

ZEMİN KAYA ORTAMLARDA KARŞILAŞILAN FARKLILIKLARIN DERİN KAZI TASARIMLARINA ETKİSİ ÜZERİNE BİR ÖRNEK ÇALIŞMA

A CASE STUDY ON THE EFFECT OF ENCOUNTERED DIFFERENT SOIL AND ROCK CONDITIONS ON DEEP EXCAVATION DESIGN

Abdirahman Yasin Duale¹, Selçuk Bildik², Ahmet Arslan³, Mustafa LAMAN⁴

ÖZET

Büyük kentlerde özellikle komşu yapılar ve yolların etki alanında kalan derin kazıların desteklenmesi problemi geoteknik mühendisliğin en önemli konularından biridir. Bu konuda örnek bir çalışma olarak İstanbul İli, Maltepe İlçesi'nde çok katlı bir bina projesi dikkate alınmıştır. Proje kapsamında 18.30-23.30 metreler arasında değişen derin temel kazısı planlanmıştır. Derin kazı sistemi için proje sahasındaki farklı zemin ve kaya birimler irdelenerek, uygulanacak iksa sisteminin yeteri güvenlikte ve ekonomik çözüm olması hedeflenmiştir. Bu amaçla zemin ortamlarda ankrajlı fore kazık ile kumtaşı ve killi kireçtaşı-volkanik dayk birimlerde ise, zemin çivili püskürtme beton sisteminden oluşan kombine bir derin kazı destek sistemi projelendirilmiştir. İksa sistemi Plaxis 2D sonlu eleman programı ile analiz edilmiştir. İksa imalatları sırasında bazı bölgelerde zemin etüt raporunda sunulan zemin ve kaya birimlerden farklı birimlerle karşılaşmış olup, özellikle kaya birimlerde 5m-10m gibi geniş yüzeylerde çatlak yoğunlukları gözlenmiş ve çivili-püskürtme betonlarda bölgesel malzeme dökülmeleri oluşmuştur. Bu sorunların yaşandığı cephelerin sorunlu bölgelerinde proje revize edilerek, gerekli önlemler alındıktan sonra, ankrajlı mini kazık elemanlar da iksa sistemine dahil edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: *Derin Kazı, Ankrajlı fore kazık perde, Zemin çivili püskürtme beton, Plaxis*

ABSTRACT

The challenge of supporting deep excavations in big cities, especially in areas where there are neighbouring structures and infrastructure, is one of the most important issues of geotechnical engineering. As a case study on this subject, a multi-storey building project in Maltepe District of Istanbul Province was taken into consideration. Within the scope of the project, deep foundation excavations ranging from 18.30 to 23.30 meters are planned. For the deep excavation system, by considering different soil and rock units in the project site, the shoring system to be implemented was aimed to be a safe and economical solution. For this purpose, a combined deep excavation support system consisting of anchored bored piles in soil units and a soil nailed shotcrete system in sandstone and clayey limestone-volcanic dyke units has been designed. The shoring system was analysed with Plaxis 2D finite element program. During the construction and implementation of the shoring project, different soil conditions from the soil conditions reported in the soil investigation report were encountered in some regions, highly weathered materials were observed in wide areas such as 5m-10m along the shoring system, especially in the rock units, and regional soil spills occurred on the nailed-sprayed concrete surfaces. The project was revised in the problematic areas of the facades where these problems were experienced. After taking the necessary precautions, anchored mini pile elements were also included in the shoring system.

¹ İnş. Müh., Perform Müh. Müş. Ltd. Şti., a.duale@performgeo.com

² Dr. Öğr. Üyesi., Nişantaşı Üniversitesi, selcuk.bildik@nisantasi.edu.tr

³ İnş. Yük. Müh., Soilteknik Ltd. Şti., ahmet@soilteknik.com

⁴ Prof. Dr., Emekli Prof., lamanmustafa@gmail.com

Keywords: Deep Excavation, Anchored bored pile wall, Soil nail and shotcrete, Plaxis

