

PASİF YÜKLENER KAZIKLAR İLE LABORATUVAR MODEL ÇALIŞMASI

LABORATORY MODEL STUDY ON PASSIVELY LOADED PILES

A.Mengüç ÜNVER¹, Nejan HUVAJ SARIHAN², Şevki ÖZTÜRK³
M.Ufuk ERGUN⁴

ÖZET

Bu araştırma kapsamında büyük bir kesme kutusundaki değişik aralıklı ($s/d=5, 4, 3, 2, 1$ ve tek kazık testi; s : merkezden merkeze kazık aralığı, d : kazık çapı) ve durağan tabakaya değişik boylarda gömülen pasif kazıkların davranışı incelenmiştir. Ortalama drenajsız kayma dayanımı, $c_u=100$ kPa olan kil bir zemin, kayma kutusunun altındaki durağan tabakayı temsil etmiştir. Kesme kutusunun yatay yönde hareket edebilen üst kısmı, ortalama drenajsız kayma dayanımı, $c_u=20$ kPa olan yumuşak kil ile doldurulmuştur. Üst kutunun hareketi ile pasif olarak yüklenen model kazıklar üzerinde oluşan basınçlar, kazıklar üzerine monte edilen minyatür basınç transdüserleri vasıtası ile kaydedilmiştir. Transdüserler zemin ve su ile kalibre edilmiştir. Hem zemin hem de su kalibrasyonu durumlarında, s/d oranı azaldıkça kayma düzleminin üst ve alt bölgelerinde kazıklara etki eden yüklerin azaldığı gözlenmiştir. Diğer taraftan, fazla gömülme yapılan $0,8 \times H$ durumu için kaydedilen maksimum kayma sathı üstü ve altı basınçlar, tüm deplasman seviyelerinde, $0,5 \times H$ gömülme durumunda kaydedilen basınçlardan daha yüksektir (H : kayan tabaka derinliği). Kazıkların kesme katkısı için, optimum kazık aralığı $s/d=4$ en etkili şablon olarak belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Laboratuvar Model Deneyi, Pasif Kazık, Şev Güçlendirme, Minyatür Basınç Transdüseri, Zemin ve Su Kalibrasyonu

¹ Dr. İnşaat Y. Müh., MNG Zemtaş A.Ş., menguc.unver@mngzemtas.com (Sorumlu yazar)

² Doç. Dr., Orta Doğu Teknik Üniversitesi, nejan@metu.edu.tr

³ Dr. Öğr. Gör., Çankaya Üniversitesi, sevkice@gmail.com

⁴ Prof. Dr., Orta Doğu Teknik Üniversitesi, mehmetufukergun@gmail.com



ABSTRACT

The behaviour of passive piles in a large shear box with different ratios of center to center pile spacing, s to pile diameter, d ($s/d=5, 4, 3, 2, 1$ and single pile test) and with different pile embedments into the stable soil layer were investigated within the scope of this research. A clay soil having an average undrained shear strength, $c_u=100$ kPa was at the bottom of the shear box simulating the stable layer. The upper part of the shear box, which is movable in horizontal direction, was filled with a soft clay having an average undrained shear strength, $c_u=20$ kPa. The pressures on model piles loaded passively by the movement of the upper box were recorded by the miniature pressure transducers mounted on the piles. The transducers were calibrated by soil and water. Both for soil and water calibration cases, it was observed that the loads acting on the piles decrease in the upper and lower zones of the shear plane as s/d ratio decreases. Besides, both the maximum upper and lower pressures recorded are greater in $0,8 \times H$ embedment case than the pressures recorded in $0,5 \times H$ embedment case at all displacement levels (H : sliding layer depth). For shear contribution of piles, an optimum pile spacing of $s/d=4$ was determined as the most effective pattern.

Keywords: Laboratory Model Test, Passive Pile, Slope Stabilization, Miniature Pressure Transducer, Soil and Water Calibration

1. GİRİŞ

En eski geoteknik mühendisliği problemlerinden biri, doğal veya insan yapımı zemin hareketlerinden oluşan şev stabilite problemidir. Duraysız şevler çeşitli yöntemlerle stabil hale getirilebilir (Cheng ve Lau, 2014). Altındaki stabil tabakalara soketlenen ve kayan bir kütle boyunca ayırık (aralıklı) olarak kazıkların inşası, şevlerin stabilizasyonu için en yaygın takviye yöntemlerinden biridir. Ayırık kazıklar, kayan bir arazide yük azaltmak için heyelan baş kısmında kazılar yapmak ve/veya heyelan topuk kısmında ölü bir yük sağlamak için yer sıkıntısı olan lokasyonlarda özellikle etkilidir. Fore kazıklar duraysız şevlerde, daha fazla stabilite bozukluğuna yol açabilecek ek hareketler olmadan minimum titreşimle inşa edilebilir. Ayrıca kazıkların yüksek yapısal kapasitesi şev hareketinin stabilizasyonunda diğer şev stabilizasyon yöntemlerine göre daha etkilidir. Kazık çözümü, topografyanın diğer çözümleri engellediği birçok durumda heyelanı durdurmak için alternatifsiz bir yöntemdir (Carder, 2009).

