

İKSA SİSTEMLERİNDE DESTEK ELEMANLARININ ÇOKLU KULLANIMINA AİT BİR VAKA ANALİZİ

A CASE STUDY ON THE USE OF MULTIPLE SUPPORT ELEMENTS IN RETAINING STRUCTURES

İlkay TONYALI¹

ÖZET

Bu çalışmada, İstanbul İli, Beyoğlu İlçesi, Sütlüce Mahallesi Kentsel Dönüşüm İşi kapsamında yapılması planlanan konut, otopark ve ibadethane yapılarına ait temel kazıları esnasında, inceleme alanına komşu yapıların güvenliğinin sağlanması amacıyla oluşturulan iksa sistem imalatları değerlendirilmiştir. Kazı derinlikleri kademeli olarak 5-30 metre arasında değişmektedir. Projelendirme aşamasında sahada sondaj çalışmaları gerçekleştirilmiş olup, 2,00-9,00 metre arasında değişen kalınlıklarda dolgu birimlere rastlanmıştır. Dolgu birimler altında, Trakya Formasyonu olarak bilinen kırıklı-çatlaklı, iyi dayanımlı şeyl-silttaş ardalımları tespit edilmiştir. Jeolojik, mimari ve topoğrafik durumlar dikkate alınarak, kazı alanında, 65 cm çapında, 80 cm aralıklarla ve 80 cm çapında, 100 cm aralıklarla kazıklar konumlandırılmıştır. Söz konusu kazıklar, düşeyde 4-11 sıra geçici ankrajlar, 2-5 sıra çelik destek elemanları ve bunların kombinasyonları ile desteklenmiştir. Kazı derinliğinin ve zemin profilinin elverişli olduğu durumlarda ise, konsol fore kazıklı iksa sistemleri tercih edilmiştir. Yukarıda detaylandırılan iksa sistem analizleri, sonlu elemanlar yöntemi ile değerlendirme imkanı sağlayan Plaxis2D programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Analizler sonucu elde olunan deplasman verileri, sahada konumlandırılan inklinometre kuyuları ve topoğrafik okumalarla düzenli olarak kontrol edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: İksa sistemi, çelik destek, öngerme ankraj, fore kazık

ABSTRACT

In this study, the construction of residential, parking, and religious structures planned within the scope of the Urban Transformation Project in the Sütlüce Neighborhood of Beyoğlu District, İstanbul Province, was evaluated in terms of the construction of retaining systems established to ensure the safety of the adjacent structures. The excavation depths range from 5-30 meters gradually. During the design phase, borehole works were conducted, and fill units were encountered at depths ranging from 2-9 meters. Below the fill units, fractured and fissured, well-consolidated shale-siltstone intercalations known as the Trakya Formation were identified. Considering the geological, architectural and topographic conditions, piles were positioned in the excavation area with a diameter of 65 cm and spaced at intervals of 80 cm, and piles with a diameter of 80 cm were spaced at intervals of 100 cm. These piles are supported by 4-11 rows of temporary anchors, 2-5 rows of steel support elements, and their combinations. Cantilever pile wall systems were preferred in cases where the excavation depth and soil profile were suitable. The analysis of the mentioned excavation system was conducted using the Plaxis2D. The displacement data obtained from the analysis were regularly monitored in the field through inclinometers and topographic readings.

