

Akıllı Şehir Dönüşümlerinde Mavi Ayak İzi Bileşenlerinden Katı Atıklar İçin Bir Değerlendirme: Kocaeli İli Örneği

Solid Waste Evaluation from Blue Footprint Components in Smart City Transformations: Kocaeli City Case

Zeynep ÖZDAMAR

Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Sakarya, Türkiye
zeynepk@sakarya.edu.tr
ORCID: 0009-0009-5665-519X

Rümeysa KİRACI

Sakarya Üniversitesi, İşletme Fakültesi, İşletme Bölümü, Sakarya, Türkiye
rkiraci@sakarya.edu.tr
ORCID: 0009-0008-3711-0322

Doç. Dr. Mahnaz GÜMRÜKÇÜOĞLU YİĞİT

Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Sakarya, Türkiye
mahnaz@sakarya.edu.tr
ORCID: 0000-0001-8991-9221

Öz

Kentleşme ve endüstriyel gelişimin hızlanması, modern şehirlerde çevresel bozulmayı beraberinde getirmektedir. Kentsel alanlarda bu çevre problemlerinin çözümü ve önlenmesi için gerçekleştirilen çeşitli uygulamalara rağmen, şehirler doğal ekosistemlerle olan uyumunu giderek yitirmektedir. Bu bağlamda, kentsel sürdürülebilirliğin sağlanması ve doğal kaynakların gelecek nesillere aktarılması için ekolojik ayak izi analizleri kritik bir öneme sahiptir. Son dönemde, şehirlerin çevresel sürdürülebilirliğini optimize etmek amacıyla "Akıllı Şehir" uygulamaları da ön plana çıkmaktadır. Bu dönüşümün başarıyla gerçekleştirilebilmesi için su yönetimi, atık sistemleri, altyapı hizmetleri, sağlık, güvenlik, çevre koruma, enerji verimliliği ve ulaşım gibi temel kentsel fonksiyonlara ilişkin entegre bilgi sistemlerinin oluşturulması gerekmektedir. Bu bilgi sistemleri, şehirlerin akıllı şehir dönüşümünü gerçekleştirme için temel bir yapı taşı oluşturmaktadır. Akıllı şehir özelliklerine sahip bu şehirlerde, mavi ayak izi ve sarı ayak izi değerlendirmelerinin yapılması kritik bir öneme sahiptir. Bu çalışmada, hızlı kentleşme ve endüstriyel gelişimin çevresel etkileri bağlamında, Kocaeli ili genelinde akıllı şehir dönüşümü ve sürdürülebilirlik göstergelerinden biri olan mavi ayak izi değerlendirmelerine odaklanılmıştır. Bu kapsamda, Kocaeli şehrine ait mavi ayak izi bileşenlerinden biri olan atık ayak izi 2023 yılı için hesaplanmış ve analiz edilmiştir. Araştırmanın, Kocaeli'nin mavi ayak izi profilinin belirlenmesine katkı sağlarken, kentsel atık yönetimi stratejilerinin geliştirilmesinde de referans niteliği taşıması hedeflenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Mavi Ayak İzi, Akıllı Şehir, Atık Yönetimi, Sürdürülebilirlik, Kocaeli.

Abstract

The acceleration of urbanization and industrial development brings about environmental degradation in modern cities. Despite various efforts to address and prevent these environmental problems in urban areas, cities are increasingly losing harmony with natural ecosystems. In this context, ecological footprint analyses are of critical importance for ensuring urban sustainability and transferring natural resources to future generations. Recently, "Smart City" applications have come to the forefront to optimize the environmental sustainability of cities. For this transformation to be successfully achieved, integrated information systems related to key urban functions such as water management, waste systems, infrastructure services, health, security, environmental protection, energy efficiency, and transportation need to be developed. These information systems serve as a fundamental building block for cities to realize their smart city transformation. In smart cities, assessments of the blue footprint and yellow footprint are essential. This study focuses on the evaluation of the blue footprint, one of the key sustainability indicators within the context of smart city transformation, in relation to the environmental impacts of rapid urbanization and industrial development in the Kocaeli province. In this context, the waste footprint, a component of the blue footprint for the city of Kocaeli, has been calculated and analyzed for the years 2023. The study aims to contribute to identifying Kocaeli's blue footprint profile and serve as a reference in developing urban waste management strategies.

Keywords: Blue Footprint, Smart City Waste Management, Sustainability, Kocaeli.

