

Journal of Transportation and Logistics

Araştırma Makalesi | Research Article

🔓 Açık Erişim | Open Access

İstanbul Avrupa Yakası İlçeleri için Deprem Enkaz Toplama Alanlarının Belirlenmesinde Sürdürülebilirlik Odaklı Bir Yaklaşım

A Sustainability-Focused Approach to Determining Earthquake Debris Collection Areas for the European Side Districts of İstanbul



Duygun Fatih Demirel¹  & Eylül Damla Gönül Sezer² 

¹ İstanbul Kültür University, Department of Industrial Engineering, İstanbul, Türkiye

² Yeditepe University, Department of Industrial Engineering, İstanbul, Türkiye

Öz

Deprem sonrasında oluşan enkazın hızla kaldırılması, belirlenen alanlara taşınması ve çeşitli yöntemlerle bertarafı hem halk sağlığı hem de afet sonrası sürecin yürütülmesinde önem teşkil eder. Özellikle deprem kuşağı üzerindeki şehirler için, afet yönetim planlarının önceden geliştirilmesi gereklidir. Bu planların büyük çoğunluğu, deprem sonrasında enkazın toplanabileceği uygun alanların belirlenmesini de içerir. Literatürdeki çalışmalar, enkaz alanlarının seçimi için farklı ekonomik ve çevresel kriterlerin değerlendirildiği çeşitli yöntemlerin kullanıldığını göstermektedir. Ancak İstanbul için benzer bir bilimsel çalışmanın bulunmaması önemli bir eksiklikler. Bu çalışmada, İstanbul'un Avrupa Yakası ilçeleri için enkaz toplama alanlarının belirlenmesi amacıyla sürdürülebilirlik odaklı bir yöntem önerilmektedir. Önerilen yöntemin ilk aşamasında olası bir deprem senaryosuna göre İstanbul Avrupa Yakası ilçelerinde oluşabilecek enkazın boyutu tahmin edilmektedir. İkinci aşamada ise, maliyet, çevresel etkiler, enkaz alanlarına uzaklık, su kaynakları ve doğal yaşam alanlarına etkiler gibi faktörleri dikkate alan Çok Nitelikli Fayda Teorisi (ÇNFT)'ne dayalı bir seçim modeli sunulmaktadır. Elde edilen sayısal bulgular mevcut hafriyat döküm alanlarının kapasite yönünden yetersiz kalacağını, yeni enkaz toplama alanlarına ihtiyaç duyulduğunu ortaya koymuştur. Ayrıca çalışma sonuçlarına göre sürdürülebilirlik açısından mevcut hafriyat döküm alanlarının belirlenen aday enkaz toplama alanlarına kıyasla alt sıralarda yer aldığı görülmektedir. Bilindiği kadarıyla bu makale enkaz toplama alanı seçiminde ÇNFT yaklaşımına yer veren ilk çalışmadır.

Abstract

The rapid removal of debris after an earthquake, its transport to designated areas, and its disposal are critical for both public health and the management of the post-disaster process. For cities located close to earthquake fault lines, disaster management plans should be developed in advance. A significant part of these plans involves identifying appropriate debris collection areas. Literature shows that different methods using economic and environmental criteria are used for this task. However, there is a significant gap due to the lack of a similar study for İstanbul. This study proposes a sustainability-oriented method to identify debris collection areas in the European districts of İstanbul. First, the potential debris volume is estimated based on an earthquake scenario. Next, a selection model based on Multi-Attribute Utility Theory (MCBT) is proposed, considering factors such as cost, environmental impacts, proximity to debris areas, water resources, and effects on wildlife. The findings indicate that current disposal sites are not sufficient in terms of capacity, showing the need for new collection areas. Moreover, the sustainability ranking of existing sites is lower than the proposed candidate areas. To our knowledge, this is the first study to apply the MAUT in debris site selection.

Anahtar Kelimeler Enkaz Yönetimi • Sürdürülebilirlik • Çok Nitelikli Fayda Teorisi • Çok Kriterli Karar Verme • Deprem



Atıf | Citation: Demirel, D. F. & Gönül Sezer, E. D. (2025). A sustainability-focused approach to determining earthquake debris collection areas for the european side districts of İstanbul. *Journal of Transportation and Logistics*, 10(2), 236-255. <https://doi.org/10.26650/JTL.2025.1609171>

© This work is licensed under Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License. 

© 2025. Demirel, D. F. & Gönül Sezer, E. D.

✉ Sorumlu Yazar | Corresponding author: Duygun Fatih Demirel d.demirel@iku.edu.tr



Keywords

Debris Management • Sustainability • Multi-Attribute Utility Theory • Multi-Criteria Decision Making • Earthquake

Extended Summary

It is of critical importance to quickly remove the debris that will occur after the earthquake, dump it in appropriate areas and dispose of it in these areas by various means. Such removal and rehabilitation operations are part of disaster management plans, and it is essential to create those plans before a disaster, especially in a big city like Istanbul, which is under constant earthquake threat. One of the issues that needs to be addressed within the debris management context is the determination of suitable areas to collect the debris that will occur after the earthquake. When the studies in the literature are examined, it can be seen that research on debris site selection uses different methods to consider many economic and environmental criteria together, and in some studies, the possible consequences of the strategies to be followed regarding site selection are analyzed with various approaches. However, the fact that no similar scientific study has been carried out for Istanbul is a major deficiency.

In this study, a method that includes environmentally friendly approaches is proposed to determine the areas where earthquake debris will be collected for the European Side of Istanbul. Within the scope of the proposed method, first an earthquake scenario is generated and the amount of debris that may occur as a result of this hypothetical earthquake is estimated based on the debris formation characteristics mentioned in the literature. Next, the eight candidate earthquake debris collection areas for the European Side of Istanbul are determined and the criteria to be included in the evaluation of these candidates are identified. These criteria are based on the similar literature of solid waste collection area or debris collection area selection literature and they include distance to debris fields, capacity, distance to residential areas, distance to main roads, distance to wetlands, distance to the sea, distance to forest areas, and distance to agricultural areas. These criteria are related to the environmental sustainability concepts. Once the candidate locations and evaluation criteria are identified, a selection model based on the multi-attribute utility theory (MAUT) is applied on the seven excavation dumping areas and rehabilitation areas that are located in European Side of Istanbul as well as the eight candidate debris collection areas. The proposed MAUT model combines existing risk factors in the formulation of a utility function, thus scoring the value of an alternative according to a criterion according to the risk attitude of the decision-maker. Therefore, MAUT provides superiority over the existing multicriteria decision-making methods in terms of its simplicity and the way it treats the actual scores of the alternatives in terms of the criteria as it transforms them into utility values.

The numerical findings revealed that the existing excavation dumping areas would be insufficient in terms of capacity and that new debris collection areas were needed. In addition, according to the study results, the existing excavation dumping areas are ranked lower in terms of sustainability compared to the designated candidate debris collection areas. The overall results highlight the necessity of pre-earthquake preparations in terms of debris management to ensure a quick response to such disasters and could be viewed as a guide for policymakers and researchers. The study contributes to the literature by displaying a methodology to estimate possible debris occurrence because of an Earthquake that may affect Istanbul. In addition, it examines the sustainable and appropriate criteria for determining debris collection areas and provides a systematic approach to evaluate the suitability of existing debris collection areas. Last but not least, to the best of our knowledge, this article is the first attempt to integrate MAUT in the earthquake debris removal site selection problem in literature.

İstanbul Avrupa Yakası İlçeleri için Deprem Enkaz Toplama Alanlarının Belirlenmesinde Sürdürülebilirlik Odaklı Bir Yaklaşım

Türkiye, depremselliği yüksek bir bölgede bulunmakta, sık sık sismik aktivitelere maruz kalmaktadır. Marmara Bölgesi'nde beklenen olası bir deprem ise Türkiye için en kritik sismik aktivitelerden biri olarak kabul edilmektedir. Uzmanlar, Marmara Denizi içinde yer alan Kuzey Anadolu Fay Hattı'nın (ana Marmara Fayı olarak bilinir) kuzey segmentinde meydana gelebilecek sismik bir aktivitenin İstanbul üzerinde olumsuz

etkiler yaratabileceğini belirtmektedir (İBB, 2020). Prens Adaları'nın güneyinden geçen fay hattı ya da Yeşilköy ve Silivri açıkları arasındaki segmentin farklı zamanlarda ya da aynı anda kırılma potansiyeline sahip olduğu ifade edilmektedir. Bu senaryolar, uzmanlar tarafından, Richter ölçeğinde 7.6 Mw büyüklüğüne ulaşabilecek depremlerle sonuçlanabilir, şeklinde yorumlanmaktadır (Görür, 2020). Uzmanlar, bu depremlerin İstanbul'un pek çok bölgesinde yıkıcı olarak sınıflandırılan XII Mercalli şiddetiyle hissedilebileceğini öngörmektedir.

İstanbul, Türkiye için ekonomik faaliyetlerin çeşitliliği ve büyüklüğü ile nüfus yoğunluğu açısından büyük bir öneme sahiptir. Ancak bu denli büyük bir ekonomik ve demografik potansiyelin tek bir noktada yoğunlaşması önemli riskleri de beraberinde getirmektedir. Fay hatlarına yakınlık, deprem dayanıklılığı düşük yapılar, jeolojik olarak savunmasız alanlarda yoğunlaşan nüfus gibi faktörler, büyük bir depremin ciddi can kayıplarına yol açabileceğini göstermektedir. Ayrıca, şiddetli bir deprem nedeniyle ekonomik faaliyetlerin aniden durması, işgücü ve sermaye kaybı, altyapı ve sanayi tesislerinin zarar görmesi, enerji ve telekomünikasyon sistemlerine zarar gelmesi, finans ve ticaret merkezlerinin olumsuz etkilenmesi ve yatırımların kesintiye uğraması Türkiye genelinde büyük bir ekonomik buhran ihtimaline işaret etmektedir. Deprem için alınması gereken önlemler ve risk yönetimi, deprem öncesi ve sonrası faaliyetler olarak iki etapta düşünülebilir. Deprem sonrası dönem için yapılması gereken eylem planlarının başında, deprem sonrası ilk günlerde arama-kurtarma faaliyetleri yer alırken, ilerleyen safhada ise enkaz yönetimi oldukça kıymetlidir.

Bu nedenle, afet sonrası dönemde özellikle enkaz yönetimi açısından etkili risk ve kriz yönetimi stratejilerine ihtiyaç duyulmaktadır. Olası enkazın hızlı bir şekilde kaldırılması, hem arama-kurtarma faaliyetlerinin etkinliğini artırmak, hem de afet sonrasındaki ilk günlerde normal yaşama dönüşü sağlamak için gereklidir. Aksi takdirde, halkın yaşanan krizin ardından, bir de olumsuz yaşam koşullarıyla daha fazla mücadele etmek zorunda kalabileceği öngörülmektedir. 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremleri sonrasında yetkililer tarafından yürütülen faaliyetler arasında enkazın nasıl taşınacağı ve nereye yerleştirileceğine dair somut bir plan bulunmaması ve buna bağlı olarak yaşanan olumsuzluklar konunun önemine örnek teşkil edecek niteliktedir.

