

Yerel Yönetimler, Kent ve Çevre Politikaları

Editör
Prof. Dr. Murat Ertekin

Yerel Yönetimler, Kent ve Çevre Politikaları

Editör

Prof. Dr. Murat ERTEKİN

İmtiyaz Sahibi
Platanus Publishing®

Editör
Prof. Dr. Salim Güngör

Kapak & Mizanpaj & Sosyal Medya
Platanus Yayın Grubu

Birinci Basım
Ekim, 2025

Yayımcı Sertifika No
45813

ISBN
978-625-6517-47-9

©copyright
Bu kitabın yayım hakkı Platanus Publishing'e aittir. Kaynak gösterilmeden alıntı yapılamaz, izin alınmadan hiçbir yolla çoğaltılamaz.

Adres: Natoyolu Cad. Fahri Korutürk Mah. 157/B, 06480, Mamak,
Ankara, Türkiye.

Telefon: +90 312 390 1 118
web: www.platanuspublishing.com
e-mail: platanuskita@gmail.com



Platanus Publishing®

İÇİNDEKİLER

BÖLÜM 1.....	5
Gökhan Karayünlü.....	6
BÖLÜM 2.....	23
Kapsayıcı Ulaşım İçin Paratransit: İzmir Bağlamında Optimizasyon Tabanlı Bir Yaklaşım	
Zeynep Nur Köstepen & Uğur Eliyi & Deniz Türsel Eliyi & Sıla Uzun& İsmail Özen	
BÖLÜM 3.....	43
Türkiye'de Çevre Politikaları	
Tarık Özdemir	



BÖLÜM 1

Yerel Yönetimlerde Tıbbi Atık Ayırma Tesisleri ve Yönetimi

Gökhan Karayünlü¹

1. Giriş

İnsanoğlunun artan nüfusu ile üretim–tüketim döngüsünün yoğunlaşması sonucunda ortaya çıkan atık olgusu, günümüzün en önemli çevresel ve toplumsal sorunlarından biri haline gelmiştir. Günlük yaşamın ayrılmaz bir parçası olan atık yönetimi, yalnızca çevresel sürdürülebilirlik açısından değil, aynı zamanda halk sağlığı bakımından da kritik öneme sahiptir. Geçmişten günümüze incelendiğinde, atıkların sınıflandırılması, depolanması ve imhasına yönelik farkındalığın ve bilimsel çalışmaların giderek arttığı görülmektedir. Tarihsel süreçte sanayi devrimi öncesi atık imhası daha çok yığılma ve yakma yöntemleriyle gerçekleştirildiği halde, sanayi devrimi ile atıkların enerji üretiminde yakıt olarak değerlendirilmesi sürece hız kazandırmış ve atık çeşitliliğini artırmıştır.

Özellikle COVID-19 pandemisi gibi küresel boyuttaki salgınlar, tıbbi atık yönetiminin ne derece hayati bir süreç olduğunu bir kez daha ortaya koymuştur. Pandemi sürecinde enfekte materyallerin artışı, tıbbi atıkların doğru şekilde toplanması, taşınması, depolanması ve imhasının yalnızca çevre sağlığı değil, doğrudan insan sağlığı açısından da kritik bir unsur olduğunu göstermiştir.

Bu bağlamda yapılan çalışma, atık yönetiminin önemli ve tehlikeli bileşenlerinden biri olan tıbbi atıkların yönetim süreçlerini ele almakta; özellikle toplanma, taşınma, depolanma ve imha aşamalarındaki uygulamaları incelemektedir. 2000’li yılların başından 2020 yılına kadar geçen dönemde, tıbbi atık yönetim sisteminin önemli bir dönüşüm geçirdiği, sterilizasyon, imha ve geri kazanım süreçlerinin geliştirilerek enerji üretiminde kullanılabilir hale getirildiği anlaşılmaktadır. Bu gelişmeler, modern tıbbi atık yönetiminin çevresel sürdürülebilirlik ve enerji verimliliği boyutunu da ön plana çıkarmaktadır.

Türkiye’de tıbbi atık yönetimi, hukuki ve kurumsal düzenlemeler çerçevesinde yürütülmektedir. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı ve bağlı il müdürlükleri, atık yönetim süreçlerini düzenli olarak denetlemekte ve kontrol altında tutmaktadır. Bu kapsamda Atık İmha Yönetmeliği, tıbbi atıkların

¹ Dr., Mersin Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Siyaset Bilimi ve Kamu Yönetimi Bölümü / Mersin Emniyet Müdürlüğü Bomba İmha ve İnceleme Şube Müdürü, Mersin, Türkiye, ORCID: 0009-0000-8886-9859

toplanmasından imhasına kadar olan tüm görev ve sorumlulukları düzenlemiş, bu süreçlerin yürütülmesi sorumluluğunu büyük ölçüde yerel yönetimlere, yani belediyelere vermiştir (Öztaş & Zengin, 2011).

Yerel yönetimlerin ana unsuru olan belediyeler, tıbbi atıkların yönetim sürecinde kilit bir role sahiptir. Belediyelerin Çevre Koruma ve Denetim Daire Başkanlıkları tarafından yürütülen çalışmalar, atık yönetiminin kanun ve yönetmelikler çerçevesinde sistematik bir sürece dönüştüğünü göstermektedir. Bu bağlamda, yerel yönetimlerin atık toplama, taşıma, geçici depolama ve imha süreçlerinde aktif olarak sorumluluk üstlendiği, ayrıca bu faaliyetlerin ilgili bakanlık tarafından düzenli olarak denetlendiği görülmektedir.

Belediyelerin tıbbi atık yönetimindeki uygulamaları, sahip oldukları mali ve teknik kapasiteye göre farklılık gösterebilmektedir. Yerel yönetimlerin imkân ve kabiliyetleri, süreç akış şemalarında bölgesel düzeyde farklı uygulamaların ortaya çıkmasına yol açmaktadır. Örneğin nüfus yoğunluğu yüksek olan büyükşehirlerde atık imha süreçleri daha kurumsallaşmış ve teknolojik altyapı bakımından gelişmişken, nüfus yoğunluğu düşük kırsal bölgelerde bu süreçler daha sınırlı imkânlarla yürütülmektedir. Ayrıca mevsimsel değişiklikler de atık miktarında dalgalanmalara sebep olmakta ve belediyelerin atık yönetim kapasitesini doğrudan etkilemektedir (Zülfikar & Beken, 2014).

Bu durum, tıbbi atık yönetiminde merkezi otoritenin koyduğu standartların yanı sıra, yerel koşulların da belirleyici olduğunu ortaya koymaktadır. Dolayısıyla etkin bir tıbbi atık yönetim sistemi, yalnızca hukuki düzenlemelerle değil, aynı zamanda belediyelerin teknik kapasitesi, personel eğitimi ve finansal kaynaklarının güçlendirilmesiyle mümkündür.

Artan nüfus ve tüketimle birlikte atık yönetimi, günümüzde çevre sağlığı kadar halk sağlığı ve sürdürülebilir kalkınma açısından da stratejik öneme sahiptir. Özellikle pandemi sürecinde tıbbi atık yönetiminin önemi bir kez daha anlaşılmış, yerel yönetimlerin bu süreçteki sorumlulukları daha görünür hale gelmiştir. Türkiye’de tıbbi atıkların yönetimi hukuki düzenlemelerle güvence altına alınmış olsa da uygulamada belediyeler arasında farklılıklar görülmektedir. Bu nedenle gelecekte tıbbi atık yönetiminde, yerel yönetimlerin teknik kapasitesinin artırılması, bölgesel farklılıkların giderilmesi ve merkezi otorite ile yerel yönetimler arasındaki iş birliğinin güçlendirilmesi gerekmektedir.

1. Atık, Katı Atık ve Tıbbi Atık Kavramı

Atık kavramı, genel anlamda üretim ve tüketim sürecinin sonunda ortaya çıkan, kullanımı tamamlanmış veya artık ihtiyaç duyulmayan maddeleri ifade

eder. Bu maddeler, çeşitli fiziksel hallerde bulunabilir; katı, sıvı veya gaz formunda olabilirler. Katı atıklar ise, bu gruplaştırmamızın özellikle dikkat çekici olan ve en yaygın görülen türüdür. Katı atıklar, yüzeysel olarak gözle görebildiğimiz ve doğrudan çözüme tabi tutulan maddeleri kapsamaktadır. Ancak atık kavramı, yalnızca maddelerin fiziksel haliyle sınırlı değildir. Aynı zamanda içerdikleri maddelerin doğası ve potansiyel tehlike seviyeleri de dikkate alınmalıdır. Bu nedenle, atıklar güvenlik ve çevre sağlığı açısından çeşitli sınıflandırmalar ve yönetim stratejileri gerektirir. Tıbbi atık ise, özel bir kategori olup, sağlık sektörleri tarafından kullanılan medikal malzemeler, kimyasal maddeler ve biyolojik çıktılarının bir araya gelmesiyle oluşur. Bu tür atıklar, çevre ve insan sağlığı açısından ciddi riskler taşımaktadır. Çalışma ortamlarında yanlış veya eksik atık yönetimi, bulaşıcı hastalıkların yayılmasına, çevre kirliliğine ve canlı yaşamını olumsuz etkilemeye yol açabilir. Tıbbi atıkların toplanması, taşınması ve imhası süreçleri, bu nedenle ciddi düzenlemeleri ve protokolleri içermektedir. Bu süreçlerin sağlıklı ve güvenli bir biçimde yürütülmesi hem sağlık çalışanlarının hem de toplumun korunması açısından elzemdir. Ayrıca, tıbbi atıkların doğru yönetilmemesi, bakteriyel ve virüslü partiküllerin yayılmasına, su ve toprak kirliliğine yol açabilir. Dolayısıyla, atıkların sınıflandırılması ve uygun yöntemlerle bertaraf edilmesi hem insan hem de ekosistem sağlığı için vazgeçilmezdir. Bu bağlamda, tıbbi atıkların yönetimi, mevcut mevzuat ve uluslararası standartlar doğrultusunda, eğitim ve farkındalık çalışmalarıyla bütünleştirilerek uygulanmaktadır. Bu düzenlemeler, özellikle hastaneler, laboratuvarlar ve ilaç üretim tesisleri gibi alanlarda temel alınmakta olup, sürdürülebilir ve çevre dostu uygulamaların geliştirilmesine olanak sağlar. Atık kavramına ilişkin kapsamlı bilgi, bu yönetim süreçlerinin etkin ve etik bir biçimde yürütülmesi için temel teşkil eder ve risklerin minimize edilmesi adına dikkate alınması gereken önemli bir husustur. (Çakır, E., Sarıhan N. Ö., 2023).

1.1. Tıbbi Atıkların Sınıflandırılması ve Tıbbi Atık Tesisleri

Tıbbi atık ayırma tesislerinde, atıklar öncelikle ulusal mevzuat ve uluslararası standartlar çerçevesinde sınıflandırılır. Genel olarak üç temel kategori öne çıkmaktadır:

Enfeksiyöz Atıklar: Mikroorganizma içeren ve bulaşıcı hastalık riski barındıran atıklardır. Enjeksiyon iğneleri, laboratuvar kültürleri, kan ve vücut sıvısı içeren materyaller bu gruptadır.

Kesici-Delici Atıklar: İğne, bistüri, ampul kırıkları gibi doğrudan fiziksel yaralanma ve enfeksiyon riski taşıyan atıklardır. Bu tür atıklar delinmeye dayanıklı özel kutularda toplanmaktadır.

Farmasötik ve Kimyasal Atıklar: Kullanım süresi dolmuş ilaçlar, kimyasal reaktifler, ağır metal içeren materyaller ve sitotoksik ilaç atıkları bu grupta yer almaktadır.

Bu sınıflandırma, atıkların hem depolanma koşullarını hem de bertaraf yöntemlerini belirlemesi açısından önem arz etmektedir.

1.2.Tıbbi Atık Ayırma Tesisleri

Tıbbi atıkların çevre ve insan sağlığına yönelik riskleri, bu atıkların diğer atıklardan ayrı toplanması, taşınması, işlenmesi ve bertaraf edilmesini zorunlu kılmaktadır. Bu çerçevede tıbbi atık ayırma tesisleri, sağlık kuruluşlarından ve diğer üretim noktalarından kaynaklanan atıkların, mevzuata uygun şekilde sınıflandırıldığı, geçici olarak depolandığı ve imha tesislerine gönderilmeden önce uygun koşullarda işlendiği kritik altyapı birimleridir.

Tıbbi atık ayırma tesisleri; hastaneler, klinikler, laboratuvarlar ve diğer sağlık kuruluşlarında üretilen atıkların, tehlike sınıfına göre ayrıştırıldığı, güvenli biçimde depolandığı ve bertaraf tesislerine sevk edildiği sistemlerdir. Bu tesislerin en temel amacı, tehlikeli tıbbi atıkların evsel nitelikli atıklarla karışmasını önlemek ve bu sayede hem halk sağlığını hem de çevresel sürdürülebilirliği güvence altına almaktır.

Modern tıbbi atık ayırma tesisleri, yalnızca fiziksel ayrıştırma işlemlerini değil, aynı zamanda otomatik ayırma sistemleri, barkodlama teknolojileri ve elektronik izleme yazılımları ile bütünleşmiş süreçler yürütmektedir. Bu teknolojiler sayesinde atıkların kaynağından bertarafa kadar tam izlenebilirliği sağlanmaktadır. Ayrıca tesislerin yapısal özelliklerinde; negatif basınçlı havalandırma, sızdırmaz zemin kaplamaları ve dezenfeksiyon sistemleri gibi çevresel güvenlik önlemleri zorunlu hale gelmiştir.

Tıbbi atık ayırma tesisleri, doğrudan enfeksiyon zincirinin kırılmasına katkı sağlamakta ve sağlık çalışanlarının yanı sıra toplumun genelini korumaktadır. Aynı zamanda bu tesislerin etkin çalışması, su, toprak ve hava kirliliğinin önlenmesi açısından da kritik öneme sahiptir. Atıkların kaynağında ayrı toplanması ve tesislerde güvenli bir şekilde işlenmesi, sürdürülebilir atık yönetiminin temelini oluşturmaktadır.

Tıbbi atık ayırma tesisleri, yalnızca teknik bir zorunluluk değil, aynı zamanda kamu sağlığı ve çevre güvenliği açısından stratejik bir altyapıdır. Bu tesislerin ulusal mevzuata ve uluslararası standartlara uygun şekilde planlanması, işletilmesi ve denetlenmesi, sürdürülebilir bir tıbbi atık yönetim sistemi için vazgeçilmezdir. Gelecekte artan nüfus, sağlık hizmetlerinin çeşitlenmesi ve olası

salgın riskleri göz önünde bulundurulduğunda, tıbbi atık ayırma tesislerinin kapasite, teknoloji ve yönetsel açıdan sürekli geliştirilmesi bir gereklilik olarak öne çıkmaktadır.