1. Giriş

Günümüzde sanayinin gelişimi, kentleşme ve nüfus artışıyla birlikte küresel çevre kirliliği hızla artmaktadır. Buna göre, sınırlı doğal kaynakların korunması ve gelecek nesillere aktarılması giderek daha önemli bir konu haline almakta, şehirlerin kontrolsüz ve hızlı gelişmesinin önüne geçmek için sürdürülebilir şehir yaklaşımlarına ihtiyaç duyulmaktadır. (Kaya ve Susan, 2020). Şehirleşmenin yarattığı sorunların çözümü için “Yeni Şehircilik Hareketi, Akıllı Büyüme Yaklaşımı, Sürdürülebilir Kentler, Yeşil Kentler, Ekolojik Kentler” gibi pek çok model ve yaklaşım ortaya konulmuştur. Daha sonra şehirlerde yaşam kalitesini yükseltmeyi hedefleyen ve yeni teknolojilerin kullanılmasına odaklanan “Dijital Kent, Zeki Kent, Sanal Kent, Yetenekli Kent, Siber Kent ve Bilgi Kenti” gibi yeni modeller geliştirilmiştir. Bu süreçte kentsel yaşam kalitesini yükseltmek ve kentsel sürdürülebilirliği sağlamak için geliştirilen modellerin kapsayıcısı ve son noktası olarak “Akıllı Şehir” yaklaşımı yeni bir paradigma olarak ortaya çıkmıştır (Cömertler vd., 2021). Bir şehrin sürdürülebilir akıllı şehir özelliği taşıması makro ve mikro tüm bileşenlerin ele alınarak daha kaliteli ve konforlu hizmet için en yeni fikir ve projelerin geliştirilmesine bağlıdır (Dal ve Özdemir, 2020). Bu bağlamda, “Akıllı Şehir” kavramı, doğal kaynakların sürdürülebilir ve verimli bir şekilde kullanılmasında ileri teknolojilerin desteğini içeren bir yaklaşım olarak tanımlanabilir. Avrupa Parlamentosu ise akıllı şehir kavramını, “çok paydaşlı, belediye bazlı bir ortaklık temelinde bilgi ve iletişim teknolojisi tabanlı çözümler sunarak kamu meselelerini ele alan bir şehir” olarak tanımlamaktadır (Nohutçu ve Akpınar, 2022). Akıllı şehir kavramı gelişim süreci; teknolojik yenilikler, sosyal ve ekonomik faktörler, yönetim düzenlemeleri, politika ve iş dünyasının karmaşık bir etkileşimiyle şekillenmektedir. Bu nedenle, akıllı şehir uygulamaları; her şehrin kendine özgü politikaları, hedefleri, mali kaynakları ve işlem kapasitesine bağlı olarak farklı şekillerde hayata geçirilebilmektedir (Uçar vd., 2017). Ancak kentlerin dönüşümü ile akıllı şehirlerin planlanması ve tasarlanması süreçlerini bir arada ele alan performans verilerinin eksikliği, mevcut akıllı kentsel dönüşüm uygulamalarının ve gelecekteki projelerin izlenmesi ve değerlendirilmesini zorlaştırmaktadır (Hamurcu, 2023).

Akıllı şehirlere yönelik üzerinde uzlaşmış ortak bir bileşen analizi veya gösterge setinin bulunmaması nedeniyle, bu alanda farklı göstergeleri ele alan ve bu göstergelerden hareketle geliştirilen endeksler doğrultusunda şehirleri tanımlayan çok sayıda bağımsız çalışma mevcuttur. Bu çalışmaların büyük bir kısmı, akıllı şehir yaklaşımının sürdürülebilirlik kavramını kapsadığına dikkat çekmektedir (Hamurcu, 2023). Şehirlerde çevresel sürdürülebilirliğin sağlanabilmesi için çevre kirliliğine ve su kaynaklarının kirlenmesine karşı daha dirençli olması gerekmektedir. Bunu yapmak için gereken bilgi ve teknolojiler bazı gelişmiş şehirlerde mevcut ve uygulanmakla birlikte az gelişmiş veya gelişmemiş şehirler bu bilgi ve teknolojilere sahip değildir (Gülbaz ve Alhan, 2018). Bu doğrultuda, şehirler için temel bir ölçüm ve karşılaştırma sunan bir şehir planı olarak “Mavi Şehirler (City Blueprint)” yöntemi geliştirilmiştir. Su ve atık sisteminin koordineli bir yaklaşımla entegrasyonuna yönelik geliştirilen bu yöntemde, bir şehir için yedi bileşen ve yirmibeş göstergeye dayalı bir uygulama sunulmaktadır. Bu yedi temel bileşen; temel su hizmetleri, su kalitesi, atık su arıtma, katı atık yönetimi, altyapı, iklim adaptasyonu ve yönetişimdir. Bu yöntemin, şehirlerin su döngüsü hizmetlerini iyileştirme yollarını belirlemelerine katkı sağlayacağı ifade edilmektedir (Blue Cities: Everything Revolves Around The City, 2016). Bu bağlamda, akıllı şehirler; su, atık, altyapı, sağlık, güvenlik, çevre, enerji ve ulaşım gibi alanlarda gelişmiş bir kent bilgi sistemine sahip şehirler olarak da tanımlanmaktadır. Su kalitesine etki eden bileşenlerin değerlendirildiği temel su hizmetleri, su kalitesi, atık su arıtma, katı atık yönetimi, altyapı ve iklim adaptasyonu gibi bileşenlerin değerlendirildiği ayak izi “Mavi Ayak İzi” olarak adlandırılırken, yönetim ve bilişimle ilgili bileşenlerin oluşturduğu ayak izi ise “Sarı Ayak İzi” olarak tanımlanmaktadır. Mavi ayak izi dahilindeki katı atıklar aynı zamanda su kalitesine de etki eden bir bileşendir. Şehirlerde atıkların depolandığı sahalarda sızıntı suyunu engelleyecek yeterli önlemlerin bulunmaması durumunda bu atıklar; yeraltı suları, yüzey suları, denizler ve okyanuslar için potansiyel kirlenici kaynaklar olarak değerlendirilmektedir (Rashmary vd., 2019).

Şehirlerde ve belediyelerde entegre su kaynakları kalite yönetiminin sürdürülebilirliğini sağlamak amacıyla plan metodolojisi geliştirilmesi, Van Leeuwen tarafından 2011 yılında başlatılmıştır. Bu metodoloji, geleceğin şehirlerinde su yönetimi için geliştirilen eğitim modüllerinde detaylandırıldığı üzere, başlangıçta şehirlerdeki stratejik

