

BAĞCILAR İSTASYONU KAZI DESTEK SİSTEMİ

BAĞCILAR STATION EXCAVATION SUPPORT SYSTEM

Cansu GENÇOĞLU¹

Özgür KURUOĞLU²

Atilla HOROZ³

ABSTRACT

Bağcılar Station, with plan dimensions of 25m x 125m and excavation depth of 54m, was constructed in scope of the İstanbul Otogar – Bağcılar Mass Transit Rail System project. Top-down construction method with diaphragm walls was selected as the most rigid excavation support system, considering the high excavation depth, neighbouring buildings and soil profile.

The soil profile at the project area mainly consist of green – green brown, very stiff – hard silty clay with occasional sand and marn layers, belonging to the Güngören formation. Excavation support system stability analysis was carried out with finite element program PLAXIS. Maximum wall displacements calculated as a result of the finite element analyses were in compliance with the in-situ inclinometer readings.

Ratio of maximum wall displacement to excavation height was calculated and observed as $\delta_{max}/H = \% 0.8$. This value is significantly lower than the values reported in the literature for deep excavations supported by struts and anchors in stiff soil profiles. This also justifies that selection of the top-down construction method with diaphragm walls was the right decision for this particular project.

Keywords: diaphragm wall, top-down construction method, deep excavation, inclinometer

ÖZET

İstanbul Otogar – Bağcılar Toplu Taşıım Raylı Sistemi Projesi kapsamında inşa edilen Bağcılar İstasyonu planda 25 m x 125 m boyutlarında olup, kazı derinliği yüzeyden 54.0m derinliğe kadar ulaşmaktadır. İstasyon kazısının yüksek derinliği, çevre yapılaşmanın durumu ve zemin koşulları göz önüne alınarak, istasyon kazısının bu koşullarda mümkün olabilecek en az deplasman ile gerçekleştirilebilmesi için, diyafram duvarlar ve yukarıdan aşağıya (top-down) inşaat yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmesine karar verilmiştir.

İstasyon bölgesinde zemin profilini, derinlikle mukavemet ve deformasyon parametreleri artış gösteren, Güngören formasyonuna ait, yeşil – yeşil kahve renkli, yer yer kum ve marn bantları içeren çok katı – sert siltli kil birimi oluşturmaktadır. İstasyona ait kazı destek sistemi analizleri PLAXIS sonlu elemanlar programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kazı

¹ İnşaat Yüksek Mühendisi, Yüksel Proje Uluslararası A.Ş., cgenocglu@yukselproje.com.tr

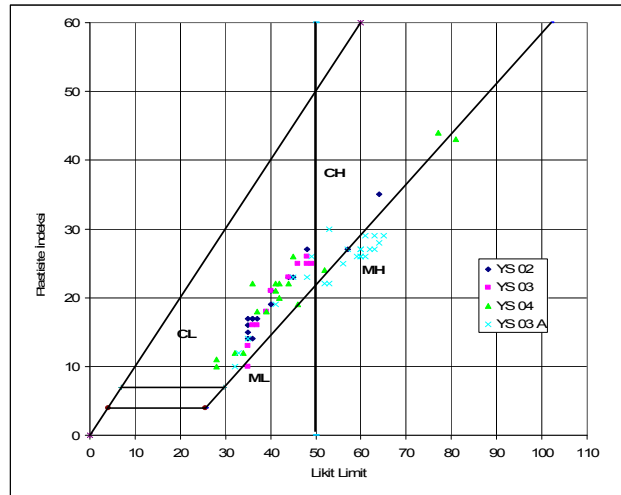
² Dr. İnşaat Yüksek Mühendisi, Yüksel Proje Uluslararası A.Ş., ozgurk@yukselproje.com.tr

³ İnşaat Yüksek Mühendisi, Yüksel Proje Uluslararası A.Ş., ahoroz@yukselproje.com.tr

analizler sonucunda elde edilen deplasmanların, sahada istasyon kazısı çevresine yerleştirilmiş olan inklinometre ölçümleri ile uyumu karşılaştırılacaktır.

