Tablo 14'te; MGT ile DDT yönetim seçeneklerinin "daha az atmosferik emisyon (E1)" ikinci alt kriteri için yapılan ikili karşılaştırması örnek olarak incelenebilir. Tablo 14'e göre, "Materyal geri dönüşüm tesisi (MGT)" yönetim seçeneğinin "Düzenli depolama tesisi (DDT)" yönetim seçeneğine göre çok daha önemli olduğu anlaşılmaktadır (Çünkü ikili karşılaştırmada sayısal değer olarak 7 sayısal değeri uygun görülmüştür).

Tablo 15'te; beş evsel katı atık yönetim seçeneğinin SAY minimum şartı (Evsel katı atıkların kaynakta ikili ayrılması gerekliliği) kapsamında çevresel kriterlerden "Daha az atmosferik emisyon (E1)" kriterine göre yapılan ikili karşılaştırma neticesinde elde edilen öncelik vektörü ve tutarlılık analizi sonuçları görülmektedir. Yönetim seçeneklerinden en yüksek öncelik %57.50 (Ya da 0.5750) sayısal değeri ile "Materyal geri dönüşüm tesisi (MGT)" yönetim seçeneğine aittir. SAY minimum şartı kapsamında yapılan ikili karşılaştırmalardan elde edilen AHP analiz sonuçlarına göre, E1 (Daha az atmosferik emisyon) çevresel ikinci alt kriteri kapsamında yönetim seçeneklerinin öncelik sırası MGT>KT=BMT>DDT>TİT biçimindedir. Tablo 15'te tutarlılık oranı, CR=0.04<0.1 olduğundan Tablo 14'te verilen ikili karşılaştırmaların tutarlı olduğu sonucuna varılmaktadır.

Çevresel alt kriteri kapsamında seçilen "Daha az yüzeysel su kirliliği (E2)" ikinci alt kriteri için, yönetim seçeneklerinin ikili karşılaştırma matrisi ve öncelik vektörü sırasıyla Tablo 16 ve Tablo 17'de verilmiştir.

Tablo 14. Katı atık yönetim seçeneklerinin "daha az yüzeysel su kirliliği" kriterine göre ikili karşılaştırma matrisi.

Table 16. Pairwise comparison matrix of solid waste management alternatives according to the "less surface water pollution" criterion.

E2	MGT	KT	BMT	TİT	DDT
MGT	1	2	2	5	3
KT	1/2	1	1	4	1/2
BMT	1/2	1	1	4	1/2
TİT	1/5	1/4	1/4	1	1/3
DDT	1/3	2	2	3	1
Toplam	2.533	6.25	6.25	17	5.333

Tablo 16'da; "Düzenli depolama tesisi (DDT) ile "Termal (ısıl) işlem tesisi (TİT)" yönetim seçeneklerinin "Daha az yüzeysel su kirliliği (E2)" ikinci alt kriterine göre ikili karşılaştıması örnek olarak incelenebilir. Tablo 16'dan; "Düzenli depolama tesisi (DDT)" yönetim seçeneğinin "Termal (ısıl) işlem tesisi (TİT)" yönetim seçeneğinine göre biraz daha önemli olduğu anlaşılmaktadır.

Tablo 15. Katı atık yönetim seçeneklerinin "daha az yüzeysel su kirliliği" kriterine göre öncelik sıralaması ve tutarlılık analizleri.

Table 17 Prioritization and consistency analysis of management alternatives according to the "less surface water pollution" criterion.

E2	MGT	KT	BMT	TİT	DDT	Öncelik vektörü
MGT	KT	BT	Tİ	DDT	0.563	0.379
KT	0.197	0.160	0.160	0.235	0.093	0.169
BMT	0.197	0.160	0.160	0.235	0.093	0.169
TİT	0.079	0.040	0.040	0.059	0.063	0.056
DDT	0.131	0.320	0.320	0.177	0.188	0.227
						Σ=1.00

λ_{max} =5.209, CI=0.052, RI=1.12, CR=0.09<0.1 Tutarlı.

Tablo 17'de; beş evsel katı atık yönetim seçeneğinin çevresel kriterlerden "Daha az yüzeysel su kirliliği (E2)" kriterine göre yapılan ikili karşılaştırma neticesinde elde edilen öncelik vektörü ve tutarlılık analizi sonuçları görülmektedir. Tablo 17'ye göre, katı atık yönetim seçeneklerinden en yüksek öncelik %37.90 ile "Materyal geri dönüşüm tesisi (MGT)" karar noktasına aittir. E2 çevresel kriteri kapsamında katı atık yönetim seçeneklerinin öncelik sırası MGT>DDT>KT=BMT>TİT biçimindedir. Tablo 17'de tutarlılık oranı, CR=0.09<0.1 olduğundan Tablo 16'da verilen ikili karşılaştırmaların tutarlı olduğu sonucuna varılmaktadır.

Çevresel alt kriteri kapsamında seçilen "Daha az toprak kirliliği (E3)" ikinci alt kriteri için, yönetim seçeneklerinin ikili karşılaştırma matrisi ve öncelik vektörü sırasıyla Tablo 18 ve Tablo 19'da verilmiştir.

Tablo 16. Katı atık yönetim seçeneklerinin "daha az toprak kirliliği" kriterine göre ikili karşılaştırma matrisi.

Table 18. Pairwise comparison matrix of solid waste management alternatives according to the "less soil pollution" criterion.

E3	MGT	KT	BMT	TİT	DDT
MGT	1	4	2	3	7
KT	1/4	1	1/5	1/4	1
BMT	1/2	5	1	1	4
TİT	1/3	4	1	1	4
DDT	1/7	1	1/4	1/4	1
Toplam	2.226	15	4.45	5.5	17

Tablo 18'de; "Biyometanizasyon tesisi (BMT) ile "Kompostlaştırma tesisi (KT)" yönetim seçeneklerinin "Daha az toprak kirliliği (E3)" ikinci alt kriterine göre ikili karşılaştıması örnek olarak incelenebilir. Tablo 18'den; "Biyometanizasyon tesisi (BMT)" yönetim seçeneğinin ""Kompostlaştırma tesisi (KT)" yönetim seçeneğinine göre oldukça önemli olduğu anlaşılmaktadır.

Tablo 17. Katı atık yönetim seçeneklerinin "daha az toprak kirliliği" kriterine göre öncelik sırası ve tutarlılık analizleri.

Table 19. Prioritization and consistency analysis of solid waste management alternatives according to the "less soil pollution" criterion.

E3	MGT	KT	BMT	TİT	DDT	Öncelik vektörü
MGT	0.450	0.267	0.449	0.546	0.412	0.425
KT	0.112	0.067	0.045	0.045	0.059	0.065
BMT	0.224	0.333	0.225	0.182	0.235	0.240
TİT	0.150	0.267	0.225	0.182	0.235	0.212
DDT	0.064	0.066	0.056	0.045	0.059	0.058
						Σ=1.00

λ_{max} =5.12, CI=0.03, RI=1.12, CR=0.027<0.1 Tutarlı

Tablo 19'da; beş evsel katı atık yönetim seçeneğinin çevresel kriterlerden "Daha az toprak kirliliği (E3)" kriterine göre yapılan ikili karşılaştırma neticesinde elde edilen öncelik vektörü ve tutarlılık analizi sonuçları görülmektedir. Tablo 19'a göre, katı atık yönetim seçeneklerinden en yüksek öncelik %42.25 (Ya da 0.425) sayısal değeri ile "Materyal geri dönüşüm tesisi (MGT) karar noktasına aittir. E3 (Daha az az toprak kirliliği) çevresel kriteri kapsamında yönetim seçeneklerinin öncelik sırası MGT>BMT>TİT>KT>DDT biçimindedir. Tablo 19'da tutarlılık oranı, CR=0.027<0.1 olduğundan Tablo 18'de verilen ikili karşılaştırmaların tutarlı olduğu sonucuna varılmaktadır.

Çevresel alt kriteri kapsamında seçilen "Enerji geri kazanımı (E4)" ikinci alt kriteri için, yönetim seçeneklerinin ikili karşılaştırma matrisi ve öncelik vektörü sırasıyla Tablo 20 ve Tablo 21'de verilmiştir.

Tablo 18. Katı atık yönetim seçeneklerinin "enerji geri kazanımı" kriterine göre ikili karşılaştırma matrisi.

Table 20. Pairwise comparison matrix of solid waste management alternatives according to the "energy recovery" criterion.

E4	MGT	KT	BMT	TİT	DDT
MGT	1	1	1/5	1/9	1/5
KT	1	1	1/3	1/8	1/5
BMT	5	3	1	1/3	1
TİT	9	8	3	1	3
DDT	5	5	1	1/3	1
Toplam	21	18	5.533	1.903	5.4

Tablo 20'de; "Termal (ısıl) işlem tesisi (TİT)" ile "Materyal geri dönüşüm tesisi (MGT)" yönetim seçeneklerinin "enerji geri kazanımı (E4)" ikinci alt kriterine göre ikili karşılaştıması örnek olarak incelenebilir. Tablo 20'den; "Termal (ısıl) işlem tesisi (TİT)" yönetim seçeneğinin "Materyal geri dönüşüm tesisi (MGT)" yönetim seçeneğinine göre aşırı derecede önemli olduğu anlaşılmaktadır (Çünkü ikili karşılaştırmada sayısal değer olarak 9 sayısal değeri uygun görülmüştür).

Tablo 21. Katı atık yönetim seçeneklerinin "enerji geri kazanımı" kriterine göre öncelik sırası ve tutarlılık analizleri.

Table 21. Prioritization and consistency analysis of solid waste management alternatives according to the "energy recovery" criterion.