Deprem riski olan bölgelerde, geçici enkaz toplama alanlarının belirlenmesi, afet hazırlığı açısından önemli bir rol oynamaktadır. Bu bağlamda, ilgili yetkililerin, çeşitli kriterleri dikkate alarak, deprem sonrası enkazın toplanabileceği yerleri belirleme konusunda işbirliği içinde çalışması kritik önem taşımaktadır. Bu, hızlı arama-kurtarma operasyonları, güvenlik, erişilebilirlik, kaynakların optimal yönetimi, halkın hazırlık seviyesinin artırılması, çevre üzerindeki olumsuz etkilerin azaltılması, ve etkili iletişim ve koordinasyon için gereklidir.

AFAD tarafından İstanbul için hazırlanan İl Afet Risk Azaltma Planı'nda da konu ile ilgili riskler ve bu riskleri azaltmaya yönelik öneriler sunulmaktadır. Bunun yanı sıra yine İstanbul Büyükşehir Belediyesi tarafından hazırlanan Olası Yıkıcı Bir İstanbul Depreminde Oluşabilecek Enkaza Dair Yönetim Planı'nda (İstanbul Büyükşehir Belediyesi, 2021) 7,5 büyüklüğünde meydana gelebilecek bir depremde oluşacak enkazın büyüklüğü, içeriği ve enkazın kaldırılması için gerekli kaynaklara dair tahminler ile mevcut hafriyat döküm alanlarına ilişkin bilgiler sunulmaktadır. Enkaz yönetiminin insan hayatını koruma, toplumsal dayanıklılığı artırma, sağlık risklerini azaltma ve çevreyi koruma açısından hayati bir rol oynadığı (Zhang vd., 2019) göz önüne alındığında öngörülen deprem riskinin gerçekleşmesi durumunda enkaz yönetiminin verimli bir şekilde gerçekleştirilmesinin önemi açıkça ortadadır.

Bu çalışmada, olası İstanbul depreminde Avrupa Yakası'nda oluşması öngörülen enkazın yönetimini kolaylaştırmak adına, en uygun geçici enkaz toplama alanlarının seçilmesi için sürdürülebilir yaklaşımları da içeren bir yöntem önerilmektedir. Temel amaç potansiyel enkaz alanlarını bilimsel bir yöntemle daya-

arak belirlenmektedir. Çalışmanın ilk aşamasında bir deprem senaryosu oluşturulmakta, bu senaryoya göre İstanbul'un Avrupa Yakası ilçelerinde meydana gelebilecek enkaz tahmin edilmektedir. İkinci aşamada enkaz toplama alanlarının belirlenmesi ve mevcut enkaz toplama alanlarının da uygunluk açısından değerlendirilmesi amacıyla bir Çok Nitelikli Fayda Teorisine (ÇNFT) dayanan bir model oluşturulmuştur. Bu model, maliyet, çevresel etkiler, enkaz alanlarına yakınlık, su kaynakları ve doğal yaşam alanlarına etkiler gibi faktörleri dikkate almaktadır.

Çalışmanın temel araştırma soruları şu şekildedir:

- Olası bir deprem senaryosunda, İstanbul Avrupa Yakası'nda oluşabilecek enkaz miktarı ve dağılımı nasıl tahmin edilebilir?
- Enkaz toplama alanlarının belirlenmesi için en sürdürülebilir ve uygun kriterler nelerdir?
- Mevcut enkaz toplama alanlarının uygunluğu nasıl değerlendirilebilir?
- Çok Nitelikli Fayda Teorisi (ÇNFT) modelinde yer alan maliyet, çevresel etkiler, yakınlık ve doğal yaşam alanları gibi faktörler, geçici enkaz toplama alanlarının seçiminde nasıl bir etkiye sahiptir?

Çalışmadan elde edilen sonuçlar İstanbul'un olası bir depreme hazırlığı için geliştirilecek planlar açısından yol gösterici niteliktedir. Ayrıca çalışmayla enkaz toplama alanlarının belirlenmesinde ÇNFT yaklaşımının kullanılmasına literatürde ilk defa yer verilmektedir. Makalenin geri kalanı şu bölümlerden oluşmaktadır: Bir sonraki bölümde literatürde yer alan enkaz toplama alanlarının belirlenmesine yönelik çalışmalar incelenmiştir. Yöntem kısmında İstanbul Avrupa Yakası ilçeleri için enkaz toplama alanlarının belirlenmesine yönelik önerilen yöntem verilmektedir. Çalışmadan elde edilen sayısal çıktılar Bulgular bölümünde sunulmaktadır. Çalışma Tartışma ve Sonuç kısmı ile bitirilmektedir.

Literatür Araştırması

Afet sonrası enkaz yönetimini inceleyen çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmalar incelendiğinde, enkaz yönetiminin toplama, bertaraf ve geri dönüşüm aşamalarından oluştuğu görülmektedir. Yapılan çalışmalar genellikle bu üç aşamayı da incelemektedir. Optimizasyon yöntemleri ise literatürde sıkça enkaz yönetimi problemi için kullanılmaktadır. Bir çalışmada, geçici afet enkaz toplama alanlarının seçimini içeren ve enkaz kaldırma maliyetlerini, toplam işlem süresini ve çevresel etkileri en aza indirmeyi hedefleyen çok amaçlı bir karma tamsayılı doğrusal optimizasyon modeli önerilmiştir (Wang, vd., 2019). Enkaz toplama, taşıma, geri dönüşüm ve bertaraf süreçlerinde analitik modeller kullanan bir karar destek aracı geliştirilmiştir. Bu araç, finansal ve çevresel maliyetleri optimize etmeyi, toplama ve bertaraf işlemlerinin süresini, enkaz toplama alanlarının kullanımını ve geri dönüştürülen malzeme miktarını dengelemeyi amaçlamaktadır (Lorca, vd., 2017). Yazdani, vd. (2024) afet sonrası enkaz toplanması sürecinin optimizasyonuna yönelik derin öğrenmenin entegre edildiği bir sezgisel üstü yöntem önermektedir.

Geçici enkaz toplama alanlarının belirlenmesinde coğrafi bilgi sistemlerini (GIS) kullanan çalışmaların sayısı da oldukça fazladır. Grzeda ve arkadaşları (2014), ilgili alanları belirlemek için Binom Dağılım Kümeleme Analizi ve GIS kullanan bir yaklaşım geliştirmiştir (Lee, vd., 2020). Başka bir çalışmada geçici enkaz toplama alanlarının belirlenmesi için GIS'te bulunan optimizasyon araçları ile dinamik bir simülasyon modelini entegre eden bir yöntem önerilmiştir (Kim, vd., 2014).

Geçici enkaz toplama alanlarının belirlenmesinde sıklıkla kullanılan diğer bir yöntem ise Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) teknikleridir. Moon vd. (2017), AHP yöntemi ile enkaz yönetimi için bir değerlendirme yapmışlardır. 2023 Kahramanmaraş depremleri için geçici enkaz toplama alanlarını belirlemek üzere taşıma sürecindeki karbon emisyonlarını dikkate alan AHP ve TOPSIS yöntemlerini birleştiren bir hibrit yaklaşım önerilmiştir (Demir ve Dinçer, 2023). Başka çalışmalarda ise bulanık AHP ve bulanık TOPSIS içeren ve enkaz

malzemelerinin önem sıralamasını yapan modeller önerilmiştir (Habib & Sarkar, 2017; Bazzocchi, vd., 2021; Aydın, vd., 2024).

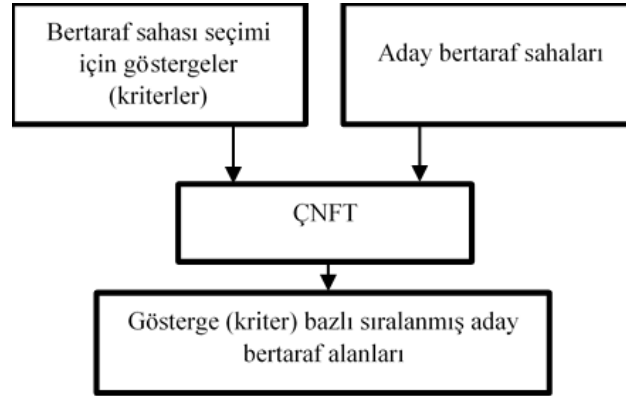
Son dönemdeki çalışmaların incelenmesi, geçici enkaz toplama alanlarının belirlenmesinin yanı sıra, enkazın bu alanlara taşınması, bertaraf edilmesi, geri dönüşüm süreçlerinin yönetimi ve enkaz tahmini ile ilgili konularda kapsamlı araştırmalar yapıldığını ortaya koymaktadır. Örnek bir çalışmada, 2015 Gorkha, Nepal Depremi sonrasında oluşan molozların içerik ve hacmini tahmin ederek, moloz geri dönüşümüne odaklanmıştır (Khanal, vd., 2021). 2023 Kahramanmaraş Depremleri sonrasında bölgedeki molozlardan kaynaklanan hava ve su kirliliği ile toz emisyonu gibi sorunlar incelenmiştir (Ahmed, vd., 2023). Benzer şekilde, Kahramanmaraş Depremleri sırasında kullanılan geçici enkaz toplama alanlarının çevresel ve sağlık açısından olumsuz etkiler yaratabileceğini vurgulamış ve oluşan molozların hacmi ve içeriği hakkında tahminlerde bulunan bir çalışma yapılmıştır (Mavroulis, vd., 2023). 2023 Kahramanmaraş Depremlerini enkaz yönetimi, sürdürülebilirlik ve geçici enkaz toplama alanlarının çevresel faktörler açısından değerlendirilmesi de literatürde son zamanlarda yer verilen konular arasındadır (Bektaş & Shmlls, 2024; Dinçer, vd., 2024; Kasapoglu, vd., 2024).

Kullanılan yöntemler ve problemin yapısı gereği geçici enkaz toplama alanlarının belirlenmesi probleminin bir katı atık toplama yeri seçimi problemine dolayısıyla bir tesis yer seçim problemine benzediği öne sürülebilir. Son yıllarda yapılan çalışmalar incelendiğinde katı atık toplama yeri seçimi amacıyla genel olarak Analitik Hiyerarşi Süreci ve varyantları (Guiqin, vd., 2009; Şener, vd., 2010; Eskandari, vd., 2015; Djokanovic, vd., 2016; Balew, vd., 2020; Şener & Şener, 2020; Asefa, vd., 2021; Majid & Mir, 2021), TOPSIS (Yal & Akgün, 2013; Kharat, vd., 2016), MULTIMOORA (Rahimi, 2020), Basit Toplam Ağırlık Yöntemi (Karakuş, vd., 2020), VIKOR (Liu, vd., 2014), PROMETHEE (Hamzeh, vd., 2015), Analitik Ağ Süreci (Afzali, vd., 2014), vb. çok amaçlı karar verme yöntemlerine sıkça başvurulduğu gözlenmektedir. Coğrafi bilgi sistemlerinin entegre edildiği yaklaşımlar (Djokanovic, vd., 2016; Karakuş, vd., 2020; Asefa, vd., 2021; Majid & Mir, 2021; Balew, vd., 2022) ve bulanık yaklaşımların (Nazari, vd., 2012; Liu, vd., 2014; Kharat, vd., 2016; Rahmat, vd., 2017; Karimi, vd., 2019; Rahimi, 2020; Şener & Şener, 2020; Kareem vd., 2021) da bu alandaki çalışmalarda yer aldığı görülmektedir. Yapı itibarıyla karma tamsayı programlama tipindeki optimizasyon modellerinin atık toplama yeri seçiminde uygulanabileceği düşünülse de literatürde bu tarz çalışmalara son yıllarda rastlanılmamaktadır.

