

# İstanbul Boğazı Kıyısında Top-Down Yöntemi ile Derin Kazı Yapılması – Bir Vaka Analizi

Önder Akçakal, Cevdet Bayman, Selim İkiz,  
Fatih Kulaç, Turan Durgunoğlu

ÖZ: Hatice Sultan ve Fehime Sultan isimli iki tarihi Osmanlı Yalısının restorasyon çalışmaları kapsamında dört bodrum kat inşa edilmesi planlanmaktadır. Bodrum kat inşası için gerekli olan kazı derinliği arazi yüzeyinden 24 m, deniz seviyesinin 21.20 m aşağısındadır. Zemin profili kontrolsüz dolgu, denizel alüvyon ve deniz tarafına doğru derinleşen taban kayadan oluşmaktadır. İhale sürecinde geoteknik tasarım grubu tarafından çelik boru destekleme sistemi önerilmişse de destek elemanları arasında kalan sınırlı çalışma alanı nedeni ile alternatif başka bir yöntem aranmıştır. Bu aşamada alt yüklenici tarafından kayaya soketli diyafram duvar ve fore kazıklı sistem ile teşkil edilecek Top-Down inşaat yöntemi önerilmiş ve İşverenin değerlendirmesi neticesinde uygun bulunmuştur. Zorlu zemin koşullarında kalıcı diyafram duvar ve fore kazık uygulamalarının tamamlandığı THY - Do&Co JV Ortaköy Hotel Projesi ilgi çekici bir vaka analizi olarak bu makale kapsamında sunulmaktadır.

ABSTRACT: Within the restoration campaign of two historical Ottoman waterfront mansions namely Hatice Sultan and Fehime Sultan, four basement levels were planned to be constructed. Planned excavation depth was 24 m below the ground surface and approximately 21.20 m below the sea level. Uncontrolled fill, marine alluvium layer and bedrock are components of soil profile which the bedrock is sloped towards the seaside. In the bidding stage, steel propping system was submitted by the geotechnical design group however this design was eliminated because of the limited operation area between propping elements. The method of top-down construction of the basement levels with permanent diaphragm wall and bored piles socketed into bedrock was agreed to be realized by the Client based on the alternative proposal given by the foundation subcontractor during the bidding stage. THY - Do&Co JV Ortakoy Hotel Project where permanent diaphragm wall and piles were implemented in challenging soil conditions is presented within the paper as an interesting case study.

## 1 GİRİŞ

Fehime Sultan ve Hatice Sultan Yalıları 19. yüzyılın ikinci yarısında Sultan II. Abdülhamid tarafından Sultan V. Murat'ın kızlarına düğün hediyesi olarak İstanbul Boğazı kıyısında inşa ettirilmiştir. Fehime Sultan yapısı daha sonra Plevne Savunması ile başarı sergileyen Gazi Osman Paşa'ya hediye edilmiştir. Cumhuriyet döneminde ilkokul olarak kullanılan köşk ne yazık ki 2002'de çıkan yangın nedeni ile ağır hasar görmüştür. Bunun yanında Hatice Sultan Yalısı bir dönem yetimhane olarak ve daha sonra da özel bir yüzme kulübü olarak kullanılmıştır. Yalıları içine alan bu ada üzerinde son yıllarda Türk Hava Yolları – Do&Co Ortaklığı tarafından yap işlet devret modeli ile bir otel projesi geliştirilmektedir. Fehime Sultan yalısının yangından sonra kalan yapı elemanları restorasyon çalışmaları için depo ve atölye sahasına taşınmıştır. Otel projesi kapsamında halen ayakta olan Hatice Sultan Yalısının restorasyonu, 2002'deki yangından ağır zarar görmüş olan Fehime Sultan Yalısının aslına uygun olarak sökülen tarihi parçaları da kullanılarak yeniden inşa edilmesi planlanmaktadır. Bu restorasyon çalışmaları kapsamında otopark ihtiyacının karşılanması adına Hatice Sultan Yalısının ve tarihi bir çam ağacının bulunduğu köşeler haricinde kalan alan altında dört kat bodrum inşa edilmesi planlanmıştır. Zayıf zemin koşulları, yüksek su seviyesi ve çevre yapıların yakınlığı nedeni ile planlanan derin kazının Top-Down inşaat yöntemi ile desteklenerek gerçekleştirilmesi yönünde karar kılınmıştır. Makalenin sunulduğu tarihte diyafram duvar ve fore kazık uygulamaları tamamlanmış, bir bölümde ise zemin kat döşemesinin inşası ve döşeme altı kazı çalışmaları devam etmektedir.