E4	MGT	KT	BMT	TİT	DDT	Öncelik vektörü
MGT	0.048	0.055	0.036	0.058	0.037	0.047
KT	0.048	0.055	0.060	0.066	0.037	0.053
BMT	0.238	0.167	0.181	0.175	0.185	0.189
TİT	0.428	0.444	0.542	0.526	0.556	0.499
DDT	0.238	0.278	0.181	0.175	0.185	0.212
						Σ=1.00

λ_{max} =5.054, CI=0.015, RI=1.12, CR=0.013<0.1 Tutarlı

Tablo 21'de; beş evsel katı atık yönetim seçeneğinin çevresel kriterlerden "Daha az toprak kirliliği (E4)" kriterine göre yapılan ikili karşılaştırma neticesinde elde edilen öncelik vektörü ve tutarlılık analizi sonuçları görülmektedir. Tablo 21'e göre, katı atık yönetim seçeneklerinden en yüksek öncelik %49.90 (Ya da 0.499) sayısal değeri ile "Termal (ısıl) işlem tesisi (TİT)" karar noktasına aittir. E4 (Daha az toprak kirliliği) çevresel kriteri kapsamında yönetim seçeneklerinin öncelik sırası TİT>DDT>BMT>KT>MGT biçimindedir. Tablo 21'de tutarlılık oranı, CR=0.013<0.1 olduğundan Tablo 20'de verilen ikili karşılaştırmaların tutarlı olduğu sonucuna varılmaktadır.

Çevresel alt kriteri kapsamında seçilen "Doğal kaynak geri kazanımı (E5)" ikinci alt kriteri için, yönetim seçeneklerinin ikili karşılaştırma matrisi ve öncelik vektörü sırasıyla Tablo 22 ve Tablo 23'te verilmiştir.

Tablo 19. Katı atık yönetim seçeneklerinin "doğal kaynak geri kazanımı" kriterine göre ikili karşılaştırma matrisi.

Table 22. Pairwise comparison matrix of solid waste management alternatives according to the "natural resources recovery" criterion.

E5	MGT	KT	BMT	TİT	DDT
MGT	1	4	4	8	9
KT	1/4	1	1	4	4
BMT	1/4	1	1	4	4
TİT	1/8	1/4	1/4	1	1
DDT	1/9	1/4	1/4	1	1
Toplam	1.736	6.5	6.5	18	19

Tablo 22'de; "Materyal geri dönüşüm tesisi (MGT)" ile "Termal (ısıl) işlem tesisi (TİT)" yönetim seçeneklerinin "doğal kaynak geri kazanımı (E5)" ikinci alt kriterine göre ikili karşılaştıması örnek olarak incelenebilir. Tablo 22'den; "Materyal geri dönüşüm tesisi (MGT)" yönetim seçeneğinin "Termal (ısıl) işlem tesisi (TİT)" yönetim seçeneğinine göre çok önemli ile aşırı derecede önemli arasında bir öneme sahip olduğu anlaşılmaktadır (Çünkü ikili karşılaştırmada sayısal değer olarak 8 uygun görülmüştür).

Tablo 20. Katı atık yönetim seçeneklerinin "doğal kaynak geri kazanımı" kriterine göre öncelik sıralaması ve tutarlılık analizleri.

Table 23. Prioritization and consistency analysis of solid waste management alternatives according to the "natural resources recovery" criterion.

E5	MGT	KT	BMT	TİT	DDT	Öncelik vektörü
MGT	0.576	0.616	0.616	0.444	0.474	0.545
KT	0.144	0.154	0.154	0.223	0.211	0.177
BMT	0.144	0.154	0.154	0.223	0.211	0.177
TİT	0.072	0.038	0.038	0.055	0.052	0.051
DDT	0.064	0.038	0.038	0.055	0.052	0.050
						Σ=1.00

λ_{max} =5.066, CI=0.016, RI=1.12, CR=0.0147<0.1 Tutarlı

Tablo 23'te; beş evsel katı atık yönetim seçeneğinin çevresel kriterlerden "Doğal kaynak geri kazanımı (E5)" kriterine göre yapılan ikili karşılaştırma neticesinde elde edilen öncelik vektörü ve tutarlılık analizi sonuçları görülmektedir. Tablo 23'e göre, katı atık yönetim seçeneklerinden en yüksek öncelik %54.50 (Ya da 0.545) sayısal değeri ile "Materyal geri dönüşüm tesisi (MGT)" karar noktasına aittir. E5 (Doğal kaynak geri kazanımı) çevresel kriteri kapsamında yönetim seçeneklerinin öncelik sırası MGT>BMT=KT>TİT>DDT biçimindedir. Tablo 23'te tutarlılık oranı, CR=0.0147<0.1 olduğundan Tablo 22'de verilen ikili karşılaştırmaların tutarlı olduğu sonucuna varılmaktadır.

Ekonomik alt kriteri kapsamında seçilen "Yatırım maliyeti (C1)" ikinci alt kriteri için, yönetim seçeneklerinin ikili karşılaştırma matrisi ve öncelik vektörü sırasıyla Tablo 24 ve Tablo 25'te verilmiştir

Tablo 21. Katı atık yönetim seçeneklerinin "yatırım maliyeti" kriterine göre ikili karşılaştırma matrisi.

Table 24. Pairwise comparison matrix of solid waste management alternatives according to the "initial investment costs" criterion.

C1	MGT	KT	BMT	TİT	DDT
MGT	1	1	2	5	3
KT	1	1	2	5	1/2
BMT	1/2	1/2	1	2	1/4
TİT	1/5	1/5	1/2	1	1/4
DDT	1/3	2	4	4	1
Toplam	3.033	4.7	9.5	17	5

Tablo 22. Katı atık yönetim seçeneklerinin "yatırım maliyeti" kriterine göre öncelik sıralaması ve tutarlılık analizleri.

Table 25. Prioritization and consistency analysis of management alternatives according to the "initial investment costs" criterion.

C1	MGT	KT	BMT	TİT	DDT	Öncelik vektörü
MGT	0.329	0.213	0.210	0.294	0.600	0.329
KT	0.329	0.213	0.210	0.294	0.100	0.229
BMT	0.165	0.106	0.106	0.118	0.050	0.109
TİT	0.066	0.042	0.053	0.059	0.050	0.054
DDT	0.111	0.426	0.421	0.235	0.200	0.279
						Σ=1.00

λ_{max} =5.366, CI=0.092, RI=1.12, CR=0.082<0.1 Tutarlı

Tablo 24'te; "Kopmpostlaştırma tesisi (KT)" ile "Termal (ısıl) işlem tesisi (TİT)" yönetim seçeneklerinin "yatırım maliyeti (C1)" ikinci alt kriterine göre ikili karşılaştıması örnek olarak incelenebilir. Tablo 24'ten; "Kopmpostlaştırma tesisi (KT)" yönetim seçeneğinin "Termal (ısıl) işlem tesisi (TİT)" yönetim seçeneğinine göre oldukça önemli olduğu anlaşılmaktadır (Çünkü ikili karşılaştırmada sayısal değer olarak 5 uygun görülmüştür).

Tablo 25'te; beş evsel katı atık yönetim seçeneğinin ekonomik kriterlerden "yatırım maliyeti (C1)" kriterine göre yapılan ikili karşılaştırma neticesinde elde edilen öncelik vektörü ve tutarlılık analizi sonuçları görülmektedir. Tablo 25'e göre, katı atık yönetim seçeneklerinden en yüksek öncelik %32.90 (Ya da 0.329) sayısal değeri ile "Materyal geri dönüşüm tesisi (MGT)" karar noktasına aittir. C1 (yatırım maliyeti) ekonomik kriteri kapsamında yönetim seçeneklerinin öncelik sırası MGT>DDT>KT>BMT>TİT biçimindedir. Tablo 25'te tutarlılık oranı, CR=0.082<0.1 olduğundan Tablo 24'te verilen ikili karşılaştırmaların tutarlı olduğu sonucuna varılmaktadır.

Ekonomik alt kriteri kapsamında seçilen "işletme maliyeti (C2)" ikinci alt kriteri için, yönetim seçeneklerinin ikili karşılaştırma matrisi ve öncelik vektörü sırasıyla Tablo 26 ve Tablo 27'de verilmiştir.

Tablo 23. Katı atık yönetim seçeneklerinin "işletme maliyeti" kriterine göre ikili karşılaştırma matrisi.

Table 26. Pairwise comparison matrix of solid waste management alternatives according to the "operational costs" criterion.

C2	MGT	KT	BMT	TİT	DDT
MGT	1	1	3	5	2
KT	1	1	2	4	1/3
BMT	1/3	1/2	1	3	1/4
TİT	1/5	1/4	1/3	1	1/4
DDT	1/2	3	4	4	1
Toplam	3.033	5.75	10.33	17	3.833

Tablo 26'da; "Kopmpostlaştırma tesisi (KT)" ile "Materyal geri dönüşüm (MGT)" yönetim seçeneklerinin "işletme maliyeti (C2)" ikinci alt kriterine göre ikili karşılaştıması örnek olarak incelenebilir. Tablo 26'dan; "Kopmpostlaştırma tesisi (KT)" yönetim seçeneğinin "Materyal geri dönüşüm (MGT)" yönetim seçeneği ile eşit önemde olduğu anlaşılmaktadır (Çünkü ikili karşılaştırmada sayısal değer olarak 1 uygun görülmüştür).

Tablo 27. Katı atık yönetim seçeneklerinin "işletme maliyeti" kriterine göre öncelik sıralaması ve tutarlılık analizleri.

Table 27. Prioritization and consistency analysis of solid waste management alternatives according to the "operational costs" criterion.

C2	MGT	KT	BMT	TİT	DDT	Öncelik vektörü
MGT	0.329	0.174	0.290	0.294	0.522	0.322
KT	0.329	0.174	0.194	0.235	0.087	0.204
BMT	0.111	0.087	0.097	0.177	0.065	0.107
TİT	0.066	0.043	0.032	0.059	0.065	0.053
DDT	0.165	0.522	0.387	0.235	0.261	0.314
						Σ=1.00

λ_{max} =5.318, CI=0.079, RI=1.12, CR=0.071<0.1 Tutarlı

Tablo 27'de; beş evsel katı atık yönetim seçeneğinin ekonomik kriterlerden "işletme maliyeti (C2)" kriterine göre yapılan ikili karşılaştırma neticesinde elde edilen öncelik vektörü ve tutarlılık analizi sonuçları görülmektedir. Tablo 27'ye göre, katı atık yönetim seçeneklerinden en yüksek öncelik %32.20 (Ya da 0.322) sayısal değeri ile "Materyal geri dönüşüm tesisi (MGT)" karar noktasına aittir. C2 (işletme maliyeti) ekonomik kriteri kapsamında yönetim seçeneklerinin öncelik sırası MGT>DDT>KT>BMT>TİT biçimindedir. Tablo 27'de tutarlılık oranı, CR=0.071<0.1 olduğundan Tablo 26'da verilen ikili karşılaştırmaların tutarlı olduğu sonucuna varılmaktadır.