2. Tıbbi Atıkların Meydana Getirdiği Tehlikeler

Bulaşıcı hastalıkların yayılma hızı ve etkisi çevre ve insan sağlığı açısından çok büyük bir biyolojik risk faktörüdür. Tıbbi atıkların içermiş olduğu virüs, bakteri, patojen ve mikroorganizmalar kolay yayılma şekli ile tehlike yaratmaktadır. Bunun yanı sıra tıp sektöründe kullanılan radyo aktif maddeler ve kimyasal maddeler kitleler üzerinde hızlı ve ölümcül etkiler göstermektedir. Ameliyat ve acil tıp hizmetlerinde kullanılan kesici aletlerin atık statüsü kazandıktan sonra tekrar temas neticesinde hastalık edici etki meydana gelmektedir. Tıbbi atıkların doğru yönetiminin doğru yapılmaması durumunda sıcak alan tabir edilen doğrudan temaslı sağlık çalışanları ve soğuk alanda yer alan çevre ve diğer insanlar için sağlık tehlikesi kaçınılmaz bir gerçektir (Aydoğdu, İ. B., 2014).

3. Tıbbi Atıkların İmha Süreci

Tıbbi atıkların imha süreci, sağlık hizmetleri sunumu esnasında oluşan atıkların, oluşum anından itibaren çevre ve insan sağlığına zarar vermeyecek şekilde bertaraf edilmesine kadar devam eden sistematik bir dizi işlemi kapsamaktadır. Bu süreç, yalnızca sağlık kuruluşlarının değil aynı zamanda yerel yönetimlerin, Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'nın, tıbbi atık lojistik firmalarının ve bertaraf tesislerinin koordineli çalışmasını gerektirmektedir. Dolayısıyla tıbbi atıkların yönetimi, çok aktörlü bir yapıya sahip olup, yalnızca çevresel değil aynı zamanda idari, mali, hukuki ve toplumsal boyutlara sahiptir (Çoban & Kılıç, 2009).

Türkiye'de tıbbi atıkların yönetimine ilişkin yasal çerçeve ilk olarak 1993 tarihli Tıbbi Atıkların Kontrolü Yönetmeliği ile oluşturulmuş, 2005 yılında ise yenilenerek günümüz uygulamalarına yön verecek standartlar belirlenmiştir. Bu yönetmelik, Avrupa Birliği'nin ilgili direktifleri ile Dünya Sağlık Örgütü'nün (WHO) önerileri doğrultusunda hazırlanmış olup, atıkların kaynağında ayrıştırılmasından nihai bertarafına kadar tüm aşamaları düzenlemektedir.

Tıbbi atık imha süreci altı aşamadan oluşmaktadır: ayrıştırma, paketlenme, toplama, taşıma, sterilizasyon ve bertaraf. Her bir aşama, diğerini tamamlayan ve birbirine bağımlı nitelik taşımaktadır.

3.1. Ayrıştırma

Ayrıştırma, tıbbi atık yönetiminin en kritik ilk basamağıdır. Atıkların kaynağında, yani sağlık tesislerinde; kesici-delici atıklar, patolojik atıklar, enfekte atıklar ve farmasötik atıklar gibi farklı türler için farklı renk ve işaretlerle kodlanmış atık kutuları kullanılmaktadır. Türkiye’de kırmızı torbalar bulaşıcı atıklar, sarı kutular kesici-delici atıklar için kullanılmaktadır. Bu standartlar hem çalışan güvenliğini sağlamak hem de sonraki aşamalarda atıkların uygun şekilde yönetilmesine olanak tanımaktadır.

3.2. Paketleme

Ayrıştırılmış atıkların sızdırmaz, yırtılmaya ve delinmeye karşı dayanıklı malzemeler kullanılarak uygun şekilde muhafaza edilmesi paketleme sürecini oluşturmaktadır. Türkiye’de yönetmelik gereği, enfekte atıklar 150 mikron kalınlığında, çift katlı, kırmızı renkli plastik torbalarda toplanmaktadır. Paketleme sırasında torbaların %75’ten fazla doldurulmaması kuralı geçerlidir. Bu düzenleme, taşıma sırasında atıkların taşma veya sızıntı riskini en aza indirmeyi amaçlamaktadır.

3.3. Toplama

Paketlenmiş tıbbi atıklar, sağlık kuruluşlarının içinde geçici depolama alanlarına taşınmaktadır. Bu alanlar; sızdırmaz, kolay temizlenebilir, havalandırma sistemine sahip ve yetkisiz kişilerin girişine kapalı şekilde tasarlanmaktadır. Yönetmeliklere göre bu alanlarda tıbbi atıklar 48 saatten uzun süre bekletilememektedir. Toplama süreci, sağlık kuruluşlarının iç organizasyonuna bağlı olmakla birlikte, yetkilendirilmiş personel tarafından özel koruyucu ekipmanlarla yürütülmektedir.

3.4. Taşıma

Toplanan tıbbi atıkların sağlık kuruluşlarından bertaraf tesislerine taşınması, lisanslı ve özel donanımlı araçlarla gerçekleştirilmektedir. Bu araçların sızdırmaz yapıda, iç yüzeylerinin kolay temizlenebilir olması ve uluslararası biyotehlike sembolleriyle işaretlenmiş olması zorunludur. Türkiye’de bu hizmet, büyükşehir belediyeleri ve yetkilendirilmiş özel firmalar tarafından yürütülmektedir. Taşıma işlemi, Çevre Bilgi Sistemi (ÇBS) üzerinden kayıt altına alınmakta ve her atık hareketi dijital olarak izlenmektedir.

3.5. Sterilizasyon

Tıbbi atıkların bertaraf tesisine ulaşmasının ardından ilk işlem sterilizasyondur. Türkiye’de en yaygın kullanılan yöntem otoklav

sterilizasyonudur. Bu yöntemde atıklar, 134 °C sıcaklıkta ve 3-5 bar basınçta yaklaşık 30-45 dakika boyunca yüksek ısıya maruz bırakılmaktadır. Bu işlem sonucunda atıkların patojen içerikleri yok edilmekte ve enfeksiyon riski ortadan kaldırılmaktadır (Çoban & Kılıç, 2009). Sterilizasyon sonrası atıklar, biyolojik risk içermediği için “evsel nitelikli atık” kategorisine geçmektedir.

3.6. Bertaraf

Sterilizasyon işleminin ardından evsel atık statüsüne alınan tıbbi atıklar, düzenli depolama sahalarında veya atık yakma tesislerinde bertaraf edilmektedir. Düzenli depolama, daha düşük maliyetli bir yöntem olmakla birlikte uzun vadede çevresel riskler barındırabilmektedir. Bu nedenle özellikle Avrupa’da ve Türkiye’nin bazı büyükşehirlerinde yakma tesisleri tercih edilmektedir. Yakma işlemi, atıkları tamamen yok ederek enerji geri kazanımına da imkân tanımaktadır (Güneş & Tek, 2016).

Tıbbi atık imha süreci, yalnızca teknik bir işlem değil aynı zamanda hukuki, idari ve çevresel boyutları olan çok yönlü bir süreçtir. Türkiye’de uygulanan mevzuatlar, Avrupa Birliği standartlarına büyük ölçüde uyum sağlamış olmakla birlikte, uygulamada altyapı eksiklikleri, finansman sorunları ve personel yetersizliği nedeniyle bazı aksaklıklar yaşanabilmektedir. Özellikle kırsal bölgelerde tıbbi atıkların düzenli taşınamaması ve bertaraf tesislerinin uzaklığı ciddi bir sorun oluşturmaktadır. Bu nedenle gelecekte, bölgesel sterilizasyon tesislerinin yaygınlaştırılması, atık azaltımına yönelik yeni stratejiler geliştirilmesi ve yerel yönetimlerin kurumsal kapasitelerinin güçlendirilmesi önem arz etmektedir.

4. Tıbbi Atık Bertaraf Sürecinde Önemli Hususlar

Tıbbi atıklar, biyolojik açıdan tehlikeli yapıları nedeniyle insan ve çevre sağlığı için birincil risk oluşturmaktadır. Bu nedenle, tıbbi atık bertaraf zincirinde yer alan tüm birim ve personelin konuyla ilgili eğitim ve tatbikatlara katılması gerekmektedir. Tıbbi atık bertarafının toplanması, taşınması ve depolanması aşamalarında kontrolün sağlanması için gerekli koruyucu ve güvenlik önlemleri alınmalıdır. Tüm bu bertaraf süreçleri, yasal düzenlemeler ve mevzuata uygun olarak kurallar ve talimatlar çerçevesinde gerçekleştirilmeli ve tıbbi atıkların toplanmasından bertarafına kadar personele, çevreye ve topluma verilebilecek olası zararlar en aza indirilmelidir (Kızılboga, R. ve Batal, S., 2013). Türkiye’deki 81 ilden yalnızca 16’sında bütünleşmiş tıbbi atık sterilizasyon ve katı atık dönüşüm merkezleri bulunmaktadır. Bu bölgesel farklılık, iller arası atık taşımacılığına aşırı bağımlılığa yol açarak maliyetleri ve riskleri artırmaktadır.

Ayrıca, metropol alanları, grip salgınları gibi mevsimsel hastalık artışları sırasında kapasite sorunlarıyla karşı karşıya kalmaktadır (Bay, M., 2018).

5. Tıbbi Atık Sürecinde Yerel Yönetimlerin Rolü

Tıbbi atıkların imhası süreci, yalnızca ulusal düzeyde değil, küresel ölçekte de üzerinde önemle durulan çevresel ve halk sağlığı sorunlarından biri olarak öne çıkmaktadır. Bu bağlamda, Dünya Sağlık Örgütü (WHO), Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP) ve benzeri uluslararası kuruluşlar tarafından düzenlenen kongreler, çalıştaylar ve raporlar aracılığıyla küresel ölçekte farkındalık ve bilinç oluşturmaya çalışılmaktadır. Ülkemizde ise bu alanda yasal ve idari düzenlemeler Sağlık Bakanlığı öncülüğünde yürütülmekte olup; sağlık ocakları, hastaneler ve diğer sağlık kuruluşları, Tıbbi Atıkların Kontrolü Yönetmeliği kapsamında tıbbi atıkların yönetimi ve bertaraf edilmesi konusunda sorumlu kılınmıştır. Ayrıca, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından 25.01.2017 tarih ve 29959 sayılı Resmî Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe giren yönetmelik doğrultusunda, tıbbi atıkların imhası görevi belediyelere verilmiş ve bu sürecin denetim sorumluluğu da belediyelere tevdi edilmiştir (Kışınbay, S., 2020).

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı’nın 2023 yılında yayımladığı ve Şekil 1’de sunulan Atık Beyan Sistemi (TABS) verilerine göre, 17.935 tesis tarafından beyan edilen toplam 135.869 ton tıbbi atık imhası gerçekleştirilmiştir. Bu veriler, ülkemizde tıbbi atık yönetiminin boyutlarını ortaya koymakta ve sistemin işlevselliğini göstermektedir. Ayrıca hâlihazırda 93 tesis ve 1241 belediye tarafından tıbbi atıkların bertaraf süreci yürütülmeye devam edilmektedir (Zengin, E., & Esedov, A., 2011).

Tıbbi atık imha süreci, bilimsel yöntemlerin ve ileri teknolojiye dayalı sterilizasyon işlemlerinin kullanıldığı çok aşamalı bir prosestir. Yönetmelikler gereği, tıbbi atıkların toplanması, taşınması ve imhası belediyelerin sorumluluğundadır. Bu kapsamda, illerde bulunan Çevre ve Şehircilik İl Müdürlükleri yetki devri ve denetim faaliyetlerini yürütmektedir. Belediyeler, gerekli teknik ve mali kapasitenin sağlanması halinde yetkilerini üçüncü taraf firmalara devredebilmekte; ancak bu durumda dahi söz konusu firmaların yönetmeliklerde öngörülen kurallara uyumundan doğrudan belediyeler sorumlu tutulmaktadır (Çiğdem, E., 2020).

Belediyeler ayrıca tıbbi atık bertaraf süreçlerine ilişkin olarak günlük, aylık ve yıllık raporlama yapmakla yükümlüdür. Bu raporlamalar hem süreçlerin şeffaflığını sağlamak hem de merkezi idarenin denetim mekanizmalarına veri teşkil etmektedir. Belediye bünyesinde kurulan tıbbi atık imha tesislerinin çevre lisansı ve işletim lisansı almak zorunludur. Ayrıca toplama ve taşıma

aşamalarında kullanılan araç ve gereçlerin lisanslı olması, düzenli bakım ve onarımlarının yapılması gerekmektedir. Benzer şekilde imha tesislerinde kullanılan ekipmanların bakım ve onarım sorumluluğu da belediyelere aittir. Tesislerde meydana gelebilecek ve bir haftadan uzun süren gayri faal durumlarda, ilgili belediyeler il müdürlüklerini bilgilendirmek ve depolanan atıkları en yakın tıbbi atık imha tesisine nakletmekle yükümlüdür (Küçük, A., 2013).

Tıbbi atık imha tesislerinde çalışan personelin sağlığı da yönetmelikler çerçevesinde güvence altına alınmıştır. Buna göre, ilgili personelin altı ayda bir sağlık kontrollerinin yapılması ve çalışma esnasında uygun kişisel koruyucu donanım kullanmasının sağlanması zorunludur. Ayrıca belediyeler, yalnızca personelin değil, sorumluluk alanlarında yaşayan nüfusun da bilgilendirilmesinden sorumludur (Eryılmaz H., Demirarslan K. O., 2020).

Bununla birlikte belediyeler, sorumluluk alanlarındaki tıbbi atık miktarını doğru biçimde belirlemek ve bu ihtiyacı karşılayacak ölçekte tesis kurmak zorundadır. Tesisin kurulamaması veya mevcut kapasitenin yetersiz kalması durumunda ise belediyeler, atıkları başka illerde bulunan lisanslı tıbbi atık imha tesislerine yönlendirmekle yükümlüdür. Ancak bu durumda Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü'nden uygun görüş almak gereklidir. Tıbbi atık imha tesisi bulunmayan illerde ise, en uygun tesisin belirlenmesi ve ilgili her iki çevre kurulundan onay alınması zorunludur (Bay, M., 2018). Bu uygulamalar, kapasite üstü atık üretimi, coğrafi engeller ve teknik aksaklıklar gibi olağanüstü durumlarda da geçerliliğini korumaktadır. Tıbbi atık imha süreci yalnızca yerel yönetimlerin değil, aynı zamanda merkezi otoritenin, özel sektörün ve toplumun iş birliğiyle yürütülmesi gereken, yüksek düzeyde koordinasyon ve denetim gerektiren bir süreçtir.

