



İzmit Körfez Geçiş Köprüsü (Osman Gazi Köprüsü) Hersek Burnu ayağı kuru havuz inşaatında zemin ve jeoteknik tasarım parametrelerinin korelasyon yöntemleriyle belirlenmesi sonucu karşılaşılan sorunlar

Problems encountered as a result of the determination of soil and geotechnical design parameters by correlation methods in the construction of the Izmit Bay Crossing Bridge (Osman Gazi Bridge) Hersek foot dry dock construction

Mehmet İNCE^{1*}, Ahmet KARAKAŞ², Özkan CORUK²

¹Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, mehmetince18966@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6434-0405>

²Kocaeli Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, akarakas@kocaeli.edu.tr, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4672-2063>

²Kocaeli Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, coruk@kocaeli.edu.tr, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5072-200X>

MAKALE BİLGİLERİ

ÖZ

Makale Geçmişi:

Geliş 10 Haziran 2022
Revizyon 18 Ekim 2022
Kabul 22 Kasım 2022
Online 31 Aralık 2022

Anahtar Kelimeler:

Kil, palplans, kuru havuz, zemin parametreleri, susuzlaştırma.

İzmit Körfez Geçiş Köprüsü Projesi'nde köprü keson temellerine ait inşaat işlerinin % 70'lik kısmı 22.820 m² alana sahip kuru havuzda yapılmıştır. - 7.50 metre derinliğe sahip kuru havuzun, çalışma platformu imkânı sağlayan çevre deniz dolgusu, susuzlaştırma ve kazı şev stabilite amaçlı palplansların çakılması, havuz dışı kaya koruması, havuz içi kazısı aşamalarıyla inşa edilmiştir. Mühendislik jeolojisi çalışmaları ile belirlenen zemin parametreleri kullanılarak hazırlanan kuru havuz tasarımında karaya paralel taraf (doğu yönü) palplansları 12.00 m ve diğer üç kuzey, batı ve güney tarafları 18.00 m olarak hesaplanmıştır. Ancak İngiltere merkezli kontrol firması, tasarımda kullanılan yerel zemin parametre değerlerini çok yüksek olarak yorumlamıştır. Yorumlara paralel hazırlanan ve korelasyonlarla belirlenen jeoteknik parametrelere göre tasarım revizyonu ile palplans boyları 16.00 ile 24.00 metre olarak belirlenmiştir. Bu yeni tasarıma göre yapılan palplans çakım uygulaması planlanan ve karşılaşılan sorunların çözümü için bilinen tüm ilave uygulama yöntemlerinin devreye sokulmasına karşın, proje sonunda 24.00 metre olarak çakılması planlanan palplansların çakım derinliği en fazla 20.37 metre olarak gerçekleşmiştir. Zaman ve ilave yöntemlerden kaynaklı inşaat maliyeti artarken yaklaşık 1900 metre palplans zayıfatı olmuştur. Mühendislik jeolojisi modeli ve özellikle kil tabakasının mekanik dayanımının tekrar teyitti amacıyla, 5 adet ilave zemin araştırma sondajı yapılmıştır. Sondaj verilerinin değerlendirilmesi sonucunda, ilk tasarımın ve bu tasarımda belirlenen palplans boylarının yeterli olduğu, 18.00 metreden daha derindeki kil tabakasının jeoteknik parametrelerinin palplans çakımına uygun olmadığı tespit edilmiştir. Mühendislik yapılarının tasarımında standartlaştırılmış veya korelasyona dayalı zemin parametrelerinden ziyade yerinde zemin araştırmalarına dayalı zemin ve jeoteknik tasarım parametrelerinin belirlenmesi ve kullanılması yapı güvenliği, zaman ve mali kayıpların yaşanma olasılığını ve riskini bu örnekte de olduğu gibi azaltmaktadır.

ARTICLE INFO

ABSTRACT

Article history:

Received 10 June 2022
Received in revised form 18
October 2022
Accepted 22 November 2022
Available online 31 December 2022

Keywords:

Clay, sheet piling, dry dock, soil parameters, dewatering.

Doi: 10.24012/dumf.1128735

* Sorumlu Yazar

In the Izmit Bay Crossing Bridge Project, 70% of the construction works of the bridge caissons were carried out in a dry dock with an area of 22,820 m². The dry dock with a depth of - 7.50 meters was built with the surrounding armor rock fill, which provides a working platform, the piling of sheet piles for dewatering and excavation slope stability, the rock protection outside the dock, and the excavation in the dock. In the dry dock design, which was prepared using the soil parameters determined by engineering geology investigation, the parallel to the land (east direction) sheet piles were calculated as 12.00 m and the other three north, west and south sides were calculated as 18.00 m. However, the UK-based control firm interpreted the local soil parameter values used in the design as too high. According to the geotechnical parameters prepared in parallel with the comments and determined by the correlations, the sheet pile lengths were determined as 16.00 and 24.00 meters with the design revision. Despite the fact that all known additional application methods were used to solve the problems encountered and planned for the sheet pile driving application made according to this new design, the driving depth of the sheet piles, which was planned to be driven at 24.00 meters at the end of the project, was 20.37 meters at the most. While the construction cost increased due to time and additional methods, approximately 1900 meters of sheet piling were wasted. In order to reconfirm the engineering geology model and especially the mechanical strength of the clay layer, 5 additional soil investigation drillings were carried out. As a result of the evaluation of the drilling data, it was determined that the initial design and the sheet pile lengths determined in this design were sufficient, and the geotechnical parameters of the clay layer deeper than 18.00 meters were not suitable for sheet piling. Determining and using soil and geotechnical design parameters based on in situ soil investigations rather than standardized or correlation-based soil parameters in the design of engineering structures reduces the possibility and risk of experiencing building safety, time, and financial losses, as in this example.

