



TÜRKİYE'DEKİ BÜYÜKŞEHİR BELEDİYELERİNİN KATI ATIK YÖNETİM ETKİNLİKLERİNİN ÖLÇÜLMESİ VE DEĞERLENDİRİLMESİ

AHMET İLBAŞ¹*

¹ Dr. Öğr. Üyesi, İstanbul AREL Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, ahmetilbas@arel.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0002-1786-613X>.

ÖZ

Teknolojik gelişmeler ve sanayileşme sürecinde artan tüketim sonucu oluşan atıklar, çevreye ve insan sağlığına tehdit oluşturarak boyutlara ulaşmıştır. Üretilen atıkları çevre ve insan sağlığına yönelik tehditleri ortadan kaldırarak ekonomiye katkıya dönüştürmeyi amaçlayan atık yönetiminin etkinliği Türkiye'de belediyeler arasında farklılıklar göstermektedir. Bu bağlamda, büyükşehir belediyelerinin katı atık yönetiminin tersine lojistik açısından değerlendirilmesi önemlidir. Araştırmanın amacı; Türkiye'de 30 büyükşehir belediyesinin katı atık yönetimi faaliyetlerinin etkinliğinin tersine lojistik açısından ölçülmesi ve değerlendirilmesidir. Çalışmanın ilk aşamasında 30 büyükşehir belediyesi için Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) tarafından elde edilen iki girdi ve üç çıktı değişkenden oluşan bir veri seti oluşturulmuştur. Veri setindeki girdi ve çıktı kriterlerinin ağırlıklandırılmasında Entropi Yönteminden faydalanılmış ve belirlenen bu ağırlıklar ile ikinci aşamada karar birimlerinin verimliliklerinin değerlendirilmesi OCRA Yöntemi ile yapılmıştır. Son aşamada ise 2022 yılı katı atık yönetim etkinlikleri VZA yöntemi ile detaylı bir şekilde incelenmiş ve sonuçları değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgulara göre, her iki yöntemle elde edilen etkin büyükşehir belediyelerinin benzerlik arz ettiği anlaşılmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Katı Atık Yönetimi, Veri Zarflama Analizi (VZA), Entropi, OCRA, Tersine Lojistik.

MEASURING AND EVALUATING THE SOLID WASTE MANAGEMENT EFFECTIVENESS OF METROPOLITAN MUNICIPALITIES IN TÜRKİYE

***Sorumlu Yazar/ Corresponding Author:**

Ahmet İLBAŞ,
ahmetilbas@arel.edu.tr

ABSTRACT

The wastes resulting from technological developments and increased consumption in the industrialization process have reached dimensions that pose a threat to the environment and human health. The effectiveness of waste management, which aims to contribute to the economy by eliminating the wastes produced and the threats to the environment and human health, varies among municipalities in Türkiye. In this context, it is important to evaluate the solid waste management of metropolitan municipalities in terms of reverse logistics. The study aims to measure and evaluate the effectiveness of solid waste management activities of 30 metropolitan municipalities in Türkiye in terms of reverse logistics. In the first stage of the study, a data set consisting of two input and three output variables obtained by the Turkish Statistical Institute (TUIK) was created for 30 metropolitan municipalities. The Entropy Method was used and with these determined weights, the efficiency of the decision-making units was evaluated in the second stage using the OCRA Method. In the last stage, the solid waste management activities of 2022 were examined in detail with the DEA Method, and the results were evaluated. According to the findings, it is understood that the effective metropolitan municipalities obtained with both methods are similar.

Keywords: Solid Waste Management, Data Envelopment Analysis (DEA), Entropy, OCRA, Reverse Logistics.

JEL:

C14, Q53, H76

Geliş: 14 Ekim 2024

Received: October 14, 2024

Kabul: 5 Şubat 2025

Accepted: February 5, 2025

Yayın: 30 Nisan 2025

Published: April 30, 2025

Atıf / Cited as (APA):

İlbaş, A. (2025),

Türkiye'deki Büyükşehir Belediyelerinin Katı Atık Yönetim Etkinliklerinin Ölçülmesi ve Değerlendirilmesi, Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 70, 65-75, doi: 10.18070/erciyesiibd.1564264

GİRİŞ

2023 itibarıyla küresel yıllık katı atık (evsel ve ticari çöp) üretiminin 2,2 milyar tonu aştığı tahmin ediliyor. Bu sayıya, endüstri tarafından üretilen çok daha büyük miktardaki endüstriyel katı atıkları dahil değildir. Dünyada sadece üç yıl önce 1,8 milyar ton katı atık ürettiği düşünüldüğünde bu artış, kentleşme, nüfus artışı ve tüketim alışkanlıklarındaki devam eden eğilimleri yansıtmaktadır.

Tersine lojistik, endüstriyel faaliyetlerin artması ile hava, toprak ve su kaynaklarındaki kirlilik oranının artması neticesinde oluşan iklim değişiklikleri nedeniyle, çevre yönetimiyle işletmelerin aralarındaki etkileşim sebebiyle ortaya çıkan bir inceleme alanıdır (Pourmohammadi, Rahimi ve Dessouky, 2008).

Tersine lojistik, geri dönüştürülecek, yeniden üretilecek veya imha edilecek ürün veya parçaların tüketim noktasından başlangıç noktasındaki üreticiye kadar sistemli bir şekilde toplanması süreci olarak tanımlanmaktadır (Dowlatshahi, 2000). Bu süreç, çevresel faydalar sağlamanın yanı sıra ekonomik değer de yaratır. Katı atık yönetimi, bu bağlamda, atıkların kaynağında toplanması, ayrıştırılması, taşınması, geri dönüştürülmesi ve değerlendirilmesi aşamasında çevreye koruyarak atık miktarının azaltılması ve değerlendirilmesine yönelik çalışmalardır (Stock, 2001).

Tüketim günlük yaşamımızın basit bir temel ilkesidir. Bu tüketim, sorumlu, verimli ve etkili bir şekilde ele alınması gereken atık üretir. Katı atık yönetimi, modern toplumların karşılaştığı temel çevresel sorunlardan biridir. Günümüzde nüfusun artması, teknolojik gelişmeler, sanayileşme sürecinde sürekli artan tüketim eğilimi, sağlıksız kentleşme ve yükselen yaşam standartları, atık miktarını daha da artırmakta, çevre ve insan sağlığını tehdit eder boyutlara gelmektedir. Tersine lojistik perspektifinden bakıldığında, katı atıkların etkin bir şekilde yönetilmesi ve geri dönüştürülmesi, sürdürülebilir bir döngüsel ekonomi için hayati öneme sahiptir.

Katı atık, özellikle şehirlerde ve kentsel alanlarda karşılaşılan bir sorundur. Belediyeler bu konuda önemli bir rol oynar ve çeşitli sorumluluklara sahiptir. Evsel (hanehalkı) atıklardan, ticaretten, ofis binalarından, kurumlardan ve küçük işletmelerden alınan atıklardan oluşan kentsel atıklar belediyeler tarafından toplanır ve bertaraf edilir, ancak yönetilmesi gereken ve giderek artan katı atıkla başa çıkmakta belediyeler için bir zorluk teşkil etmektedir. Katı atık yönetimi, özellikle hizmetlere olan talebin arttığı büyük şehirlerde kritik öneme sahiptir. Entegre katı atık yönetimi modelinde, atıkların atık akışı zincirine girmeden önce kaynak noktalarında azaltılması, üretilen atıkların geri dönüşümle geri kazanılması için yeniden kullanılması ve politika standartlarını karşılayan çevre dostu yanma tesisleri ve çöplükler aracılığıyla bertaraf edilmesini kapsamaktadır.

Katı atık yönetimi çevresel sürdürülebilirlik ve halk sağlığı açısından kritik bir konu olmakla birlikte çeşitli çevresel sorunlara önemli bir katkıda bulunmaktadır. Çevresel sorunlara örnek olarak iklim değişikliği (örneğin, çöplüklerden kaynaklanan sera gazı emisyonları), birden fazla ekosistemi rahatsız etme (örneğin, havaya, toprağa ve yüzey suyuna ağır metal emisyonları) ve kaynakların uygunsuz kullanımı (örneğin, birkaç belirli temel mineral veya metal için var olmayan veya verimsiz geri dönüşüm işleme yöntemleri) sayılabilir. Katı atık üretimindeki artış, söz konusu çevresel sorunları metodik olarak ele alan ve sonunda daha çevresel olarak sürdürülebilir bir topluma doğru ilerlemeye katkıda bulunan uygun yönetim sistemleri gerektirir. Katı atık yönetimi, atıkların düzgün bir şekilde yönetilmesi, hem doğal kaynakların hem de çevrenin korunmasına yardımcı olur.

Türkiye, nüfusun ve endüstrinin yoğun olduğu bir ülke olduğundan katı atık üretimi de önemli oranda atmaktadır. 2023 yılı nüfus verilerine göre 85.372.377 olan Türkiye nüfusunun %94,45'ine tekabül eden 80.637.800 kişi belediye sınırları içerisinde yaşamaktadır. Türkiye’de, 30 adet Büyükşehir Belediyesi, 51 adet İl Belediyesi, 922 adet İlçe Belediyesi ve 390 adet Belde ve İlk Kademe Belediyesi de dahil olmak üzere 1393 adet belediye bulunmaktadır (Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2024). Türkiye’de katı atık yönetimi, çeşitli mevzuat ve düzenlemelerle belirlenen bir dizi faaliyet ve politika çerçevesinde yürütülmektedir. Katı atıkların toplanması ve bertarafı, 1983 tarihli ve 2872 sayılı Çevre Kanunu kapsamında çıkarılan ve 20814 sayılı Resmî Gazete’de Mart 1991 yılında yayımlanan “Katı

Atıkların Kontrolü Yönetmeliği” ve “Tıbbi Atıklar, Tehlikeli Atıklar, Ambalaj Atıkları, Atık Pil ve Akümülatörler, Atık Yağlar, Hafriyat Toprağı, İnşaat ve Yıkıntı Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği” gibi diğer ilgili yönetmelikler çerçevesinde yapılmaktadır. Büyükşehir belediyeleri ve belediyeler, Çevre Kanunu’nun 11. maddesi uyarınca belediyeye ait katı atık bertaraf tesislerinin kurulmasından, işletip veya işletmekten yükümlüdür.

Çalışma, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı’nın atık arıtma, geri kazanım ve bertaraf aşamalarının entegre olarak uygulanmasını içeren Entegre Katı Atık Yönetimi İklim Eylem Planı, Türkiye genelinde entegre katı atık arıtma tesislerinin kurulmasını öngörmektedir. Programın hedefi, 2023 yılı sonuna kadar bu alanlardaki tüm belediye atıklarının ortadan kaldırılmasıdır (Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2024).

Atık yönetimi, çevre koruma ve sürdürülebilir kalkınma açısından kritik bir rol oynamaktadır. Üretilen atıkların çevre ve insan sağlığına tehdit olmaktan çıkıp ekonomiye girdi haline getirilmesini amaçlayan atık yönetimin etkinliği Türkiye’de belediyeler arasında farklılıklar arz etmektedir.

Atık yönetiminde verimlilik ve etkinlikten bahsedilince akla ilk gelen yöntem, çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemlerinden birisi olan Veri Zarflama Analizi (VZA)’dır. VZA, çok sık kullanılan, oldukça esnek yapıya sahip, kullanışlı bir yöntem olmasına rağmen; girdi, çıktı ve karar birimi sayısı arasındaki karşılıklı bağımlılık VZA’da önemli bir sorun teşkil etmektedir. Etkinlik ölçümlerinde kullanılabilecek, VZA dışında, farklı ÇKKV yöntemlerinin den EATWOS/EATWIOS (Girdi Çıktı Tatmin Edici Verimlilik Analiz Tekniği-Efficiency Analysis Technique with Input Output Satisficing) ve OCRA (Operasyonel Rekabet Değerlendirmesi-Operational Competitiveness Rating) yöntemleri de kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, Türkiye’deki 30 büyükşehir belediyesinin katı atık yönetim etkinliklerinin, Entropi ve OCRA ile entegre bir model oluşturularak, 2022 yılındaki performanslarının VZA yöntemi ile ölçüldüğü bir değerlendirme yaklaşımı önerilmektedir.