1. GİRİŞ

Büyük kentlerdeki yoğun yapılaşma ve çok katlı yapı projelerinin giderek artması yanında, zemin içerisine gömülü (bodrum) katların artırılması ihtiyaçları nedeniyle derin kazılar yapılması gerekmektedir. Proje sahasının güvenli bir ortam olması yanında komşu yapılarla, yol ve her tür altyapının bu kazı faaliyetleri sırasında zarar görmemesi gerekir. Derin kazıların desteklenmesi problemi inşaat mühendisliği geoteknik anabilim dalının en önemli konularından biridir. Bu konuda örnek bir çalışma olarak İstanbul İli, Maltepe İlçesi'nde çok katlı bir bina projesi dikkate alınmıştır. Proje kapsamında 18.30-23.30 metreler arasında değişen derin temel kazısı planlanmıştır. Çok katlı 3 bloktan oluşan projede şevli kazılar için yeterli çekme mesafeleri bulunmamasından dolayı, tüm cephelerde temel kazısı için iksa tedbiri alınması zorunludur. Ayrıca, iksa sistemi planlanırken mevcut arazi zemin profili dikkate alındığında, üst birimlerde şev yapılması uygun görülmemiştir. İksa sisteminin oluşturulacağı tüm cephelerde gerek komşu yapılar gerekse çevre yollardan dolayı, zemin birimlerde ankrajlı fore kazık perde destek sistemi ve takiben kaya birimlerde zemin çivili püskürtme beton destek sistemi seçilmiştir. Proje kapsamında "Kazı Çukurlarının Desteklenmesi ile İlgili Uyulacak Esaslar" adlı genelge (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı (2018)) dikkate alınmıştır. İksa sistemi kritik tüm cephelerde Plaxis 2D sonlu eleman programı (Brinkgreve, R.B.J. (2018)) ile analiz edilmiştir. Projeye uygun olarak iksa imalatları yapılmaya başladıktan sonra bazı bölgelerde zemin etüt raporunda sunulan zemin ve kaya birimlerden farklı birimlerle karşılaşmış olup, özellikle kaya birimlerde 5m-10m gibi geniş yüzeylerde çatlak yoğunlukları gözlenmiş ve çivili-püskürtme betonlarda bölgesel malzeme dökülmeleri oluşmuştur. Bu problemlerin yaşandığı cephelerin sorunlu bölgelerinde proje revizyonuna gidilmiş, gerekli önlemler alındıktan sonra, ankrajlı mini kazık perde destek elemanı da iksa sistemine dahil edilmiştir.

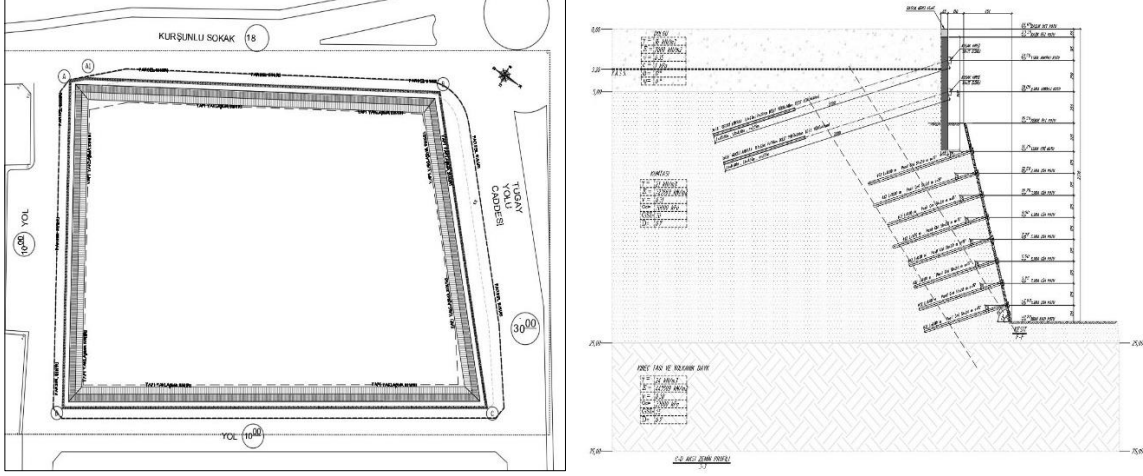
2. PROJE BİLGİLERİ VE ARAZİ ÇALIŞMALARI

İstanbul İli, Maltepe İlçesi sınırları içerisinde olan proje sahasında konut ve ofis binaları inşa edilmesi planlanmaktadır. İnceleme alanının uydu görüntüsü Şekil 1'de görülmektedir.



Şekil 1. İnceleme alanı uydu görüntüsü

İksa projesinin vaziyet planı ve ankrajlı kazık perde ve zemin çivili püskürtme beton iksa sisteminin tipik kesiti Şekil 2'de verilmektedir. Proje kapsamında A, B ve C olarak 3 adet çok katlı blok yapılması planlanmaktadır. A ve C bloklar 6 bodrum katlı, B blok ise 5 bodrum katlıdır.