Yöntemin popülaritesine rağmen kazıklı heyelan stabilizasyonu için evrensel olarak kabul edilmiş bir hesaplama ve tasarım prosedürü henüz mevcut değildir. Bu yargı yakın tarihli birkaç yayında da belirtilmiştir (Ergun, 2021; Jiang vd., 2022; Galli vd., 2022).

De Beer (1977) yatay yüklü kazıkları iki ana gruba ayırmıştır: aktif ve pasif kazıklar. Esasen kazık ve çevresindeki zemin arasındaki etkileşim mekanizmaları hem aktif hem de pasif kazık durumlarında benzerdir. Ancak iki durum arasında önemli bir fark gözlenir: aktif yüklü bir kazığa etkiyecek yapısal yük genellikle tasarımın başlangıcında sağlıklı bir şekilde tanımlanır. Ancak zemin hareketinden dolayı pasif kazıklara etki eden yatay yükler tam olarak tanımlanamamaktadır. Bu konu karmaşıktır, çünkü pasif kazıklara etki eden yatay



kuvvetler, kazıkların varlığından da etkilenen zemin hareketlerine bağlıdır. Bu nedenle, pasif kazıklara etki eden yüklerin belirsizliğini gidermek amacıyla analiz ve tasarım için uygun yöntemler literatürde kapsamlı bir şekilde araştırılmaktadır (Li vd., 2022; Han vd., 2023).

Stabil bir katmana giren tek sıra ayırık heyelan kazıkları tasarlanırken bazı faktörlerin dikkate alınması gerekir. Zeminde kemerlenme oluşumunu garanti edecek şekilde kazıklar arasındaki mesafe, sağlam zemin tabakasına kazıkların makul gömme uzunluğu ve kayan kütle nedeniyle kazıklara etki eden kuvvetler tasarımdaki en önemli faktörlerdir.

Bu faktörleri araştırmak için laboratuvarında, farklı aralıklardaki tek sıra model pasif kazıklar üzerinde, hareket eden zeminlerin uyguladığı yük dağılımlarına odaklanan bir model deney çalışması yapılmıştır. Literatürde bazı özel durumlar incelenmiş olsa da (Li vd., 2019) uygun bir kazık gömme uzunluğu öneren az sayıda çalışma olduğundan, bu çalışmada stabil bir katmandaki kazık gömme uzunluğu da araştırılmıştır. Böylece, deneylerdeki stabilizasyon sistemi, farklı kazık aralığı (s)/kazık çapı (d) oranlarına (s/d=1, 2, 3, 4 ve 5) ve farklı gömme uzunluklarına sahip (kayan katman derinliğinin %80'i ve %50'si) pirinçten yapılmış bir dizi model kazıktan oluşmaktadır. Testler tek kazıklı deneyleri de kapsamaktadır. Tek bir kazık ve kazık grupları, laboratuvarında özel olarak tasarlanmış bir kesme kutusu test sistemi kullanılarak yanal zemin hareketi ile yüklenmiştir. Kesme kutusu 30×30 cm boyutunda ve 30 cm derinliğindedir. Deneylerde kesme kutusunun ilk 15 cm'lik yüksekliği yatay olarak hareket ettirilmiş ve alttaki 15 cm'den ayrılarak bir kayma düzlemi oluşturulmuştur.

Kaya malzemesi hariç tutulursa geoteknik mühendisliği projelerinde en yaygın olarak iki tür heyelan meydana gelebilir: (1) yüzeysel malzemeleri içeren sığ hareketler ve (2) derinlerdeki yumuşak zeminleri içeren derin-yerleşimli göçmeler. Hareketi teşvik eden koşullar arasında (a) yeraltı suyundaki değişiklikler, (b) ıslanıldığında yumuşayan kil veya şeyl zeminlerin varlığı ve (c) topografya yer alır (Abramson vd., 2002). Bu sınıflandırmalardan anlaşıldığı üzere heyelanlarda baskın malzeme genelde kohezyonlu zeminlerdir. Bu, birçok doğal heyelanda doğrulanmıştır (Teoman vd., 2004; Tonyalı ve Aydoğmuş, 2018; Troncone vd., 2021). Ek olarak, kohezyonlu zeminler üzerine yapılan son araştırmalar bu alanda geoteknik mühendisleri için açık noktalar olduğunu bildirmiştir (Fantera vd., 2022; Galli vd., 2022). Bu nedenle bu çalışmada kullanılan malzeme killi zemindir. Laboratuvar model deneylerinde kaolin tipi kil zemin kullanılmıştır.