Çalışma kapsamında Türkiye’de katı atık hizmeti veren 30 büyükşehir belediyesinin iki girdi ve üç çıktı değişkeni kullanılmış olup bunların detayları ilerleyen bölümlerde sunulacaktır. Farklı özelliklere sahip çok sayıda büyükşehir belediyesi bulunmakta olup, yapılan çalışma sonucunda incelenen belediyelerden, katı atık yönetimi etkin ve etkisiz olan büyükşehir belediyelerin belirlenmesi amaçlanmış ve iyileştirme sonuçları incelenmiştir. Bu noktada büyükşehir belediyelerin katı atık hizmetleri etkinliklerinin artırılması için çıktı miktarlarında ne tür bir değişiklik yapılması gerektiğinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Çalışmanın birinci bölümde konuyla ilgili literatür araştırmasına, ikinci bölümde ise araştırma yöntemi ve metodolojisine ilişkin olarak Entropi, OCRA ve VZA yöntemlerine ilişkin açıklamalara yer verilmiştir. Üçüncü bölümde analizler sonucu ulaşılan bulgular ve son bölümde sonuçlar değerlendirilmiştir.

I. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Tersine lojistik ve katı atık yönetimi konuları son yıllarda giderek önem kazanmaktadır. Bu bağlamda, akademik çalışmalar mevcut durumu ve gelişim alanlarını anlamak açısından değerli bilgiler sunmaktadır.

Katı atık yönetimi ve tersine lojistik üzerine yapılan çalışmalar, bu iki kavramın entegrasyonunun nasıl gerçekleştirileceği ve bu entegrasyonun faydaları üzerinde yoğunlaşmaktadır. Literatürde, atıkların kaynağında ayrıştırılması, toplama yöntemleri, geri dönüşüm teknolojileri ve ekonomik analizler gibi konular ele alınmaktadır. Ayrıca bugüne kadar ki çalışmalarda “geri dönüşüm”, “yeniden kullanma”, “çevre ve atık yönetimi”, “atıkların geri kazanımı” gibi konular ele alınmıştır.

Tayvan’daki 19 atık yakma tesisinin etkinliğini Chen, Chang, Chen ve Tsai (2010) VZA kullanarak incelemiştir. Simões, De Witte ve Marques (2010), VZA yaklaşımına dayalı 29 katı atık hizmeti örneği kullanarak Portekiz kentsel katı atık hizmetlerinin verimliliğini araştırmıştır. Analiz sonuçları, hizmet verimlilikleri ile çevresel etkenler arasındaki ilişkinin önemli olduğunu belirtmektedir.

2011 yılında Tai, Zhang, Che, ve Feng, Çin’deki 8 şehrin belediye katı atıklarının toplanması, taşınması ve arıtılması için farklı yöntemlere genel bir bakış sunmuş, ayrıca Çin’deki belediye katı atıklarının

kaynakta ayrılmış toplanmasının karşılaştırmalı analizini yapmış, belediye katı atıklarının miktar ve bileşim bilgilerinin, özelliklerinin benzer olduğunu, yani düşük kalorifik değer, yüksek nem içeriği ve yüksek oranda organik madde içerdiğini belirtmiştir. 2018 yılında Yang, Fu, Liu ve Cheng, Üç Aşamalı VZA'yı kullanarak Çin'deki 34 belediyedeki katı atık yönetimi faaliyetlerini incelemiştir. Bu çalışmada iki girdi değişkeni ve üç çevresel değişken kullanılmıştır. VZA kullanarak Albores, Petridis ve Dey (2016), Çin'deki 20 atık yakma tesisinde katı atık yönetimi faaliyetlerini incelemiştir.

Benito-López, del Rocio Moreno-Enguix ve Solana-Ibañez (2011), İspanya'daki 1072 belediyede sokak temizliği ve atık toplama faaliyetlerini incelemiştir. Belediyelerin turizm açısından önem taşıması ve çeşitli ekonomik faaliyetlerin varlığının çevre temizliğinin etkinliği üzerinde olumlu etkisi olduğu tespit edilmiştir.

Türkiye'de tersine lojistik ve katı atık yönetimi üzerine yapılan çalışmalar, genellikle büyükşehirlerdeki uygulamaları ve kırsal bölgelerdeki zorlukları ele almaktadır. Çeşitli araştırmalar, atık yönetim sistemlerinin etkinliği, geri dönüşüm oranları ve çevresel etkiler üzerine odaklanmaktadır.

Görçün (2019a), Karadeniz'deki 9 konteyner limanın verimliliğini EATWIOS yöntemini kullanarak ölçmüştür. Çalışmada girdilerin ve çıktılarının ağırlıklarının hesaplanması için Entropi yöntemi kullanılmıştır. Görçün (2019b) bir başka çalışmasında, yine Entropi ve tatmin seviyesi tayin edilmemiş EATWIOS yöntemlerini bir arada kullanmış Orta Asya ülkelerinin lojistik performans ve verimliliklerini ölçmüştür. Kundakçı (2019), 6 tedarikçinin verimliliklerini tatmin seviyesi tayin edilmemiş EATWIOS ve OCRA yöntemlerini kullanarak ölçmüştür. Çalışmada girdi ve çıktılarının ağırlıklarının belirlenmesi için herhangi bir yöntem kullanılmamış, eşit ağırlıklandırma yoluna gidilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre her iki yöntemde de karar birimlerinin verimlilik sıralamaları değişmemiş, her iki yönetiminde tedarikçi değerlendirme problemleri için uygun olduğu ifade edilmiştir. Uludağ (2020), Türkiye'deki havalimanlarının 2014-2018 yılları arasındaki verimliliklerini çıktı tatmin seviyesi tayin edilmemiş EATWIOS yöntemi ve VZA kullanarak ölçmüştür. Özbek (2018), bir sivil toplum kuruluşunun 2014-2015 yılları arasındaki verimliliğini tatmin seviyesi tayin edilmiş, tatmin seviyesi tayin edilmemiş EATWIOS ve ölçeğe göre sabit getiri varsayımı altında girdi yönelimli VZA kullanarak ölçmüş ve sonuçları karşılaştırmıştır. Parkan ve Wu (1999), Hong Kong'taki bir yatırım bankasının ek personel alımının bankanın genel performansına etkisini 1993-1994 yılına ait 24 aylık maliyet ve gelir verilerini dikkate alarak hem OCRA hem de VZA'yı kullanarak ölçmüşler ve sonuçları karşılaştırmışlardır. Elde edilen sonuçlar, OCRA ve VZA'yla elde edilen derecelendirmeler arasındaki benzerliğin, VZA'da gelir ve maliyet kategorisindeki önem ağırlığı kısıtlamalarının sertleşmesi durumunda, arttığını göstermiştir.

Palabıyık (2001), İzmir Büyükşehir Belediyesi'ni örnek olarak belediyelerdeki kentsel katı atık yönetimi sürecini incelemiş ve büyükşehir belediyelerinde rehber olarak "Katı Atık Genel Müdürlüğü" nün kurulmasını önermiştir. Görken (2011), İzmir Limanı'na uğrayan kruvaziyer tipi gemilerin katı atıklarını incelemiş, çevresel atık yönetimine ilişkin yöntem ve öneriler geliştirmiştir. Türkiye'de illerin kentsel çevresel sürdürülebilirliğini Taşdoğan, Mollavelioğlu ve Mihci (2014), VZA kullanarak değerlendirmiştir. Çalışmada illeri iktisadi ve çevresel etkenler açısından ve bölgesel gelişme bölgeleri içerisindeki en iyi iktisadi performansa sahip iller olarak iki kategoride incelemiştir. Öner, Çalışkan Eleren, Salıhoğlu (2019), Muğla ili Bodrum Belediyesi atık yönetim sistematüğünü incelemiş, turistik kıyı bölgelerinde dönemsel nüfus değişimine bağlı olarak atık yönetim sisteminin planlanması, planlama yapılırken dikkat edilmesi gereken hususlar ve çözüm önerileri sunmuştur. Şaşmaz, Avcı ve Aladağ (2020), VZA kullanarak Türkiye'nin istatistiksel bölgesel birimlerinin sınıflamasına göre 1. seviyedeki belediye katı atık yönetimi etkinliklerini incelemiştir. Atıcı (2020), benzer atık işleme tesislerinin Toplam Kalite Yönetimi, Sıfır Atık Yönetim Planı ve Uygulama Yaklaşımlarının olumlu ve olumsuz yönlerini incelemiş, atık toplama tesislerinin etkinliğini VZA ile analiz

etmiştir. Analiz sonucunda etkin olmayan tesisler için aktif tesislere göre nasıl etkili hale getirilebilecekleri konusunda girdilerinde yapılacak değişiklik önerilerinde bulunmuştur. Avcı, Şaşmaz ve Aladağ (2020), Türkiye istatistiksel bölge birimleri sınıflamasına göre 1. seviyede yer alan belediyelerin katı atık yönetimindeki etkinliklerini, üç girdi ve iki çıktı kullanarak VZA ile değerlendirmiştir. Diğer VZA modeli olan Süper Etkinlik (SE) ile tüm bölgeleri sıralamış ve bulunduğu sonuçları TOPSİS yöntemiyle yaptığı analiz sonucunda ulaştığı sonuçlar ile karşılaştırarak etkinliğinin arttırmasına yönelik önerilerde bulunmuştur. Tüfek (2022), Türkiye'de sıfır atık politikasının uygulama sürecini Balıkesir ilini örnek alarak derinlemesine incelemiştir. Sonuç olarak, Türkiye'de sıfır atık politikası hedefleri doğrultusunda merkezde alınan kararların yerel düzeyde etkin şekilde uygulanmadığını gözlemlemiştir. Saraç, Gündoğdu ve Aytekin (2023), Türkiye'deki 30 büyükşehir belediyesinin sıfır atık yönetim etkinliği üç girdi ve iki çıktı değişkeni kapsamında VZA ile incelenmiştir. VZA ile yapılan değerlendirmelerde 20 büyükşehir belediyesinin CCR modeline göre, 19 büyükşehir belediyesinin BCC modeline göre etkisiz olduğu bulunmuştur. Sonuçta, yerel yönetimlerin atık işleme kapasitesinin artırılması, alanında uzman kişilerle çalışılması, sıfır atık konusunda yerel ve merkezi düzeyde tüm paydaşlarla iş birliği sağlanması, çalışanlara eğitim verilmesi, mevzuatın tam olarak uygulanması ve evsel atıkların sınıflara ayrılması konularında öneriler sıralanmıştır. Seyhan (2023), 2017, 2018 ve 2019 yıllarına ait altı girdi ve tek çıktı değişkeni kullanarak 32 AB üyesi ve aday ülkenin atık yönetimi performanslarını VZA ile değerlendirilmiştir. Ortaya çıkan performans metrikleri yapay sinir ağı ile oluşturulan modelinde çıktı değişkenleri şeklinde kullanmış ve 2019 yılına ait hesaplanan performans metriklerinin gerçek performans metriklerine çok yakın olduğu sonucuna varılmıştır.

Literatürde Türkiye'de şehirlerin veya yerel yönetimlerin katı atık yönetimini inceleyen birçok çalışmanın bulunmuş ancak Entropi, OCRA ve VZA yöntemleri kullanılarak katı atık yönetimini konusunda yapılmış bir çalışmaya rastlanmamış, karşılaştırmalı olarak inceleyen çalışmaların ise sayıca kısıtlı kaldığı anlaşılmaktadır. Bu açıdan çalışmanın, ulusal ve bölgesel yönetim birimlerine, politika yapıcılara ve araştırmacılara önemli fikirler sağlaması beklenmektedir.

