

Katı Atıkları Yönetimi için Depolama Alanı Seçiminde Geleneksel ve Hibrit Yaklaşımlar

Abdullah İzzeddin KARABULUT^{1*}, Mehmet İrfan YEŞİLNACAR²

¹Dr. Harran Üniversitesi, Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri, Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa, Türkiye

²Prof. Dr. Harran Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 63050, Şanlıurfa, Türkiye

*(karabulut6363@gmail.com) Başlıca yazarın mail adresi

(Received: 25 April 2025, Accepted: 10 June 2025)

(4th International Conference on Scientific and Innovative Studies ICSIS 2025, April 29-30, 2025)

ATIF/REFERENCE: Karabulut, A. İ. & Yeşilnacar, M. İ. (2025). Katı Atıkları Yönetimi için Depolama Alanı Seçiminde Geleneksel ve Hibrit Yaklaşımlar. *International Journal of Advanced Natural Sciences and Engineering Researches*, 9(6), 161-164.

Özet – Katı atıkların bertarafı için uygun alanların seçimi, çevresel sürdürülebilirlik, halk sağlığı ve arazi kullanım politikalarıyla ilgili bir planlama sürecidir. Bu süreç, yerleşim yerlerine yakınlık, hidrolojik ağlar, ulaşım altyapısı, topografya, jeolojik yapı ve ekolojik duyarlılık gerektiren biyofiziksel ve sosyoekonomik kriterlerin bütünsel bir değerlendirmesini gerektirir. Hızlı kentleşme, nüfus artışı ve sanayileşme ile sınırlı arazi kaynakları, karmaşık alan seçimini gerektirir. Katı atık yönetimi, çevresel bütünlük, ekonomik uygulanabilirlik ve planlama boyutları olan küresel bir öncelikli konudur. Teknoloji atık işleme kapasitelerini artırsa da genişleyen kentsel alanlar ve arazi kıtlığı nedeniyle optimum bertaraf alanlarının belirlenmesi hala zorluklar yaratmaktadır. Bu bağlamda, hijyenik sıhhi depolama alanlarının stratejik konumu, sürdürülebilir kentsel kalkınma ve çevresel etkinin azaltılması için esastır. Geleneksel yöntemler uzman görüşüne, öznel değerlendirmelere ve manuel harita kaplama tekniklerine dayalı zaman alıcı süreçler sunarken, Coğrafi Bilgi Sistemleri, Uzaktan Algılama ve Çok Kriterli Karar Analizi gibi coğrafi araçlar odaklanmış ve tekrarlanabilir değerlendirmelere olanak tanır. Bu teknolojiler, farklı veri katmanlarını bütünleştirerek mekânsal analizlere ve alan uygunluk değerlendirmelerine olanak tanır. Mekânsal çok kriterli değerlendirme çerçeveleri, arkeolojik miras alanları, kentsel yayılma ve tarım arazisi gibi sosyokültürel faktörleri göz önünde bulundurarak çatışan hedefleri dengelemek için umut verici karar destek sistemleri sunar. Bu çalışma, literatürdeki geleneksel ve hibrit katı atık depolama sahası yer seçimi yaklaşımlarını inceleyerek dijital coğrafi tekniklerin metodolojik evrimini değerlendirir.

Anahtar Kelimeler – Katı Atık Yönetimi, Yer Seçimi, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), Çok Kriterli Karar Analizi (ÇKKA), Uzaktan Algılama (UA), Sürdürülebilir Kentsel Planlama.

I. GİRİŞ

Katı atıkların çevreye duyarlı, teknik olarak uygulanabilir ve toplumsal açıdan kabul edilebilir bir biçimde bertaraf edilebilmesi için en uygun yerin belirlenmesi, çevresel planlama ve sürdürülebilir kentleşme politikaları açısından stratejik bir süreçtir [1;2]. Bu süreç, "yer seçimi" olarak tanımlanmakta olup; arazi eğimi, hidrolojik yapı, yerleşim alanlarına ve ulaşım altyapısına olan mesafe, jeolojik uygunluk, ekolojik koruma öncelikleri ve mevcut arazi kullanımı gibi çok sayıda çevresel ve fiziksel parametrenin çok kriterli analizini gerektirir.

Kentleşmenin hızla yayılması, nüfus artışı ve sanayileşme gibi dinamikler, mevcut atık yönetim altyapılarının yetersiz kalmasına ve yerel yönetimler açısından ciddi çevresel ve yönetsel sorunların ortaya çıkmasına neden olmaktadır [3]. Bu bağlamda, katı atıkların etkin biçimde yönetimi, sadece çevresel sağlık açısından değil, aynı zamanda arazi kullanımının sürdürülebilirliği, doğal kaynakların korunması ve kamu sağlığının güvence altına alınması açısından da kritik bir rol oynamaktadır.