6. Tartışma ve Sonuç

Tıbbi atık imha süreci, günümüzün en kritik çevresel ve halk sağlığı sorunlarından biri olarak ön plana çıkmaktadır. Bu süreç, yalnızca rutin atık yönetimi uygulamalarını değil, aynı zamanda bulaşıcı hastalıkların kontrolü, çevre güvenliği ve toplum sağlığının korunması açısından da stratejik bir öneme sahiptir. Özellikle 2020 yılında ortaya çıkan COVID-19 pandemisi, tıbbi atıkların doğru biçimde muhafaza edilmesi, taşınması ve bertaraf edilmesinin küresel ölçekte ne kadar önemli olduğunu güçlü bir biçimde gözler önüne sermiştir. Pandemi döneminde maske, test çubuğu, eldiven, koruyucu kıyafet gibi tek kullanımlık tıbbi ürünlerin kullanımında yaşanan hızlı artış, atık yönetim sistemlerinin mevcut kapasitesini zorlamış ve sürecin ne kadar kırılgan bir yapıya sahip olduğunu ortaya koymuştur. Bu nedenle tıbbi atıkların yalnızca olağan

dönemlerde değil, kriz koşullarında da sürdürülebilir, güvenilir ve esnek mekanizmalarla yönetilmesi gerektiği anlaşılmıştır.

Türkiye’de tıbbi atık yönetimi, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı ve bu bakanlığa bağlı 81 il müdürlüğü tarafından denetlenmekte; imha süreçleri ise yerel yönetimlerin en temel unsuru olan belediyeler aracılığıyla yürütülmektedir. Belediyeler, bu alanda kanunlar, yönetmelikler ve tüzüklerle çerçevesi belirlenmiş görev ve sorumluluklara sahip olup, sürecin her aşamasında etkin rol oynamaktadır. Özellikle Tıbbi Atıkların Kontrolü Yönetmeliği, belediyelere yalnızca toplama ve bertaraf görevini değil, aynı zamanda planlama, lisanslama, gözetim, eğitim ve kamuoyu bilinçlendirmesi gibi tamamlayıcı sorumluluklar da yüklemektedir (Ay & Söylemez, 2023). Bu durum, tıbbi atık yönetimini sadece teknik bir faaliyet olmaktan çıkararak, kapsamlı bir yönetim ve planlama süreci haline getirmektedir.

COVID-19 pandemisi, dünyada olduğu gibi Türkiye’de de tıbbi atıkların kontrolünü kritik bir gündem haline getirmiştir. Pandemi döneminde sağlık kuruluşlarında üretilen tıbbi atık miktarında olağanüstü bir artış yaşanmış, özellikle maske ve test çubukları gibi tek kullanımlık ekipmanların imhası öncelikli bir ihtiyaç haline gelmiştir. Bu süreç, tıbbi atıkların yanlış veya yetersiz yönetilmesi halinde yalnızca çevresel kirlilik değil, aynı zamanda bulaşıcı hastalıkların yayılmasına da neden olabileceğini göstermiştir. Dolayısıyla tıbbi atık yönetimi, pandemiler gibi küresel krizler bağlamında halk sağlığı güvenliğinin ayrılmaz bir parçası olarak değerlendirilmelidir.

Türkiye’de tıbbi atık imhasının sorumluluğu belediyelere verilmiş olup, bu kurumlar sürecin her aşamasında görev üstlenmektedir. Belediyeler, tıbbi atıkların toplanması, taşınması, geçici depolanması ve nihai bertarafı aşamalarında yükümlülük sahibidir. Bunun yanı sıra, belediyeler atık yönetim sürecine ilişkin günlük, aylık ve yıllık raporlama yapmak zorunda olup, sistemin şeffaflığını ve denetlenebilirliğini sağlamaktadır. Ancak yapılan literatür taramaları, belediyelerin özellikle planlama aşamasında önemli zorluklarla karşılaştıklarını göstermektedir.

Coğrafi koşullar, iklim farklılıkları ve mevsimsel hastalık artışları, sürecin en kritik sorun alanlarını oluşturmaktadır. Örneğin, Akdeniz Bölgesi’nde yaz aylarında artan sıcaklıklar, tıbbi atıkların çok daha kısa sürede bertaraf edilmesini zorunlu hale getirmekte; kapasite üstü atık üretimi durumunda sistem tıkanıklık yaşamaktadır. Nisan, Mayıs ve haziran aylarında artış gösteren mevsimsel gribal enfeksiyonlar da ani atık artışlarına yol açmakta, bu durum belediyeler için ciddi lojistik ve depolama sorunları doğurmaktadır (Demirarslan & Başak, 2018).

Benzer şekilde, Doğu Anadolu Bölgesi'nde küçük ölçekli belediyelerin atık imha tesisi kurma kapasitesine sahip olmamaları nedeniyle, büyükşehir belediyelerinden hizmet aldıkları görülmektedir (Kızılkın & Kaymaz, 2022). Bu model, olağan dönemlerde işlevsel görünse de pandemi gibi olağanüstü koşullarda büyükşehir belediyelerinin kapasitesinin aşılmasıyla birlikte sistemsel aksaklıklara neden olmaktadır. Örneğin, normal şartlarda bir büyükşehir belediyesi çevresindeki yaklaşık on ile hizmet sunabilirken, olağanüstü durumlarda bu kapasitenin yeterli olmadığı ve aksamalara yol açtığı görülmektedir (Kulu Bay & Gökçe, 2020).

Elde edilen bulgular tıbbi atık imha sürecinde en kritik unsurlardan birinin planlama olduğunu ortaya koymaktadır. Belediyelerin, yalnızca mevcut nüfus ve atık üretim kapasitesini değil, aynı zamanda olası kriz senaryolarını, mevsimsel hastalık artışlarını ve bölgesel farklılıkları da dikkate alarak dinamik planlama stratejileri geliştirmeleri gerekmektedir. Özellikle ikame tesislerin belirlenmesi sürecinde yalnızca coğrafi yakınlık değil, aynı zamanda kapasite yeterliliği, teknik donanım düzeyi ve lojistik sürdürülebilirlik de göz önünde bulundurulmalıdır. Aksi takdirde, aynı coğrafi bölgede yer alan illerin aynı dönemde benzer sorunlarla karşılaşması zincirleme bir reaksiyona yol açarak biyolojik risk boyutunu artırabilmektedir. Bu doğrultuda aşağıdaki hususlarda alınacak aksiyonlar bölgesel anlamda başarı ulaşmakla birlikte ulusal anlamda yeknesaklığa katkı sağlayacaktır.

Bölgesel Kapasite Planlaması

- Belediyeler, tıbbi atık imha süreçlerinde yalnızca mevcut nüfus ve günlük atık üretim miktarını değil, aynı zamanda mevsimsel hastalık artışlarını ve olağanüstü durum senaryolarını dikkate alarak planlama yapmalıdır.
- Kapasite yetersizliklerinin önüne geçebilmek için iller bazında değil, bölgesel ölçekte planlama yapılması önerilmektedir.

İkame Tesis Seçiminde Çok Kriterli Yaklaşım

- Tıbbi atık imhasında ikame tesis seçimleri yapılırken sadece coğrafi yakınlık değil; tesisin kapasite uygunluğu, lojistik erişilebilirliği, teknik donanımı ve sürdürülebilirliği de dikkate alınmalıdır.
- Aynı coğrafi bölgede bulunan illerin aynı dönemlerde benzer sorunlarla karşılaşmaları zincirleme riskler doğurabileceğinden, bölgesel kapasite çeşitliliği sağlanmalıdır.

Kriz Senaryolarına Hazırlık

- Pandemi ve benzeri olağanüstü durumlarda ortaya çıkabilecek atık artışları için belediyelerin acil durum eylem planları geliştirmesi zorunlu hale getirilmelidir.
- Bu planlar, kısa süreli kapasite artışlarını karşılayacak mobil sterilizasyon üniteleri veya geçici depolama alanları kurulmasını içermelidir.

Belediyeler Arası İşbirliği ve Entegre Yönetim

- Özellikle küçük ölçekli belediyelerin tıbbi atık yönetiminde yaşadığı yetersizliklerin giderilmesi amacıyla bölgesel belediye birlikleri oluşturulmalıdır.
- Bu birlikler aracılığıyla maliyetlerin düşürülmesi, teknik kapasitenin artırılması ve koordinasyonun güçlendirilmesi mümkündür.

İnsan Kaynağı ve Eğitim

- Tıbbi atık imhasında görevli personelin düzenli sağlık kontrolleri yapılmalı ve uygun kişisel koruyucu ekipman kullanımı zorunlu hale getirilmelidir.
- Ayrıca personel için düzenli hizmet içi eğitim programları uygulanarak hem teknik yeterlilikleri hem de farkındalıkları artırılmalıdır.

Toplumun Bilinçlendirilmesi

- Belediyeler, yalnızca teknik süreçlerle değil, aynı zamanda toplumsal bilinçlendirme faaliyetleri ile de sorumlu olmalıdır.
- Bu kapsamda vatandaşlara yönelik seminerler, broşürler ve dijital medya kampanyaları aracılığıyla tıbbi atıkların ayrı toplanması ve yönetimi konularında farkındalık artırılmalıdır.

Merkezi Yönetim Desteği

- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından belediyelere finansal ve teknik destek mekanizmaları sağlanmalı, özellikle kapasite sorunu yaşayan küçük belediyelerin altyapı geliştirmeleri desteklenmelidir.
- Ayrıca merkezi yönetim, bölgesel farklılıkları dikkate alarak rehberler ve standartlar yayımlamalıdır.

Özel Sektör Katılımı

- Belediyeler, gerekli şartlar sağlandığında atık imha sürecinde özel sektör hizmetlerinden faydalanabilmelidir. Ancak bu süreçte

firmaların yönetmeliklere uyumu, belediyeler tarafından sıkı şekilde denetlenmelidir.

- Kamu–özel iş birliği modelleri, özellikle yüksek maliyetli yatırımların finansmanında önemli bir seçenek olarak değerlendirilmelidir.

Teknolojik Yatırımlar

- Tıbbi atık imha tesislerinde kullanılan ekipmanların düzenli bakımının yanı sıra, yeni teknolojilerin (örneğin plazma teknolojisi, otoklav sistemleri) kullanımı teşvik edilmelidir.
- Bu sayede hem sterilizasyon etkinliği artırılacak hem de çevresel zararlar minimuma indirilecektir.

Uluslararası İş birliği ve Bilgi Paylaşımı

- Dünya Sağlık Örgütü (WHO), Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP) ve diğer uluslararası kuruluşların hazırladığı standartlar ve raporlar dikkate alınarak, Türkiye'nin tıbbi atık yönetimi küresel iyi uygulamalarla uyumlu hale getirilmelidir.
- Belediyeler ve bakanlık düzeyinde yürütülecek uluslararası iş birlikleri ile hem teknik kapasite artırılabilir hem de sürdürülebilir modeller geliştirilebilir.

Tıbbi atık yönetiminin başarısı yalnızca teknik altyapıya değil, aynı zamanda insan kaynağına da bağlıdır. Belediyeler bünyesinde çalışan personelin düzenli sağlık kontrollerinin yapılması, kişisel koruyucu ekipman kullanımının sağlanması ve atık yönetimi konularında eğitim almaları, sürecin güvenliği açısından zorunludur. Ayrıca belediyelerin yalnızca kendi personelini değil, sorumluluk alanlarındaki toplumu da bilinçlendirmesi gerekmektedir. Bu durum hem bireysel düzeyde farkındalık oluşturmakta hem de atık yönetim sistemine toplumsal katkıyı artırmaktadır.

Bu araştırma, Türkiye'de tıbbi atık yönetiminde belediyelerin merkezi rolünü vurgulamakla birlikte, mevcut sistemin bazı yönlerden geliştirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Öncelikle, kapasite yönetimi ve planlama süreçlerinin, olası krizler ve ani atık artışları da hesaba katılarak daha esnek ve öngörülü bir yapıya kavuşturulması gereklidir. Ayrıca, ikame tesis seçimlerinde tek kriterin coğrafi yakınlık olmaktan çıkarılarak, bölgesel kapasite dengeleri dikkate alınmalıdır.

Pandemi süreci, mevcut sistemin güçlü ve zayıf yönlerini gözler önüne sermiştir. Bir yandan, Türkiye'de yasal çerçevenin varlığı ve belediyelerin kurumsal sorumluluklarının net olarak tanımlanmış olması önemli bir avantajdır. Diğer yandan, coğrafi ve iklimsel koşulların yarattığı farklılıklar, kapasite

yetersizlikleri ve insan kaynağına ilişkin sınırlılıklar sistemin kırılganlığını artırmaktadır.

Sonuç olarak, tıbbi atık imha süreci yalnızca teknik bir atık yönetimi konusu değil, aynı zamanda halk sağlığının korunması, çevresel sürdürülebilirlik ve kriz yönetimi açısından stratejik bir alan olarak görülmelidir. Türkiye'nin mevcut düzenlemeleri, sürecin yasal çerçevesini sağlamış olmakla birlikte, planlama, kapasite yönetimi ve bölgesel farklılıkların dikkate alınması konularında geliştirmelere ihtiyaç duyulmaktadır.

Gelecekte benzer krizlerin yaşanma olasılığı göz önünde bulundurulduğunda, belediyelerin bölgesel sağlık verilerini, nüfus yoğunluğunu ve mevsimsel hastalık döngülerini dikkate alarak dinamik atık yönetim stratejileri geliştirmeleri kritik bir gereklilik olarak ortaya çıkmaktadır. Ayrıca, belediyeler arası iş birliğinin artırılması, merkezi yönetimin kapasite desteği ve özel sektör katkısının daha etkin hale getirilmesi, sistemin sürdürülebilirliğini güçlendirecektir.

Son tahlilde, tıbbi atık yönetiminin etkinliği, yalnızca belediyelerin değil; merkezi yönetimin, özel sektörün ve toplumun ortak çabasıyla sağlanabilecektir. Pandemi süreci, bu alanda esnek, kapasite odaklı ve krizlere dayanıklı bir yönetim modeline duyulan ihtiyacı açıkça ortaya koymuştur. Bu nedenle, tıbbi atık yönetiminde yapılacak her türlü iyileştirme, yalnızca çevre sağlığına değil, aynı zamanda toplumun genel refahına doğrudan katkı sağlayacaktır.