Özetlemek gerekirse literatürde, afet sonrası enkaz yönetiminin toplama, bertaraf ve geri dönüşüm aşamalarını içeren çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalar genellikle optimizasyon yöntemleri ve coğrafi bilgi sistemlerinin (GIS) entegrasyonu ile geçici enkaz toplama alanlarının belirlenmesine odaklanırsa da, çevresel etkilerin ve sürdürülebilirlik unsurlarının yeterince kapsamlı bir şekilde ele alınmadığı söylenebilir. Ayrıca, çok kriterli karar verme (ÇKKV) tekniklerinin kullanımıyla belirlenen kriterler arasında sağlık ve çevresel etkilerin daha derinlemesine incelenmesi gereken alanlar mevcuttur. Sonuç olarak, mevcut çalışmaların sunduğu modellerin pratik uygulamaları ve uzun vadeli etkileri üzerine daha fazla araştırma yapılması gerekmektedir.

Yöntem

Bu çalışma, beklenen İstanbul depremi için Avrupa Yakası'ndaki enkazın taşınması ve bertaraf edilmesi için en uygun alanları seçmeyi ve seçilen alanları farklı koşullar ve beklenen enkaz yoğunlukları altında çevresel etkiler ve maliyetler açısından değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Bu aşamada en uygun alanların seçimi çeşitli faktörler dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir. Faktörlerin karşılaştırılmaları için Çok Nitelikli Fayda Teorisi (ÇNFT) kullanılmıştır. Bu yöntem nicel ve nitel kriterleri baz alarak en faydalı alternatifi bulmaya yönelik kullanılan bir yöntemdir. Hesaplamaya uygun hale getirilen veriler kullanılarak en fayda sağlayan alternatifi bulunması amaçlanır. Çalışma için önerilen yol haritası Şekil 1'de gösterilmektedir.

Şekil 1*Çalışma için önerilen akış şeması***Deprem Senaryosunun Oluşturulması**

Çalışma kapsamında İstanbul'u ciddi bir şekilde etkilemesi muhtemel bir deprem sonucu Avrupa Yakası'nda yer alan yirmi beş ilçede meydana gelebilecek enkazın büyüklüğü ve içeriği MS Excel tabanlı bir araç üzerinde tahmin edilmektedir. Bu bağlamda Eris vd. (2023)'te bahsedilen "İzmit Körfezi'nden başlayıp tüm Marmara Denizi'ni boydan boya geçen 174 km'lik bir fayın kırıldığı 7,7 MW büyüklüğünde bir deprem" senaryosu göz önünde bulundurulmuştur. Bu deprem sonucu ortaya çıkacak enkaz tahmininde, 17 Ağustos 1999 Gölcük Depreminin etkilediği bölgeler ile 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş Depremlerinin etkilediği bölgelerdeki yıkılan bina sayısı, çok ağır ve ağır hasarlı bina sayısı, orta hasarlı bina sayısı, hafif hasarlı bina sayısı ve hasarsız bina sayısı ile bu bölgelerde depremlerin hangi Mercalli büyüklüklerinde hissedildikleri bilgileri kullanılmaktadır. Bu verilerin incelendiği çalışmalardan Özmen (2000), Demir & Dinçer (2023), Eris vd. (2023), Mavroulis vd. (2023), TMMOB (2023a, 2023b), AFAD (2023a), T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı (2023) çalışmasının verileri kullanılarak tahmin işlemleri gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalardan yola çıkılarak hasar alan bir binadan ortaya çıkacak ortalama enkaz büyüklüğü ile bu enkazın içeriğine ilişkin de ortalama oran ve büyüklükler enkaz tahmininde kullanılmıştır.

Bertaraf Sahası Seçimi İçin Göstergeler (Kriterler)

Literatürde, katı atık ve enkaz toplama alanlarının seçimi için kullanılan göstergeler temelde benzerdir. Bu nedenle, özellikle çevresel etkiler göz önüne alındığında, atık toplama alanı seçiminde kullanılan göstergeler değerlendirilmiş ve bu çalışmada enkaz toplama alanlarının seçimi için sekiz kriter belirlenmiştir. Bu kriterlerin belirlenmesindeki bir diğer önemli husus, bir aday alanın herhangi bir kriter üzerindeki değerlendirilmesinde öznel yorumlardan kaynaklanan belirsizliklerin ortadan kaldırılmasıdır. Bu amaçla, uzman görüşüne dayalı değerlendirmeler yerine, açık sayısal ifadelerle doğrudan ilişkilendirilebilecek ölçülebilir kriterler literatür göz önünde bulundurularak kullanılmıştır (Habib & Sarkar, 2017; Moon, vd., 2017; Bazzocchi, vd., 2021; Demir & Dinçer, 2023; Aydın, vd., 2024). Kriterler şu şekilde detaylandırılabilir:

- **Kriter 1 - Taşınacak Enkaz Yoğunluğuyla Ağırlıklandırılmış Uzaklık:** Bu kriter, aday toplama alanının oluşması beklenen enkaz alanlarına olan mesafesinin taşınması gereken toplam enkaz yoğunluğu ile ağırlıklandırılmış büyüklüğünü ifade eder. Burada aday saha ile ilçe merkezleri (ilçe kaymakamlık binalarının bulunduğu yerler) arasındaki mesafe, Google Haritalar kullanılarak kilometre cinsinden hesaplanmıştır. Hesaplamalar kuş uçuşu değil, yol bazlı yapılmıştır. Arkasından bir ilçede oluşan enkaz (m^3 cinsinden) ilçe merkezi ve aday enkaz toplama alanı arasındaki mesafe çarpılmış ve tüm ilçeler üzerinden enkaz büyüklükleriyle ağırlıklandırılan bu mesafeler toplanarak aday noktanın Kriter-1'den aldığı değer belirlenmektedir. Böylece Kriter-1 $m^3 \cdot km$ birimine sahip olup hem taşınacak enkaz büyüklüğünü hem

de kat edilecek mesafeyi içerdiği için enkaz taşıma maliyetini temsil etmektedir. Ayrıca taşıma işlemleri sırasında ortaya çıkacak CO₂ salım miktarı mesafe ve yapılacak sefer sayısı ile ilişkili olduğundan bu kriter CO₂ salımı miktarını da etkilemektedir.

- **Kriter 2 - Kapasite:** Bu kriter, aday enkaz toplama alanının m³ cinsinden enkaz kapasitesini ifade eder. Aday bir alanın m² cinsinden büyüklüğü belirlenmiş ve 1 m² başına 15,47 m³ enkaz atığı sığabileceği varsayılmıştır (İstanbul Büyükşehir Belediyesi, 2021).
- **Kriter 3 - Yerleşim Alanlarına Uzaklık:** Aday enkaz toplama alanının en yakın yerleşim birimine olan ortalama mesafesini kilometre cinsinden ifade eder. En yakın mahalle muhtarlığı konumunun en yakın yerleşim alanı konumuna karşılık geldiği varsayılmıştır.
- **Kriter 4-Ana Yollara Uzaklık:** Aday enkaz toplama alanının en yakın ana yola olan mesafesini kilometre cinsinden ifade eder. Ana yollar, İstanbul'dan geçen devlet yolları ve otoyollar (D100, D110, D020, D567, D569, O2, O3 ve O7 gibi) olarak tanımlanmıştır.
- **Kriter 5-Sulak Alanlara Uzaklık:** Aday enkaz toplama alanının en yakın sulak alana veya su kaynağına (göl, gölet, baraj ve akarsu gibi) olan ortalama düz mesafesini kilometre cinsinden ifade eder. Mesafeler, aday alanın ve en yakın sulak alanın koordinatları kullanılarak, Öklid mesafesi yaklaşımıyla hesaplanmıştır.
- **Kriter 6-Denize Uzaklık:** Aday enkaz toplama alanının en yakın kıyı şeridinde olan ortalama düz mesafesini kilometre cinsinden ifade eder. Koordinatlar kullanılarak Öklid mesafesi yaklaşımıyla hesaplama yapılmıştır.
- **Kriter 7 - Ormanlık Alanlara Uzaklık:** Bu kriter, aday enkaz toplama alanının en yakın ormanlık alana olan ortalama düz mesafesini kilometre cinsinden ifade eder. Ormanlık alanlar hem bütün ormanlık hem de parçalı ormanlık alanları içermektedir.
- **Kriter 8 - Tarım Alanlarına Uzaklık:** Bu kriter, aday enkaz toplama alanının en yakın tarım alanına olan ortalama düz mesafesini kilometre cinsinden ifade eder.

Aday Bertaraf Sahaları

Aday bertaraf sahaları belirlenirken, mevcut bertaraf sahaları da göz önüne alınmıştır. Tablo 1 hem İstanbul'daki mevcut katı atık depolama alanlarının kapasitelerini ve koordinatlarını, hem de bu çalışma için seçilen aday sahaları göstermektedir. Aday alan seçimi yapılırken, mevcut alanlar için geliştirilen altyapı olanaklarından yararlanmanın maliyet ve kompleksite açısından yarar sağlayacağı düşünülerek, aday alanlar mevcut katı atık toplama alanlarına çok uzak olacak şekilde seçilmemiştir. Mevcut yedi katı atık bertaraf sahasının toplam kapasitesi yaklaşık 32,2 milyon m³'tür. 7,7 Mw büyüklüğünde bir deprem gerçekleşmesi durumunda beklenen toplam enkaz miktarının ise yaklaşık 45,6 milyon m³ olacağı Bulgular kısmında gösterildiği gibi tahmin edilmektedir. Bu nedenle, mevcut alanların yetersiz kalacağı aşikardır. Bu olumsuz durumu önlemek için çalışma kapsamında sekiz yeni aday saha belirlenmiştir. Mevcut ve aday enkaz toplama alanlarının konumları Şekil 2'de verilen haritada gösterilmektedir.