Giriş

Bu çalışma kapsamında, tasarım verileri ile saha uygulaması arasındaki oluşan farkların; maliyet, süre ve problemin çözümüne dair etkisi bir vaka analizi olarak değerlendirilmiştir. Çalışmada, İzmit Körfez Geçiş (İKG) Köprüsü (Osman Gazi Köprüsü) Hersek Burnu ayağı kuru havuz tasarımı için gerekli zemin parametrelerinin korelasyona dayalı yöntemleriyle belirlenmesi sonrası karşılaşılan sorunlar ele alınmıştır. Kuru havuz tasarımı için gerekli palplanş boyları, inşaat alanındaki sondaja dayalı ve zemin araştırması ile belirlenmiştir. Bu araştırma sonrası, palplanş malzeme özellikleri, kuru havuz kullanım süresi, deniz dolgu malzeme özellikleri ve yapı kesitleri hesaba katılarak kara (doğu) tarafında 12.00 m ve diğer üç kenarda (kuzey, batı ve güney) 18.00 m olarak hesaplanmıştır. Kuru havuz taban alanı ve çevresinden gelecek yeraltı suyu akışını engelleyecek ve şev stabilitesini sağlayacak palplanşlar tasarım olarak sert kil tabakasına yeterli derinlikte soketlenecek şekilde belirlenmiştir. Projenin kontrol firması zemin araştırma raporlarındaki kilin mekanik özelliklerini yani bu rapora bağlı zemin parametrelerini çok yüksek bulmuş, palplanş tasarımında kullanılan yerel zemin parametrelerin yeterli olmadığını ve değerlerinin düşülmesini talep etmiştir. Kontrol firmanın yorumlarına bağlı olarak kuru havuz tasarımı revize edilmiştir. Palplanş boyları kara tarafında 16.00 m ve diğer üç kenarda ise 24.00 m olarak yeniden projelendirilmiştir. Bu projeye göre uygulamaya geçilmiştir. Ancak sahada palplanş çakımı sırasında aşırı zorlama sonucu palplanşların burulduğu, parçalandığı ve kızaklardan kurtulduğu gözlenmiştir. Planlanmış iş makineleri ile revize edilen projedeki kotlara inilemeyeceğinin anlaşılması, daha sonra devreye sokulan yeni tedbirlerin de yetersiz kalması ile aşağıdaki uygulama yöntemleri sırası ile devreye alınmıştır. Bunlar;

1. Türkiye'deki mevcut en yüksek titreşimli çekiç kullanılmıştır.
2. Palplanşlara su jeti montajı yapılmıştır
3. Çakımı kolaylaştırmak için palplanş hattı boyunca jet grout makinası ile 0.50 m arayla ve palplanş alt kotunun bir metre üstüne kadar ulaşan delikler delinmiştir
4. Hidrolik çekiç kullanılmıştır.

Bu yöntemlerle, 16.00 m planlanmış palplanşlar hesaplanan kotlara kadar çakılabilmişken 24.00 m planlanmış palplanşlar ortalama 20.37 m olarak çakılabilmiştir. Zemin üzerinde +1.60 m kotu üstünde kalan palplanşlar kesilmiştir. Çok fazla miktarda palplanş zayıtı olmuştur. İlave maliyet ve zaman kayıpları yaşanmıştır. Palplanş çakımları sonrası alanda susuzlaştırma, kazı ve yapılış amacına uygun olarak kesonların inşaatı tamamlanmıştır. Kesonların havuzdan yzürülmesi sonrası palplanşların çekimine başlanmıştır. Kuru havuzun görevini tamamlaması sonrası palplanşların çekiminde de zorluklar yaşanmıştır. Türkiye şartlarında en yüksek kapasiteli titreşimli çekiç kullanımı ihtiyaç olmuştur. Bazı palplanşlar çekilememiş deniz tabanında kesilmek zorunda kalmıştır. Yaşanan problemler iş programında gecikme ve bununla birlikte maliyet artışlarına neden olmuştur.

Zeminlerin jeolojik kökeni ve fasiyes özellikleri, belirli bir bölgede mevcut olabilecek zemin türleri için bir gösterge

oluşturmaktadır. Zemin parametrelerinin nümerik değerleri ve davranışı, zeminin oluşumu nasıl olursa olsun yapısal ve çevresel faktörlere bağlı olarak değişkenlik gösterir. Bu nedenle mühendislik uygulamaları ve projelendirme açısından zemin jeoteknik-geoteknik parametrelerinin gerçeğe en yakın temsili değerlerinin seçilebilmesi için istatistiksel bir yaklaşıma gereksinim duyulmaktadır. İstatistiksel yaklaşımlar, genellikle çok az sayıdaki deneye ve veriye dayanılarak elde edilen jeoteknik-geoteknik parametrelere ne kadar güvenebileceğini matematiksel bir kesinlikle ifade edebilme olanağını vermektedir [1]. Arazi ve laboratuvar deneyleri ile elde edilen parametrelerin en ufak bir benzerliğinin bulunmadığı örnekler sayılamayacak kadar çoktur [2].

Kuru havuzların tasarım ve inşasına genel bir bakış operasyon alanları, ana gereksinimler, inşaat sürecinde kullanılan yapı malzemeleri, tasarımda etkili faktörler, her tipin avantajları ve dezavantajları [3] ile verilmektedir.

Bu çalışma kapsamında yerinde elde edilmiş mühendislik jeolojisi verileri ile benzer zemin malzemelerinden türetilen jeoteknik parametrelerin projeye uygulanmasında karşılaşılan zorluklar bir vaka analizi şeklinde verilmektedir. Proje kapsamında Osman Gazi Köprüsü Hersek Burnu ayağı kuru havuz tasarımında çakım boyu 24.00 m olarak planlanan palplanşlar hedeflenen derinliklerde çakılamamıştır. Daha yüksek kapasiteli titreşimli çekiç kullanımı, çakımı kolaylaştırıcı su jeti ve jet grout makinası ile palplanş hattında delikler delinmesi gibi ilave metotlar devreye alınmak zorunda kalmıştır. 24 metrelik palplanşlar en fazla 20.37 m olarak çakılabilmiştir. 1900 m palplanş zayıtı olmuştur Çakım zorluklarına paralel olarak proje sonunda palplanşların çekiminde de ciddi zorluklar yaşanmıştır. Kuru havuz inşaat aşamalarında planlanan metotlardan sapsmalardan kaynaklı ciddi mali ve zamansal kayıplar yaşanmıştır.

