

GEOTEKNİK MÜHENDİSLİĞİ ARAŞTIRMALARI İÇİN BÜYÜK ÖLÇEKLİ ARAZİ DENEY DÜZENEGİ KURULUMU

LARGE-SCALE FIELD TEST SETUP FOR GEOTECHNICAL ENGINEERING RESEARCH

Yakup TÜREDİ¹ Murat ÖRNEK² Abdulazim YILDIZ³

ABSTRACT

In order to determine the behavior of many engineering materials or their performance in the design/application process, material or system-based tests must be performed. In foundation engineering, many different variables can be examined with specific tests carried out in model size and large-scale field size, and important contributions are observed to the determination of the general behavior. In this study, the design and construction/production process of the "Geotechnical Field Laboratory", which can enable the construction of many different foundation engineering tests, is mentioned. The constructed "Geotechnical Field Laboratory", has become a place where different types of tests can be performed with different soil types, soil conditions, loading conditions, footing types, etc.

Keywords: Field test, geotechnical field laboratory, large-scale tests, model tests

ÖZET

Birçok mühendislik malzemesinin davranışını veya tasarım/uygulama sürecindeki performanslarını belirlemek için malzemeye veya sisteme özgü deneylerin yapılması bir zorunluluktur. Temel mühendisliğinde de, model boyutta ve büyük ölçekli arazi boyutunda yapılan deneylerle farklı birçok değişken incelenebilmekte ve genel davranışın belirlenmesine önemli katkılar sunulmaktadır. Bu çalışmada, birçok farklı temel mühendisliği deneylerinin yapımına imkan sunabilen "Geoteknik Arazi Laboratuvarı"nın tasarım ve inşa / imal sürecinden bahsedilmiştir. İnşa edilen "Geoteknik Arazi Laboratuvarı"

¹ Arş. Gör. Dr., İskenderun Teknik Üniversitesi, yakup.turedi@iste.edu.tr

² *Prof. Dr., İskenderun Teknik Üniversitesi, murat.ornek@iste.edu.tr (yazışma yapılacak yazar)

³ Prof. Dr., Çukurova Üniversitesi, azim@cu.edu.tr

farklı zemin türü, zemin koşulları, yükleme koşulları, temel türleri vb. farklı tip deneylerin yapılabileceği bir ortam haline getirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Arazi deneyi, geoteknik arazi laboratuvarı, büyük ölçekli deneyler, model deneyler

1. GİRİŞ

Birçok mühendislik malzemesinin davranışının belirlenebilmesi ile tasarım ve uygulama sürecinde performanslarının tayini için malzeme özelinde deneylerin yapılması bir gerekliliktir. Farklı mühendislik malzemelerine kıyasla oldukça karmaşık bir davranışa sahip olan zeminler için gerek kısa gerekse de uzun dönem davranışın belirlenmesinde deneye bağlı bir tasarım metodolojisinin geliştirilmesi oldukça önemlidir. Bu doğrultuda zeminlerde geleneksel deneylerin (endeks, mukavemet, oturma vb.) yanı sıra laboratuvar ortamında model boyutlarda küçük ölçekli ve arazi ortamında büyük ölçekli deney prosedürleri geliştirilmiştir. Geleneksel zemin mekaniği deney düzenekleri ile ilgili olarak uluslararası düzeyde kabul gören standartlar ve ayrıntılı uygulama esasları bulunmaktadır. Geleneksel deney yöntemlerine nazaran daha sınırlı oranda literatürün bulunduğu model boyutta ve büyük ölçekli deney düzenekleri özellikle temel mühendisliği uygulamalarına rehberlik etmekte, genel davranışın daha az maliyetle belirlenmesine yardımcı olmaktadır. Aynı zamanda her bir geoteknik problem türü ve doğası gereği birbirinden farklı olabileceğinden, bu deney düzeneklerinin de özel olarak tasarlanması gerekmektedir.