Ekonomik alt kriteri kapsamında seçilen "bakım-onarım maliyeti (C3)" ikinci alt kriteri için, yönetim seçeneklerinin ikili karşılaştırma matrisi ve öncelik vektörü sırasıyla Tablo 28 ve Tablo 29'da verilmiştir.

Tablo 24. Katı atık yönetim seçenekleri seçeneklerinin "bakım-onarım maliyeti" kriterine göre ikili karşılaştırma matrisi.

Table 28. Pairwise comparison matrix of solid waste management alternatives according to the "maintenance costs" criterion.

C3	MGT	KT	BMT	TİT	DDT
MGT	1	1/2	4	6	1/3
KT	2	1	4	6	1/2
BMT	1/4	1/4	1	3	1/4
TİT	1/6	1/6	1/3	1	1/5
DDT	3	2	4	5	1
Toplam	6.412	3.917	13.33	21	2.283

Tablo 25. Katı atık yönetim seçeneklerinin "bakım-onarım maliyeti" kriterine göre öncelik sıralaması ve tutarlılık analizleri.

Table 29. Prioritization and consistency analysis of solid waste management alternatives according to the "maintenance costs" criterion.

C3	MGT	KT	BMT	TİT	DDT	Öncelik vektörü
MGT	0.156	0.127	0.300	0.285	0.147	0.203
KT	0.312	0.255	0.300	0.285	0.219	0.274
BMT	0.039	0.064	0.075	0.143	0.109	0.086
TİT	0.026	0.043	0.025	0.049	0.087	0.046
DDT	0.467	0.511	0.300	0.238	0.438	0.391
						Σ=1.00

λ_{max} =5.287, CI=0.072, RI=1.12, CR=0.064<0.1 Tutarlı

Tablo 28'de; "Düzenli depolama tesisi (DDT)" ile "Materyal geri dönüşüm (MGT)" yönetim seçeneklerinin "bakım-onarım maliyeti (C3)" ikinci alt kriterine göre ikili karşılaştırması örnek olarak incelenebilir. Tablo 28'den; "Düzenli depolama tesisi (DDT)" yönetim seçeneğinin "Materyal geri dönüşüm (MGT)" yönetim seçeneğine göre biraz daha önemli olduğu anlaşılmaktadır (Çünkü ikili karşılaştırmada sayısal değer olarak 3 uygun görülmüştür).

Tablo 29'da; beş evsel katı atık yönetim seçeneğinin ekonomik kriterlerden "bakım-onarım maliyeti (C3)" kriterine göre yapılan ikili karşılaştırma neticesinde elde edilen öncelik vektörü ve tutarlılık analizi sonuçları görülmektedir. Tablo 29'a göre, katı atık yönetim seçeneklerinden en yüksek öncelik %39.10 (Ya da 0.391) sayısal değeri ile "Düzenli depolama tesisi (DDT)" karar noktasına aittir. C3 (bakım-onarım maliyeti) ekonomik kriteri kapsamında yönetim seçeneklerinin öncelik sırası DDT>KT>MGT>BMT>TİT biçimindedir. Tablo 29'da tutarlılık oranı, CR=0.064<0.1 olduğundan Tablo 28'de verilen ikili karşılaştırmaların tutarlı olduğu sonucuna varılmaktadır.

Ekonomik alt kriteri kapsamında seçilen "toplama-taşıma maliyeti (C4)" ikinci alt kriteri için, yönetim seçeneklerinin ikili karşılaştırma matrisi ve öncelik vektörü sırasıyla Tablo 30 ve Tablo 31'de verilmiştir.

Tablo 30'da; "Kompostlaştırma tesisi (KT)" ile "Termal işlem tesisi (TİT)" yönetim seçeneklerinin "toplama-taşıma maliyeti (C4)" ikinci alt kriterine göre ikili karşılaştırması örnek olarak incelenebilir. Tablo 30'dan; "Kompostlaştırma tesisi (KT)" yönetim seçeneği ile "Termal işlem tesisi (TİT)" yönetim seçeneğinin eşit önemde olduğu anlaşılmaktadır.

Tablo 26. Katı atık yönetim seçeneklerinin "toplama-taşıma maliyeti" kriterine göre ikili karşılaştırma matrisi.

Table 30. Pairwise comparison matrix of solid waste management alternatives according to the "transportation costs" criterion.

C4	MGT	KT	BMT	TİT	DDT
MGT	1	2	2	2	1/2
KT	1/2	1	1	1	1/2
BMT	1/2	1	1	1	1/2
TİT	1/2	1	1	1	1/2
DDT	2	2	2	2	1
Toplam	4.5	7	7	7	3

Tablo 27. Katı atık yönetim seçeneklerinin "toplama-taşıma maliyeti" kriterine göre öncelik sıralaması ve tutarlılık analizleri.

Table 31. Prioritization and consistency analysis of solid waste management alternatives according to the "transportation costs" criterion.

C4	MGT	KT	BMT	TİT	DDT	Öncelik vektörü
MGT	0.222	0.285	0.285	0.285	0.167	0.250
KT	0.111	0.143	0.143	0.143	0.167	0.141
BMT	0.111	0.143	0.143	0.143	0.167	0.141
TİT	0.111	0.143	0.143	0.143	0.167	0.141
DDT	0.444	0.285	0.285	0.285	0.333	0.327
						Σ=1.00

λ_{max} =5.058, CI=0.015, RI=1.12, CR=0.013<0.1 Tutarlı

Tablo 31'de; beş evsel katı atık yönetim seçeneğinin ekonomik kriterlerden "toplama-taşıma maliyeti (C4)" kriterine göre yapılan ikili karşılaştırma neticesinde elde edilen öncelik vektörü ve tutarlılık analizi sonuçları görülmektedir. Tablo 31'e göre, katı atık yönetim seçeneklerinden en yüksek öncelik %32.70 (Ya da 0.327) sayısal değeri ile "Düzenli depolama tesisi (DDT)" karar noktasına aittir. C4 (toplama-taşıma maliyeti) ekonomik kriteri kapsamında yönetim seçeneklerinin öncelik sırası DDT>MGT>KT=BMT=TİT biçimindedir. Tablo 31'da tutarlılık oranı, CR=0.013<0.1 olduğundan Tablo 30'da verilen ikili karşılaştırmaların tutarlı olduğu sonucuna varılmaktadır. Sosyal alt kriteri kapsamında seçilen "sürdürülebilir şehirler hakkında farkındalık artışı (S1)" ikinci alt kriteri için, yönetim seçeneklerinin ikili karşılaştırma matrisi ve öncelik vektörü sırasıyla Tablo 32 ve Tablo 33'te verilmiştir.

Tablo 28. Katı atık yönetim seçeneklerinin "sürdürülebilir şehirler hakkında farkındalık artışı" kriterine göre ikili karşılaştırma matrisi.

Table 32. Pairwise comparison matrix of solid waste management alternatives according to the "increased awareness on sustainable city" criterion.

S1	MGT	KT	BMT	TİT	DDT
MGT	1	2	2	6	9
KT	1/2	1	1	4	7
BMT	1/2	1	1	4	7
TİT	1/6	1/4	1/4	1	1/2
DDT	1/9	1/7	1/7	2	1
Toplam	2.278	4.393	4.393	17	24.5

Tablo 32'de; "Düzenli depolama tesisi (DDT)" ile "Materyal geri dönüşüm tesisi (MGT)" yönetim seçeneklerinin "sürdürülebilir şehirler hakkında farkındalık artışı (S1)" ikinci alt kriterine göre ikili karşılaştırması örnek olarak incelenebilir. Tablo 32'den; "Materyal geri dönüşüm tesisi (MGT)" yönetim

seçeneğinin "Düzenli depolama tesisi (DDT)" yönetim seçeneğine göre aşırı derecede önemli olduğu anlaşılmaktadır.

Tablo 29. Katı atık yönetim seçeneklerinin "sürdürülebilir şehirler hakkında farkındalık artışı" kriterine göre öncelik sıralaması ve tutarlılık analizleri.

Table 33. Prioritization and consistency analysis of solid waste management alternatives for "increased awareness on sustainable city" criterion.

S1	MGT	KT	BMT	TİT	DDT	Öncelik vektörü
MGT	0.439	0.455	0.455	0.353	0.367	0.414
KT	0.219	0.228	0.227	0.235	0.285	0.239
BMT	0.219	0.228	0.227	0.235	0.285	0.239
TİT	0.073	0.056	0.057	0.059	0.020	0.053
DDT	0.049	0.033	0.033	0.118	0.040	0.055
						Σ=1.00

λ_{max} =5.215, CI=0.054, RI=1.12, CR=0.048<0.1 Tutarlı

Tablo 33'te; beş evsel katı atık yönetim seçeneğinin sosyal kriterlerden "sürdürülebilir şehirler hakkında farkındalık artışı (S1)" kriterine göre yapılan ikili karşılaştırma neticesinde elde edilen öncelik vektörü ve tutarlılık analizi sonuçları görülmektedir. Tablo 33'e göre, katı atık yönetim seçeneklerinden en yüksek öncelik %41.40 (Ya da 0.414) sayısal değeri ile "Materyal geri dönüşüm tesisi (MGT)" karar noktasına aittir. S1 (sürdürülebilir şehirler hakkında farkındalık artışı) sosyal kriteri kapsamında yönetim seçeneklerinin öncelik sırası MGT>KT=BMT>DDT>TİT biçimindedir. Tablo 33'te tutarlılık oranı, CR=0.048<0.1 olduğundan Tablo 32'de verilen ikili karşılaştırmaların tutarlı olduğu sonucuna varılmaktadır.

Sosyal alt kriteri kapsamında seçilen "şehir yaşam kalitesindeki artış (S2)" ikinci alt kriteri için, yönetim seçeneklerinin ikili karşılaştırma matrisi ve öncelik vektörü sırasıyla Tablo 34 ve Tablo 35'te verilmiştir.

Tablo 30. Katı atık yönetim seçeneklerinin "şehir yaşam kalitesindeki artış" kriterine göre ikili karşılaştırma matrisi.