planlama sürecinin bir parçası olarak temel değerlendirme niteliğinde sunulmuştur. Metodoloji, Yeşil Şehir Endeksi'nin (2015) dahil edilmesi ve çeşitli değerlendirme çerçevelerinin eklenmesiyle kapsamlı bir şekilde geliştirilmiştir (Koop ve Leeuwen, 2017). Bu bağlamda ortaya çıkan mavi şehirler konsepti, Avrupa İnovasyon Ortaklığı (EIP) Water'ın bir girişimi olarak şekillenmiştir. Avrupa Birliği'nin Horizon 2020 programı kapsamında yürüttüğü bu çalışma, Avrupa Komisyonu'nun Akıllı Şehirler politikasında su ve atık yönetimi stratejilerinin benimsenmesi konusunda önemli bir rehber niteliğindedir (Blue Cities: Everything Revolves Around The City, 2016). KWR Watercycle Araştırma Enstitüsü'nde geliştirilen ve AB TRUST projesi kapsamında daha da rafine edilerek son halini alan Mavi Ayak İzi kavramı, şehirlerin sürdürülebilir su yönetimi konusundaki mevcut durumlarını hızlı bir şekilde değerlendirmelerine, diğer şehirlerle karşılaştırmalı analizler yapmalarına ve performanslarını iyileştirmeye yönelik uzun vadeli stratejik planlama süreçleri geliştirmelerine olanak sağlamaktadır (Leeuwen, Koop ve Sjerps, 2016). İstanbul Üniversitesi'nin paydaş olarak yer aldığı ve Avrupa Birliği Ufuk 2020 Programı kapsamında desteklenen bir proje çerçevesinde de, İstanbul şehri için akıllı şehir dönüşümlerinde iki temel ayak izi olan "Mavi Ayak İzi" ve "Sarı Ayak İzi" belirlenmiştir (Gülbaz ve Alhan, 2018).

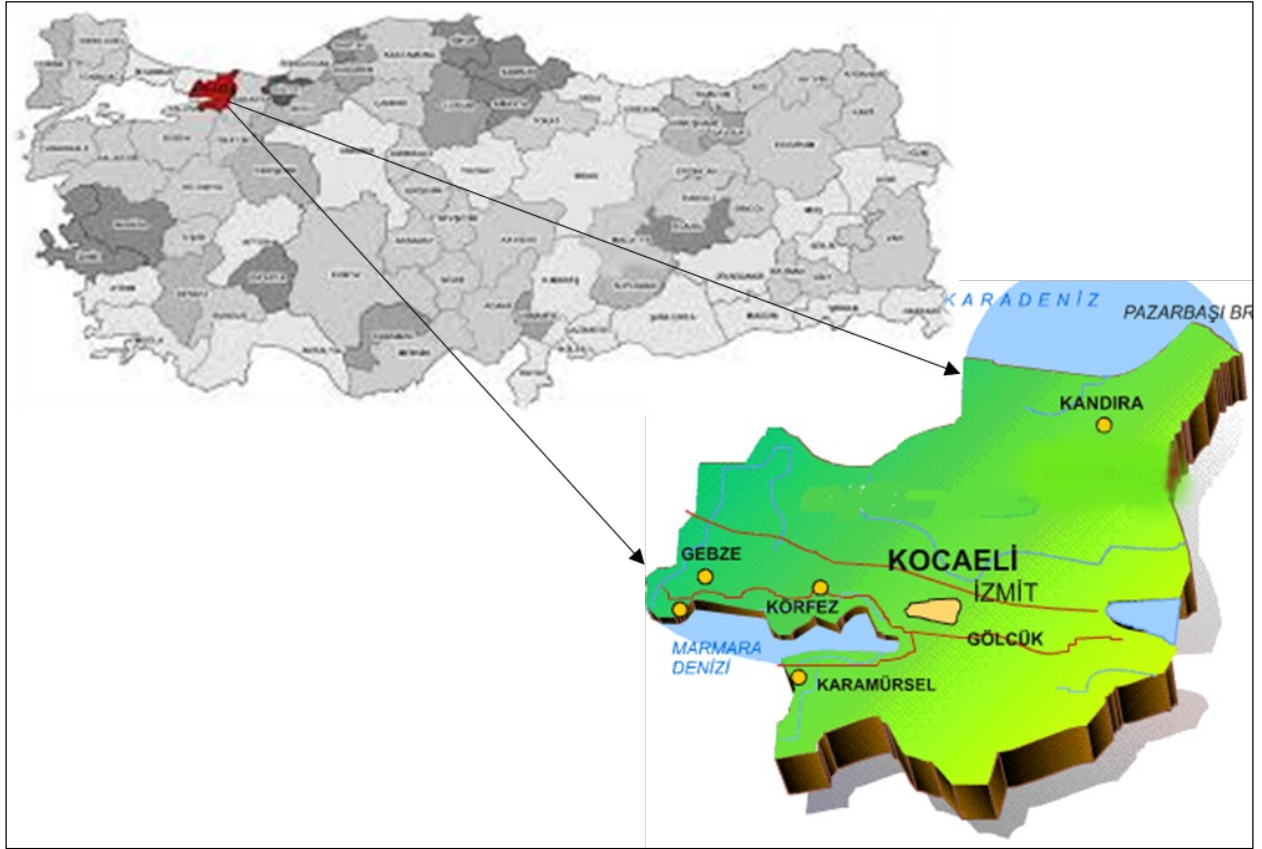
Bu araştırma, kentsel ayak izi çalışmalarındaki metodolojik eksiklikleri göz önünde bulundurarak, Kocaeli Şehri'nin akıllı şehir dönüşümü sürecinde mavi ayak izi bileşenlerinden katı atık göstergesinin etkisini sistematik bir yaklaşımla incelemektedir. Kocaeli Büyükşehir Belediyesi'nin kurumsal faaliyet planları değerlendirildiğinde, akıllı şehir stratejilerini ulusal öncelikler ve kentsel kabiliyetler doğrultusunda yapılandırdığı gözlemlenmektedir (Kocaeli Büyükşehir Belediyesi, Faaliyet Raporu, 2023). Kentsel yerleşimlerin akıllı teknolojilere entegrasyon sürecine katkı sağlaması hedeflenen bu çalışmada, sürdürülebilir akıllı şehir yapılanmasının temel mavi ayak izi parametrelerinden olan katı atık göstergesi analitik bir perspektifle ele alınmıştır. Araştırma, Kocaeli özelinde mevcut atık yönetimi uygulamalarının optimizasyonuna yönelik metodolojik bir çerçeve sunmayı ve şehrin bütüncül mavi ayak izi değerinin hesaplanmasında öncül bir çalışma niteliği taşımayı amaçlamaktadır. Bu doğrultuda, çalışmanın kapsamı mavi ayak izi bileşenlerinden katı atık göstergesinin nicel analizine odaklanmıştır.

