

İSTANBUL BOĞAZIÇI KIYISINDA BİR HİBRİT KAZI VE İNŞAAT UYGULAMASI : VAKA ANALİZİ

A HYBRID EXCAVATION AND CONSTRUCTION APPLICATION ALONG BOSHPORUS, ISTANBUL : CASE STUDY

RASİN DÜZCEER¹, ALP GÖKALP², ŞENOL ADATEPE³

ÖZET

Bildiri kapsamındaki Otel Projesi İstanbul, Beşiktaş'ta Kuruçeşme sahilinde inşa edilmiştir. İstanbul Boğazı kıyısına en uzun cephesi olan, en derin ve en büyük kazı çukurudur. İksa derinliği deniz kıyısında 24.00 m ve kara tarafında ise 30.00 m'dir. Proje kapsamında Yukarıdan Aşağıya (Top-Down), eş zamanlı olarak kazı ve üstyapı inşaatına olanak veren Aşağıya ve Yukarıya (Up&Down) yöntemleri ile çelik boru destekli Açık Kazı yöntemlerinin bir arada kullanıldığı hibrit kazı ve inşaat sistemi uygulanmıştır. Dayanma yapısı hidrolik freze ile imal edilen diyafram duvarlardan oluşmaktadır. Bildiri kapsamında, dayanma yapısının, temel altı çekme kazıklarının ve top-down kazıklarının tasarımı, yapım aşamaları ve uygulama sırasında takip edilen kalite kontrol testleri ile dayanma yapısının performansı hakkında bilgi verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Derin Kazı, Sonlu Elemanlar Yöntemi, Hibrit Sistem, Yukarıdan Aşağıya Kazı Yöntemi

ABSTRACT

The Hotel Project; within the scope of this paper; was constructed along the shores of Bosphorus at Kuruçeşme, İstanbul. The project is the deepest and largest excavation pit with the longest front to the shore of the Bosphorus. The depths of the excavation system are 24.00 m and 30.00 m on the bosphorus and land sides, respectively. A hybrid excavation system consisting of Top-Down, Up&Down and Open Excavation methods was preferred within the scope of the project. The vertical elements of the excavation system are composed of diaphragm walls constructed by using hydraulic cutter. The design of retaining structures, tension piles of foundation and piles of top-down systems, sequences of work, quality control tests performed during the construction, and also the performance of the retaining system were outlined in the paper.

Keywords: Deep Excavation, Finite Element Method, Hybrid System, Top-Down Method

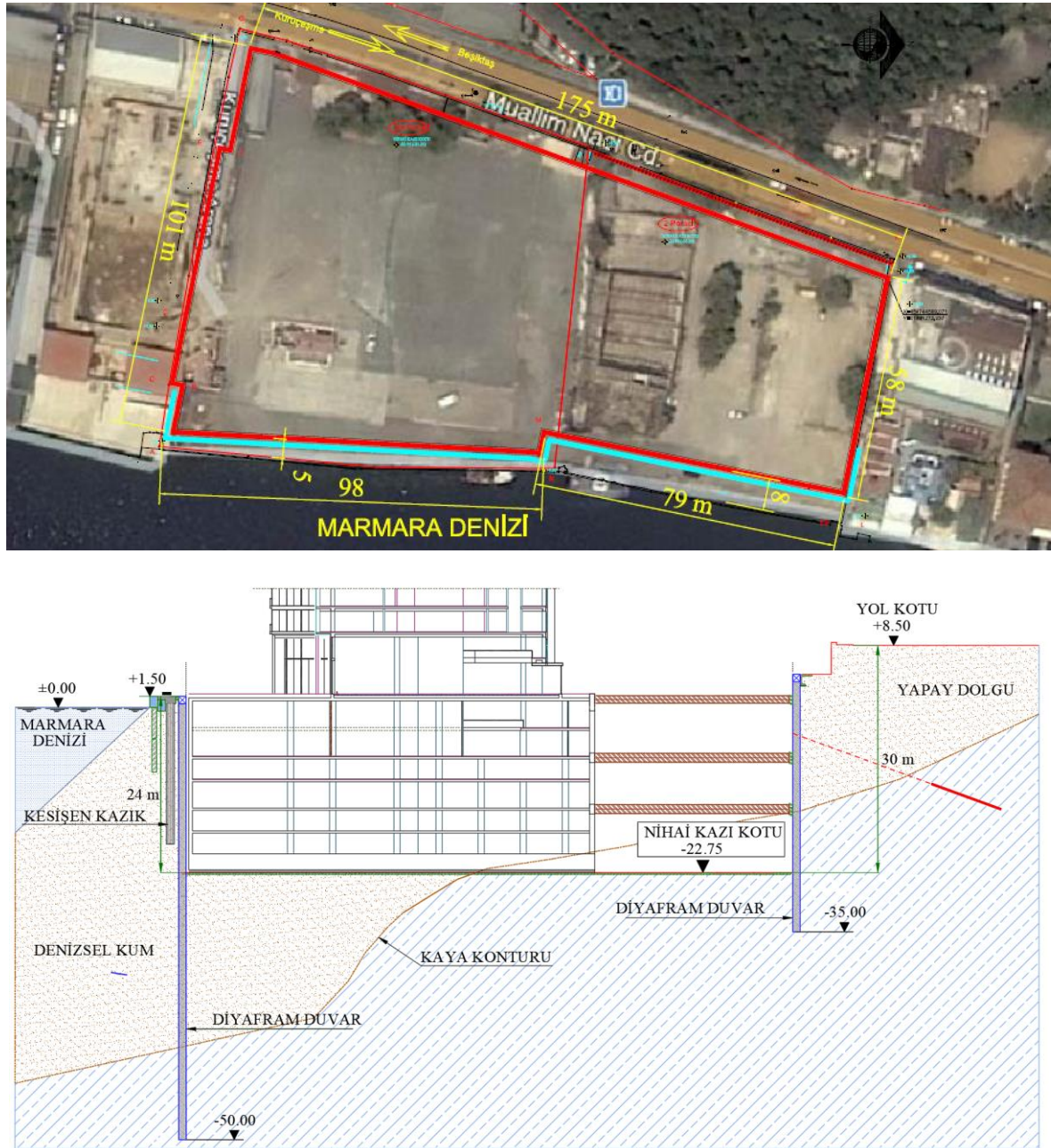
¹ Ph. D. C.E., Kasktas A.S., rasin.duzceer@kasktas.com.tr