Table 34. Pairwise comparison matrix of solid waste management alternatives according to the "increased quality of life in the city" criterion.

S2	MGT	KT	BMT	TİT	DDT
MGT	1	2	2	3	4
KT	1/2	1	1	3	4
BMT	1/2	1	1	3	4
TİT	1/3	1/3	1/3	1	4
DDT	1/4	1/4	1/4	1/4	1
Toplam	2.583	4.583	4.583	10.25	17

Tablo 31. Katı atık yönetim seçeneklerinin "şehir yaşam kalitesindeki artış" kriterine göre öncelik sıralaması ve tutarlılık analizleri.

Table 35. Prioritization and consistency analysis of solid waste management alternatives according to the "increased quality of life in the city" criterion.

S2	MGT	KT	BMT	TİT	DDT	Öncelik vektörü
MGT	0.387	0.436	0.436	0.292	0.235	0.357
KT	0.193	0.218	0.218	0.292	0.235	0.232
BMT	0.193	0.218	0.218	0.292	0.235	0.232
TİT	0.129	0.073	0.072	0.097	0.235	0.121
DDT	0.097	0.055	0.054	0.024	0.059	0.058
						Σ=1.00

λ_{max} =5.235, CI=0.06, RI=1.12, CR=0.05<0.1 Tutarlı

Tablo 34'te; "Kompostlaştırma tesisi (KT)" ile "Termal işlem tesisi (TİT)" yönetim seçeneklerinin "şehir yaşam kalitesindeki artış (S2)" ikinci alt kriterine göre ikili karşılaştırması örnek olarak incelenebilir. Tablo 34'ten; "Kompostlaştırma tesisi (KT)" yönetim seçeneğinin "Termal işlem tesisi (TİT)" yönetim seçeneğine göre biraz daha önemli olduğu anlaşılmaktadır.

Tablo 35'te; beş evsel katı atık yönetim seçeneğinin sosyal kriterlerden "şehir yaşam kalitesindeki artış (S2)" kriterine göre yapılan ikili karşılaştırma neticesinde elde edilen öncelik vektörü ve tutarlılık analizi sonuçları görülmektedir. Tablo 35'e göre, katı atık yönetim seçeneklerinden en yüksek öncelik %35.70 (Ya da 0.357) sayısal değeri ile "Materyal geri dönüşüm tesisi (MGT)" karar noktasına aittir. S2 (şehir yaşam kalitesindeki artış) sosyal kriteri kapsamında yönetim seçeneklerinin öncelik sırası MGT>KT=BMT>TİT>DDT biçimindedir. Tablo 35'te tutarlılık oranı, CR=0.05<0.1 olduğundan Tablo 34'te verilen ikili karşılaştırmaların tutarlı olduğu sonucuna varılmaktadır.

Sosyal alt kriteri kapsamında seçilen "yeni iş imkânları (S3)" ikinci alt kriteri için, yönetim seçeneklerinin ikili karşılaştırma matrisi ve öncelik vektörü sırasıyla Tablo 36 ve Tablo 37'de verilmiştir.

Tablo 32. Katı atık yönetim seçeneklerinin "yeni iş imkânları" kriterine göre ikili karşılaştırma matrisi.

Table 36 Pairwise comparison matrix of solid waste management alternatives according to the "new job creation" criterion.

S3	MGT	KT	BMT	TİT	DDT
MGT	1	3	3	4	6
KT	1/3	1	1	3	5
BMT	1/3	1	1	3	5
TİT	1/4	1/3	1/3	1	2
DDT	1/6	1/5	1/5	1/2	1
Toplam	2.08	5.53	5.53	11.5	19

Tablo 36'da; "Kompostlaştırma tesisi (KT)" ile "Düzenli depolama tesisi (DDT)" yönetim seçeneklerinin "yeni iş imkânları (S3)" ikinci alt kriterine göre ikili karşılaştırması örnek olarak incelenebilir. Tablo 36'dan; "Kompostlaştırma tesisi (KT)" yönetim seçeneğinin "Düzenli depolama tesisi (DDT)" yönetim seçeneğine göre oldukça önemli olduğu anlaşılmaktadır.

Tablo 33. Katı atık yönetim seçenekleri seçeneklerinin "yeni iş imkanları" kriterine göre öncelik sıralaması ve tutarlılık analizi.

Table 37. Prioritization and consistency analysis of solid waste management alternatives according to the "new job creation" criterion.

S3	MGT	KT	BMT	TİT	DDT	Öncelik vektörü
MGT	0.480	0.542	0.542	0.348	0.316	0.445
KT	0.160	0.181	0.181	0.261	0.263	0.209
BMT	0.160	0.181	0.181	0.261	0.263	0.209
TİT	0.120	0.060	0.060	0.087	0.105	0.087
DDT	0.080	0.036	0.036	0.043	0.053	0.050
						Σ=1.00

λ_{max} =5.13, CI=0.032, RI=1.12, CR=0.028<0.1 Tutarlı

Tablo 37'de; beş evsel katı atık yönetim seçeneğinin sosyal kriterlerden "yeni iş imkânları (S3)" kriterine göre yapılan ikili karşılaştırma neticesinde elde edilen öncelik vektörü ve tutarlılık analizi sonuçları görülmektedir. Tablo 37'ye göre, katı atık yönetim seçeneklerinden en yüksek öncelik %44.50 (Ya da 0.445) sayısal değeri ile "Materyal geri dönüşüm tesisi (MGT)"

karar noktasına aittir. S3 (yeni iş imkânları) sosyal kriteri kapsamında yönetim seçeneklerinin öncelik sırası MGT>KT=BMT>TİT>DDT biçimindedir. Tablo 37'de tutarlılık oranı, CR=0.028<0.1 olduğundan Tablo 36'da verilen ikili karşılaştırmaların tutarlı olduğu sonucuna varılmaktadır.

Teknik alt kriteri kapsamında seçilen "yapılabilirlik (T1)" ikinci alt kriteri için, yönetim seçeneklerinin ikili karşılaştırma matrisi ve öncelik vektörü sırasıyla Tablo 38 ve Tablo 39'da verilmiştir.

Tablo 34. Katı atık yönetim seçeneklerinin "yapılabilirlik" kriterine göre ikili karşılaştırma matrisi.

Table 38. Pairwise comparison matrix of solid waste management alternatives according to the "operational feasibility" criterion.

T1	MGT	KT	BMT	TİT	DDT
MGT	1	2	3	7	1/2
KT	1/2	1	1	3	1/3
BMT	1/3	1	1	3	1/5
TİT	1/7	1/3	1/3	1	1/7
DDT	2	3	5	7	1
Toplam	3.976	7.333	10.33	21	2.176

Tablo 38'de; "Düzenli depolama tesisi (DDT)" ile "Termal işlem tesisi (TİT)" yönetim seçeneklerinin "yapılabilirlik (T1)" ikinci alt kriterine göre ikili karşılaştırması örnek olarak incelenebilir. Tablo 38'den; "Düzenli depolama tesisi (DDT)" yönetim seçeneğinin "Termal işlem tesisi (TİT)" yönetim seçeneğine göre çok önemli olduğu anlaşılmaktadır (Çünkü ikili karşılaştırmada sayısal değer olarak 7 uygun görülmüştür).

Tablo 35. Katı atık yönetim seçeneklerinin "yapılabilirlik" kriterine göre öncelik sıralaması ve tutarlılık analizleri.

Table 39. Prioritization and consistency analysis of management alternatives according to the "operational feasibility" criterion.

T1	MGT	KT	BMT	TİT	DDT	Öncelik vektörü
MGT	0.251	0.273	0.290	0.333	0.229	0.276
KT	0.126	0.136	0.097	0.143	0.153	0.131
BMT	0.084	0.136	0.097	0.143	0.092	0.110
TİT	0.036	0.046	0.032	0.048	0.066	0.045
DDT	0.503	0.409	0.484	0.333	0.460	0.438
						Σ=1.00

λ_{max} =5.071, CI=0.018, RI=1.12, CR=0.016<0.1 Tutarlı

Tablo 39'da; beş evsel katı atık yönetim seçeneğinin teknik kriterlerden "yapılabilirlik (T1)" kriterine göre yapılan ikili karşılaştırma neticesinde elde edilen öncelik vektörü ve tutarlılık analizi sonuçları görülmektedir. Tablo 39'a göre, katı atık yönetim seçeneklerinden en yüksek öncelik %43.80 (Ya da 0.438) sayısal değeri ile "Düzenli depolama tesisi (DDT)" karar noktasına aittir. T1 (yapılabilirlik) teknik kriteri kapsamında yönetim seçeneklerinin öncelik sırası DDT>MGT>KT>BMT>TİT biçimindedir. Tablo 39'da tutarlılık oranı, CR=0.016<0.1 olduğundan Tablo 38'de verilen ikili karşılaştırmaların tutarlı olduğu sonucuna varılmaktadır. Teknik alt kriteri kapsamında seçilen "yenilikçilik (T2)" ikinci alt kriteri için, yönetim seçeneklerinin ikili karşılaştırma matrisi ve öncelik vektörü sırasıyla Tablo 40 ve Tablo 41'de verilmiştir. Tablo 40'ta; "Materyal geri dönüşüm tesisi (MGT)" ile "Düzenli depolama tesisi (DDT)" yönetim seçeneklerinin "yenilikçilik (T2)" ikinci alt kriterine göre ikili karşılaştırması örnek olarak incelenebilir. Tablo 40'tan; "Materyal geri dönüşüm tesisi (MGT)" yönetim seçeneğinin "Düzenli depolama tesisi (DDT)" yönetim seçeneğine göre oldukça önemli olduğu anlaşılmaktadır.

Tablo 36. Katı atık yönetim seçeneklerinin "yenilikçilik" kriterine göre ikili karşılaştırma matrisi.

Table 40. Pairwise comparison matrix of solid waste management alternatives according to the "innovativeness" criterion.

T2	MGT	KT	BMT	TİT	DDT
MGT	1	3	3	4	5
KT	1/3	1	1	1	2
BMT	1/3	1	1	1	2
TİT	1/4	1	1	1	2
DDT	1/5	1/2	1/2	1/2	1
Toplam	2.117	6.5	6.5	7.5	12

Tablo 37. Katı atık yönetim seçeneklerinin "yenilikçilik" kriterine göre öncelik sıralaması ve tutarlılık analizleri.

