

Kent İçi Derin Kazılarda İksa Uygulamalarının Değerlendirilmesi: Bir Vaka Çalışması

Ersin Güler¹

Özet

Kentsel alanlarda artan yapılaşma ihtiyacı, özellikle yoğun nüfuslu şehir merkezlerinde derin kazıların güvenli bir şekilde gerçekleştirilmesini zorunlu kılmaktadır. Derin kazılar, sadece planlanan yapının güvenliğini sağlamakla kalmaz, aynı zamanda çevredeki mevcut yapıların ve altyapı elemanlarının stabilitesini de doğrudan etkiler. Bu bağlamda, iksa sistemleri, kazı sırasında oluşabilecek toprak deformasyonlarını kontrol etmek ve çevresel riskleri minimize etmek açısından kritik bir öneme sahiptir. Bu çalışmada, İstanbul ilinde yer alan bir projede gerçekleştirilen iksa uygulaması detaylı bir şekilde ele alınmıştır. Çalışmada kullanılan iksa sistemi, zemin özellikleri, kazı derinliği ve çevresel kısıtlamalar dikkate alınarak tasarlanmıştır. Tasarım aşamasında sayısal analiz yöntemleri (Plaxis 2D) kullanılmıştır. Analizler, iksa sisteminin yatay deplasmanları, iç kuvvet dağılımları ve stabilite koşulları açısından güvenli ve yeterli olduğunu göstermiştir. Elde edilen sonuçlar, iksa tasarımının hem ekonomik hem de teknik açıdan uygun olduğunu ortaya koymaktadır. Bu çalışma, benzer zemin koşullarında uygulanacak derin kazılar için önemli bir referans teşkil etmekte olup, hem mühendislik uygulamalarına hem de saha-tasarım entegrasyonuna yönelik yol gösterici çıkarımlar sunmaktadır.

1. Giriş

Kentleşmenin hızla arttığı günümüzde, özellikle büyük şehirlerde yeni yapılaşmaların temel inşaatları sıklıkla derin kazılar gerektirmektedir. Derin kazılar, sadece planlanan yapının güvenliğini sağlamakla kalmaz, aynı zamanda çevredeki mevcut yapıların, altyapı elemanlarının ve zemin koşullarının da stabilitesini doğrudan etkiler. Bu nedenle, kazı sırasında oluşabilecek toprak deformasyonları, yan duvar basınçları ve olası göçme

1 Dr.Öğr.Üyesi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, eguler@ogu.edu.tr, 0000-0002-5679-8838

riskleri gibi faktörlerin önceden öngörülmesi ve gerekli önlemlerin alınması hayati öneme sahiptir [1-3].

İksa sistemleri, derin kazılarda zemin stabilitesini sağlayan temel mühendislik uygulamalarından biridir. Kullanılan iksa tipleri, kazı derinliği, zemin özellikleri ve çevresel koşullara bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Yaygın olarak kullanılan sistemler arasında çelik kazıklar, ankrajlı veya ankrajsız perde duvarlar, çelik veya betonarme kombinasyonlar ve geçici destek elemanları yer almaktadır [4-5]. İksa sistemlerinin tasarımında, yatay ve düşey yüklerin dağılımı, zemin-iksas etkileşimi, kazı sırasında oluşabilecek deplasmanlar ve çevresel faktörler dikkate alınmaktadır. Bu nedenle, saha gözlemleri ve sayısal analizler, iksa sistemlerinin performansını anlamada kritik bir rol oynamaktadır [6-7].

Son yıllarda, geoteknik mühendisliğinde sayısal analiz yöntemlerinin kullanımı, iksa tasarımının doğruluğunu artırmak için önemli bir araç haline gelmiştir. Plaxis, FLAC ve benzeri sonlu eleman programları, zemin-iksas etkileşimini detaylı bir şekilde modelleyerek olası sorunları önceden öngörme imkânı sağlamaktadır [8]. Bununla birlikte, saha gözlemleri ve ölçümler, sayısal analizlerin doğruluğunu doğrulamak ve gerçek zemin davranışını değerlendirmek için vazgeçilmezdir. Zemin heterojenliği, su seviyesi değişimleri ve yapısal yüklerin dağılımı gibi faktörler, sadece saha deneyleri ve gözlemler ile değerlendirilebilir.