Özetle, bu çalışma büyük bir kesme kutusundaki pasif kazıkların davranışını farklı merkezden merkeze kazık aralıklarının (s), kazık çapına, d oranlarıyla (s/d=1, 2, 3, 4, 5 ve tek kazıklı deney) ve stabil zemin tabakasına farklı kazık gömme derinlikleri ile araştırmıştır. Kesme kutusunun 15 cm'lik alt kısmının içine, stabil tabakayı temsil eden, ortalama drenajsız kayma mukavemeti $c_u=100$ kPa olan katı bir kil yerleştirilmiştir. Kayan tabakayı simüle eden üst 15 cm derinlik içine ortalama drenajsız kayma mukavemeti $c_u=20$ kPa olan yumuşak bir kil yerleştirilmiştir. 2 cm çapında ve pirinç malzemedan imal edilen model kazıklara etkiyen yükler kazıklar üzerine montelenen minyatür basınç transdüserleri vasıtası ile ölçülmüştür. Basınç transdüserleri, deneylerde kullanılan iki türdeki zemin numunesi (katı ve yumuşak kil) ve su kullanılarak kalibre edilmiştir. Kazıklara etkiyen yükler su ve zemin kalibrasyon ilişkilerine göre değerlendirilmiş ve tartışılmıştır (Ünver, 2023).



Model deneyleri sırasında üst kutunun toplam direnci ve yanal yer değiştirmeleri, sırasıyla bir yük halkası ve komparatör saati kullanılarak kaydedilmiştir. Kazıksız koşullar altında kesme kutusu model deneyleri de yapılmıştır; böylece, model kazıklar olmadan yalnızca üst yumuşak kil ile alt katı kil arasındaki kayma direncine ilişkin veriler de mevcuttur. Dolayısıyla, model kazıkların kesme kuvveti katkısı bu araştırma kapsamında belirlenebilmiştir. Sonuçlar aşağıdaki bölümlerde verilecektir.

2. MODEL DENEY DETAYLARI

2.1. DeneY Düzenegi ve Model Kazık Enstrümantasyonu

Şekil 1'de gösterildiği gibi farklı aralıklarda tek sıra pasif kazık sisteminin yüklenmesi amacı ile kesme kutusunun üst kısmı hareket ettirilmiştir. Test aparatı, U-kesitli kiriş ve kolonlardan oluşan çelik bir çerçeveden meydana gelmektedir. Katı ve yumuşak zemin malzemelerinin art arda yerleştirildiği kare kesme kutusu (30x30 cm) iki parçadan oluşmaktadır (Şekil 1'de No 11 ve No 12'ye bakınız). Kesme kutusunun üst kısmı, hareket etmeyen alt kısmın üzerinde kaymaktadır. Üst ve alt kısımlar arasında sürekli bir kayma düzlemi mevcuttur. Kazıklar ile stabilize edilmiş zemin numunelerini kesmek için elektromekanik bir sistem tasarlanmıştır. Tabana stabil tabakayı temsil eden 15 cm derinliğinde katı kumlu kaolin kil zemin yerleştirilmiştir. Stabil tabakanın üzerine kayan tabakayı temsil eden 15 cm derinliğinde yumuşak kaolin kili yerleştirilmiştir.

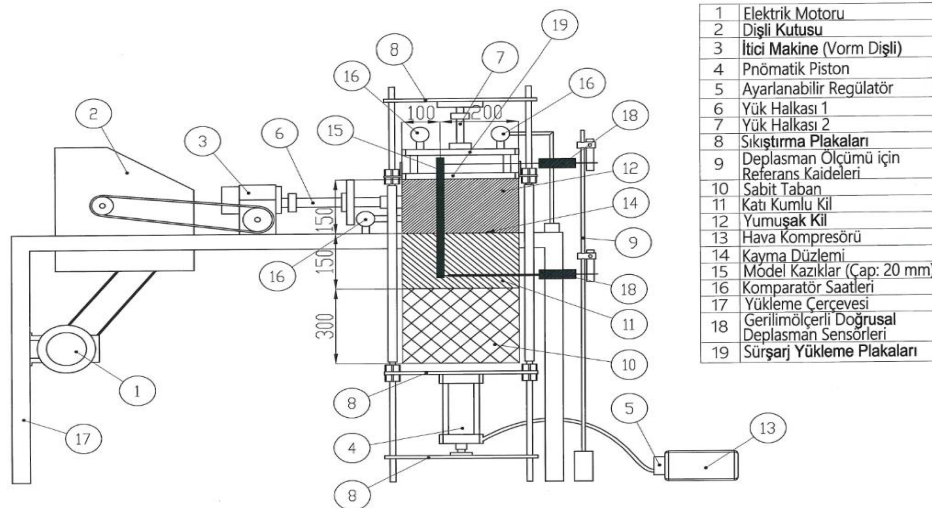
DeneY düzeneginde, zemin numunelerine belli bir sürşarj yükü etki ettirmek amacı ile sıkıştırma plakaları vasıtasıyla bir boyunduruk yük sistemi tasarlanmıştır (Şekil 1'de No 8'e bakınız). Sürşarj yükü bir pnömatik piston ve bir hava kompresörü (Şekil 1'de No 4 ve No 13) kullanılarak uygulanmıştır.

Model kazıklar pirinç malzemeden imal edilmiştir ve çapları 2 cm'dir. Şekil 2'de görüldüğü gibi iki tip model kazık üretilmiştir. Tip-1 deneylerinde model kazıklar kayma düzleminin $0,8 \times H$ ($0,8 \times 15 = 12$ cm) altına gömülürken, tip-2 deneylerinde model kazıklar kayma düzleminin altına $0,5 \times H$ ($0,5 \times 15 = 7,5$ cm) gömülmüştür. Burada H kayma derinliğidir. Poulos ve Davis (1980)'in yaklaşımına dayanan kazık esnekliği (K_R) hesaplamaları, deneylerde kullanılan pirinç model kazıkların son derece rijit olduğunu göstermiştir.