² MS. C.E., Kasktas A.S. , alp.gokalp@kasktas.com.tr

² MS. C.E., Kasktas A.S. , senol.adatepe@kasktas.com.tr

1. GİRİŞ

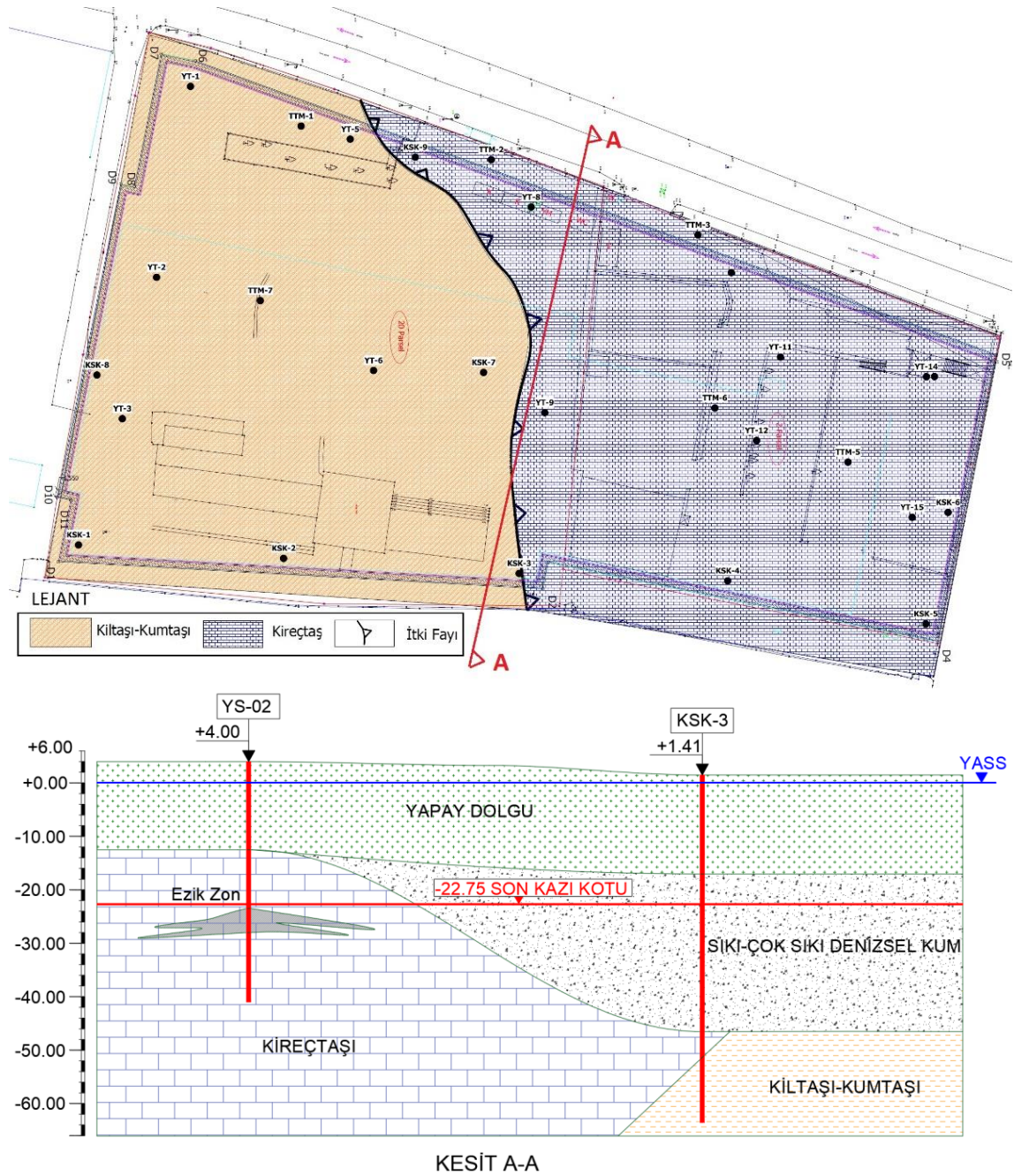
İstanbul, Beşiktaş'ta yer alan otel inşaatının denize bitişik cephe uzunluğu ~180 m olup, kazı derinliği kara tarafında 30 m, deniz tarafında ise 24 m'dir. 6 bodrum katlı yapının oturum alanı 13,000 m² 'dir. Otel blokunun oturum alanı 3,200 m² olup, zemin kat, 3 Normal Kat ve Çatı katından oluşmaktadır. Proje, İstanbul Boğazı kıyı şeridinde en uzun cephesi olan ve deniz seviyesinden 23 m'ye ulaşan derinliği ile İstanbul Boğazında inşa edilmiş en büyük ve en derin dayanma yapısıdır. Proje sahasının uydu fotoğrafı ve mimari kesiti Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Proje genel yerleşim planı ve tipik mimari kesiti