Tablo 1

Mevcut ve aday enkaz toplama alanlarının özellikleri

Alan	Semt/İlçe/Alan Adı	Koordinatlar	Tahmini Kapasite (m ³)
Mevcut Atık Toplama Alanı-1 (M1)	Çatalca- Ferhatpaşa Hafriyat Rehabilitasyon Sahası	41,1267502, 28,458563	4.383.868,025
Mevcut Atık Toplama Alanı-2 (M2)	Silivri- Ecemoba Hafriyat Rehabilitasyon Sahası	41,1775838, 28,0659894	6.479.549,476

Alan	Semt/İlçe/Alan Adı	Koordinatlar	Tahmini Kapasite (m ³)
Mevcut Atık Toplama Alanı-3 (M3)	İmrahor Hafriyat Atıkları Rehabilitasyon Sahası	41,2303929, 28,7622029	3.883.354,275
Mevcut Atık Toplama Alanı-4 (M4)	Arnavutköy-Boğazköy Hafriyat Atıkları Rehabilitasyon Sahası	41,2020891, 28,7939637	5.189.229,263
Mevcut Atık Toplama Alanı-5 (M5)	Eyüp-Çiftalan-Akpınar Hafriyat Atıkları Rehabilitasyon Sahası	41,283173, 28,8530535	9.282.351,324
Mevcut Atık Toplama Alanı-6 (M6)	Eyüp-Çiftalan Hafriyat Atıkları Rehabilitasyon Sahası	41,2592986, 28,8996984	2.326.259,636
Mevcut Atık Toplama Alanı-7 (M7)	Silivri Hafriyat Döküm Sahası	41,2040176, 28,1616081	641.610,050
Aday Alan-1 (A1)	İhsaniye, Eyüpsultan	41,224196, 28,802622	3.665.934,718
Aday Alan-2 (A2)	Göktürk, Eyüpsultan	41,213872, 28,850400	3.762.258,828
Aday Alan-3 (A3)	Çeltik, Silivri	41,169463, 28,079798	6.795.341,216
Aday Alan-4 (A4)	Dursunköy, Arnavutköy	41,199884, 28,652393	7.378.613,124
Aday Alan-5 (A5)	Bekirli, Silivri	41,245983, 28,223816	1.924.830,153
Aday Alan-6 (A6)	Yassıören, Arnavutköy	41,258145, 28,589549	4.652.519,271
Aday Alan-7 (A7)	Akpınar, Eyüpsultan	41,280454, 28,819969	8.767.736,050
Aday Alan-8 (A8)	Çiftalan, Eyüpsultan	41,254432, 28,918280	9.305.038,543

Şekil 2

Mevcut ve aday enkaz toplama alanlarının konumları



Aday enkaz toplama alanlarının belirlenmesi sürecinde mevcut yedi hafriyat döküm alanının konumsal dağılımı analiz edilmiş ve bu alanların karakteristik özelliklerine benzer sekiz yeni alternatif alan önerilmiştir. Alan seçiminde mekânsal uygunluk, erişilebilirlik ve lojistik faktörler dikkate alınarak rasyonel bir değerlendirme yapılmış, ayrıca tespit edilen alanlar ile mevcut alanların kapasitelerinin Bulgular kısmında sunulan deprem senaryosundaki tahmini enkaz büyüklüğünü barındırabilecek boyutta olmasına dikkat edilmiştir.

ÇNFT (Çok Nitelikli Fayda Teorisi) Modeli

ÇNFT, birden fazla kriter dikkate alınarak alternatifleri değerlendirmek ve sıralamak için yaygın olarak kullanılan bir karar verme yaklaşımıdır. Süreç, tüm alternatifler için tek bir fayda puanı elde etmeyi hedeflemektedir. Yönteme dair adımlar aşağıda özetlenmiştir.

Adım 1. Kriterlerin değerlendirilmesi: Kriterler, nicel veya nitel olup olmadıklarına göre değerlendirilir. Nicel kriterler, doğrudan gerçek değerleriyle karar matrisine yerleştirilirken, nitel kriterlere uzman görüşlerine dayanarak 0 ile 100 arasında değerler atanır. Bu değerler atanırken, nitel ifadeler doğrusal olarak sayısal değerlere dönüştürülmez; bunun yerine literatürdeki farklı yaklaşımlar kullanılabilir. Nitel kriterlere atanan bu değerler, ardından karar matrisine şu şekilde yerleştirilir.

$$X = \begin{pmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1j} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{i1} & \cdots & x_{ij} \end{pmatrix} \quad (1)$$

Burada, x_{ij} , i alternatifinin j kriterinden aldığı değeri temsil etmektedir.

Adım 2. Ağırlıkların belirlenmesi: Kriterlerin ağırlıkları belirlenir ve j 'inci kriterin ağırlığı w_j ile gösterilir. Bu ağırlıkların toplamı 1'e eşittir.

Adım 3. Normalizasyon: Bu süreçte önce kriterin özelliğine bağlı olarak fayda veya maliyet odaklı olmasına göre sınıflama yapılır. Her bir kriter için fayda fonksiyonu belirlenir ve normalizasyon, kriterin sınıflandırmasına uygun şekilde yapılır.

Fayda odaklı kriterler için normalizasyonu,

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\max(x_{ij})} \quad (2)$$

Maliyet odaklı kriterlerin normalizasyonu ise denklem (3)'e göre yapılmaktadır.

$$r_{ij} = \frac{\min(x_{ij})}{x_{ij}} \quad (3)$$

Adım 4. Fayda değerlerinin hesaplanması: Normalizasyonun ardından, fayda değerlerinin hesaplanması aşaması da kriterin fayda veya maliyet odaklı sınıflandırmasına uygun şekilde yapılmaktadır. Bu nedenle, her bir alternatif için j 'inci kriterin fayda değeri $u_j(x_{ij})$ ya doğrusal interpolasyon yoluyla ya da riskten kaçınan davranışı temsil eden üstel bir fayda fonksiyonu kullanılarak belirlenir.

Fayda odaklı kriterler için fayda değeri hesaplaması Denklem (4)'e göre yapılırken, maliyet odaklı kriterlerin fayda değeri hesaplaması Denklem (5)'e göre yapılmaktadır.

$$u_j(r_{ij}) = \frac{r_{ij} - \min(r_{ij})}{\max(r_{ij}) - \min(r_{ij})} \quad (4)$$

$$u_j(r_{ij}) = \frac{\max(r_{ij}) - r_{ij}}{\max(r_{ij}) - \min(r_{ij})} \quad (5)$$

Üstel bir fonksiyon kullanıldığında, fayda değeri şu şekilde belirlenir:

$$u_j(r_{ij}) = 1 - e^{\left(-\frac{r_{ij}}{R}\right)} \quad (6)$$

Bu denklemde, R parametresi risk toleransını temsil eder ve karar vericinin riske karşı tutumunu gösterir. Daha küçük bir R değeri, daha içbükey bir eğriye neden olarak artan riskten kaçınma eğilimini yansıtır. Üstel fonksiyon, Denklem (4) ve (5)'te olduğu gibi, 0 ile 1 arasında fayda değerleri üretir ve literatürde genellikle parasal maliyet, kâr ve mesafe gibi kriterlere fayda değeri atamak için kullanılır. Bu çalışmada, üstel fonksiyon, mesafedeki doğrusal artışı fayda değerlerine dönüştürmede doğrusal olmayan bir yaklaşım sağlamaktadır.

Adım 5. Toplam fayda puanının belirlenmesi: Teker teker değerlendirme ile elde edilen fayda fonksiyonlarının ardından, değerlendirmeye alınan her bir alternatif enkaz toplama alanı için toplam fayda değeri, $U(A_i)$ hesaplanır.

$$U(A_i) = \sum_j w_j u_j(x_{ij}) \quad (7)$$

Adım 6. Alternatiflerin sıralanması: Toplam fayda değerleri hesaplanan enkaz toplama alanları en faydalıdan başlanarak sıralanır.

Bulgular

Bu kısımda deprem senaryosuna göre İstanbul'un Avrupa Yakası ilçelerinde oluşacak enkazın boyutunun tahmin edilmesi ve önerilen ÇNFT modeline göre enkaz toplama alanlarının uygunluk açısından sıralanmasına dair bulgulara yer verilmektedir.

Enkaz Tahminine Yönelik Bulgular

Yöntem kısmında belirtilen senaryolara ilişkin enkaz oluşumu tahmininde kullanılan veriler Tablo 2 ve Tablo 3'te sunulmuştur.

Tablo 2

Hissedilen farklı Mercalli şiddetlerine göre bina hasar oranları

Mercalli Şiddeti	Çok Ağır ve Ağır Hasarlı Bina Oranı (%)	Orta Hasarlı Bina Oranı (%)	Hafif Hasarlı Bina Oranı (%)	Hasarsız Bina Oranı (%)
6	0,04	0,22	0,24	99,5
7	0,91	2,67	2,59	93,83
8	2,82	4,41	5,31	87,46
9	15,7	18,16	22,75	43,39
10	33,06	15,29	19,14	32,51

Farklı Mercalli şiddetlerinin hissedildiği bölgelerdeki tahmini hasar oranları 1999 Gölçük Depremi verileri baz alınarak (Özmen, 2000) belirlenmiştir. Buna göre, bir bölgede 6 ile 10 arasında hissedilecek Mercalli şiddetlerine göre çok ağır ve ağır hasarlı orta hasarlı, hafif hasarlı ve hasarsız bina oranları Tablo 2'de sunulmaktadır. İstanbul ili Avrupa Yakası'nda yer alan 25 ilçeye ait bina sayısı, bina başına ortalama bağımsız birim sayısı ve toplam bağımsız birim sayısı verileri ise Tablo 3'te gösterilmektedir. Burada yer verilen ilçe bazlı bina sayıları verileri İlçe Olası Deprem Kayıp Tahmini Kitapçıkları (İstanbul Büyükşehir Belediyesi, 2020) derlenerek elde edilmiştir. Bağımsız birim sayısı toplam hane sayısına karşılık gelmekte olup ilçe bazlı verilerin kestirilmesi amacıyla ilçe nüfusları ilçelerdeki ortalama hane büyüklüğüne bölünmüş, böylece her ilçede ortalama kaç hane olduğu tahmin edilmiştir. Bu işlemi takiben her ilçedeki ortalama hane sayısı ilgili ilçedeki bina sayısına bölünerek ilçeler için bir bina başına ortalama bağımsız birim sayısı bulunmuştur. Böylece ilçeler arasındaki bina başına ortalama birim sayılarında mevcut olan farklılıkların enkaz oluşumuna etkisi de dikkate alınmıştır. İlçelerdeki bina sayıları, ilçe nüfusları, ortalama hanehalkı büyüklükleri verileri İstanbul Büyükşehir Belediyesi (2020) ve TÜİK istatistiklerinden (TÜİK, 2022; 2024; 2025) temin edilmiştir.

Tablo 3

Avrupa Yakası bina ve bağımsız birim verileri

İlçe	Bina Sayısı	Bina Başına Ortalama Bağımsız Birim Sayısı	Bağımsız Birim Sayısı
Arnavutköy	31.948	2,718	86.822
Avcılar	26.762	5,313	142.179
Bağcılar	42.446	4,816	204.438
Bahçelievler	23.276	8,005	186.316
Bakırköy	11.950	6,974	83.340

İlçe	Bina Sayısı	Bina Başına Ortalama Bağımsız Birim Sayısı	Bağımsız Birim Sayısı
Başakşehir	25.791	5,515	142.237
Bayrampaşa	20.952	4,119	86.305
Beşiktaş	16.037	4,750	76.169
Beylikdüzü	12.753	10,085	128.609
Beyoğlu	27.335	2,900	79.270
Büyükkçekmece	31.343	2,834	88.840
Çatalca	27.302	1,079	29.455
Esenler	23.766	5,370	127.627
Esenyurt	38.685	7,522	290.997
Eyüp	34.363	4,035	138.660
Fatih	43.560	3,008	131.041
Gaziosmanpaşa	29.283	5,133	150.302
Güngören	10.914	8,069	88.066
Kâğıthane	29.103	5,293	154.034
Küçükçekmece	40.136	6,318	253.591
Sarıyer	49.391	2,472	122.109
Silivri	50.096	1,500	7.5142
Sultangazi	33.969	6,573	223.263
Şişli	20.698	3,525	72.962
Zeytinburnu	16.000	5,363	85.811
Avrupa Yakası Toplam	717.859		3.247.596

Eris, vd. (2023)'nin çalışmasında yer verilen deprem senaryosuna göre ilçelerde depremin kaç Mercalli şiddetinde hissedileceğine ilişkin tahminler Tablo 2 ve Tablo 3'teki verilerle birleştirilerek olası hasarlı bina ve bağımsız birim sayıları tahmin edilmiş ve bundan yola çıkılarak hesaplanan enkaz miktarları da Tablo 4'te sunulmuştur.