2. ZEMİN KOŞULLARI

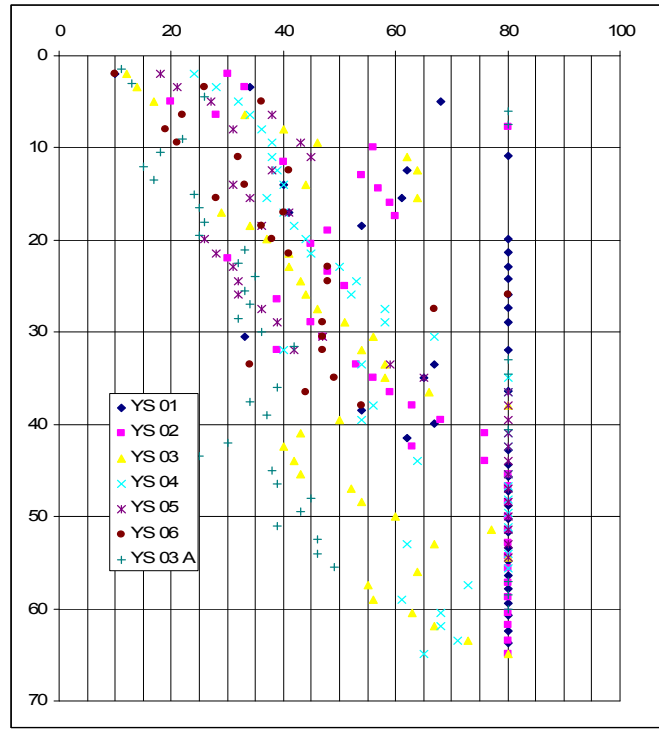
İstasyon bölgesine ait zemin koşullarını ve yeraltı suyu durumunu belirlemek amacıyla sahada; araştırma sondajları, yerinde ve laboratuvar deneyleri, piezometre ölçümleri, pompaj deneyi ve arazi permeabilite deneylerinden oluşan kapsamlı bir araştırma çalışması gerçekleştirilmiştir. Araştırma çalışmaları sonuçlarına göre istasyon bölgesinde zemin profilini Güngören formasyonuna ait, yeşil – yeşil kahve renkli, yer yer kum ve marn bantları içeren siltli kil birimi oluşturmaktadır. Birime ait plastisite indeksi ve likit limit değerleri plastisite abağına konulduğunda (Şekil 2) zeminlerin genellikle düşük plastisiteli kil (CL) olduğu, yer yer yüksek plastisiteli silt (MH) ve kum seviyeleri içerdiği görülmektedir. Kum seviyeleri genel olarak killi kum (SC) olarak sınıflandırılmıştır.



Şekil 2. Plastisite Abağı

2.1. Zemin Mukavemet ve Deformasyon Özellikleri

Zeminin mukavemet ve deformasyon özelliklerini belirlemek amacıyla laboratuvar deneylerinin yanı sıra, araştırma sondajlarda gerçekleştirilen standart penetasyon deneylerinden de faydalanılmıştır. Sahada gerçekleştirilen sondajlarda SPT N değerlerinin derinlikle değişimi Şekil 3’de gösterilmiştir. Şekilden görüleceği gibi SPT N değerleri derinlikle artan bir trend göstermektedir.



Şekil 3. SPT N Değerlerinin Derinlikle Değişimi

İdealize zemin profilini oluşturan Göngören formasyonuna ait siltli kil birimi için kazı iksa sistemi analizlerinde kullanılan mukavemet ve deformasyon parametreleri Çizelge 1’de özetlenmiştir.

Çizelge 1. İdealize Zemin Parametreleri

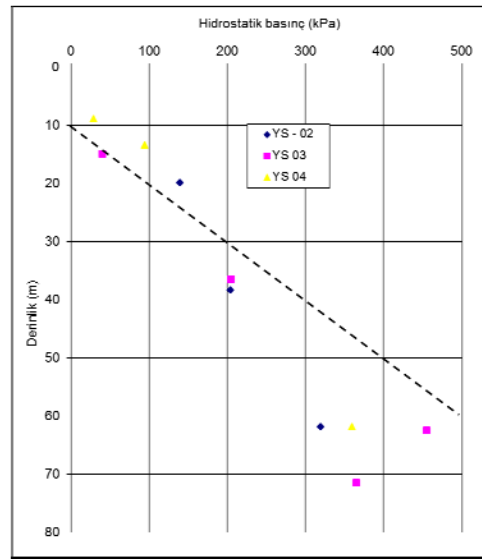
Derinlik (m)	c_u (kPa)	E_u (MPa)	c' (kPa)	ϕ' (°)	E' (MPa)
0.0 -10.0	100	50	15	26	40
10.0 -20.0	160	80	25	26	64
20.0 - 30.0	185	92.5	35	26	74.5
30.0 - 50.0	240	120	50	26	96
> 50.0	320	160	50	26	128

