

## Yanal Zemin Hareketi Etkisinde Kalan Kazıkların Davranışının Deneysel Olarak İncelenmesi

Çiğdem ÖZÇELİK ERSOY\*  
Sönmez YILDIRIM\*\*

### ÖZ

Bu çalışmada, şevlerin duraylılığını sağlamak amacıyla, şev içerisine yerleştirilen düşey kazıkların yanal zemin hareketi etkisi altında davranışını gözlemlemek için büyük ölçekli bir kesme kutusunda model deneyler yapılmıştır. Gözönüne alınan zemin ortamı kum olup, kazıklı şev duraylılığı problemi modellenmiştir. Deneylerde kazık malzemesi olarak içi boş kesitli alüminyum borular kullanılmıştır. Kazıkların dış çapı 35 mm, et kalınlığı 5 mm ve uzunluğu 800 mm'dir. Yanal yük etkisinde maruz kalan tutulu başlı kazık grubu tek sıra halinde 4 kazıktan oluşmaktadır. Tek sıra kazık grubu yanal olarak yüklenerek meydana gelen kesit tesirleri ve yerdeğiştirmeler kazık kesiti boyunca belirli aralıklarla yerleştirilmiş olan şekil değiştirme ölçerler ve yerdeğiştirme ölçerler yardımı ile belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar kaynaklarda önerilen yöntemler ile karşılaştırılmış ve geoteknik mühendisliğinin bu karmaşık probleminin daha iyi anlaşılması için katkıda bulunulmaya çalışılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Şev duraylılığı, yanal zemin hareketi, kazık, büyük ölçekli kesme kutusu.

### ABSTRACT

#### Experimental Investigation of Piles Behaviour Subjected to Lateral Soil Movement

In this study, the behaviour of vertical piles installed in order to increase slope stability under lateral soil movement is observed by model tests conducted in a specially built large scale shear box in the geotechnics laboratory of Yıldız Technical University. Laboratory model tests were carried out on sandy soil slopes stabilized with piles. A row of four 800 mm long aluminum pipes with a diameter of 35 mm and wall thickness of 5 mm were used. Pile heads were connected to each other by means of an aluminum beam. The single pile row was subjected to the loading due to lateral soil movement and deformations and bending moments developed in the pile sections were measured by strain gauges attached at different points along the pile lengths. The results obtained from the experiments are

---

Not: Bu yazı

- Yayın Kurulu'na 13.03.2012 günü ulaşmıştır.
- 31 Aralık 2014 gününe kadar tartışmaya açıktır.

\* Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul - cozcelik@yildiz.edu.tr

\*\* Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul - sonmezyildirim@gmail.com

compared with the methods found in the literature in order to make a contribution to a better understanding of this complicated geotechnical problem.

**Keywords:** Slope stability, lateral soil movement, pile, large scale shear box.

## 1. GİRİŞ

Toprak kaymaları ve heyelanlar Geoteknik mühendisliğinin en karmaşık konularından biridir. Birçok farklı şekilde ve nedenlerle oluşabilecek kaymalar büyük boyutlarda maddi kayıplara ve hatta can kayıplarına neden olmaktadır. Bu nedenle kaymaların incelenmesi ve önlenmesi her zaman güncelliğini koruyan bir problem olarak süregelmektedir.

Dengede olmayan şevlerin duraylılığı, şevin geometrisini değiştirme, zeminde drenajı sağlama, zemin iyileştirme yöntemlerini kullanma, sürekli ya da geçici dayanma yapıları inşa etme (duvar ya da kazık) gibi farklı yöntemlerin kullanılmasıyla artırılabilir. Yapılması gereken ilk önlem göçmeye neden olacak kaydırıcı kuvvetlerin azaltılması, diğeri ise kaymaya direnen kuvvetlerin artırılmasıdır. Kaydırıcı kuvvetlerin dengelenmesi amacıyla kayan veya kayması olası zemin kütlesi önüne bir dayanma yapısı inşa etmek gerekebilir. Klasik duvarlar büyük miktarlarda kazı gerektirdiği için her zaman ekonomik bir çözüm yöntemi olmamaktadır. Ayrıca kazı ile yerinden kaldırılan zemin kütlesi, direnen kuvvetleri azaltarak şevin göçmesine neden olabilir. Derin bir palplanş perde yapımı sırasında ise oluşacak büyük titreşimler şevde güvenliğin azalmasına neden olabilir. Kazıkların şevin dengesini bozmadan yerleştirilmesinin kolay olmasından dolayı, şevlerin duraylılığını sağlamak amacıyla başarıyla uygulanabilen etkili bir çözüm olduğu bilinmektedir.