Geleneksel yer seçimi uygulamaları, çoğunlukla karar vericilerin sezgisel ve öznel değerlendirmelerine dayalı olarak yürütülmüş, bu da karar sürecine belirsizlik ve tutarsızlık getirmiştir. Başlangıçta kullanılan tematik haritaların manuel bindirme yöntemleri, zaman alıcı ve hata yapmaya açık süreçler olarak sınırlı etki üretmiştir. Ancak günümüzde teknolojik gelişmeler sayesinde Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), Uzaktan Algılama (UA) teknikleri ve Çok Kriterli Karar Analizi (ÇKKA) yöntemlerinin entegrasyonu ile daha nesnel, sistematik ve tekrarlanabilir analizler mümkün hale gelmiştir [4]. Bu yöntemler hem mekânsal hem de zamansal açıdan daha hassas değerlendirmeler sunarak, karar süreçlerinde şeffaflık ve bilimsel geçerlilik sağlamaktadır. Buna ek olarak, arkeolojik miras alanları, kentsel gelişim bölgeleri, tarım arazileri gibi sosyal, kültürel ve ekonomik açıdan hassas bölgelerin de yer seçim sürecine dahil edilmesi gerekmektedir [5]. Bu nedenle, mekânsal analizlerin yalnızca fiziksel ve çevresel değil, aynı zamanda sosyoekonomik boyutları da içermesi zorunludur. Son yıllarda, literatürde hem geleneksel hem de hibrit modellemelerin birlikte değerlendirildiği, çok disiplinli ve entegre yaklaşımların kullanıldığı önemli sayıda çalışma yayımlanmıştır. Bu bağlamda, mevcut araştırma, depolama alanlarının belirlenmesinde kullanılan geleneksel yöntemler ile CBS tabanlı hibrit karar destek sistemlerini kapsamlı bir şekilde incelemeyi amaçlamaktadır. Böylece, gelecekteki atık yönetim politikalarına yön verebilecek, bilimsel temelli ve uygulanabilir yer seçimi stratejilerinin geliştirilmesine katkı sunulması hedeflenmektedir.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışma öncelikle literatür taraması yoluyla elde edilen verilere dayanmaktadır. Bunlar nitel, nicel ve karma olmak üzere üç kategoriye ayrılmıştır. Bu çalışmada nicel ve nitel araştırma yöntemleri bir arada kullanılmıştır. Bu çalışma konusu ile ilgili literatür analizi kapsamında taranan yayın kategorileri bilimsel makaleler, kitaplar, tezler, teknik raporlar, yasal/ıdari mevzuat ve standartlar/normlardır. Bu çalışmada katı atık depolama alanlarının belirlenmesinde kullanılan yöntemlerle ilgili literatür taraması ulusal ve uluslararası düzeyde bilimsel veri tabanlarından yararlanılarak yapılmıştır. Tarama süreci “katı atık depolama alanı seçimi”, “CBS tabanlı karar destek” ve “çok kriterli karar verme” terimleri kullanılarak yapılmıştır. Çalışmanın dahil edilme ölçütleri hakemli dergilerde yayımlanmış orijinal araştırma makaleleri, derleme makaleleri ve uluslararası konferans bildirilerinin tam metinleridir. Elde edilen çalışmalardan ilk eleme yapılmış; başlık, özet ve anahtar kelimelere göre ön eleme yapılmış, daha sonra tam metin taraması ile uygun bulunan çalışmalar kapsam çalışmasına dâhil edilmiştir. Dahil edilen makalelerden, uygulanan yöntem/algoritma türüne (AHP, Bulanık Mantık, vb.), veri türlerine (topoğrafya, arazi kullanımı, hidrografi, sosyoekonomik veriler), CBS yazılım ortamına ve değerlendirme kriterlerine (uygunluk haritaları, tampon analizi, ağırlıklı katman) göre veriler sistematik olarak çıkarıldı.

III. BULGULAR VE TARTIŞMA

Geleneksel yöntemler, karar vericilerin deneyim ve sezgilerine dayanan, sınırlı sayıda değişkeni göz önünde bulunduran ve çoğunlukla niceliksel olmayan değerlendirme süreçlerini içeren yaklaşımlardır. Bu yöntemde karar vericiler genellikle mevcut arazi koşulları, yerleşim yerlerine uzaklık, ulaşım altyapısına erişim ve çevresel hassasiyet alanları gibi birkaç temel kriteri göz önünde bulundurarak potansiyel alanları belirler ve bu alanlara ilişkin arazi gözlemlerine dayanarak karar verirler. Ancak bu yaklaşımda, kriterler arasındaki ilişkilerin sistematik olarak ortaya konulamaması, belirsizliklerin yönetilememesi ve karar sürecinin çoğunlukla öznel değerlendirmelere dayalı olması, kararın şeffaflığını ve tekrarlanabilirliğini azaltan başlıca unsurlardır. Ayrıca, büyük ölçekli alanlarda alternatif sayısının

artması, geleneksel yöntemin karar etkinliğini düşürmekte ve zaman ve maliyet açısından yönetilemez hale getirebilmektedir [6;7]. Bu nedenle geleneksel yöntemler, yer seçimi sürecinde temel bir ön değerlendirme aracı olmasına rağmen, günümüz teknolojik olanakları karşısında yetersiz kalmaktadır.