2. Veriler ve Yöntem

2.1 Çalışma alanı

Kocaeli, Marmara Bölgesi'nin Çatalca-Kocaeli Bölümü'nde, 29°22'-30°21' doğu boylamı, 40°31' - 41°13' kuzey enlemi arasında yer alır ve Şekil 1'de gösterilmektedir. Şehrinin yüzölçümü 3.420 km² ve 2023 yılı için nüfusu 2.102.907 kişi' dir (TÜİK, 2023). Doğu ve güneydoğuda Sakarya, güneyde Bursa şehirleri, batıda Yalova şehri, İzmit Körfezi, Marmara Denizi ve İstanbul şehri, kuzeyde de Karadeniz'le çevrilidir. Kocaeli

şehrinin Bursa sınırını Sa-manlı Dağları'nın tepelerinden geçen hat oluşturur. Güney-doğuda bu sınır Maşukiye'nin hemen yanındaki Sapanca Gölü kıyısında Sakarya şehrine dayanır (Kocaeli, Demografik Yapı, 2024). Kocaeli Asya ile Avrupa'yı birleştiren önemli bir yol kavşağında bulunmaktadır. Doğal bir liman olan İzmit Körfezi işlek bir deniz yoludur ve 35 adet liman tesisi ile bir liman kenti olma özelliğini taşımaktadır. İl, Türkiye sanayinin merkez üssü konumundadır ve öne çıkan sektörler; kimya, otomotiv ve demir çelik sektörleridir. Ayrıca son yıllarda, Ar-Ge ve inovasyonun merkez üssü olma konusunda da hızla ilerlemektedir (Kocaeli Valilik, 2024).



Şekil 1. Kocaeli İli Haritası.

2.2 Hesaplama Yöntemi

Mavi ayak izi hesaplamalarında belediyelerden ve “BlueSCities” 2016 yılı raporunda yer alan veriler toplanmıştır. Değerlendirilen bileşenlere etki eden alanlara indikatör

olarak adlandırılmıştır (Gülbaz ve Alhan, 2018). Tablo 1’de gösterildiği gibi toplamda yedi kategori bulunmaktadır. Tablo 1, mavi ayak izi, suyun sürdürülebilir yönetimi için çeşitli alanlarda ölçüm ve değerlendirme yapılmasını sağlayan bir çerçevedir. (Leeuwen, Koop & Sjerps, 2015).

Tablo I: Geliştirilmiş Şehir Planı Çerçevesinin (CBF) Temel Yöntemi ve Özellikleri (Leeuwen, Koop ve Sjerps, 2015).

Amaç	Şehirlerde mavi ayak izi çerçevesinde temel yöntemi ve özellikleri durumuna ilişkin temel performans değerlendirmesi
Kategoriler	1. Su kalitesi 2. Katı atık yönetimi 3. Temel su hizmetleri 4. Atık su arıtma 5. Altyapı 6. İklim 7. Yönetişim
Veriler	Kamu verileri veya şehirler tarafından sağlanan veriler
Puanlar	0 (kötü performans) ila 10 (mükemmel performans)
Sonuç	Mavi Şehir Endeksi (BCI), 0 ile 10 arasında değişen 25 göstergenin geometrik ortalamasıdır.

Tablo 2’de ise bu kategorileri oluşturan yirmi beş adet indikatör gösterilmektedir. Her bir indikatörün değerlendirilmesi 0 (çok zayıf performans) ile 10 (mükemmel performans) arasında bir ölçekte yapılmaktadır (Leeuwen, Koop & Sjerps, 2015).

Bu çalışmada, sadece ikinci kategoride olan katı atık bertarafına ait indikatör verileri kullanılarak hesaplamalar yapılmıştır. Katı atık bertaraf kategorisinde toplamda üç indikatör bulunmaktadır ve bunlar Tablo 2’ de işaretlenerek gösterilmiştir.

Tablo II: Mavi Ayak İzi Kategorileri ve İndikatörler (Gülbaz & Alhan, 2018).

Kategori	No	İndikatör
Su Kalitesi	1	İkincil AAT
	2	Üçüncül AAT
	3	Yeraltı Suyu Kalitesi
Katı Atık Bertaraf*	4	Toplanan Katı Atık
	5	Geri Dönüştürülen Katı Atık
	6	Enerjiye Çevrilen Katı Atık
Temel Su Hizmetleri	7	İçme Suyuna Erişim
	8	Temiz İçme Suyuna Erişim
	9	İçme Suyu Kalitesi
Atıksu Arıtımı	10	Nutrient Geri Kazanımı
	11	Enerji Geri Kazanımı
	12	Arıtma Çamuru Geri Dönüşümü
	13	AAT Enerji Verimliliği
Altyapı	14	Ortalama Kanalizasyon Yaşı
	15	İşletme Maliyeti Geri Dönüşümü
	16	Su Kaçakları
	17	Yağmur Suyu Ayırık Sistemleri
İklim Değişikliğine Dayanıklılık	18	Yeşil Alan
	19	İklim Adaptasyonu
	20	İçme Suyu Tüketimi
	21	Enerji Tasarruflu Yapılar
Su Yönetimi	22	Yönetim ve Uygulama Planları
	23	Kamu Katılımı
	24	Su Verimliliğinin Ölçümü
	25	Suyun Çekiciliği

Tablo 2, mavi ayak izi kategorileri ve bunlara ait indikatörleri içermektedir (Gülbaz & Alhan, 2018) Çalışma çerçevesinde, su kalitesi, katı atık bertarafı, temel su hizmetleri, atıksu arıtımı, altyapı, iklim değişikliğine dayanıklılık ve su yönetimi gibi ana kategoriler altında toplam yirmi beş indikatör yer almaktadır.