Şevlerde kullanılan duraylılık kazıkları, tipik pasif kazıklardır ve genellikle bir sıra halinde kullanılırlar. Doğru tasarım yapıldığında kazıklı duraylılık sistemleri şevlerin desteklenmesi ve zayıf zeminlerdeki şev hareketlerini engellemekte etkilidir. Şevlerde oluşan yatay zemin hareketlerinden kaynaklanan zemin yüklerinin kazık elemanlarına aktarımı karmaşık bir zemin-yapı etkileşimi sorunudur (hem zeminin hem de kazığın deformasyonu ve mukavemet özelliklerine ilişkin pek çok faktörün etkisi altındadır) ve mevcut kazıklı duraylılık tasarım yöntemlerindeki önemli farklılıklar da iyileştirme mekanizmasının tam olarak anlaşılmadığına işaret etmektedir. Şev göçmelerinde şevden aşağıya doğru meydana gelen zemin hareketi, duraylılık kazıkları boyunca hesabı zor yatay yüklemeye dağılımlarını ortaya çıkarmaktadır. Bu yüklemeye dağılımlarının güvenilir şekilde tahmini, genel şev duraylılığına kazıkların etkisinin doğrudan kazıkların yüklenme durumuna bağlı olması nedeniyle önemlidir.

Tüm tasarım yöntemleri, tek kazık için bulunan değerleri genişleterek, kazık sırasına etkiyen kuvveti tahmin etmeye yöneliktir. Böyle bir yaklaşım aktif kazıklara uygulanabilir ancak pasif kazıklar için geçerli olmayabilir, zira aktif kazık durumunda etkiyen yatay kuvvetler önceden belirlenir ve kazığın varlığından etkilenmez. Pasif kazık durumunda ise kazığın varlığı kazığa etkiyecek olan yatay kuvveti etkiler. Bu nedenle analizin en başında tek sıra halinde duraylılık kazıklarını ele almak gerekmektedir.

Pasif kazıklarda çözülmesi gereken en önemli noktalardan birisi zemin hareketi nedeniyle kazığa etkiyen yatay gerilmenin tam olarak tahmin edilmesidir. Kazıkların yatay dayanımı, etkiyen yatay kuvvetin doğrultusu ve büyüklüğünün bilinmesi ile hesaplanabilmektedir. Kazık-zemin etkileşimi nedeniyle oluşan yatay kuvvetin karışık mekanizması, kazık

çevresindeki zeminin viskoz bir sıvı olduğu varsayılarak deneysel yöntemlerle tek bir kazığa ve kazık sırasına gelen yatay kuvvetler tahmin edilebilir [1]. Ancak yatay kuvvetin olduğundan büyük tahmin edilmesi kazık duraylılığında tutucu sonuçlar vereceği gibi şev duraylılığında da olduğundan büyük güvenlik sayısı doğurmaktadır. Yatay kuvvetin olduğundan küçük tahmin edilmesi ise tam tersi etki yapmaktadır. Ito ve Matsui [2] bu konuda bir seri model deneyleri yapmışlardır. Şev duraylılığı analizlerinde kayma yüzeyinin yeri arazi incelemeleri yardımıyla önceden belirlenebilir. Böyle bir şevdeki kazığa etkiyen bir çok etken vardır. Bu etkenler; kazıkların uzaklığı, kazık başı tutululuk koşulu, kayma yüzeyi üzerindeki kazık boyu, kazık çapı ve kazıkların rijitliğidir.