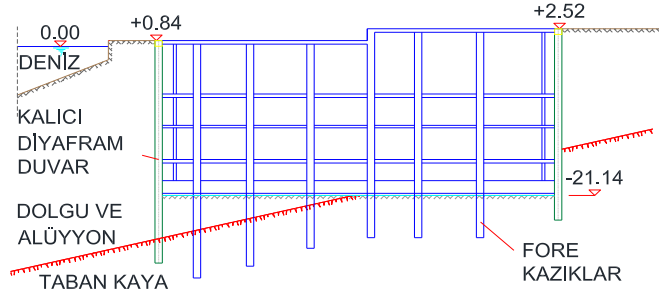
## 2 PROJE ÖZELLİKLERİ

Fehime Sultan ve Hatice Sultan Yalıları İstanbul Boğazı'nın Ortaköy kıyılarında Boğaziçi Köprüsü güney batı ayağına 75 m uzaklıkta yer almaktadır. Yalıların restorasyon çalışmaları kapsamında Hatice Sultan Yalısı ve tarihi bir çam ağacının bulunduğu köşeler haricinde kalan alanlar altında dört bodrum kat inşa edilmesi planlanmaktadır (Şekil 1). 2002 yılında gerçekleşen yangında hasar görmüş Fehime Sultan Yalısının kalıntıları restore edilmek ve yeni inşaatta tekrar kullanılmak üzere restorasyon sahasına taşınmıştır. Kazı çevresi yaklaşık olarak 372 m olup kazı alanı yaklaşık olarak 6064 m<sup>2</sup>'dir. Saha kotları deniz seviyesine göre +1.00 m ve +3.00 m arasında değişmektedir. Kazı derinliği deniz seviyesinden 21.20 m aşağıda olup maksimum kazı derinliği yaklaşık 24 m'dir.



Şekil 1. Sahanın Havadan Görünümü ve Planlanan Kazı Sınırı (fotoğraf 2002 yılındaki yangından sonra, restorasyon çalışmaları başlamadan önce çekilmiştir)

İksa destek sistemleri ihalesi aşamasında ihaleye katılan firma tarafından zemin koşulları, yüksek su seviyesi ve çevre yapıların yakınlığı dikkat çekilerek bodrum katlarının top-down yöntemi ile inşa edilmesi önerilmiş ve İşveren tarafından uygun bulunmuştur. Planlanan bodrum katları ve zemin profili Şekil 2’de verilmektedir.