Şekil 2. İksa projesi vaziyet planı ve iksa sisteminin tipik kesiti

İnceleme alanında zemin profilinin ortaya çıkarılmasıyla birlikte temel kotundan örselenmiş ve örselenmemiş numune almak amacıyla toplam derinliği 675m olan 18 adet sondaj kuyusu açılmıştır. İnceleme alanında yüzeyde kontrolsüz dolgu, devamında sırasıyla, siltli kumlu sert kil, devamında tümüyle ayrılmış, parçalı kırıklı, çok zayıf dayanımlı ayrılmış grovak, çok zayıf-zayıf-orta nitelikli, orta ayrılmış, sık-çok sık-parçalı kırıklı, orta zayıf dayanımlı kumtaşı, çok zayıf-zayıf-orta nitelikli, az ayrılmış, sık-çok sık-parçalı kırıklı, orta dayanımlı volkanik dayk ve kalsit damarlı, çok zayıf-zayıf orta-iyi-çok iyi nitelikli, az ayrılmış, sık-çok sık parçalı kırıklı, orta dayanımlı killi kireçtaşı yer almaktadır. Yüzeydeki kontrolsüz dolgu kalınlığı 3.00-6.00 metreler arasında değişmektedir.

3. İKSA SİSTEMİ TASARIMI

İstanbul İli, Maltepe İlçesi'nde inşa edilecek çok katlı konut ve ofis binaları 5 ve 6 bodrum katlı olduklarından temel kazı derinlikleri 18.30-23.30 metre seviyelerine ulaşacaktır. Derin kazı nedeniyle, proje sahasında geçici iksa sistemi planlanmıştır. İksa projesi 4 cephede planlanmış olup, Şekil 2'de görüldüğü gibi cepheler, A-A1-B, B-C, C-D ve D-A olarak isimlendirilmiştir. İksa sistemi, dolgu birimlerde ankrajlı kazık perde destek sistemi, dolgu birimi takip eden kumtaşı ve killi kireçtaşı-volkanik dayk birimlerde ise, zemin çivili püskürtme beton destek sistemi olarak projelendirilmiştir. Bazı kısımlarda müsaade edilen komşu sınırların yetersiz olması nedeniyle, zemin çivili püskürtme beton perdesinin yatayla yaptığı açıdan dolayı oluşan mesafe yetersiz kaldığından, sınırların dışına çıkmamak için zorunlu olarak ankrajlı kazık perde kısmen kumtaşı birimlerde de devam ettirilmiştir.

Ankrajlı kazık perde sistemi için $\Phi 65$ çaplı kazıklar ve bu kazıkları birbirine bağlayan 65 cm kalınlıkta başlık kirişi ile tasarlanmıştır. Kazık aralıkları 20 cm olarak belirlenmiştir. Ankrajlı kazık perde tek sıralı ankraj olan kesitlerde 22.00m ankraj boyu ve çift sıralı ankraj olan kesitlerde ise birinci sıra 23.00 m, ikinci sıra 22.00m ankraj boyu ile tasarlanmıştır. Ankraj kök boyları 8 metredir. Ankrajlar arası mesafe yatayda 2.55 m, düşeyde ise 2.50 m ve ankrajların yatayla yaptığı açı 15 derece olarak belirlenmiştir. Ankraj halatları 3x0.6" ve ankraj tasarım yükü 35 ton olarak belirlenmiştir. Zemin çivili püskürtme beton perdesinin kalınlığı 20 cm, yatay ve düşey aralığı 1.75m, yatayla yaptığı açı 75 derece, $\Phi 32$ 'lik çelikle uygulanan çivi boyları 8, 9 ve 10 metre olarak tasarlanmıştır. Ankrajlı fore kazık ile zemin çivisi arasında 1.50 metre genişlikte palye oluşturulmuştur. Analizlerde Plaxis 2D sonlu eleman yazılım programı kullanılmış olup, mevcut yoldan etkileyen sürşarj yükü 15kPa olarak alınmıştır.