Öte yandan Coğrafi Bilgi Sistemleri tabanlı hibrit karar destek sistemleri, mekânsal analiz kapasitesini çok kriterli karar verme teknikleriyle birleştirerek karar sürecini daha nesnel, şeffaf ve tekrarlanabilir hale getirir. CBS, farklı kaynaklardan elde edilen mekânsal verilerin katmanlar halinde bütünleştirilmesini ve analiz edilmesini sağlayarak arazi uygunluk değerlendirmelerinin coğrafi temsiller aracılığıyla somutlaştırılmasına olanak tanır. Bu sistemler, sayısal yükseklik modeli, arazi kullanımı ve örtüsü, hidrolojik ağlar, altyapı sistemleri ve doğal koruma alanları gibi çok çeşitli veri kümelerinin CBS ortamına bütünleştirilmesini sağlar [4]. Böylece depolama alanı belirleme sürecinde dikkate alınması gereken tüm kriterler mekânsal olarak tutarlı ve sistematik bir şekilde analiz edilebilir.

Coğrafi Bilgi Sistemleri tabanlı hibrit sistemlerin en önemli bileşenlerinden biri, karar vericilerin farklı kriterleri ağırlıklandırarak karar matrisleri oluşturmaya olanak tanıyan çok kriterli karar verme teknikleridir [8]. Bu bağlamda en sık kullanılan yöntemlerden biri olan Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP), karar kriterleri arasında çiftler halinde karşılaştırmalar yaparak her bir kriterin göreceli önemini matematiksel olarak belirler [4]. Ancak AHP'nin kesinlik varsayımına dayanan yapısı gerçek dünyadaki belirsizlikleri yeterince yansıtamamaktadır; bu nedenle özellikle son yıllarda bulanık mantıkla bütünleştirilmiş Bulanık AHP yöntemleri yaygınlaşmıştır. Bulanık mantık, kriterler ve alternatifler arasındaki değerlendirmelerde bulanık sayılar aracılığıyla belirsizliklerin ve öznel yargıların daha gerçekçi modellenmesini sağlar. CBS ile bütünleşik olarak kullanılan Bulanık AHP, konum seçimi analizlerinde daha güçlü ve güvenilir sonuçların elde edilmesini sağlar [9]. Ayrıca, karar sürecinde sadece AHP değil, TOPSIS, VIKOR [10], ELECTRE, PROMETHEE gibi alternatif çok kriterli karar verme teknikleri de kullanılmaktadır; bu teknikler, karar vericilere, alternatif alanları ideal çözüme olan uzaklıklarına göre sıralayarak karşılaştırmalı değerlendirme olanağı sağlamaktadır. Hibrit sistemler, bu yöntemleri birlikte veya ardışık olarak uygulayarak karar sürecinin çok boyutlu yapısını daha iyi temsil edebilmektedir.

CBS tabanlı hibrit sistemlerin sunduğu en büyük avantajlardan biri karar sürecinin görselleştirme kapasitesidir. Uygunluk haritaları farklı kriterlere göre ağırlıklandırılan raster analizleri ile oluşturulur; potansiyel depolama alanları mekânsal olarak sınıflandırılır ve karar vericilerin somut çıktılar üzerinden değerlendirmeler yapmasına olanak tanır [4]. Ayrıca tampon analizleri, eğim ve yön analizleri ve bindirme analizleri gibi CBS işlemleri çevresel hassasiyetlerin ve coğrafi kısıtlamaların sistematik olarak dikkate alınmasını sağlar [11]. Böylece çevresel etki değerlendirmeleri, sosyal kabul analizleri ve mühendislik kısıtlamaları tek bir platformda entegre bir şekilde analiz edilebilir, bu da karar sürecini daha bütünsel ve bilimsel bir temele oturtur.