Şekil 2. Deniz Tarafına Dik Doğrultuda Yapı ve Zemin Kesiti

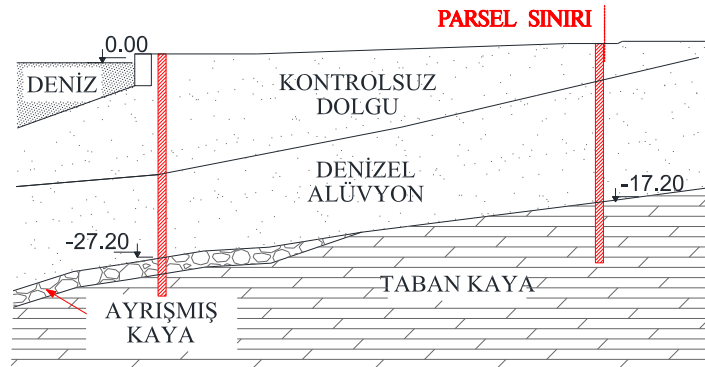
Bodrum katları inşası için uygulanması planlanan diyafram duvarın aynı zamanda yapının kalıcı perdesi olarak kullanılması düşünülmektedir. Top-Down inşaat metodu ile diyafram duvar panelleri yapı döşemeleri tarafından desteklenecektir ve inşa edilecek yapı döşemelerinin kazı esnasında taşınması adına yapı kolonlarının daha önceden inşa edilmiş olması gerekmektedir. Bu nedenle diyafram duvar uygulamalarına paralel olarak kalıcı yapı kolonlarının da fore kazıklar ile teşkil edilmesi planlanmıştır. Diyafram duvar ve fore kazıkların temel ve döşemeler ile yapısal bütünlüğünün

sağlanabilmesi için gerekli donatı sürekliliği özel bazı bağlantı detayları geliştirilerek gerçekleştirilebilmiştir.

### 3 ZEMİN ÖZELLİKLERİ

Zemin etüt çalışmaları kapsamında sahada en derini 50 m olan 10 adet sondaj yapılmış olup iki tane sondaj deniz kıyısına yakın ve deniz tarafına doğru 45° eğimli olarak gerçekleştirilmiştir. Bu iki sondaj ise 100 m uzunluğunda uygulanmıştır. Ayrıca jeofizik deneyleri kapsamında MASW ve mikrotremor çalışmaları sürdürülmüş olup elde edilen veriler ışığında zemin modeli oluşturulmuştur.

Zemin profilinin kontrolsüz dolgu, denizel alüvyon ve taban kaya tabakalarından oluştuğu görülmektedir. Taban kayayı oluşturan birimler dayk, kumtaşı ve şeyl olarak belirtilmektedir. Düşey sondaj loglarında kaya tabakasının saha genelinde yüzeyden derinliğinin 13.50 m ile 27.20 m arasında değiştiği görülmektedir. Bu nedenle diyafram duvar ve fore kazıkların, taban kaya içinde belli bir soket uzunluğu sağlanacak şekilde değişken derinlikte inşa edilmeleri uygun bulunmuştur. Her ne kadar zemin etüt çalışmaları dikkate alınarak diyafram duvar ve fore kazık boyları belirlenmiş olsa da uygulama esnasında karşılaşılan kaya kotlarına göre yeterli soket boyunun sağlanabilmesi için yer yer diyafram duvar ve fore kazık boyları uzatılmıştır. Tipik zemin profili Şekil 3’de görülebilmektedir.



Şekil 3. Tipik Zemin Profili

Laboratuvar ve arazi deneyleri dikkate alınarak hesaplarda kullanılan zemin ve kaya tabakalarının ortalama birim hacim ağırlık ve drenajlı kesme dayanımı özellikleri Tablo 1’de özetlenmektedir. Su seviyesi sahanın denize yakınlığının da etkisi ile arazi seviyesinin 1.0 - 3.0 m aşağısında yer aldığı dikkate alınmıştır.

Tablo 1. Zemin Özellikleri

<i>Zemin Tabakası</i>	$\gamma(kN/m^3)$	$\phi' (^{\circ})$	$c' (kN/m^2)$
<i>Kontrolsüz Dolgu ve Denizel Alüvyon</i>	18	28	1
<i>Ayrışmış Kaya</i>	22	33	20
<i>Taban Kaya</i>	24	33	50