Keywords: Retaining system, steel support, prestressed anchor, bored pile

¹ İnşaat Yüksek Mühendisi, Moment Proje, ilkaytonyali@momentproje.com

1. GİRİŞ

Dünya genelinde hızla artan nüfus oranı ile birlikte, özellikle şehir merkezlerinde inşaat alanları gün geçtikçe azalmaktadır. Bununla birlikte, ihtiyaç duyulan otopark, teknik hacim, depolama v.b. alanların bodrum katlarda teşkil edilmesinden dolayı, dar alanlarda derin kazı gereksinimleri ortaya çıkmaktadır. Açık kazı yapılması mümkün olmayan bölümlerde, mevcut bina, yol, altyapı v.b. tesislerin korunması ve şev stabilitesi sağlanması amacıyla iksa sistemleri teşkil edilmesi gerekmektedir. İksa sistemlerinin yanal toprak basınçlarını, ilave sürşarj etkilerini ve deprem durumunda meydana gelen dinamik yüklemeleri güvenli şekilde taşıması ve limit deplasman koşulları altında hizmet sunmaya devam etmesi beklenmektedir. Bunun sağlanabilmesi için, gerekli görülen koşullarda iksa sistemlerinin ankraj, zemin çivisi, çelik destek v.b. elemanlarla desteklenmesi gerekmektedir. Bu sistemlerin saha şartlarını yansıtacak şekilde tasarlanması can ve mal güvenliği açısından son derece önem arz etmektedir. Birçok araştırmacı iksa sistem tasarımları ile saha ölçümleri neticesinde elde olunan verileri kıyaslamalı olarak incelemektedir.

Kökten ve diğ. (2014) mevcut yapılara komşu aç-kapa tünel inşaatı esnasında 20 metre derinliğindeki kazı çalışmalarını yürütebilmek adına farklı tipte iksa sistemleri tasarlamışlardır. Yapılan çalışmalarda, 2D ve 3D analiz sonuçları kullanılarak, iksa sistemlerindeki deplasman ve kesit tesirleri belirlenmiş olup, çevre yapılarda meydana gelen yatay-düşey deformasyonların kabul edilebilir limit değerler içinde kaldığı gösterilmiştir. Vural ve Işık (2019), yüksek miktarda deplasman yapmış ankrajlı bir iksa sistemine ait inklinometre okuma sonuçlarını kullanarak, aşırı konsolidasyon oranlarının yanal toprak basınçları üzerindeki etkisini incelemiştir.

Bu çalışmada, İstanbul İli, Beyoğlu İlçesi, Sütlüce Mahallesi Kentsel Dönüşüm İşi kapsamında yapılması planlanan binalara ait temel kazıları esnasında, komşu yapıların ve şev güvenliğinin sağlanması amacıyla oluşturulan farklı elemanlar ile desteklenmiş iksa sistemleri incelenmektedir. Bu bağlamda, tasarım aşamasındaki analiz sonuçları ile imalat sonrası saha ölçümleri kıyaslamalı olarak değerlendirilmektedir.

2. İNCELEME ALANI

İnceleme alanı, İstanbul'un en eski yerleşim yeri olan Tarihi Yarımada'da bulunmaktadır. Kentsel dönüşüm kapsamında, eski yapıların yıkılması ve yerlerine önceki yerleşimlerine sadık kalınarak, mahalle konseptinde tasarlanmış 398 adet konut, 20 ticari birim ve dini tesisler ile yaşam alanları oluşturulması planlanmıştır. İnşaat sahası 16.000 m² olup; toplam yapı alanı 73.982 m²'dir. Arazi güney-kuzey doğrultusunda Haliç Parkı'na doğru %16 eğim ile konumlanmıştır. Konut, ticari birim ve ibadethane yapıları ile birlikte, araç parkı ihtiyacının karşılanması amacıyla 4 adet kapalı otopark yapısı tasarlanmıştır. Otopark yapıları, bağlantı yol kotları, topografik eğimler ve bina yerleşimleri dikkate alınarak 4, 5, 6 ve 9 bodrumlu olarak planlanmıştır. Tablo 1'de otoparklar ile bunlara komşu yol ve yapılara göre kazı kotları özetlenmektedir. Kot farklılıkları nedeniyle, kazılar esnasında oluşacak yarma yüzeylerinin güvenli şekilde teşkil edilmesi amacıyla iksa sistemleri tasarlanmıştır.