Şevlerin duraylılığını sağlamak amacıyla bugüne kadar yapılmış olan çalışmaların bir çoğunda, şev ortamına yerleştirilecek düşey kazıkların yanal toprak hareketi boyunca davranışının belirlenmesi amacıyla çeşitli sonlu elemanlar programları kullanılarak nümerik [3-5] ve laboratuvar deneysel çalışmalar [6-13] yapılmıştır. Şev güvenliğinin kazıkların yüklenme şekliyle doğrudan ilişkili olması nedeniyle, zeminden kazıklara aktarılan yüklerin dağılımlarının gerçekçi olarak belirlenmesi önemlidir. Hareketli zemin kütesinden kaynaklanan yüklerin tahminine yönelik geliştirilen arazi ve laboratuvar deneyleri [1-2, 13-15] sonuçlarına dayalı amprik yöntemler, yanal zemin deplasmanının büyüklüğüne ve şekline dayalı analiz yöntemleri ve sonlu elemanlar yöntemleri bulunmaktadır. Ancak bu yöntemler zemin özellikleri, kazıklar arası mesafe ve kazık rijitliği değişimleri ile farklılık gösteren kazık grubu davranışını tam anlamıyla yansıtamamaktadır. Bu nedenle henüz genel kabul görmüş bir boyutlandırma yöntemi oluşturulamamıştır.

Bu çalışmada, şev göçmelerindeki yanal zemin hareketlerinden dolayı oluşan zemin yüklerinin kazık elemanlarına aktarımının ve kazıklarda meydana gelen kesit tesirlerinin tam ve doğru olarak belirlenmesi amacıyla büyük ölçekli model deneyler yapılmıştır. Kazık ve zemin bilgilerine bağlı olarak Brinch-Hansen yöntemi [16], Yatak katsayısı yöntemi [17-18] ve Broms [19] yöntemleri kullanılarak, yanal yük etkisinde kalan kazık kesiti analiz edilerek, kazık kesitinde meydana gelen maksimum eğilme momenti ve yeri belirlenerek elde edilen sonuçlar deneysel olarak elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır.

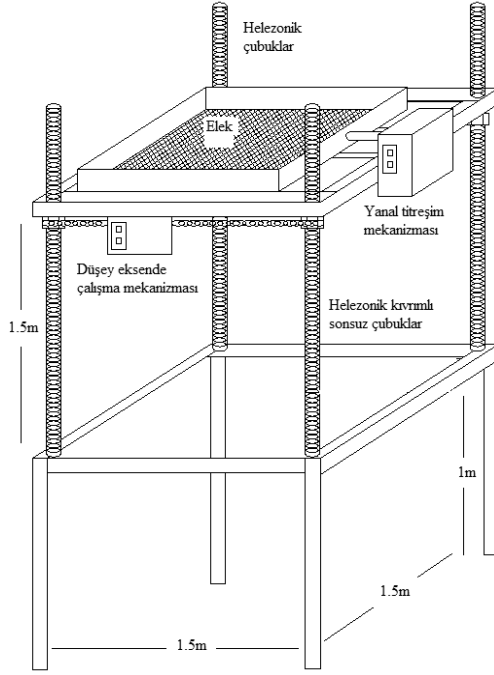
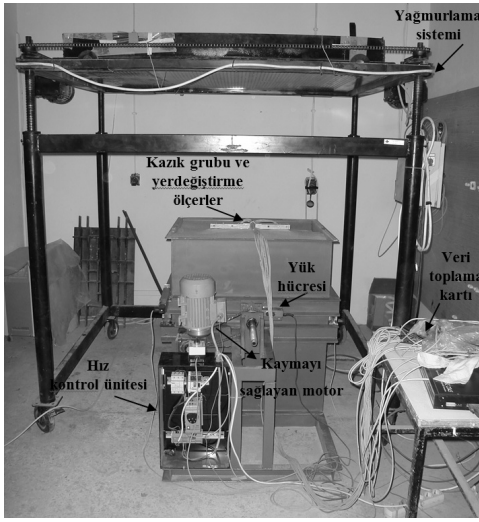
## 2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