Literatür çalışmaları incelendiğinde, büyük ölçekli arazi deney düzeneklerinin mevcut olduğu görülmektedir. Örnek (2009) tarafından yapılan çalışmada, geogrid donatı ile güçlendirilmiş doğal kil zeminlere oturan yüzeysel temellerin taşıma gücü ve oturma davranışları, arazi ortamında büyük ölçekli yükleme deneyleri yapılarak incelenmiştir. Lutenegeer (2011) tarafından çok plakalı helisel ankrajların kumdaki davranışı, kare gövdeli ankrajlar üzerinde bir dizi tam ölçekli eksenel çekme deneyi yapılarak incelenmiştir. Demir ve ark. (2013) tarafından yapılan çalışmada, geogrid donatı ve stabilize dolgu tabakası ile güçlendirilen doğal kil zeminlere oturan yüzeysel temellerin davranışları, arazi ortamında yükleme deneyleri ile analiz edilmiştir. Lanyi (2017) tarafından yapılan çalışmada helisel kazıkların basınç yükü altında eksenel davranışı kohezyonlu zeminde arazi deneyleri ile araştırılmıştır. Li ve Deng (2019) tarafından kohezyonlu ve kohezyonsuz zeminde basınç ve çekme yüküne maruz helisel kazıkların davranışı arazi deneyleri ile araştırılmıştır. Türedi (2021) tarafından gerçekleştirilen çalışmada arazi ortamında büyük ölçekli helisel kazıkların basınç yükü altındaki davranışı incelenmiştir.

Bu çalışma kapsamında İskenderun Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Geoteknik Laboratuvarı bünyesinde tasarlanan “Geoteknik Arazi Laboratuvarı”nın tasarım ve inşa / imal süreci anlatılmıştır. Bahsi geçen bu arazi laboratuvar ortamı farklı zemin türü (kil, kum, çakıl vb.) farklı zemin durumu (tabakalı, gevşek, sıkı, kuru, suya doygun vb.), farklı yükleme koşulları (eksenel basınç, eksenel çekme, eksantrik, yanal vb.) farklı temel türleri (büyük ölçekli yüzeysel temel, derin temel vb.), farklı temel yerleşim düzenekleri (tekil, grup), farklı zemin ve temel davranışı (yük, düşey deplasman, yatay deplasman, gerilme vb.) için deneyler yapabilecek donanıma sahip şekilde tasarlanmış ve inşa/imale edilmiştir.

2. BÜYÜK ÖLÇEKLİ ARAZİ DENEY DÜZENEĞİ KURULUMU AŞAMALARI

2.1. Arazi Ortamında Yapılan Zemin Etüt Çalışmaları

Bu aşamada ilk olarak 100m derinliğindeki sondaj kuyusunda SPT (Standart Penetrasyon Deneyi) deneyleri yapılmış, sondaj sırasında alınan örselenmiş ve örselenmemiş zemin numuneleri üzerinde endeks ve mukavemet deneyleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 1a). Ayrıca, ilave olarak proje sahası zeminine ait yatay ve düşey profiller elde etmek için jeofizik deneyler de yapılmıştır (Şekil 1b).



Şekil 1. Etüt çalışmaları (a: sondaj çalışmaları, b: jeofizik deneyler)

İlk 10m'lik derinlikteki SPT deney sonuçları ve SPT deney verilerine bağlı olarak zeminin yorumu Çizelge 1'de, düşey doğrultudaki zemin profili Çizelge 2'de ve jeofizik deneylerinden elde edilen zemin dinamik parametreleri de Çizelge 3'te yer almaktadır.

Çizelge 1. SPT deney sonuçları ve zemin sınıflaması

SPT No	Derinlik (m)	SPT (N)	Tanımlama
1	1,50-1,95	16	Çok katı
2	3,00-3,45	12	Orta sıkı
3	4,50-4,95	R	Refü
4	9,00-9,45	15	Orta sıkı
5	10,50-10,95	43	Çok sıkı

Çizelge 2. Zemin profili

Derinlik (m)	Tanımlama
0,00 – 1,50	Bitkisel toprak
1,50 – 3,40	Kumlu kil
3,40 – 13,00	Kum

Çizelge 3. Zemin dinamik parametreleri

Parametre	Birim	1. tabaka	2. tabaka
S-dalgası – $V_{s(30)}$	m/s	312	
Yoğunluk (γ)	gr/cm ³	1,41	1,96
Maksimum kayma modülü (G_{max})	kg/cm ²	579,1	2170,8
Elastisite modülü (E)	kg/cm ²	1566,2	6414,0
Poisson oranı (ν)	-	0,35	0,48
Bulk modülü (K)	kg/cm ²	1766,3	47220,5
Titreşim periyodu (T_0)	s	0,6	
Serbest basınç mukavemeti (q_u)	kg/cm ²	2,55	7,81
Zemin büyütme değeri	-	2,2	
SPT (N) – SPT (30)	-	20	R