3.1. İksa Sistemi Analizleri

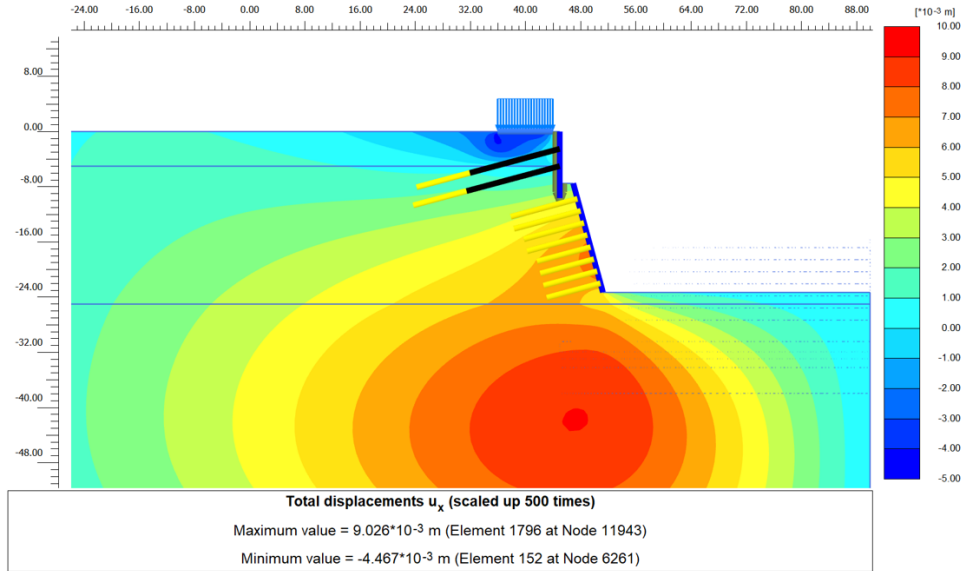
İksa sistemi proje hesapları Plaxis 2D sonlu elemanlar yazılımı ile yapılmıştır. Analizlerde idealize zemin profili için dikkate alınan zemin parametreleri Tablo 1'de verilmektedir. Dolgu birimler için Hardening Soil (HS-

Pekleşen zemin), kaya birimler için Hoek-Brown malzeme modeli kullanılmıştır. Ayrıca, killeşmiş çok bozuşmuş birim için ise HS modeli kullanılmıştır.

Tablo 1. Zemin Parametreleri

Parametreler	Dolgu	Killeşmiş Bozuşmuş Birim	Kumtaşı	Kireçtaşı	Birim
Birim Hacim Ağırlığı	17	18	21	24	kN/m ³
Erm, Elastisite Modülü	-	-	300	400	MPa
E, Deformasyon Modülü	7	30	-	-	MPa
v, Poisson Oranı	-	-	0.35	0.30	-
σ_{ci} , Tek Eksenli Basınç Dayanımı	-	-	30	33	MPa
m_i , Malzeme Sabiti	-	-	19	15	-
GSI, Jeolojik Dayanım İndeksi	-	-	30	35	-
D, Örselenme Faktörü	-	-	0.7	0.7	-
c, efektif kohezyon	1	5	-	-	kPa
ϕ , kayma mukavemet açısı	22	27	-	-	Derece

İlk tasarımda elde edilen yatay deformasyonlar Şekil 3'te verilmektedir.