Tablo 4

Deprem senaryosuna göre ilçelerde oluşan enkaz

İlçe	Hissedilen Mercalli Şiddeti	Çok Ağır ve Ağır Hasarlı Bağımsız Birim Sayısı	Orta Hasarlı Bağımsız Birim Sayısı	Hafif Hasarlı Bağımsız Birim Sayısı	İnşaat Enkazı Miktarı (m ³)	Evsel Malzeme Atıkları (m ³)	Taşınması Gereken Toplam Enkaz (m ³)
Avrupa Yakası		691.672	361.659	447.375	45.447.726	183.743	45.631.469
Arnavutköy	7	790	2.318	2.247	64.860	262	65.122
Avcılar	10	47.007	21.739	27.211	3.069.103	12.408	3.081.511
Bağcılar	10	67.589	31.258	39.128	4.412.904	17.841	4.430.746
Bahçelievler	10	61.595	28.488	35.660	4.021.612	16.259	4.037.871
Bakırköy	10	27.554	12.741	15.949	1.799.024	7.273	1.806.297
Başakşehir	7	1.296	3.799	3.684	106.300	429	106.730
Bayrampaşa	10	28.533	13.197	16.517	1.862.973	7.531	1.870.505
Beşiktaş	7	693	2.032	1.971	56.874	229	57.104
Beylikdüzü	10	42.516	19.664	24.616	2.775.932	11.223	2.787.155

İlçe	Hissedilen Mercalli Şiddeti	Çok Ağır ve Ağır Hasarlı Bağımsız Birim Sayısı	Orta Hasarlı Bağımsız Birim Sayısı	Hafif Hasarlı Bağımsız Birim Sayısı	İnşaat Enkazı Miktarı (m ³)	Evsel Malzeme Atıkları (m ³)	Taşınması Gereken Toplam Enkaz (m ³)
Beyoğlu	8	2.235	3.494	4.207	163.057	659	163.716
Büyükkçekmece	10	29.370	13.582	17.003	1.917.600	7.752	1.925.353
Çatalca	6	11	64	71	1.182	4	1.187
Esenler	10	42.193	19.515	24.428	2.754.829	11.137	2.765.967
Esenyurt	10	96.201	44.493	55.694	6.281.035	25.394	6.306.430
Eyüpsultan	8	3.910	6.113	7.364	285.170	1.152	286.323
Fatih	10	43.322	20.035	25.080	2.828.529	11.435	2.839.965
Gaziosmanpaşa	9	23.595	27.295	34.194	1.654.958	6.690	1.661.649
Güngören	10	29.113	13.467	16.856	1.900.827	7.684	1.908.512
Kâğıthane	8	4.345	6.790	8.177	316.892	1.281	318.173
Küçükçekmece	10	83.837	38.775	48.537	5.473.777	22.130	5.495.908
Sarıyer	6	49	269	294	4.923	19	4.943
Silivri	10	24.842	11.489	14.381	1.621.981	6.557	1.628.538
Sultangazi	7	2.030	5.961	5.783	166.626	673	167.299
Şişli	7	662	1.949	1.889	54.399	219	54.619
Zeytinburnu	10	28.371	13.118	16.422	1.852.345	7.488	1.859.834

Tablo 4'te gösterilen enkaz tahminleri şu şekilde elde edilmesinde öncelikle İstanbul'un ortalama hane-halkı büyüklüğü olan 3,2 (kişi) değeri (TÜİK, 2024) İstanbul için ortalama kişi başına düşen konut büyüklüğü olan 32 (m²/kişi) değeri (İstanbul Planlama Ajansı, 2021) ile çarpılarak bir bağımsız birimin ortalama büyüklüğü 102,4 m² olarak bulunur. Arkasından 2023 Kahramanmaraş Depremleri ile ilgili enkaz tahmini içeren bir çalışmada kabul edildiği şekliyle (Demir & Dinçer, 2023) m² başına inşaat enkazı yoğunluğunun 1 ton/m² olduğu (Villoria-Sáez, vd., 2020) varsayılmış, benzer şekilde ton başına düşen inşaat enkazı hacmi ise 1,65 m³/ton olarak (Maçın & Demir, 2018; Bandara, vd., 2023) alınmıştır. İnşaat enkazı kaynaklı atıkların yanı sıra bir bağımsız birimden çıkacak evsel malzeme kaynaklı atıkların ortalama 0,251 m³'e denk geleceği Hernández-Padilla & Angles (2021)'in çalışmasına dayanarak kabul edilmiştir. Son olarak bir bağımsız birimde oluşan enkazın bağımsız birimin toplam inşaat atığı hacmine oranı çok ağır veya ağır hasarlı bir birim için 1, orta hasarlı bir birim için 0,11, az hasarlı bir birim için ise 0,01 olarak kabul edilmiştir. Tablo 4'te görüleceği üzere deprem senaryosuna göre İstanbul'un Avrupa yakasında oluşacak enkaz büyüklüğü yaklaşık olarak 45,6 milyon m³'ü aşmaktadır. Bulgulara göre en fazla enkazın oluşacağı ilk beş ilçe sırasıyla Esenyurt, Küçükçekmece, Bağcılar, Bahçelievler ve Avcılar olarak öngörülmüştür.

ÇNFT Modelinden Elde Edilen Bulgular

Aday noktaların ve mevcut hafriyat döküm alanlarının bir önceki başlıkta verilen sekiz kritere göre aldıkları sayısal değerler de Tablo 5'te verilmektedir. Tablo 5'te verilen değerler ÇNFT modelinde aday enkaz toplama alanları ve mevcut alanların bu kriterler açısından değerlendirilerek uygunlukları doğrultusunda sıralanması amacıyla model girdilerini teşkil etmektedir. Tablo 5'te sunulan veriler sayısal olarak ifade edilebilen nicel veriler olup herhangi bir uzman görüşü sonucu elde edilmemiştir.

Tablo 5*Alternatiflerin kriterler açısından aldıkları değerler*

Alternatif	Kriter-1	Kriter-2	Kriter-3	Kriter-4	Kriter-5	Kriter-6	Kriter-7	Kriter-8
	(m ³ *km)	(m ²)	(km)	(km)	(km)	(km)	(km)	(km)
	Maliyet	Fayda	Maliyet	Fayda	Fayda	Fayda	Fayda	Fayda
Aday-1	1805044097	3665935	5	9,5	1,4	10	0,2	5
Aday-2	1602389723	3762259	6,6	5	3	9	0,2	15
Aday-3	3653412499	6795341	16	4,4	6	15	0,2	1
Aday-4	1639602039	7378613	7	9,3	0,5	25	7,5	0,2
Aday-5	3712585208	1924830	20	16,7	3	20	0,2	1,5
Aday-6	2199220593	4652519	15	5,8	3	13	0,2	0,5
Aday-7	2025888213	8767736	1	9,8	0,2	1	0,4	0,6
Aday-8	2250059146	9305039	15	17,6	0,2	1,5	0,2	10
Mevcut-1	1934787891	4383868	0,5	2,1	7	20	0,5	0,5
Mevcut-2	3571188688	6479549	16	5,4	6	12	0,5	0,2
Mevcut-3	1678563667	3883354	3	6	0,2	8	0,2	1
Mevcut-4	1578101663	5189229	2	5	1,5	12	0,2	4
Mevcut-5	1994744039	9282351	3	9,4	0,5	0,2	0,5	1
Mevcut-6	2028537338	2326259	1	9,1	0,2	1	0,2	1
Mevcut-7	3457197493	641610	15	11,6	3	20	0,2	2

Tablo 5'te her aday enkaz toplama alanı alternatifleri ile mevcut alanın sekiz kriterden aldıkları değerler göz önünde bulundurulduğunda herhangi bir alternatifin diğerleri üzerinde baskınlık kurduğu gözlenmemiştir. Bu sebeple alanların bu kriterler baz alındığında uygunluk olarak sıralanması sadece tablo değerlerine bakarak mümkün değildir. Bu tarz durumlarda çok amaçlı karar verme yöntemlerinden birinin uygulanması karar vericilere yol göstermesi açısından uygundur.

Çalışmada yapıları gereği Kriter-1 (enkaz alanlarına uzaklık), Kriter-2 (kapasite) ve Kriter-4 (anayollara uzaklık) için alternatif enkaz toplama alanlarının fayda değerleri Eşitlik (4) ve (5)'te gösterilen doğrusal interpolasyon işlemine dayalı yapılırken diğer kriterlerde fayda değeri hesaplamasında Eşitlik (6) belirtilen üstel fonksiyon kullanılmıştır. Üstel fonksiyonda yer alan R parametresi yapılan çeşitli denemeler sonucunda 0,3 olarak belirlenmiştir. Buna göre Tablo 5'te verilen değerler ÇNFT modelinin karar matrisi X' i oluşturmakta olup tüm kriterlerin eşit önemde oldukları ($w_j = 0,125$) varsayılmıştır. ÇNFT yönteminin iv. maddesi uyarınca yapılan normalizasyon işlemlerine göre normalize edilmiş karar matrisi Tablo 6'daki gibidir.

Tablo 6*Alternatiflerin kriterler açısından aldıkları normalize edilmiş değerler*

Alternatif	Kriter-1	Kriter-2	Kriter-3	Kriter-4	Kriter-5	Kriter-6	Kriter-7	Kriter-8
Aday-1	0,874	0,394	0,250	0,221	0,200	0,400	0,027	0,333
Aday-2	0,984	0,404	0,330	0,420	0,429	0,360	0,027	1,000
Aday-3	0,431	0,730	0,800	0,477	0,857	0,600	0,027	0,067
Aday-4	0,962	0,793	0,350	0,226	0,071	1,000	1,000	0,013
Aday-5	0,425	0,207	1,000	0,126	0,429	0,800	0,027	0,100
Aday-6	0,717	0,500	0,750	0,362	0,429	0,520	0,027	0,033
Aday-7	0,778	0,942	0,050	0,214	0,029	0,040	0,053	0,040
Aday-8	0,701	1,000	0,750	0,119	0,029	0,060	0,027	0,667

Alternatif	Kriter-1	Kriter-2	Kriter-3	Kriter-4	Kriter-5	Kriter-6	Kriter-7	Kriter-8
Mevcut-1	0,815	0,471	0,025	1,000	1,000	0,800	0,067	0,033
Mevcut-2	0,441	0,696	0,800	0,389	0,857	0,480	0,067	0,013
Mevcut-3	0,940	0,417	0,150	0,350	0,029	0,320	0,027	0,067
Mevcut-4	1,000	0,558	0,100	0,420	0,214	0,480	0,027	0,267
Mevcut-5	0,791	0,998	0,150	0,223	0,071	0,008	0,067	0,067
Mevcut-6	0,778	0,250	0,050	0,231	0,029	0,040	0,027	0,067
Mevcut-7	0,456	0,069	0,750	0,181	0,429	0,800	0,027	0,133

Daha önce bahsedildiği üzere Eşitlik (4), (5) ve (6) kullanılarak Tablo 14'teki normalize edilmiş değerlerden $u_j(x_{ij})$ fayda değerleri hesaplanmıştır. Tablo 16'da verilen bu fayda değerleri ve Eşitlik (7) kullanılarak her alternatif enkaz toplama alanı i için toplam fayda değeri $U(A_i)$ hesaplanmış ve Tablo 7'nin en son sütununda bu değerler gösterilmiştir.