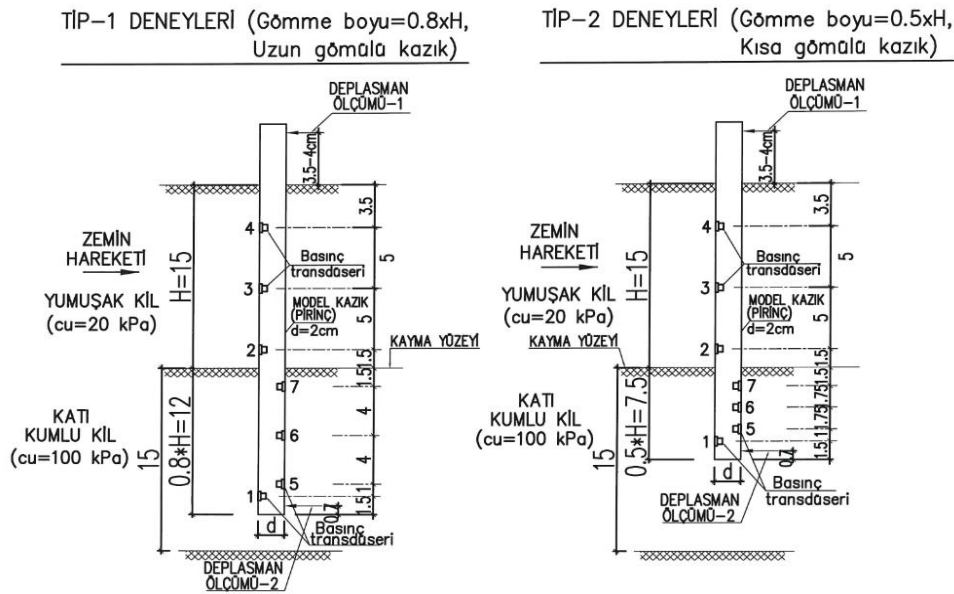
Minyatür basınç transdüserleri bir Japon şirketi olan Tokyo Sokki Kenkyujo firmasından temin edilmiştir. Transdüserlerin hassas yüzey çapı 7,6 mm ve kalınlığı 2 mm'dir. Transdüserlerin kapasitesi 200 kPa'dır.

Bu çalışmadaki her bir transdüser, su basınçlarına ek olarak yumuşak ve kat kil zemin basınçları altında kalibre edilmiştir. Su ve zemin kalibrasyon işlemleri için pirinç malzeme kullanılarak özel kalibrasyon hazneleri imal edilmiştir.





Şekil 1. Deney düzeneği kesit görünümü (Boyutlar mm birimindedir)

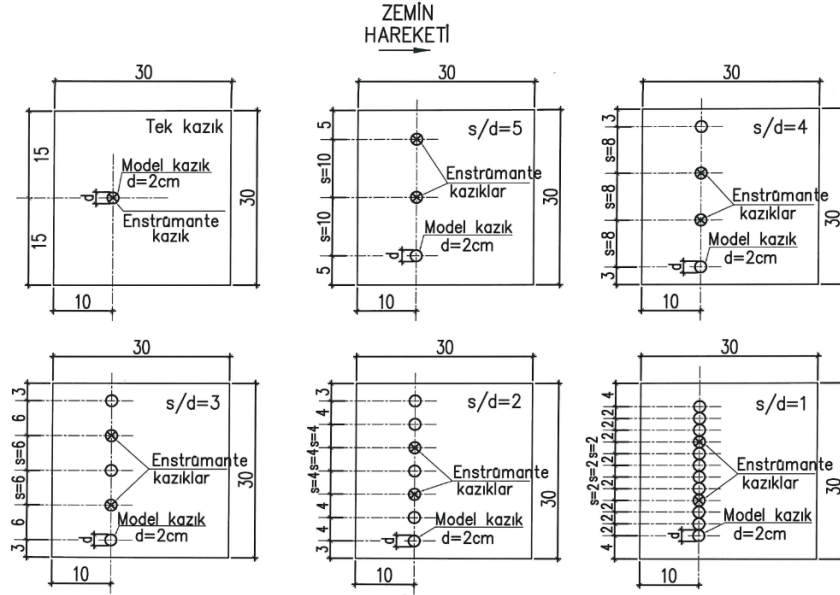


Şekil 2. İki tip kazık ve enstrümantasyon (Kesit görünüş, boyutlar cm birimindedir)