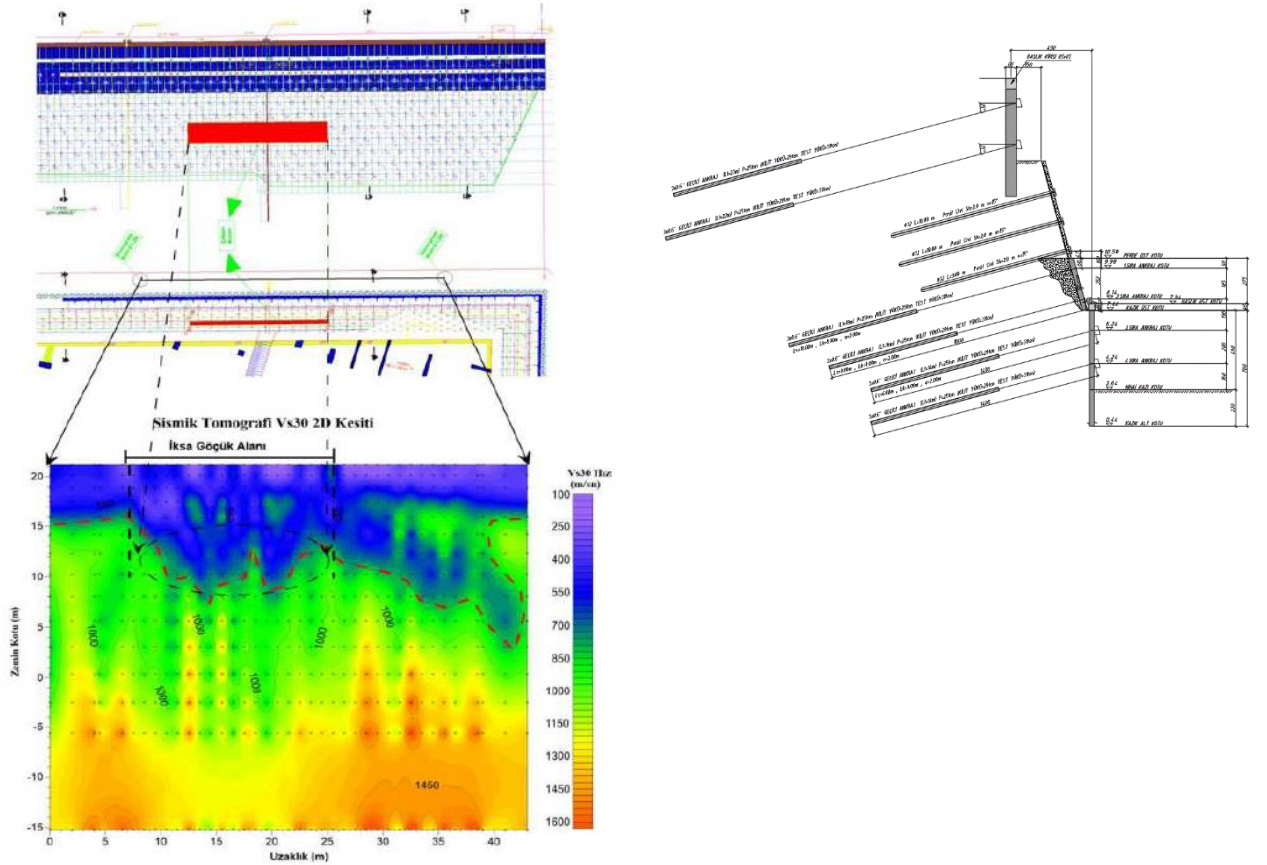


Şekil 3. İksa sisteminin yatay deplasman değerleri

3.1. İksa Sisteminin Revizyonu

İksa imalatları sırasında bazı bölgelerde zemin etüt raporunda sunulan verilerin dışında farklı zemin koşulları ile karşılaşmıştır. C-D aksının güney tarafında iksa çalışmalarının ilerlediği alt seviyelerde yaklaşık 8. metrelerde başlayan ve kireçtaşı birimler için yapılan tanımlamaların dışında olağan dışı 5m-10m gibi geniş alanlarda çatlak yoğunlukları gözlenmiş ve çivi-püskürtme beton yüzeylerinde bölgesel malzeme dökülmeleri oluşmuştur. Benzer şekilde D-A aksında da benzer durumlar gözlenmiştir. Söz konusu cephelerde çatlak sıklığı, derinliği ve ayrışma durumlarının yerinde tespit edilebilmesi amacı ile, 2D sismik tomografi yöntemi kullanılarak jeofizik etüt çalışması (Sonogram Mühendislik Zemin etüt raporu (2017), yapılmıştır. Bu kapsamda göçme hattının hemen üzerinde kazık başlık kirişi arkasında sismik çalışma yapılmıştır. Ölçümler esnasında 43 m'lik bir cephe boyunca 80 adet sismik atış gerçekleştirilmiş, her bir atış veri işlemeye tabi tutularak, zeminin sismik özellikleri 2D sismik tomografi kesiti elde edilerek belirlenmiştir (Şekil 4). Sismik çalışmaların yanı sıra her iki cephede ilave sondaj çalışmaları yapılarak sismik veriler doğrulanmıştır. Sondaj çalışmaları ve sismik ölçümler sonucu aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