Bulgular

Kuru havuz inşaat alanı Yalova Altınova İlçesi Hersek Burnu batı kesimindedir. Bu kesim Osman Gazi Köprüsü'nün (İKG) güney ankraj ve diğer köprü yaklaşım yapılarının da yer aldığı alandır. Kuru havuz alanı ile birlikte, güney ankraj ve diğer yaklaşım yapıları deniz dolguları üzerine inşa edilmiştir. İnceleme alanının lokasyonu Şekil 1'de, kuru havuz palplanş çakım planı Şekil 2'de ve palplanş deneme çakımı Şekil 3'te verilmektedir. Şekil 4'te palplanş çakım çalışmalarından alınmış fotoğraflar verilmektedir.

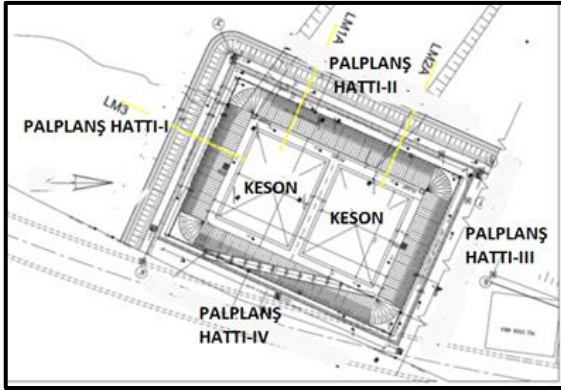
İzmit Körfezi'nin gelişiminde tektonik kuvvetlerin etkisi öne çıkmaktadır. Tektonik jeomorfolojik özellikler, bölge genelinde Kuzey Anadolu Fay sistemi ile ilişkilidir. Proje alanını, Hersek Yarımadası'nın doğusundaki Karamürsel Havzası'nın batı ucu, Hersek Yarımadası'nın ucundaki Dedeler Tepesi, Hersek Lagünü ve kısmen tektonik kaynaklı bir yelpaze deltası olan Hersek Yarımadası'dır [6].

Proje alanı Hersek deltasına ait genç alüvyal çökeller üzerinde yer alır. Hersek deltası, İzmit Körfezi güney kıyıları gerisindeki çok sayıda akarsuyun getirdiği malzemenin birikmesi sonucu oluşan ve şerit şeklinde bir kıyı çökeli görünümündedir. Gölcükten batıya doğru Ulaşlı, Karamürsel ve Ereğli dolayında bu alüvyal şerit daralmakta, Hersek ve Çatal deltalarında tekrar geniş alanları

doldurmaktadır. Çoğunlukla taşkın ovasında çökelen silt ve kil boyutundaki malzemeden oluşan bu deltalar günümüzde bataklıklar halindedir.



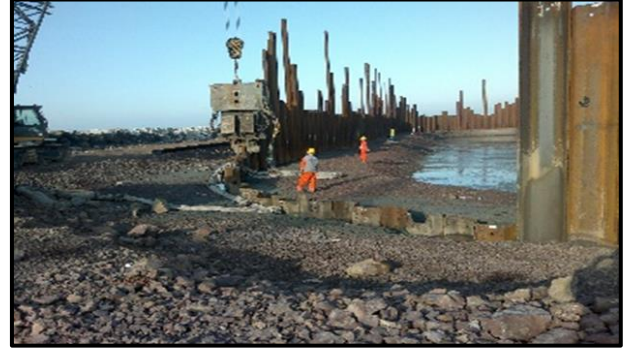
Şekil 1. İnceleme alanı lokasyonu



Şekil 2. Kuru havuz palplanş çakım planı



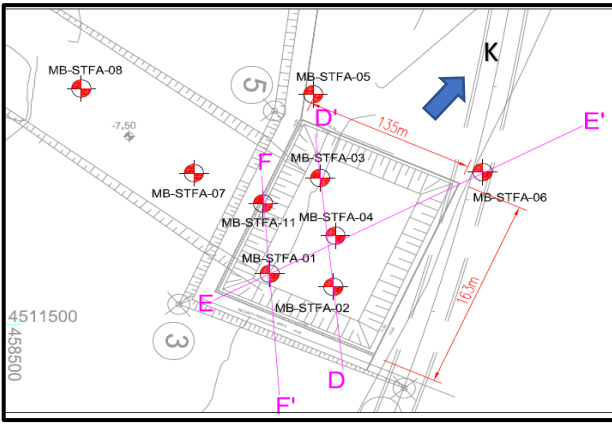
Şekil 3. Kuru havuz planı ve palplanş deneme çakımı



Şekil 4. Kuru havuz palplanş çakımı ile ilgili saha fotoğrafları

Altınova'nın kuzeybatısında Yalakdere deltasında ise kumlu ve siltli kırıntılılar egemendir. Hersek ve Subaşı köyleri civarında ise gevşek kum, siltli kum ve killi silt düzeyleri izlenir [7].