KAYNAKÇA

- Ay, H. M., Söylemez, A. (2023). Belediye Hizmetleri İçinde Katı Atık Yönetiminin Önemi ve Konya Büyükşehir Belediyesi Örneği. *Toplum, Ekonomi ve Yönetim Dergisi* 4(özel), 273 – 292. <https://doi.org/10.58702/teyd.1357353>
- Aydoğdu, İ. B. (2014). Yerel ve Bölgesel Düzeyde Çevre Kirliliği Sorunları: Elâzığ İli Örneği. *Fırat Üniversitesi Harput Araştırmaları Dergisi* 1(1), 133-148.
- Bay, M. (2018). Belediyelerde Atık Yönetimi ve Politikaları: Karaman Örneği. *Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi* 11(61).
- Çakır, E., Sarıhan N. Ö. (2023). Yerel Yönetimlerde Katı Atık Yönetimi ve Gelişimi: Genel Çerçeve ile Türkiye'ye Bakış. *Tarih Okulu Dergisi (TOD)*, 16(66), 2127-2152. <http://dx.doi.org/10.29228/Joh.67890>
- Çiğdem, E. (2020). Çevre Politikalarının Uygulanmasında Yerel Yönetimlerin Rolü. *Enderun Dergisi*, 4(2), 76-90.
- Çoban, A., & Kılıç, S. (2009). Türkiye’de Yerel Yönetimlerin Çevreye Yönelik Politikaları: Konya Selçuklu Belediyesi SELKAP Örneği. *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi* (22), 117-130.
- Demirarslan, K. O., & Başak, S. (2018). Doğu Karadeniz Bölgesi İlleri Katı Atık Yönetimi. *Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi*, 1(3), 117-132.
- Eryılmaz H., Demirarslan K. O. (2020). 2012-2018 Yılları Tıbbi Atıklarının Nüfus ile İlişkilendirilmesi ve Mevcut Bertaraf Yöntemlerinin İncelenmesi, *Adıyaman Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 7(13) 89-103.
- Güneş, M., & Tek, M. (2016). Yerel Çevre Politikaları ve Çevre Hakkı: Hatay İl Mahalli Çevre Kurulu Kararları Üzerine Bir Değerlendirme. *International Journal of Academic Values Studies* 2(3), 104-115.
- Kışınbay, S. (2020). Katı Atıkların Toplanması Yerel Yönetimlerin ve Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Rolü. *Yapı Bilgi Modelleme*, 2(2), 40-48.
- Kızılboğa, R., & Batal, S. (2013). Türkiye’de Çevre Sorunlarının Çözümünde Yerel Yönetimlerin Rolü ve Önemi. *Mustafa Kemal Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 9(20), 191-212.
- Kızılkan, Y. & Kaymaz, Ç. K. (2022). Sürdürülebilir Katı Atık Yönetimi Bakımından Erzurum Şehri. *Dünya Coğrafyası ve Kalkınma Perspektifi Dergisi (JWGDP)*, 1(1), 20-29.
- Kulu Bay, S., & Gökçe, A. F. (2020). Çevre Yönetimi Uygulamalarının Çevre Politikaları Doğrultusunda İncelenmesi: Adana Büyükşehir Belediyesi Örneği. *Kamu Yönetimi ve Politikaları Dergisi*, 1(1), 28-48.
- Küçük, A. (2013). Tıbbi Atık Yönetiminin Ekonomisi. *Sayıştay Dergisi*, (90), 73-95.

- Öztaş, C., & Zengin, E. (2011). Yerel Yönetimler ve Çevre. *Sosyal Siyaset Konferansları Dergisi* (54), 181-200.
- Zengin, E., & Esedov, A. (2011). Çevre Sorunlarının Yerel Özellikleri ve Üsküdar Örneği. *Sosyal Siyaset Konferansları Dergisi* (59), 149-178.
- Zülfikar, H., & Beken, N. (2014). Belediyeler ve Çevre Hizmetleri Üzerine Analitik Bir Bakış: Türkiye Örneği. *Sosyal Siyaset Konferansları Dergisi* (66-67), 75-100.

İnternet Araştırma Adresleri

- Çevre ve Orman Bakanlığı (2017). Tıbbi Atıkların Kontrolü Yönetmeliği. Erişim: 3 Aralık 2024. <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2017/01/20170125-2.htm>
- Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı (t.y.). *Atık Düzenli Depolama Tesis Sayısı-Belediye Sayısı-Hizmet Verilen Nüfus*. <https://cevreselgostergeler.csb.gov.tr/atik-duzenli-depolama-tesis-sayisi-belediye-sayisi-hizmet-verilen-nufus-i-85750>
- Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı (t.y.). *Tıbbi Atık*. <https://cevreselgostergeler.csb.gov.tr/tibbi-atiklar-i-85754>
- Erzurum Gazetesi, (2011). *Erzurum Tıbbi Atık Merkezi*. <http://www.erzurumgazetesi.com.tr/haber/Erzurum-tibbi-atik-merkezi/57990>.
- Kemirtlek A. (t.y.). Entegre Katı Atık Yönetimi. Erişim: 3 Aralık 2024. https://www.istac.istanbul/assets/cevre_makaleleri/entegre-kati-atik-yonetimi.pdf
- Mersin Büyükşehir Belediyesi, Tıbbi Atık Yönetim Planı Erişim: 3 Aralık 2024 <https://www.mersin.bel.tr/duyuru/mersin-buyuksehir-belediyesi-tibbi-atik-yonetim-planı-1713441420>
- T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı 2022 Yılı Tıbbi Atık Bülteni, (2022). Erişim: 3 Aralık 2024. <https://webdosya.csb.gov.tr/db/ced/icerikler/bulten-1-20240425162257.pdf>



BÖLÜM 2

Kapsayıcı Ulaşım İçin Paratransit: İzmir Bağlamında Optimizasyon Tabanlı Bir Yaklaşım

*Zeynep Nur Köstepen¹ & Uğur Eliyi² & Deniz Türsel Eliyi³
& Sıla Uzun⁴ & İsmail Özen⁵*

1. Giriş

Günümüz kentlerinde hızla artan nüfus ve yoğunlaşan ulaşım ihtiyaçları şehir içi ulaşım sistemlerinin daha kapsayıcı, erişilebilir ve sürdürülebilir hale getirilmesini zorunlu kılmaktadır. Özellikle engelli bireylerin kentsel yaşamın tüm alanlarına eşit biçimde katılımı yalnızca fiziksel bir erişim meselesi olmamakla birlikte, toplumsal eşitlik, bağımsızlık ve yaşam kalitesiyle doğrudan ilişkili bir gerekliliği ifade etmektedir. Eğitim, sağlık, istihdam ya da sosyal etkinliklere ulaşımında yaşanan zorluklar, engelli bireylerin kent yaşamına tam katılımını sınırlamaktadır (Koç & Çolak, 2024). Bu nedenle şehirlerin ulaşım altyapılarının herkesin ihtiyaçlarını dikkate alacak şekilde tasarlanması, şehircilik anlayışının temel ilkeleri arasında yer almaktadır.

Toplu taşımayla bireysel taşıma arasında konumlanan paratransit sistemler bu bağlamda talep esaslı ve esnek yapılarıyla kullanıcı odaklı çözümler sunmaktadır. Paratransit sistemler özellikle engelli, yaşlı veya hareket kısıtlı bireylerin standart toplu taşıma araçlarını kullanmakta yaşadığı güçlükleri telafi ederek kişiselleştirilmiş bir ulaşım deneyimi üretmektedir (Zhang vd., 2021; Egger vd., 2022). Randevu, çağrı merkezi ya da mobil uygulama üzerinden alınan taleplerin uygun araçlarla eşleştirilmesi, kapıdan kapıya hizmet ve fiziksel erişim kolaylığı sağlayarak kullanıcıların hareket kabiliyetini ve bağımsız yaşam becerilerini güçlendirmekte, bu suretle toplumsal yaşama aktif katılım düzeyini artırmaktadır (Erten & Aktel, 2020). Paratransit sistemler bu yönüyle yalnızca operasyonel bir

¹ Arş. Gör., İzmir Bakırçay Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Orcid: 0000-0001-5773-2411

² Doç. Dr., İzmir Bakırçay Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İşletme Bölümü, 0000-0002-5584-891X

³ Prof. Dr., İzmir Bakırçay Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 0000-0001-7693-3980

⁴ İzmir Bakırçay Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 0009-0001-8392-8837

⁵ İzmir Bakırçay Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 0009-0005-8914-4549

ulaşım bileşeni değil, aynı zamanda kapsayıcı kent politikalarının somut bir uygulama aracı olarak değerlendirilmektedir.

Türkiye'nin üçüncü büyük kenti olan İzmir geniş nüfus yapısı ve çok modlu ulaşım ağıyla erişilebilir ulaşım politikalarının planlanması ve uygulanması bakımından dikkate değer bir örnek teşkil etmektedir. ESHOT ve İzmir Büyükşehir Belediyesi tarafından yürütölen uygulamalar ile alçak tabanlı ve rampalı araçların filoya kazandırılması, sesli ve görsel bilgilendirme sistemlerinin yaygınlaştırılması ve istasyon/iskele altyapılarındaki iyileştirmeler, kentin erişilebilirlik standartlarını belirgin biçimde yükseltmiştir. Bununla birlikte demografik çeşitlilik, coğrafi özellikler ve artan talep, mevcut hizmetlerin performansını dönemsel olarak sınırlandırmakta, zaman penceresi ve kapasite çakışmaları gibi operasyonel güçlükler nedeniyle sistemin sürekli yenilenmesini ve kullanıcı ihtiyaçlarına duyarlı biçimde geliştirilmesini gerekli kılmaktadır (İzmir Büyükşehir Belediyesi, 2019; Mwaka vd., 2024).

Bu çerçevede İzmir merkezinde engelli yolcuların ulaşım taleplerine özel bir paratransit sisteminin tasarlanması, teknik ve sosyal boyutları bir arada gözetin bütöncöl bir yaklaşımı zorunlu kılmaktadır. Tasarım sürecinde araç sayısı ve güzergâh belirleme gibi operasyonel kararların yanı sıra kullanıcı profilleri, talep yoğunluğu, seyahat süreleri, transfer noktaları ve hizmet kapasitesi gibi unsurların eş anlı ve veri temelli biçimde değerlendirilmesi gerekmektedir. Güncel ulaşım planlamasında coğrafi bilgi sistemleri, talep tahmin algoritmaları, optimizasyon modelleri ve çok ölçötlü karar verme yaklaşımlarının yaygınlaşması, kaynak tahsisini ve güzergâh dengesini iyileştirirken, hizmet kalitesi ve erişilebilirliğin birlikte artırılmasını mümkün kılmaktadır. Bu bağlamda deterministik çerçeveden dinamik, transferli ve veri güdümlü yapılara evrilen optimizasyon temelli modelleme geleneği, paratransit planlamasında stratejik bir araç olarak önem kazanmaktadır (Cordeau & Laporte, 2007; Molenbruch vd., 2017; Tiwari vd., 2024).

Bu çalışma ESHOT tarafından sağlanan gerçek yolcu seyahat verileri kullanarak İzmir kent merkezinde engelli yolculara yönelik kapsayıcı bir paratransit sistem tasarımını ortaya koymaktadır. Çalışmanın katkıları üç eksende toplanmaktadır: (i) statik ve dinamik taleplerin birlikte ele alındığı, transfer düğümlerinin ve çok amaçlı hizmet kalitesi cezalarının (seyahat süresi, bekleme, zaman sapması, servis dışı kalma vb.) entegre edildiği zenginleştirilmiş bir Dial-a-Ride Problemi (DARP) ve Karma Tam Sayılı Doğrusal Programlama içeren (MILP) bir DARP–MILP formölasyonu, (ii) hesaplama verimliliği ve ölçeklenebilirlik için Uyarlanabilir Büyük Komşuluk Araması (ALNS) ile yerel iyileştirme içeren hibrit bir sezgisel (ALNS–2Opt) yaklaşımı, (iii) Karşıyaka,

Bayraklı ve Çiğli bölgeleri özelinde senaryo temelli performans değerlendirmesiyle karar vericilere uygulanabilir, ölçülebilir göstergeler sunulmasıdır. Çalışmanın hedefi rota maliyeti ve araç içi süreleri azaltırken, servis dışı talep oranını düşürmek ve transfer gereksinimini dengeli bir seviyede tutarak erişilebilirliği artırmaktır.

Çalışma akışı veri toplama ve ön işleme, zaman bağımlı talep dinamiklerinin Poisson dağılımı ile modellenmesi, MILP tabanlı optimizasyon, ALNS-2Opt ile çözüm hızlandırma ve bölgesel senaryolar üzerinde gösterge odaklı değerlendirme aşamalarından oluşmaktadır. Sonuçlar kapsayıcı ulaşım hedefleriyle uyumlu biçimde, maliyet–zaman–erişilebilirlik dengesini güçlendiren ölçülebilir iyileşmeler sunmakta ve İzmir bağlamında veri temelli, uyarlanabilir ve sosyal sürdürülebilirliği önceleyen bir paratransit planlama çerçevesi önermektedir (Collins vd., 2025).

2. Kapsayıcı Ulaşım ve Paratransit: Kuramsal Çerçeve ve İzmir Bağlamı

Kentsel hareketliliğin eşitlik ve erişilebilirlik ilkeleriyle yeniden tanımlandığı güncel planlama bağlamında, kapsayıcı ulaşım yaklaşımı normatif ve operasyonel bir referans çerçevesi sunmaktadır. Bu bölümde kapsayıcı ve erişilebilir ulaşım kavramlarının temel ilkeleri ile engelli bireylerin karşılaştığı çok boyutlu güçlükleri sistematik olarak ortaya konmakta, devamında ise İzmir’in çok modlu ulaşım yapısı ve mevcut erişilebilirlik uygulamaları bağlamında paratransitin talep esaslı ve esnek yapısı üzerinden kapsayıcı hareketlilik hedefleriyle kurduğu ilişki tartışılmaktadır. Böylelikle sonraki bölümlerde geliştirilen veri temelli modelleme ve optimizasyon çerçevesinin kavramsal temeli oluşturulmaktadır.

2.1. Kapsayıcı ve Erişilebilir Ulaşımın Temelleri

Kapsayıcı ulaşım engelli bireyler, yaşlılar, kadınlar ve çocuklar dâhil toplumun tüm kesimlerinin kent içi hareketlilik olanaklarından eşit biçimde yararlanmasını amaçlayan bütüncül bir yaklaşımı ifade etmektedir. Bu yaklaşım erişilebilirliği yalnızca fiziksel engellerin kaldırılmasıyla sınırlamamakta, sosyal katılım ve fırsat eşitliğini güvence altına alan politik, ekonomik ve kurumsal koşulları da kapsamaktadır. Modern kent planlamasında hız, maliyet ve kapasite gibi teknik ölçütlerin yanı sıra kapsayıcılık ve eşitlik göstergelerinin sistematik biçimde gözetilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada erişilebilirlik ağırlıklı fiziksel ve işlevsel bariyerlerin azaltılmasına odaklanırken, kapsayıcılık engelli bireylerin eşit katılımını mümkün kılan kurumsal, politik ve ekonomik düzenlemelerin bütününe ifade etmektedir (Tabanlı & Sunay, 2023; Johnson vd., 2025; Duymuş vd., 2025).