2. ZEMİN ÖZELLİKLERİ

Çalışma alanında, yüzeyden itibaren 4.50 m ile 23 m arasında değişen kalınlıkta yapay dolgu tabakaları mevcuttur. Yapay dolgu tabakalarının altında bulunan denizel istifin yüzeyden itibaren gözlenen derinliği maksimum 48 m'dir. Bu tabakaların altında Denizliköy ve Trakya Formasyonuna ait anakaya birimleri gözlenmiştir. Sahanın kuzeyinde yer alan kara tarafında Denizliköy Formasyonuna ait kireçtaşı litolojisindeki anakaya, güney tarafında ise Trakya Formasyonuna ait kıltaşı-kumtaşı yapısındadır. Bu durum kuzey-güney yönlü olası bir itki fayına işaret etmektedir.



Şekil 2. Çalışma alanı jeoloji haritası ve tipik zemin kesiti

Anakaya tabakalarının ortalama ilk 5 m’lik bölümü çok kırıklı ve çatlaklı bir yapıdadır. Kireçtaşı tabakaları genel olarak, orta derecede ayrılmış, orta-zayıf dayanımlı kaya niteliği sergilemekte, kilitaşı-kumtaşı yapısındaki Trakya Formasyonuna ait birimler ise formasyonun genel jeolojik karakteristiğine uyarak, kısa mesafede çok, yer yer tamamen ayrılarak killeşmiş kayaç yapısından, orta ayrılmış, yer yer sağlam kilitaşı kumtaşı yapısına kadar değişen niteliktedir. Çalışma alanının jeoloji haritası ve tipik jeolojik kesiti Şekil 2’de, geoteknik tasarımda kullanılan zemin parametreleri ise Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Geoteknik tasarım parametreleri

Zemin Cinsi	Birim Hacim Ağırlığı (kN/m ³)	Efektif Kohezyon (kPa)	Efektif İçsel Sürtünme Açısı (°)	Efektif Deformasyon Modulu (MPa)
Yapay Dolgu	19	10	28	15
Sıkı-Çok Sıkı Siltli Kum (Denizel Çökel)	19	1	35	40
Kireçtaşı	24	20	37	200
Ayrılmış Kilitaşı - Kumtaşı	23	10	32	100
Kilitaşı- Kumtaşı	23	10	35	150