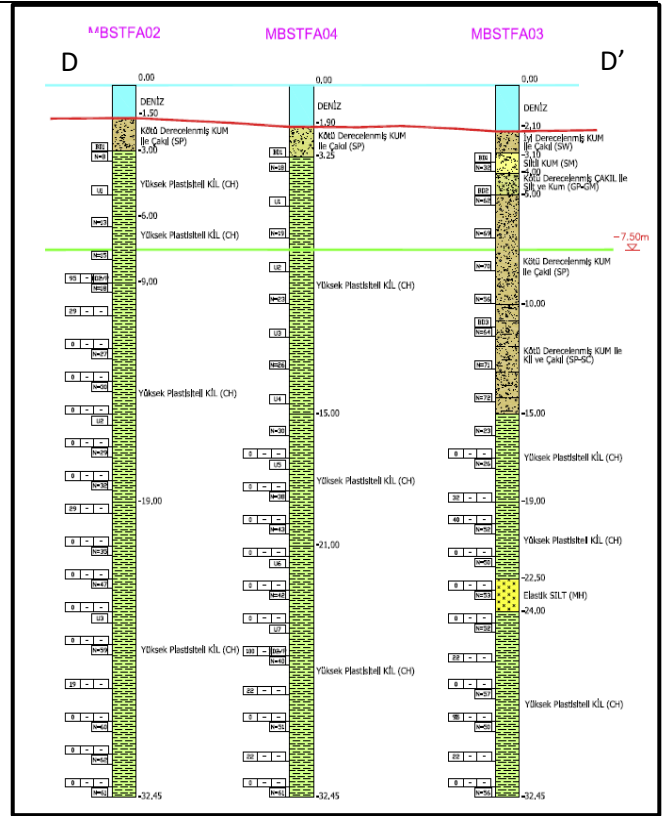
Proje kapsamında, kuru havuz sahasında, çevresinde ve denizde toplam 9 adet sondaj, 5 adet araştırma çukuru yaptırılmıştır [5]. Sondajlar ve zemin tanımları TS 19001 [9], BS 5930: 1999 [10] ve ASTM 2000 [11] şartnamelerine uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Sondajlarda 1,50 m aralıklı standart penetrasyon testleri yapılmış olup kohezyonlu zeminlerden örselenmemiş zemin numunesi alınmış, zeminde ilerlemeler çift tüpü karotiyerler ile yapılmış 9 sondaj noktasından laboratuvar deneyleri için 208 adet örselenmemiş ve örselenmiş numune alınmıştır. Kuru havuz sahasında ve çevresinde yapılan sondajların planı Şekil 5'de, D-D' jeolojik kesiti Şekil 6 ve E-E' kesiti ise Şekil 7'de sunulmuştur.



Şekil 5. Kuru havuz çalışma alanı sondaj planı [7]

Kuru havuz sahasının mühendislik jeolojisi modelini gösteren farklı yönlerdeki D-D' ve E-E' mühendislik jeolojisi kesitleri Şekil 6 ve Şekil 7'de verilmiştir. Bu modele göre üstte kalınlığı 1.5-13 m arasında değişen kötü derecelenmiş çakıllı kum, siltli kum, seviyesi vardır. Bu seviyenin altında SPT-N₃₀ değerleri derinlikle artan sondajdaki kalınlığı yaklaşık 32 m olan çok katı-sert, yüksek plastisiteli kil seviyesi bulunmaktadır.

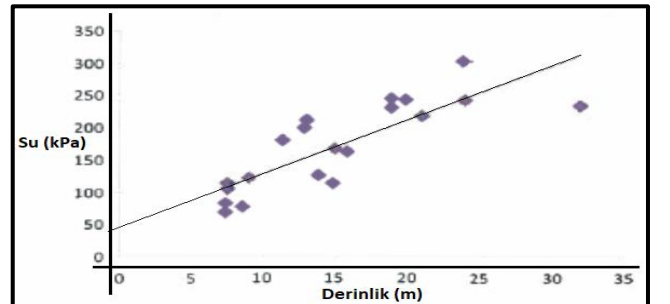
Sondaj derinlikleri 32.45 metre ile 52.95 metre arasında değişmektedir. Zemin kesitinde en üstte kalınlığı 1.00 m ile 4.70 m olan gevşek kum tabakası, altında ise katı/çok katı/sert yüksek plastisiteli kil tabakası tespit edilmiştir. Kum tabakası genelde SP-SM ve SC sınıfındadır. SPT- N₃₀ değerleri 6 ile 14 arasında değişmektedir. Kum oranı %50-60 arasındadır. Kil tabakası genelde CH sınıfındadır. SPT N₃₀ değerleri ortalama 10 metre derinliğe kadar 13 ila 22 arasında, 10 metre derinlikten itibaren ise 27 ila 77 arasındadır [7]. Laboratuvar deney sonuçlarına göre killerin likit limitleri (LL) 0.61 ile 0.67 arasında, plastisite indisleri (IP) 0.38 ile 0.43 arasındadır. Jeokimyasal analizlerde killerin egemen mineral türü kaolinit olarak belirlenmiştir. Kaolinit türü killerin şişme ve büzülme potansiyeli çok düşüktür. Laboratuvar deney sonuçlarına göre belirlenen drenajsız kayma dayanımının (Su) derinlikle değişimi Şekil 8'de verilmektedir. 18 metre derinlik dolayında drenajsız kayma dayanımı (Su) 200 kPa değerine ulaşmaktadır.



Şekil 6. D-D' Jeolojik kesiti



Şekil 7. E-E' Jeolojik kesiti



Şekil 8. Kayma mukavemetinin derinlikle değişimi

Zeminlerin mekanik özellikleri Tablo 1, sondajlarda rastlanan tabakaların özellikleri Tablo 2’de verilmektedir.