II. YÖNTEM VEYA METODOLOJİ

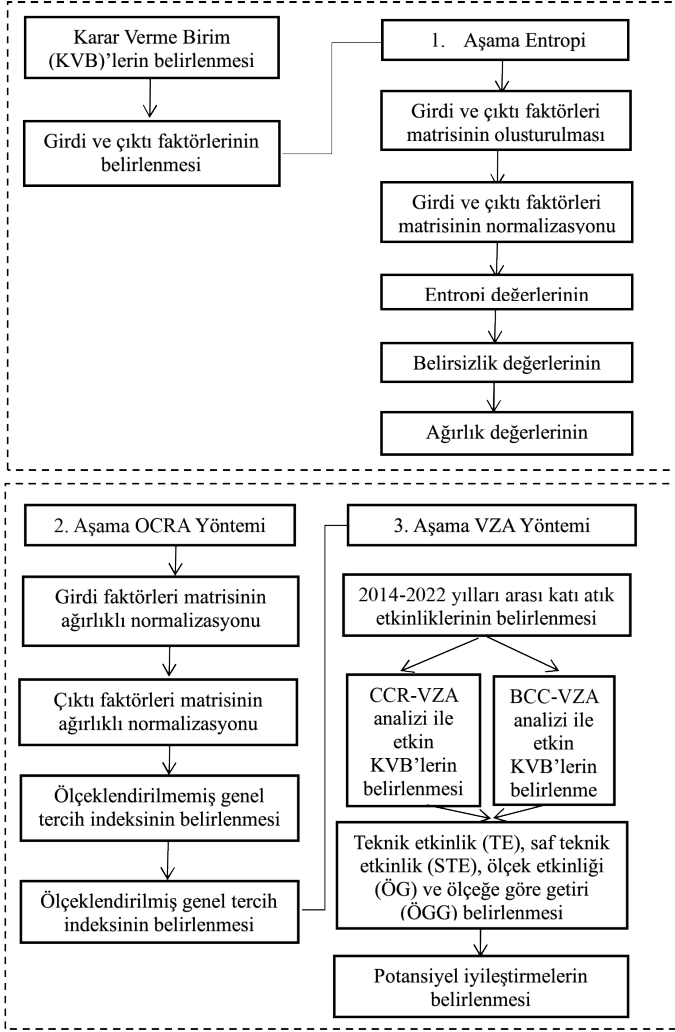
A. MODELİN BELİRLENMESİ

Türkiye'deki 30 büyükşehir belediyesinin katı atık yönetim etkinliklerini analiz etmek üzere Entropi, OCRA ve VZA yöntemlerinin birlikte kullanıldığı üç aşamadan oluşan bir yaklaşım önerilmektedir.

İkinci aşamada; performans analizi için belirlenen veri setinin ağırlık değerleri Entropi yöntemiyle belirlenmiştir. Ardından OCRA yöntemi uygulanmış ve KVB'lerin birbirlerine göre performansları karşılaştırmalı olarak belirlenmiştir.

Üçüncü aşamadaki Önerilen yaklaşımın üçüncü aşaması olan VZA yöntemi ile etkinlik analizi için ilk olarak Türkiye'de bulunan 30 büyükşehir belediyesinin 2014-2016-2018-2020 ve 2022 yıllarına ait katı atık yönetim etkinlikleri çıktı odaklı CCR ve BCC modellerine göre analiz edilmiştir.

VZA analizinin ikinci aşamasında 2022 yılında 30 büyükşehir belediyelerinin girdi miktarı ile çıktıları maksimize etme eğilimleri dikkate alınmış ve çıktı odaklı hem CCR-VZA hemde BCC-VZA modeline göre detaylı bir şekilde analiz edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre KVB'lerin 2022 yılı etkinlikleri analiz edilmiş ve etkin olmayan işletmelerin etkin hale gelebilmelerindeki potansiyel iyileşme yüzdeleri (%), referans alması gereken KVB'lerin hangileri olduğu belirlenmiştir. Önerilen üç aşamalı bu yaklaşımın kapsamlı bir değerlendirme çerçevesi sunulabilmesi amacıyla bu aşamaların alt işlem adımları ile birlikte şematik olarak gösterimi Şekil 1'de ayrıntılı bir şekilde verilmiştir.

ŞEKİL 1 | Önerilen Yöntemin Akış Şeması

B. ÇALIŞMANIN KAPSAMI VE VERİ SETİ

Çalışma kapsamı, Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) tarafından 2 yılda bir hazırlanan Belediye Atık Hizmetleri İstatistik Raporları ve Belediye Atık Yönetimi İstatistik Raporlarında yer alan 2014-2022 yıllarına ait verilerin elde edildiği (Türkiye İstatistik Kurumu [TÜİK], 2024) Türkiye’de 30 ilde bulunan büyükşehir belediyelerinden oluşmaktadır. Çalışmaya Karar Verme Birimi (KVB) olarak dahil edilen büyükşehir belediyeleri Tablo 1’de verilmiştir.

TABLO 1 | Büyükşehir Belediyesi olan KVB’ler

Karar Birim Kodu	Karar Birim Adı	Karar Birim Kodu	Karar Birim Adı	Karar Birim Kodu	Karar Birim Adı
A1	Adana	A11	Gaziantep	A21	Mardin
A2	Ankara	A12	Hatay	A22	Mersin
A3	Antalya	A13	İstanbul	A23	Muğla
A4	Aydın	A14	İzmir	A24	Ordu
A5	Balikesir	A15	Kayseri	A25	Sakarya
A6	Bursa	A16	Kocaeli	A26	Samsun
A7	Denizli	A17	Konya	A27	Tekirdağ
A8	Diyarbakır	A18	Malatya	A28	Trabzon
A9	Erzurum	A19	Manisa	A29	Şanlıurfa
A10	Eskişehir	A20	Kahramanmaraş	A30	Van

Çalışma kapsamında analizde kullanılan 2 girdi ve 3 çıktı faktörleri aşağıdaki gibi belirlenmiştir.

Girdiler:

- G1: Atık Hizmeti Veren Belediye Sayısı,
G2: Kişi Başına Toplanan Ortalama Atık Miktarı.

Çıktılar:

- C1: Belediye Çöplüğüne Gönderilen Yıllık Atık Miktarı,
C2: Atık İşleme Tesislerine Gönderilen Yıllık Atık Miktarı,
C3: Diğer Yöntemlerle Bertaraf Edilen Yıllık Atık Miktarı.

1. ENTROPI Uygulanması

Gerçek hayatta, her seçim kriteri göreceli öneme sahiptir ve aralarında çoğunlukla eşitlik yoktur. Bu nedenle, gerçekçi bir performans analizi yapmak için seçim kriterlerinin göreceli ağırlık değerlerinin hesaplanması gerekir. Bu bakış açısında, Shannon ve Weaver (1947), olasılık teorisi açısından formüle edilen bilgi belirsizliğinin bir ölçüsü olan entropi kavramını önermiştir (Zhang vd., 2014). Seçim kriterlerinin ağırlığı, bir karar alma sürecindeki her faktörün göreceli önemini temsil eder. Seçim kriterlerinin ağırlık değerlerini hesaplamak için kullanılabilen birçok çok kriterli karar alma tekniği olmasına rağmen, entropi yöntemi, yalnızca sayısal değerler kullandığı için kriterlerin ağırlık değerlerini hesaplamak için en uygun tekniktir. Bu çalışmada kullanılan veriler tamamen sayısaldir ve gerçek verilerdir. Bu nedenle, girdi ve çıktı faktörlerinin nesnel ağırlıklandırma puanlarını elde etmek için öznal ağırlıklandırma yöntemleri yerine nesnel bir ağırlıklandırma tekniğinin uygulanması uygundur. Entropi tekniğini uygulayan önceki çalışmalar değerlendirildiğinde, Entropi yönteminin çok başarılı sonuçlar veren bir hesaplama aracı olduğu görülebilir.

Bu gerçeği göz önünde bulundurarak, Entropi yöntemi ağırlıklandırma yöntemi olarak seçilmiş ve uygulanmıştır. Zou, Sun ve Ren’e (2005) göre, Entropi yöntemi oldukça güvenilirdir ve bilgi ölçümünde kolayca benimsenebilir. Entropi tekniği, belirsizlik ölçümlerini olasılık teorisini kullanarak değerlendirir ve her faktörün yararlılığını değerlendirir. Entropi ağırlıkları, olasılık teorisi kullanılarak formüle edilen bilgilerdeki belirsizliklerin ölçümleridir (Rao, Sai ve Babu 2017). Entropi yöntemi aşağıdaki adımlardan oluşur:

TABLO 2 | Entropi Yöntemi Uygulama Adımları

1. Aşama: Girdi ve çıktı faktörleri matrisinin normalizasyonu	$x_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}}$	(1)
2. Aşama: Faktörlerin Entropi değerlerinin hesaplanması	$e_{ij}^* = \chi_{ij}^* (\ln \chi_{ij}^*)$ $E_{ij}^* = \left\{ \frac{-1}{\ln(m)} \right\} \sum_{i=1}^m [\chi_{ij}^* \ln \chi_{ij}^*]; \forall j$	(2)
3. Aşama: Faktörlerin belirsizlik değerlerinin hesaplanması	$d_{ij}^* = 1 - E_{ij}^*; \forall j$	(3)
4. Aşama: Ağırlık değerlerinin hesaplanması	$w_{ij}^* = \frac{d_{ij}^*}{\sum_{i=1}^m d_{ij}^*}; \forall j$	(4)

2. OCRA Yöntemi

Operasyonel Rekabet Değerlendirmesi [Operational Competitiveness Rating (OCRA)] Yöntemi parametric olmayan bir modele dayalı bir göreceli performans ölçümü yaklaşımıdır. Daha açık bir şekilde, karar alternatiflerinin göreceli önem puanlarını hesaplamak için kullanılabilir. Bu teknik, Parkan (1991) tarafından bir dizi karar seçeneğinin göreceli performansını ölçmek için geliştirilmiştir.

Girdi ve çıktı faktörleri için bağımsız bir analiz gerçekleştirmek, bu yöntemin tipik bir özelliğidir ve operasyonel rekabet gücü derecelendirmelerini elde etmek için son aşamada iki derecelendirme kümesini birleştirir. OCRA yöntemiyle elde edilen indeks değerleri, bir üretim biriminin gerçekten verimli veya verimsiz çalıştığını göstermekten ziyade diğer üretim birimlerine göre sıralamadaki yerini göstermektedir.

OCRA tekniğinin değerlendirme prosedürü herhangi bir ek parametrenin girişinden etkilenmez, bu nedenle diğer ÇKKV yöntemlerinde görülebilecek bazı sorunlar bu yöntemin uygulama prosedüründe mevcut değildir. Ayrıca, yalnızca dört uygulama adımıyla çözüme ulaşılabilir, bu adımlar çok kolay uygulanabilir ve herhangi bir yazılım veya programa ihtiyaç duymaz. Yukarıda belirtildiği gibi, bu model aşağıdaki gibi dört adımda uygulanır: (Parkan 2002; Markovits-Somogyi 2011; Ozbek 2015)

TABLO 3 | OCRA Yöntemi Uygulama Adımları

1. Aşama: Girdi faktörleri matrisinin ağırlıklı normalizasyonu	$r^k = \sum_{m=1}^M a_m = \frac{\max_{n=1..K} (X_m^n) - (X_m^k)}{\min_{n=1..K} X_m^n} \quad (5)$ $\forall n = 1, \dots, K; (X_m^k) > 0; \forall k$
2. Aşama: Çıktı faktörleri matrisinin ağırlıklı normalizasyonu	$o^k = \sum_{h=1}^H b_h = \frac{Y_h^k - \min_{n=1..K} Y_h^n}{\min_{n=1..K} Y_h^n} \quad (6)$ $\forall n = 1, \dots, K; (X_m^k) > 0; \forall k$
3. Aşama: Ölçeklendirilmiş doğrusal tercih indeksinin belirlenmesi	$O^k = o^k - \min o^k$ $I^k = i^k - \min i^k \quad (7)$ $E^k = I^k + O^k$
4. Aşama: Ölçeklendirilmiş genel tercih indeksinin belirlenmesi	$E^k = I^k + O^k - \min_{n=1..K} (I^n - O^n) \quad (8)$

3. VZA Yöntemi

VZA (Veri Zarflama Analizi-Data Envelopment Analysis-DEA), üretim birimlerinin etkinliğini ölçmek için kullanılan doğrusal programlama tabanlı bir yöntemdir. Bu yöntem, özellikle girdinin birden fazla ve çıktının çok olduğu durumlarda etkilidir ve KVB'lerin performanslarını karşılaştırmak için kullanılır.