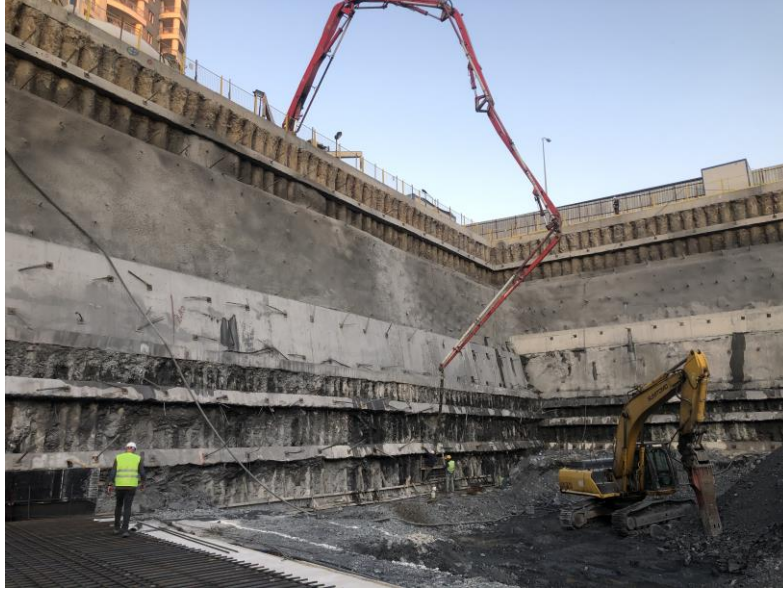
- Göçmenin olduğu alan sismik kesit üzerinde işaretlenmiş ve bu kısımda sismik Vs hızlarının, ilk etüt verilerinde genel olarak bu seviyeler için elde edilen değerlerden daha düşük olarak, 200-550 m/sn arasında değiştiği görülmüştür.
- Vs sismik hız değerlerinin düşük olduğu bu bölgede yapılan sondajlardan (Sonogram Mühendislik Zemin etüt raporu (2017) elde edilen karot verileri ayrışma ve çatlak sıklığı derecesi açısından değerlendirildiğinde, bu bölgelerde birimlerin çok sık parçalı kırıklı yapıda ve W4-W5 ayrışma derecesinde olduğu anlaşılmıştır.
- Şekil 4'te görüldüğü üzere bu zayıf zona, göçmenin olduğu alanda ve de iksa cephesinin daha güneyinde, kuzey cepheye göre daha derinlerde ulaşmaktadır. Kesit üzerinde mavi renk ile temsil edilen ve kesikli kırmızı çizgi ile sınırlandırılan bu alanlarda iksa sırasında göçmeye karşı mevcut projede öngörülen çivili püskürtme beton destek sistemi yerine alternatif bir perde sisteminin uygulanması gerektiği anlaşılmaktadır.
- Sorunlu bölgeler dışında kalan ölçüm alanında genel itibari ile, +5.00 kotundan itibaren (En güneyde +2.00 kotundan itibaren) sismik Vs hızlarının 1000 m/sn seviyelerine çıkması nedeniyle iksa açısından risk içeren bir durum görülmemekte ve bu kısımlarda mevcut iksa projesinde revizyona gidilmesine gerek olmamaktadır.
- Sorunlu bölgelerde ise, mevcut projede öngörülen çivili püskürtme beton destek sistemi yerine, ankrajlı mini kazık iksa projesi yapılmasına karar verilmiştir. C-D aksında uygulanacak kesit Şekil 4'de verilmektedir.



Şekil 4. 2D sismik tomografi kesiti ve revize iksa sistemine ait kesit

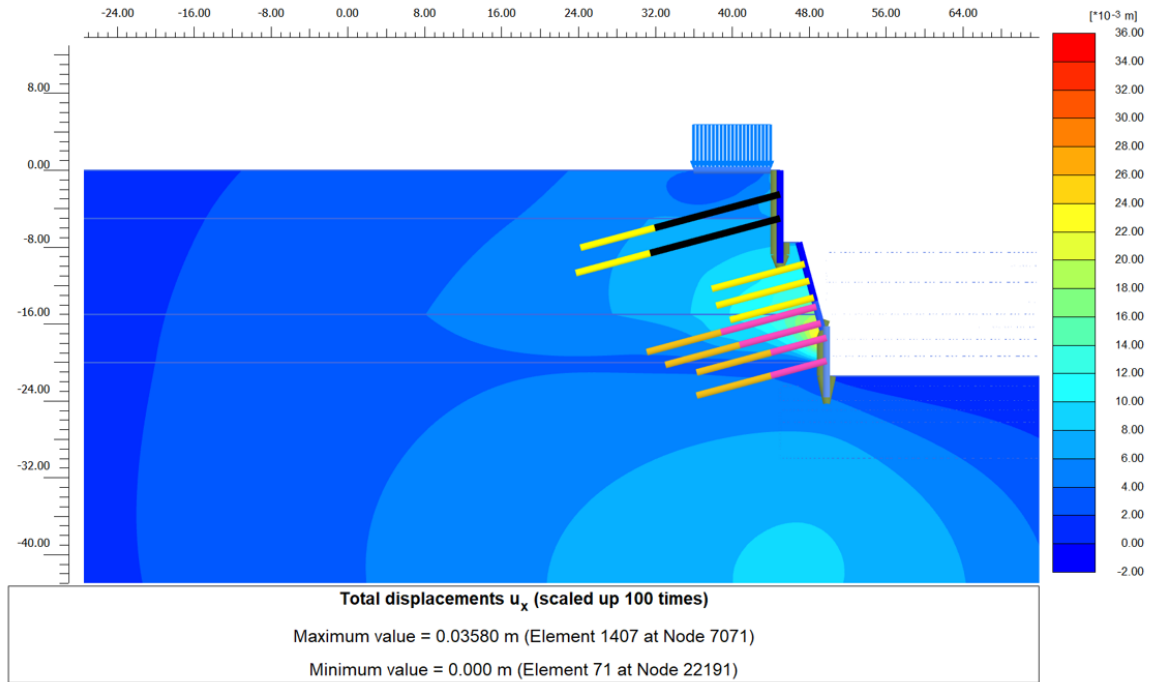
Söz konusu C-D aksında çok çatlaklı ayrışmış zondan itibaren iksa düzenlemeleri yapılmış olup, ankrajlı mini kazık perde iksa projesi tasarlanmıştır. Bu durumda, önce 30cm kalınlıkta ankrajlı betonarme perde oluşturulmuştur. Ardından, mini kazıkların imalatlarına geçilmiştir. Mini kazık çapı 30 cm olup, kazık net aralığı 20cm'dir. Ankraj açıları 15° olup, ankraj tasarım yükleri 25 ton olarak belirlenmiştir. Ankraj dikey ve yatay