Tablo 1. Zeminlerin mekanik özellikleri [7]

Sondaj No	Derinlik (m)	Üç eksenli Basınc Deneysi (C:kPa, Φ)	Tek eksenli Basınc Deneysi (kPa)
MBSTFA01	6,50-7,00	C:117 Φ :0	
MBSTFA02	4,50-5,00 10,20-10,50	C:62 Φ :3 C:58 Φ :3	
MBSTFA03	19,50-19,90	C:160 Φ :0	
MBSTFA04	5,00-5,50	C:98 Φ :0	
MBSTFA05	17,20-17,50 25,00-25,50	C:140 Φ :0 C:120 Φ :0	
MBSTFA06	7,50-7,80 16,50-16,80	C:54 Φ :0 C:38 Φ :5	
MBSTFA09	27,00-27,50 31,50-32,10 36,00-36,50 46,50-47,00	C:10 Φ :0 C:20 Φ :0	32,51 179,92

Tablo 2. Sondajlarda rastlanan tabakaların özellikleri [7]

Sondaj	Kotlar	Kalınlık (m)	Zemin	Ortalama N	Su (kPa)	Φ (°)	WL (%)	Wp (%)	γ_n (KN/M3)
1	7,50-13,00	5,50	CH	23	104		66	24	19
	13,00-35,75	22,75	CH	44	198		60	23	19
2	7,50-9,00	1,50	CH	15	68				
	9,00-19,00	10,00	CH	27	122		66	24	18
3	19,00-32,45	13,45	CH	54	243				
	7,50-10,00	2,50	k.d.kum	63		>45			
	10,00-15,00	5,00	k.d.kum	69		>45			
	15,00-19,00	4,00	CH	25	113				
	19,00-22,50	3,50	CH	51	230		61	24	
	22,50-24,00	1,50	Elastik silt	53	239		68	43	
4	24,00-32,45	8,45	CH	54	242		65	23	
	7,50-15,00	7,50	CH	25	113		60	23	19
5	15,00-21,00	6,00	CH	37	167		66	24	
	21,00-32,45	11,45	CH	49	218				
6	7,50-8,00	0,50	k.d.kum	72		>45			
	8,00-11,00	3,00	silt	59	263				
	11,00-12,50	1,50	iyi d.kum	66		>45			
	12,50-14,00	1,50	kum	82		>45			
	14,00-16,00	2,00	iyi d.kum	77		>45			
	16,00-18,50	2,50	CH	36	162		56	22	19
7	18,50-20,00	1,50	CL				46	19	
	20,00-52,95	32,95	CH	54	242		64	24	18
8	7,50-8,68	1,18	CH	18	81		59	21	19
	8,68-13,18	4,50	CH	17	77		64	22	
9	13,18-30,63	17,45	CH	47	210		66	43	18
	7,50-7,75	0,25	iyi d.kum	72		>45			
10	7,75-24,00	16,25	k.d.kum	N>50		>45			
	24,00-33,05	9,05	CH	67	302		69	23	19
	7,50-8,25	0,75	iyi d.kum	44		45			
	8,25-10,00	1,75	k.d.kum	72		>45			
	10,00-10,80	0,80	kum	N>50		>45			
	10,80-20,50	9,70	kum	N>50		>45			
11	20,50-25,50	5,00	silt	N>50		>200			
	25,50-32,00	6,50	CL	40	180		40	22	
12	32,00-35,95	3,95	CH	52	234		62	26	
	7,50-8,00	0,50	k.d.kum	79		>45			
	8,00-9,50	1,50	kum	54		>45			
	9,50-11,50	2,00	k.d.kum	N>50		>45			
13	11,50-14,00	2,50	CH	40	180				
	14,00-19,00	5,00	CH	28	126		53		

Bu çalışma kapsamında gerekli analizler yazılım paketi PLAXIS 2D ile yapılmıştır. Kuru Havuzda iki farklı zemin modeline sahip küresel analiz modeli, inşaatın başlangıcından yapının beklenen 6 aylık işletme ömrüne kadar konsolidasyon oturmalarını tahmin etmek için uygulanmıştır. Global Model 1 (bundan sonra GM1 olarak anılacak) sığ kil zemin profil katmanlarını temsil ederken (Ref. Kuyular MB-STFA-04, 11, 01 ve 02), Global Model 2 (bundan sonra GM2 olarak anılacaktır) kum/çakıl katmanları ile kaplanmış derin kil zemin profilini (Ref. Kuyular MB-STFA-03, 05 ve 06) temsil etmektedir.

Ayrıca, güvenlik faktörlerini tam olarak elde etmek için hem Deniz tarafı hem de Kara tarafı dolguları için şev güvenlik analizleri yapılmıştır ve bant dolgular aşağıdaki gibi gösterilecektir.

Yerel Model 1A (LM1A) sığ kil katmanları üzerinde deniz kenarı dolgusunu, Yerel Model 1B (LM1B) sığ kil katmanları üzerinde kara dolgusunu, Yerel Model 2A (LM2A) daha derin kil katmanları üzerinde sahil dolgusunu, Yerel Model

2B (LM2B) daha derin kil katmanları üzerinde kara tarafı dolgusunu göstermektedir. Analiz parametreleri ve geometri global ve yerel modeller arasında aynıdır, ancak yerel modeller, global modellerinin daha güvenilir analiz veren kısaltılmış versiyonlarıdır. Hesap amaçlı temsili zemin profili Tablo 3’te verilmektedir.

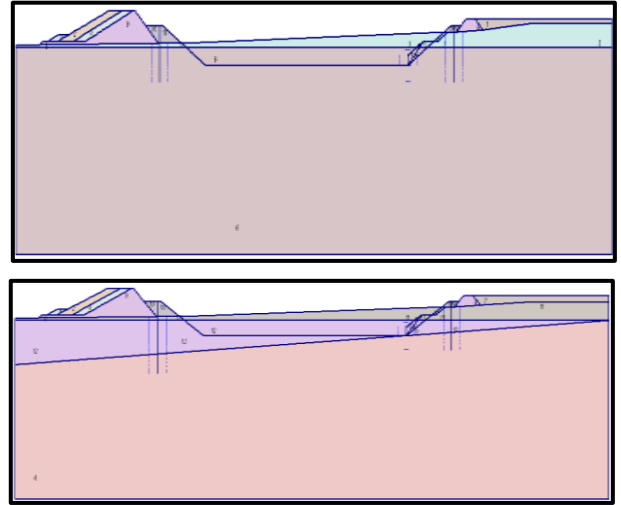
Tablo 3. Hesap amaçlı temsili zemin kesitleri [12]