2.2. Yeraltısuyu Durumu ve Zemin Geçirgenlik Özellikleri

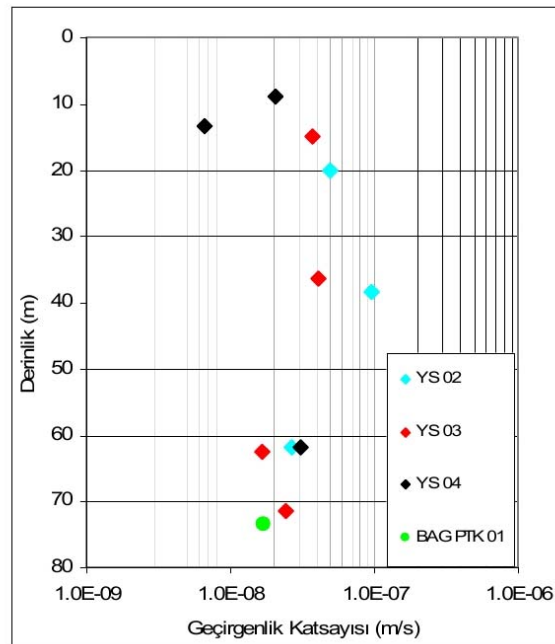
Proje alanında zemin profilini oluşturan Güngören formasyonu esas olarak siltli kil birimlerinden kurulu olup, bu birim içerisinde statik bir yeraltısuyu seviyesi oluşması beklenmemektedir. Ancak, profil boyunca siltli kil birimleri sıklıkla silt ve kum bantları ile kesilmekte olup bu bantların su taşıması mümkün gözükmemektedir. Proje alanında gerçekleştirilen araştırma sondajlarında gerçekleştirilen yeraltısuyu seviyesi ölçümleri de değişken sonuçlar vermiştir. İstasyon kazı derinliğinin çok derin oluşu (54.0m) ve geçirimsiz bir iksa sistemi (diyafram duvar) imal edileceği düşünüldüğünde, yeraltısuyu koşullarının daha detaylı araştırılması gerektiğine karar verilmiş ve bu kapsamda sahada 10 adet piezometre kuyusu tesis edilmiştir. Bu piezometre kuyularında değişik derinliklerde ölçülen su seviyelerinin yarattığı hidrostatik basıncın derinlikle değişimi Şekil 4’de gösterilmiştir. Piezometre ölçümleri dikkate alınarak, Şekil 4’de gösterildiği gibi, kazı iksa

sistemi analizlerinde yüzeyden 10m derinlikte bir yeraltısuyu seviyesinin kabul edilmesinin uygun olacağı sonucuna varılmıştır.

Proje alanında zemin geçirgenliğini araştırmak amacıyla piezometre ve pompaj kuyularında değişik derinliklerde geçirgenlik deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneyler sonucu hesaplanan geçirgenlik katsayısı değerlerinin derinlikle değişimi Şekil 5’de gösterilmiştir. Hesaplanan ortalama geçirgenlik katsayısı değeri 3.3×10^{-8} m/s mertebelerinde olup, bu seviyedeki geçirgenlik katsayısı değeri daha çok siltli kil (CL), killi silt (ML, MH) ve killi kum (SC) birimlerinin geçirgenlik değerlerine yakındır. Dolayısı ile idealize zemin profilini oluşturan hakim birimlerden beklenen genel davranış ile uyumludur.