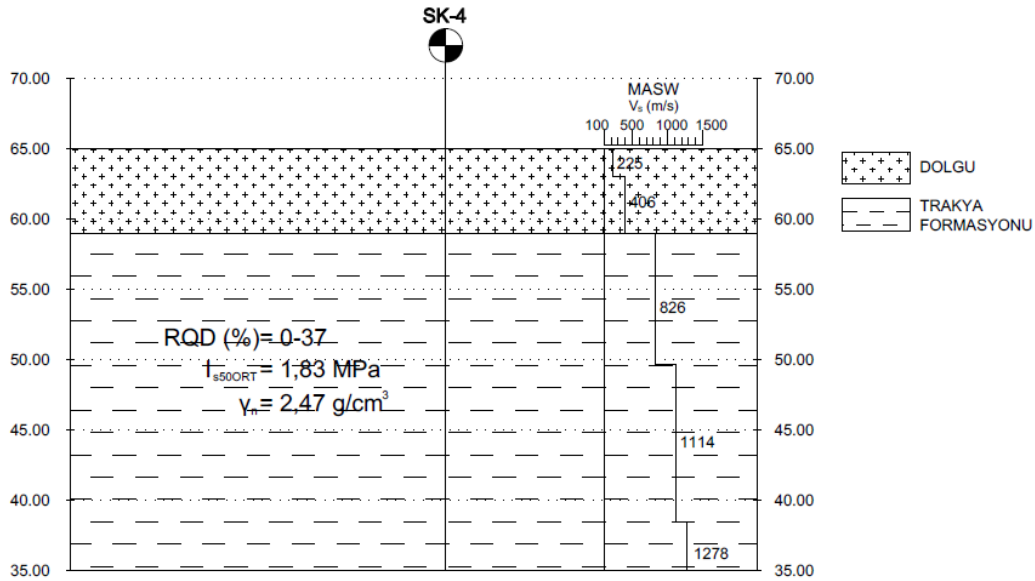
Tablo 1. Otoparklar ile komşu yapılara ait kot değerlendirmeleri

Yapı Tipi	Temel Alt Kotu (T.A.K.)	Komşu Yapı Tipi	Komşu Blok T.A.K.	Kazı Yüksekliği (m)
Otp-01	25,90	A	25,00	0,90
		B	37,95	12,05
		C	41,20	15,30
		D	46,60	20,70
Otp-02	35,45	E	47,00	11,55
		G	56,05	20,60
		CADDE	65,45	30,00
Otp-03	26,15	A	25,00	1,15
		E	47,00	20,85
		H	34,90	8,75
Otp-04	23,50	I	47,20	21,05
		H	34,90	11,40

I	47,20	23,70
SOKAK	50,00	26,50

3. ZEMİN PROFİLİ

İnceleme alanında zemin profilinin belirlenmesi amacıyla, 17 adet toplam 505 metre sondaj çalışması yapılmıştır. Arazi çalışmalarında 2,00-9,00 metre arasında (ortalama 6,00 metre) kontrolsüz dolgu birim tespit edilmiş olup; bu birim altında Trakya Formasyonu olarak bilinen kırıklı-çatlaklı, iyi dayanımlı şeyl-silttaşı ardaalanmaları görülmüştür. Sondaj çalışmalarında yeraltı suyu rastlanmamıştır. Araştırma çalışmaları neticesinde SK-4 sondajından elde olunan zemin profili Şekil 1'de verilmektedir (İstanbul Mühendislik, 2015).



Şekil 1. SK-4 sondajından elde olunan zemin profili

Bu çalışma kapsamında tasarlanan iksa sistemlerinde, drenajlı (uzun dönem) parametre kullanımı uygun görülmüştür. Tablo 2'de hesaplamalarda dikkate alınan zemin özellikleri verilmektedir.