Table 41. Prioritization and consistency analysis of solid waste management alternatives according to the "innovativeness" criterion.

T2	MGT	KT	BMT	TİT	DDT	Öncelik vektörü
MGT	0.472	0.462	0.462	0.533	0.416	0.469
KT	0.158	0.154	0.154	0.133	0.167	0.153
BMT	0.158	0.154	0.154	0.133	0.167	0.153
TİT	0.118	0.154	0.154	0.133	0.167	0.145
DDT	0.094	0.076	0.076	0.067	0.083	0.080
						Σ=1.00

λ_{max} =5.018, CI=0.005, RI=1.12, CR=0.004<0.1 Tutarlı

Tablo 41'de; beş evsel katı atık yönetim seçeneğinin teknik kriterlerden "yenilikçilik (T2)" kriterine göre yapılan ikili karşılaştırma neticesinde elde edilen öncelik vektörü ve tutarlılık analizi sonuçları görülmektedir. Tablo 41'e göre, katı atık yönetim seçeneklerinden en yüksek öncelik %46.90 (Ya da 0.469) sayısal değeri ile "Materyal geri dönüşüm tesisi (MGT)" karar noktasına aittir. T2 (yenilikçilik) teknik kriteri kapsamında yönetim seçeneklerinin öncelik sırası MGT>KT=BMT>TİT>DDT biçimindedir. Tablo 41'de tutarlılık oranı, CR=0.004<0.1 olduğundan Tablo 40'ta verilen ikili karşılaştırmaların tutarlı olduğu sonucuna varılmaktadır. Teknik alt kriteri kapsamında seçilen "uzman personel gereksinimi (T3)" ikinci alt kriteri için, yönetim seçeneklerinin ikili karşılaştırma matrisi ve öncelik vektörü sırasıyla Tablo 42 ve Tablo 43'te verilmiştir.

Tablo 38. Katı atık yönetim seçeneklerinin "uzman personel gereksinimi" kriterine göre ikili karşılaştırma matrisi.

Table 42 Pairwise comparison matrix of solid waste management alternatives according to the "need for qualified personnel" criterion.

T3	MGT	KT	BMT	TİT	DDT
MGT	1	3	3	9	2
KT	1/3	1	2	4	1/3
BMT	1/3	1/2	1	4	1/3
TİT	1/9	1/4	1/4	1	1/9
DDT	1/2	3	3	9	1
Toplam	2.278	7.75	9.25	27	3.778

Tablo 42'de; "Düzenli depolama tesisi (DDT)" ile "Termal işlem tesisi (TİT)" yönetim seçeneklerinin "uzman personel gereksinimi (T3)" ikinci alt kriterine göre ikili karşılaştırması örnek olarak incelenebilir. Tablo 42'den; "Düzenli depolama tesisi (DDT)" yönetim seçeneğinin "Termal işlem tesisi (TİT)" yönetim seçeneğinden aşırı derecede önemli olduğu anlaşılmaktadır.

Tablo 39. Katı atık yönetim seçeneklerinin "uzman personel gereksinimi" kriterine göre öncelik sıralaması ve tutarlılık analizleri.

Table 43. Prioritization and consistency analysis of solid waste management alternatives according to the "need for qualified personnel" criterion.

T3	MGT	KT	BMT	TİT	DDT	Öncelik vektörü
MGT	0.439	0.387	0.324	0.333	0.529	0.403
KT	0.146	0.129	0.216	0.148	0.088	0.145
BMT	0.146	0.065	0.108	0.148	0.088	0.111
TİT	0.049	0.032	0.027	0.037	0.029	0.035
DDT	0.220	0.387	0.324	0.333	0.265	0.306
						Σ=1.00
λ_{max} =5.13, CI=0.033, RI=1.12, CR=0.029<0.1 Tutarlı						

Tablo 43'ta; beş evsel katı atık yönetim seçeneğinin teknik kriterlerden "uzman personel gereksinimi (T3)" kriterine göre yapılan ikili karşılaştırma neticesinde elde edilen öncelik vektörü ve tutarlılık analizi sonuçları görülmektedir. Tablo 43'e göre, katı atık yönetim seçeneklerinden en yüksek öncelik %40.30 (Ya da 0.403) sayısal değeri ile "Materyal geri dönüşüm tesisi (MGT)" karar noktasına aittir. T3 (uzman personel gereksinimi) teknik kriteri kapsamında yönetim seçeneklerinin öncelik sırası MGT>DDT>KT>BMT>TİT biçimindedir. Tablo 43'ta tutarlılık oranı, CR=0.029<0.1 olduğundan Tablo 42'de verilen ikili karşılaştırmaların tutarlı olduğu sonucuna varılmaktadır.

3.1.3 SAY minimum kriteri olan kaynakta ikili ayırma durumu için katı atık yönetim seçeneklerine karar verme

Bu makalede önerilen model kapsamında yapılan AHP analizleri sonucunda, ilk alt kriterler (Çevresel, E; ekonomik, C; sosyal, S ve teknik, T) kapsamında karar noktası öncelik sırası bu bölümde analiz edilmiştir. Karar noktaları olarak belirlenen evsel katı atık yönetim seçeneklerinin tercih sıralamaları çevresel, ekonomik, sosyal ve teknik kriterler için sırasıyla Tablo 44, Tablo 45, Tablo 46 ve Tablo 47'de verilmiştir.

Çevresel kriterler için karar noktalarının nihai öncelik sıralaması Tablo 44'te görülmektedir.

Tablo 40. Çevresel kriterler açısından katı atık yönetim seçeneklerinin nihai öncelik sıralaması.

Table 44. Final prioritization of solid waste management alternatives for environmental criteria.

Yön-temler	E1 (0.046)	E2 (0.098)	E3 (0.160)	E4 (0.258)	E5 (0.438)	Nihai öncelik vektörü
MGT	0.575	0.378	0.425	0.047	0.545	0.383
KT	0.133	0.169	0.065	0.053	0.177	0.125
BMT	0.133	0.169	0.240	0.189	0.177	0.187
TİT	0.061	0.056	0.212	0.499	0.051	0.193
DDT	0.098	0.227	0.058	0.211	0.050	0.112
						Σ=1.00

Tablo 44'ün son sütunundaki nihai öncelik vektörü oranlardan görüldüğü üzere; evsel katı atık yönetim seçeneklerinin çevresel kriterler kapsamında sıralaması MGT>TİT>BMT>KT>DDT biçiminde hesaplanmıştır. Evsel katı atık yönetim seçeneklerinden MGT (Materyal geri dönüşüm tesisi), %38.30 (ya da 0.383) sayısal değeri ile çevresel kriterler açısından birinci olarak tercih edilmesi gereken yönetim seçeneği olarak belirlenmiştir.

Ekonomik kriterler için karar noktalarının nihai öncelik sıralaması Tablo 45'te görülmektedir.

Tablo 41. Ekonomik kriterler açısından katı atık yönetim seçeneklerinin nihai öncelik sıralaması.

Table 45. Final prioritization of solid waste management alternatives for economic criteria.

Sıra	Yön-temler	C1 (0.116)	C2 (0.224)	C3 (0.601)	C4 (0.059)	Nihai öncelik vektörü
2	MGT	0.330	0.322	0.203	0.249	0.247
3	KT	0.229	0.204	0.274	0.141	0.245
4	BMT	0.109	0.107	0.086	0.141	0.097
5	TİT	0.054	0.053	0.046	0.141	0.054
1	DDT	0.278	0.314	0.391	0.327	0.357
						Σ=1.000

Tablo 45'in ilk sütununda (ya da son sütunun son satırında) görüldüğü üzere; evsel katı atık yönetim seçenekleri ekonomik kriterler kapsamında sıralaması DDT>MGT>KT>BMT>TİT biçiminde elde edilmiştir. Evsel katı atık yönetim seçeneklerinden DDT (Düzenli depolama tesisi), %35.70 sayısal değeri ile ekonomik kriterler açısından birinci olarak tercih edilmesi gereken yönetim seçeneği olarak belirlenmiştir. Sosyal kriterler için karar noktalarının nihai öncelik sıralaması Tablo 46'da görülmektedir.

Tablo 42. Sosyal kriterler açısından katı atık yönetim seçeneklerinin nihai öncelik sıralaması.

Table 46. Final prioritization of solid waste management alternatives for social criteria.

Sıra	Yönetim seçenekleri Yöntemi	S1 (0.466)	S2 (0.433)	S3 (0.101)	Nihai öncelik vektörü
1	MGT	0.414	0.357	0.445	0.393
2	KT	0.239	0.232	0.209	0.233
2	BMT	0.239	0.232	0.209	0.233
3	TİT	0.053	0.121	0.087	0.086
4	DDT	0.055	0.058	0.050	0.055
					Σ=1.000

Tablo 46'nın ilk sütununda görüldüğü üzere; evsel katı atık yönetim seçeneklerinin sosyal kriterler kapsamında sıralaması MGT>BMT=KT>TİT>DDT biçiminde elde edilmiştir. Evsel katı atık yönetim seçeneklerinden MGT (Materyal geri dönüşüm tesisi), %39.30 sayısal değeri ile sosyal kriterler açısından birinci olarak tercih edilmesi gereken yönetim seçeneği olarak belirlenmiştir.

Teknik kriterler için karar noktalarının nihai öncelik sıralaması Tablo 47'de verilniştir.

Tablo 43. Teknik kriterler açısından katı atık yönetim seçeneklerinin nihai öncelik sıralaması.

Table 47. Final prioritization of solid waste management alternatives for technical criteria.

Sıra	Yönetim seçenekleri Yöntemi	T1 (0.213)	T2 (0.085)	T3 (0.702)	Nihai öncelik vektörü
1	MGT	0.276	0.469	0.403	0.381
3	KT	0.131	0.153	0.145	0.143
4	BMT	0.110	0.153	0.111	0.114
5	TİT	0.045	0.145	0.035	0.047
2	DDT	0.438	0.080	0.306	0.315
					Σ=1.000

Tablo 47'nin ilk sütununda görüldüğü üzere; evsel katı atık yönetim seçeneklerinin teknik kriterler kapsamında sıralaması MGT>DDT>KT>BMT>TİT biçiminde elde edilmiştir. Evsel katı atık yönetim seçeneklerinden MGT (Materyal geri dönüşüm tesisi), %38.10 sayısal değeri ile teknik kriterler açısından birinci olarak tercih edilmesi gereken yönetim seçeneği olarak elde edilmiştir.