Kesit		GM1 (m)	GM2 (m)
Birim A1 (Çakıllı Kum, Gevşek-O. Sıkı)	Üst Kot	-1.90	-2.10 (-) -1.32
	Alt Kot	-3.25	-3.10 (-) -3.38
Birim A2 (Çakıllı Kum, Sıkı-Çok Sıkı)	Üst Kot	Mevcut Değil	-3.10 (-) -3.38
	Alt Kot		-15,00 (-) -3,38
Birim B (Yüksek Plastisiteli Kil, Katı-Sert)	Üst Kot	-3.25	-15,00 (-) -3,38
	Alt Kot	-32.45	-32.45
Deniz Seviyesi :0,00m			

Sayısal modelleme, karmaşık doğrusal olmayan zemin davranışının ve çeşitli arayüz koşullarının, geometrilerin ve zemin özelliklerinin modellenmesine izin verdiği için sonlu elemanlar yöntemi aracılığıyla gerçekleştirilmiştir. Zemin Mohr-Coulomb modeli ile modellenmiştir.

Kuru Havuz ’da inşaat yapım süresi ve işletme ömrü, kil tabakalarının drenajlı bir şekilde davranması için yeterince uzun değildir. Bu nedenle kil tabakaları analizlerde drenajsız olarak kabul edilmiş ve tanımlanmıştır.

Model 1 ve Model 2 için dikkate alınan katmanların MC model parametrelerinin bir özeti Şekil 9’da ve Tablo 4’de verilmektedir.



Şekil 9. Sırasıyla GM1 ve GM2’nin zemin özelliği atamaları (PLAXIS 2D) [12]

Tablo 4. Zemin özellikleri/atamalar [12]

Zemin Malzemesi	Cluster No.	γ_{sat} (kN/m ³)	Cu (kPa)	C' (kPa)	Φ' (kPa)	Konc	Koc	E50 (Mpa)	mv (m ² /Mn)
Birim A1 (Çakıllı Kum, Gevşek-O. Sıkı)	3-11	21	0	0	35	0.426	0.522	15	
Birim A2 (Çakıllı Kum, Sıkı-Çok Sıkı)	12	21	0	0	44	0.305	0.432	35-70	
Birim B (Yüksek Plastisiteli Kil, Katı-Sert)	6	18	50-120	5-10	25	0.577	1000	9-22	0.08
Çekirdek	9	22	0	0	40	0.357	0.619	50	
Filtre	8	22	0	0	40	0.357	0.619	50	
Armour	2	22	0	0	40	0.357	0.619	50	
Granül Dolgu	10	22	0	0	40	0.357	0.619	50	
Embankment	1	21	0	0	32	0.47	0.814	10	

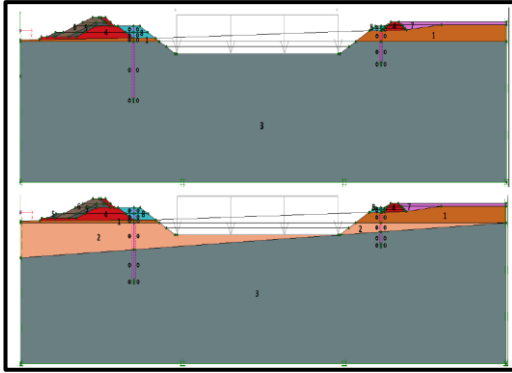
Konsolidasyon analizleri için iki farklı zemin modeli (GM1 ve GM2) ile global analiz modelleri geliştirilmiştir. Modeller, kuru çalışma alanına olası sızmayı önlemek için yeterli

uzunlukta çakılan palplarıların yanı sıra yukarıda verilen zeminlerin mukavemetini ve rijitliğini sağlamaktadır. Kuzey-Doğu kenar palpları, bu bölgedeki kil tabakaları Güney bölgesine göre daha derinde olduğundan -16.25 m, sıg kil tabakalarının olduğu Doğu ve Güneydoğu katmanında ise -10.25 m uç kotlarına kadar çakılması yeterli görülmüştür. Güneydoğu kadranda ve tüm kara dolgularında daha sıg killere ulaşır. Global muadillerinin türevi olan yerel modeller (LM1A, LM1B, LM2A ve LM2B) de şev güvenliği analizlerinde de bu fark dikkate almaktadır [12].

Kontrol firması ilk tasarım sonuçlarına göre belirlenen palpları boylarını, tasarımda kullanılan zemin parametreleri ve güvenlik faktörü yorumlarına göre kısa bulmuştur. Yorumlarını yazılı olarak tasarımcı ile paylaşmış ve tasarımda revizyon talep etmiştir.

Yorumlarında Londra kilinin davranışı örnek gösterilmiş, proje kapsamında sondaj ve laboratuvar verileri ile hazırlanan zemin kesitinin yeterli olmadığı vurgulanmış, standartlaştırılmış veya korelasyona dayalı zemin parametrelerinin kullanılması önerilmiştir. Bu öneri doğrultusunda palpları boyları kara tarafında 16.00 m ve diğer üç kenarda ise 24.00 m olarak projelendirmiştir. Projelendirmede 2/3 standart konsol boyu öngörülmüş ancak özellikle 3 kenardaki 18 metre derinlikten itibaren izlenen sert kilde palpları çakımının gerçekleşip gerçekleşmeyeceği dikkate alınmamıştır. Havuzun I, II ve III kenar palpları uç kotları -22.40 m (Palpları üst kotu +1.60 olduğundan toplam boy 24.00 m'dir), IV (kara tarafından)'de ise -14.40 m (Palpları üst kotu +1.60 olduğundan toplam boy 16.00 m'dir), seviyesine kadar çakılmasına karar verilmiştir [13].

Model 1 ve Model 2 için dikkate alınan katmanların MC model parametrelerinin bir özeti Şekil 10 ve Tablo 5'de verilmektedir [13].