Çalışmada kullanılacak metoda dair belirlenmiş indikatörler değerleri Kocaeli Büyükşehir Belediyesi, Çevre Koruma ve Kontrol Daire Başkanlığı tarafından sağlanmıştır. Bu verilere ait değerler ise Tablo 3’de gösterilmektedir.

Tablo III: Kocaeli Şehrine Ait İndikatör Değerleri.

İndikatör	İndikatör Adı	Değer
1	Kocaeli Nüfusu (Kişi)	2.102.907
2	Kocaeli’nde Yılda Toplanan Katı Atık Miktarı (kg)	639.565.000
3	Kocaeli İli Kişi Başına Yılda Toplanan Katı Atık Miktarı (kg)	304,13
4	Kocaeli İlinde Geri Dönüştürülen veya Kompostlanan Katı Atık Miktarı (%)	4,71
5	Kocaeli İlinde Enerji Kazanımı İçin Yakılan Katı Atık Miktarı (%)	0

Tablo 3, Kocaeli şehrine ait Mavi Ayak İzine ait Katı Atık Bertarafı indikatörlerinin değerlerini göstermektedir. Ayrıca katı atıkların toplanması, geri dönüşümü ve enerji kazanımı gibi önemli ölçümler için bu tabloda yer alan verilerden faydalanılmıştır.

Her bir indikatör değeri Leeuwen, Koop ve Sjerps tarafından hazırlanmış olan nümerik metod kullanılarak hesaplanmıştır. 2. kategori 4. indikatör değeri olan “Toplanan katı atık” miktarını hesaplamak için formül 1 kullanılmaktadır.

Toplanan Katı Atık Ölçeklendirme Formülü =

$$[1-(X-136,4) \div (689,2-136,4)] \times 100 \text{ (Formül 1)}$$

Burada:

$$X = \text{Kişi Başına Yılda Toplanan Katı Atık Miktarı (kg)}$$

Bu formül özellikle toplanan katı atık hesaplanmasında kullanılmaktadır. Formülde X hariç diğer sayısal veriler, Leeuwen, Koop ve Sjerps’ın çalışmalarındaki hesaplamalarla oluşturduğu ve kabul edilmiş değerler olan referans verilerdir. Bu değer haneler, küçük ticari işyerleri, ofis binaları, okullar ve hükümet binaları gibi kurumlardan ve belediye tarafından toplanan atıklar için kullanılan veya bertaraf edilen atıkların miktarını ifade etmektedir.

2. kategoride yer alan ve 5. indikatör olan “geri dönüştürülen veya kompostlanan toplam atık” hesaplanmasında formül 2 kullanılmaktadır.

$$\text{Geri Dönüştürülen Toplam Atık Ölçeklendirme Formülü} = [(\% X (100 - Y))] \times 10 \text{ (Formül 2)}$$

Burada:

$$X = \text{Geri Dönüştürülen veya Kompostlanan Katı Atık Miktarının \% Değeri}$$

$$Y = \text{Enerji Kazanımı İçin Yakılan Atık Miktarının \% Değeri}$$

Bu gösterge, toplanan belediye atıklarının ne kadarının geri

dönüştürüldüğü veya kompost haline getirilen miktarın yüzde olarak ifadesidir. Ancak, atıklar enerji geri kazanımı için yakıldığı zaman, bu yöntem sürdürülebilir olsa da geri dönüşüm için kullanılamaz. Bu nedenle, geri dönüştürülecek atıkların oranını hesaplamak için önce toplam belediye atıklarından (%100) yakılan atık oranı çıkarılmaktadır. Böylece, formül 2’de gösterildiği şekilde daha net bir hesaplama yapılabilir.

2. kategorinin 6. indikatörü olan “katı atık ile enerji geri kazanım” hesaplanmasında formül 3 kullanılmaktadır.

$$\text{Katı Atık ile Enerji Kazanımı Ölçeklendirme Formülü} = [(\% Y) / (100 - \% X)] \times 10 \text{ (Formül 3)}$$

Burada:

$$X = \text{Geri Dönüştürülen veya Kompostlanan Katı Atık Miktarının \% Değeri}$$

$$Y = \text{Enerji Kazanımı İçin Yakılan Atık Miktarının \% Değeri}$$

Bu gösterge, toplanan belediye atıklarının enerji geri kazanımı amacıyla yakılan atık miktarının yüzdesini göstermektedir. Ancak, atıklar geri dönüştürüldüğünde veya kompost haline getirildiğinde, bu işlemler sürdürülebilir olsa da aynı atıklar enerji geri kazanımı için yakılamamaktadır. Bu nedenle, enerji geri kazanımı için yakılabilecek atık miktarının oranını hesaplamak için önce toplam belediye atıklarından (%100), geri dönüştürülen veya kompost yapılan atık miktarının oranı çıkarılmaktadır.

3. Bulgular ve Tartışma

Kocaeli Şehri Mavi Ayak İzine ait katı atık verileri tespit edilmiş ve çalışmada kullanılan metodla katı atık bileşenine ait indikatörlere göre ölçeklendirme değerlendirmeleri yapılmıştır.

İndikatörün değerlendirilmesi daha öncede belirtildiği gibi 0 (çok zayıf performans) ile 10 (mükemmel performans) arasında bir ölçekte yapılmaktadır. Tablo 4’te Kocaeli ili ne ait bu indikatörler için hesaplanan ölçek değerler gösterilmektedir.

Tablo IV: Kocaeli Şehrine Ait Mavi Ayak İzi Hesaplamalarında Katı Atık Bileşenine Göre Belirlenmiş İndikatörlerin Hesaplanan Değerleri.