aralığı 2 metre olarak belirlenmiştir. Ankraj boyları ise, ilk sırada 18 metre, devamında 16 metre ve son iki sırada 14 metre olarak planlanmıştır. İmalatı gerçekleştirilen revize kesit Şekil 5'te sunulmaktadır.



Şekil 5. İmalatı gerçekleştirilen revize kesit

Revize tasarımda elde edilen yatay deplasmanlar Şekil 6'da verilmektedir.



Şekil 6. İksa sisteminin yatay deplasman değerleri

Revize tasarımda elde edilen yatay deplasman değerlerinin müsaade edilen limit değerinin altında olduğu görülmektedir. Ayrıca, iksa sisteminin toptan göçmeye karşı elde edilen güvenlik sayısının da önerilen minimum değerinin üzerinde olduğu görülmüştür. Sonuç olarak, revize iksa destek sisteminin bulunduğu konum, zemin malzemesi ve ankrajlı mini kazık destek sistemi özelliklerinin girildiği analizlerden elde edilen

sonuçlar, revize iksa nlem sisteminin uygun olduğunu göstermiştir. Nitekim bu revize proje ile birlikte devam eden iksa sistemi güvenle tamamlanmıştır. Çok katlı yapıların temel sisteminin inşası ve 5 ve 6 bodrum katlarının inşası süresince herhangi bir olumsuzluk yaşanmamıştır. Genelgeye uygun olarak yerleştirilen inklinometre okumalarından elde edilen yatay deplasman değerleri maksimum 23.30m seviyelerine kadar yapılan kazılar sonucunda sınır değerlerin altında kalmıştır. Çok katlı konut ve ofis amaçlı binalar yakın zamanda tamamlanmıştır.

4. SONUÇLAR

Istanbul İli, Maltepe İlçesi sınırları içerisinde konut ve ofis binaları inşa edilmiştir. Binalar 5 ve 6 bodrum katlı olduklarından temel kazı derinlikleri 18.30-23.30 metre seviyelerine ulaşmıştır. Bu nedenle proje sahasında tüm cephelerde geçici iksa sistemi planlanmıştır. İksa sistemi, dolgu birimlerde ankrajlı kazık perde destek sistemi, dolgu birimi takip eden kumtaşı ve killi kireçtaşı-vulkanik dayk birimlerde ise, zemin çivili püskürtme beton destek sistemi olarak projelendirilmiştir. İksa sistemi planlamasında yararlanılan zemin etüt çalışmaları için yapılan sondaj, arazi-laboratuvar deney ve jeofizik etütler, ülkemizde geçerli yönetmeliklere uygun olarak hazırlanmış olmasına rağmen iksa sisteminin uygulanması sırasında sahada bazı bölgelerde rapor verilerinin dışında zayıf birimlerle karşılaşılmıştır.