Şekil 10. Sırasıyla GM1 ve GM2'nin zemin özelliği atamaları (PLAXIS 2D) [13]

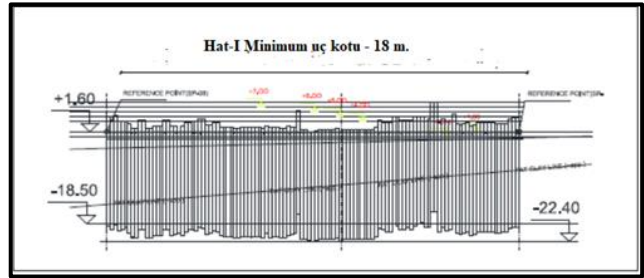
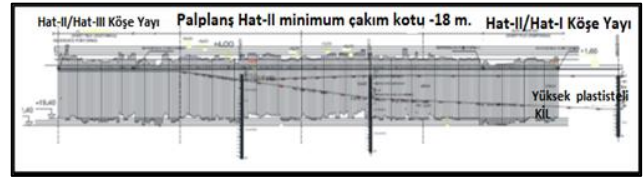
Tablo 5. Zemin özellikleri/atamalar [13]

Zemin Malzemesi	Cluster No.	γsat (kN/m ³)	Φ' (kPa)	c' (kPa)	Konc	Koc	Mat. Mode	E50 (MPa)	Eur (MPa)	E' (MPa)	Davranış	Sismik
Birim A1 (Çakılı Kum/Geçek-Q Sıkı)	1	21	35	0	0.426	0.522	HS	15	60		Drenajlı	Drenajsız
Birim A2 (Çakılı Kum, Sıkı-Cok Sıkı)	2	21	44	0	0.305	0.432	HS	42	168		Drenajlı	Drenajsız
Birim B (Yüksek Plastisiteli Kil, Katı-Sert)	3	18	25	10-15 (c' _{inc} =0.16-7 kPa/m)	0.577	1000	HS	4	12		Drenajsız	Drenajsız
Cekidek	4	22	40	0	0.357	0.357	HS	12	48		Drenajlı	Drenajlı
Filtre	5	22	40	0	0.357	0.357	MC	-	50	50	Drenajlı	Drenajlı
Armour	6	22	40	0	0.357	0.357	MC	-	50	50	Drenajlı	Drenajlı
Granül Dolgu	7	21	36	0	0.412	0.412	HS	18	72		Drenajlı	Drenajsız
Embankment	8	22	40	0	0.357	0.357	HS	18	72		Drenajlı	Drenajlı

Bilinen tüm ilave metotların devreye sokulması sonrası dahi palpları tasarımıdaki uç kotlarına kadar çakılamamıştır. Tasarımda kullanılan zemin özellikle kil parametrelerinin

düşük kabul edilmesi ihtimaline karşı sahada 5 adet ilave sondaj yapılmıştır. Bu sondajlar sonucunda zemin kesitinde (+0.80)- (-1.70) arası dolgu, (-1.70-4.70) kum ve (-4.70-23.00) yüksek plastisiteli çok katı-sert kil tespit edilmiştir [8].

Orijinal tasarımın makul güvenlik ve deformasyonu sağlamak için -22.40 m palpları uç seviyelerini göstermesine rağmen, palpları Hattı I ve II'de ulaşılabilen nihai ortalama penetrasyonlar yaklaşık -18.00 m'dir. Palplarıların daha fazla çakılamayacağı kesinleşmesiyle alt kotu -18.00 m olacak şekilde tasarımın tekrar kontrol edilmesi talep edilmiştir. İlave tasarım analizine [14] göre elde edilen minimum -18.00 m penetrasyonlarının güvenlik ve makul deplasmanlar sunmak için hala yeterli olduğu sonucuna varılmıştır. Uygulanan palpları penetrasyon seviyeleri Şekil 11'de yer almaktadır.



Şekil 11. Nihai palpları penetrasyon boyları [14]

Sonuçlar ve Tartışma

Kohezyonlu zeminlerde örselenmemiş örnekler üzerinde yapılan ve dayanım/deformasyon parametrelerinin belirlenmesine yönelik laboratuvar deneyleri parametre seçimi için en geçerli yöntemdir. Kohezyonlu zeminler için türetilmiş parametre-saha deneyi zemin dayanımı korelasyonlarının, laboratuvar deneylerinin yapılamadığı koşullarda veya laboratuvar deneyleri sonuçlarını kontrol etmek amacıyla kullanılması doğru bir yaklaşımdır.

İlk tasarım raporunda, yüksek plastisiteli (B) kil için etkin zemin parametreleri $c=5$ ila 10kPa ve $\phi^i=25$ derece olarak verilmiştir [12]. GM1 zemin modelinde zemin türünün deniz tabanından sıg, bu nedenle şev güvenliği üzerinde önemli bir etkisi olduğu, GM1 durumu analiz edildiğinde, zemin parametreleri için mevcut varsayım altında deniz kenarı dolgusunun stabil olmayacağı savunulmuştur. Tasarım raporundaki etkin mukavemet parametrelerinin, Plaxis analizi için uygun olmayan en kötü güvenilir parametreleri temsil ettiği, kendi modellerinde hem c hem de ϕ değerinin artırılmasına rağmen stabiliteyi korumak için yine de palplarıların 18 metreden daha uzun olmasının gerektiği belirtilmiştir. Aynı zamanda ilk tasarım zemin modelinde daha düşük güvenlik faktörleri ve yüksek deplasman görüldüğü ifade edilmiştir.

Danışman firma ve tasarımcının analiz sonuçları arasındaki farklılıklar zemin davranış modeli ve ilgili parametreler konusundaki görüş farklılıklarından kaynaklanmaktadır. Parametre seçimi konusunda tasarımcı firma tavsiye talep etmiştir. Yüksek plastisiteli kil için $c'=15$ ila 25 kPa yüksek bulunmuş bu yüksek değerde başka bir projede kullanılmışsa referans verilmesi istenmiştir. c' değerinin 10 kPa düşürülmesi ancak katılığın değer olarak artırılması önerilmiştir.