2.2. Deney Programı

Bu çalışmada iki seri model deneyi gerçekleştirilmiştir (Şekil 2, Uzun ve kısa gömülü kazıklar). Şekil 3'te gösterildiği gibi, model deneyler, biri tek kazıklı deney olmak üzere altı kazık şablonu için gerçekleştirilmiştir. Her deneyde iki model kazık enstrüman edilmiştir. İki kazığın enstrüman edilmesinin amacı deneylerdeki benzer transdüserlerde benzer yükleri gözlemlemektir. Bu aynı zamanda hassas minyatür transdüserlerde oluşabilecek olası hatalara karşı da bir önlem olarak değerlendirilmiştir. Deneylerin tekrarlanabilirliğini belirlemek amacı ile her bir deney en az iki kez yapılmıştır. Bu genel yöntem ile model deneylerde dörtlü bir kontrol sağlanmıştır. Böylece, model kazıklar kullanılarak toplam 24 deney gerçekleştirilmiştir (uzun gömülü kazıkların kullanıldığı 12 model deney ve kısa gömülü kazıkların kullanıldığı 12 model deney). Ayrıca yumuşak ve katı zemin katmanları arasındaki kayma direncini belirlemek için kazıksız iki model deney yapılmıştır.





Şekil 3. Model deneylerdeki kazık şablonu plan görünüşleri
(Tek kazıklı deney ve bir sıra halinde beş kazık şablonu: $s/d=5, 4, 3, 2$ ve 1 ; boyutlar cm'dir)

Bu bildiriye yer darlığı sebebi ile verilemeyen kalibrasyon detayları, zemin numuneleri hazırlama ve numunelerin amaçlanan mukavemetlerde elde edilmesi amacı ile uygulanan konsolidasyon detayları ve deneylerdeki uygulama aşamalarının tüm detayları Ünver (2023)'te verilmektedir.

3. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRMELER

Model deney sonuçlarına göre, farklı kesme kutusu yatay yer değiştirme seviyelerinin ($D=0,10d, 0,20d$ ve $0,30d$ seviyelerinde; D : kesme kutusu yatay yer değiştirmesi, d : kazık çapı) bir fonksiyonu olarak enstrümanlı kazıklar boyunca kaydedilen yanal basınçların dağılımını gösteren grafikler hazırlanmıştır. Kayma düzleminin üstünde ve altında kazıklara etki eden basınçlar, kesme kutusu yer değiştirmesi arttıkça yükselmektedir. Zemin kalibrasyon verileri kullanılarak hesaplanan kayma düzlemi üzerindeki basınçlar, su kalibrasyon verileri kullanılarak hesaplanılardan biraz daha yüksek kaydedilmiştir. Ancak kayma düzleminin altındaki basınçlar için bu davranış tersine dönmüş ve basınçlardaki farklar önemli ölçüde yüksek olmuştur.

Araştırma kapsamında yapılan mükerrer deneyler ve bir deneyde enstrümanlı edilmiş iki kazıktan elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, aynı koşullar altında kaydedilen yüklerde sapmalar meydana gelse de, model deneylerde kaydedilen yanal yüklerde kabul edilebilir bir genel uyum gözlenmiştir.

Yukarıdaki genel yük dağılım grafikleri üzerinde çalışarak kayma düzlemi üzerinde ve altındaki maksimum basınçlar belirlenmiştir. Daha sonra bu maksimum basınçların dağılımı D/d ve s/d boyutsuz parametreleri ile değişimi grafiklere aktarılmış ve sonuçlar hem uzun gömülü hem de kısa gömülü kazıklı deney tipleri için ortaya konmuştur. Bunun yanında tüm sonuçlar hem zemin kalibrasyonu hem de su kalibrasyonu için hazırlanmıştır. Burada genel

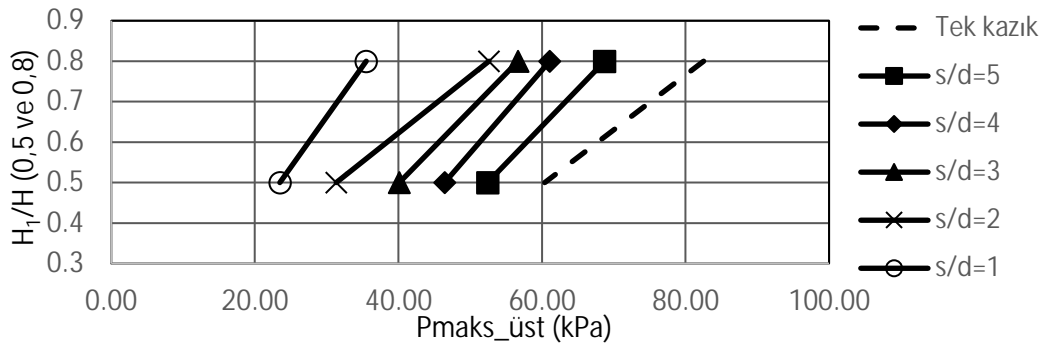


bir değerlendirme yapmak gerekirse, s/d oranı azaldıkça kazıklara etkiyen yükler kayma düzleminin hem üst hem de alt bölgesinde azalmıştır. Bununla birlikte, nispeten düşük yer değiştirme seviyelerinde ($D/d=0,05-0,10$ seviyelerinde), özellikle $s/d=2, 3$ ve 4 deneylerinde, etkiyen yükler kazık aralığına duyarlı değildir. $D/d=0,20-0,30$ gibi nispeten yüksek yer değiştirme seviyelerinde kazık aralığı azaldıkça üst bölgede ölçülen yükler istikrarlı bir şekilde azalmaktadır. Benzer şekilde, kayma düzleminin altında kaydedilen yükler, $D/d=0,20$ yer değiştirme seviyesinden başlayarak önemli ölçüde farklılık göstermektedir.