İksa projesinde C-D aksının güney tarafında iksa çalışmalarının ilerlediği alt seviyelerde yaklaşık 8. metrelerde başlayan ve kireçtaşı birimler için yapılan tanımlamaların dışında olağan dışı 5m-10m gibi geniş alanlarda çatlak yoğunlukları gözlenmiş ve çivi-püskürtme beton yüzeylerinde bölgesel malzeme dökülmeleri gibi problemler yaşanmıştır. Projenin D-A aksında da benzer durumlar gözlenmiştir. Bu durumlardan dolayı projenin ilerleyen saffalarında güvenlik sorunları yaşanacağı anlaşıldığından çalışmalar derhal durdurulmuş ve problemin tüm boyutlarıyla doğru teşhis edilebilmesi için kapsamlı bir ilave etüt çalışması yapılmıştır.

Söz konusu cephelerde çatlak sıklığı, derinliği ve ayrışma durumlarının yerinde tespit edilebilmesi amacı ile, 2D sismik tomografi yöntemi kullanılarak jeofizik etüt çalışması yapılmıştır. Ölçümlerde 43 m'lik bir cephe boyunca 80 adet sismik atış gerçekleştirilmiş, her bir atış veri işlemeye tabi tutularak, zeminin sismik zellikleri 2D sismik tomografi kesiti elde edilerek belirlenmiştir. Ayrıca, Sismik çalışmaların yanı sıra her iki cephede ilave sondaj çalışmaları yapılarak sismik veriler doğrulanmıştır. Bu alışmalar sonucu, göçmenin oluştuğu bölgelerle kazıya devam edilmesi durumunda yeni oluşacak diğer bölgeler belirlenmiştir.

Bu zayıf zonlar ve göçmenin olduğu alanda iksa sırasında göçmeye karşı mevcut projede öngörülen çivili püskürtme beton destek sistemi yerine alternatif bir perde sisteminin uygulanması gerektiği anlaşılmıştır.

Sorunlu bölgelerde mevcut projede öngörülen çivili püskürtme beton destek sistemi yerine, ankrajlı mini kazık iksa projesi yapılmasına karar verilmiştir. Söz konusu çok atlıklı ayrışmış zondan itibaren iksa düzenlemeleri yapılmış olup, ankrajlı mini kazık perde iksa projesi tasarlanmıştır. Revize projeye dahil edilen yeni uygulamada önce 30cm kalınlıkta ankrajlı betonarme perde oluşturulmuştur. Ardından, mini kazıkların imalatlarına geçilmiştir. Mini kazık çapı 30 cm olup, kazık net aralığı 20cm'dir. Ankraj açıları 15° olup, ankraj tasarım yükleri 25 ton olarak belirlenmiştir. Ankraj düşey ve yatay aralığı 2 metre olarak belirlenmiştir. Ankraj boyları ise, ilk sırada 18 metre, devamında 16 metre ve son iki sırada 14 metre olarak planlanmıştır.

Revize projenin PLAXIS 2D sonlu elemanlar yazılımı ile analizlerinden yatay deplasman değerleri müsaade edilen limit değerin altında kalmıştır. İksa sisteminin bu revize sistemde toptan göçmeye karşı elde edilen güvenlik sayısı da önerilen minimum değerin üzerindedir. Sonuç olarak, revize iksa destek sisteminin bulunduğu konum, zemin malzemesi ve ankrajlı mini kazık destek sistemi özelliklerinin girildiği analizlerden elde edilen sonuçlar, revize iksa sisteminin uygun olduğunu göstermiştir.

Revize proje ile birlikte devam eden iksa sistemi güvenle tamamlanmış ve hedeflenen maksimum 23.30m temel kazısına ulaşılmıştır. Çok katlı yapıların 5 ve 6 bodrum katlarının inşası süresince herhangi bir olumsuzluk yaşanmamıştır. Genelgeye uygun sayı ve konumda yerleştirilen inklinometre okumalarından elde edilen yatay

deplasman değerleri sınır değerlerin altında kalmıştır. Çok katlı konut ve ofis amaçlı binalar herhangi bir sorun yaşanmadan yakın zamanda tamamlanmıştır.

KAYNAKLAR

Sonogram Mühendislik İnş. Son.ve Lab. Hiz. Tic. Ltd. şirketi (2017), "Zemin etüt raporu".

Çevre ve şehircilik Bakanlığı (2018), "Kazı Çukurlarının Desteklenmesi İle İlgili Uyulacak Esaslar".

Brinkgreve, R.B.J. (2018), "PLAXIS 2D User's Manual", Delft University of Technology & PLAXIS bv the Netherlands.

FHWA-IF-99-015 (1999), "Ground Anchors and Anchored Systems".

FHWA0-IF-03-017 (2003), "Soil Nail Walls".