Bu çalışma, İstanbul ilinde gerçekleştirilen bir derin kazı ve iksa uygulamasını ele almaktadır. Çalışmanın temel amacı, iksa sisteminin performansını sayısal analizler ile değerlendirmek, elde edilen bulgular üzerinden tasarım parametrelerinin optimizasyonuna katkı sağlamaktır. Ayrıca, derin kazılarda güvenlik, ekonomik verimlilik ve çevresel etkiler açısından uygulanabilecek öneriler sunulması hedeflenmektedir [9].

2. İksa Sistemlerinin Tarihçesi

İksa sistemlerinin kullanımı, insanlık tarihinin yapı inşaatı ile ilgili erken dönemlerine kadar uzanmaktadır. İlk iksa uygulamaları, genellikle geçici destekler veya basit kazıklar şeklinde olup, zemin ve yapı güvenliğini sağlamak amacıyla taş ve ahşap malzemelerle gerçekleştirilmiştir. Antik Roma döneminde, su kanalları ve yer altı yapıları inşa edilirken kazı duvarlarının stabilitesini sağlamak için taş ve ahşap destekler yaygın olarak kullanılmıştır. Orta Çağ'da özellikle şehir merkezlerinde derin temel kazıları sırasında ahşap kazık ve basit çerçeve sistemler tercih edilmiştir. Sanayi Devrimi ile birlikte, çelik ve betonarme malzemelerin yaygınlaşması, iksa sistemlerinde modernleşme sürecini başlatmıştır. 19. yüzyılın sonları ve

20. yüzyılın başlarında, özellikle Avrupa ve Amerika'da yeraltı metro sistemleri, köprü temelleri ve derin kazılar için ankrajlı ve perde duvarlı iksa sistemleri geliştirilmeye başlanmıştır. Bu dönemde yapılan çalışmalar, zemin basınçlarının analitik olarak hesaplanmasına ve iksa elemanlarının boyutlandırılmasına yönelik mühendislik ilkelerinin temelini oluşturmuştur [10-11].

Türkiye'de iksa uygulamaları özellikle 20. yüzyılın ikinci yarısından itibaren yaygınlaşmıştır. İstanbul, Ankara ve İzmir gibi büyük şehirlerde artan yapılaşma ve altyapı projeleri, derin kazıların güvenli bir şekilde gerçekleştirilmesini zorunlu kılmıştır. 1980'lerden sonra inşaat sektöründe ankrajlı perde duvarlar, çelik kazıklar ve geçici destek sistemleri modern mühendislik yaklaşımları ile uygulanmaya başlanmıştır. Özellikle İstanbul metrosu, köprü ayakları ve yoğun kentsel alanlardaki inşaat projeleri, Türkiye'de iksa sistemlerinin saha uygulamaları açısından önemli bir deneyim kaynağı oluşturmıştır [12].

Modern iksa uygulamaları, yalnızca kazı güvenliğini sağlamakla kalmaz; çevresel etkileri minimize eder, ekonomik verimliliği artırır ve sürdürülebilir mühendislik uygulamalarına katkıda bulunur. Son yıllarda Türkiye'de gerçekleştirilen birçok kentsel metro ve altyapı projesinde bu sayısal yöntemler ve modern iksa sistemleri başarıyla entegre edilmiştir [13]. İksa sistemlerinin hem malzeme hem de tasarım açısından geçirdiği evrimi ve günümüzdeki modern mühendislik yaklaşımlarını göstermektedir. Türkiye'deki uygulamalar, hem saha deneyimlerini hem de akademik araştırmaları birleştirerek gelecekteki projeler için önemli bir referans oluşturmaktadır.

3. Derin Kazılarda İksa Sistemleri

İstanbul, yoğun nüfusu, karmaşık ulaşım ağı ve tarihi dokusuyla Türkiye'de derin kazıların en sık gerçekleştirildiği kentlerin başında gelmektedir. Özellikle metro hatları, karayolu tünelleri, altyapı tesisleri ve yüksek yapı projeleri kapsamında yapılan kazılar, çevredeki mevcut yapıların ve tarihi eserlerin korunmasını zorunlu kılmaktadır. Bu nedenle, İstanbul'da derin kazılar sırasında iksa sistemlerinin doğru seçimi ve güvenli tasarımı büyük önem taşımaktadır. Yeni yapılaşmalar sonucunda kot farkları nedeniyle derin kazılar meydana gelmekte (Şekil 1) veya iksa sistemlerine ihtiyaç duyulmaktadır [14].