2.2. Yükleme Havuzlarının İmalat Süreçleri

Bu aşamada yükün alınacağı ve uygulanacağı alanlara ait imalat süreçleri gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla ilk olarak reaksiyon kazıkları ve reaksiyon kirişleri imal edilmiştir. Deneylerde ulaşılabilecek muhtemel maksimum yük değerleri göz önüne alınarak sayısal analiz yöntemleri ile reaksiyon kazıklarının geometrileri (kazık çapı ve boyu) belirlenmiştir. Bu süreç sonunda, her biri 30cm çapında ve 6,0m boyunda toplam 14 adet donatılı kazık (fore kazık) imal edilmiştir. Kazıklar arası mesafe 2,30mx2,80m olarak seçilmiştir. Reaksiyon kazıkların donatıları 7,0m olarak tasarlanmış, son 1,0m'lik kısmı zemin yüzünde bırakılmıştır.

Kazık boyutları ve aralıkları seçildikten sonra reaksiyon kazıklarının imalat aşamalarına geçilmiştir. İlk aşamada, arazi ortamında JCB ile yüzey düzeltmesi yapıp, ardından reaksiyon kazıklarının yerleri işaretlenmiştir (Şekil 2).



Şekil 2. Arazi ortamı yüzey düzeltmesi ve kazık yerlerinin işaretlenmesi

İkinci aşamada, delgi işlemleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 3). Delgi çukurunun göçmemesi için bentonit kili kullanılmıştır.



Şekil 3. Reaksiyon kazıkları delgi aşaması

Üçüncü aşamada, 7 ϕ 16mm nervürlü boyuna donatı ve ϕ 10mm etriye kullanılarak hazırlanan kazık donatısı yerleştirme işlemleri yapılmıştır (Şekil 4). Dördüncü aşamada ise tremi borusu vasıtasıyla beton dökümü işlemi gerçekleştirilmiştir (Şekil 5).



Şekil 4. Reaksiyon kazıklarında donatıların delgi içerisine yerleştirilmesi



Şekil 5. Reaksiyon kazıklarında betonlama işlemi

Beşinci aşamada reaksiyon kazıklarının yüzeyde kalan 1m'lik kısımlarına ise daire kesitli başlık betonu imal edilmiştir (Şekil 6).



Şekil 6. Reaksiyon kazıklarında başlık betonu imalatı

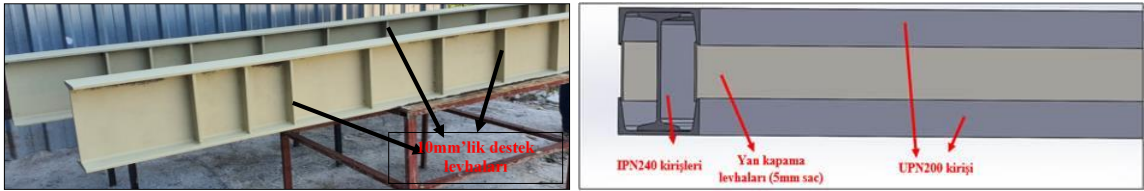
Altıncı aşamada reaksiyon kazı işlemleri ve kenar duvar imalatları yapılarak deney havuzları oluşturulmuştur (Şekil 7).



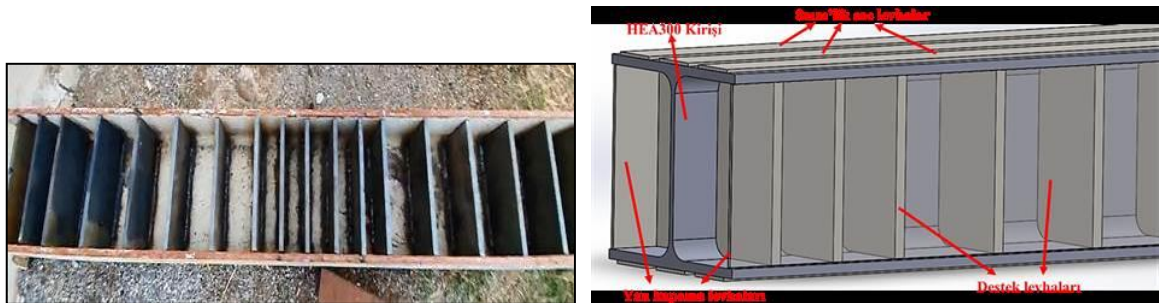
Şekil 7. Deney havuzlarının kazı aşaması ve duvar imalatları