VZA, ilk olarak Charnes ve diğerleri (1978) tarafından karar verme problemlerinin çözümü için kullanılmıştır. Yöntem, belirlenmiş bir girdi kümesini kullanarak maksimum çıktıya ulaşan KVB'lerini belirler ve bu birimleri etkin sınır olarak adlandırır. Diğer birimler bu sınır ile karşılaştırılarak etkinlik düzeyleri ölçülür. VZA'nın temel amacı, birimlerin etkinliklerini göreceli olarak değerlendirmek ve iyileştirme alanlarını belirlemektir. Çok fazla girdi ve çıktı değeri etkinlik analizini zayıflatacağından, girdi ve çıktı sayıları aşırı belirlenmemeli, VZA'da yeterli sayıda KVB bulunmalı ve KVB sayısına göre analiz yapılmalıdır (Harmankaya, Pekmezci ve Ergülen, 2021). KVB'nin girdi ve çıktı sayılarının toplam olarak iki ila üç kat fazla olması beklenmekte olup (Ramanathan, 2003), çalışma kapsamında 2 girdi ve 3 çıktıya sahip 30 adet KVB kullanıldığından bu konudaki şartlar sağlanmıştır.

VZA girdi ve çıktı odaklı olacak şekilde kullanılabilir. Çalışmada aynı girdi miktarı ile maksimum getiri ölçülmek istendiğinden çıktı odaklı model kullanılmıştır. Çünkü il genelindeki atık hizmeti veren belediye sayısı ve kişi başı toplanan ortalama atık miktarı, işlenen ve bertaraf edilen atık miktarının artmasına neden olan unsurlar olarak düşünülmektedir.

KVB'lerin etkinliği VZA ile değerlendirilirken, CCR ve BCC modelleri kullanılabilir. Modelin geliştiricileri Charnes, Cooper ve Rhodes tarafından oluşturulan CCR Modeli, sabit getiri varsayımına dayanmaktadır. Girdilerdeki bir değişim çıktılarda aynı oranda bir değişim yaratır. Geliştiricileri Banker, Charnes ve Cooper olan BCC Modeli, değişken getiri varsayımını kullanır. Bu model, daha esnek olup, ölçek ekonomilerini dikkate alır (Charnes, Cooper, Lewin ve Seiford, 1994). Toplam teknik etkinliği CCR modeli bir bütün olarak hesaplar, BCC modeli teknik etkinlik ile ölçek etkinliğini ayırarak hesaplamaya olanak vermektedir (Coelli, 1996). CCR modeliyle toplam Teknik Etkinlik (TE) değeri, BCC modeliyle ise Saf Teknik Etkinlik (STE) değerleri elde edilir (Sevimli, 2013). Ölçek Etkinliği (ÖE), bu değerlerin birbirine oranlanmasıyla hesaplanabilir. Analiz sadece, incelenen KVB'lerden oluşan gözlem kümesi için yapıldığından, mutlak etkinliği değil, göreceli etkinliği değerlendirmektedir (Karahan ve Özgür, 2009).

KVB'lerin etkin üretim sınırındaki bulunan en iyi KVB ile karşılaştırılmasıyla VZA'da etkinlik değerlendirmesi yapılır (Donthu, Hershberger ve Osmonbekov, 2005). VZA'nın etkinlik değerlemesinde gözlem kümesindeki minimum girdiyi kullanarak maksimum çıktıyı üreten "en iyi" KVB tanımlanır. Tanımlanan bu KVB, "referans" seçilerek etkin üretim sınırı olarak kabul edilir ve etkisiz KVB'lerin bu sınırdan uzaklıkları "radyal" olarak belirlenir. Söz konusu ölçüm ile KVB'lerin hepsi için göreceli etkinlik skoru hesaplar. Etkin üretim sınırında bulunan KVB'ler göreceli olarak tamamen teknik

etkin birimlerdir ve "1" etkinlik skoru değerini alırlar (Tarım, 2001). Etkin üretim sınırı altında kalan KVB'ler 0 ve 1 arasında bir etkinlik değeri alırlar ve aynı miktarda çıktıyı üretmek için daha fazla girdi kullandıklarından, etkisiz olarak değerlendirilirler (Baysal, Uygur ve Toklu, 2004).

Bu analizde VZA için genel olarak kullanılan ve başarılı sonuçlar veren VZA MAXDEA 8 paket programı kullanılarak çıktı odaklı CCR ve BCC modeli ile analiz edilmiş ve denklemsel gösterimi Tablo 4'de verilmiştir.

TABLO 4 | VZA Yöntemi Uygulama Adımları

Girdi Odaklı CCR Etkinlik Analizi Modeli	
Amaç Fonksiyonu	$\max h_k = \sum_{r=1}^s u_{rk} y_{rk} \quad (9)$
Kısıtlayıcılar	$\sum_{r=1}^s u_{rk} y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_{ik} x_{ij} \leq 0, j = 1, 2, \dots, n$ $\sum_{i=1}^m v_{ik} x_{ik} = 1 \quad (10)$ $u_{rk} \geq 0, r = 1, 2, \dots, s$ $v_{ik} \geq 0, i = 1, 2, \dots, m$
Girdi Odaklı BCC Etkinlik Analizi Modeli	
Amaç Fonksiyonu	$\max h_k = \sum_{r=1}^s u_{rk} y_{rk} - u_0 \quad (11)$
Kısıtlayıcılar	$\sum_{r=1}^s u_{rk} y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_{ik} x_{ij} \leq 0, j = 1, 2, \dots, n$ $\sum_{i=1}^m v_{ik} x_{ik} = 1 \quad (12)$ $u_{rk} \geq 0, r = 1, 2, \dots, s$ $v_{ik} \geq 0, i = 1, 2, \dots, m$
<i>urk</i> : k. karar biriminin r. çıktısının ağırlığı <i>vik</i> : k. karar biriminin i. girdisinin ağırlığı <i>yrk</i> : k. karar birimi tarafından üretilen r. çıktı <i>xik</i> : k. karar birimi tarafından kullanılan i. girdi <i>yrj</i> : j. karar verici tarafından üretilen r. çıktı <i>xij</i> : j. karar verici tarafından kullanılan i. girdi n: KVB sayısı s: çıktı sayısı m: girdi sayısı	

III. BULGULAR

A.ENTROPI YÖNTEMİ BULGULARI

Çalışma kapsamında 30 büyükşehir belediyesine ilişkin katı atık etkinlik analizindeki girdi ve çıktı değişkenlerine yönelik 2022 yılı etkinlik istatistik verilerinden hazırlanmış girdi-çıktı faktörleri matrisi Tablo 5'de sunulmuştur.

TABLO 5 | 2022 yılı Büyükşehir Belediyelerine Ait Girdi-Çıktı Faktörleri Matrisi

Kod	Girdiler		Çıktılar		
	G1	G2	C1	C2	C3
A1	16	0,81	0	663.895	1.800
A2	26	0,93	15.500	1.941.086	0
A3	20	1,37	49.966	1.290.804	0
A4	18	1,10	0	446.226	9.895
A5	21	0,97	12.240	431.846	980
A6	18	0,89	9.930	1.023.253	0
A7	20	0,89	69.880	271.791	950
A8	18	1,14	703.118	22.606	13.500
A9	21	0,90	87.862	113.717	30.240
A10	15	0,93	26.595	280.974	0
A11	10	0,87	0	682.796	0
A12	16	1,34	0	826.840	21
A13	40	1,13	0	6.552.701	0
A14	31	1,22	0	1.972.425	11.040
A15	17	0,98	121.583	357.082	35.000
A16	13	0,82	0	622.287	0

TABLO 5 (Devamı) | 2022 yılı Büyükşehir Belediyelerine Ait Girdi-Çıktı Faktörleri Matrisi

A17	32	0,99	253.336	569.734	0
A18	14	0,75	34.015	187.300	0
A19	18	1,18	1.200	633.197	600
A20	12	0,95	129.320	275.847	0
A21	11	0,72	45.037	153.323	6.760
A22	14	0,85	0	590.566	0
A23	14	1,53	178.988	403.202	50
A24	20	0,86	0	224.191	0
A25	17	0,91	0	350.861	4.150
A26	18	0,83	0	397.195	0
A27	12	1,16	0	484.346	420
A28	19	0,72	0	207.448	5.967
A29	14	0,66	88.729	424.692	0
A30	14	1,02	409.714	9.739	0

Bir sonraki aşamada Entropi yöntemi nin uygulanmasındaki ilk işlem adımı olarak eşitlik 3 yardımıyla girdi ve çıktı faktörlerden oluşan matrisin elemanları normalize edilerek (eşitlik 1) Tablo 6’de sunulmuştur.

TABLO 6 | Girdi ve Çıktı Faktörleri Normalize Matrisi

Kod	Girdiler			Çıktılar	
	G1	G2	C1	C2	C3
A1	0,029144	0,027532	0	0,029622	0,01483
A2	0,047359	0,031611	0,006929	0,086609	0
A3	0,03643	0,046567	0,022336	0,057594	0
A4	0,032787	0,03739	0	0,01991	0,081526
A5	0,038251	0,032971	0,005472	0,019269	0,008074
A6	0,032787	0,030252	0,004439	0,045657	0
A7	0,03643	0,030252	0,031238	0,012127	0,007827
A8	0,032787	0,038749	0,314311	0,001009	0,111227
A9	0,038251	0,030591	0,039276	0,005074	0,249149
A10	0,027322	0,031611	0,011889	0,012537	0
A11	0,018215	0,029572	0	0,030466	0
A12	0,029144	0,045547	0	0,036893	0,000173
A13	0,07286	0,038409	0	0,292375	0
A14	0,056466	0,041468	0	0,088008	0,090959
A15	0,030965	0,033311	0,054351	0,015933	0,288367
A16	0,023679	0,027872	0	0,027766	0
A17	0,058288	0,033651	0,113247	0,025421	0
A18	0,025501	0,025493	0,015206	0,008357	0
A19	0,032787	0,040109	0,000536	0,028253	0,004943
A20	0,021858	0,032291	0,057809	0,012308	0
A21	0,020036	0,024473	0,020133	0,006841	0,055696
A22	0,025501	0,028892	0	0,02635	0
A23	0,025501	0,052005	0,080012	0,01799	0,000412
A24	0,03643	0,029232	0	0,010003	0
A25	0,030965	0,030931	0	0,015655	0,034192
A26	0,032787	0,028212	0	0,017722	0
A27	0,021858	0,039429	0	0,021611	0,00346
A28	0,034608	0,024473	0	0,009256	0,049162
A29	0,025501	0,022434	0,039664	0,018949	0
A30	0,025501	0,03467	0,183152	0,000435	0

Yöntemin bir sonraki adımında ise, faktörlere ilişkin Entropi (e_{ij}) değerleri (eşitlik 2), sonrasında eşitlik 3 ile belirsizlik değerleri (d_{ij}) ve

eşitlik 4 ile de ağırlık değerleri (w_{ij}) sırasıyla hesaplanarak bu değerler, 2022 yılı için tablonun en altında Tablo 7’de sunulmuştur.