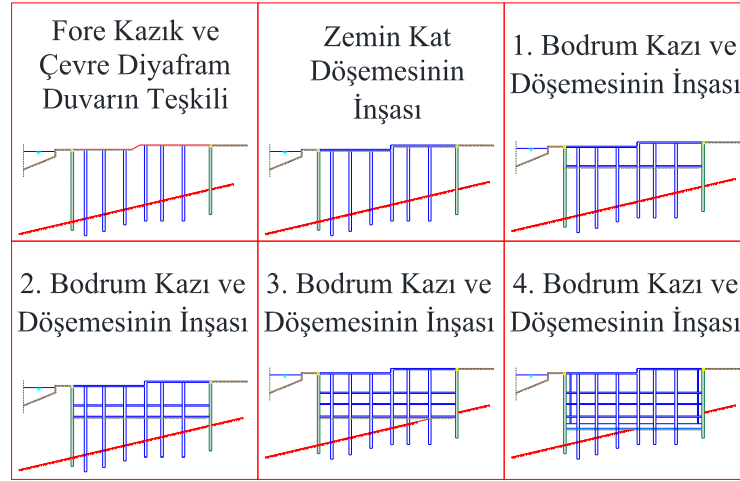
#### 4 ÖN TASARIM VE ALTERNATİF PROJE

İhale süreci öncesinde işveren tarafından görevlendirilmiş geoteknik tasarım grubu tarafından proje kapsamında yapılacak bodrum kazısı için çelik boru dayamalarla desteklenen diyafram duvarlı bir iksa sistemi önerilmiştir. Çelik boru destekler arasında kalan ara mesafe düşeyde 5.0 m yatayda 8.20 m şeklinde projelendirilmiştir. Destekler arasında kalan mesafenin sınırlı olması nedeni ile yapılacak kazı çalışmaları için yeterli emniyeti sağlayan bir alan oluşturulamadığı görülmüştür. Bunun yanında bodrum perdesi ile diyafram duvar arasında kalan alanın çakıl ile doldurularak yapının yüzmeye karşı güvenli olması hedeflenmiş fakat oluşturulan bu çakıl havuzu nedeni ile alan kaybı söz konusu olmuştur.

İhale sürecinde taşeron firma tarafından yapılan değerlendirme neticesinde, destekler arasında kalan mesafenin kazı çalışmalarının emniyetli bir şekilde yapılabilmesi için yeterli olmaması, çakıl havuzu nedeni ile ortaya çıkan yer kaybının ortadan kaldırılması ve kazı çalışmalarına paralel yapı döşemelerinin tamamlanması nedenleri ile kazının Top-Down inşaat tekniği ile desteklenmesinin uygun olacağı ortaya konmuştur.

Top-Down inşaat yöntemi ile diyafram duvar ve fore kazıklar, kazıya paralel olarak yapı döşemelerinin yukarıdan aşağıya doğru tek tek inşası ile desteklenmekte ve bu şekilde iksa yatay deplasmanının sınırlandırılması mümkün olmaktadır. Çevre yapıların yakınlığı nedeni ile iksa sistemi deplasmanının sınırlandırılması önem arz etmektedir.

Top-Down inşaat yöntemi ile planlanan uygulama adımları Şekil 4'de tarif edilmektedir. Buna göre uygulama adımları, ilk olarak çevre kalıcı diyafram duvar ve yapının kolonlarını teşkil edecek fore kazıkların inşa edilmesi, zemin kat döşemesinin diyafram duvar ve fore kazıklar ile yapısal bütünlük sağlanacak şekilde inşa edilmesi, 1. bodrum kat döşemesi alt kotuna kadar kazı yapılması, 1. bodrum kat döşemesinin inşa edilmesi, temel inşasına kadar bu sıralamaya uygun olarak kalan kazının yapılması ve döşemelerin inşa edilmesi şeklinde özetlenebilmektedir.



Şekil 4. Top Down İnşaat Yöntemi Uygulama Adımları

Kayaya soketli diyafram duvar ve kazı çalışmaları dikkate alınarak yapılan yeraltı suyu sızma analizi sonucu irdelenerek saha içine sızacak su miktarının minimize edilebilmesi için gerekli soket derinliği 5.0 m olarak hesaplanmıştır. Su seviyesinin iksa arkasında alçalmasından dolayı oluşması beklenen maksimum oturma 18 mm olarak hesaplanmış olup bu değer çevre yapılar dikkate alınarak uygun sınırlar içinde kaldığı şeklinde değerlendirilmiştir.