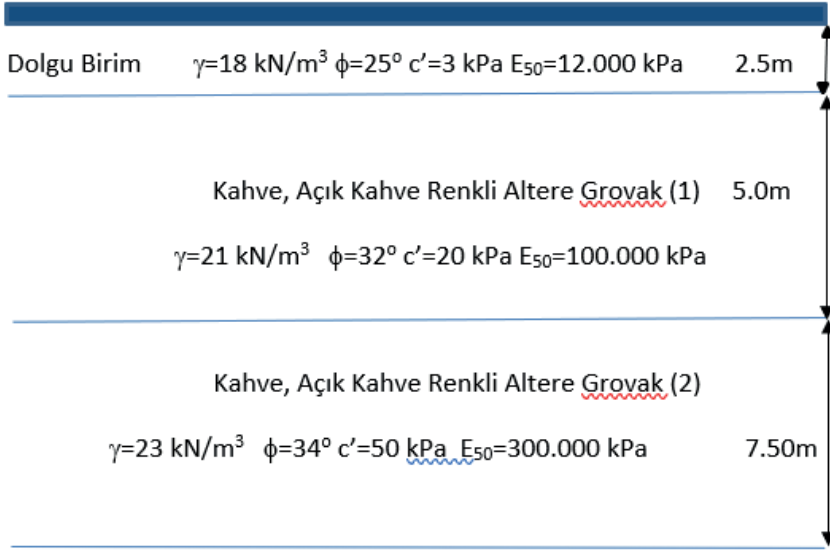
Şekil 1. Derin kazılar ve kot farkı

Şehrin jeolojik yapısı, farklı bölgelerde değişken zemin özellikleri göstermekte; bazı bölgelerde alüvyal zeminler, bazı bölgelerde ise sert kayalar bulunabilmektedir. Bu çeşitlilik, iksa sistemlerinin tasarımında farklı mühendislik çözümleri gerektirmektedir. Son yıllarda İstanbul'daki projelerde ankrajlı perde duvarlar, diyafram duvarlar, mini kazıklar ve çelik iksa sistemleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca, Plaxis gibi sayısal analiz yazılımları ile saha gözlemlerinin birlikte değerlendirilmesi, hem güvenliğin hem de ekonomik verimliliğin sağlanmasına katkıda bulunmaktadır. Bu bağlamda İstanbul, iksa sistemleri uygulamaları açısından Türkiye'de en fazla mühendislik deneyiminin biriktiği şehir olarak öne çıkmaktadır [15].

4. İksa Analizi ve Değerlendirmesi

İstanbul ili sınırları içerisinde yer alan bir projede saha analizi yapılmış ve iksa gereksinimi değerlendirilmiştir. Temel kazısı esnasında çevre yapıların ve yolun etki durumu incelendiğinde stabilitenin sağlanması amacıyla iksa sistemlerinin yapılması gerekmektedir. Yapılacak olan kazı sonucunda H:12.00m seviyelerine ulaşmaktadır. Bölgenin iadelize edilmiş zemin profil bilgileri Şekil 2'de gösterilmiştir.

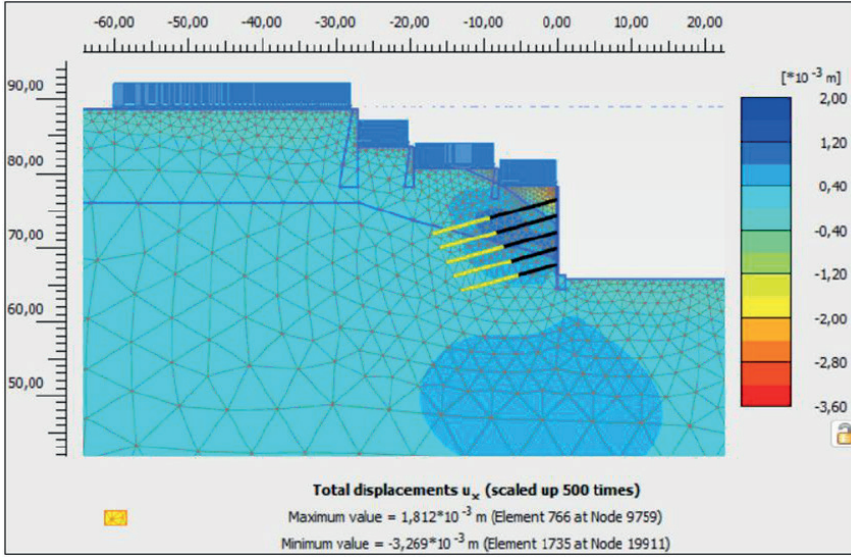
Yapılan analizlere göre kritik kesit belirlenmiştir. Bu kesit üzerinde gerekli sayısal analizler yapılarak iksa sisteminin stabilitesi kontrol edilmiş ve elemanlar boyutlandırılarak gerekli betonarme hesapları yapılmıştır.