TABLO 7 | 2022 yılı Büyükşehir Belediyelerine Ait Entropi Matrisi

Kod	Girdiler			Çıktılar	
	G1	G2	C1	C2	C3
A1	-0,10304	-0,09891	0	-0,10425	-0,06245
A2	-0,14444	-0,10919	-0,03445	-0,21188	0
A3	-0,12067	-0,14281	-0,08491	-0,16439	0
A4	-0,11206	-0,12288	0	-0,07798	-0,20437
A5	-0,12484	-0,1125	-0,0285	-0,0761	-0,03891
A6	-0,11206	-0,10583	-0,02405	-0,14092	0
A7	-0,12067	-0,10583	-0,10827	-0,05351	-0,03796
A8	-0,11206	-0,12596	-0,36377	-0,00696	-0,24428
A9	-0,12484	-0,10667	-0,12714	-0,02681	-0,34624
A10	-0,09836	-0,10919	-0,05269	-0,0549	0
A11	-0,07296	-0,10412	0	-0,10636	0
A12	-0,10304	-0,1407	0	-0,12174	-0,0015
A13	-0,19084	-0,12519	0	-0,35954	0
A14	-0,16229	-0,13199	0	-0,21389	-0,21806
A15	-0,1076	-0,11332	-0,15829	-0,06595	-0,35859
A16	-0,08864	-0,09979	0	-0,09951	0
A17	-0,16568	-0,11413	-0,24667	-0,09335	0
A18	-0,09356	-0,09354	-0,06365	-0,03999	0
A19	-0,11206	-0,129	-0,00404	-0,10076	-0,02625
A20	-0,08357	-0,11085	-0,16479	-0,05412	0
A21	-0,07835	-0,0908	-0,07863	-0,0341	-0,16084
A22	-0,09356	-0,1024	0	-0,09582	0
A23	-0,09356	-0,15375	-0,20208	-0,07228	-0,00321
A24	-0,12067	-0,10326	0	-0,04606	0
A25	-0,1076	-0,10752	0	-0,06508	-0,11542
A26	-0,11206	-0,10066	0	-0,07147	0
A27	-0,08357	-0,12748	0	-0,08287	-0,01961
A28	-0,11641	-0,0908	0	-0,04334	-0,14811
A29	-0,09356	-0,08519	-0,12801	-0,07515	0
A30	-0,09356	-0,11656	-0,31089	-0,00336	0
e_{ij}	-0,98382	-0,99401	-0,6412	-0,8122	-0,58386
d_{ij}	1,983817	1,994005	1,641196	1,812199	1,583855
w_{ij}	0,220056	0,221186	0,18205	0,201019	0,17569

Entropi yöntemi sonucunda en yüksek ağırlığa sahip kriterin kişi başına toplanan ortalama atık miktarı (G2); en düşük ağırlığa sahip kriterin diğer yöntemlerle bertaraf edilen yıllık atık miktarı (C3) olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

B. OCRA YÖNTEMİ İLE ETKİNLİK DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu aşamada, büyükşehir belediyelerinin 2022 yılı için performans konumlarının belirlenmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla, Entropi tabanlı OCRA yöntemi uygulanmıştır. Uygulama aşamasında ilk olarak Tablo 10’da verilen Entropi ağırlık değerleri kullanılarak ölçeklendirilmemiş girdi ve çıktı tercih indeksleri hesaplanmıştır. Yöntemin diğer uygulama adımlarında belirtilen eşitlik 5’den eşitlik 8’e kadar verilen formüller yardımıyla 2022 yılı için Tablo 8’de gösterilen indeks değerleri ve etkinlik sıralaması elde edilmiştir.

TABLO 8 | 2022 Yılı OCRA Etkinlik Analizi Sonuçları

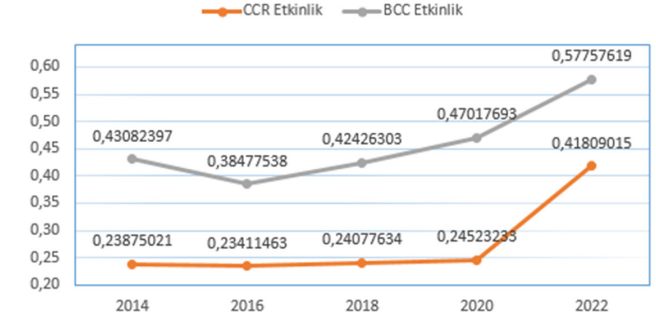
Kod	Ağırlıklı Girdi Faktörleri			Ağırlıklı Çıktı Faktörleri			Ölç.dirlmemiş Genel Tercih İndeksi	Ölç.dirlmiş Genel Tercih İndeksi	Sıra
A1	0,53	0,24	0,00	13,50	14,88		24,59	24,06	15
A2	0,31	0,20	2,17	39,86	-0,18		37,81	37,28	11
A3	0,44	0,05	7,40	26,44	-0,18		29,60	29,07	14
A4	0,48	0,14	0,00	9,01	82,61		87,68	87,15	6
A5	0,42	0,19	1,67	8,71	8,02		14,46	13,93	20
A6	0,48	0,21	1,32	20,92	-0,18		18,21	17,68	18
A7	0,44	0,21	10,42	5,41	7,77		19,69	19,16	17
A8	0,48	0,13	106,49	0,27	112,77		215,57	215,04	3
A9	0,42	0,21	13,15	2,15	252,82		264,18	263,65	2
A10	0,55	0,20	3,85	5,60	0,00		5,64	5,11	27
A11	0,66	0,22	0,00	13,89	0,00		10,21	9,68	23
A12	0,53	0,06	0,00	16,87	0,00		12,90	12,37	22
A13	0,00	0,13	0,00	135,05	0,00		130,62	130,09	4
A14	0,20	0,10	0,00	40,51	92,19		128,44	127,91	5
A15	0,51	0,18	18,26	7,17	292,64		314,20	313,67	1
A16	0,59	0,24	-0,18	12,64	0,00		8,73	8,20	25
A17	0,18	0,18	38,25	11,56	0,00		45,61	45,08	10
A18	0,57	0,26	4,98	3,66	0,00		4,92	4,39	28
A19	0,48	0,12	0,00	12,87	4,84		13,75	13,22	21
A20	0,62	0,19	19,44	5,49	0,00		21,18	20,65	16
A21	0,64	0,27	6,65	2,96	56,38		62,34	61,81	7
A22	0,57	0,23	0,00	11,99	0,00		8,23	7,70	26
A23	0,57	0,00	26,97	8,12	0,24		31,35	30,82	13
A24	0,44	0,22	0,00	4,43	0,00		0,53	0,00	30
A25	0,51	0,21	0,00	7,04	34,54		37,74	37,21	12
A26	0,48	0,23	0,00	8,00	0,00		4,16	3,62	29
A27	0,62	0,12	0,00	9,80	3,34		9,31	8,78	24
A28	0,46	0,27	0,00	4,08	49,75		50,00	49,47	9
A29	0,57	0,29	13,28	8,56	0,00		18,15	17,62	19
A30	0,57	0,17	61,98	0,00	0,00		58,16	57,63	8

Tablo 8’de sunulan OCRA yöntemine göre, büyükşehir belediyelerinin 2022 yılı etkinlik sıralaması incelendiğinde; 1. sırada A15-Kayseri (313,67), 2. sırada A9-Erzurum (263,65), 3. sırada D8-Diyarbakır (215,04), 4. sırada A13-İstanbul (130,09), 5. sırada A14-İzmir (128,91), 6. sırada A4-Aydın (87,15), 7. sırada A21-Mardin (61,68)’nin etkinlik oranı en yüksek büyükşehir belediyeleri olduğu görülmektedir. En düşük verimlilik skorlarına sahip üç karar birimi 28.sırada A18-Malatya (4,39), 29.sırada A26-Samsun (3,62) ve 30.sırada A24-Ordu (0,00) olmuştur. Tüm karar birimlerinin ortalama verimlilik skoru 55,9495 olarak hesaplanmıştır.

Uygulamada 30 adet KVB olduğu ve çok fazla yer kaplayacağı için her adımda elde edilen tablolar çalışmaya dahil edilmemiş yalnızca sonuç tablosu gösterilmiştir.

C. VZA YÖNTEMİ İLE ETKİNLİK DEĞERLENDİRİLMESİ

Önerilen yaklaşımın üçüncü aşaması olan VZA yöntemi ile etkinlik analizi için ilk olarak Türkiye’de bulunan 30 büyükşehir belediyesinin 2014-2016-2018-2020 ve 2022 yıllarına ait katı atık yönetim etkinlikleri çıktı odaklı CCR-VZA ve BCC-VZA modellerine göre analiz edilmiş ve ortalamaları aşağıdaki yer alan grafikte verilmiştir.

ŞEKİL 2 | 2014-2016-2018-2020-2022 Büyükşehir Belediyeleri Etkinlik Ortalamaları

30 büyükşehir belediyesinin etkinlik ortalamalarına bakıldığında hem CCR hemde BCC modeline göre 2016 yılından itibaren ortalamalarının sürekli arttığı görülmektedir. 2022 yılı itibarıyla her iki etkinlik ortalamalarının en üst seviyeye ulaştığı görülmektedir. VZA analizinin ikinci aşamasında 2022 yılında 30 büyükşehir belediyesi çıktı odaklı hem VZA-CCR modeli hemde VZA-BCC modeline göre detaylı bir şekilde analiz edilmiş ve analiz sonuçlarına göre referans setleri, etkinlik durumları, iyileştirme tabloları verilmiş ve yorumlanmıştır.

2022 yılı için 30 büyükşehir belediyesinin değerlendirildiği çıktı odaklı CCR modeli ile yapılan analiz sonucunda, 6 büyükşehir belediyesi etkin çıkmış olup, 30 büyükşehir belediyesi arasında etkin olanların başarı yüzdesi %20’dir. Etkin bulunan büyükşehir belediyeleri; Aydın, Erzurum, İstanbul, İzmir, Kayseri ve Mardin Büyükşehir Belediyesi’nin, “1” etkinlik oranıyla etkin katı atık yönetimi performansına sahip olduğu, diğer 24 büyükşehir belediyelerinin ise etkinlik değerleri “1” den küçük olduğu için katı atık yönetiminin etkisiz olduğu belirlenmiştir. Tablo 9’da görüldüğü üzere Malatya, Ordu ve Van Büyükşehir Belediyesi’nin toplam katı atık yönetim etkinlik değerleri diğer illere göre oldukça düşüktür. Tablo 9’da çözümleme sonucunda ulaşılan etkinlik değerleri sunulmuştur.

TABLO 9 | 2022 yılı Büyükşehir Belediye’lerine Ait CCR-VZA Ayrıntılı Sonuç Tablosu

Kod	Etkinlik Skoru	Referans Kümesi	Referans Olma Sayısı	Çıktı Miktarı		
				C1	C2	C3
A1	42,70%	Aydın(42,6%) İstanbul(20,8%)	0	0	1.554.903	4.216
A2	45,57%	İstanbul(65%)	0	0	4.259.256	0
A3	39,40%	İstanbul(50%)	0	0	3.276.351	0
A4	1	Aydın(1)	6	0	446.226	9.895
A5	16,40%	Aydın(14,5%) İstanbul(38,5%) Mardin(27,1%)	0	12.240	2.632.959	5.975
A6	34,70%	İstanbul(45%)	0	0	2.948.715	0
A7	10,31%	İstanbul(38,8%) Kayseri(26,3%)	0	32.005	2.637.263	9.213
A8	36,43%	Kayseri(105%)	0	128.735	378.087	37.059
A9	1	Erzurum(1)	0	87.862	113.717	30.240
A10	11,43%	İstanbul(37,5%)	0	0	2.457.263	0
A11	41,68%	İstanbul(25%)	0	0	1.638.175	0
A12	31,75%	Aydın(0,6%) İstanbul(39%)	0	0	2.604.352	66
A13	1	İstanbul(1)	22	0	6.552.701	0
A14	1	İzmir(1)	2	0	1.972.425	11.040
A15	1	Kayseri(1)	3	121.583	357.082	35.000
A16	29,22%	İstanbul(32,5%)	0	0	2.129.628	0
A17	10,87%	İstanbul(80%)	0	0	5.242.161	0
A18	8,17%	İstanbul(35%)	0	0	2.293.445	0
A19	26,01%	Aydın(18,8%) İstanbul(35,8%) Mardin(2,6%)	0	1.200	2.434.350	2.307

TABLO 9 (Devamı) | 2022 yılı Büyükşehir Belediye’lerine Ait CCR-VZA Ayrıntılı Sonuç Tablosu

A20	14,03%	İstanbul(30%)	0	0	1.965.810	0
A21	1	Mardin(1)	2	45.037	153.323	16.760
A22	25,75%	İstanbul(35%)	0	0	2.293.445	0
A23	17,73%	İstanbul(34,6%) Kayseri(0,8%)	0	980	2.273.886	282
A24	6,84%	İstanbul(50%)	0	0	3.276.351	0
A25	51,30%	Aydın(62,2%) İstanbul(0,9%) İzmir(17,4%)	0	0	683.985	8.090
A26	13,47%	İstanbul(45%)	0	0	2.948.715	0
A27	18,52%	İstanbul(35%)	0	0	2.293.445	0
A28	30,04%	Aydın(14,1%) İstanbul(23,6%)	0	0	1.612.241	1.398
A29	91,53%	İzmir(59%)	0	0	1.164.725	6.519
A30	0,42%	İstanbul(35%)	0	0	2.293.445	0

2022 yılı için 30 büyükşehir belediyesinin değerlendirildiği çıktı odaklı VZA-BCC modeli ile yapılan analiz sonucunda, 10 büyükşehir belediyesi etkin çıkmış olup, 30 büyükşehir belediyesi arasında etkin olanların başarı yüzdesi %33,34’dür. Etkin bulunan büyükşehir belediyeleri; Aydın, Erzurum, Gaziantep, İstanbul, İzmir, Kayseri, Kocaeli, Mardin, Şanlıurfa ve Trabzon Büyükşehir Belediyesi’dir. Tablo 10’da çözümleme sonucunda ulaşılan etkinlik değerleri sunulmuştur.