Uygulanan fore kazıklar temel seviyesi üzerinde basınç temel seviyesi altında kaldırma kuvveti nedeni ile çekme tesirleri altında çalışmaktadır. Bu nedenle yapının kalıcı kolonu olarak da kullanılmakta olan fore kazıkların kayaya soket miktarı önem kazanmaktadır. Suyun kaldırma kuvvetinin yapı ağırlığı ile dengelenememesi nedeni kazıklarda oluşan çekme kuvvetlerinin karşılanması adına yapılan hesap sonucu soket miktarı 6.0 m olarak belirlenmiştir.

Top-Down inşaat yöntemi ile birlikte ortaya çıkan inşaat zorluklarından bir tanesi diyafram duvar veya fore kazık makinesi ile uygulanan ve kalıp kurularak inşa edilen yapı elemanları arasında donatı sürekliliğinin sağlanmasıdır. Donatı sürekliliğinin sağlanabilmesi adına diyafram duvar ve fore kazık donatı kafesleri içerisine özel olarak tasarlanmış çelik plakalar ve ilave donatılar yerleştirilmektedir. Ayrıca temel ve duvar bodrum izolasyonlarının yapılabilmesi için betonarme imalatlarına paralel özel detayların uygulanması gerekmektedir. İlave donatı yerleşim detaylarının çözülmesi için ortaya konan çözümler bir sonraki bölümde sunulmaktadır.

## 5 KALICI DİYAFRAM DUVAR İNŞAATI

Daha önceki bölümlerde belirtildiği üzere diyafram duvarların taban kayaya minimum 5.0 m soketlenmesi gerekmektedir. Yol cephesinde taban kayanın temel seviyesi üzerine yükselmesi nedeni ile yer yer kaya zemin içinde diyafram duvar imalatı 20 m'ye kadar çıkmıştır. Diyafram duvar imalatlarının yapılabilmesi için sahaya maksimum 81 kNm tork ve dakikada 25 devir kapasiteli bir hidrofrez cutter tipi diyafram duvar makinası mobilize edilmiştir. Mobilize edilen bu diyafram duvar makinasının maksimum 70 m derinliğinde diyafram duvar yapma kapasitesi bulunmaktadır (Şekil 5a).

Diyafram duvarların yapının kalıcı elemanları olarak kullanılacak olması uygulamada düşeylik kontrolünü ön plana çıkarmaktadır. Hidrofrez cutter tipi diyafram duvar makineleri üzerine monte edilmiş olan düşeylik kontrolü sistemi ile yatay sapma miktarı izin verilir miktarlarda tutulabilmektedir (Şekil 5b-5c).



Şekil 5a. Hidrofrez-Cutter tipi Diyafram Duvar Makinesi

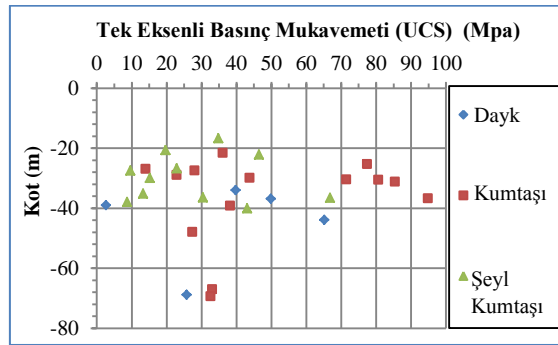
Şekil 5b – 5c. Düşeylik Kontrolü Sistemi

Zemin etüt çalışmaları neticesinde özetlenen taban kaya numunelerinin tek eksenli basınç mukavemeti değerleri aşağıda verilmektedir.