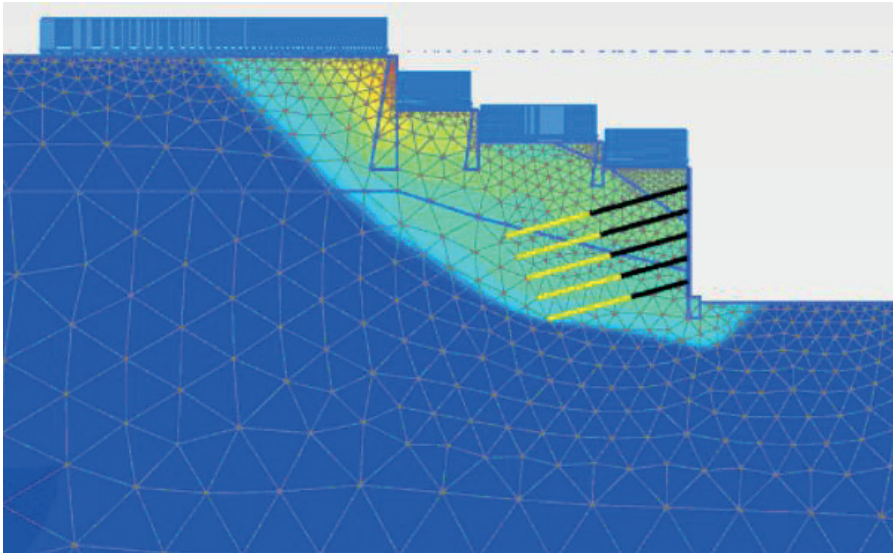
Şekil 2. Bölgenin idealize edilen zemin profili

Çalışmada Plaxis 2D programı kullanılmıştır. Bölgenin kritik kesiti programa tanıtılmış ardından da zemin profil bilgileri tanıtılmıştır. Öngermeli ankraj destekli betonarme kuyu perde uygulaması yapılmış ve yol yükü 15 kPa ve park yükü olarak 15 kPa olarak alınmıştır. Öngermeli ankraj destekli betonarme kuyu perde tasarımı yapılmıştır.

Kritik kesit üzerinde nihai kazı için beklenen yanal deplasmanlar elde edilmiş ve Şekil 3'te gösterilmiştir. Özellikle iksa bölgesindeki deplasman değerleri incelendiğinde gerekli güvenli bölgede kaldığı görülmektedir. Ayrıca statik durum güvenliği Şekil 4'te incelendiğinde ise $2.24 > 1.35$ olarak belirlenmiş ve güvenli olduğu görülmüştür.

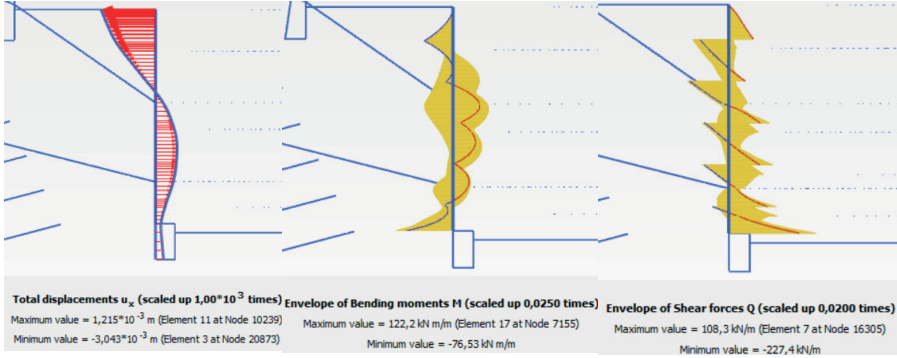


Şekil 3. Nihai kazı sonrasında beklenen yanıl deplasmanlar



ΣM_{Weight}	1,000
ΣM_{sf}	2,242
End time	0,000

Şekil 4. Statik durum analiz sonucu



Şekil 5. Statik durum perde üzerindeki kesit tesirleri ve deplasman değerleri

5. Sonuçlar

Kentsel alanlarda artan yapılaşma ihtiyacı, derin kazıların güvenli bir şekilde gerçekleştirilmesini zorunlu kılmaktadır. Bu süreçte kullanılan iksa sistemleri, yalnızca kazı güvenliğini sağlamakla kalmayıp çevredeki mevcut yapıların ve altyapıların korunması açısından da kritik öneme sahiptir. Bu çalışmada ele alınan İstanbul ilindeki bir projede gerçekleştirilen iksa uygulaması, tasarım parametreleri, sayısal analizler üzerinden değerlendirilmiştir.