4 Sonuçlar ve tartışma

Katı atık yönetim sistemlerinin planlanması ve yürütülmesinde çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemlerinin kullanımı, karar vericilerin kararlarında tutarlı sonuçlar elde etmesine yardımcı olabilmektedir. ÇKKV yöntemlerinin, karar vericilerin kabul edilebilir, uygun fiyatlı, etkili ve sürdürülebilir atık yönetimi alternatiflerine karar vermelerine yardımcı olduğu da iyi bilinmektedir. Günümüzde akıllı teknolojiler kullanılarak evsel katı atıkları yönetmek için birçok çaba gösterilmesi takdire şayandır [29[-[34]. Ancak, bu teknolojilerin amaçlanan hedeflere yönelik olarak etkili bir şekilde kullanılabilmesinin, atık yönetiminin sürdürülebilir bir çerçeve içinde kurgulmasına bağlı olduğu düşünülmektedir. Evsel katı atıkların oluşumundan başlanarak nihai yönetim seçeneklerine kadar tüm süreçlerinin optimize edilmesi, harcanan gayretlerin hedefine ulaşmasına katkı sağlayacaktır [1]. Evsel katı atık yönetim seçeneklerinin başarılı bir şekilde yönetimi, atığın üretim noktasında nasıl ayrıldığı ve nasıl toplandığı ile yakından ilgilidir. Tüm atık yönetim süreçleri hem çevresel hem ekonomik hem de teknik kriterlere uygun olarak gerçekleştirilse bile [35], nihai olarak atığın yine de düzenli depolama tesisi (DDT) [2] kullanılarak yönetilmesi gerekebilmektedir. Katı atıkların karışık toplanması DDT için nispeten önemli olmayabilir. Ancak yasal düzenlemeler atıkların DDT yönetim seçeneğiyle yönetilmesine kısıtlamalar getirebilmektedir. Türkiye Cumhuriye Onikinci Kalkınma Planı 2028 yılı atık geri kazanım hedefi %42.5 olarak verilmektedir [36]. Atık yönetimi konusunda belirlenen hedefler ve konuyla ilgili getirilen yasal kısıtlamalar, çevrenin sürdürülebilirliğini sağlamak için gerekli olmakltadır. Türkiye'de 2019 yılından bu yana yürürlükte olan Sıfır Atık Yönetmeliğinin asgari şartı [4], katı atıkların kaynağında ikili ayrıma tabi tutulmasını gerektirmektedir. Geri dönüştürülebilir katı atıkların ayrılmasının istenmesi durumunda, kaynakta ikili ayırma işleminin uygulanması ve iki bileşen grubunun materyal geri dönüşüm tesisi (MGT) için ayrı ayrı toplanması (metal, kağıt, plastik, cam ile diğer atıkların ayrı biriktirilmesi ve ayrı topanması) beklenmektedir. Çünkü ikili ayırma ve ayrı toplama işlemiyle, geri dönüştürülmesi amaçlanan materyalin ikincil üretim süreçlerine entegrasyon sürecinde olası değer kayıplarının en aza indirilmesi mümkün olmaktadır [37]. Termal (ısıl) işlem tesisi (TİT) kullanılarak, atıkların enerji geri kazanımlı olarak yönetilmesi de bir katı atık yönetim seçeneği olarak tercih edilebilmektedir [38],[39]. Atık yönetim süreci olarak biyolojik yöntemlerin tercih edilmesi durumunda (kompostlama işlemi, KT veya biyometanizasyon işlemi, BMT), üçlü ayırma ve ayrılan atıkların ayrı toplanması öncelikle tercih edilmektedir [40]. Teorik olarak sürdürülebilir atık yönetim süreçleri iyi bilinse de atığın ilk oluştuğu noktalarda yapılacak çok yönlü planlamalar, sürdürülebilir atık yönetim süreçlerinin başarısında belirleyici olabilmekte ve hayati önem taşıyabilmektedır. Başka bir deyişle, atığın kaynağında nasıl toplanacağına karar vermek (İkili, karışık, vb.) sıfır atık yönetimi, atık hiyerarşisi, sürdürülebilir atık yönetimi ve akıllı atık yönetim süreçlerinin başarısı için son derece önemli olabilmektedir.

Bu çalışmada, akıllı atık yönetim süreçleri de dâhil olmak üzere tüm sürdürülebilir atık yönetim çabalarına katkı sağlayacağı düşünülen katı atıkların kaynağında ikili ayrılması ve ayrı toplanması yönteminin, atık yönetim seçeneklerine etkileri ortaya konulmaktadır. Bu çalışma kapsamında; Şekil 1'de verilen model yapısı kapsamında Tablo 3'te verilen kriterlerin, ÇKKV yöntemlerinden biri olan AHP kullanılarak analizleri yapılmıştır. AHP kapsamında yapılan tüm analizlerde uzman görüşlerini sürece dahil etmek amacıyla Goggle Forms kullanılarak hazırlanan anket çalışmasından yararlanılmıştır. AHP analizlerinin tutarlılık analizi sürecinde bazı anket verilerinde düzeltme yapılması gerekliliği hâsıl olabilmektedir. Başka bir deyişle AHP sürecinde yapılan hesaplamalarda, ikili olarak karşılaştırılan parametrelerle ilgili tutarsız sonuçlar elde edilmesi halinde uzman görüşlerini olumsuz etkilemeyecek şekilde verilerde düzeltmeler yapılması gerekebilmektedir. Bu çalışmada da uzmanlardan gelen verilerden elde edilen ikili karşılaştırma matrislerinde, tutarlılığın sağlanabilmesi için bir birimi geçmeyecek şekilde düzeltmeler yapılmıştır (ör. geometrik ortalamanın ikili karşılaştırma matrisindeki herhangi bir ikili karşılaştırma sayısal değeri 3 iken, tutarlılığın sağlanması için bu değer 2 ya da 4 sayısal değerlerindenher biri ayrı ayrı atanarak tutarlılık analizini sağlayan değer belirlenmiştir).

Bulguların birinci bölümünde (Bölüm 3.1.1) çevresel, ekonomik, sosyal ve teknik kriterlerin çiftler halinde karşılaştırma matrisleri belirlenmiş ve gerekli hesaplamalar yapılmıştır. Bu bölümde, her kriter grubu için kendi içinde kaynakta ikili ayırma SAY minimum kriteri göz önüne alınarak ikili karşılaştırmalar yapılmış ve öncelik sıralamaları da tablolar halinde verilmiştir. Ayrıca; öncelik sıralamalarının yapıldığı tablolarda, her çiftler halinde karşılaştırma sonucunda elde edilen çıktıların tutarlılık analizi sonuçları da verilmiştir. Bulgular bölümünün ikinci kısmında (Bölüm 3.1.2) her kriterin atık yönetim seçenekleri açısından ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulmuş ve gerekli hesaplamalar yapılmıştır. Her kritere göre hesaplanan atık yönetim seçenek öncelikleri de tablolar halinde verilmiştir. Ayrıca; her ikili karşılaştırma matrisine ilişkin tutarlılık analizi sonuçları da tablolar halinde verilmiştir. Bulgular bölümünün üçüncü kısmında (Bölüm 3.1.3) SAY'ın asgari kriteri olan katı atıkların kaynakta ikili ayrılması durumu için, Şekil 1'de planlanan model kapsamında seçilen on beş kritere bağlı olarak atık yönetim seçenek önceliklerinin belirlenmesine yer verilmiştir. Bu çalışmada, beş farklı atık yönetim seçeneği (Materyal geri dönüşüm tesisi, MGT; Kompostlama tesisi, KT; Biyometanizasyon tesisi, BMT; Termal (Isıl) işlem, TİT, Düzenli depolama tesisi, DDT) karar noktaları olarak seçilmiştir. Karar noktalarını etkileyen ana kriter, katı atıkların kaynağında ikili olarak ayrılması olup, beş çevresel (Atmosferik emisyonlar, E1; Daha az yüzey suyu kirliliği, E2; Daha az toprak kirliliği, E3; Enerji geri kazanımı, E4; ve Doğal kaynakların geri kazanımı, E5), dört ekonomik (İlk yatırım maliyetleri, C1; İşletme maliyetleri, C2; Bakım maliyetleri, C3; Ulaşım maliyetleri, C4), üç sosyal (Sürdürülebilir şehir konusunda farkındalığın artması, S1; Şehirde yaşam kalitesinin artması, S2; Yeni iş imkanları, S3) ve üç teknik kriter (Uygulanabilirlik, T1; Yenilikçilik, T2; Nitelikli personele ihtiyacı, T3) ikinci alt kriter olarak seçilmiştir. Uzman görüşlerine başvurularak hem alt kriterler kendi içinde hem de atık yönetim seçeneklerinin her biri için ikili karşılaştırma verileri elde edilmiştir. Anket Google Forms kullanılarak hazırlanmıştır. Uzman görüşlerinden elde edilen sayısal verilerin geometrik ortalamaları kullanılarak,

SAY minimum kriteri kapsamında her bir alt kriter grubu için ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulmuş ve gerekli AHP analiz süreçleri uygulanmıştır.

AHP kapsamında yapılan analizler neticesinde çevresel kriterler için elde edilen sonuçlara göre katı atık yönetim seçenek tercihleri MGT(0.381)> TİT(0.193)> BMT(0.187)> KT(0.125)> DDT(0.112) şeklinde sıralanmıştır. Ekonomik kriterler için elde edilen sonuçlara göre; katı atık yönetim seçenek tercihleri DDT(0.357)> MGT(0.247)> KT(0.193)> BT(0.097)> Tİ(0.054) şeklinde sıralanmıştır. Sosyal kriterler için elde edilen sonuçlara göre; yönetim seçenek tercihleri MGT(0.393)> KT(0.233)= BT(0.233)> Tİ(0.086)> DDT(0.055) şeklinde sıralanmıştır. Teknik kriterler için elde edilen sonuçlara göre; yönetim seçenek tercihleri MGT(0.381)> DDT(0.315)> KT(0.143)> BT(0.114)> Tİ(0.047) şeklinde sıralanmıştır.