Tablo 2. Analize esas zemin modeli ve mukavemet parametreleri

Derinlik (m)	Zemin Cinsi	ϕ'	c' (kPa)	Elastisite Modülü (kPa)
0,00-9,00	Dolgu	27°	-	12.000
9,00-?	Trakya Formasyonu	33°	10	100.000

4. İKSA SİSTEM DEĞERLENDİRMELERİ

Proje kapsamında 24 farklı tip kesit oluşturulmuştur. 6,00 metre'ye kadar olan kazılar için konsol kazıklar tercih edilmiştir. Bu derinliğin üzerinde kazıklar öncelikle öngerme geçici ankrajlarla desteklenmeye çalışılmıştır. Bazı bölümlerde blokların birbirlerine yakın olması ve kot farklılıklarının kısa mesafelerde oldukça değişkenlik göstermesi sebebiyle, ankrajların birbirini kesme problemleri ile karşılaşılması muhtemel görülmüştür. Bu durum kademeli kazı planlaması ile çözülmek istense de inşaat süresinin kısıtlı olması sebebiyle, tüm kazıların aynı anda yapılması zorunlu hale gelmiştir.

Ankrajların kesiştiği bölümlerde çelik destek elemanlarının kullanılması planlanmıştır. Ancak, kazının bazı bölümlerinde plan açıklıkları 50,00 metre'nin üzerine çıkmaktadır. OTP01 ve OTP03 yapılarında karşılaşılan bu olumsuz durumu ortadan kaldırmak amacıyla, kazıklar üçgenleme sistemi ile konumlandırılmıştır. Bu şekilde, çelik destekler kısa açıklıklarda yerleştirilebilmiştir. Bu sistem, A Blok ve OTP01 yapılarının kuzey-batısında bulunan otele ait 12,00 metre yüksekliğindeki istinat duvarı cephesinde de tercih edilmiştir. OTP03 kazısında karşılıklı destek konumlandırılması planlanan H ve I Blok cephelerindeki 15,00 metre'yi bulan kot

farklılıklarından dolayı, bu bölgede çelik destek ve ankraj sistem kombinasyonları tercih edilmiştir. Bahsi geçen iksa sistemlerine ait yerleşim planı ve uygulama görünüşleri Şekil 2’de toplu olarak verilmektedir.



Şekil 2. İksa yerleşim planı ile ankraj ve çelik elemanlarla desteklenmiş sistem imalat görünüşleri

5. İKSA SİSTEM ANALİZ SONUÇLARI

Yukarıda aktarılan hususlar dikkate alınarak, kazı alanlarında 65 cm çapında, 80 cm aralıklarla ve 80 cm çapında 100 cm aralıklarla kazık uygulamaları tercih edilmiştir. Kazı yükseklikleri dikkate alınarak kazıklar konsol, geçici öngerme ankrajlı, çelik destekli ve bunların kombinasyonları şeklinde tasarlanmıştır. Öngerme ankrajlar için düşük gevşemeli 4x0,6'' halatlar kullanılmıştır. Tasarım öngerme yükü 42 ton olarak hesaplanmıştır. Çelik destek elemanlarında D610*16 boru profil tercih edilmiştir. Destek elemanlarına ait yapısal özellikler Tablo 3’de görülmektedir. İksa sistem analizleri, sonlu elemanlar yöntemiyle değerlendirme yapabilme imkanı sunan Plaxis 2D programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çelik destek eleman analizleri ise SAP 2000 programında yapılmıştır.

Tablo 3. Kazık, ankraj ve çelik destek yapısal özellikleri (Moment Proje, 2016)

Tanım	EA [kN/m]	EI [kNm ² /m]	Tanım	EA [kN/m]	EI [kNm ² /m]
Kazık65/80	1,24E7	3,28E5	Geo. ANK-4*0.6''-2.4m	130666,00	-
Kazık80/100	1,60E7	6,43E5	Anc. ANK-4*0.6''-2.4m	112000,00	-
D610*16 a=4m	1,49E6	65857,00			