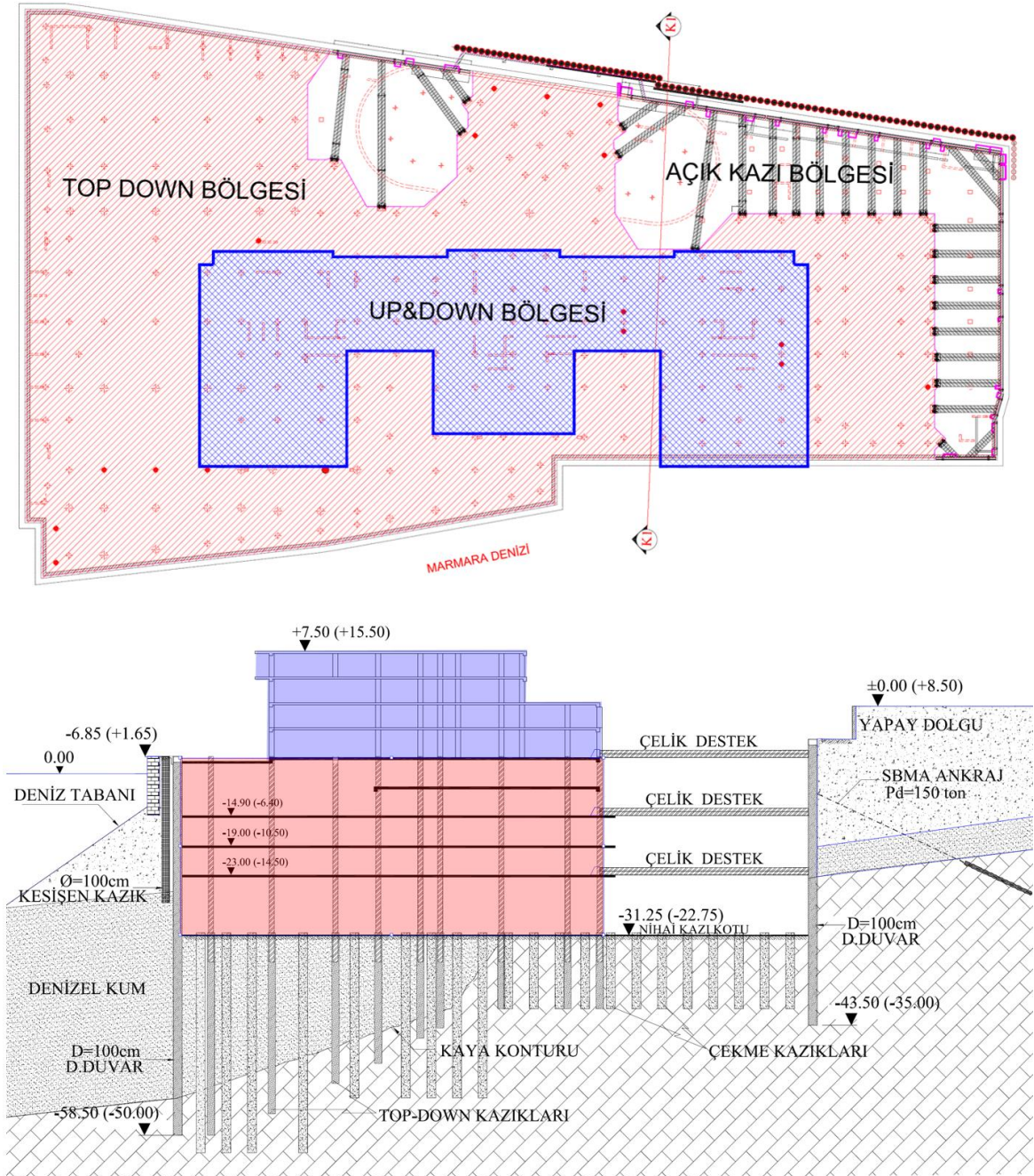
3. DAYANMA YAPISI TASARIMI

Su seviyesi altında yapılan kazıyı desteklemek üzere geçirimsiz bir dayanma yapısı projelendirilmiştir. Bu amaçla ana kayaya minimum 5 m soketlenen, 100 cm kalınlıkta betonarme diyafram duvar projelendirilmiştir. Yukarıdan aşağı (Top-Down) yöntemi ile kazı yapılarak bodrum kat döşemeleri inşa edilirken, eş zamanlı olarak zemin kat seviyesi üzerindeki betonarme imalatların yapılabilmesine olanak sağlayan hem aşağıya hem de yukarıya (Up&Down) yöntemi ile dayanma yapısı ve düşey taşıyıcı elemanlar projelendirilmiştir. Kara tarafında çelik boru destekler kullanılarak açık kazı yöntemi ile nihai kazı kotuna inilmiştir.

Tablo 2. Geoteknik hesaplarda dikkate alınan inşaat aşamaları

Aşama No	Açıklama
1	Diyafram Duvar İmalatı
2	-1.50 Kotuna kadar kazı yapılması ve Kazıklarının imalatı
3	+1.30 / +0.25 Kotu döşemesinin dökülmesi ve 1. Sıra desteklerin montajı
4	-4.50 Kotuna kadar kazı yapılması ve SBMA ankrajlarının yapılması
5	-7.95 Kotuna Kadar Kazı Yapılması
6	-6.65 Kotu Döşemesinin dökülmesi ve 2. Sıra desteklerin montajı
7	-14.90 Kotuna Kadar Kazı Yapılması
8	-13.60 Kotu döşemesinin dökülmesi ve 3.Sıra desteklerin montajı
9	Nihai kazı kotuna kadar kazı yapılması
10	Radye temel dökümü
11	3. Sıra desteklerin kaldırılması
12	-13.60 Döşemesinin tamamlanması
13	2. Sıra desteklerin kaldırılması
14	-6.65 döşemesinin tamamlanması
15	1.Sıra desteklerin kaldırılması
16	+1.30 kotu döşemesinin tamamlanması