Hibrit bulanık ÇKKV yöntemi kullanılarak dört farklı akıllı atık yönetim stratejisinin (A1- Gayri resmi geri dönüştürülebilir atık toplamanın resmi bir akıllı sisteme entegre edilmesi, A2- Blok zinciri teknolojisinden yararlanan attığın kadar öde uygulaması, A3- Nesnelerin interneti tabanlı toplum ve kompostlama ve A4- Nesnelerin interneti kullanarak yasa dışı atık su deşarjının önlenmesi) değerlendirildiği bir çalışmada [10], on farklı uzman görüşüne dayalı olarak çevresel, ekonomik, sosyal ve teknik kriterler kapsamında analizler yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre akıllı yönetim stratijelerinin öncelik sırası A2 (0.458)> A3 (0.453)> A4 (0.452)> A1 (0.440) olarak elde edilmiştir. Elde dilen sonuçlara göre; blok zinciri teknolojisinden yararlanan attığın kadar öde uygulaması %45.8 ile en yüksek tercih seçeneği olmuştur. Yapılan başka bir çalışmada ise [3]; kaynağında atık ayırma için beş farklı kaynakta ayırma yöntemi (altılı ayırma, dörtlü ayırma, üçlü ayırma, ikili ayırma ve karışık toplama), yaygın olarak kullanılan beş atık yönetim seçeneğine (MGT, BMT, KT, TİT ve DDT) dayalı olarak analitik hiyerarşi süreci kullanılarak analiz edilmiştir. Çalışmada karar noktaları olarak kaynakta ayırma, karar noktalarını etkileyen faktörler olarak ise atık yönetim seçenekleri kabul edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, karar noktası olarak kaynakta altılı ayırma yapılması durumu %34.7 ile en yüksek tercih seçeneği olarak elde edilmiştir.

Bu çalışmada elde edilen sonuçlara göre; kaynakta ikili ayırma uygulanması durumunda, evsel katı atık yönetim seçenek önceliğinin çevresel, sosyal ve teknik kriterler açısından MGT, ekonomik kriterler açısından ise DDT olduğu sonucuna varılmıştır. Başka bir deyişle kaynakta ikili ayırma yapılarak evsel katı atıkların yönetilmesi durumunda çevresel, sosyal ve teknik kriterler açısından karar noktası MGT, ekonomik kriterler açısından ise DDT olduğu anlaşılmaktadır.

Bu çalışmada evsel katı atık yönetim seçenek tercihlerinin araştırılması, Sıfır Atık Yönetmeliği (SAY) minimum gerekliliği kapsamında yapılmıştır. Çalışmada, konunun uzmanlarının görüşleri odaklı olarak model çözüm üretilmeye çalışılmıştır. Gelecekte planlanacak çalışmalarda ise; atık önleme odaklı olarak hanehalkının görüşlerinin sürece entegre edilerek sosyal verilerin çeşitlendirilmesi, katı atık yönetim maliyetlerinin analiz edilerek teknik maliyet verilerinin sürece entegre edilmesi, çevresel etkilerin yaşam döngü analizi çerçevesinde sürece entegre edilmesi önerilmektedir.

5 Conclusions

The use of multi-criteria decision making (MCDM) methods in the planning and implementation of solid waste management systems can help decision makers achieve consistent results in their decisions. It is also well known that MCDM) methods help decision-makers to decide on acceptable, affordable and effective sustainable waste management alternatives. It is commendable that there are many efforts to manage municipal solid waste (MSW) using smart technologies nowadays [29]-[34].

However, it is thought that the effective use of these technologies for the intended purposes depends on the establishment of domestic solid waste management processes within a sustainable framework. Optimizing all processes starting from the formation of domestic solid waste to the final management options will contribute to the efforts spent reaching their goal [1]. The expected successful management of MSW management alternatives is closely related to how the waste is separated and collected at the point of generation. Even if all waste management processes are carried out in accordance with technical criteria, both environmentally and economically, for example, route optimization [35], a waste that requires final management alternative may still need to be disposed of via sanitary landfill (SLF) [2]. Mixed collection of solid waste may not be relatively important for SLF, but local regulations have imposed restrictions on the disposal of waste via SLF, and these restrictions are necessary for the sustainability of the environment. The Twelfth Development Plan of the Republic of Tükiye gives the waste recovery target as 42.5% for 2028 [36]. The targets set for waste management and the legal restrictions imposed on the subject are necessary to ensure the sustainability of the environment. The minimum requirement of the Zero Waste Regulation (ZWR), which has been in force in Türkiye since 2019 [4], is the binary separation at the source of household solid waste. If recyclable waste is to be separated, then it is expected that the binary separation at the source will be applied and the two component groups will be collected separately for material recovery facility (MRF). Because, with this method, it is possible to minimize possible value losses during the integration process into secondary production processes intended to be recycled [37]. In the Thermal processes, energy recovery of waste without using additional energy can also be preferred [38],[39]. If waste disposal is desired through biological (composting process, and biometanization process), then triple separated and separate collection are considered as source separation options that should be prioritized [40]. Although theoretically sustainable waste management processes are well known, multi-faceted planning at the points where waste is first generated can be decisive in the success of sustainable waste management processes and can be of vital importance. In other words, deciding how to collect waste at the source (Binary, mixed, etc.) is important for the success of zero waste, waste hierarchy, sustainable waste management and smart waste management processes. This study reveals the effects of the method of collecting solid waste at the source, which is thought to contribute to all sustainable waste management efforts, including smart waste management processes, on waste management alternatives. Within the scope of this study; The AHP analyses of the criteria given in Table 3 within the scope of the model structure given in Figure 1 are given. It is well known that AHP is one of the MCDM methods. In all analyses conducted within the scope of AHP, the results of the survey study

conducted using Goggle Forms to obtain expert opinions were used. In the consistency analysis process of AHP analyses, corrections were required in some survey data. In other words, in the calculations made in the AHP process, if the parameters compared in pairs were inconsistent, corrections were made in the data that would not negatively affect expert opinions. In this study, corrections were made in the pairwise comparison matrices obtained from the data received from the experts, not to exceed one unit, in order to ensure consistency (Ex. while the numerical value of any pairwise comparison in the pairwise comparison matrix of the geometric mean is 3, this value was assigned separately to one of the numerical values 2 or 4 to ensure consistency, and the value that provides the consistency analysis was determined).

In the first section of the results (Section 3.1.1), the pairwise comparison matrices of environmental, economic, social and technical criteria were determined and the necessary calculations were made. The priority orders formed depending on the pairwise separation at the source within each criterion group were also given in tables in this section. In addition; the consistency analysis results of the outputs obtained as a result of each pairwise comparison were also given in the tables where the priority orders were made. In the second section of the results section (Section 3.1.2), the pairwise comparison matrices of each criterion were created in terms of solid waste management alternatives and the necessary calculations were made. The solid waste management alternatives priorities calculated according to each criterion are also given in tables. In addition; the consistency analysis results related to each binary comparison matrix are also given in tables. In the third section of the results section (Section 3.1.3), for the case of binary separation of solid wastes at source, which is the minimum criterion of the ZWR, the determination of the solid waste management alternatives priorities depending on the fifteen criteria selected within the scope of the planned model in Figure 1 is included. In this study, five different waste disposal methods (Material recovery facility, MRF; Composting plant, CP; Biometanization process, BMP; Thermal process, TP, Sanitary landfill, SLF) were selected as decision points. The main criterion affecting the decision points was binary separation of solid waste at source, and five environmental (Less atmospheric emissions, E1; Less surface water pollution, E2; Less soil pollution, E3; Energy recovery, E4; and Natural resources recovery, E5), four economic (Initial investment costs, C1; Operational costs, C2; Maintenance costs, C3; Transportation costs, C4), three social (Increased awareness on sustainable city, S1; Increased quality of life in the city, S2; New job creation, S3) and three technical criteria (Operational feasibility, T1; Innovativeness, T2; Need for qualified personnel, T3) were selected as second sub-criteria. Expert opinions were consulted to obtain binary comparison data both within the sub-criteria themselves and for each criterion of solid waste management alternatives. The survey prepared using Google Forms. Using the geometric means of the numerical data obtained from expert opinions, binary comparison matrices were created for each sub-criteria group within the scope of the ZWR minimum criterion and the necessary AHP analysis processes were applied.

According to the results obtained for environmental criteria as a result of the analyses made within the scope of AHP, solid waste management option preferences were calculated as MRF (0.381)> TP (0.193)> BMP (0.187)> CP (0.125)> SLF (0.112). According to the results obtained for economic criteria; solid waste management alternatives preferences were calculated as SLF (0.357)> MRF (0.247)> CP (0.193)> BMP (0.097)> TP (0.054). According to the results obtained for social criteria; solid waste management alternatives preferences were calculated as MRF (0.393)> CP (0.233) =BMP (0.233)> TP (0.086)> SLF (0.055). According to the results obtained for technical criteria; solid waste management alternatives preferences were calculated as MRF (0.381)> SLF (0.315)> CP (0.143)> BMP (0.114)> TP (0.047).

In a study [10] where four different smart waste management strategies (A1-Integrating informal recyclable waste collection into a formal smart system, A2-A pay as you throw application leveraging blockchain technology, A3-Internet of things based community composting, A4-Preventing illegal sewage discharge by utilizing internet of things) were evaluated using the hybrid fuzzy MCDM method, analyses were conducted within the scope of environmental, economic, social and technical criteria based on ten different expert opinions. According to the results obtained, the priority order of smart management strategies was obtained as A2 (0.458)> A3 (0.453)> A4 (0.452)> A1 (0.440). According to the results obtained; A pay as you throw application leveraging blockchain technology was the highest preferred option with 45.8%. In another study [3], five different source separation methods (six-component separation, four-component separation, three-component separation, binary separation and mixed collection) were analyzed using the AHP based on five commonly used waste management options (MRF, BMP, CP, TP and SLF). In the study, source separation was accepted as the decision points and waste management options were accepted as the factors affecting the decision points. According to the results obtained, the highest preference option was obtained with 34.7% for six-fold separation at the source as the decision point.