Tablo 7

Alternatiflerin toplam fayda değerlerinin hesaplanması

Alternatif	Kriter-1	Kriter-2	Kriter-3	Kriter-4	Kriter-5	Kriter-6	Kriter-7	Kriter-8	$U(A_i)$
Aday-1	0,781	0,349	0,565	0,116	0,487	0,736	0,085	0,671	0,473
Aday-2	0,973	0,360	0,667	0,341	0,760	0,699	0,085	0,964	0,606
Aday-3	0,011	0,710	0,931	0,406	0,943	0,865	0,085	0,199	0,518
Aday-4	0,934	0,778	0,689	0,121	0,212	0,964	0,964	0,043	0,588
Aday-5	0,000	0,148	0,964	0,007	0,760	0,931	0,085	0,283	0,397
Aday-6	0,508	0,463	0,918	0,276	0,760	0,823	0,085	0,105	0,492
Aday-7	0,615	0,938	0,154	0,108	0,091	0,125	0,163	0,125	0,289
Aday-8	0,480	1,000	0,918	0,000	0,091	0,181	0,085	0,892	0,455
Mevcut-1	0,679	0,432	0,080	1,000	0,964	0,931	0,199	0,105	0,548
Mevcut-2	0,029	0,674	0,931	0,306	0,943	0,798	0,199	0,043	0,490
Mevcut-3	0,895	0,374	0,393	0,262	0,091	0,656	0,085	0,199	0,369
Mevcut-4	1,000	0,525	0,283	0,341	0,51	0,798	0,085	0,589	0,516
Mevcut-5	0,636	0,997	0,393	0,118	0,212	0,026	0,199	0,199	0,347
Mevcut-6	0,613	0,194	0,154	0,127	0,091	0,125	0,085	0,199	0,198
Mevcut-7	0,054	0,000	0,918	0,070	0,760	0,931	0,085	0,359	0,397

Tablo 7'de verilen $U(A_i)$ değerleri göz önünde bulundurulduğunda alternatif enkaz toplama alanlarının belirlenen kriterler doğrultusunda en uygundan en az uyguna doğru sıralanması Aday-2, Aday-4, Mevcut-1, Aday-3, Mevcut-4, Aday-6, Mevcut-2, Aday-1, Aday-8, Mevcut-7, Aday-5, Mevcut-3, Mevcut-5, Aday-7, ve Mevcut-6 şeklindedir. Bu sıralamaya bakıldığında mevcut durumdaki hafriyat döküm ve rehabilitasyon alanlarının birçoğunun belirlenen kriterler açısından bu çalışmaya dahil edilen aday alanların gerisinde kaldığı söylenebilir.

Tartışma

Ele alınan deprem senaryosuna göre taşınması gereken enkazın yaklaşık 45,6 milyon m³ olacağı tahmin edilmektedir. Mevcut yedi katı atık bertaraf sahasının toplam kapasitesi yaklaşık 32,2 milyon m³ olmakla birlikte bu alanların yarısının halihazırda dolu olduğu bilinmektedir (İstanbul Büyükşehir Belediyesi, 2021) Bu durum göz önünde bulundurularak Bulgular kısmında uygunluk sıralamasına göre verilen alternatifler kapasiteleri açısından tekrar değerlendirilmiş ve mevcut hafriyat döküm ve rehabilitasyon alanlarının

dışında Aday-2, Aday-4, Aday-3, Aday- 6, Aday-1 ve Aday-8'in enkaz toplama alanı olarak seçilmesine karar verilmelidir. Böylece enkaz toplamaya yönelik 35,6 milyon m³'lük yeni kapasite oluşturulmuş olacak ve deprem senaryosu sonucuna göre oluşması muhtemel enkazın tamamının taşınabileceği alanlar tesis edilebilecektir. Burada bahsi geçen altı aday alanın seçilmesinin temel nedeni uygunluk sıralamasında üstte yer almaları ve mevcut alanlar da düşünüldüğünde oluşacak enkazın toplanması için yeterli kapasiteye bu altı aday alan ile ulaşılabilmesidir.

İstanbul Büyükşehir Belediyesi tarafından oluşturulan enkaz yönetim planına göre (İstanbul Büyükşehir Belediyesi, 2021), İstanbul'da oluşacak enkazın boyutu tahmin edilmekte ve bu enkazın döküm sahalarına taşınması için kullanılabilecek kaynaklar analiz edilmektedir. Ancak, bu analizlerin tamamı genellikle temel matematiksel hesaplamalara dayanmakta olup, enkazın taşınmasıyla ilgili maliyet, çevresel etkiler, gelecekteki olası etkiler ve toplumsal boyutlar gibi konular sürdürülebilirlik esaslı ve uzun vadeli bilimsel bir yaklaşımla incelenmemiştir. Ayrıca, depremin şiddetine bağlı olarak değişebilecek enkazın toplanabileceği alanların yeterliliği konusunda da belirsizlikler bulunmaktadır. Özellikle yeni geçici enkaz toplam alanlarının seçimine yönelik herhangi bir kriter ya da ihtiyaç analizine yer verilmemiştir. Benzer eksiklikler AFAD'ın İstanbul için hazırladığı İl Afet Risk Azaltma Planı (AFAD, 2023b) için de söz konusudur. Bu durum da olası bir depremde büyük miktarda enkaz oluşması halinde çevreci yaklaşımların ve insan sağlığının göz ardı edildiği gelişigüzel enkaz döküm vakalarının ve sürdürülebilirlikten uzak bertaraf yöntemlerinin uygulanabilme riskinin varlığına dair şüpheleri akıllara getirmektedir. Bu hususlar dikkate alındığında bu çalışmada önerilen ÇNFT modelinden elde edilen sonuçların enkaz toplama alanlarının sürdürülebilirlik açısından değerlendirilmesine sunduğu katkı açıktır.

Çalışmada baz alınan deprem senaryosu deterministik bir yaklaşıma dayanmakta olup enkaz oluşumunda söz konusu olan belirsizlikleri göz ardı etmektedir. Önerilen ÇNFT modelinde kullanılan verilerin bir kısmının bu senaryoya dayandığı unutulmamalıdır. Bu nedenle ilerleyen çalışmalarda belirsizlikleri de dâir eden stokastik senaryo yaklaşımları ya da bu tarz senaryolardan elde edilecek tahminleri girdi olarak kullanabilecek yapıda ÇKKV teknikleri ele alınabilir.

Yöntem kısmında önerilen ÇNFT yaklaşımına dayalı model diğer çok kriterli karar verme yaklaşımlarına göre çeşitli avantajlar sunmaktadır. ÇNFT birden fazla özellikteki tercihleri ölçerek alternatifleri değerlendirmek için sistematik bir çerçeve sağlar ve farklı özellikler arasındaki dengelemelerin daha net bir şekilde karşılaştırılmasına olanak tanır. Buna ek olarak çeşitli kriterlerin tek bir fayda puanı halinde toplanmasını kolaylaştırır ve bu da karar verme süreçlerini basitleştirir. Son olarak, risk tercihlerini ve bir fayda fonksiyonunun formülasyonunu birleştirme yeteneği, karar vericinin değerlerine ve önceliklerine göre uyarlanmış daha kişiselleştirilmiş ve sağlam karar almayı mümkün kılar. Ayrıca, kriterlerin doğrudan sayısal değerleri yerine karar vericinin algısına uygun bir fayda dönüşümü yapılmasına olanak sağlar. ÇNFT'nin diğer ÇKKV yöntemlerine göre avantajlı bir diğer yanı ise üstel fayda fonksiyonlarının kullanılarak doğrusal fayda varsayımının aşılabilmesi, böylece marjinal fayda değişimlerinin gerçekçi bir şekilde yansıtılabilmesidir. Bu sebepler göz önünde bulundurularak diğer ÇKKV yöntemleri yerine bu çalışmada ÇNFT yaklaşımına dayanan bir alternatif sıralama yaklaşımı tercih edilmiştir.

ÇNFT modelinde yer alan kriterlerin ağırlıkları eşit sayılmıştır. Burada yer alan kriterler kapasite ile ilgili Kriter-2 dışında doğrudan sürdürülebilirlik konuları ile ilgilidir. Bu sebeple kriterlerin ağırlıklandırılmasında sürdürülebilirlikle ilgili kriterlerin ağırlık toplamının tüm kriterler içinde büyük bir değere sahip olması sağlanmıştır. Bunun yanı sıra kriter ağırlıkları üzerine duyarlılık analizi de yapılmış, iki farklı kriter ağırlığı kombinasyonunun alan tercihleri üzerine etkisi incelenmiştir. Bunlardan ilkinde (Ağırlık Kombinasyonu-1) Kriter-1, Kriter-2 ve Kriter-3'ün ağırlığı 0,25; diğer kriterlerin ağırlıkları ise 0,05 olarak kullanılmıştır. Bu şekilde yapılan bir ağırlıklandırma temel olarak taşıma maliyeti, CO₂ salımı, kapasite ve yerleşim alanlarına uzaklık

unsurlarını diğer sürdürülebilirlikle ilgili faktörlerden önemli varsaymaktadır. Bu ağırlık kombinasyonuna göre açılmak üzere seçilen aday enkaz toplama alanları kriter ağırlıklarının eşit Kabul edildiği durumda seçilen alanlarla aynı olmakla birlikte alanların uygunluk açısından sıralanmasında farklılıklar gözlenmiştir. Bir diğer ağırlık kombinasyonunda ise (Ağırlık Kombinasyonu-2) toplam taşıma maliyeti ve lojistik faaliyetlerden kaynaklı CO₂ salımının diğer faktörlerden daha önemli olduğu varsayılmış ve Kriter-1'in ağırlığı 0,3; diğer kriterlerin ağırlıkları ise 0,1 olarak alınmıştır. Bu kriter ağırlığı kombinasyonu kullanıldığında da açılmak üzere seçilen aday enkaz toplama alanları kriter ağırlıklarının eşit kabul edildiği durumda seçilen alanlarla aynı bulunmuş ancak alanların uygunluk sıralamalarında farklılıklar tespit edilmiştir. Üç ağırlıklandırma durumunda da açılacak yeni alanlar Aday-1, Aday-2, Aday-3, Aday-4, Aday- 6 ve Aday-8'dir. Bahsi geçen analiz sonuçlarına göre mevcut döküm sahaları ile aday enkaz toplama alanlarının uygunluk sıralamaları Tablo 8'de gösterilmektedir.