TABLO 10 | 2022 yılı Büyükşehir Belediye’lerine Ait BCC-VZA Ayrıntılı Sonuç Tablosu

Kod	Etkinlik Skoru	Referans Kümesi	Referans Olma Sayısı	Çıktı Miktarı		
				C1	C2	C3
A1	85,62%	G.antep(14,5%) İstanbul(4,89%) Kocaeli(45,33%) Trabzon(35,23%)	0	0	775.358	2.102
A2	58,68%	İstanbul(48,65%) Kocaeli(7,72%) Mardin(34,41%) Trabzon(9,2%)	0	15.500	3.308.009	6.317
A3	48,90%	G.antep(66,66%) İstanbul(33,33%)	0	0	2.639.431	0
A4	1	Aydın(1)	5	0	446.226	9.895
A5	17,60%	Aydın(10,23%) G.antep(29,55%) İstanbul(33,03%) Mardin(27,17%)	0	12.240	2.453.561	5.568
A6	52,94%	G.antep(30,44%) İstanbul(23,53%) Kocaeli(23,96%) Mardin(22,04%)	0	9.930	1.933.021	3.695
A7	11,85%	G.antep(20,46%) İstanbul(31,74%) Mardin(47,79%)	0	21.525	2.292.867	8.010
A8	38,57%	Kayseri(100%)	0	121.583	357.082	35.000
A9	1	Erzurum(1)	0	87.862	113.717	30.240
A10	16,91%	G.antep(83,33%) İstanbul(16,66%)	0	0	1.661.114	0
A11	1	G.antep(1)	15	0	682.796	0
A12	44,74%	Aydın(0,47%) G.antep(79,65%) İstanbul(19,87%)	0	0	1.848.230	47
A13	1	İstanbul(1)	19	0	6.552.701	0
A14	1	İzmir(1)	0	0	1.972.425	11.040
A15	1	Kayseri(1)	1	121.583	357.082	35.000
A16	1	Kocaeli(1)	7	0	622.287	0
A17	12,19	G.antep(0,47%) İstanbul(69,30%) Şanlıurfa(30,22%)	0	26.818	4.672.825	0

TABLO 10 (Devamı) | 2022 yılı Büyükşehir Belediye’lerine Ait BCC-VZA Ayrıntılı Sonuç Tablosu

A18	32,50%	İstanbul(6,17%) Kocaeli(4,26%) Mardin(75,52%) Trabzon(14,03%)	0	34.015	576.368	13.496
A19	32,14%	Aydın(14,35%) G.antep(60,23%) İstanbul(22,75%) Mardin(2,66%)	0	1.200	1.970.150	1.867
A20	25,68%	G.antep(93,33%) İstanbul(6,66%)	0	0	1.074.123	0
A21	1	Mardin(1)	7	45.037	153.323	16.760
A22	27,66%	G.antep(19,56%) İstanbul(5,87%) Kocaeli(74,55%)	0	0	982.675	0
A23	27,66%	G.antep(85,62%) İstanbul(13,29%) Mardin(1,07%)	0	486	1.457.630	181
A24	13,12%	İstanbul(20,13%) Kocaeli(53,81%) Trabzon(26,04%)	0	0	1.708.490	1.554
A25	68,22%	Aydın(38,90%) G.antep(21,93%) İstanbul(1,72%) Trabzon(37,43%)	0	0	514.310	6.083
A26	32,42%	İstanbul(12,16%) Kocaeli(59,24%) Trabzon(28,58%)	0	0	1.225.138	1.706
A27	1	Şanlıurfa(1)	1	88.729	424.692	0
A28	52,21%	Aydın(8,12%); G.antep(87,37%) İstanbul(4,49%)	0	0	927.643	804
A29	1	Trabzon(1)	6	0	207.448	5.967
A30	0,66%	G.antep(86,66%) İstanbul(13,33%)	0	0	1.465.450	0

Analiz sonucunda 30 büyükşehir belediyesinin toplam teknik etkinlik (TE - CCR modeliyle), saf teknik etkinlik (STE - BCC modeliyle) ve ölçek etkinliği puanları elde edilmiştir. Büyükşehir belediyelerine ait Teknik Etkinlik, Saf Teknik Etkinlik, Ölçek Etkinliği ve Ölçeğe Göre Getiri tablosu aşağıda verilmiştir.

TABLO 11 | 2022 yılı Büyükşehir Belediyelerine Ait Etkinlik Durumları

Kod	TE	STE	ÖE	ÖGG	Kod	TE	STE	ÖE	ÖGG
A1	42,70%	85,62%	49,87%	Artan	A16	29,22%	1	29,22%	Artan
A2	45,57%	58,68%	77,67%	Artan	A17	10,87%	12,19%	89,14%	Artan
A3	39,40%	48,90%	80,56%	Artan	A18	8,17%	32,50%	25,13%	Artan
A4	1	1	1	Sabit	A19	26,01%	32,14%	80,93%	Artan
A5	16,40%	17,60%	93,19%	Artan	A20	14,03%	25,68%	54,64%	Artan
A6	34,70%	52,94%	65,55%	Artan	A21	1	1	1	Sabit
A7	10,31%	11,85%	86,94%	Artan	A22	25,75%	60,10%	42,85	Artan
A8	36,43%	38,57%	94,44%	Artan	A23	17,73%	27,66%	64,10%	Artan
A9	1	1	1	Sabit	A24	6,84%	13,12%	52,15%	Artan
A10	11,43%	16,91%	67,60%	Artan	A25	51,30%	68,22%	75,19%	Artan
A11	41,68%	1	41,68%	Artan	A26	13,47%	32,42%	41,55%	Artan
A12	31,75%	44,74%	70,97%	Artan	A27	18,52%	1	18,52%	Artan
A13	1	1	1	Sabit	A28	30,04%	52,21%	57,54%	Artan
A14	1	1	1	Sabit	A29	91,53%	1	91,53%	Artan
A15	1	1	1	Sabit	A30	0,42%	0,66%	63,90%	Artan

Tablo 11 incelediğimizde, 2022 yılında toplam 30 büyükşehir belediyesinden 6’sı (Aydın, Erzurum, İstanbul, İzmir, Kayseri ve Mardin) toplam teknik etkinliğe (CCR-Etkin) sahipken, diğer 24 ilin toplam teknik etkinlik değerleri 1’in altında (CCR-Etkinsiz)’dir.

30 büyükşehir belediyesi’nin 10’u (Aydın, Erzurum, Gaziantep, İstanbul, İzmir, Kayseri, Kocaeli, Mardin, Şanlıurfa ve Trabzon) ise saf teknik etkin (BCC-Etkin) diğer 20 ilin ise saf teknik etkinlik değerleri 1’in altında (BCC-Etkinsiz)’dir.

Aydın, Erzurum, İstanbul, İzmir, Kayseri ve Mardin Büyükşehir Belediyeleri hem toplam teknik etkinlik hem de saf teknik etkinlik açısından etkin "1" durumunda olup, üretebilecekleri optimum çıktı miktarına ulaşmışlardır.

D. VZA YÖNTEMİ İLE ETKİN OLMAYAN BÜYÜKŞEHİR BELEDİYELERİNE AİT İYİLEŞTİRME

Etkin olmayan belediyelerin çıktılarındaki iyileştirmeler Tablo 12'de gösterilmekte, tablonun oluşturulması ise Tablo 13'de, örnek olarak Adana Büyükşehir Belediyesi özelinde detaylı olarak belirtilmiştir.

TABLO 12 | 2022 yılı Büyükşehir Belediyelerinin Atık Miktarı İyileştirme Tablosu

Kod	Atık Miktarı			Kod	Atık Miktarı		
	C1	C2	C3		C1	C2	C3
A1	0	1.554.903	4.216	A16	0	2.129.628	0
A2	0	4.259.256	0	A17	0	5.242.161	0
A3	0	3.276.351	0	A18	0	2.293.445	0
A4	0	446.226	9.895	A19	1.200	2.434.350	2.307
A5	12.240	2.632.959	5.975	A20	0	1.965.810	0
A6	0	2.948.715	0	A21	45.037	153.323	16.760
A7	32.005	2.637.263	9.213	A22	0	2.293.445	0
A8	128.735	378.087	37.059	A23	980	2.273.886	282
A9	87.862	113.717	30.240	A24	0	3.276.351	0
A10	0	2.457.263	0	A25	0	683.985	8.090
A11	0	1.638.175	0	A26	0	2.948.715	0
A12	0	2.604.352	66	A27	0	2.293.445	0
A13	0	6.552.701	0	A28	0	1.612.241	1.398
A14	0	1.972.425	11.040	A29	0	1.164.725	6.519
A15	121.583	357.082	35.000	A30	0	2.293.445	0

TABLO 13 | İyileştirme Tablosu Hesaplanması (Adana Büyükşehir Belediyesi)

Kod	Etkinlik Skoru	Atık Miktarı			Referans Kümesi
		Belediye Çöplüğüne Gönderilen	Atık İşleme Tesislerine Gönderilen	Diğer Yöntemler İle Bertaraf Edilen	
Adana	42,70%	0	1.554.903	4.216	Aydın(0,426046) İstanbul(0,208279)
Aydın	1	0	446.226	9.895	
İstanbul	1	0	6.552.701	0	

Belediye Çöplüğüne Gönderilen Atık Miktarı : $(0 \times 0,426046) + (0 \times 0,208279) = 0$

Atık İşleme Tesislerine Gönderilen Atık Miktar : $(446.226 \times 0,426046) + (6.552.701 \times 0,208279) = 1.554.902,8137 \approx 1.554.903$

Diğer Yöntemler İle Bertaraf Edilen Atık Miktarı: $(9.895 \times 0,426046) + (0 \times 0,208279) = 4.215,72517 \approx 4.216$

SONUÇ

Bu çalışmada, Türkiye'de 30 büyükşehir belediyesinin katı atık yönetim faaliyetlerinin etkinliğinin tersine lojistik açısından ölçülmesi ve değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, çalışmanın uygulama bölümünde üç aşamadan oluşan bir değerlendirme yaklaşımı önerilmiştir. Çalışmanın ilk aşamasında 30 büyükşehir belediyesi için Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) tarafından elde edilen 2 girdi ve 3 çıktı faktörü belirlenmiş ve bu faktörlere yönelik 2022 yılı etkinlik istatistik verilerinden hazırlanmış karar matrisi oluşturulmuştur.