Bildirinin aşağıdaki bölümlerinde farklı kazık gömülme durumları incelenecek ve sonuçlar değerlendirilecektir. Ayrıca kazıkların kesme kuvveti katkıları kapsamında değişik s/d aralıkları için sonuç ve değerlendirmeler ortaya konacaktır.

3.1. Pasif model kazıkların farklı gömülme derinliklerinde davranışı

Şekil 4 ve Şekil 5'te görüldüğü gibi, kayma düzleminin üstündeki ve altındaki maksimum basınçlar ($P_{maks_üst}$ ve P_{maks_alt}), iki kazık gömülme durumu için ($H_1/H=0,5$ ve $0,8$; H_1 kayma düzleminin altındaki kazık gömülme derinliği, H kayan tabaka derinliğidir) grafiklere aktarılmıştır.



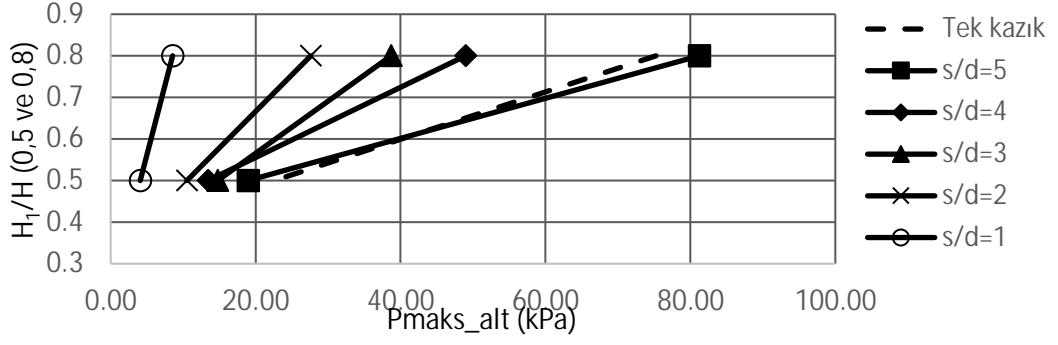
Şekil 4. Kayma düzlemi üstündeki maksimum basınçların gömülme boyu ve s/d ile değişimi ($D/d=0,20$ - Zemin kalibrasyonu)

Grafikler farklı kesme kutusu yer değiştirme seviyeleri için hazırlanmıştır ($D/d=0,05, 0,10, 0,20, 0,30$; D kesme kutusu yatay yer değiştirmesi, d kazık çapıdır). Şekil 4 ve Şekil 5'te sadece $D/d=0,20$ için grafikler verilse de genel davranış benzerdir. Tüm yer değiştirme seviyelerinde, $0,8 \times H$ gömülme derinliğinde kaydedilen maksimum üst ve alt basınçlar, $0,5 \times H$ gömülme durumunda kaydedilenlerden daha yüksektir.

Kayma düzlemi üzerindeki yükler için kazık aralığı (s/d) arttıkça genellikle birbirine paralel olan basınç çizgileri sağa doğru ötelenmektedir ki bu olay her iki gömülme durumu için de basınçların hemen hemen eşit oranda arttığını gösterir (Şekil 4).

Kayma düzleminin altındaki maksimum basınçlar için ise $0,8 \times H$ gömülme durumunda, kazık aralığı (s/d) arttıkça basınçlarda önemli artışlar meydana gelmektedir. Aynı artış oranı $0,5 \times H$ gömülme durumunda gözlenmemektedir ki basınç çizgileri paralel değildir (Şekil 5).





Şekil 5. Kayma düzlemi altındaki maksimum basınçların gömülme boyu ve s/d ile değişimi (D/d=0,20 - Zemin kalibrasyonu)

3.2. Model kazıkların kesme kuvveti katkısının değerlendirilmesi

Bir deneyde her bir kazık başına düşen ortalama kesme kuvvetini hesaplamak için, kazıklı ve kazıksız deneyler arasında kaydedilen toplam kesme kuvvetleri arasındaki fark, o deneydeki kullanılan kazık sayısına bölünmüştür. Şekil 6 (Kayma düzlemi altı için), kesme kutusunun tüm yer değiştirme seviyelerinde (D=0,1d, 0,2d ve 0,3d'de) s/d=4 deneyinde kazık başına hesaplanan kesme kuvvetlerinin maksimum olduğunu göstermektedir. Kazık başına hesaplanan kesme kuvvetleri s/d=4 deneyine kadar artmış ve daha sonra azalmıştır. Bu sonuç kayma düzleminin üzerinde kazıklara etki eden yükler için de geçerlidir (Şekil 7). Uzun gömülü kazıklar için ortaya çıkan bu sonucun kısa gömülü kazıklar için de geçerli olduğu görülmüştür. Dolayısıyla bu çalışmadaki test koşulları için s/d=4 şablonunun en etkili aralık olduğu anlaşılmaktadır. Kazık araları azaldıkça, rijit kazıkların kesme kuvveti katkısı açısından etkinlikleri azalmaya başlamaktadır.