Tablo 8

Kriter ağırlıkları üzerine yapılan duyarlılık analizi sonuçlarına göre enkaz toplama alanlarının sıralanması

Kullanılan Kriter Ağırlığı Kombinasyonu	Alanların Uygunluk Sırası	Deprem Senaryosuna Göre Açılmak Üzere Seçilen Yeni Alanlar
Eşit kriter ağırlıkları	Aday-2, Aday-4, Mevcut-1, Aday-3, Mevcut-4, Aday-6, Mevcut-2, Aday-1, Aday-8, Aday-5, Mevcut-7, Mevcut-3, Mevcut-5, Aday-7, Mevcut-6	Aday-1, Aday-2, Aday-3, Aday-4, Aday-6, Aday-8
Ağırlık Kombinasyonu-1	Aday-4, Aday-8, Aday-2, Aday-6, Mevcut-4, Mevcut-5, Aday-3, Aday-1, Mevcut-2, Mevcut-3, Mevcut-1, Aday-7, Aday-5, Mevcut-7, Mevcut-6	Aday-1, Aday-2, Aday-3, Aday-4, Aday-6, Aday-8
Ağırlık Kombinasyonu-2	Aday-2, Aday-4, Mevcut-4, Mevcut-1, Aday-1, Aday-6, Mevcut-3, Aday-8, Aday-3, Mevcut-5, Mevcut-2, Aday-7, Mevcut-7, Aday-5, Mevcut-6	Aday-1, Aday-2, Aday-3, Aday-4, Aday-6, Aday-8

Tablo 8'den anlaşılabileceği üzere ele alınan farklı kriter ağırlığı kombinasyonlarının alanların uygunluk açısından sıralanması üzerine etkisi olmakla birlikte açılmak üzere seçilen yeni enkaz toplama alanlarının değiştirmedeği söylenebilir.

Sonuçlar

Bu çalışmada İstanbul'u etkileyecek bir depremde İstanbul Avrupa Yakası ilçelerinde oluşacak olası enkazın toplanacağı enkaz toplama alanlarının belirlenmesine yönelik bir yöntem önerilmektedir. Çalışmanın ilk aşamasında bir deprem senaryosu oluşturularak ilçelerde oluşacak enkaz büyüklüğü tahmin edilmiş, arkasından bu enkazın toplanabileceği kapasiteye sahip sekiz aday enkaz toplama alanı belirlenmiştir. Aday enkaz toplama alanları ile mevcut hafriyat döküm ve rehabilitasyon alanlarını uygunluk açısından sıralamak üzere sekiz kriter belirlenmiştir. Bu kriterler enkaz alanlarına uzaklık, kapasite, yerleşim alanlarına uzaklık, ana yollara uzaklık, sulak alanlara uzaklık, denize uzaklık, ormanlık alanlara uzaklık ve tarım alanlarına uzaklıktan oluşmaktadır. Literatürdeki mevcut çalışmalar göz önünde bulundurularak belirlenen bu kriterlerin tespitinde kriterin çevresel sürdürülebilirlikle ilintili olmasına özen gösterilmiştir.

Alternatif enkaz toplama alanları ve kriterlerin belirlenmesinin arkasından bu alanları kriterler açısından sıralamak için ÇNFT yaklaşımına dayalı bir model önerilmiştir. Önerilen model mevcut risk faktörlerini bir fayda fonksiyonunun formülasyonunda birleştirmekte, böylece bir alternatifin bir kriter gereği kararı vericinin risk tutumuna göre puanlandırmaktadır. ÇNFT modeli ile yedi adet mevcut hafriyat döküm ve rehabilitasyon alanı ile aday enkaz toplama alanları yukarıda belirtilen kriterler açısından değerlendirilmiş ve sıralanmıştır. Bu sıralamalara göre mevcut hafriyat döküm alanlarının aday enkaz toplama alanlarına kıyasla genellikle daha alt sıralarda yer aldıkları gözlenmiştir. Çalışmada dikkate alınan deprem senaryosuna göre taşınması gereken enkazın yaklaşık 45,6 milyon m³ olduğu tahmin edilmiş, mevcut hafriyat döküm alanlarının toplam kapasitelerinin yarıya yakınının zaten kullanılmakta olduğu düşünüldüğünde yeni enkaz

toplama alanlarının belirlenmesine yönelik ihtiyacın önemi de vurgulanmıştır. Bilindiği kadarıyla bu makale enkaz toplama alanı seçiminde ÇNFT yaklaşımına yer veren ilk çalışmadır.

Enkaz yönetimi hayat kurtarma, insan sağlığı, afetlerin sosyal ve ekonomik etkilerinin azaltılması, altyapının onarılması, çevresel etkiler ve enkaz sonrası sürdürülebilirliğin sağlanması açısından kritiktir. Bu bağlamda bu çalışmada önerilen yöntemle elde edilen bulguların karar vericiler açısından yol gösterici özellikte olduğu söylenebilir. İleriki çalışmalarda önerilen yöntemin entegre edildiği benzetim ya da optimizasyon modellerinde enkaz toplama alanlarının enkaz alanlarına atanması, enkazın taşınmasına yönelik araç rotalama ya da çizelgeleme problemlerinin araştırılması mümkündür. Bunun yanı sıra senaryo sonucu oluşacak enkazın toplama alanlarına taşınması için gerekli malzeme, iş gücü ve kaynakların analizine yönelik çalışmalar yapılması da enkaz yönetimi açısından değerlidir. Ayrıca, Anadolu Yakası ilçelerini de içeren tüm İstanbul'u kapsayacak bir çalışma da enkaz yönetimi politikalarının geliştirilmesinde yol gösterici olacaktır.



Hakem Değerlendirmesi	Dış bağımsız.
Yazar Katkısı	Çalışmanın Konsepti/Tasarımı: D.F.D., E.D.G.S.; Veri Toplama- D.F.D., E.D.G.S.; Verilerin Analizi/Yorumlanması- D.F.D., E.D.G.S.; Yazı Taslağı: D.F.D., E.D.G.S.; İçeriğin Eleştirel İncelemesi – D.F.D., E.D.G.S.; Son Onay ve Sorumluluk D.F.D., E.D.G.S.
Çıkar Çatışması	Yazarlar çıkar çatışması beyan etmemiştir.
Finansal Destek	Bu çalışma BAP2312 kodu ile İstanbul Kültür Üniversitesi Teknoloji ve Proje Destek Birimi tarafından desteklenmiştir.

Peer Review	Externally peer-reviewed.
Author Contributions	Conception/Design of Study- D.F.D., E.D.G.S.; Data Acquisition- D.F.D., E.D.G.S.; Data Analysis/ Interpretation- D.F.D., E.D.G.S.; Drafting Manuscript- D.F.D., E.D.G.S.; Critical Revision of Manuscript - D.F.D., E.D.G.S.; Final Approval and Accountability- D.F.D., E.D.G.S.
Conflict of Interest	Authors declared no conflict of interest.
Grant Support	This study was supported by the Technology and Project Support Unit of İstanbul Kültür University under the project code BAP2312.

Yazar Bilgileri	Duygun Fatih Demirel (Assist. Prof.)
Author Details	¹ İstanbul Kültür University, Department of Industrial Engineering, İstanbul, Türkiye  0000-0001-8284-428X  d.demirel@iku.edu.tr
	Eylül Damla Gönül Sezer (Assist. Prof.)
	² Yeditepe University, Department of Industrial Engineering, İstanbul, Türkiye  0000-0002-9237-0468  eylul.sezer@yeditepe.edu.tr

Kaynakça | References

- Afzali, A., Sabri, S., Rashid, M., Samani, J. M. V. and Ludin, A. N. M. (2014). Inter-municipal landfill site selection using analytic network process. *Water Resources Management*, 28(8), 2179-2194. doi:10.1007/s11269-014-0605-3
- Ahmed, S. W., Chandran, D., Hussein, S., Praveen, S. V., Chakraborty, S., Islam, M. R., Dhama, K. (2023). Environmental Health Risks After the 2023 Turkey-Syria Earthquake and Salient Mitigating Strategies: A Critical Appraisal. *Environmental Health Insights*, 17, 1-7. <https://doi.org/10.1177/11786302231200865>
- Asefa, E. M., Damtew, Y. T., & Barasa, K. B. (2021). Landfill Site Selection Using a GIS-Based Multicriteria Evaluation Technique in Harar City, Eastern Ethiopia. *Environmental Health Insights*, 15, 1-14. <https://doi.org/10.1177/11786302211053174>
- Aydin, N., Seker, S., Devenci, M., & Zaidan, B. B. (2024). Post-earthquake debris waste management with interpretive-structural-modeling and decision-making-trial, and evaluation-laboratory under neutrosophic fuzzy sets. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 138(A), 109251. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2024.109251>