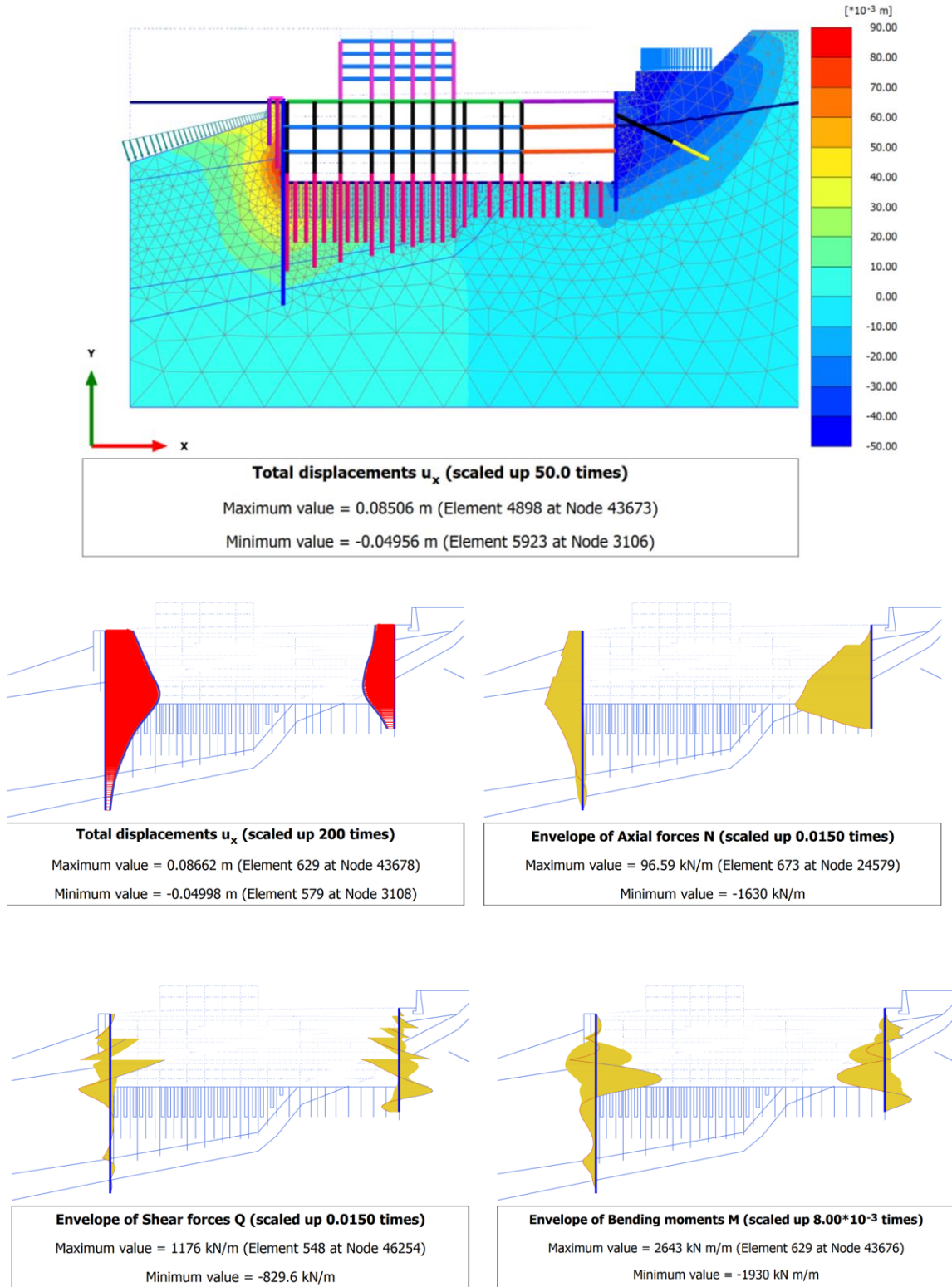
Dayanma yapısının yerleşim planı ve tipik sistem kesiti Şekil 3'te verilmiştir. Geoteknik tasarım PLAXIS 2D sonlu elemanlar yazılımı kullanılarak yapılmıştır. Kesit hesaplarında tüm kazı ve geri dönüş aşamaları dikkate alınmıştır. Hesaplarda dikkate alınan inşaat aşamaları Tablo 2'de verilmiştir.



Şekil 3. Dayanma yapısı yerleşim planı ve tipik sistem kesiti

Otel yapısında kat döşemelerinin sürekli olmaması nedeniyle çelik desteklerin söküm aşamasında diyafram duvarın ilave moment ve kesme tesirleri etkisine maruz kalmaması için açık kazı bölgesinde çelik boru desteklerle birlikte 1,500 kN kapasiteli SBMA (Single Bore Multiple Anchor) ankrajları kullanılmıştır. Kazı aşamasında 2 sıra çelik boru destek, deniz

tarafından gelen itkilerin kara tarafına aktarılmasını sağlarken, SBMA ankrajları çelik boruların söküm aşamasında diyafram duvardaki zorlanmayı engellemek için kullanılmıştır.



Şekil 4. İksa sistemi geoteknik hesap sonuçları

Tablo 3. İksa sistemi geoteknik hesap sonuçları – Destek ve Ankraj Kuvvetleri

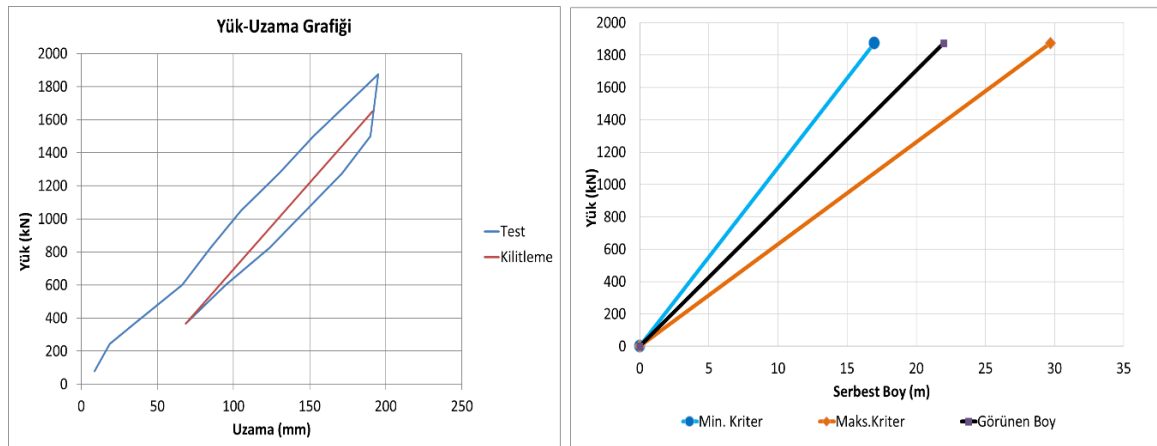
Betonarme Eleman	Y [m]	N [kN]	N _{min} [kN]	N _{max} [kN]
1. Sıra Destek	0.250	-473.632	-756.240	0.000
SBMA Ankraj	-3.500	1431.567	0.000	1500.420
2. Sıra Destek	-6.900	-3988.141	-3988.141	0.000
3. Sıra Destek	-13.750	-6828.562	-6828.562	0.000

Geoteknik hesaplar SLS (Servisability Limit State) durumu için yapılmıştır. Ön tasarımda kullanılan geoteknik parametrelerin zemin modellerine göre oldukça karmaşık olması sebebi ile ULS (Ultimate Limit State) durumu için hesap yapılmamıştır. SLS durumu için yapılan hesaplar sonucunda elde edilen kesit tesirleri artırılarak betonarme tasarım yapılmıştır. İksa sistemi geçici olmakla birlikte $a_h = 0.15g$ yatay deprem ivmesi kullanılarak depremlili durum için de analizler yapılmış ve hem statik hem de depremlili durumda yeterli güvenliği sağlayacak şekilde betonarme tasarım yapılmıştır.