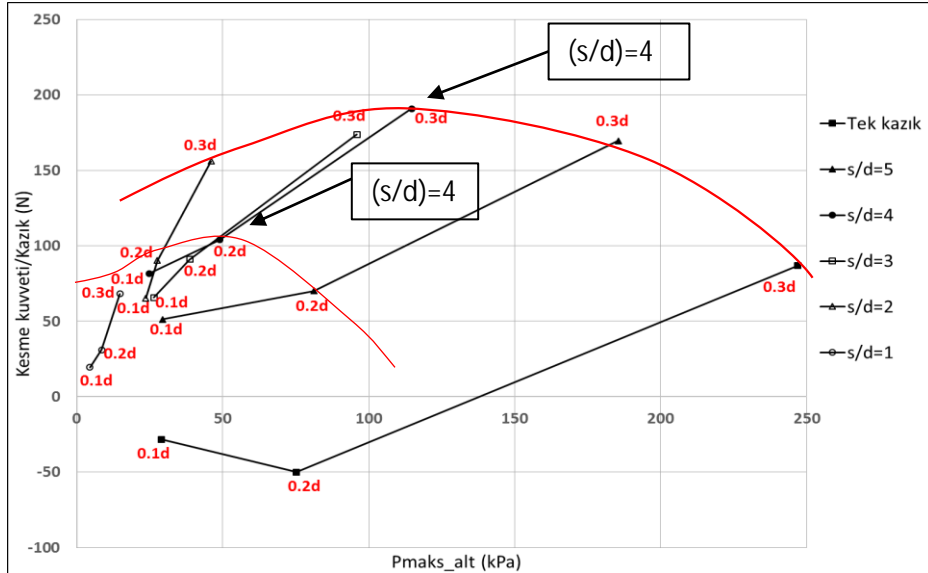
4. SONUÇLAR

Model kazıkların bir kesme kutusunda yatay olarak pasif yüklendiği, kazıkların değişik aralıklarda yerleştirildiği ve kayma düzlemi altına değişik boylarda gömüldüğü bu araştırmada kazıklara etkiyen yükler minyatür basınç transdüserleri ile kaydedilmiştir. Araştırma sonucunda aşağıdaki bulgular elde edilmiştir:

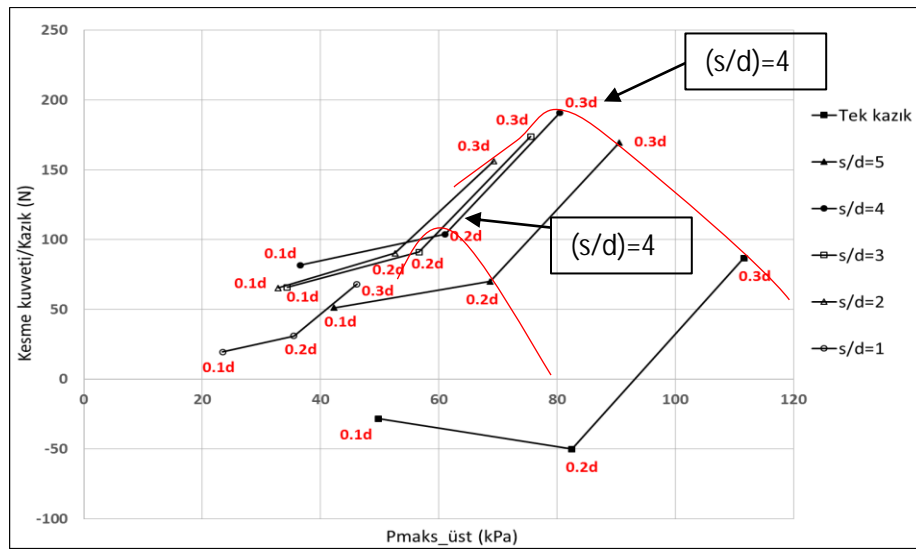
- Kayma düzlemi üzerindeki ve altındaki bölgelerde s/d oranı azaldıkça kazıklara etkiyen yükler azalmıştır.
- Uzun gömülü kazıklarda kayma düzlemi üzerinde ölçülen yükler, zemin kalibrasyonu için, kısa gömülü kazıklarda ölçülenlerden ortalama %40 daha yüksektir. Bu fark, stabil katmandaki yükler için çok daha fazladır; öyle ki, uzun gömülü kazıklarda kayma düzleminin altında ölçülen yükler, kısa gömülü kazıklardakilerden yaklaşık üç ila dört kat daha fazladır. Bu farklılıklar nedeniyle, model deneylerdeki zemin koşullarında kısa gömülü heyelan kazıkları için narin kazık tasarımı önerilebilir. Bu çözüm özellikle büyük deplasmanların tolere edilebildiği tasarımlarda uygundur. Bununla birlikte, uzun gömülü kazıklar için, bu çalışmada görüldüğü gibi yanal kuvvetler önemli ölçüde yüksek olduğundan rijit kazık tasarımı tavsiye edilmektedir.