- Balew, A., Alemu, M., Leul, Y., & Feye, T. (2022). Suitable landfill site selection using GIS-based multi-criteria decision analysis and evaluation in Robe town, Ethiopia. *GeoJournal*, 87, 895-920. doi:10.1007/s10708-020-10284-3
- Bandara H. M. S. C. H., Thushanth G., Somarathna, H. M. C. C., Jayasinghe D. H. G. A. E., & Raman S. N. (2023). Feasible techniques for valorisation of construction and demolition waste for concreting applications. *International Journal of Environmental Sciences and Technologies*, 20, 521-536. <https://doi.org/10.1007/s13762-022-04015-z>
- Bazzocchi, M. C., Sánchez-Lozano, J. M., & Hakima, H. (2021). Fuzzy multi-criteria decision-making approach to prioritization space debris for removal. *Advances in Space Research*, 67(3), 1155-1173. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2020.11.006>
- Bektaş, N., & Şmlls, M. (2024). Earthquake-Induced Waste Repurposing: A Sustainable Solution for Post-Earthquake Debris Management in Urban Construction. *Buildings*, 14(4), 948. doi:10.3390/buildings14040948
- Demir, A., & Dinçer, A. E. (2023). Efficient disaster waste management: identifying suitable temporary sites using an emission-aware approach after the Kahramanmaraş earthquakes. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 20, 13143-13158. doi:10.1007/s13762-023-05123-0
- Dinçer, A. E., Dincer, N. N., Tekin-Koru, A., Yaşar, B., Yılmaz, Z. (2024). The impact of the Kahramanmaraş (2023) earthquakes: A comparative case study for Adıyaman and Malatya. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 110, 104647. doi:10.1016/j.ijdr.2024.104647
- Djokanovic, S., Abolmasov, B., & Jevremovic, D. (2016). GIS application for landfill site selection: a case study in Pancevo, Serbia. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 75, 1273-1299. doi:10.1007/s10064-016-0888-0
- Eris, M. B., Alparslan, C., Karadayi, M. A., Alkan, A., Demirel, D. F., Gonul-Sezer, E. D. 2023. Economic Impacts of the Expected Istanbul Earthquake: Scenario Generation. *The Eurasia Proceedings of Science, Technology, Engineering & Mathematics*, 22, 378-390. doi:10.55549/epstem.1351022
- Eskandari, M., Homaei, M., Mahmoodi, S., Pazira, E. and van Genuchten, M.T. (2015). Optimizing landfill site selection using land classification maps. *Environmental Science and Pollution Research*, 22, 7754-7765. doi:10.1007/s11356-015-4182-7
- Görür, N. (2020). İki fay birden kırılırsa İstanbul'da 7.6 büyüklüğünde bir deprem olacak. Retrieved from <https://www.cnnturk.com/turkiye/iki-fay-birden-kirilirs-istanbulda-7-6-buyuklugunde-bir-deprem-olacak>. Son erişim: 20 Eylül 2023.
- Grzeda, S., Mazzuchi, T. A., Sarkani, S. (2014). Temporary disaster debris management site identification using binomial cluster analysis and GIS. *Disasters*, 38(2), 398-419. <https://doi.org/10.1111/disa.12040>
- Guiqin, W., Li, Q., Guoxue, L. and Lijunc, C. (2009). Landfill site selection using spatial information technologies and AHP: A case study in Beijing, China. *Journal of Environmental Management*, 90, 2414-2421. doi:10.1016/j.jenvman.2008.12.008
- Habib, M. S. and Sarkar, B. (2017). An Integrated Location-Allocation Model for Temporary Disaster Debris Management in an Uncertain Environment. *Sustainability*, 9(5), 716. doi:10.3390/su9050716
- Hamzeh, M., Abbaspour, R. A., & Davalou, R. (2015). Raster-based outranking method: a new approach for municipal solid waste landfill (MSW) siting. *Environmental Science and Pollution Research*, 22, 12511-12524. doi:10.1007/s11356-015-4485-8
- Hernández-Padilla, F., & Anglés, M. (2021). Earthquake Waste Management, Is It Possible in Developing Countries? Case Study: 2017 Mexico City Seism. *Sustainability*, 13, 2431. <https://doi.org/10.3390/su13052431>
- İstanbul Büyükşehir Belediyesi. (2020). İlçe Olası Deprem Kayıp Tahmini Kitapçıkları. <https://depremezmin.ibb.istanbul/guncelcalismalarimiz/>. Son erişim: 24 Mart 2024.
- İstanbul Büyükşehir Belediyesi. (2021). Olası Yıkıcı Bir İstanbul Depreminde Oluşabilecek Enkaza Dair Yönetim Planı. <https://8luvomezzsk.merlincdn.net/wp-content/uploads/2022/01/ENKAZ-YONETIM-PLANI-RAPOR.pdf>. Son erişim tarihi: 24 Mart 2024.
- İstanbul Planlama Ajansı. (2021). Konut Sorunu Araştırması: İstanbul'da Mevcut Durum ve Öneriler. https://ipa.istanbul/wp-content/uploads/2021/09/IPA_KONUT_REHBERI-web.pdf
- Karakuş, C. B., Demiroğlu, D., Çoban, A., & Ulutaş, A. (2020). Evaluation of GIS-based multi-criteria decision-making methods for sanitary landfill site selection: the case of Sivas city, Turkey. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 22, 254-272. doi:10.1007/s10163-019-00935-0
- Kareem, S. L., Al-Mamoori, S. K., Al-Maliki, L. A., Al-Dulaimi, M. Q. and Al-Ansari, N. (2021). Optimum location for landfills landfill site selection using the GIS technique: Al-Naja city as a case study. *Powerful Engineering*, 8, 1863171. <https://doi.org/10.1080/23311916.2020.1863171>
- Karimi, H., Amiri, S., Huang, J., & Karimi, A. (2019). Integrating GIS and multi-criteria decision analysis for landfill site selection, case study: Javanrood County in Iran. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 16, 7305-7318. doi:10.1007/s13762-018-2151-7
- Kasapoglu M., Erçek, Y. D., & Aslan, M. T. (2024). Disaster waste management process: The case of the February 6 earthquake. *Journal of Construction Engineering, Management & Innovation*, 7(1), 34-55. <https://doi.org/10.31462/jcemi.2024.01034055>

- Khanal, R., Subedi, P. U., Yadawac, R. K., & Pandey, B. (2021). Post-earthquake reconstruction: Managing debris and construction waste in Gorkha and Sindhupalchok Districts, Nepal. *Progress in Disaster Science*, 9, 100151. <https://doi.org/10.1016/j.pdisas.2021.100151>
- Kharat, M. G., Kamble, S. J., Raut, R. D., Kamble, S. S. and Dhume, S. M. (2016). Modeling landfill site selection using an integrated fuzzy MCDM approach. *Modeling Earth Systems and Environment*, 2, 53. <https://doi.org/10.1007/s40808-016-0106-x>
- Kim, J., Deshmukh, A. and Hastak, M. (2014). Selecting a Temporary Debris Management Site for Effective Debris Removal. In 10th International Conference of the International Institute for Infrastructure Resilience and Reconstruction (I3R2), May 20–22, 2014. West Lafayette, Indiana, USA.
- Kim, J., Deshmukh, A. and Hastak, M. (2018). A framework for assessing the resilience of a disaster debris management system. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 28, 674–687. doi:10.1016/j.ijdr.2018.01.028
- Lee, Y.-H., Kim, Y.-C., & Lee, H.-K. (2022). Framework for the selection of temporary disaster waste management sites for post-flood recovery in Seoul, South Korea. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 71, 102832. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2022.102832>
- Liu, H. C., You, J. X., Chen, Y. Z., & Fan, X. J. (2014). Site selection in municipal solid waste management with the extended VIKOR method under fuzzy environment. *Environmental Earth Sciences*, 72(10), 4179–4189. doi:10.1007/s12665-014-3314-6
- Lorca, Á., Çelik, M., Ergun, Ö., & Keskinocak, P. (2017). An Optimization-Based Decision-Support Tool for Post-Disaster Debris Operations. *Production and Operations Management*, 26(6), 1076–1091. <https://doi.org/10.1111/poms.12643>
- Maçın, E. K. and Demir, İ. (2018). Kentsel dönüşüm sürecinde İstanbul'da inşaat ve yıkıntı atıkları yönetimi. *Adıyaman Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 9, 188–201.
- Majid, M., & Mir, B. A. (2021). Landfill site selection using GIS based multicriteria evaluation technique. A case study of Srinagar city, India. *Environmental Challenges*, 3, 100031. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100031>
- Mavroulis, S., Mavrouli, M., Vassilakis, E., Argyropoulos, I., Carydis, P. and Lekkas, E. (2023). Debris Management in Turkey Provinces Affected by the February 6, 2023 Earthquakes: Challenges during Recovery and Potential Health and Environmental Risks. *Applied Sciences*, 13(15), 8823. doi:10.3390/app13158823
- Moon, Y., Lee, S., Kim, S. and Kim, M. (2017). Determining the location of urban planning measures for preventing debris-flow risks: Based on the MCDM method. *Journal of the Korean Society of Safety*, 32(5), 103–114. <https://doi.org/10.14346/JKOSOS.2017.32.5.103>
- Nazari, A., Salarirad, M. M. and Bazzazi, A. A. (2012). Landfill site selection by decision-making tools based on the fuzzy multi-attribute decision-making method. *Environmental Earth Sciences*, 65, 1631–1642. <https://doi.org/10.1007/s12665-011-1137-2>
- Nickdoost, N., Jalloul, H., & Choi, J. (2022). An integrated framework for temporary disaster debris management site selection and debris collection logistics planning using geographic information systems and agent-based modeling. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, vol 80, 103215. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2022.103215>
- Özmen, B. (2000). Seventeen Ağustos 1999 İzmit körfezi depreminin hasar durumu rakamsal verilerle. İstanbul: Türkiye Deprem Vakfı.
- Rahimi, S., Hafezalkotob, A., Monavari, S. M., Hafezalkotob, A. and Rahimi, R. (2020). Sustainable landfill site selection for municipal solid waste based on a hybrid decision-making approach: Fuzzy group BWM-MULTIMOORA-GIS. *Journal of Cleaner Production*, 248, 119186. doi:10.1016/j.jclepro.2019.119186
- Rahmat, Z. G., Niri, M. V., Alavi, N., Goudarzi, G., Babaei, A. A., Baboli, Z., & Hosseinzadeh, M. (2017). Landfill Site Selection using GIS and AHP: a Case Study: Behbahan, Iran, *KSCE Journal of Civil Engineering*, 21(1), 111–118. doi:10.1007/s12205-016-0296-9
- Şener, E., & Şener, Ş. (2020). Landfill site selection using integrated fuzzy logic and analytic hierarchy process (AHP) in lake basins. *Arabian Journal of Geosciences*, 13, 1130. <https://doi.org/10.1007/s12517-020-06087-y>
- Şener, Ş., Şener, E., Nas, B. and Karagüzel, R. (2010). Combining AHP with GIS for landfill site selection: A case study in the Lake Beyşehir catchment area (Konya, Turkey). *Waste Management*, 30, 2037–2046. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2010.05.024>
- T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı. (2023). 2023 Kahramanmaraş Ve Hatay Depremleri Raporu. <https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2023/03/2023-Kahramanmaraş-ve-Hatay-Depremleri-Raporu.pdf>. Son erişim tarihi: 5 Mart 2024.
- TMMOB. (2023a). 6 Şubat 2023 Depremleri Tespit ve Değerlendirme Raporu. <https://www.tmmob.org.tr/sites/default/files/mo06022023-depremtespit.pdf>. Son erişim tarihi: 5 Mart 2024.
- TMMOB. (2023b). TMMOB 6 Şubat Depremleri 8. Ay Değerlendirme Raporu. https://www.tmmob.org.tr/sites/default/files/depremin_8._ayina_iliskin_degerlendirmelerimiz.pdf. Son erişim tarihi: 5 Mart 2024.
- TÜİK. (2022). Bina İstatistikleri. <https://nip.tuik.gov.tr/?value=BinalIstatistikleri> Son erişim tarihi: 1 Şubat 2024
- TÜİK. (2024). Ortalama Hanehalkı Büyüklüğü. <https://nip.tuik.gov.tr/?value=OrtalamaHanehalkiBuyuklugu> Son erişim tarihi: 1 Şubat 2024.
- TÜİK. (2025). Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi Sonuçları. <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=95&locale=tr> Son erişim tarihi: 30 Mart 2025.



- Villoria-Sáez, P., Porras-Amores, C., & del Río Merino, M. (2020). Estimation of construction and demolition waste. In F. Pacheco-Torgal, Y. Ding, F. Colangelo, R. Tuladhar, and A. Koutamanis (Eds.), *Woodhead Publishing Series in Civil and Structural Engineering, Advances in Construction and Demolition Waste Recycling* Woodhead Publishing (pp. 13-30). Woodhead Publishing.
- Wang, Z., Hu, H., Guo, M., & Gong, J. (2019). Optimization of Temporary Debris Management Site Selection and Site Service Regions for Enhancing Postdisaster Debris Removal Operations. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 34, 230-247. <https://doi.org/10.1111/mice.12410>
- Yal, G. P., Akgün, H. (2013). Landfill site selection and landfill liner design for Ankara, Turkey. *Environmental Earth Sciences*, 70, 2729-2752. <https://doi.org/10.1007/s12665-013-2334-y>
- Yazdani, M., Kabirifar, K., & Haghani, M. (2024). Optimizing post-disaster waste collection using a deep learning-enhanced differential evolution approach. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 132, 107932. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2024.107932>