Tablo 2. Tek Eksenli Basınç Mukavemeti (UCS) Değerleri - Mpa

UCS Değeri	Dayk		Kumtaşı		Şeyl - Kumtaşı	
	Min.	Mak.	Min.	Mak.	Min.	Mak.
	0.7	65	3.6	160	1.0	67

Taban kayadan alınan numuneler üzerinde yapılan tek eksenli basınç mukavemeti deneyleri neticesinde elde edilen değerlerin derinliğe göre değişimi Şekil 6'da verilmektedir.



Şekil 6. Tek Eksenli Basınç Mukavemeti (UCS) Değerlerinin Derinlikle Değişimi

Taban kaya içinde minimum 5.0 m soket yapılabilmesi için karşılaşılan kaya derinliğine göre diyafram duvar boylarına yerinde karar verilmiştir. Diyafram duvar derinliğini değişken kaya tabakasına göre 28 m ile 32 m arasında uygulanmıştır. Diyafram duvar imalat hızı kullanılan yüksek kapasiteli hidrofrez cutter diyafram duvar makinesi sayesinde ortalama yaklaşık 2.65 m/gün olarak hesaplanmaktadır. Bu değer günde yaklaşık 60 m<sup>2</sup> diyafram duvar imalatına tekabül etmektedir.

Diyafram duvar donatı kafesleri içine döşeme ve temel bağlantılarının yapılabilmesi adına gerekli seviyelerde ilave donatılar yerleştirilmiştir (Şekil 7). Kazıya paralel önü açılacak diyafram duvar panellerinin içine yerleştirilen ilave bağlantı donatılarına, Şekil 11'de görülebilen strafor plastik parçalar sayesinde ince bir beton tabakası kırılarak ulaşılabilmesi ve bu donatıların kolaylıkla bükülüp döşeme ile bağlantısının sağlanabilmesi planlanmıştır.





Şekil 7. Döşeme ve Temel Seviyelerine Yerleştirilen İlave Bağlantı Donatıları

## 6 FORE KAZIK UYGULAMASI

Top-Down inşaat yöntemi dahilinde yapının kolonlarının teşkil edilebilmesi için çapları 100 cm ve 120 cm olan fore kazıkların inşa edilmesi planlanmıştır. Temel seviyesi üzerinde basınç altında çalışan kazıkların temel seviyesi altında çekme tesiri altında olacağı görülmektedir. Proje kapsamında inşa edilecek bodrum katlarının yaklaşık 21 m su seviyesinin altında olması nedeni ile yapıya büyük miktarda kaldırma kuvvetinin tesir ettiği hesaplanmıştır ve bu yükün inşa edilen kazıklar ile taşınacağı planlanmıştır. Yapının kalıcı kolonlarını teşkil edecek kazıkların yanı sıra bazı bölgelerde sadece temel altından kaya içinde 6 m soketlenecek şekilde ilave Ø65 cm çapında çekme kazıklarının da uygulanması gerekliliği görülmüştür. Kayaya soketlenen kazıkların çekme kapasiteleri sadece kaya içinde kalan bölümlerinin sürtünmesi dikkate alınarak hesaplanmıştır.

Fore kazık uygulaması tam boy boru sürülerek hassas bir çalışma ile gerçekleştirilmiş olup kazıkların düşeyden kaçıklığı uygulama boyunca sık sık kontrol edilmiştir (Şekil 8).



Şekil 8. Fore Kazık Uygulamaları

Yapının kalıcı kolonları olarak kullanılması planlanan fore kazıkların döşeme ve temel elemanları ile yapısal sürekliliğinin sağlanması adına yerleştirilen ilave bağlantı donatılarının yerleştirilmesi gerekmektedir. Bu donatıların beton içinde yeterli soketlenme boyunun sağlanabilmesi için kazık kesiti boyunca uzatılmaları gerektiği ortaya konulmuştur. Fore kazıklar tremi borusu kullanılarak betonlanacaklarından orta bölümlerinde bir açıklığın olması dolayısı ile ilave donatıların bu açıklık içinden geçmemeleri gerekmektedir. Bu nedenle bu ilave donatılar kazık donatı kafesi içine monte edilen Şekil 9’da görülen ring donatılara monte edilmiş ve dolayısıyla yeterli soketlenme miktarı sağlanmıştır.