Engelli bireylerin kent içi yolculuklarında karşılaşılan güçlükler fiziksel ve hizmet odaklı boyutlarda eşzamanlı olarak ortaya çıkmaktadır. Uygun rampaların yetersizliği, asansör sistemlerinin eksikliği ve kaldırım geometrisine ilişkin sorunlar gibi fiziksel engeller günlük hareketliliği kısıtlarken, araç ve istasyon tasarımlarında erişilebilirlik standartlarına uyumsuzluk bağımsız hareket kabiliyetini sınırlandırmaktadır (Almoshaogeh vd., 2025).

Hizmet boyutunda sürücü ve saha personelinin engelli farkındalığına ilişkin eğitim düzeyi, sesli-görsel bilgilendirme sistemlerinin kapsamı ve dijital bildirimlerin erişilebilirliği, güvenli ve öngörülebilir seyahat deneyimini doğrudan etkilemekte ve bu durum toplu taşımaya yönelik güven ve tercihleri azaltabilmektedir (Park & Chowdhury, 2018). Bu çerçevede kapsayıcı ulaşımın sağlanması fiziksel erişimin ötesine geçen, kullanıcı deneyimini ve fırsat eşitliğini merkeze alan, normatif ve operasyonel bir politika setini gerektirmektedir (Johnson vd., 2025; Duymuş vd., 2025). Dolayısıyla kapsayıcı ulaşımın sağlanması fiziksel/altyapısal erişim iyileştirmeleri ile hizmet tasarımında kullanıcı deneyimini önceleyen normatif politika setlerinin birlikte ve eşzamanlı işletilmesini gerektirmektedir (Almoshaogeh vd., 2025; Park & Chowdhury, 2018).

2.2. Paratransit Sistemleri: Kavramsal Özellikler ve Kapsayıcılıktaki Rolü

Toplu taşıma ile bireysel taşımacılık arasında konumlanan paratransit sistemler, talep esaslı, esnek güzergâhlı ve kullanıcı odaklı yapılarıyla kapsayıcı ulaşım hedeflerine yönelik işlevsel bir çözüm sunmaktadır (Dumedah vd., 2023). Küçük kapasiteli ve özel donanımlı araçlarla kapıdan kapıya hizmet üretimi fiziksel erişimi kolaylaştırırken, randevu, çağrı merkezi veya mobil uygulama tabanlı taleplerin uygun araçlarla eşleştirilmesi bekleme ve yolculuk sürelerinin azaltılmasına olanak tanımaktadır (Egger vd., 2022). Bu sayede paratransit engelli bireylerin hareket kabiliyetini ve bağımsız yaşam becerilerini güçlendirmekte, toplumsal katılım düzeyini artırmakta ve yoğun toplu taşıma hatlarında tamamlayıcı bir servis işlevi görerek mevcut ağın yükünü hafifletmektedir (Nichols vd., 2025; Dawda vd., 2021). Paratransit erişimi güç bölgelerde ‘son kilometre’ işlevi görerek çok modlu ağın bütünleşik erişilebilirliğini artırmaktadır. Böylelikle toplu taşımayla bireysel taşımacılık arasındaki yapısal boşluğu kapatan esnek bir arayüz sunmaktadır. (Dumedah vd., 2023; Cordeau & Laporte, 2007; Molenbruch vd., 2017; Tiwari vd., 2024).

Paratransitin kapsayıcılıktaki rolü etkin erişim ve eşitlik hedefleriyle kurduğu doğrudan bağ üzerinden değerlendirildiğinde, ölçülebilir hizmet kalite

göstergeleri ile somutlaşmaktadır. Ortalama bekleme süresi, servis dışı kalma oranı, transfer sayısı ve araç içi seyahat süresi gibi metrikler, hizmetin performansını ve kullanıcı refahını eşzamanlı olarak izlemenin araçlarıdır (Johnson vd., 2025; Nichols vd., 2025). Bu göstergelerin kurumsal izleme sistemlerine entegrasyonu hizmet kalitesinin kanıta dayalı biçimde yönetilmesini ve kapsayıcılık hedefleriyle süreklilik arz eden bir hızalanmanın sağlanmasını mümkün kılmaktadır.

Literatürde DARP temelli modelleme geleneğinin deterministik yapılardan dinamik, transferli ve veri güdümlü çerçevelere evrildiği, bu evrimin paratransit sistemlerinde hem operasyonel verimlilik hem de sosyal kapsayıcılık boyutlarını güçlendirdiği gösterilmiştir (Cordeau & Laporte, 2007; Molenbruch vd., 2017; Tiwari vd., 2024). Bu bağlamda paratransit, erişimi güç olan bölgelerde arayüz görevi üstlenen, toplu taşımayla entegrasyonu mümkün kılan ve kapsayıcı kent politikalarını operasyonel düzeyde somutlaştıran stratejik bir bileşen olarak konumlanmaktadır. Böylelikle paratransit sürdürülebilir ve adil kentsel mobilité vizyonuna, veri temelli ve kullanıcı merkezli bir çerçeve üzerinden kurumsal bir katkı sunmaktadır (Dumedah vd., 2023; Nichols vd., 2025).

Sonuç olarak paratransit sistemleri yalnızca bir taşıma hizmeti sunmakla sınırlı kalmayıp, sosyal katılımı, bağımsız yaşamı ve kentsel ölçekte eşit fırsatlara erişimi güçlendiren kurumsal bir araç işlevi görmektedir. Bu niteliğiyle engelli bireylerin toplumsal yaşama etkin katılımı kolaylaştırılmakta ve sürdürülebilir şehircilik hedeflerine doğrudan katkı sağlanmaktadır. Kapsayıcı ulaşım yaklaşımıyla birlikte ele alındığında paratransit, modern kentlerin erişilebilirlik vizyonunun başat bileşenlerinden biri olarak konumlanmaktadır.

2.3. İzmir'in Ulaşım Yapısı ve Erişilebilirlik Durumu

İzmir nüfus büyüklüğü, ekonomik çeşitliliği ve çok modlu ulaşım altyapısıyla Türkiye'nin öncü metropollerinden biri olup, erişilebilir ve kapsayıcı ulaşım politikalarının planlanması açısından güçlü bir bağlam sunmaktadır. Deniz, kara ve raylı sistemlerin bütünleşik yapısı, alçak tabanlı ve rampalı otobüs filosu, sesli-görsel bilgilendirme sistemleri ve istasyon/iskele altyapısındaki iyileştirmelerle desteklenmiş, böylelikle kentin erişilebilirlik standartları kurumsal bir düzeyde yükseltilmiştir (İzmir Büyükşehir Belediyesi, 2019). Bununla birlikte kentsel mekânın topografik farklılıkları, yerleşim dokusunun heterojenliği ve talep piklerinin yarattığı zaman penceresi/kapasite çakışmaları, engelli yolcuların günlük hareketliliğinde süreklilik arz eden kısıtlar doğurmaktadır (Mwaka vd., 2024). Bu durum erişilebilirlik kazanımlarının korunması ve yaygınlaştırılması

için talebe duyarlı, veri temelli ve uyarlanabilir çözümlerin gerekliliğine işaret etmektedir.

Erişilebilirlik uygulamalarının kapsamı ve yoğunluğu ilçeler düzeyinde farklılaşmakta, özellikle yüksek eğimli alanlar, dar sokak yapıları ve kaldırım/bağlantı süreksizlikleri bağımsız hareket kabiliyetini sınırlayan fiziksel bariyerler üretmektedir (Almoshaogeh vd., 2025). Hizmet boyutunda ise sürücü/saha personeli farkındalığı, sesli-görsel bilgilendirme sistemlerinin erişilebilirliği ve dijital bildirimlerin kapsayıcılığı, güvenli ve öngörülebilir seyahat deneyimi için belirleyici olmaya devam etmektedir (Park & Chowdhury, 2018). Bu bağlamda İzmir’de engelli yolculuğunun güçlendirilmesi yalnızca altyapısal düzenlemelerin sürdürülmesiyle değil, aynı zamanda hizmet tasarımının talep dinamiklerine duyarlı olarak yeniden çerçevelenmesiyle mümkündür.

Paratransit bu ihtiyaca yanıt veren tamamlayıcı bir mod olarak, toplu taşımayla bireysel taşımacılık arasında esnek bir arayüz sunmaktadır. Kapıdan kapıya hizmet, talep-esaslı yönlendirme ve özel donanımlı araç kullanımı, özellikle pik talep saatlerinde bekleme sürelerinin ve servis dışı kalma oranlarının azaltılmasına imkân tanıyabilmektedir (Egger vd., 2022; Dawda vd., 2021; Nichols vd., 2025). İzmir bağlamında ESHOT ve İzmir Büyükşehir Belediyesi’nin kurumsal kapasitesiyle uyumlu biçimde, paratransitin veri temelli planlanması ve ağla bütünleşik işletilmesi, bölgesel erişilebilirlik eşitsizliklerinin giderilmesi, yoğun hatlarda yükün dengelenmesi ve engelli yolculuğunda bağımsızlığın güçlendirilmesi açısından stratejik bir potansiyel taşımaktadır (İzmir Büyükşehir Belediyesi, 2019; Dumedah vd., 2023).

Bu çerçevede kapsayıcı ulaşım hedefleri doğrultusunda mekânsal-zamansal talep desenlerinin izlenmesi, transfer noktalarının rasyonel konumlandırılması ve performans göstergelerinin (ortalama bekleme süresi, araç içi seyahat süresi, transfer sayısı, servis dışı kalma oranı) kurumsal izleme sistemlerine entegre edilmesi, İzmir’de erişilebilirlik vizyonunun sürdürülebilir biçimde güçlendirilmesi için kritik önemdedir.

3. DARP Tabanlı Paratransit Sistem Tasarımı: Yöntem ve Model

3.1. Literatür Taraması

Talebe dayalı ulaşım ve paratransit literatürü, esneklik ve erişilebilirlik hedeflerini birlikte gerçekleştirme potansiyeli nedeniyle uzun bir döneme yayılan zengin birikime sahiptir. DARP bu birikimin merkezinde yer almakta ve zaman pencereleri ile kapasite kısıtları altında rota maliyeti, bekleme süreleri ve hizmet

kalitesi arasında denge kuran yapısıyla paratransit operasyonlarına doğal bir modelleme çerçevesi sunmaktadır (Cordeau & Laporte, 2007; Cordeau, 2006; Dial, 1995; Fu & Tepley, 1999; Feuerstein & Stougie, 2001). Erken dönemden itibaren farklı çözüm stratejileri geliştirilmiş, değişen problem varyantlarına göre deterministik, stokastik, çevrim içi/çevrim dışı ve transferli yapıların ele alındığı çalışmalar ortaya konmuştur (Gupta vd., 2010; Masson vd., 2014; Deleplanque & Quilliot, 2013; Pierotti & van Essen, 2021).

Çözüm yöntemleri açısından bakıldığında klasik kesin yöntemlerden (örn. branch-and-cut) başlayarak (Cordeau, 2006) meta-sezgiseller ve karma yaklaşımlara doğru bir evrim izlenmektedir. Değişken komşuluk araması (VNS) ve türevleri rota maliyetini düşürmede ve çözüm kalitesini artırmada etkili sonuçlar vermiştir (Parragh vd., 2010). İki aşamalı/dinamik hızlı algoritmalar ölçek ve yanıt süresi gereksinimleri için geliştirilmiştir (Carotenuto & Martis, 2017). Büyük ölçekli senaryolar için dağıtık VNS gibi yaklaşımlar hesaplama verimliliğini artırmıştır (Muelas vd., 2015). ALNS ve bekleme/sürüş süresi odaklı varyantlar, çok amaçlı hedeflerin dengelenmesinde öne çıkmıştır (Pfeiffer & Schulz, 2022). Transfer/senkronizasyon içeren ulaşım hub tabanlı merkezi yapılar da incelenmiş, transfer noktalarının konumlandırılması ve zaman uyumu ile hizmet kalitesi-maliyet dengesi arasında yeni tasarım uzayları tanımlanmıştır (Hammouda vd., 2022; Pierotti & van Essen, 2021; Masson vd., 2014; Deleplanque & Quilliot, 2013). Paratransit ile toplu taşımanın bütünleştirildiği hibrit yapılar ve çok modlu senaryolar yakın dönemde yöntemsel çeşitliliği artırmıştır (Schenekemberg vd., 2024; Chu vd., 2022; Fu & Chow, 2023; Armellini, 2021; Guerreiro vd., 2020).

Veri güdümlülük ve tahmin entegrasyonu son dönemin belirleyici eğilimidir. Talep/süre tahminlerinin istatistiksel ve makine öğrenmesi yöntemleriyle birleştirilmesi hem çözüm kalitesini hem de karar destek kapasitesini güçlendirmiştir (Marković vd., 2016; Belhaiza vd., 2022; Portell & Ramalhinho, 2025). Zaman penceresi, bekleme ve araç içi süre ağırlıklarının çok amaçlı optimizasyondaki rolleri, sosyal kapsayıcılık ve sürdürülebilirlik hedefleriyle birlikte ele alınmaya başlamış, DARP literatürü operasyonel verimlilikten sosyal etki boyutuna uzanan daha geniş bir çerçeveye evrilmiştir (Tiwari vd., 2024; Nichols vd., 2025; Collins vd., 2025).

Türkiye bağlamında talebe bağlı servis sistemlerinin bilgi sistemi kurgusu ve rota planlaması literatürde işlenmiş, yerel uygulama ve yöntem tartışmaları sunulmuştur (Hatipoğlu vd., 2007; Kesintürk vd., 2015; Altınkaya & Tunca, 2022). Bununla birlikte engelli odaklı paratransitin gerçek verilerle desteklenmiş, dinamik/transferli DARP modellemesiyle bütünleştirildiği kapsamlı uygulama

örnekleri sınırlı kalmıştır. Kapsayıcı ulaşım ve engelli yolculuğu bağlamındaki sistematik/eleştirel incelemeler, eşitlik ve erişilebilirlik hedeflerinin paratransit tasarımında teorik ve politik bir referans çerçevesi oluşturduğunu vurgulamaktadır (Duymuş vd., 2025; Erten & Aktel, 2020; Tabanlı & Sunay, 2023; Koç & Çolak, 2024).