Yapı tasarım çalışmalarında bölgesel standartlaştırılmış veya korelasyona dayalı zemin parametrelerinden ziyade yerinde zemin araştırmalarına dayalı zemin parametrelerinin kullanılması yapı güvenliği, zaman ve mali kayıpların yaşanma ihtimalini azaltacaktır. Palplanş çalışmasıyla ilgili teorik ve gerçekleşen çakım ve zayıt miktarlarını gösteren veriler Tablo 6'de görülmektedir.

Tablo 6. Teorik ve gerçekleşen çakım ve zayıt miktarları

Palplanş Boyu (m)	Palplanş Sayısı (Adet)	Teorik Palplanş Boyu (m)	Çakılan Boy (m)	Ortalama Çakım Boyu (m)	Zayıt Miktarı (m)
24	506	12,144.00	10,309.44	20.37	1,834.56
16	276	4,416.00	4,349.19	15.76	66.81
Toplam	782	16,560.00	14,658.63		1,901.37

Zemin davranışını yansıtan parametrelerin belirlenmesine yönelik korelasyonlar benzer jeolojik ortamlarda oluşmuş zemin koşulları için geçerli olup, farklı bölgelerde yer alan zeminler için ne derece sağlıklı oldukları detaylı araştırılmalıdır. Diğer taraftan korelasyonların türetildiği veri tabanları incelendiğinde genel eğilimden sapmaların yüksek olduğu, dolayısıyla korelasyonlardan elde edilen parametrelerde hata payının yüksek olabileceği sıkça gündeme getirilen bir husustur.

Gerek teorik yaklaşımları gerekse nümerik yöntemleri uygulayabilmek için en önemli aşama mühendislik jeolojisi modelinin doğru tanımlanması, diğer bir deyişle bu modeldeki zemin tabakalarının davranışını yansıtacak jeoteknik-geoteknik parametrelerin gerçekçi olarak belirlenebilmesidir. Yapısal analizlerde gerçeğe yakın modelleme yapabilmek, zemin yerel özelliklerinin doğru şekilde belirlenmesiyle mümkündür.

Yapı tasarım girdisi olarak yerel zemin araştırma sonuçlarına dayalı zemin parametrelerinin kullanılması yerine korelasyonlara bağlı bölgesel zemin parametrelerin kullanılması sonuçları öngörülemez can ve mal kayıplarına sebep olabilir.

Arazi çalışmalarında yeterli veri elde edilememesi durumunda kullanılacak korelasyon yöntemlerinde formül veya grafiklerin benzer jeolojik ortamlarda oluşmuş zeminler için kullanılması gerektiği hesaba katılmalıdır. Mühendislik yapılarının tasarımında standartlaştırılmış veya korelasyona dayalı zemin parametrelerinden ziyade yerinde zemin araştırmalarına dayalı zemin ve jeoteknik tasarım parametrelerinin belirlenmesi ve kullanılması yapı güvenliği, zaman ve mali kayıpların yaşanma olasılığını ve riskini bu örnekte de olduğu gibi azaltmaktadır.

Yazar Katkıları

İnce: Çalışma konsepti ve tasarım, veri toplama

Karakaş: Taslağın oluşturulması, revizyon

Coruk: Verilerin analizi ve yorumlanması, revizyon

Teşekkür

Bu çalışmanın yürütülmesi sırasından desteklerini esirgemeyen, proje kapsamındaki verileri kullanmamıza izin veren STFA-ECAP Mühendislik ve Müşavirlik A.Ş ve Genel Müdürü Sayın Celalettin İLHAN, STFA İnşaat A.Ş'de uzun yıllar çalışarak kazandığı önemli deneyimlerini tarafımıza aktaran Sayın Murat TUTAN ve jeoloji yüksek mühendisi Sayın Fatih KÖROĞLU'na teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- [1] YILMAZ, H.R. (1987): Zemin Geoteknik Parametrelerinin Değişkenliği, İstatistiksel Özellikleri ve İzmir, İç Körfezi Kuzey Kıyıları Zeminleri Üzerine Uygulamalar, İzmir, Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Doktora Tezi.
- [2] ÇİNİCİOĞLU, S. F. Zeminlerde Statik ve Dinamik Yükler Altında Taşıma Gücü Anlayışı ve Hesabı, İstanbul Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölüm, Seminer- İMO İstanbul, 2005.
- [3] SADEGHİ, K., DERKİ, A., SLASH, A. Dry Docks: Overviews of Design and Construction, Academic Research International 9, 2018.
- [4] GASPARRE, A., 2005 Advanced Laboratory Characterization of London Clay, Department of Civil and Environmental Engineering, Imperial College, London.
- [5] 28. Task 9-Preliminary Interpretive Rpt_10 Apr 2010
- [6] CWI, 2012. Geotechnical Interpretative Report. Izmit Bay Bridge Crossing. Doküman No. IZMIT-COW_REP_DD_GEO_0001 (ss.21-22).
- [7] STFA, 2012. Sondaja Dayalı Zemin ve Temel Etüt Raporu, Rapor No. 2011.09.64.
- [8] Ay-Zemin Mühendislik, Kuru Havuz Zemin Araştırma Sondaj Logları, 2012.
- [9] İnşaat Mühendisliğinde Numene Alma Yöntemleri, TS 19001.
- [10] Code of Practice For Site Investigation, British Standard Institutions, BS 5930: 1999.
- [11] Standard Practice for Soil Investigation and Sampling by Auger Borings, ASTM D1452-80(2000).
- [12] IZMIT-EC-RPT-TWS-1000-0-Design report for the temporary dry dock.
- [13] IZMIT-EC-RPT-TWS-1000-2- Design report for the temporary dry dock.
- [14] 91.12.P.50.NEN.0013-Supplementary analysis results_submitted_Rev1.