İkinci aşamada; performans analizi için belirlenen veri setinin ağırlık değerleri Entropi yöntemiyle belirlenmiştir. Ardından Entropi ve OCRA entegrasyonu ile OCRA yöntemi uygulanmış ve büyükşehir belediyelerinin 2022 yılı için katı atık yönetim etkinlikleri analiz edilmiş ve etkinlik sıralamaları belirlenmiştir. OCRA yöntemine göre, 2022 yılında büyükşehir belediyeleri arasında Kayseri, Erzurum, Diyarbakır,

İstanbul, İzmir, Aydın, Mardin'nin etkinlik oranı en yüksek büyükşehir belediyeleri olduğu görülmektedir. Malatya, Samsun ve Ordu'nun en düşük verimlilik skorlarına sahip üç büyükşehir belediyeleri olduğu tespit edilmiştir.

Önerilen yaklaşımın üçüncü ve son aşamasında ise, Türkiye'de yer alan 30 büyükşehir belediyesinin 2014-2016-2018-2020 ve 2022 yıllarına ait katı atık yönetim etkinlikleri çıktı odaklı CCR-VZA ve BCC-VZA modellerine göre VZA uygulaması ile analiz edilmiştir. 30 büyükşehir belediyesinin etkinlik ortalamalarına bakıldığında hem CCR-VZA hemde BCC-VZA modeline göre 2016 yılından itibaren ortalamalarının sürekli arttığı, 2022 yılı itibarıyla her iki etkinlik ortalamalarının en üst seviyeye ulaştığı tespit edilmiştir. Büyükşehir belediyelerinin 2022 yılına ait katı atık yönetim etkinlikleri, çıktı odaklı VZA-CCR modeli ve VZA-BCC modeli ile yapılan etkinlik analiz sonuçlarına göre etkinlik puanları, etkin olan büyükşehir belediyeleri ve referans durumları, etkinlik durumları ölçülmüştür. Etkinlik sıralamasında ilk sıralarda yer alan belediyelerin 2022 yılı için %100 görel olarak etkin oldukları tespit edilmiştir. Analizlerin sonucunda, etkin olmayan büyükşehir belediyeleri için çıktılarındaki yapması gereken potansiyel yüzde iyileşme (%) oranları neler olduğu iyileştirme tabloları ile tespit edilmiştir ve yorumlanmıştır.

Bu çalışmanın sonucunda hangi büyükşehir belediyesinin katı atık yönetim performansının etkin ya da etkin olmadığına bakıldığında CCR-VZA Modeline göre 6'sının (Aydın, Erzurum, İstanbul, İzmir, Kayseri ve Mardin) katı atık yönetimin performansının CCR-Etkin ve BCC-VZA Modeline göre 10'nun (Aydın, Erzurum, Gaziantep, İstanbul, İzmir, Kayseri, Kocaeli, Mardin, Şanlıurfa ve Trabzon) ise BCC-Etkin sonucu ortaya çıkmıştır. Sonuçların yorumlanmasında önemli olan nokta analiz sonucunda belirlenen etkinliğin puanlarının göreceli etkinlik puanları olmasıdır (Abiri, 2023). Bir belediyenin etkinlik puanının "1" olması, diğer belediyelerle karşılaştırıldığında sadece girdi ve çıktı değerleri çerçevesinde etkin olduğu ifade edilmektedir.

Hem CCR-VZA hem de BCC-VZA etkinlik puanı "1" olan 6 büyükşehir belediyesi (Aydın, Erzurum, İstanbul, İzmir, Kayseri ve Mardin) optimum ölçekte çıktı elde etmiştir. OCRA yöntemiyle etkinlik oranı en yüksek tespit edilen büyükşehir belediyeleri (ilk 7 il sırasıyla Kayseri, Erzurum, Diyarbakır, İstanbul, İzmir, Aydın, Mardin) VZA yöntemi ile ulaşılan sonuçlar ile örtüşmektedir. Elde edilen bulgulara göre, her iki yöntemle elde edilen etkin büyükşehir belediyelerinin genel olarak benzerlik arz etmesi analizin doğruluğunu desteklemektedir.

Her iki modele göre etkin olmayan 24 büyükşehir belediyeleri aynı girdi miktarlarıyla potansiyellerini daha iyi kullanarak daha fazla çıktı üretebilir konumda iken daha az çıktı üretmiştir. Potansiyellerini daha iyi değerlendirerek fazla çıktı üretebilirler. Ancak bu potansiyellerin iyi kullanamamasına coğrafi konum, iklim vb dış faktörlerin neden olduğu değerlendirilmekte birlikte etkili olan nedenlerin analizi bu çalışma da planlanmamıştır.

VZA yöntemi atık yönetiminde kullanılan kaynakların (girdilerin) ne kadar verimli kullanıldığını ve elde edilen çıktıların ne kadar etkili olduğunu değerlendirdiği için katı atık yönetiminin verimliliğini değerlendirmek için güçlü bir araç olduğu görülmektedir. Bu analiz bize, tersine lojistik açısından, atık yönetimi süreçlerinin verimliliği ve etkinliği hakkında önemli bir görünüm sunmaktadır.

TARTIŞMA

Türkiye'deki katı atık etkinliği düşük olan büyükşehir belediyeleri, katı atık yönetimi süreçlerini tersine lojistik bakış açısıyla ele alarak etkin bir şekilde yönetebilirler. Geri toplama sistemlerinden, geri dönüşüm ve kompostlama programlarına kadar çeşitli stratejiler ve uygulama yöntemleri kullanarak çevresel sürdürülebilirlik, halk sağlığı ve ekonomik verimliliği artırabilirler. Bu süreçlerin başarılı bir şekilde yürütülmesi için sürekli izleme, eğitim ve inovasyon gereklidir. Belediyelerin bu konudaki çabaları, daha temiz ve sürdürülebilir şehirler oluşturma hedefini destekleyecektir.

Büyükşehir belediyeleri sahip oldukları imkanlarla bu süreçte kritik bir rol oynar ve etkin atık yönetimi için gerekli stratejileri geliştirmelidir. Belediyeler, katı atık yönetimini etkin bir şekilde yürütmek için stratejik planlama, altyapı yatırımları ve sürekli izleme gibi bir dizi önemli adım atmalıdır. Bu sürecin başarılı bir şekilde yürütülmesi, çevresel sürdürülebilirliği, halk sağlığını ve ekonomik

verimliliği artırır. Belediyelerin bu hedeflere ulaşmak için sistematik bir yaklaşım benimsemesi ve tüm paydaşlarla iş birliği içinde çalışması gerekmektedir.

Tersine lojistik, genellikle ürünlerin veya malzemelerin tüketim noktalarından geri dönmesi sürecini ifade eder. Bu kavram, katı atık yönetimi açısından geri dönüşüm ve atıkların geri kazanımı süreçlerinde de önemli bir rol oynar. Türkiye'deki büyükşehir belediyeleri, bu süreçteki sorumluluklarını yerine getirerek ve tersine lojistiği etkili bir şekilde kullanarak katı atık yönetim süreçlerini optimize ederek daha yaşanabilir ve sürdürülebilir şehirlerin oluşturulmasına katkıda bulunabilirler.

Bulguların doğru yorumlanabilmesi için çalışmanın sınırlılıklarının dikkate alınması gerekmektedir. Çalışma 2022 yılını kapsamaktadır. 2022 yılından bu yana değerlendirmeye alınan katı atık yönetimi göstergelerinde değişiklikler olması muhtemeldir. Bunun yanı sıra çalışma, 5 girdi-çıkı faktörü ile sınırlandırılmıştır. Kriter faktör sayısının artırılması, farklı faktör göstergelerinin ve EATWOIS gibi tek veya hibrit ÇKKV yöntemlerinin kullanılması durumunda farklı sonuçlar elde edilmesi mümkündür.

Çalışma ile Entropi tabanlı OCRA yöntemi ve çıktı odaklı CCR-VZA ve BCC-VZA metodları kullanılarak Türkiye'deki büyükşehir belediyelerinin katı atık yönetimine ilişkin sayısal bir değerlendirme gerçekleştirilmiştir. Farklı girdi-çıkı faktörleri ve ÇKKV yöntemleri kullanılarak belediyelere yönelik farklı değerlendirmeler yapılabilir. ÇKKV yöntemleri kullanılarak gerçekleştirilen araştırma sayısının artmasının, sonuçları karşılaştırma imkânı sunacağı ve bu sayede literatüre katkı sağlayacağı değerlendirilmektedir.