Şekil 4. Piezometre Kuyularında Ölçülen Hidrostatik Basınç Dağılımı

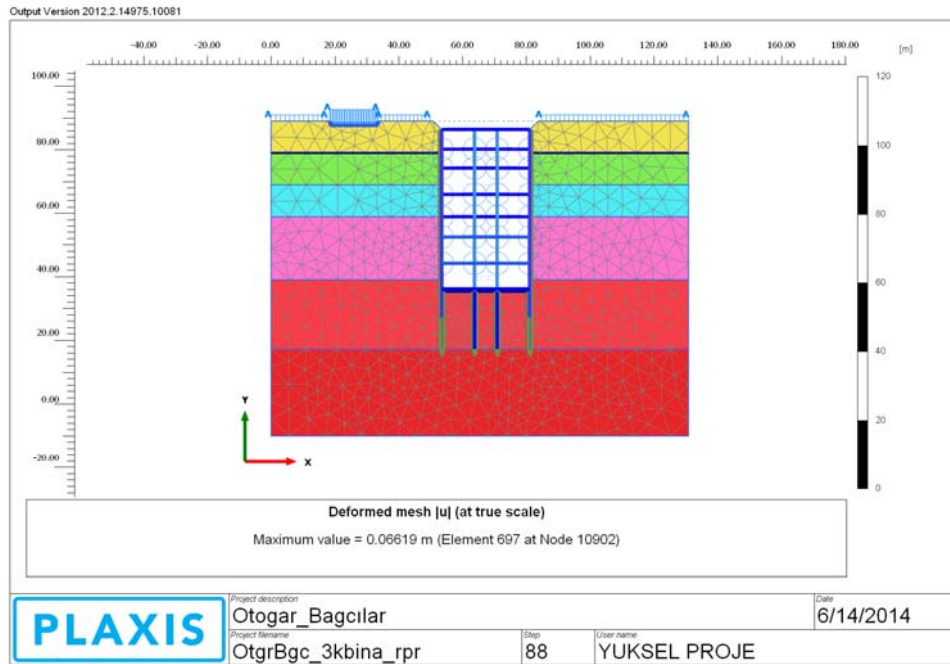


Şekil 5. Sahada Ölçülen Geçirgenlik Katsayılarının Derinlikle Değişimi

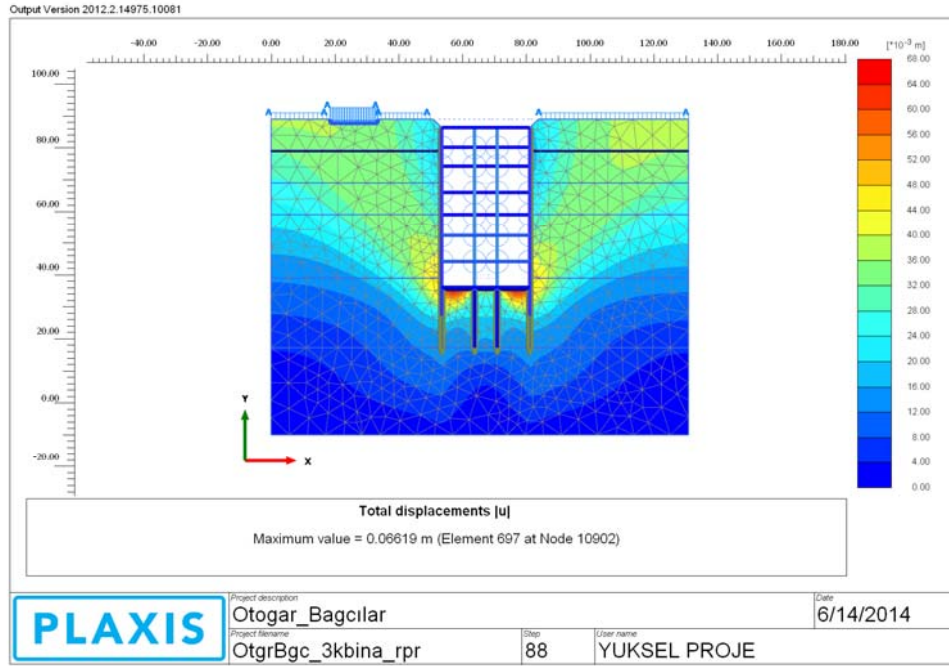
3. KAZI DESTEK SİSTEMİ STABİLİTE ANALİZLERİ

Kazı destek sisteminin analizlerinde PLAXIS sonlu eleman programı ve zeminin non-linear davranışını modelleyebilen ‘Hardening Soil’ modeli kullanılmıştır. Bu modelde programa veri olarak zeminin birim ağırlığı γ , içsel sürtünme açısı ϕ , kohezyonu c , elastisite modülü E , ve poisson oranı ν , girilmektedir. Kazı zemini programdaki onbeş noktali üçgen elemanlar kullanılarak modellenmiştir. Bu elemanlar dokuzuncu dereceden integrasyon olanağı sağlamaktadırlar. Diyafram duvarlar, kat döşemeleri ve orta kolonlar programdaki özel kiriş elemanları ile modellenmiştir. Sistem kazı aşamaları ilgili zemin elemanları kaldırılarak ve gerekli yapı elemanları konarak modellenmektedir. Program bu yeni durumda dengeye gelene kadar iteratif olarak çalışmaktadır. Analiz sonucunda her kazı aşamasında duvarda oluşan deplasman, moment, kesme kuvvetleri ve döşemelere gelen eksenel kuvvetler hesaplanabilmektedir. Ayrıca zemin elemanlarındaki ve çevre binalardaki deplasman, efektif ve total gerilmeler ve plastikleşen bölgeler görülebilmektedir.