2.3. Yüklemeler için Mekanik Aksamların İmalat Süreçleri

Bu aşamada Basınç ve çekme yüklemelerinin uygulanabilmesi için reaksiyon kazıklarına monte edilebilen reaksiyon kirişleri ve kiriş montaj elemanların imalatları gerçekleştirilmiştir. Detayları Şekil 8’de verilen iki adet IPN-240 çelik profili kullanılmıştır. Pistonun yerleştirileceği kiriş olan HEA300 kirişi için yapılan güçlendirmeler, iç kısımlara 20mm kalınlıkta destek levhalarının yerleştirilmesi, alt ve üste üçer adet 70mmx8mmx2600mm ebatlarında levhaların yerleştirilmesi ve yan yüzeylere de eğilme momenti oluşmasını önlemek için 5mm’lik sac levhaların kapatılması şeklinde olmuştur (Şekil 9). Bu çalışmalar öncesinde kirişler üç boyutlu olarak sayısal ortamda modellenmiş ve dayanım hesaplamaları yapılmıştır. Hesaplamalar sonunda güçlendirmeleri ile beraber yükleme sisteminin yaklaşık 60 ton yükü karşılayabileceği hesaplanmıştır. Kiriş montaj elemanlarına ait görünüm Şekil 10’da verilmiştir.



Şekil 8. IPN240 üzerine yerleştirilen destek levhaları ve üç boyutlu çizim görünümü



Şekil 9. HEA300 kirişi iç kısımlara 20mm’lik destek levha uygulaması ve üç boyutlu çizim görünümü



Şekil 10. Kiriş montaj elemanları

2.3. Deneyleerde Kullanılan Zeminin Geoteknik Özelliklerinin Belirlenme Süreci

Zemin malzemesi seçim ve tedarik sürecinde hem laboratuvar model deneylelerinde hem de büyük ölçekli arazi deneylelerinde kullanılabilirlik durumu, inşaat mühendisliği uygulamalarında kullanılabilir olması ve kolay bulunabilmesi gibi etkenler dikkate alınmıştır. Bu amaçla, karayolu uygulamalarında, yapı inşaatlarında ve dolgu uygulamalarında kullanılan ve tedarik konusunda süreklilik sağlayabilecek bir kum ocağından zemin malzemesi tedarik edilmiştir.

Bu amaçla model deneylelerde ve büyük ölçekli deneylelerde kullanabilmek amacıyla özel olarak imal edilen bir elek sistemi ile elenen ve küçük aralıkta derecelenmiş bir zemin granülometrisinin (0.18mm-2.00m) seçilmesine karar verilmiştir.

Zemine ait endeks ve kayma mukavemeti özelliklerinin belirlenmesi amacıyla Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Geoteknik Laboratuvarı'nda bir seri deney gerçekleştirilmiştir. Endeks özelliklerine ait sonuçlar Çizelge 4'te verilmiştir.

Çizelge 4. Elek analizi sonuçları

Parametre	Birim	Değer
Efektif dane çapı, D_{10}	mm	0,261
D_{30}	mm	0,441
D_{60}	mm	0,775
Üniformluk katsayısı, C_u	-	2,973
Süreklilik katsayısı, C_r	-	0,961
Zemin sınıfı (USCS)	-	SP

Deneylelerde zemin yükleme havuzunun tamamına üç farklı sıklıkta; (gevşek, D_r =%30-35- γ_k =1,552 gr/cm³), (orta sıklık, D_r =%50-55- γ_k =1,601 gr/cm³) ve (sıklık, D_r =%75-80- γ_k =1,681 gr/cm³) yerleştirilebilir şekilde planlanmıştır. Zemine ait diğer parametreler ise; γ_s =2,722 gr/cm³ ve kayma mukavemeti açısı gevşek ve sıklık halde sırasıyla ϕ =30-32° ve ϕ =41-44° arasında elde edilmiştir.

2.4. Yükleme Aşamalarının Takibi İçin Ölçüm Cihazlarının Tedarik Süreci

Arazi deney aşamalarında Şekil 10'da yer alan yükleme ünitesi, piston, deplasman ölçer, yük hücresi vb. gibi yükleme sistemi ve ölçüm ekipmanları kullanılmıştır.