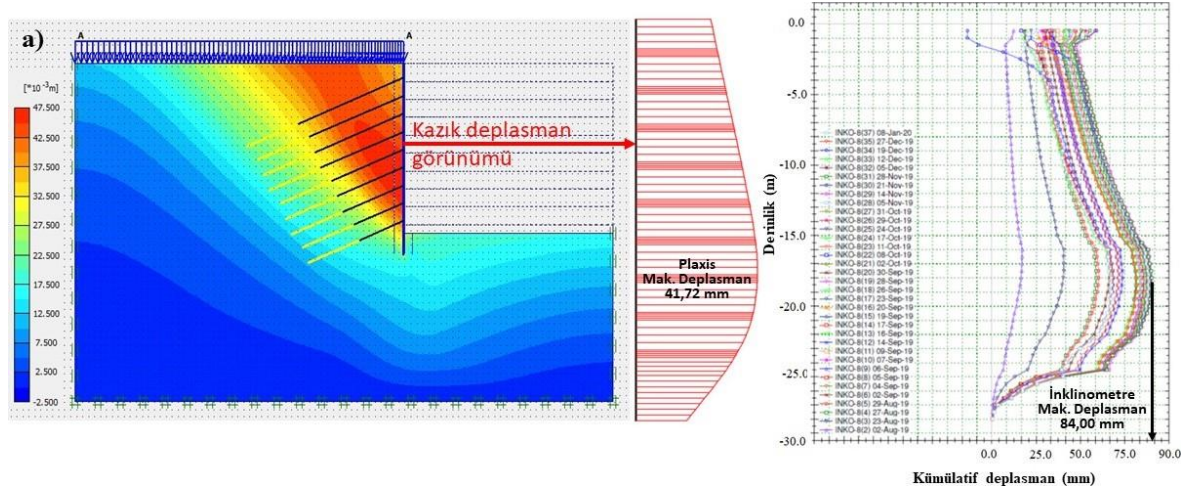
6. SAHA ÖLÇÜMLERİ

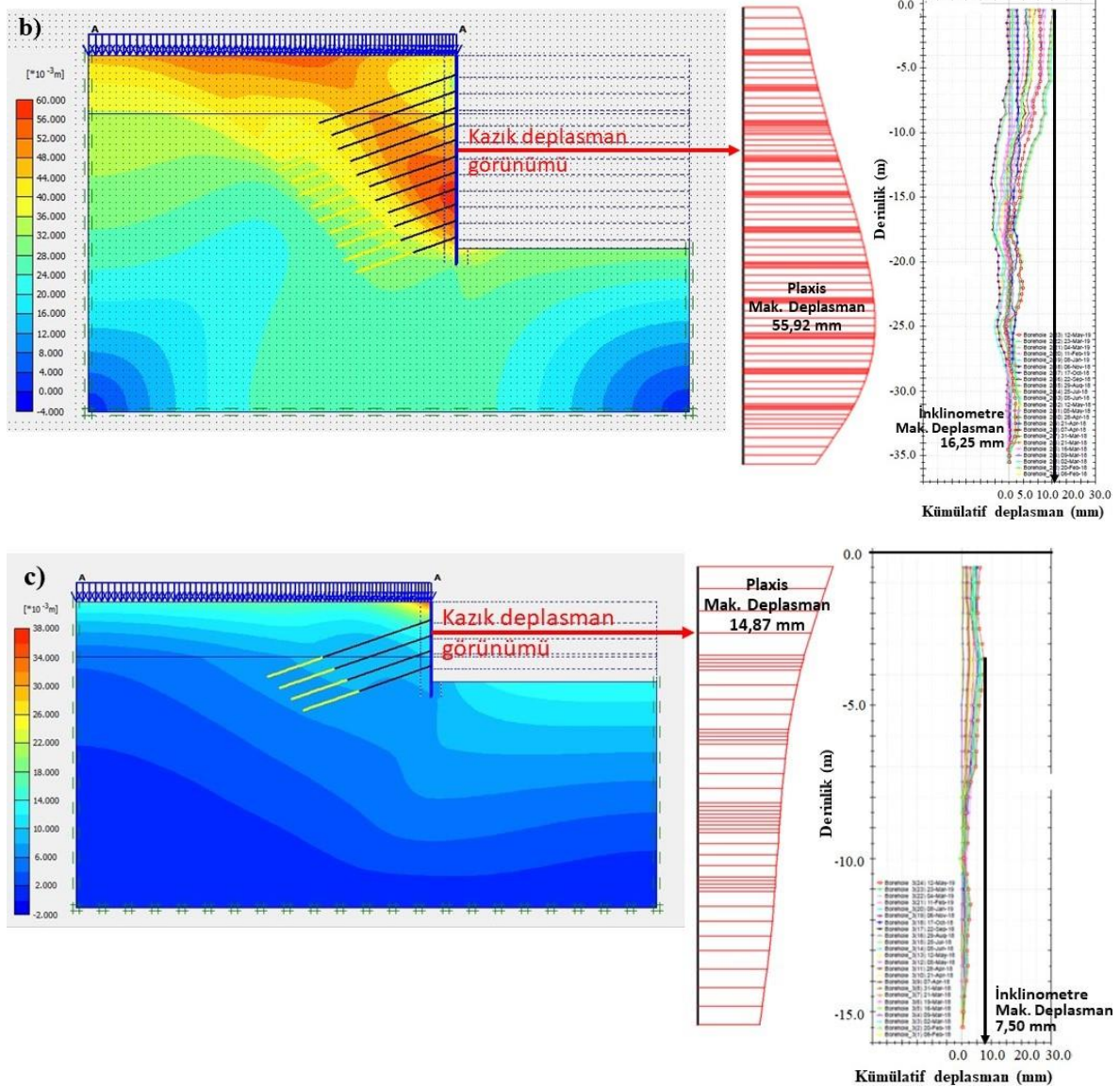
İksa sistemlerinde kazı süresince meydana gelen deplasmanların tespiti amacıyla 9 noktada inklinometre kuyuları teşkil edilmiştir. Düzenli ölçüm alınan ve farklı tipte iksa cephelerine konumlandırılan üç adet inklinometre ölçüm sonuçları, plaxis analizlerinden elde olunan değerlerle kıyaslamalı olarak Tablo 4'de aktarılmaktadır. Kazı derinlikleri ve sahada gözlenen yatay deformasyon oranları dikkate alındığında, elde olunan değerlerin NAVFAC DM-7 (1982) tarafından verilmiş olan maksimum %0,50 deformasyon sınırı içinde kaldığı görülmektedir.

Tablo 4. Tasarım ve imalat aşamalarında elde edilen deplasman değerleri (Moment Proje, 2016)

İksa Tipi	Destekleme Tipi	H _{kazı} (m)	İnklinometre No	Plaxis Dep. δ_p (mm)	İnklinometre Dep. δ_i (mm)	$\delta_i/H_{kazı}$ (%)
Tip A	9 Sıra Ankraj	23,70	Inko-8	41,72	84,00	0,35
Tip 8	11 Sıra Ankraj	30,00	Borehole_2	55,92	16,25	0,05
Tip 1A	4 Sıra Ankraj	12,00	Borehole_3	14,87	7,50	0,06

Kazı esnasında gözlemlenen deplasmanların; analiz sonucunda hesaplanan değerlere oranları, Tip A için %201; Tip 8 için %29 ve Tip 1A için %50 olduğu görülmektedir. Buna göre, Tip 8 ve Tip 1A modellemelerinde göz önüne alınan zemin parametrelerinin güvenli tarafta kalınarak seçildiği anlaşılmaktadır. Bununla birlikte, benzer veriler kullanılarak analiz edilen Tip A sisteminde öngörülen deplasmanların oldukça düşük kaldığı tespit edilmiştir. Bu durumun, kayaç yapısındaki ayrışma ve süreksizliklerin, yatay ve düşey profilde değişkenlik göstermesinden kaynaklandığı öngörülmektedir. Şekil 3'de analizler sonucunda elde olunan derinlik-yatay deplasman grafikleri saha ölçümleri ile karşılaştırmalı olarak verilmektedir.