Bölgede kazı derinliği en derin yerinde 54.00 m’ye kadar ulaşmakta olup, aç-kapa kazısı yukarıdan aşağıya(top-down) inşaat yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu yöntemde dış diyafram duvarların ve istasyon ara perdelerinin inşaatını takiben istasyon üst döşemesi imal edilmekte ve bundan sonra istasyon kazısı üst döşeme altından devam etmektedir. Kazı aşamaları ise bir üst sıra istasyon döşemesinin imalatını takiben bir alt sıra döşemenin altına kadar kazı yapılması şeklinde oluşmaktadır. PLAXIS ile yapılan analizlerde kazı aşamaları, yukarıdan aşağıya doğru, kazının bir üst sıra döşemenin imal edildiği ve bir alt sıra döşeme seviyesine kadar kazılarak ilerlediği durumu kapsamaktadır. Bütün kazı aşamalarında yüzey seviyesinde $q_s = 15$ kPa sürşarj yükü etki ettirilmiştir. Analiz kesitinin (Kesit A – A) kazı planındaki yeri Şekil 1’de gösterilmiştir. PLAXIS sonlu eleman programı ile gerçekleştirilen analizde nihai kazı kotuna erişilen aşamanın sonlu elemanlar modeli ve toplam deplasmanları Şekil 6 ve Şekil 7’de gösterilmektedir.



Şekil 6. Kazı Destek Sistemi Sonlu Elemanlar Modeli



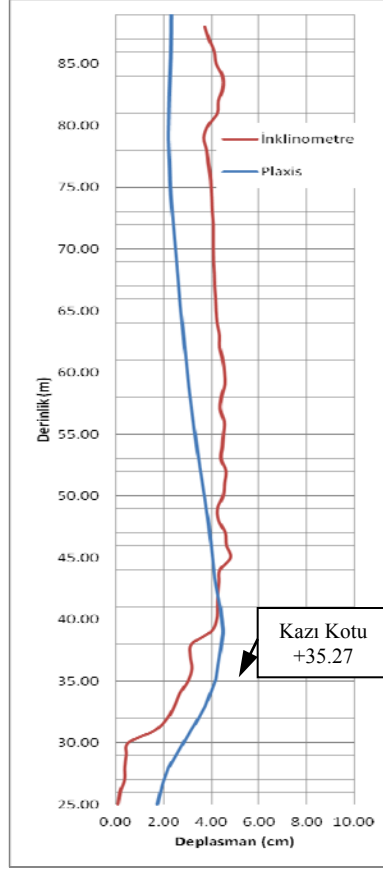
Şekil 7. Kazı Destek Sistemi Sonlu Elemanlar Modeli – Toplam Deplasmanlar

4. SAHA ÖLÇÜM SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRMELER

Kazı esnasında kazı destek sistemi elemanlarındaki ve çevre yapılarındaki deplasmanları düzenli olarak takip edebilmek için, istasyon kazısı çevresine belirli aralıklarla inklinometreler yerleştirilmiş olup, kazı sırasında periyodik olarak inklinometre ölçümleri alınmıştır. Saha ölçümleri ve sonlu eleman analizlerinden elde edilen deformasyonları karşılaştırmak amacıyla, sonlu eleman analiz kesiti (Kesit A – A) üzerinde bulunan inklinometre ölçümlerinden yararlanılmıştır.

Saha ölçümleri ve sonlu elemanlar analizlerden elde edilen deformasyonların derinlikle olan değişimi, nihai kazı kotuna erişildiği durum için karşılaştırılmış olup, Şekil 8’de sunulmuştur. Buna göre, önceki bölümlerde detaylandırılan idealize zemin profili, parametreleri ve analiz yöntemi kullanılarak gerçekleştirilen sonlu elemanlar analizi sonucunda diyafram duvarlarda hesaplanan deplasman değerlerinin, saha ölçümleri ile uyumlu olduğu sonucuna varılmıştır.