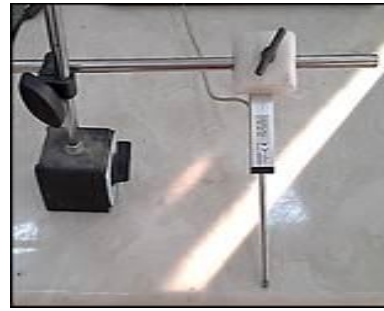
(a) piston



(b) güç ünitesi



(c) data logger



(d) deplasman ölçer



(e) yük ölçer



(f) yükleme seti

Şekil 10. Yükleme sistemi ve ölçüm ekipmanları

2. BÜYÜK ÖLÇEKLİ ARAZİ DENEY DÜZENEĞİ FARKLI TEMEL MÜHENDİSLİĞİ DENEYLERİ

İmalat süreçleri tamamlanan arazi yükleme düzeneği üzerinde farklı temeller ve yüklemeler altında büyük ölçekli deneyler gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda arazi deney düzeneğine yerleştirilen helisel kazıklar üzerinde basınç, çekme ve yanal yüklemeler altında deneyler yapılmıştır (Şekil 11). Benzer şekilde baret temellerin gömülü olduğu kum dolu yükleme havuzunda aksenal yükleme deneyleri yapılarak yük-deplasman eğrileri elde edilmiş, baret kazıkların davranışı belirlenmeye çalışılmıştır. Burada verilen iki örnek temel çeşidinin yanı sıra birçok temel türü kullanılarak yükleme deneyleri yapılabilmektedir.



Şekil 11. Farklı yüklemeler altında helisel kazık yükleme deneyleri

5. SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında İskenderun Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Geoteknik Laboratuvarı bünyesinde oluşturulan “Geoteknik Arazi Laboratuvarı”nın tasarım ve inşa / imal süreçleri ve bu laboratuvar ortamında yapılabilecek deneyler ifade edilmiş, bu kapsamda elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır.

- 2.5m x 2.3m x 2.8m (yükseklik x en x boy) boyutlarında olan arazi deney ortamında büyük ölçekli farklı temel boyutları ile deneysel çalışmalara olanak sağlayabilecek bir imkan sunulabilmektedir.
- Deney havuzları kum, kil, çakıl vb. gibi farklı zemin türlerinin yerleştirilebilmesi için uygundur.
- Arazi laboratuvar ortamında, kompaktör gibi araçlar kullanılarak tabakalı, gevşek, sıkı, kuru, suya doymun vb. zemin durumlarını oluşturulabilme imkanı sunulmaktadır.
- Özel olarak imal edilen reaksiyon kazıkları ve reaksiyon giriş sistemi ile farklı yükleme koşulları (eksenel basınç, aksel çekme, eksantrik, yanıl vb.) altında yüklemeler gerçekleştirilebilmektedir.
- Farklı temel tipleri (büyük ölçekli yüzeysel temel, derin temel vb.) ve temel konfigürasyonlarında (tekil, grup vb.) deneyler yapabilme imkanı bulunmaktadır.

6. TEŞEKKÜR

Bu çalışma, 218M571 numaralı proje kapsamında TÜBİTAK tarafından desteklenmiştir. Yazarlar desteklerinden dolayı TÜBİTAK’a teşekkürlerini sunarlar.

KAYNAKLAR

- Demir A. , Laman M. , Yildiz A. and Örnek M. (2013), “Large scale field tests on geogrid reinforced granular fill underlain by clay soil”, *Geotextiles and Geomembranes*, 38, 1-15.
- Lanyi, S. A. (2017), Behavior of helical pile groups and individual piles under compressive loading in a cohesive soil. MSc Thesis, University of Alberta.
- Li, W. and Deng, L. (2019). Axial load tests and numerical modeling of single-helix piles in cohesive and cohesionless soils. *Acta Geotechnica*, 14 (2), 461-475.
- Lutenegger, A. J. (2011), Behavior of multi-helix screw anchors in sand. 14th Pan-American Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering 64th Canadian Geotechnical Conference, October 2-6, Toronto, Ontario, Canada.
- Örnek M., (2009), Yumuşak kil zeminlerin geogrid donatı ile güçlendirilmesi. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Türedi Y., (2021), Basınç yüküne maruz helisel kazık davranışının laboratuvar ve arazi deneyleri ile araştırılması. Doktora Tezi, İskenderun Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Hatay.