- Uzun ve kısa gömülü model kazıkların kesme kuvveti katkıları için, bu araştırmada kullanılan test konfigürasyonları arasında en etkili model olarak $s/d=4$ kazık aralığı belirlenmiştir. Kazıklar sıklaştıkça, rijit kazıkların kesme katkısı açısından etkinlikleri azalmıştır.



Şekil 6. Değişik kesme kutusu deplasmanlarında kazık başına düşen kesme kuvvetlerinin kayma düzlemi altındaki maksimum basınçlar (P_{maks_alt}) ile değişimi (Uzun gömülü kazık, Zemin kalibrasyonu)



Şekil 7. Değişik kesme kutusu deplasmanlarında kazık başına düşen kesme kuvvetlerinin kayma düzlemi üzerindeki maksimum basınçlar ($P_{maks_üst}$) ile değişimi (Uzun gömülü kazık, Zemin kalibrasyonu)

KAYNAKLAR

Abramson, L.W., Lee, T.S., Sharma, S., and Boyce, G.M. (2002). Slope Stability and Stabilization Methods, 2nd Edition, John Wiley & Sons, Inc., New York.



- Carder, D.R. (2009). Improving the Stability of Slopes Using a Spaced Piling Technique, Transport Research Laboratory Insight Report-INS001, England.
- Cheng, Y.M., and Lau, C.K. (2014). Slope Stability Analysis and Stabilization: New Methods and Insight, 2nd Edition, CRC Press.
- De Beer, E. (1977). Piles Subjected to Static Lateral Loads, 9th Int. Conf. on Soil Mech. and Found. Eng., Proc. of the Specialty Session 10 - The Effect of Horizontal Loads on Piles Due to Surcharge or Seismic Effects, Tokyo.
- Ergun, M.U. (2021). Landslide Stabilization by Piles: A Subject Not Yet Stabilized, Invited Lecture, The 1st Mediterranean Symposium on Landslides, MSL-2021, Slope Stability Problems in Stiff Clays and Flysch Formations, Napoli, Italy.
- Fantera, L., Lirer, S., Desideri, A., and Rampello, S. (2022). "Efficiency of Piles Stabilizing Slopes in Fine-grained Soils", International Journal of Geomechanics, ASCE, ISSN 1532-3641, 04022153-1.
- Galli, A., Salice, M., and Becci, B. (2022). "Analytical Solutions for Ultimate Stabilizing Action of Anchored Piles in Cohesive Soil Layers", International Journal of Geomechanics, ASCE, 1532-3641, 04022133-1.
- Han, M., Li, Z., Jia, J., Zhu, Z., and Liu, L. (2023). "Estimation of Internal Force of Stabilizing Piles on Landslides Considering Nonlinear Landslide Thrust and Soil Resistance", Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 82: 285, <https://doi.org/10.1007/s10064-023-03292-3>
- Jiang, J., Zhao, Q., Jiang, H., Wu, Y., and Zheng, X. (2022). "Stability Evaluation of Finite Soil Slope in front of Piles in Landslide with Displacement-based Method", Landslides, 19:2653-2669, <https://doi.org/10.1007/s10346-022-01924-5>
- Li, C., Yan, J., Wu, J., Lei, G., and Wang, L. (2019). "Determination of the Embedded Length of Stabilizing Piles in Colluvial Landslides with Upper Hard and Lower Weak Bedrock Based on the Deformation Control Principle", Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 78: 1189-1208, <https://doi.org/10.1007/s10064-017-1123-3>
- Li, Z., Zhu, Z., Liu, L., and Sun, L. (2022). "Distributions of Earth Pressure and Soil Resistance on Full Buried Single-row Anti-sliding Piles in Loess Slopes in Northern Shaanxi Based on In-situ Model Testing", Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 81: 127, <https://doi.org/10.1007/s10064-022-02583-5>
- Poulos, H.G., and Davis, E.H. (1980). Pile Foundation Analysis and Design, John Wiley and Sons, Inc., U.S.A.
- Teoman, M.B., Topal, T., and Işık, N.S. (2004). "Assessment of Slope Stability in Ankara Clay: A Case Study Along E90 Highway", Environmental Geology, No.45, pp. 963-977, <https://doi.org/10.1007/s00254-003-0954-3>
- Tonyalı, İ., and Aydoğmuş, M.T. (2018). "Heyelan Bölgesinde Kalıcı Destekli Fore Kazıklı İksa Sistem Tasarımı", Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği 17. Ulusal Konferansı, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, İstanbul.
- Troncone, A., Pugliese, L., Lamanna, G., and Conte, E. (2021). "Prediction of Rainfall-Induced Landslide Movements in the Presence of Stabilizing Piles", Engineering Geology, No.288, pp. 106143, <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2021.106143>
- Ünver, A.M. (2023). Slope Stabilizing Passive Piles: A Laboratory Model Study, Ph.D. Thesis, 380 pages, Civil Engineering Department, Middle East Technical University, Ankara.