Şekil 3. Plaxis 2D analiz sonuçlarına göre kazık deplasmanı ve inclinometre ölçüm sonuçlarının değerlendirilmesi: a) Tip A; b) Tip 8; c) Tip 1A (Öztaş Zemin, 2019)

7. SONUÇLAR

Bu çalışmada, İstanbul İli, Beyoğlu İlçesi, Sütlüce Mahallesi Kentsel Dönüşüm İşi kapsamında imatları gerçekleştirilen temel kazıları esnasında oluşacak 5 metre ile 30 metre arasında değişen yüksekliklerdeki yarma yüzeylerine komşu yol ve yapılarda güvenli stabilitenin sağlanması amacıyla teşkil edilmiş iksa sistemleri değerlendirilmiştir. Kazı yükseklikleri, bina yerleşim ve kot farklılıkları göz önüne alınarak, çeşitli çap ve aralıklarda uygulanan kazıklar konsol, öngerme geçici ankrajlar, çelik destekler ve bunların kombinasyonları ile desteklenecek şekilde tasarlanmıştır. İnşaat sahasında tüm yapı temel kazılarının aynı anda gerçekleştirilecek olması, her koşulda ankraj imalatının mümkün olmaması ve iksa cephelerinin bazı alanlarda 50 metre açıklıkta olması sebebiyle, bu bölümlerde kazık yerleşimi için üçgenleme sistemi tercih edilmiştir. Böylece, çelik destekler daha kısa açıklıklarda konumlandırılabilmiştir.

İksa cephelerinde meydana gelen deformasyonların izlenmesi amacıyla düzenli olarak inclinometre ve topoğrafik ölçümler gerçekleştirilmiştir. Üç farklı tipteki iksa cephelerinde konumlandırılan inclinometre ölçümleri ile analiz sürecinde elde olunan deplasman değerleri kıyaslanmıştır. Sahada gözlemlenen yanal deplasman (δ) ve kazı yüksekliği ($H_{kazı}$) oranlarının, NAVFAC DM-7 (1982) tarafından verilmiş olan %0,50 sınır

koşul değerinden küçük olduğu görülmektedir. Sahada ölçülen yatay deplasmanların, tasarım sürecinde elde olunan değerlere oranları sırasıyla, Tip A için %201; Tip 8 için %29 ve Tip 1A için %50'dir. Sonuçlar arasındaki bu farklılıkların, sondaj çalışmalarında gözlemlenen Trakya Formasyonu'ndaki ayrışma ve süreksizliklerin, yatay ve düşey profilde değişkenlik göstermesinden kaynaklandığı öngörülmektedir.

KAYNAKLAR

- İstanbul Mühendislik (2015), "İstanbul İli, Beyoğlu İlçesi, Sütlüce Mahallesi Kentsel Dönüşüm Projesi Alanı Sondaja Dayalı Temel ve Zemin Etüt Raporu", İstanbul.
- Kökten, Ö., Gungor, G., Kiziroglu, S., Sirin, A. ve Kucukaslan, S. "Design of 20 m Deep Excavation with Permanent Anchored Secant Bored Pile Wall (SBPW) and Contiguous Bored Pile Wall (CBPW) as Retaining Structure of Cut and Cover Tunnel". Proceedings of the World Tunnel Congress 2014, Brazil.
- Moment Proje (2016), "İstanbul İli, Beyoğlu İlçesi, Sütlüce Mahallesi Kentsel Dönüşüm İnşaatı İş Kazı ve İksa Sistem Projesi", Ankara.
- NAVFAC (1982), Design Manual DM-7, Department of Navy, Washington, D.C.
- Öztaş Zemin İnş. San. Tic.Ltd. Şti. (2019), "Beyoğlu İksa Uygulama Projesi İnklinometre Raporu", İstanbul.
- Vural, U. ve Işık, N. S. (2019) "Ankrajlı İksalarda Analiz Sonuçlarının Saha Deneyle İle Karşılaştırılması". Bayburt Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, Bayburt.