Bu çalışma söz konusu eğilimleri İzmir özelinde ESHOT'un gerçek talep kayıtlarına dayalı olarak bütünleştirmektedir: (i) statik ve dinamik talepleri, transfer düğümlerini ve çok amaçlı hizmet kalitesi cezalarını içeren zenginleştirilmiş bir DARP–MILP formülasyonu, (ii) ölçeklenebilirlik ve yanıt süresi için ALNS–2Opt hibrit sezgiseli, (iii) bölgesel (Karşıyaka, Bayraklı, Çiğli) senaryolarda performans değerlendirmesidir. Böylelikle literatürde deterministik yapıdan dinamik/transferli ve veri güdümlü çerçevelere doğru gözlenen evrim, yerel politika ve operasyon bağlamıyla ilişkili olarak somutlanmakta, paratransitin kapsayıcı ulaşım hedefleriyle uyumlu planlanmasına ilişkin uygulanabilir bir karar destek zemini sunulmaktadır.

3.2. Veri Toplama, Talep Modelleme ve Sistem Parametreleri

Çalışmada kullanılan veri seti ESHOT Genel Müdürlüğü tarafından sağlanan paratransit yolcularına ait gerçek seyahat kayıtlarından oluşmaktadır. Veri, biniş/iniş konumları, zaman bilgileri (zaman pencereleri dâhil), hizmet sıklığı ve araç atamalarını içermekte olup, temizlik, anomali kontrolü ve mekânsal eşleştirme adımlarını takiben modele entegre edilmiştir. Talep yoğunluğunun günün farklı dilimlerinde belirgin değişimler göstermesi nedeniyle, zaman-bağımlı talep dinamiklerini gerçekçi biçimde temsil etmek üzere Poisson dağılımı kullanılmış, özellikle sabah (07:00–09:00) ve akşam (17:00–19:00) piklerinde görülen frekans artışları istatistiksel olarak yakalanmış ve üst üste çakışmaların etkisini azaltmak amacıyla yeniden dağıtım yaklaşımıyla saat bazında dengeleme uygulanmıştır. Bu ön işleme istatistiksel tutarlılığı ve operasyonel uygulanabilirliği birlikte gözetken bir giriş verisi üretmiştir.

Sistem parametreleri, ağın fiziksel ve operasyonel özelliklerini yansıtmaktadır: düğümler arası mesafe/süre (d_{ij} , t_{ij}), servis süreleri (s_i), araç kapasitesi (Q_v), talep başına yolcu sayısı (q_r), zaman pencereleri (e_r ve l_r) ve çok amaçlı amaç fonksiyonunda kullanılan maliyet ve ceza katsayıları (α : rota maliyeti, β : araç içi seyahat süresi, η : transfer sayısı, γ : bekleme süresi, ζ : zaman sapması, E : servis dışı kalma) (Cordeau & Laporte, 2007; Pierotti & van Essen, 2021). Bu yapı, kullanıcı refahını ve hizmet kalitesini operasyonel verimlilikle birlikte optimize etmeye imkân veren bir performans alanı tanımlamaktadır.

3.3. DARP–MILP Formülasyonu

Bu çalışmada kurulan optimizasyon modeli engelli yolcuların kent içi ulaşım ihtiyaçlarını en uygun şekilde karşılamayı amaçlayan Dial-a-Ride Problem (DARP) yaklaşımına dayanmaktadır. DARP talep esaslı ve kullanıcı odaklı bir taşımacılık sisteminin optimizasyonunu hedefleyen, karma tamsayı doğrusal programlama (MILP) yapısına sahip bir modeldir. Modelimiz İzmir kent merkezinde paratransit hizmetlerinden yararlanan bireylerin statik (önceden rezerve edilmiş) ve dinamik (gerçek zamanlı) taleplerinin birlikte ele alındığı karma bir senaryo içinde, karma tamsayı doğrusal programlama (MILP) çerçevesinde formüle edilmiştir.

Modelde kullanılan kümeler aşağıda tanımlanmıştır:

- R_S : Statik (önceden rezerve edilmiş) talepler kümesi,
- R_D : Dinamik (gerçek zamanlı) talepler kümesi,
- V : Araç veya sürücü kümesi,
- P : Biniş (pickup) noktaları kümesi,
- D : İniş (drop-off) noktaları kümesi,
- T : Transfer noktaları kümesi,
- O ve E : Araçların başlangıç ve bitiş depoları.

Böylece sistemdeki tüm düğümler $N = P \cup D \cup T \cup O \cup E$ kümesi altında temsil edilmiştir. Düğümler arasındaki yönlü bağlantılar ise $A = \{(i, j) \mid i, j \in N\}$ olarak tanımlanan seyahat arklarıyla gösterilmiştir.

Modelin amaç fonksiyonu tüm operasyonun toplam maliyetini minimize ederken, hizmet kalitesini ve yolcu memnuniyetini de gözeten çok amaçlı bir yapıdadır. Amaç fonksiyonu denkleminde, seyahat maliyetleri, araç içi zaman, transfer sayısı, bekleme süresi ve zaman sapmaları için ceza terimleri birlikte optimize edilmektedir:

$$\text{Minimize } Z = \alpha \sum_{v \in V} \sum_{(i,j) \in A} d_{ij} y_{ij}^v + \beta \sum_{r \in R} \sum_{(i,j) \in A} \sum_{v \in V} q_r t_{ij} X_{ij}^{r,v} + \eta \sum_{r \in R} q_r z_r + \gamma \sum_{r \in R} \sum_{i \in T} w_i^r + \zeta \sum_{r \in R} (\delta_{pr} + \delta_{dr}) + E \sum_{r \in R} q_r u_r \quad (1)$$

Amaç fonksiyonu hem operasyonel verimliliği hem de kullanıcı memnuniyetini aynı anda optimize etmektedir. Böylece model, erişilebilirliği artırırken maliyeti minimize eden dengeli bir ulaşım planı üretmeyi hedeflemektedir.

Model çok boyutlu bir kısıt yapısına sahiptir ve sistemin hem operasyonel hem de kullanıcı odaklı olarak tutarlı biçimde çalışmasını sağlamaktadır. Talep servis kısıtları her yolcu talebinin yalnızca bir araç tarafından karşılanmasını ve biniş iniş noktalarının doğru biçimde eşleştirilmesini garanti ederken, araç kapasite kısıtları her aracın taşıma sınırını aşmadan çalışmasını güvence altına almaktadır. Zaman penceresi kısıtları her yolcunun belirlenen en erken ve en geç zaman aralıkları içinde taşınmasını zorunlu kılarak hizmetin dakiklığını ve güvenilirliğini korumaktadır. Transfer ve senkronizasyon kısıtları ise yolcuların araç değişimi yaptığı durumlarda bekleme sürelerini düzenlemekte ve hizmetin kesintisiz ilerlemesini sağlamaktadır. Literatürdeki yerleşik DARP notasyonu izlenerek burada yalnızca çok amaçlı amaç fonksiyonunun formülasyonu sunulmuştur (Cordeau & Laporte, 2007; Molenbruch vd., 2017; Pierotti & van Essen, 2021).

Bu bütünsel yapı sayesinde model hem zaman planlaması hem de kaynak tahsisi açısından gerçekçi bir şekilde temsil edilmiştir. Böylece model erişilebilirlik ve hizmet kalitesi hedefleriyle uyumlu, gerçekçi bir operasyon planlamasını mümkün kılmaktadır (Masson vd., 2014; Pierotti & van Essen, 2021; Tiwari vd., 2024). Ardından model PuLP (Mitchell vd., 2011) tabanlı MILP çözümü ve ALNS–2Opt sezgisel algoritmaları kullanılarak çözülmüş, böylece farklı ölçeklerdeki senaryolar için performans ve uygulanabilirlik analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu çerçevede izleyen bölümde sunulan çözüm yaklaşımları ve İzmir senaryolarındaki uygulama bulgularının temelini oluşturmakta, veri temelli paratransit planlamasında maliyet–zaman–kapsayıcılık dengesini nicel olarak değerlendirebilen bir karar destek kapasitesi sağlamaktadır.

4. Çözüm Yaklaşımı, Uygulama ve Bulgular

Bu çalışmada iki katmanlı bir çözüm yaklaşımı benimsenmiştir. Küçük-orta boyutlu örneklerde kesin çözüm için MILP formülasyonu PuLP–CBC çözücüsü üzerinde çözdürülmüş, büyük veya dinamik talepli örneklerde ise Uyarlanabilir Büyük Komşuluk Araması (ALNS) ile 2-Opt tabanlı yerel iyileştirme içeren hibrit bir sezgisel yapı uygulanmıştır (Pfeiffer & Schulz, 2022; Masson vd., 2014; Pierotti & van Essen, 2021).

Modelin çözüm süreci doğrusal olmayan yapının çözüm kolaylığı açısından karma tamsayı doğrusal programlama (MILP) formuna dönüştürülmesiyle başlatılmıştır. Modelleme ve çözümleme işlemleri açık kaynak kodlu Python–PuLP kütüphanesi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Veri seti modele entegre edilmiş, her bir talebin biniş–iniş konumları, zaman pencereleri ve servis süreleri

tanımlanmıştır. Model 40 geçerli talep, 3 araç ve 86 düğüm (biniş, iniş ve transfer noktaları) üzerinden yapılandırılmıştır. Çözüm sürecinde yaklaşık 45.350 kısıt ve 21.930 ikili değişken oluşturulmuştur. Bu büyüklük paratransit problemlerinin karmaşıklığını açıkça ortaya koymaktadır. Yaklaşık 55 dakikalık işlem süresi sonunda toplam rota uzunluğunu ve hizmet süresini minimize eden optimal çözüm elde edilmiştir. Sonuçlar, kesin yöntemlerin küçük boyutlu problemlerde etkili olduğunu ancak daha büyük veri setlerinde sezgisel yaklaşımların tercih edilmesi gerektiğini göstermektedir.

Modelin çözümünde büyük ölçekli ve dinamik talep yapısına sahip problemlerde kesin yöntemlerin yüksek zaman maliyeti nedeniyle uygulanabilirliğinin sınırlı olması sebebiyle, sezgisel bir yaklaşım olarak ALNS algoritması kullanılmıştır. ALNS çözüm uzayında yeni kombinasyonlar keşfetmek amacıyla yık-onar mekanizması üzerine kurulmaktadır. Bu yapıda mevcut çözümün belirli bir kısmı rastlantısal veya kural tabanlı olarak yıkılmakta ve ardından farklı onarma stratejileriyle yeniden yapılandırılmaktadır. Böylece algoritma yerel minimumlardan çıkarak daha iyi çözümlere ulaşmaktadır. Dinamik taleplerin sonradan sisteme dâhil edildiği durumlarda ise, mevcut rotalarda küçük ama etkili düzenlemeler yapılmasını sağlayan 2Opt algoritması uygulanmıştır. Bu yöntem iki rota segmentinin yerini değiştirerek toplam seyahat süresini ve mesafeyi azaltmakta, böylece sistemin operasyonel verimliliği artırmaktadır. ALNS ve 2Opt'un birlikte kullanımı hem çözüm kalitesini koruyarak hesaplama süresini azaltmakta hem de paratransit sisteminin değişken talep koşullarına uyum sağlayabilmesini mümkün kılmaktadır.

4.1. İzmir Senaryosu: Deney Tasarımı ve Uygulama

Uygulama ESHOT'un gerçek seyahat verilerinden türetilen senaryolar üzerinde gerçekleştirilmiştir. Senaryolar mekânsal (Karşıyaka, Bayraklı, Çiğli) ve zamansal (tepe/dışı) alt kümelerle tanımlanmış, statik rezervasyonlu ve dinamik talep karışımları ayrı ayrı test edilmiştir. Temel deney düzeneği araç sayısı, kapasite, zaman penceresi genişliği ve transfer izin politikası gibi parametrelerin bölgesel talep yoğunluklarına göre sistematik varyasyonuna dayanmaktadır.

Uygulama aşamasında geliştirilen model İzmir kent merkezine ait 25 statik talep senaryosu üzerinde 500 iterasyon boyunca test edilmiştir. Bu süreçte farklı rota kombinasyonları değerlendirilmiş ve sistemin 20 talebi başarıyla atadığı, kalan 5 talebin ise zaman penceresi ve kapasite kısıtları nedeniyle servis dışı kaldığı belirlenmiştir. Model performans sonuçları Tablo 1'de gösterilmiştir.

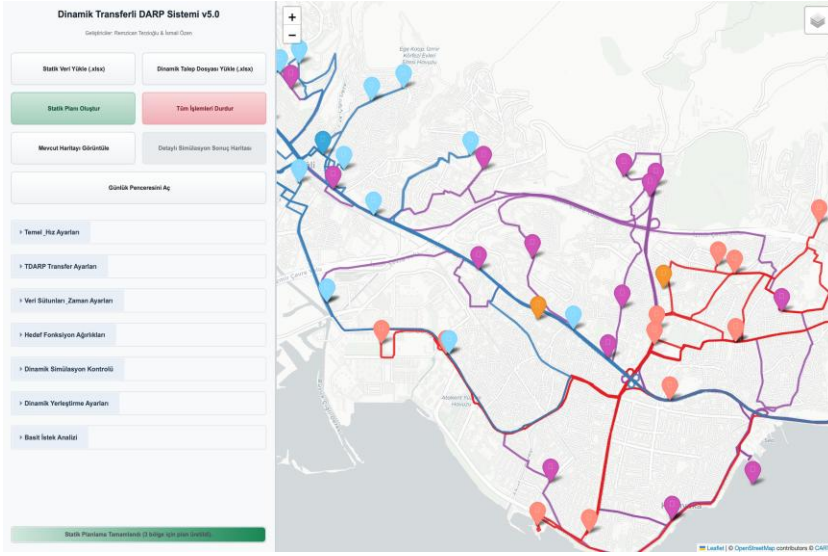
Tablo 1. Model Performans Sonuçları (500 iterasyon)

Bölge	Başlangıç AF Değeri	Nihai AF Değeri	Atanan/Toplam talep	İyileşme Oranı
Karşıyaka	412,74	390,08	4/8	%5,5
Bayraklı	398,70	92,06	8/8	%76,9
Çiğli	479,03	155,88	8/9	%67,4

Analizler İzmir'in üç farklı bölgesi olan Karşıyaka, Bayraklı ve Çiğli için ayrı ayrı yürütülmüş, başlangıç amaç fonksiyonu değerleri (AF değeri) Bayraklı bölgesinde %76,9, Çiğli'de %67,4 ve Karşıyaka'da %5,5 oranında iyileşmiştir. Ayrıca 6 yolcunun farklı araçlar arasında transferli taşındığı gözlemlenmiş, bu durum modelin yüksek talep yoğunluğu altında dahi hizmet sürekliliğini koruyabildiğini göstermiştir. Atanan/Toplam talep oranı tüm bölgelerde yüksek olup, Bayraklı'da tam kapsama (8/8) ulaşılmıştır.