Analizler sonucunda, kullanılan iksa sisteminin yatay deplasmanları kontrol altında tuttuğu, iç kuvvet dağılımlarının güvenli sınırlar içerisinde kaldığı ve stabilite koşullarının sağlandığı görülmüştür. Bu bulgular, iksa sisteminin hem mühendislik güvenliği hem de ekonomik açıdan uygun bir çözüm sunduğunu göstermektedir.

Elde edilen sonuçlar, benzer zemin koşullarında gerçekleştirilecek projeler için yol gösterici nitelikte olup, iksa tasarımında saha verilerinin ve sayısal analizlerin birlikte kullanılmasının önemini ortaya koymaktadır. Ayrıca, çevresel etkilerin azaltılması ve maliyet etkinliği açısından da iksa sistemlerinin doğru seçiminin ve tasarımının kritik olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Kaynaklar

- Yu, P., Shen, Y., & Ren, Y. (2022). Long-term performance of a deep excavation in silty clay in Xi'an — A case study. *Buildings*, 12(11), 1952. <https://doi.org/10.3390/buildings12111952>
- Zhang, L., Zhang, W., Wang, Z., Liu, S., & Liu, K. (2023). Instability risk assessment for deep excavation of soil-rock combinations containing groundwater. *Applied Sciences*, 13(23), 12887. <https://doi.org/10.3390/app132312887>
- Maher, T., Basha, A. M., Abo-Raya, M. M., & Zakaria, M. H. (2022). General deformation behavior of deep excavation support systems: A review. *Global Journal of Engineering and Technology Advances*, 10(01), 039-057.
- Zhao, W. (2018). A numerical study on the influence of anchorage failure for deep excavation in sandy soils. *Journal of Geotechnical & Geological Engineering*. <https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/1687814018756775>
- Yang, Q. R. et al. (2024). Influence of a flexible retaining wall on performance of an adjacent deep excavation through numerical modeling. *Engineering Structures*. <https://doi.org/10.1007/s12205-021-0762-x>
- Vural, U., Işık, N.S. (2019). Ankrajlı İksalarda Analiz Sonuçlarının Saha Deneyleri ile Karşılaştırılması. *Bayburt Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*. 2(1).
- Wang, G., Deng, F., Ren, K., Fang, Y., & Xu, H. (2025). Finite Element Analysis of the Excavation Stability of Deep and Large Ventilation Shafts of Zimuyan Tunnel Using the Raise Boring Machine Method in a Karst Area. *Buildings*, 15(2), 287. <https://doi.org/10.3390/buildings15020287>
- Wu, C.-Y., & Hsu, C.-F. (2023). Establishment of Localized Utilization Parameters for Numerical Simulation Analysis Applied to Deep Excavations. *Applied Sciences*, 13(18), 10127. <https://doi.org/10.3390/app131810127>
- Oser C & Sargın S (2022). Cantilever piles or well foundations in supporting temporary deep excavations: comparison of performance, safety and cost. *Turkish Journal of Engineering*, 6(2), 140-148
- Özbek, B. S. (2009), Ankraj Destekli Derin İksalarda Deformasyonların İncelenmesi, (Yüksek Lisans Tezi), Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Bowles, J. E. (1998). *Foundation Analysis and Design*, McGraw Hill, Singapore.
- Ük, M. (2009), Derin Kazılar ve Derin Kazılara Bir Örnek: Flame Towers Projesi İksa Sistemi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, İstanbul.
- Dayıoğlu, M. (2010). Derin Kazıların İncelenmesi ve Derin Kazı Uygulaması Üzerine Bir Örnek: Harbiye Kongre Merkezi Derin Temel Kazısı, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, İstanbul, 2010.

- Koyuncu, S. (2006). Derin Kazı Problemlerinde Betonarme Perde ve Mini kazık Analizi, M.Sc. Thesis, Istanbul Technical University, Istanbul.
- ÜK, M. (2009). Derin Kazılar ve Derin Kazılara Bir Örnek: Flame Towers Projesi İksa Sistemi, M.Sc. Thesis, Istanbul Technical University, Istanbul.