Katı Atık Bileşenine Ait İndikatörler	2023 Yılı Ölçek Değerleri
Toplanan Katı Atık	6,90
Geri Dönüştürülen Katı Atık	0,47
Enerjiye Çevrilen Katı Atık	0
Toplam	7,37

Tablo 4, Kocaeli şehrinin mavi ayak izi hesaplamalarında katı atık yönetimi bileşenine ait belli indikatörlerin 2023 yılına ait ölçek değerlerini göstermektedir. Veriler, atıkların toplanması, geri dönüşümü ve enerjiye çevrilmesiyle ilgili faaliyet düzeylerini değerlendirmektedir. Toplanan katı atık bileşenine ait hesaplanan değer 6,90 olarak belirlenmiştir. Bu ölçek, atık toplama sürecinin şehir genelindeki etkinliğini ifade etmektedir. Leeuwen, Koop ve Sjerps'in 2016 yılı çalışmasında Mavi Ayak İzi hesaplamalarındaki 7-10 arasındaki değer yüksek değer olarak belirlenmiştir. Yüksek değer olumlu performansı işaret etmektedir ve toplama sisteminin kapsamlı bir şekilde işlediğini gösterir. Ancak bu değer aynı zamanda atık üretiminin fazlalığını da yansıtabilir (Kolukısaoglu, Maçın ve Demir, 2018). Geri dönüştürülen katı atık bileşenine ait ölçek değeri 0,47'dir. Bu oran, toplanan katı atıkların geri dönüşüm sürecine dâhil edilen kısmını

temsil etmektedir. Kocaeli'nin geri dönüşüm oranının düşük olduğunu belirtmektedir. Leeuwen, Koop ve Sjerps'in 2016 yılı çalışmasında Mavi Ayak İzi hesaplamalarındaki 0-3 arasındaki değerleri düşük değer olarak belirlenmiştir. Düşük değerde yer alan indikatörlerin performansın veya ölçümün yetersiz olduğunu, daha fazla geliştirilmesi gerektiğini göstermektedir. Bu nedenle atık yönetim sisteminde geri dönüşüm süreçlerinin geliştirilmesi gerektiği açıkça görülmektedir (Yılmaz, Niyaz & Tomar, 2021) Enerjiye çevrilen katı atık oranı 0 olarak hesaplanmıştır. Bu durum, enerji geri kazanımı için katı atıkların yakılmadığını veya bu yöntemin şehirde uygulanmadığını göstermektedir.

Kocaeli Şehri'nin Mavi Ayak İzi değerlendirmesi için 2023 yılına ait katı atık bileşenin indikatörlerine ait ölçek değerlerinin grafiksel dağılımı Şekil 2' de gösterilmektedir.

**Şekil 2. Kocaeli Şehrinin 2023 Yılı Atık İndikatörlerine Ait Ölçek Değerleri.**

Şekil 2'de yer alan veriler Mavi Ayak İzi hesaplamaları kullanılarak, katı atık indikatörlerinin hesaplanmasıyla oluşturulmuştur. Bu hesaplama yöntemiyle veriler 0-10 arasında değer almaktadır.

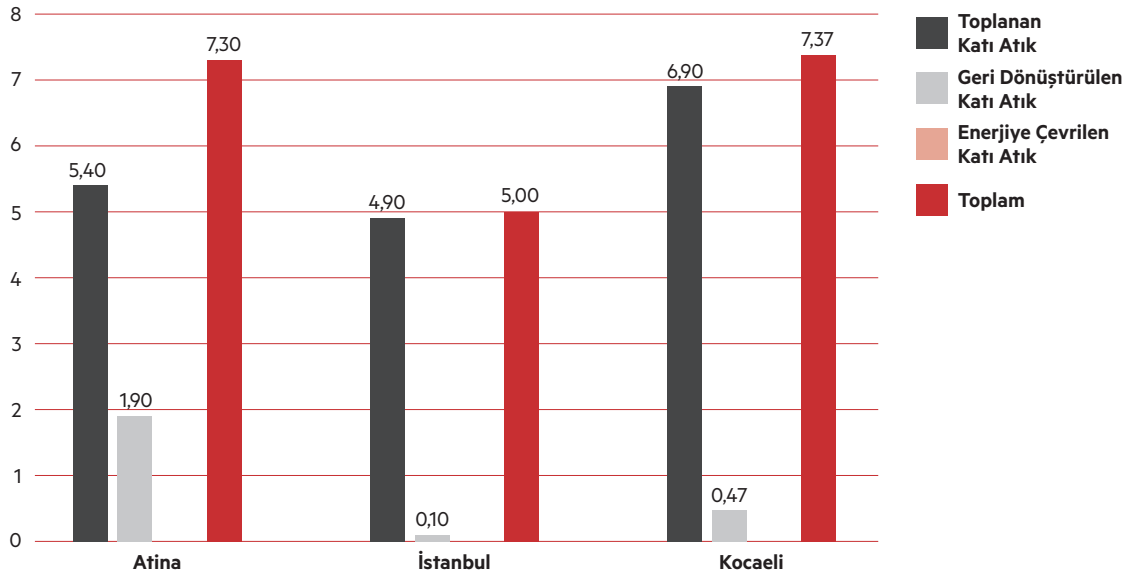
- 0-3: Düşük Değer (Performans ve ölçümün yetersiz olması ve geliştirilmesi gerektiğini gösterir.)
- 4-6: Orta Değer (Ölçümün makul bir seviyede olduğunu ancak iyileştirme potansiyeli olduğunu gösterir.)

- 7-10: Yüksek Değer (Performansın ve ölçümün iyi ya da çok iyi olduğunu gösterir (Leeuwen, Koop ve Sjerps'in 2016).

Ayrıca Kocaeli şehrine ait ölçek değerler, "BlueSCities" 2016 yılı raporunda Atina, İstanbul, Helsinki ve Cenova şehirlerinin Mavi Ayak İzi verilerine ait sadece katı atık bileşenine ait ölçek değerleri ile karşılaştırılmıştır (Tablo 4) ve (Şekil 3).

Tablo IV: Kocaeli Şehrine Ait Mavi Ayak İzi Hesaplamalarında Katı Atık Bileşen Değerlerinin Atina ve İstanbul Şehirleri ile Karşılaştırılması.