ALNS algoritması iteratif yapısı sayesinde her yinelemede çözüm kalitesini artırmış, ortalama 60–150 saniye arasında değişen optimizasyon süresiyle toplam seyahat süresi ve araç kullanım oranı açısından operasyonel etkinlik sağlamıştır. Elde edilen bulgular geliştirilen modelin paratransit sistemlerinde sosyal kapsayıcılığı güçlendiren, zaman ve maliyet dengesini optimize eden yenilikçi bir planlama aracı olarak uygulanabilirliğini ortaya koymaktadır.

Çalışmada elde edilen bulgular Şekil 1'de gösterilen Dinamik Transferli DARP Sistemi arayüzü kullanılarak görselleştirilmiştir. Sistem İzmir kent merkezindeki biniş ve iniş noktalarını mekânsal olarak eşleştirerek, paratransit araçlarının izlediği güzergâhları renk kodlu haritalar aracılığıyla göstermektedir. Harita üzerinde her renk bir aracı temsil etmekte, düğümler ise engelli yolcuların hizmet aldığı noktaları ifade etmektedir. Statik ve dinamik talep dosyalarının yüklenmesiyle, modelin oluşturduğu rotalar eş zamanlı olarak izlenebilmekte ve yoğunluk dağılımları görsel biçimde analiz edilebilmektedir. Bu sistem sayesinde talep yoğunluklarının bölgesel olarak nasıl değiştiği, hangi güzergâhlarda transfer ihtiyacının arttığı ve araçların kapasite kullanımları açık biçimde gözlemlenmiştir.



Şekil 1. Dinamik Transferli DARP Sistemi Arayüzü

Bu yaklaşım paratransit sisteminin mekânsal ve operasyonel performansını görsel, veri odaklı bir biçimde analiz etme olanağı sunmaktadır. Rotaların ve talep yoğunluklarının harita üzerinde dinamik olarak izlenebilmesi hem kaynak planlamasının hem de erişilebilirlik stratejilerinin daha doğru biçimde geliştirilmesini sağlamaktadır. Ayrıca sistem farklı senaryoların hızlı biçimde test edilmesine imkân vererek karar vericilere esnek, kullanıcı dostu ve kanıta dayalı bir planlama aracı sunmaktadır.

5. Sonuç, Tartışma ve Gelecek Çalışmalar

Bu çalışma kapsayıcı ulaşım hedefleri doğrultusunda İzmir bağlamında paratransit sisteminin DARP temelli bir yaklaşımla nasıl tasarlanıp işletilebileceğini veri güdümlü bir yöntem ve çok amaçlı bir amaç fonksiyonu üzerinden ortaya koymuştur. İzmir'in çok modlu ulaşım yapısı ve mevcut erişilebilirlik uygulamaları paratransitin toplu taşımayla bireysel taşımacılık arasında esnek bir arayüz olarak konumlanmasına elverişli bir zemin sunmaktadır. Elde edilen bulgular talep-esaslı ve transfer destekli işletim altında bekleme süresi, servis dışı kalma oranı ve toplam rota maliyeti gibi performans göstergelerinde anlamlı iyileşmeler sağlandığını, buna karşılık araç içi seyahat süresi ve transfer sayısı arasında yönetilmesi gereken bir ödünleşme bulunduğunu göstermektedir. Sonuçlar paratransitin erişimi güç bölgelerde “son kilometre” işlevi görerek ağın bütünsel erişilebilirliğini artırma kapasitesini pekiştirmekte ve engelli bireylerin bağımsız hareketlilik ve toplumsal katılım düzeylerine ölçülebilir katkılar sunmaktadır.

Yöntemsel olarak çalışma statik ve dinamik talepleri, transfer düğümlerini ve çok amaçlı hizmet kalitesi cezalarını içeren bir DARP–MILP formülasyonu ile ALNS–2-Opt hibrit sezgiselin birlikte kullanımının karar destek kapasitesini güçlendirdiğini göstermektedir. Bulgular uygulama ölçeğinde hesaplama kaynaklarının ve yanıt süresinin kritik olduğu durumlarda hibrit yöntemlerin pratik değeri olduğunu teyit etmektedir.

Politika ve uygulama açısından bulgular üç temel öneri sunmaktadır. İlk olarak, transfer düğümlerinin konumlandırılması ve senkronizasyon kurallarının bölgesel erişilebilirlik eşitsizliklerini azaltacak biçimde veri güdümlü olarak tasarlanması gerekmektedir. Bu yaklaşım bekleme sürelerini ve servis dışı kalma oranını düşürürken maliyeti de düşürecektir. İkincisi, rezervasyon ve zaman penceresi yönetiminin talep piklerini dengeleyen ve “hizmet eşitliği”ni gözeten kurallarla yeniden çerçevelenmesidir. Böylece hem kullanıcı refahı hem de operasyonel verimlilik birlikte optimize edilebilir. Üçüncü ve son olarak, sürücü/ulaşım personeli eğitimi ve bilgi sistemleri entegrasyonu (sesli-görsel bilgilendirme, erişilebilir arayüzler) kapsayıcı hizmet deneyiminin vazgeçilmez tamamlayıcılarıdır. Kurumsal izleme açısından ortalama bekleme süresi, servis dışı kalma oranı, araç içi seyahat süresi ve transfer sayısı gibi göstergelerin düzenli olarak raporlanması ve eşik değerler üzerinden yönetilmesi kapsayıcılık hedeflerine ulaşmayı kolaylaştıracaktır.

Çalışmadaki veri kapsamı belirli bir dönem ve örneklemle sınırlıdır. Talep modellemesinde kullanılan Poisson varsayımı yoğun kalabalıklaşma veya olağandışı günlerde gözlenen sapmaları tam olarak yansıtmayabilmektedir. Model varsayımlarında (zaman penceresi genişlikleri, servis süreleri, transfer izin politikası, ceza katsayıları) yapılan seçimler performans göstergeleri üzerinde duyarlılığa sebep olmaktadır. Bu nedenle parametre ayarlarının yerel politika öncelikleriyle tutarlı biçimde kalibre edilmesi kritik önemdedir.

Gelecek çalışmalar için gerçek zamanlı öğrenme ve tahmin bileşenlerinin (talep ve seyahat süresi tahminleri) ALNS gibi sezgisel yapılarla sıkı entegrasyonu, böylece çevrimiçi güncellemelerle yanıt süresinin ve hizmet kalitesinin birlikte iyileştirilmesi mümkündür. Ayrıca çok modlu entegrasyonun derinleştirilmesi ve “son kilometre” bağlantılarının optimizasyonu ve paratransitin toplu taşımayla daha yoğun senkronizasyonu, erişilebilirlik kazanımlarını kent geneline yayabilir. Başka bir gelecek çalışma konusu olarak, kullanıcı tercih ve fayda modellerinin amaç fonksiyonuna adapte edilerek adalet odaklı optimizasyon yaklaşımlarının değerlendirilmesi kapsayıcılık hedeflerini doğrudan pekiştiren bir karar desteği sağlayabilir.

Teşekkür

Bu çalışma kapsamında kullanılan veriler İzmir Büyükşehir Belediyesi ESHOT Genel Müdürlüğü ve İzmir Bakırçay Üniversitesi arasındaki İş Birliği Protokolü kapsamında paylaşılmıştır.

Kaynakça

- Almoshaogeh, M., Jamal, A., Ahmed, T., Alharbi, F., Iqbal, M., Haider, H., & Alinizzi, M. (2025). A review on disability-inclusive public transportation: Current barriers and prospects. *IEEE Access*, 13, 75769–75786.
- Altinkaya, A., & Tunca, M. Z. (2022). Sezgisel araç rotalama problemlerinde bulanık mantık temelli kapasite optimizasyonu: Bir un fabrikası örneği. *Oğuzhan Sosyal Bilimler Dergisi*, 4(1), 31–41.
- Armellini, M. G. (2021). Simulation of demand responsive transport using a dynamic scheduling tool with SUMO. In *SUMO Conference Proceedings* (Vol. 2, pp. 115–123).
- Belhaiza, S., M'Hallah, R., & Al-Qarni, M. (2022, December). A data-driven forecasting and solution approach for the dial-a-ride problem with time windows. In *2022 IEEE Symposium Series on Computational Intelligence (SSCI)* (pp. 101–110). IEEE.
- Carotenuto, P., & Martis, F. (2017). A double dynamic fast algorithm to solve multi-vehicle dial-a-ride problem. *Transportation Research Procedia*, 27, 632–639.
- Chu, J. C. Y., Chen, A. Y., & Shih, H. H. (2022). Stochastic programming model for integrating bus network design and dial-a-ride scheduling. *Transportation Letters*, 14(3), 245–257.
- Collins, T., Ravensbergen, L., & Young, M. (2025). The landscape of contemporary paratransit research: A critical systematic review of the literature in the US and Canada. *Travel Behaviour and Society*, 38, 100930.
- Cordeau, J. F. (2006). A branch-and-cut algorithm for the dial-a-ride problem. *Operations Research*, 54(3), 573–586.
- Cordeau, J. F., & Laporte, G. (2007). The dial-a-ride problem: Models and algorithms. *Annals of Operations Research*, 153, 29–46.
- Dawda, N. H., Gajera, H., Joshi, G. J., Arkatkar, S. S., & Dave, S. K. M. (2021). Efficiency based evaluation of public transport and paratransit systems with a view to integrating transportation. *Transportation Research Record*, 2675(3), 17–32.
- Deleplanque, S., & Quilliot, A. (2013). Dial-a-ride problem with time windows, transshipments, and dynamic transfer points. *IFAC Proceedings Volumes*, 46(9), 1256–1261.
- Dial, R. B. (1995). Autonomous dial-a-ride transit introductory overview. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 3(5), 261–275.

- Dikas, G., & Minis, I. (2018). Scheduled paratransit transport enhanced by accessible taxis. *Transportation Science*, 52(5), 1122–1140.
- Dumedah, G., Abass, K., Gyasi, R. M., Forkuor, J. B., & Novignon, J. (2023). Inefficient allocation of paratransit service terminals and routes in Ghana: The role of driver unions and paratransit operators. *Journal of Transport Geography*, 111, 103643.
- Duymuş, H., Özenen Kavlak, M., Çabuk, S. N., & Çabuk, A. (2025). Engelsiz mekânın izinde: Erişilebilirlik ve kapsayıcılık üzerine bir literatür incelemesi. In Y. Aksoy & E. Duyan (Eds.), *Engelli ve Mekan* (ss. 468–488). DAKAM Yayınları.
- Egger, S. M., Gemperli, A., Filippo, M., Liechti, R., & Gantschnig, B. E. (2022). The experiences and needs of persons with disabilities in using paratransit services. *Disability and Health Journal*, 15(4), 101365.
- Erten, Ş., & Aktel, M. (2020). Engellilerin erişilebilirlik hakkı: Engelsiz kent yaklaşımı çerçevesinde bir değerlendirme. *Süleyman Demirel Üniversitesi Vizyoner Dergisi*, 11(28), 898–912.
- Feuerstein, E., & Stougie, L. (2001). On-line single-server dial-a-ride problems. *Theoretical Computer Science*, 268(1), 91–105.
- Fu, L., & Teply, S. (1999). On-line and off-line routing and scheduling of dial-a-ride paratransit vehicles. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 14(5), 309–319.
- Fu, Z., & Chow, J. Y. (2023). Dial-a-ride problem with modular platooning and en-route transfers. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 152, 104191.
- Guerreiro, P. M., Cardoso, P. J., & Fernandes, H. C. (2020, June). A comparison of multiple objective algorithms in the context of a dial-a-ride problem. In *International Conference on Computational Science* (pp. 382–396). Springer International Publishing.
- Gupta, A., Hajiaghayi, M., Nagarajan, V., & Ravi, R. (2010). Dial a ride from k-forest. *ACM Transactions on Algorithms (TALG)*, 6(2), 1–21.
- Hammouda, S., Lemouari, A., & Taffar, M. (2022). Hybrid heuristics for the dial-a-ride problem with transfer and synchronization in central hub. *Statistics, Optimization & Information Computing*, 10(1), 263–281.
- Hatipoğlu, S., Öztürk, E. A., & Çubuk, M. K. (2007). Kentsel ulaşımında talebe bağlı servis sistemi: Bir bilgi sistemi kurgusu. *Teknoloji*, 10(4).
- İzmir Büyükşehir Belediyesi. (2019). *İzmir Ulaşım Ana Planı (UAP) – Genel Bilgi Raporu*. İzmir Büyükşehir Belediyesi Ulaşım Dairesi Başkanlığı.

- Johnson, L. L., Ebakivie, O., Everett, J., & Wynn, S. (2025). Inclusive and accessible transportation for all: strategies for integrating equity in transportation research. *Logistics*, 9(2), 72.
- Keskintürk, T., Topuk, N., & Özyeşil, O. (2015). Araç rotalama problemleri ve çözüm yöntemleri. *İşletme Bilimi Dergisi*, 3(2), 77–107.
- Koç, S., & Çolak, K. (2024). Engelli Bireylerin İstihdamında Erişilebilir Şehirlerin Kolaylaştırıcı Etkisine Dair Bir Analiz. *Şura Akademik*, 5, 11-24.
- Marković, N., Kim, M. E., & Schonfeld, P. (2016). Statistical and machine learning approach for planning dial-a-ride systems. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 89, 41–55.
- Masson, R., Lehuédé, F., & Péton, O. (2014). The dial-a-ride problem with transfers. *Computers & Operations Research*, 41, 12–23.
- Mitchell, S., O’Sullivan, M., & Dunning, I. (2011). Pulp: a linear programming toolkit for python. *The University of Auckland, Auckland, New Zealand*, 65, 25.
- Molenbruch, Y., Braekers, K., & Caris, A. (2017). Typology and literature review for dial-a-ride problems. *Annals of Operations Research*, 259, 295–325.
- Muelas, S., LaTorre, A., & Pena, J. M. (2015). A distributed VNS algorithm for optimizing dial-a-ride problems in large-scale scenarios. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 54, 110–130.
- Mwaka, C. R., Best, K. L., Cunningham, C., Gagnon, M., & Routhier, F. (2024). Barriers and facilitators of public transport use among people with disabilities: a scoping review. *Frontiers in Rehabilitation Sciences*, 4, 1336514.
- Nichols, B., Ramos, É., Olsson, L. E., Friman, M., & Bergstad, C. J. (2025). Exploring the social impact of paratransit: A systematic literature review with a micro-level perspective. *Case Studies on Transport Policy*, 22, 101584.
- Park, J., & Chowdhury, S. (2018). Investigating the barriers in a typical journey by public transport users with disabilities. *Journal of Transport & Health*, 10, 361–368.
- Parragh, S. N., Doerner, K. F., & Hartl, R. F. (2010). Variable neighborhood search for the dial-a-ride problem. *Computers & Operations Research*, 37(6), 1129–1138.
- Pfeiffer, C., & Schulz, A. (2022). An ALNS algorithm for the static dial-a-ride problem with ride and waiting time minimization. *OR Spectrum*, 44(1), 87–119.