4. DAYANMA YAPISININ PERFORMANSI VE KALİTE KONTROL

Dayanma yapısı düşey elemanı olan diyafram duvar panelleri özellikle deniz tarafında, Marmara denizine ~5 m mesafede ve gevşek deniz çökelleri içinde imal edildiğinden diyafram duvar panel kazısı sırasında kuyu stabilitesi büyük önem arz etmektedir. Bu nedenle, diyafram panellerinin kazısı sırasında göçme meydana gelmemesi için kuyu stabilite hesapları imalat başlangıcında tüm kritik paneller için yapılmış ve uygun bentonit yoğunluğu ve kayma mukavemeti belirlenerek özel bentonit bulamacı hazırlanmıştır.

Proje kapsamında 204 adet toplam 5,700 m SBMA ankraj imalatı tamamlanmıştır. Yapılan tüm ankrajlar tasarım yükünün 1.25 katına test edilmiş ve 1.10 katına kilitlenmiştir. İmalat ankrajları her 50 ankrajda bir ankraj tasarım yükünün 1.5 katına test edilmiştir. Örnek bir imalat ankrajı kabul testi sonucu Şekil 5’de verilmiştir.



Şekil 5. İmalat ankrajları örnek kabul testi sonuçları

Çalışma alanında deformasyon ölçümleri 10 adet inklinometre ile sürekli olarak takip edilmiştir. Yapılan ölçümlerde genel olarak kara tarafında ölçülen deformasyonların, hesaplanan deformasyonlara göre daha az olduğu, deniz tarafında ise gerçekleşen deformasyonların hesaplanan deformasyonları aştığı belirlenmiştir. Ölçülen

deformasyonların kara tarafında % 0.1 H, deniz tarafında ise % 0.5 H mertebesinde olduğu belirlenmiştir. Proje sahasındaki oturmaları gözlemlemek amacıyla diyafram duvarın dışına 9 adet oturma ölçer yerleştirilmiş ve haftalık olarak ölçümleri alınmıştır. Kazı nedeniyle çevre yapılarda oluşabilecek hareketi gözlemlemek amacıyla sahaya bitişikte bulunan bir yapının bodrum katına 3 adet tiltmetre yerleştirilmiş ve haftalık olarak ölçümler alınmıştır. Bunlara ilave olarak kazı aşamasında dayanma yapısının güvenliğini kontrol etmek amacı çelik borulara etki eden yükler 9 adet çelik destek borusuna a 3'er adet gerinim ölçer (strain gauge) yerleştirilerek gözlenmiştir. Gerinim ölçerlerden her kazı kademesinde ve 1'er hafta arayla ölçüm alınmıştır.



Şekil 6. Hesaplanan ve ölçülen deformasyonlar

5. FORE KAZIK UYGULAMALARI

Proje kapsamında uygulanan fore kazık imalatları aşağıda özetlendiği gibidir.

Deniz tarafında ağır tonajlı makinelerin çalışması sırasında güvenliği sağlamak, diyafram duvar imalatı sırasında kuyu güvenliğini arttırmak, denize bentonit kaçmasını engellemek, deniz suyu ile bentonitin karışması nedeni ile yıkanması probleminin ortadan kaldırılması amacıyla diyafram duvarların kılavuz duvarlarının altına 100 cm çaplı ve 20 m boyda kesişen kazıklı bir geçirimsiz perde oluşturulmuştur. Bu sayede diyafram duvar imalatlarının deniz suyu ve dalga etkisi ile direkt temas etmesi kesilmiştir.

Proje sahasında yol tarafında, saha giriş rampasında, diyafram duvar imalatı için hazırlanacak çalışma platformuna kadar yapılacak kazı sırasında mevcut yolun güvenliğini sağlamak amacıyla yapılan 100 cm çapında 8-15 m boylarda iksa kazıkları imal edilmiştir.

Proje kapsamında yer alan top-down kazıkları binanın yukarı doğru inşaatı devam ederken aynı anda aşağı doğru da kazı (top-down) yapılabilmesini sağlayan kazıklardır. Binaın kalıcı kolonları olarak işlev görmektedir. 228 adet 85 cm çapında ve 33 adet 120 cm çapında ve değişken boylarda top-down fore kazık imal edilmiştir.

Denize sıfır konumda bulunan binaya etkiyen suyun kaldırma kuvvetini karşılamak amacıyla ayrıca 306 adet 100 cm çapında ve değişken boylarda çekme kazığı imal edilmiştir.

Top-Down kazıklarının delgileri 10-27 m boyunda değişken geçici kılıf boru ve gerektiğinde su kullanılarak düşey sapma toleransı 1/200 olacak şekilde yapılmıştır. Top-down kazık donatılarının içlerinde döşeme bağlantı elemanlarının bağlanabilmesine müsaade edecek şekilde döşeme seviyesinde çelik borular ile güçlendirilmiş bir donatı kafesi tasarlanmıştır. Top-down kazıklarının imalatları +1.00 m kotunda teşkil edilen çalışma platformundan imal edilmiş, betonlama platform seviyesine kadar yapılmıştır, beton sınıfı C50'dir.