Şekil 9. İlave Fore Kazık Bağlantı Demiri- Ring Plaka Uygulaması

## 7 TOP-DOWN KAZI AŞAMASI

Sahada makalenin hazırlandığı tarihte zemin kat döşeme çalışmaları ve 1. bodrum kat için gerekli kazı çalışmaları devam etmektedir. Şekil 10’da görülebileceği gibi 1. bodrum kat kazısı hizasına kadar kuru bir ortamda kazı yapılması mümkün olabilmıştır.



Şekil 10. Top-Down Kazı Aşaması

## 8 ÖZET

İstanbul Boğazi kıyısında 19. yy sonlarında inşa edilmiş iki Osmanlı yalısı olan Hatice ve Fehime Sultan Yalılarının restorasyon çalışmaları kapsamında projeye dört bodrum kat ilave edilmesi planlanmıştır. Bodrum katlarının inşası için derinliği 24 m'ye varan kazı yapılması gerekmektedir. Yapılacak bu kazının desteklenmesi adına ihale süreci öncesinde işverenin görevlendirdiği bir geoteknik tasarım grubu tarafından çelik dayamalar ile desteklenmiş geçici diyafram duvar önerilmiştir. Çelik boru elemanlarının arasında güvenli bir kazı çalışması için yeterli mesafe olmamasından dolayı, taşeron tarafından alternatif olarak bodrum katların top-down yöntemi ile inşa edilmesi teklif edilmiş ve İşveren tarafından daha uygun bulunmuştur. Bu yöntem dahilinde öncelikle yapının kalıcı birer parçası olarak kullanılması planlanan diyafram duvar ve fore kazıkların inşa edilmesi planlanarak projeye ekonomi getirilebilmiştir. Yapı döşemelerinin kazı çalışmasına paralel olarak diyafram duvarları destekleyecek şekilde yukarıdan aşağıya doğru inşa edilmeleri sayesinde yatay deplasmanların izin verilen sınırlar içinde tutulması mümkün olabilmektedir. Top-Down yönteminin bir diğer avantajı ise fore kazıkların taban kaya içinde soketlenmesi sağlanarak yapıya tesir eden kaldırma kuvvetinin kazıklar ile taşınması mümkün olmuş, yapının ağırlaştırılması gibi alan kaybına neden olabilecek detaylar ortadan kaldırılmış sonuç itibari ile yapı alanından kazanç sağlanmış ve güvenli bir tasarım ortaya konabilmiştir. Kazıya paralel inşa edilecek temel ve döşemelerin diyafram duvar ve fore kazıklar ile aralarında donatı sürekliliği ilave bağlantı donatıları ile sağlanabilmiştir. Taban kayada rastlanan yüksek tek eksenli basınç mukavemeti değerlerine rağmen yüksek kapasiteli bir hidrofreze cutter diyafram duvar makinesi ile kayada minimum 5.0 m soket yapılarak uygun bir imalat hızı yakalanabilmiştir. Kazı aşamaları esnasında ise kayaya soketli diyafram duvarlar sayesinde saha içinde kuru bir çalışma ortamının sağlandığı görülebilmektedir. Sonuç olarak zorlu zemin ve çevre koşulları dikkate alındığında top-down inşaat yönteminin güvenli, ekonomik bir çözüm oluşturduğu aynı zamanda projeye zaman kazandırabildiği görülmektedir.

## 9 TEŞEKKÜRLER

Destekleri için Türk Hava Yolları Yönetim Kurulu ve İcra Komitesi Başkanı Sayın Hamdi Topçu'ya, Do&Co Firması CEO'su Sayın Atilla Doğudan'a ve Güryapı İnşaat Firması'na teşekkürlerimizi sunarız.