İndikatörler		Atina	İstanbul	Kocaeli
Katı Atık Bileşeni	Toplanan Katı Atık	5,40	4,90	6,90
	Geri Dönüştürülen Katı Atık	1,90	0,10	0,47
	Enerjiye Çevrilen Katı Atık	0	0,000073	0
Toplam		7,30	5,00	7,37



Şekil 3. Kocaeli Şehrinin 2023 Yılı Atık İndikatörlerine Ait Ölçek Değerlerinin, 2016 Yılı BlueScities Raporunda Hesaplanan İstanbul, Atina ve Helsinki Değerleri ile Karşılaştırılması.

Bu karşılaştırma sonuçlarında yer alan Atina ve İstanbul verileri BlueSCities 2016 raporundan alınarak, çalışmamızda yer alan Kocaeli verileri ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonuçlarına göre; BlueSCities 2016 raporuna göre toplanan katı atık miktarı İstanbul ili için 4,90, Atina için 5,40'dür. Çalışmada tespit edilen 2023 yılına ait Kocaeli şehrinin verisi ise 6,90'dır. BlueSCities 2016 raporuna göre geri dönüştürülen veya kompostlanan katı atık miktarı İstanbul ili için 0,10, Atina için 1,90 ve 2023 yılına ait Kocaeli şehri için bu değer 0,47'dir. 2016 yılı için katı atık ile enerji geri kazanımı İstanbul için yaklaşık 0 ve Atina şehrine ait veri de 0'dır, 2023 yılı için Kocaeli değeri de aynı olup 0'dır.

Çalışma sonucuna göre bu zaman aralığında Kocaeli şehri toplam katı atık mavi ayak izi değeri 7,37'dir. Çalışılan metoda göre 0-10 aralığında olan bu değer sonuç olarak Kocaeli şehrinde katı atık yönetiminde uygulamaların ortalamasının üzerinde bir değere sahip olduğunu göstermektedir. Ancak diğer indikatör değerlerini özel olarak incelediğimizde enerjiye çevrilen katı atık indikatör değerinin 0 olduğu bu alanda yerel yönetimler tarafından katı atık yönetiminde

iyileştirilmelere açık olduğu gözlenmektedir. Kocaeli şehrinin toplam değerini 2016 yılına göre Atina ve İstanbul şehirleri ile karşılaştırıldığında ise Atina değeri ile hemen hemen aynı olduğu tespit edilmiştir. 2016 yılında Atina ve İstanbul şehirlerini de kapsayan bu çalışmada Atina'nın nüfusu yaklaşık 5 milyon kişi olarak kaydedilmiştir. 2023 yılında yaklaşık 2 milyon kişi nüfusa sahip olan Kocaeli şehrinin mavi ayak izinin toplam katı atık bileşeninin değeri, 2016 yılı yaklaşık 5 milyon kişi nüfusa sahip Atina değeri ile yaklaşık olarak aynı olması, Kocaeli şehri yerel yönetimler tarafından gelecekte mümkün nüfus artışında katı atık yönetimini daha da geliştirilmesi anlamına gelebilir. Kocaeli şehri için aynı karşılaştırma, İstanbul şehri için yapıldığında 2016 yılında yaklaşık 14 milyon kişi nüfusa sahip İstanbul şehrinin toplam mavi ayak izi katı atık bileşen değeri 5'e göre, oldukça iyi bir değere sahiptir. Ancak aradaki nüfus farkı göz ardı edilemez düzeydedir. Buna göre Kocaeli şehri gelecekte daha iyi bir değer ve nüfus artışı için yerel yönetimler tarafından katı atık yönetiminde iyileştirmelere ihtiyaç duyacağını ortaya koymaktadır.

4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, Kocaeli ili özelinde, akıllı şehir dönüşümleri kapsamında mavi ayak izi bileşenlerinden biri olan katı atık göstergesinin etkileri analiz ederek, sürdürülebilir atık yönetimi stratejilerinin geliştirilmesine yönelik bulgular sunulmuş ve öneriler geliştirilmiştir. Şehirlerin çevresel sürdürülebilirliğini artırmak ve doğal kaynakların gelecek nesillere aktarılmasını sağlamak için mavi ayak izi gibi kapsamlı analizlerin yapılması önemlidir.

Araştırma sonuçları, Kocaeli'nin mavi ayak izi profilinin belirlenmesinde katı atık göstergesinin önemli bir bileşen olduğunu ortaya koymaktadır. Katı atıkların, özellikle su kaynakları üzerindeki olumsuz etkileri göz önüne alındığında, bu bileşenin etkin bir şekilde yönetilmesi, hem çevresel sürdürülebilirlik hem de akıllı şehir dönüşüm süreçleri açısından önemli bir gereklilik olarak öne çıkmaktadır. Çalışmada elde edilen bulgular, Kocaeli İl'indeki mevcut atık yönetimi uygulamalarının, geri dönüşüm ve enerji geri kazanımı gibi sürdürülebilir yöntemlerle desteklenmesi gerektiğini göstermektedir. Bunun yanında, gelecek çalışmalar için öneriler geliştirilmiştir:

- Atık yönetimi stratejilerinin geliştirilmesi için atıkların kaynağında ayrıştırılması ve geri dönüşüm altyapısının güçlendirilmesi öncelikli hedefler arasında yer almalıdır.
- Akıllı teknolojilerin entegrasyonu, atık toplama süreçlerinin daha verimli hale getirilmesini, maliyetlerin düşürülmesini ve çevresel etkilerin azaltılmasını sağlayacaktır.
- Atıktan enerji geri kazanımı için en temiz teknolojiler

kullanılarak yeni tesislerin kurulması veya mevcut tesislerin kapasitesinin artırılması gerekmektedir.