Çekme kazıklarının delgileri ise 10-40 metre boyunda değişken geçici kılıf boru ve gerektiğinde su kullanılarak düşey sapma toleransı 1/75 olacak şekilde yapılmıştır. Çekme kazıkların imalatları +1.00 m kotunda teşkil edilen çalışma platformundan imal edilmiş, kazıkların beton üst kotu (cut-off) -21.60 m'dir. Çekme kazıklarında kullanılan betonun sınıfı C35'dir.



Şekil 7. İnşaat alanından fotoğraflar



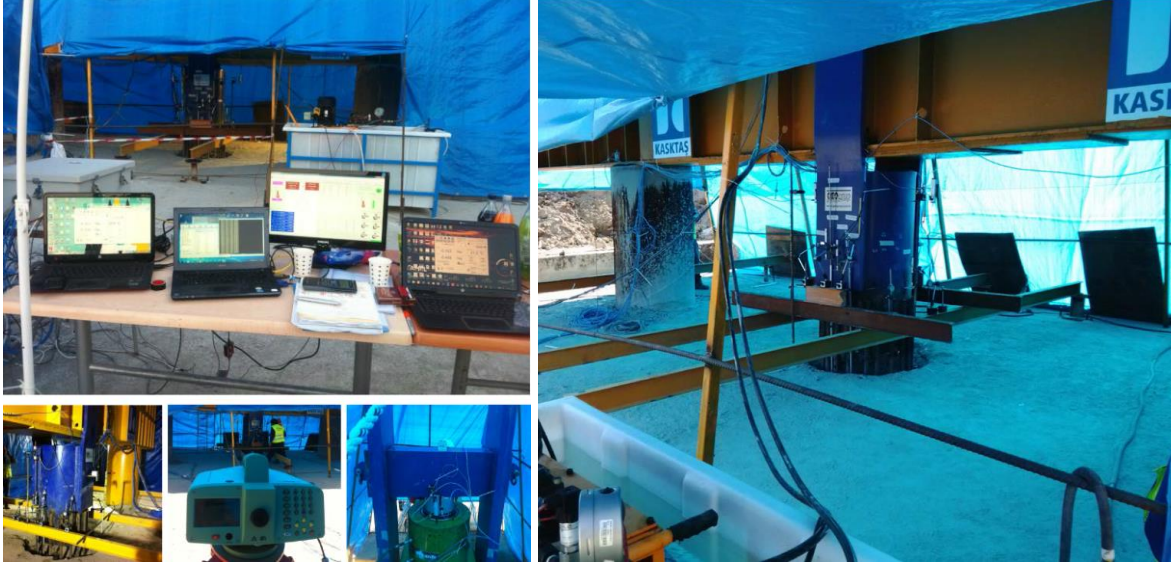
Şekil 8. İmalat fotoğrafları

Dolgu ve killi zeminde, kil bagesi; kaya forajında ise karotiyer ve kaya bagesi kullanılmıştır. Top-Down ve çekme kazıklarının boyları sahada değişkenlik gösteren kaya kotları ve makine ilerleme hızlarına göre belirlenmiştir. Kazıklar kayaya 5 m soketlenmiştir.

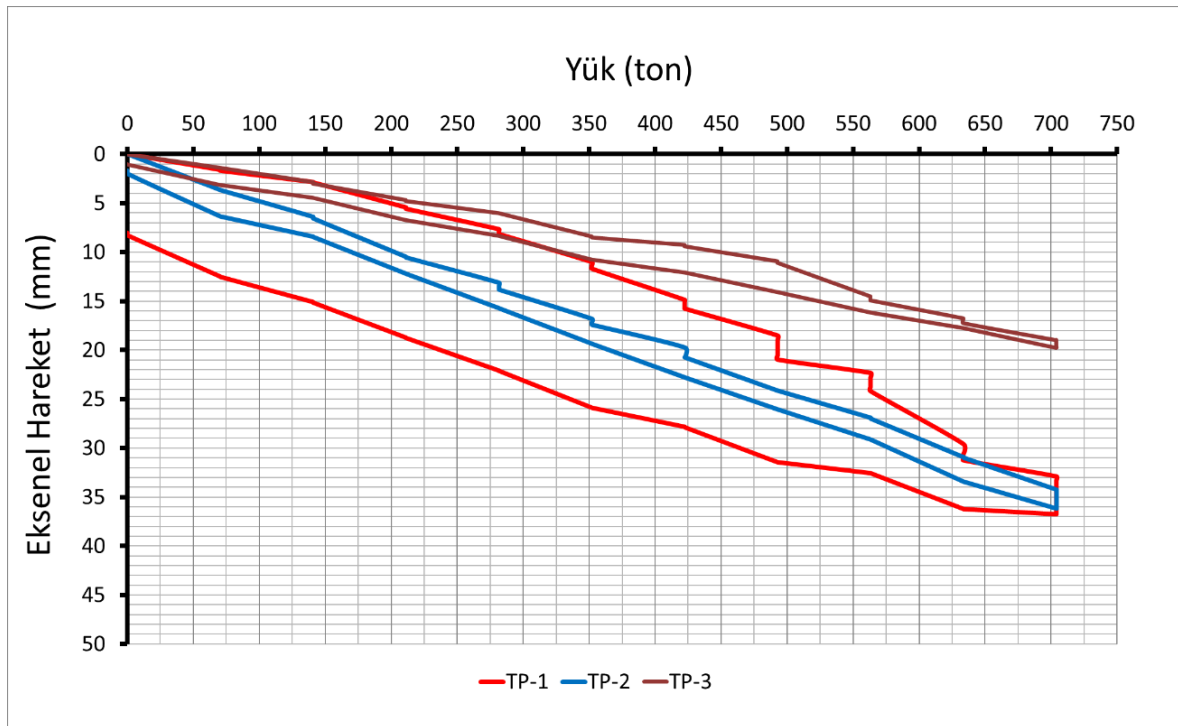
İmalatlara başlamadan önce kazık tasarımının doğrulanması amacıyla sahadaki mevcut farklı zemin koşullarının davranışını belirleyebilmek amacı ile değişik bölgelerde 3 adet enstrümente edilmiş statik eksenel kazık çekme testi yapılmıştır. (Şekil 9) 6,900 kN'a (%250 x Servis Yüğü) kadar gerçekleştirilen testlerden elde edilen sonuçlara göre, hem top-down