As a result; in case of applying binary separation at source, it has been determined that the priority of domestic solid waste disposal method is MRF in terms of environmental, social and technical criteria and SLF in terms of economic criteria. In other words, in case of managing domestic solid waste by making binary separation at the source, it is understood that the decision point is MRF (Material recovery facility) in terms of environmental, social and technical criteria, and SLF (Sanitary landfill) in terms of economic criteria.

In this study, the investigation of municipal solid waste management alternative preferences was carried out within the scope of the minimum requirement of Zero Waste Regulation (ZWR). In the study, a model solution was tried to be produced by focusing on the opinions of experts on the subject. Future planned studies are; diversifying social data by integrating household opinions into the process with a focus on waste prevention, analyzing solid waste management costs and integrating technical cost data into the process, and integrating environmental impacts into the process within the framework of life cycle analysis.

6 Yazar katkı beyanı

Ömer Apaydın, tarafından fikrin oluşması, tasarımın yapılması, literatür taraması, elde edilen sonuçların değerlendirilmesi, kullanılan malzemelerin temin edilmesi, sonuçların yazım denetimi, içerik açısından makalenin kontrol edilmesi dahil tüm işlemler yapılmıştır.

7 Etik kurul onayı ve çıkar çatışması beyanı

"Hazırlanan makalede etik kurul izni alınmasına gerek yoktur".

"Hazırlanan makalede herhangi bir kişi/kurum ile çıkar çatışması bulunmamaktadır".

8 Kaynaklar

[1] Zaman A, Ahsan T. *Zero-Waste: Reconsidering Waste Management for the Future*, 1st ed. New York, USA, Routledge, 2020.

[2] Tchobanoglous G, Theisen H, Vigil SA. *Integrated Solid Waste Management: Engineering Principles and Management Issues*, 1st ed. New York, USA, McGraw Hill Inc. 1993.

[3] Apaydin Ö, Akçay Han GS. "Analysis of municipal solid waste collection methods focusing on zero-waste management using an analytical hierarchy process". *Sustainability,* 15, 13184, 2023.

[4] TC Cumhurbaşkanlığı, Resmi Gazete, "Sıfır Atık Yönetmeliği". https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=32659&MevzuatTur=7&MevzuatTertip=5 (28.09.2024).

[5] Anagnostopoulos T, Zaslavsky A, Kolomvatsos K, Medvedev A, Amirian P, Morley J, Hadjieftymiades S. "Challenges and opportunities of waste management in IoT-Enabled smart cities: a survey". *IEEE Transactions on Sustainable Computing,* 2 (3), 275-289, 2017.

[6] Esmaeilian B, Wang B, Lewis K, Duarte F, Ratti C, Behdad S. "The future of waste management in smart and sustainable cities: A review and concept paper". *Waste Management*, 81, 177-195, 2018.

[7] Saaty RW. "The analytic hierarchy process-what it is and how it is used". *Mathematical Modelling,* 9, 161-176, 1987.

[8] Saaty TL. "That is not the analytical hierarchical process: What the AHP is and what it is not". *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, 6, 320-329, 1998.

[9] Saaty TL. "Rank from comparisons and from ratings in the analytic hierarchy/network processes". *European Journal of Operational Research,* 168, 557-570, 2006.

[10] Demircan BG, Yetilmezsoy K. "Ahybrid fuzzy AHP-TOPSIS approach for implementation of smart sustainable waste management strategies". *Sustainability*, 15, 6256, 2023.

[11] Tamasila M, Prostean G, Ivascu L, Cioca LI, Draghici A, Diaconescu A. "Evaluating and prioritizing municipal solid waste management-related factors in Romania using fuzzy AHP and TOPSIS". *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems,* 38 (5), 6111-6127, 2020.

[12] Shahnazari A, Pourdej H, Kharage MD. "Ranking of organic fertilizer production from solid municipal waste systems using analytic hierarchy process (AHP) and VIKOR models". *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology,* 32, 101946, 2021.

[13] Xi H, Li Z, Han J, Shen D, Li N, Long Y, Chen Z, Xu L, Zhang X, Niu D, Liu H. "Evaluating the capability of municipal solid waste separation in China based on AHP-EWM and BP neural network". *Waste Management*, 139, 208-216, 2022

[14] AlHumid HA, Haider H, AlSaleem SS, Shafiquzamman M, Sadiq R. "Performance indicators for municipal solid waste management systems in Saudi Arabia: selection and ranking using fuzzy AHP and PROMETHEE II". *Arabian Journal of Geosciences,* 12(15), 491, 2019.

[15] Zhou J, Wang C, Zhou X, Peng D, Deng Z, Li Y, Xianan X. "Study on evaluation method for the rural solid waste fixed bed gasification using the AHP-FCE based on exergy analysis". *International Journal of Exergy*, 40(4), 365-391, 2023.

[16] Ampofo S, Issifu JS, Kusibu MM, Mohammed AS, Adiali F. "Selection of the final solid waste disposal site in the Bolgatanga municipality of Ghana using analytical hierarchy process (AHP) and multi-criteria evaluation (MCE)". *Heliyon*, 9(8),18558, 2023.

[17] Karimzadeh K, Tehrani GM, Khaloo SS, Vaziri MH, Ardeh SA, Saeedi R. "Quantitative assessment of health, safety, and environment (HSE) resilience based on the Delphi method and analytic hierarchy process (AHP) in municipal solid waste management system: A case study in Tehran". *Environmental Health Engineering and Management Journal,* 10(3), 237-247, 2023.

[18] Torkayesh AE, Rajaeifar MA, Rostom M, Malmir B, Yazdani M, Suh S, Heidrich O. "Integrating life cycle assessment and multi criteria decision making for sustainable waste management: Key issues and recommendations for future studies". *Renewable and Sustainable Energy Reviews,*1 68, 112819, 2022.

[19] Kumar A, Dixit G. "A novel hybrid MCDM framework for WEEE recycling partner evaluation on the basis of green competencies". *Journal of Cleaner Production,* 241, 118017, 2019.

[20] Çoban A, Firtina Ertiş I, Ayvaz Cavdaroglu N. "Municipal solid waste management via multi-criteria decision making methods: A case study in Istanbul, Türkiye". *Journal of Cleaner Production,* 180, 159-167, 2018.

[21] Khan I, Kabir Z. "Waste-to-energy generation technologies and the developing economies: A multi-criteria analysis for sustainability assessment". *Renewable Energy*, 150, 320-333, 2020.

[22] Topaloglu M, Yarkin F, Kaya T. "Solid waste collection system selection for smart cities based on a type-2 fuzzy multi-criteria decision technique". *Soft Computing,* 22,4879-4890, 2018.

[23] Singh A. "Solid waste management through the applications of mathematical models". *Resources Conservation and Recycling* 151, 104503, 2019.

[24] Al-Harbi KMAS. "Application of the AHP in project management". *International Journal of Project Management,* 19, 19-27, 2001.

[25] Thomas L. Saaty TL, Vargas LG. *Models, Methods, Concepts and Applications of the Analytic Hierarchy Process*, 2nd ed. New York, USA, Springer, 2012.

[26] Bozorg-Haddad O, Zolghadr-Asli B, Loáiciga HA. *A Handbook on Multi-Attribute Decision-Making Methods*, 1st ed. John Wiley and Sons, Inc. Hoboken NJ, USA. 2021.

[27] Apaydın Ö. "Analysis of Sustainable Municipal Solid Waste Management Alternatives Based on Source Separation Using the Analytic Hierarchy Process". *Sustainability,* 17(9), 3868, 2025.

[28] Apaydın Ö. "Deciding on the priority of process parameters using the analytical hierarchy process in electrochemical wastewater treatment and investigation of paint wastewater treatability", *Desalination and Water Treatment*, 320, 100587, 2024.

[29] Syed AS, Sierra-Sosa D, Kumar A, Elmaghraby A. "IoT in smart cities: A survey of technologies, practices and challenges". *Smart Cities*, 4, 429–475, 2021.

[30] Gopikumar S, Raja S, Robinson YH, Shanmuganathan V, Rho S. "A method of landfill leachate management using internet of things for sustainable smart city development". *Sustainable Cities and Society*, 66, 102521, 2020.

[31] Sheng TJ, Islam MS, Misran N, Baharuddin MH, Arshad H, Islam MR, Chowdhury MEH, Rmili H, Islam MT. "An internet of things based smart waste management system using lora and tensorflow deep learning model". *IEEE Access*, 8, 148793-148811, 2020

[32] Gupta YS, Mukherjee S, Dutta R, Bhattacharya S. "A blockchain-based approach using smart contracts to develop a smart waste management system". *International Journal of Environmental Science and Technology,* 19, 7833-7856, 2022.

[33] Chauhan A, Jakhar SK, Chauhan C. "The interplay of circular economy with industry 4.0 enabled smart city drivers of healthcare waste disposal". *Journal of Cleaner Production,* 279, 123854, 2021.

[34] Seker S. "IoT based sustainable smart waste management system evaluation using MCDM model under interval-valued q-rung orthopair fuzzy environment". *Technology in Society*, 71, 102100, 2022.

[35] Apaydin Ö, Gönüllü MT. "Emission control with route optimization in solid waste collection process: A case study". *Sadhana - Academy Proceedings in Engineering Sciences*, 33, 71-82, 2008.

[36] TC Cumhurbaşkanlığı. Strateji ve Bütçe Başkanlığı. "Onikinci Kalkınma Planı". https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2023/12/On-Ikinci-Kalkinma-Plani_2024-2028_11122023.pdf (22.01.2025).

[37] Rhvner CR, Schwartz LJ, Wenger RB, Kohrell MG. *Waste Management and Resource Recovery*, 1st ed. Boca Raton, USA, CRC Press, 1995.

[38] Tanner R. "Die Entwicklung der Von Roll Müllverbrennungsanlagen". *Schweizerische Bauzeitung,* 16, 251-260, 1965.

[39] Özdemir A, Özkan A, Günkaya Z, Banar M. "Kentsel katı atıkların ve kentsel atıksu arıtma çamurlarının birlikte pirolizi ve sıvı ürün karakterizasyonu". *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi,* 28(6), 920-928, 2022.

[40] Öztürk İ. *Katı Atık Yönetimi ve AB Uygulamaları*. 1 Baskı, İstanbul, Türkiye, Teknik Kitaplar Serisi 2, İSTAÇ AŞ, 2010.