- Ulusal ve uluslararası işbirlikleri ile farklı ülkelerdeki akıllı şehir stratejileri ve mavi ayak izi uygulamaları gibi başarılı örneklerden faydalanılarak, bu alandaki kapasite güçlendirilebilir.
- Mavi ayak izi hesaplamalarının ulusal düzeyde standartlaştırılması ve yerel yönetimlerin bu hesaplamaları düzenli olarak yapması teşvik edilmelidir.
- Katı atıkların depolanan alanlarda sızıntı sularının yeraltı ve yüzey sularına karışmasını önlemek için gerekli altyapı iyileştirmeleri yapılmalıdır.

Sonuç olarak, bu çalışma, Kocaeli'nin akıllı şehir dönüşüm sürecinde mavi ayak izi bileşenlerinden biri olan katı atık göstergesinin önemini vurgulamakta ve sürdürülebilir atık yönetimi stratejilerinin geliştirilmesine yönelik kapsamlı bir çerçeve sunmaktadır. Çalışmanın bulguları, yalnızca Kocaeli için değil, benzer çevresel ve kentsel sorunlarla karşı karşıya olan diğer şehirler için de yol gösterici bir referans niteliği taşımaktadır. Akıllı şehir dönüşüm süreçlerinin başarılı bir şekilde gerçekleştirilmesi için, mavi ayak izi analizlerinin düzenli olarak yapılması ve bu analizlerin sonuçlarına dayalı stratejik planlamaların hayata geçirilmesi büyük önem taşımaktadır. Bu bağlamda, yerel yönetimlerin, sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmak için akıllı teknolojilerden ve yenilikçi yaklaşımlardan faydalanması gerekmektedir.

Kaynakça

- Cömertler, S., & Cömertler, N. (2021). Akıllı Kentlerde Çevresel, Sosyal ve Ekonomik Sürdürülebilirlik, Kopenhag Örneği. *Journal of Architectural Sciences and Applications*, 6(1), 317-333.
- Dal, M., & Özdemir, Y. (2020). Dijital Çağda Neden Bir Kent Sürdürülebilir Akıllı Şehir Olmalıdır. *Uluslararası Doğu Anadolu Fen Mühendislik ve Tasarım Dergisi*, 2(2), 205-215.
- Gülbaz, S., & Alhan, C. M. K. (2018). Mavi Şehirler: Su ve Atık ile Avrupa Akıllı Şehir Stratejisinin Entegrasyonu: Mavi ve Sarı Ayak İzi Kavramlarının İstanbul İçin Uygulaması. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 9(1), 581-590.
- Hamurcu, A.U. (2023). Akıllı Şehirler ve Sürdürülebilir Kentsel Dönüşüm. *Çevre Şehir ve İklim Dergisi*, 2(4), 70-95.
- Kaya, H.E., & Susan, A.T. (2020). Sürdürülebilir Bir Kentleşme Yaklaşımı Olarak, Ekolojik Planlama ve Eko-Kentler. *İdealkent*, 11(30), 909-937.
- Kocaeli Büyükşehir Belediyesi, (2023). Faaliyet Raporu. <https://www.kocaeli.bel.tr/faaliyet-raporlari.html> (Erişim tarihi: 15.11.2024)
- Kocaeli Valiliği, (2024). Kocaeli Ekonomisinde Sanayinin Yeri, <http://www.kocaeli.gov.tr/kocaeli-ekonomisinde-sanayinin-yeri> (Erişim tarihi: 15.11.2024)
- Kolukisaoglu, M., Maçin, K.E., & Demir, İ. (2018). Katı Atık Toplama Sıklığının Toplama-Taşıma Maliyetine Etkisi. *Artibilim: Adana Bilim ve Teknoloji Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 1(1), 46-56.
- Koop, S.H., & van Leeuwen, C.J. (2015). Application of the Improved City Blueprint Framework in 45 Municipalities and Regions. *Water Resources Management*, 29, 4629-4647.
- Koop, S. H., & Van Leeuwen, C. J. (2017). The Challenges of Water, Waste and Climate Change in Cities. *Environment, Development and Sustainability*, 19(2), 385-418.
- KWR Institute (2016). Blue Cities: Everything Revolves Around The City, <https://www.kwrwater.nl/en/actueel/blue-cities-everything-revolves-around-the-city/> (Erişim tarihi: 12.11.2024)
- Nohutçu, A., & Akpınar, A. (2022). Türkiye’de Yerel Yönetimler Akıllı Şehirler İçin Ne Kadar Hazır: Politika Belgeleri Üzerinden Bir İnceleme. *Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, (48), 1-21.
- Rahmasary, A.N., Robert, S., Chang, I.S., Jing, W., Park, J., Bluemling, B. & van Leeuwen, K. (2019). Overcoming the Challenges of Water, Waste and Climate Change in Asian Cities. *Environmental management*, 63, 520-535.
- T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Kocaeli İl Tarım ve Orman Müdürlüğü, (2024). Kocaeli, Demografik Yapı, <https://kocaeli.tarimorman.gov.tr/Menu/24/Demografik-Yapi> (Erişim tarihi: 15.11.2024)
- TÜİK, (2023). Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi Sonuçları, <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Adrese-Dayali-Nufus-Kayit-Sistemi-SonucLari-2023-49684> (Erişim tarihi: 15.11.2024)
- Uçar, A., Negiz, N., & Şemşit, S. (2017). Avrupa Birliği Akıllı Kent Uygulamaları ve Türkiye’deki Yansımaları. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 22 (Kayfor 15 Özel Sayısı), 1785-1798.
- Van Leeuwen, C.J., Koop, S.H., & Sjerps, R.M.A. (2016). City Blueprints: Baseline Assessments of Water Management and Climate Change in 45 Cities. *Environment, Development and Sustainability*, 18, 1113-1128.
- Yılmaz, A.M., Niyaz, Ö., & Tomar, O. (2021). Türkiye’deki Tüketicilerin Katı Atıkların Geri Dönüşümü Konusundaki Bilinç Düzeylerinin ve Farkındalıklarının Belirlenmesi. *COMU Journal of Agriculture Faculty*, 9(2), 379-392.