Tüm bu özellikleriyle GIS tabanlı hibrit sistemler, geleneksel yöntemlere kıyasla çok daha kapsamlı, tutarlı ve bilimsel bir analiz ortamı sunmaktadır. Özellikle büyükşehir belediyeleri ve çevre yönetiminden sorumlu kurumlar için bu sistemlerin karar alma süreçlerine entegre edilmesi kaynakların verimli kullanılmasını sağlamakta ve çevresel ve sosyal sürdürülebilirliği desteklemektedir [12]. Ancak bu sistemlerin uygulanması için nitelikli personele, donanımlı yazılım altyapısına ve güncel veri setlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle bu sistemlerin yaygınlaştırılması için yerel yönetimlerin kapasite geliştirme faaliyetlerine öncelik vermesi ve ilgili kurumlar arasında veri paylaşımını ve teknik iş birliğini artırması büyük önem taşımaktadır.

IV. SONUÇLAR

Sonuç olarak, belediye katı atık depolama alanlarının belirlenmesinde kullanılan geleneksel yöntemler, uygulama kolaylığı ve düşük teknoloji gereksinimi nedeniyle bazı durumlarda hala kullanılmakta, ancak karmaşık çevresel sistemlerin yönetiminde yetersiz kalmaktadır. CBS tabanlı hibrit karar destek sistemleri ise, çok kriterli, çok katmanlı ve belirsiz karar problemlerini bütünsel bir şekilde ele alarak, yer seçimi süreçlerinde daha rasyonel, şeffaf ve sürdürülebilir çözümler sunmaktadır. Günümüzde artan atık miktarı,

sıkılaşılan çevre düzenlemeleri ve kamuoyunun çevresel hassasiyetleri göz önüne alındığında, bu tür ileri analiz yöntemlerinin belediye hizmetlerinde temel planlama aracı olarak benimsenmesi kaçınılmaz bir zorunluluktur.

KAYNAKLAR

- [1] Turcott Cervantes DE, López Martínez A, Cuartas Hernández M, Lobo A (2018) Using indicators as a tool to evaluate Municipal Solid Waste Management: a critical review. *Waste Manag* 80:51-63. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.08.046>
- [2] Kamdar I, Ali A, Bennui A, Techato K (2019) Municipal solid waste landfill siting using an integrated GIS-AHP approach: a case study from Songkhla, Thailand. *Resour Conserv Recycl* 149:220-235. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.05.027>
- [3] Khan MMUH, Vaezi M, Kumar A (2018) Optimal siting of solid waste-to-value-added facilities through a GIS-based assessment. *Sci Total Environ* 610-611:1065-1075. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.08.169>
- [4] Karabulut, A. İ., Yazici-Karabulut, B., Derin, P., Yesilnacar, M. I., & Cullu, M. A. (2022). Landfill siting for municipal solid waste using remote sensing and geographic information system integrated analytic hierarchy process and simple additive weighting methods from the point of view of a fast-growing metropolitan area in GAP area of Turkey. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(3), 4044-4061. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-15951-7>
- [5] Feng Y, Liu Y, Batty M (2016) Modeling urban growth with GIS based cellular automata and least squares SVM rules: a case study in Qingpu-Songjiang area of Shanghai, China. *Stoch Environ Res Risk Assess* 30(5):1387-1400. <https://doi.org/10.1007/s00477-015-1128-z>
- [6] Yesilnacar MI, Cetin H, Yazgan MS (2000) Estimation of hazardous waste materials to be generated in the GAP region. In *GAP Environmental Congress 2:935-942* (in Turkish)
- [7] Yeşilnacar MI et al (2008) Generation of GIS-based algorithms for site selection of sanitary landfilling. TUBITAK-CAYDAG Project no 106Y305 (in Turkish)
- [8] Yesilnacar MI, Süzen ML, Şener-Kaya B, Doyuran V (2012) Municipal solid waste landfill site selection for the city of Sanliurfa-Turkey: an example using MCDA integrated with GIS. *Int J Digit Earth* 5(2):147-164. <https://doi.org/10.1080/17538947.2011.583993>
- [9] Torabi-Kaveh M, Babazadeh R, Mohammadi SD, Zaresefat M (2016) Landfill site selection using combination of GIS and Fuzzy AHP, A case study: Iranshahr, Iran. *Waste Manag Res* 34(5):438-676. <https://doi.org/10.1177/0734242X16633777>
- [10] Liu HC, Yo JX, Fan XJ, Chen YZ (2014) Site selection in waste management by the VIKOR method using linguistic assessment. *Appl Soft Comput* 21:453-461. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2014.04.004>
- [11] Mohsin, M., Ali, S. A., Shamim, S. K., & Ahmad, A. (2022). A GIS-based novel approach for suitable sanitary landfill site selection using integrated fuzzy analytic hierarchy process and machine learning algorithms. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-30.
- [12] Moumane, A., Al Karkouri, J., & Batchi, M. (2025). Utilizing GIS, remote sensing, and AHP-multi-criteria decision analysis for optimal landfill site selection in Kenitra Province, Morocco: a step towards sustainable development goals. *Discover Environment*, 3(1), 4.