kazıklarında hem de çekme kazıklarında minimum kaya soket boylarına karar verilmiştir. Çekme testinin yükleme grafiği Şekil 10'da verilmiştir.

Ön tasarım kazıklarının yanı sıra İşveren tarafından seçilen 3 adet çalışan kazık üzerinde eksenel çalışan kazık çekme testi yapılmıştır. Bunlara ilave olarak kalite kontrol programı çerçevesinde toplam 12 adet Sonik Süreklilik Testi (CSL) ve 35 adet PIT testi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 9. Enstrümente kazık yükleme deneyi



Şekil 10. Kazık yükleme test sonuçları

6. SONUÇLAR

İstanbul, Beşiktaş'ta inşa edilen Otel Projesi kapsamında, İstanbul boğazına ~180 m cephesi olan ve derinliği 30 m'yi bulan temel çukur kazısı, 22,250 m² Diyafram Duvar, 5,600 m Top Down Kazığı, 16,000 m Çekme Kazığı, 5,700 m yüksek kapasiteli SBMA ankrajı ve 450 ton çelik boru destek kullanılarak, benzerlerinden farklı olarak Yukarıdan Aşağıya (Top-Down), hem Aşağıya hem Yukarıya (Up&Down) ile çelik boru destekli Açık Kazı yöntemlerinin karma olarak bir arada kullanıldığı hibrit kazı ve inşaat yöntemi ile başarı ile tamamlanmıştır. Firmamız tarafından geliştirilen hibrit çözümde, deniz tarafında yer alan yüksek bloğu içine alacak şekilde, Up & Down Yöntemi ile yani aynı anda kazı yapılırken eş zamanlı olarak zemin kotu üstündeki betonarme imalatların yapılabilmesine olanak sağlanmıştır. Kara tarafında ise iksa sistemi açık kazı yöntemi ile yapılacak şekilde, çelik boru destekli olarak projelendirilmiştir. Bu sayede top-down yönteminin güvenliği ve açık kazı yönteminin hızı birleştirilerek, İşveren tarafından istenen iddialı teslim sürelerine uyulabilmektedir.

Proje kapsamında geoteknik hesaplar, diyafram duvar boylarının belirlenmesi, diyafram duvar betonarme tasarımının yapılması, kat döşemelerine aktarılabilecek yüklerin belirlenmesi ve çelik boru desteklerin projelendirilmesi firmamız tarafından yapılmıştır.

Bunlara ilave olarak, üst yapı ağırlığının suyun kaldırma kuvvetinden az olması nedeniyle yüzme problemi bulunmaktadır. Yüzme probleminin ortadan kaldırılması amacıyla radye temel altında çekme kazıkları tasarlanmıştır.

Proje sahasının Boğaz hattında, yoğun trafik ve ilgi merkezi olarak bilinen bir bölgede yer alması nedeni ile imalatlar zaman zaman sınırlı çalışma saatleri arasında İSG, kalite kontrol programlarına ve hedeflenen iş sürelerine uygun olarak ve başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir.

KAYNAKLAR

- DÜZCEER R., GÖKALP A., ADATEPE Ş. (2014) "Tekli Delgi Çoklu Ankraj İle Desteklenen Diyafram Duvarın Tasarım, Uygulama ve Performansı", Teori ve Uygulamada Zemin-Yapı Etkileşimi Sempozyumu. Akdeniz Üniversitesi. 24-25 Nisan 2014, Antalya.
- ELFA Müh. (2016) Mandarin Oriental Bosphorus Otel Projesi Kontrol Sondajlarına Dayalı Data Raporu.
- KASKTAŞ. (2018) Mandarin Oriental Bosphorus Otel Projesi İksa Uygulama Projesi Tasarım Raporu.
- MOTHERSILLE D., DÜZCEER R., GÖKALP A. (2015) "Design, Construction and Performance of Single Bore Multiple Anchored Diaphragm Wall", XVI th European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. ECSMGE 2015,13-17 September 2015 Edinburgh, Scotland, UK.
- Yertek Müh. (2016) Beşiktaş-Kuruçeşme-6 Pafta-169 Ada-2 ve Ada-20 Parsel Zemin Etüt Raporu.