KAYNAKÇA

- Abiri, T. (2023). *Türkiye'deki devlet üniversitelerinin pandemi öncesi ve pandemi sürecindeki performanslarının veri zarflama analizi ile ölçülmesi ve karşılaştırılması*. (Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, İstanbul). Erişim adresi <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp>
- Albores, P., Petridis, K., ve Dey, P. K. (2016). Analysing efficiency of waste to energy systems: Using data envelopment analysis in municipal solid waste management. *Procedia Environmental Sciences*, 35, 265–278. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2016.07.007>
- Atcı, F. (2020). *Çevre ve atık yönetiminde sıfır atık uygulamaları kapsamında atık toplama tesislerinin veri zarflama analizi ile etkinlik ölçümü*. (Yüksek Lisans Tezi, Necmettin Erbakan Üniversitesi, Konya). Erişim adresi <https://acikerisim.erbakan.edu.tr/items/73dcd37-37cc-4ad4-b3e1-ef567f301d5b>
- Avcı, S., Şaşmaz, E., ve Aladağ, Z. (2020). İstatistikî bölge birimleri sınıflaması'na göre Türkiye'deki 1. düzey bölge belediyelerinin katı atık yönetiminin değerlendirilmesi, *Veri Bilim Dergisi*, 3(1), pp.33-40
- Baysal M.E., Uygur M., Toklu B. (2004). Veri zarflama analizi ile TCDD limanlarında bir etkinlik ölçümü çalışması, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 19(4), 437-442
- Benito-López, B., del Rocio Moreno-Enguix, M. ve Solana-Ibañez, J. (2011). Determinants of efficiency in the provision of municipal street-cleaning and refuse collection services. *Waste Management*, 31(6), 1099-1108
- Charnes, A., Cooper, W.W. and Rhodes, E.L. (1978). Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research* 2, 429–444.
- Charnes, A., Cooper, W.W., Lewin, A.Y. ve Seiford, L.M. (1994). *Data envelopment analysis: Theory, methodology and application*. Boston, USA: Kluwer Academic Publisher
- Chen, H.W., Chang, N.B., Chen, J.C. ve Tsai, S.J. (2010). Environmental performance evaluation of large-scale municipal solid waste incinerators using data envelopment analysis. *Waste Management*, 30(7), 1371–1381. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2010.02.002>
- Coelli T.J. (1996). A Guide to DEAP Version 2.1: A Data Envelopment Analysis (Computer) Program, *CEPA Working Papers*, No. 8/96
- Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı (2024, Eylül 02). İklim değişikliği ulusal eylem planı 2011-2023, Çevre, Erişim adresi https://webdosya.csb.gov.tr/db/iklim/editordosya/file/eylem%20planlari/Iklim%20Degisikligi%20Eylem%20Plani_TR.pdf
- Donthu N, Hershberger E. ve Osmonbekov T. (2005). Benchmarking marketing productivity using data envelopment analysis. *Journal of Business Research*, 58, 1474-1482, DOI: 10.1016/j.jbusres.2004.05.007
- Dowlatsahi, S. (2000). Developing a theory of reverse logistics, *Interfaces*, Vol: 30, No:3, pp.143-155
- Görçün, Ö.F. (2019a). "Entegre Entropi ve EATWOS Yöntemleri Kullanılarak Karadeniz Konteyner Limanlarının Verimlilik Analizi", *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 14(3), 811-830.
- Görçün, Ö.F. (2019b). "Orta Asya Türk Cumhuriyetlerinin Lojistik ve Taşımacılık Performansları ve Verimliliklerinin Analizi İçin Hibrid Bir Çok Kriterli Karar Verme Modeli", *Manas Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 8(3), 2775-2798.
- Görken, Ö. (2011). *Kırvaziyer gemi işletmeciliğinde katı atık lojistiği*, (Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir). Erişim adresi <https://acikerisim.deu.edu.tr/xmlui/handle/20.500.12397/9131>
- Harmankaya, İ., Pekmezci, M.T. ve Ergülen, A. (2021). Türkiye'de 1992 yılında kurulan devlet üniversitelerinin etkinlik ölçümü: Veri zarflama analizi uygulaması, *Balıkesir Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 2(1), pp.21-46
- Karahan, A. ve Özgür, E. (2009). *Hastanelerde performans yönetim sistemi ve veri zarflama analizi* (1. Baskı) Nobel Ankara: Nobel Yayıncılık
- Kundakçı, N. (2019) A Comparative Analyze Based On EATWOS and OCRA Methods For Supplier Evaluation, *Alphanumeric Journal*, 7(1), s.103-112.
- Markovits-Somogyi, R. 2011. "Review and Systematization of Efficiency Measurement Methods Used in the Transport Sector." *Promet – Traffic and Transportation* 23 (1): 39–47. doi:10.7307/ptt.v23i1.147.
- Öner, B., Çalışkan Eleren S. ve Salihoğlu N.K. (2019). Turistik sahil bölgelerinde atık yönetimine bir örnek: Bodrum, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, Cilt 14, Sayı 1
- Özbek, A. (2015). "Efficiency Analysis of Foreign-Capital Banks in Turkey by OCRA and MOORA." *Research Journal of Finance and Accounting* 6 (13): 21–30.
- Özbek, A. (2018). "Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemleriyle Hayırsever Kuruluşlarında Verimlilik Analizi", *Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 18(2), 99-114.
- Özdemir, M.H. (2021). "Bütünleşik Entropi EATWOS Yöntemiyle Dizüstü Bilgisayarlar İçin Etkinlik Analizi", *Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi SBE Dergisi*, 11(2), 717-736.
- Palabıyık, H. (2001). *Belediyelerde kentsel katı atık yönetimi: İzmir Büyükşehir Belediyesi örneği*, (Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İzmir). Erişim adresi <https://avesis.deu.edu.tr/yonetilen-tez/08579dd9-0ac1-4c9e-9074-8fe95e0544c3/belediyelerde-kentsel-kati-atik-yonetimi-izmir-buyuksehir-belediyesi-ornegi>
- Parkan, C. 1991. "The Calculation of Operational Performance Ratings." *International Journal of Production Economics* 24 (1–2): 165–173. doi:10.1016/0925-5273(91)90163-N.
- Parkan, C. ve Wu, M-L. (1999). "Measurement of the Performance of an Investment Bank Using the Operational Competitiveness Rating Procedure", *Omega, International Journal of Management Sciences*, 27, 201-217.
- Parkan, C. 2002. "Measuring the Operational Performance of a Public Transit Company." *International Journal of Operations and Production Management* 22 (6): 693–720. doi:10.1016/S01443570210427695.
- Pourmohammadi, H., Rahimi M. ve Dessouky M. (2008), Sustainable reverse logistics for distribution of industrial waste/byproducts: A joint optimization of operation and environmental costs, *Supply Chain Forum: An International Journal*, Vol: 9, No:1, pp.2-17
- Ramanathan, R. (2003). *An introduction to data envelopment analysis a tool for performance measurement*. New Delhi: SAGE Publications
- Rao, A. V. A. R. D., Sai N. V., and Babu K. P. 2017. "An Integrated Approach Using VIKOR and ENTROPY Methods for A Supplier Selection Problem." *International Journal of Innovations in Engineering and Technology* 8 (3): 1–9. doi:10.21172/ijet.83.001.
- Saraç, B., Gündoğdu G. ve Aytekin A. (2023). Sıfır atık yönetimi etkinliğinin veri zarflama analizi ile değerlendirilmesi: Büyükşehirler örneği. *Politik Ekonomik Kuram Dergisi Özel Sayı*, pp.238-256
- Seyhan, N. (2023). AB ülkelerinin çevre ve atık yönetimi performanslarının değerlendirilmesi: Veri zarflama analizi ve yapay sınır ağlarının birlikte uygulanması. *Gümüşhane Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 14(1), 343-355
- Sevimli, Ö. (2013). *Sağlık kurumlarında veri zarflama analizi tekniği ile verimlilik analizi*. (Yüksek Lisans Tezi, TC Beykent Üniversitesi, İstanbul). Erişim adresi <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp>
- Simões, P., De Witte, K. ve Marques, R. C. (2010). Regulatory structures and operational environment in the Portuguese waste sector. *Waste management*, 30(6), 1130-1137
- Shannon, C. E., and W. Weaver. 1947. *A Mathematical Theory of Communication*. Urbana: University of Illinois Press.
- Stock, J. R., (2001). Reverse logistics in the supply chain, *Global Purchasing & Supply Chain Strategies*, pp.44-48,
- Tai, J., Zhang, W., Che, Y., ve Feng, D. (2011). Municipal solid waste source-separated collection in China: A comparative analysis. *Waste management*, 31(8), 1673-1682
- Tarım A. (2001). Veri zarflama analizi, matematiksel programlama tabanlı görelî etkinlik ölçümü yaklaşımı. *Sayıştay Yayınları*, 15, 224) https://doi.org/10.1501/SBFder_0000001878
- Taşdoğan C., Mollavelioğlu, M.Ş. ve Mihci, H. (2014). Türkiye'nin kentsel çevresel sürdürülebilirliğinin kategorik veri zarflama analiziyle değerlendirilmesi. *Ankara Üniversitesi SBF Dergisi*, 69(1), 141-164. doi:10.1501/SBFder_0000002306
- Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) (2024). Atık istatistikleri, Erişim adresi <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Atik-Istatistikleri-2022-49570>
- Tüfek, B. (2022). *Sıfır atık yönetimi sisteminin atık yönetimi sürecine etkileri: Balıkesir ili örneği*, (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi). Bandırma On yedi Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü
- Uludağ, A.S. (2020). "Measuring the Productivity of Selected Airports in Turkey", *Transportation Research Part E*, 141(9), 1-31.
- Yang, Q., Fu, L., Liu, X. ve Cheng, M. (2018). Evaluating the efficiency of municipal solid waste management in China *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(11), 2448. <https://doi.org/10.3390/ijerph15112448>

- Yükselyıldız, E. (2021). "Entropi ve EATWOS Yöntemleri İle Türkiye Konteyner Limanlarının Verimlilik Analizi", *Verimlilik Dergisi*, 2, 3-24.
- Zhang Q., Xing H., Liu F., Ye J., Tang P., (2014) Some new entropy measures for interval-valued intuitionistic fuzzy sets based on distances and their relationships with similarity and inclusion measures, *Information Sciences*, Volume 283, Pages 55-69, <https://doi.org/10.1016/j.ins.2014.06.012>.
- Zou, Z., J. Sun, and G. Ren. 2005. "Study and Application on the Entropy Method for Determination of Weight of Evaluating Indicators in Fuzzy Synthetic Evaluation for Water Quality Assessment." *Acta Scientiae Circumstantiae* 25 (4): 552-556. doi:10.1016/S1001-0742(06)60032-6.

EXTENDED ABSTRACT

INTRODUCTION

The wastes resulting from technological developments and increased consumption in the industrialization process have reached dimensions that pose a threat to the environment and human health. Waste management is important in terms of economic and environmental sustainability. The effectiveness of waste management, which aims to contribute to the economy by eliminating the wastes produced and the threats to the environment and human health, varies among municipalities in Türkiye. The high population density, economic and tourism activities in metropolitan municipalities cause significant amounts of solid waste. In this context, it is important to evaluate the solid waste management of metropolitan municipalities in terms of reverse logistics.

METHOD

This study aims to measure and evaluate the effectiveness of solid waste management activities of 30 metropolitan municipalities in Türkiye in terms of reverse logistics. In the first stage of the study, a data set consisting of two input and three output variables obtained by the Turkish Statistical Institute (TUIK) was created for 30 metropolitan municipalities. The Entropy Method was used in weighting the input and output criteria in the data set and these weights were transferred to the Operational Competitiveness Rating (OCRA) method and in the second stage, the efficiency of the decision-making units was evaluated with the OCRA Method. In the last stage, the solid waste management activities of 2022 were examined in detail with the Data Envelopment Analysis (DEA) method and the results were evaluated. According to the findings, it is understood that the effective metropolitan municipalities obtained with both methods are similar.

RESULTS

As a result of the analysis conducted with the OCRA method, it was seen that Kayseri, Erzurum, Diyarbakır, İstanbul, İzmir, Aydın, and Mardin were the metropolitan municipalities with the highest efficiency rates in 2022. It was determined that Malatya, Samsun, and Ordu were the three metropolitan municipalities with the lowest efficiency scores. In the third and final stage of the proposed approach, the solid waste management activities of 30 metropolitan municipalities in Turkey for the years 2014-2016-2018-2020 and 2022 were analyzed with the DEA application according to the output-oriented CCR-DEA and BCC-DEA models. When the efficiency averages of 30 metropolitan municipalities are examined, it is determined that their averages have been continuously increasing since 2016 according to both the CCR-VZA and BCC-VZA models, and that both efficiency averages have reached their highest level as of 2022. The solid waste management activities of metropolitan municipalities for 2022, the efficiency scores, the effective metropolitan municipalities and their reference status, and their efficiency status were measured according to the efficiency analysis results made with the output-oriented VZA-CCR model and VZA-BCC model. It was determined that the municipalities in the first places in the efficiency ranking were 100% relatively efficient for 2022. As a result of the analysis, the potential percentage improvement (%) rates that ineffective metropolitan municipalities should make in their outputs were determined and interpreted with improvement tables.

As a result, when the solid waste management performance of the metropolitan municipality was examined as effective or ineffective, it was revealed that 6 of them (Aydın, Erzurum, İstanbul, İzmir, Kayseri

and Mardin) had CCR-Effective solid waste management performance according to the CCR-DEA Model and 10 of them (Aydın, Erzurum, Gaziantep, İstanbul, İzmir, Kayseri, Kocaeli, Mardin, Şanlıurfa and Trabzon) had BCC-Effective solid waste management performance according to the BCC-DEA Model. The important point in interpreting the results is that the efficiency scores determined as a result of the analysis are relative. A municipality's efficiency score of "1" means that it is effective only within the framework of input and output values when compared to other municipalities.

Both CCR-VZA and BCC-VZA efficiency scores of 6 metropolitan municipalities (Aydın, Erzurum, İstanbul, İzmir, Kayseri and Mardin) obtained optimum scale output. The metropolitan municipalities with the highest efficiency rate determined by the OCRA method (the first 7 provinces are Kayseri, Erzurum, Diyarbakır, İstanbul, İzmir, Aydın, Mardin respectively) are consistent with the results obtained by the DEA method. According to the findings, the general similarity of the effective metropolitan municipalities obtained by both methods supports the accuracy of the analysis. According to both models, 24 inefficient metropolitan municipalities could produce more output by using their potential better with the same input amounts, but they produced less output. They can produce more output by evaluating their potential better.

DISCUSSION

In Türkiye, metropolitan municipalities with low solid waste efficiency can effectively manage their solid waste management processes by approaching them from a reverse logistics perspective. They can increase environmental sustainability, public health and economic efficiency by using a variety of strategies and implementation methods, from collection systems to recycling and composting programs. Continuous monitoring, training and innovation are necessary for the successful implementation of these processes. Efforts by municipalities in this regard will support the goal of creating cleaner and more sustainable cities.

Metropolitan municipalities play a critical role in this process with the resources they have and should develop the necessary strategies for effective waste management. Municipalities should take a series of important steps such as strategic planning, infrastructure investments, raising public awareness and continuous monitoring to effectively manage solid waste. The successful implementation of this process increases environmental sustainability, public health and economic efficiency. Municipalities need to adopt a systematic approach and work in collaboration with all stakeholders to achieve these goals.

Reverse logistics generally refers to the process of returning products or materials from the point of consumption. This concept also plays an important role in recycling and waste recovery processes in terms of solid waste management. Metropolitan municipalities in Türkiye can contribute to the creation of more livable and sustainable cities by fulfilling their responsibilities in this process and optimizing solid waste management processes by effectively using reverse logistics.