Şekil 8’den görüleceği üzere diyafram duvarlarda hesaplanan ve ölçülen maksimum deplasman değeri 4.5cm civarındadır. Bu durumda maksimum duvar deplasmanının kazı derinliğine oranı, bu vaka için $\delta_{max}/H = \% 0.08$ olarak hesaplanmıştır. Bir çok derin kazı vakasının saha ölçümlerinin değerlendirilmesi sonucu, katı zeminlerde gerçekleştirilen strut veya öngermeli zemin ankrajlar ile destekli derin kazılarda, Long (2001) bu oranın $\delta_{max}/H = \% 0.13 - 0.14$ aralığında değişmesini beklerken, Clough ve O’Rourke (1990) $\delta_{max}/H = \% 0.20$ mertebesinde olabileceğini bildirmektedir. Proje alanında gerçekleşen duvar deplasmanları bu değerlere göre çok daha düşük mertebelerde gerçekleşmiş olup, bu da proje özelinde kazı destek sistemi olarak yukarıdan aşağıya (top-down) diyafram duvar tekniğinin seçilmesinin ne kadar isabetli olduğunu göstermektedir.



Şekil 8. Kazı Destek Sistem Deplasmanlarına Ait Sonlu Eleman Analiz Sonuçları ve Saha Ölçümlerinin Karşılaştırması

5. SONUÇ

İstanbul Otogar – Bağcılar Toplu Taşıım Raylı Sistemi Projesi kapsamında inşa edilen Bağcılar İstasyonu planda 25 m x 125 m boyutlarında olup, kazı derinliği yüzeyden 54.0m derinliğe kadar ulaşmaktadır. İstasyon kazısının yüksek derinliği, çevre yapılaşmanın durumu ve zemin koşulları göz önüne alınarak, istasyon kazısının bu koşullarda mümkün olabilecek en az deplasman ile gerçekleştirilebilmesi için, diyafram duvarlar ve yukarıdan aşağıya (top-down) inşaat yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmesine karar verilmiştir.

İstasyon bölgesinde zemin profilini, derinlikle mukavemet ve deformasyon parametreleri artış gösteren, Güngören formasyonuna ait, yeşil – yeşil kahve renkli, yer yer kum ve marn bantları içeren, çok katı – sert siltli kil birimi oluşturmaktadır. Piezometre ölçümleri değerlendirilerek, kazı destek sistemi analizlerinde yüzeyden 10m derinlikte bir yeraltı suyu seviyesinin kabul edilmesinin uygun olacağı sonucuna varılmıştır.

İstasyona ait kazı destek sistemi analizleri PLAXIS sonlu elemanlar programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kazı esnasında kazı destek sistemi elemanlarındaki ve çevre yapılarındaki deplasmanları düzenli olarak takip edebilmek için, istasyon kazısı çevresine belirli aralıklarla inklinometreler yerleştirilmiş olup, kazı sırasında periyodik olarak inklinometre ölçümleri alınmıştır. Bildiri kapsamında detaylandırılan idealize zemin profili, parametreleri ve analiz yöntemi kullanılarak gerçekleştirilen sonlu elemanlar

analizi sonucunda diyafram duvarlarda hesaplanan duvar deplasmanlarının, saha ölçümleri ile uyumlu olduğu sonucuna varılmıştır.

Diyafram duvarlarda hesaplanan ve ölçülen maksimum deplasman değeri 4.5cm civarındadır. Bu durumda maksimum duvar deplasmanının kazı derinliğine oranı, bu vaka için $\delta_{\max}/H = \% 0.8$ olarak hesaplanmıştır. Bu değer, literatürde benzer zemin koşullarında strut veya öngermeli zemin ankrajı ile desteklenmiş derin kazılarda rapor edilen değerlere göre çok daha düşüktür. Bu da proje özelinde kazı destek sistemi olarak yukarıdan aşağıya (top-down) diyafram duvar tekniğinin seçilmesinin ne kadar isabetli olduğunu göstermektedir.

KAYNAKLAR

- Clough, G.W. ve O'Rourke, T.D. (1990), "Construction Induced Movements of In-Situ Walls", Proc., ASCE Conf. on Des. And Perf. Of Earth Retaining Struct., Geotech. Spec. Publ. No. 25, ASCE, New York, 439 – 470.
- Long, M. (2001), "Database for Retaining Wall and Ground Movements due to Deep Excavations", Journal of Geotech. And Geoenv. Engrg., ASCE. 127 (3), 203-224.