- Pierotti, J., & van Essen, J. T. (2021). MILP models for the dial-a-ride problem with transfers. *EURO Journal on Transportation and Logistics*, 10, 100037.
- Portell, L., & Ramalhinho, H. (2025). The rich heterogeneous dial-a-ride problem with trip time prediction. *International Transactions in Operational Research*, 32(2), 692–718.
- Schenekemberg, C. M., Chaves, A. A., Guimarães, T. A., & Coelho, L. C. (2024). Hybrid metaheuristic for the dial-a-ride problem with private fleet and common carrier integrated with public transportation. *Annals of Operations Research*, 147, 1–39.
- Tabanlı, S. M., & Sunay, M. M. (2023). Engelli bireylerin toplumsal yaşama katılımının sosyolojik analizi: Sorunlar, engeller ve ilişkisel pazarlama yaklaşımı ile çözüm önerileri. *The International New Issues in Social Sciences*, 13(1), 69–100.
- Tiwari, S., Nassir, N., & Lavieri, P. S. (2024). Review and classification of objectives in dynamic dial-a-ride systems: A triple bottom line approach of sustainability. *Sustainability*, 16(13), 5788.
- Zhang, X., Yang, Y., Cochran, A. L., McDonald, N., & Zhao, X. (2021, March). Optimizing demand-responsive paratransit operations: A mixed integer programming approach. In *2021 55th Annual Conference on Information Sciences and Systems (CISS)* (pp. 1–6). IEEE.



BÖLÜM 3

Türkiye'de Çevre Politikaları

Tarık ÖZDEMİR¹

GİRİŞ

Türkiye, biyolojik çeşitlilik açısından zengin bir coğrafyada yer alırken, kentleşme, sanayileşme ve iklim değişikliği etkileriyle üst üste binen çevre sorunlarıyla mücadele etmektedir. Hava ve su kirliliği, atık birikimi ve iklim değişikliğine bağlı aşırı hava olayları, hem çevresel hem de sağlık açısından kritik riskler doğurmaktadır (Demir, 2022). Bu durum, çevre politikalarının yalnızca yasalarla değil, koordineli bir stratejik yaklaşımla ele alınmasını gerektirmektedir (Pehlivanzade & Zaimoğlu, 2023).

Tarihsel Süreç ve Evrim

İlk Dönem: 1970–1990

Türkiye’de çevre bilinci 1970’lerle birlikte yükselmeye başlamış, 1982 Anayasası’nda çevre hakkı düzenlemesi yer almıştır (Demir, 2022). Ancak uygulamadaki yetersizlikler, çevre korumasının ikincil öncelikte kalmasına neden olmuştur.

AB Uyum Süreci: 1990–2005

1990’lı yıllarda AB’ye adaylık süreci, çevresel mevzuatta reform dalgası başlatmış; özellikle ÇED (Çevresel Etki Değerlendirmesi) uygulamaları geliştirilmiştir (Tekayak, 2014). ÇED raporlarının kalitesi ve bağımsızlığı tartışılmalıysa da kurumsal dönüşüme katalizör olmuştur.

Kurumsallaşma ve Bütünleşik Yaklaşım: 2005–Günümüz

2000’li yıllarda Çevre Bakanlığı’nın Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı’na dönüşmesi, çevre, şehircilik ve iklim politikalarının entegre ele alınmasını hedeflemiştir. Ayrıca “Sıfır Atık Projesi” ve ulusal iklim stratejileri bu dönemin önemli çıktılarından (Savaşan, 2019).

Bakanlığın tarihçesine bakıldığında, Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Türkiye’deki çevre, şehirleşme ve iklim değişikliği politikalarını yöneten önemli bir kuruluştur. 1848’de kurulan Bayındırlık ve İskân Bakanlığı ile 1983’te kurulan Çevre ve Orman Bakanlığı, zamanla birleşerek 2011’de Çevre ve Şehircilik Bakanlığı’nı oluşturdu. 2021’de ise Bakanlık, iklim değişikliği konusunu da içine alarak adını **Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı** olarak değiştirdi. Bakanlık, çevre kirliliği, kentsel dönüşüm ve iklim değişikliği

¹ Dr., Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Öğrenci İşleri Daire Başkanlığı, Aydın, Türkiye, ORCID: 0000-0002-3553-5705

gibi alanlarda çalışmalar yapmaktadır (Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2025).

Literatür Çerçeve

Literatürde çevre politikalarına yönelik birçok araştırma bulunmaktadır. Kaypak (2014) çalışmasında, küreselleşmenin çevre sorunları üzerindeki etkilerine ve bu sorunların çözümüne yönelik küresel çevre politikalarına değinmiştir. Küresel çevre sorunlarının, ulusal sınırları aşan politikaların gerekliliğini ortaya koyduğunu ve bu alandaki yaklaşımın değiştiğini vurgulamıştır. Bayram vd. (2011), çevre politikasının ülke hedeflerini belirleme süreci olduğunu ve AB'nin çevre politikalarına 1972'de başladığını, Türkiye'de çevre bilincinin arttığını ve mevzuatın hızla değiştiğini belirtmiştir. Ayrıca, Türkiye'nin yenilenebilir enerji potansiyelinin avantaj sağladığını ve AB ile uyum için çevre politikalarının takip edilmesi gerektiğini vurgulamıştır. Toprak (2006), çevre ekonomisinin dışsal maliyetlerinin yüksek olduğunu, sanayileşme ve teknolojik gelişmelerin çevre kirliliğini artırdığını belirtmektedir. Gelişmekte olan ülkeler, kalkınma hedeflerini tehlikeye atmamak için çevre politikalarından kaçınmakta, bu da kirli endüstrilerin gelişmiş ülkelere onlara kaymasına yol açmaktadır. Çoban vd. (2012), çalışmasında ekolojik sorunların nedenlerini, etkilerini ve çözüm önerilerini incelemiş, kuramsal yaklaşımları sorgulamış ve çeşitli çevre politikalarını eleştirel bir şekilde değerlendirmiştir.

Mevcut Yasal ve Kurumsal Yapı

Çevre'ye yönelik birçok yasal mevzuat bulunmaktadır. Bunlardan en önemlisi ve çevrenin temel yapı taşı olan Çevre Kanunu'dur.

- **1983 Çevre Kanunu:** Temel çevresel düzenleme hukuku olup, hava, su, toprak, atık ve gürültü konularını kapsar. Kanunun pek çok yönetmeliği zamanla yürürlüğe girmiştir.
- **ÇED Yönetmeliği:** Projelerin çevresel etkilerinin değerlendirilmesi süreci AB normlarına yakınsamıştır. Tekayak (2014), ÇED sürecinde şeffaflık ve halk katılımının artırılması önerisinde bulunur.
- **Kurumsal Yapı:** Bakanlık, il müdürlükleri ve yerel yönetimler aracılığıyla çevresel düzenleme, izleme ve denetim görevini üstlenir. Ancak kaynak eksikliği ve bölgesel dengesizlikler devam etmektedir (Demir, 2022).

Fasıl 27: Çevre ve İklim Değişikliği

Avrupa Birliği'nin çevre politikası, sürdürülebilir kalkınmayı sağlamak için kirliliği azaltmayı, doğal kaynakları ekolojik dengeye zarar vermeyecek şekilde kullanmayı ve çevreyi korumayı hedefler. 1993'te Maastricht Anlaşması ile

çevre, AB'nin politikaları arasında yer almıştır. Çevre politikasının temel ilkeleri arasında "kirleten öder", "önleyicilik" ve "yüksek seviyede koruma" bulunur. AB, 1973'ten itibaren Çevre Eylem Programları ile çevre koruma adımlarını güçlendirmiştir. 2020'de 8. Çevre Eylem Programı hedefleri arasında sera gazı emisyonlarını azaltmak, döngüsel ekonomiye geçişi hızlandırmak ve biyolojik çeşitliliği korumak yer alır. Lizbon Antlaşması ile çevre, AB'nin paylaşılan yetki alanlarından biri olarak kabul edilmiştir (Avrupa Birliği Başkanlığı 2025).

Temel Çevre Sorunları ve Politik Tepkiler

Hava Kirliliği

Türkiye'nin büyük kentlerinde PM_{2.5} ve NO_x gibi kirleticilerin yıllık ortalama değerleri WHO sınırlarını aşmaktadır. Sanayi, ulaşım ve ısınma bu kirliliğin ana kaynaklarıdır (Kırıkkaleli & Osmanlı, 2023).

Su ve Toprak Kirliliği

Tarımda aşırı kimyasal gübre kullanımı, tarım alanlarında azot ve fosfor yüklenmesine neden olmakta, yer altı suyu kalitesi tehlikeydedir (Yeni & Teoman, 2020).

Atık Yönetimi ve Geri Dönüşüm

Yılda ~30 milyon ton katı atık üretilmekte olup, Sıfır Atık Projesi ile geri dönüşüm oranları artırılmaya çalışılmaktadır. Ancak atık ithalatı ve yetersiz altyapı sorun teşkil etmektedir (Pehlivanzade & Zaimoğlu, 2023).

İklim Değişikliği

Türkiye, Paris Anlaşması'na taraf olmamakla birlikte INDC yayınlamıştır. Kyoto Protokolü'ne 2009'da katılmış olmakla beraber, bu zorunlu olmayan taahhütlerin etkisi sınırlı kalmıştır (Savaşan, 2019).

Enerji Politikaları

Enerji politikasında hâlâ kömüre dayalı termik santraller ön plandadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim artmakta; güneş, rüzgâr ve hidroelektrik santrallerle çeşitlilik sağlanmaktadır (Acar vd., 2018).

Biyolojik Çeşitlilik

Milli parklar, Ramsar Alanları gibi koruma statüleri mevcuttur. Ancak Katılımcı ekosistem yönetimi sık uygulanmamakta; Çelik vd. (2005) ve Özesmi (2006) Tuzla Gölü ve Kızılırmak Deltası vaka çalışmalarında halk katılımını öne çıkarmıştır.

Uluslararası İşbirlikleri

AB çevre politikalarına adaptasyon süreci, hem mevzuatta hem kurumsal yapıta etkili olmuştur. Türkiye'nin Paris Anlaşması'na yaklaşımı, UNFCCC katılımı ve SDG hedeflerine entegrasyon süreci önemli dönemeçlerdir (Savaşan, 2019).

Eleştiriler ve Geliştirme Alanları

- Mevzuatta AB uyumu güçlü olsa da saha uygulamaları eksik kalmaktadır (Tekayak, 2014).
- ÇED uygulamalarında şeffaflık, halk katılımı ve yerel eğitimin artırılması gerekmektedir.
- Atık yönetiminde yerli üretim/ithalat politikaları arasındaki çatışmalar giderilmelidir (The Guardian, 2025).
- İklim politikalarında ulusal izleme ve enforcement mekanizmalarının güçlendirilmesi zorunludur.

Sonuç ve Öneriler

Türkiye'nin sürdürülebilir çevre politikası için şu öneriler önemlidir:

1. **Uygulama öncelikli** kapasite artışı ve denetim mekanizmaları inşa edilmeli.
2. **Katılımcı yönetim** ile halk ve STK'ların karar mekanizmalarına dahil edilmesi sağlanmalı.
3. **Yeşil ekonomiye geçiş** alanında tarım, enerji ve atık sektörlerinde sistematik teşvikler geliştirilmeli.
4. **Uluslararası standartlar** AB ve BM süreçleriyle pekiştirilerek, izleme sistemi etkinleştirilmeli.

KAYNAKLAR

- Acar, S., Voyvoda, E., & Yeldan, A. E. (2018). Energy and environmental policy against climate change in Turkey. *Academic Press*.
- Bayram, T. T., Altıkat, A., & Torun, F. E. (2011). Avrupa Birliği ve Türkiye’de Çevre Politikaları Environmental. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 1(1), 33-38.
- Çelik, F. D., Özesmi, U., & Akdoğan, A. (2005). Participatory ecosystem management planning at Tuzla Lake (Turkey) using fuzzy cognitive mapping. *ArXiv q-bio/0510015*.
- Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı (2025). <https://www.csb.gov.tr/tarihcemiz-i-7012> adresinden ulaşıldı.
- Çoban, A., Hamamcı, C., & Keleş, R. (2012). Çevre politikası. Basım. İstanbul: İmge.
- Demir, S. (2022). The evolution of environmentalism in Turkey. *Middle East Policy*, 29(4), 133-145. doi:10.1111/mepo.12660.
- Dışişleri Bakanlığı, Avrupa Birliği Başkanlığı (2025). https://www.ab.gov.tr/fasil-27-cevre_92.html adresinden ulaşıldı.
- Kaypak, Ş. (2014). Çevre Sorunlarının Çözümünde Küresel Çevre Politikaları. *Muğla Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, (31), 17-34.
- Kirikaleli, D., & Osmanlı, A. (2023). The impact of political stability on environmental quality in the long run: The case of Turkey. *Sustainability*, 15(11), 9056. doi:10.3390/su15119056.
- New Scientist. (2025, February 18). Turkey said it would become a ‘zero waste’ nation. Instead, it became a dumping ground for Europe’s rubbish. *The Guardian*.
- Ozesmi, U. (2006). Ecosystems in the mind: Fuzzy cognitive maps of the Kizilirmak Delta wetlands in Turkey. *ArXiv q-bio/0603022*.
- Pehlivanzade, G. G., & Zaimoğlu, Z. (2023). Analysis of environmental and energy policies in Turkey, the European Union and the United States. *International Journal of Environment and Climate Change*, 13(12), 297-308. doi:10.9734/ijec/2023/v13i123685.
- Savaşan, Z. (2019). Climate governance in Turkey: A forward-looking perspective. *Turkish Studies*, 20(4), 541-571. doi:10.1080/14683849.2019.1613895.
- Tekayak, D. (2014). An overview of environmental impact assessment in Turkey: Issues and recommendations. *Ankara Review of European Studies*, 13(2), 133-151.

- Toprak, D. (2006). Sürdürülebilir kalkınma çevresinde çevre politikaları ve mali araçlar. Süleyman Demirel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, (2), 146-169.
- Yeni, O., & Teoman, Ö. (2020). The agriculture–environment relationship and environment-based agricultural support instruments in Turkey. *European Review*, 30(2), 194-218. doi:10.1017/S1062798720001015.