### 2.1. Büyük Ölçekli Kesme Kutusu

Şevlerin duraylılığını sağlamak amacıyla yerleştirilen düşey kazıkların yanal zemin hareketi etkisinde davranışını gözlemek için, Yıldız Teknik Üniversitesi Geoteknik Anabilim Dalı Laboratuvarında geliştirilen ve iki ayrı parçadan oluşan büyük boyutlu kesme kutusunda deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Kesme kutusu düzeneği motor, hız kontrol ünitesi ve yük hücresinden oluşmaktadır. Alt kutunun boyutları 77 cm x 85 cm x 45 cm (genişlik x uzunluk x yükseklik), üst kutunun boyutları ise 77 cm x 70 cm x 45 cm'dir. Üst kutu alt kutu üzerinde iki kenarı boyunca bir elektrik motoru yardımıyla, hareket edebilmektedir (Şekil 1). Kazık grubunun içine yerleştirileceği zemin ortamı kumdur. Kumun kesme kutusuna farklı sıklıkta ve üniform bir şekilde yerleştirilmesi için de yağmurlama sisteminden yararlanılmıştır. Yağmurlama sistemi tabanda 1.5m x 1.5m x 1.0m boyutlarında bir açıklığı vardır. Farklı elek açıklıklarında düzenlenebilen elek sistemi, hız denetimli bir motor ile helezonik çubuklar üzerinde hareket edebilmektedir. Frekansı ayarlanabilir olan bir titreşim mekanizması elek sistemine bağlanmıştır. Kumun hedeflenen

*Yanal Zemin Hareketi Etkisinde Kalan Kazıkların Davranışının Deneysel ...*

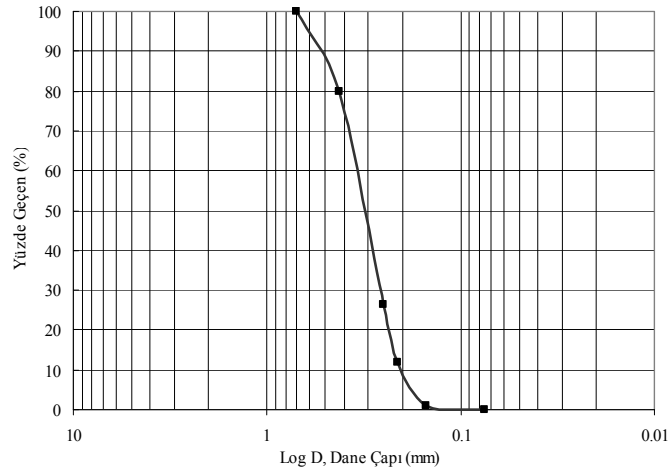
sıklık seviyesinde yerleştirilmesi için, elek tablası, denetimli hızda ve istenilen titreşim frekansında çalıştırılmaktadır. Elek tablasının helezonik çubuklar üzerinde yağmurlama süresince yükselmesi ve belirlenen bir frekansta salınım yapması, kum danelerinin yerleştirme süresince her zaman eşit potansiyel enerjisinde deney kutusuna düşmesine olanak sağlamıştır. Ayrıca deney kutusuna yerleştirilen kumun istenilen sıklıkta yerleştirildiğini kontrol etmek amacıyla da kutu içerisine farklı noktalarda ve derinlikte yerleştirilen hacmi belirli kaplar yerleştirilmiş ve deney sonrasında bu kaplar çıkarılarak kumun sıklık kontrolü sağlanmıştır.



*Şekil 1. Deney Düzeneği ve Yağmurlama Sistemi*

## 2.2. Kullanılan Kum Zeminin Özellikleri

Deneyisel çalışmalarda kullanılan ve içerisinde kuvars daneleri içeren kum Şile yöresinden sağlanmıştır. İndeks özelliklerinin belirlenebilmesi için kum numuneleri üzerinde elek analizleri, özgül ağırlık deneyleri ve maksimum ve minimum boşluk oranlarının belirlenmesi için deneyler yapılmıştır. Kum zemine ait dane çapı dağılımı eğrisi Şekil 2’de, kumun genel fiziksel özellikleri Çizelge 1’de verilmiştir. Bununla birlikte kumun farklı sıklık derecelerine ( $D_r = \%70\text{-}\%50\text{-}\%30$ ) göre içsel sürtünme açılarını da belirlemek amacıyla kesme kutusu deneyleri yapılmış ve sonuçları Çizelge 2’de özetlenmiştir.



Şekil 2. Kumun Dane Çapı Dağılımı

Çizelge 1. Kumun Fiziksel Özellikleri

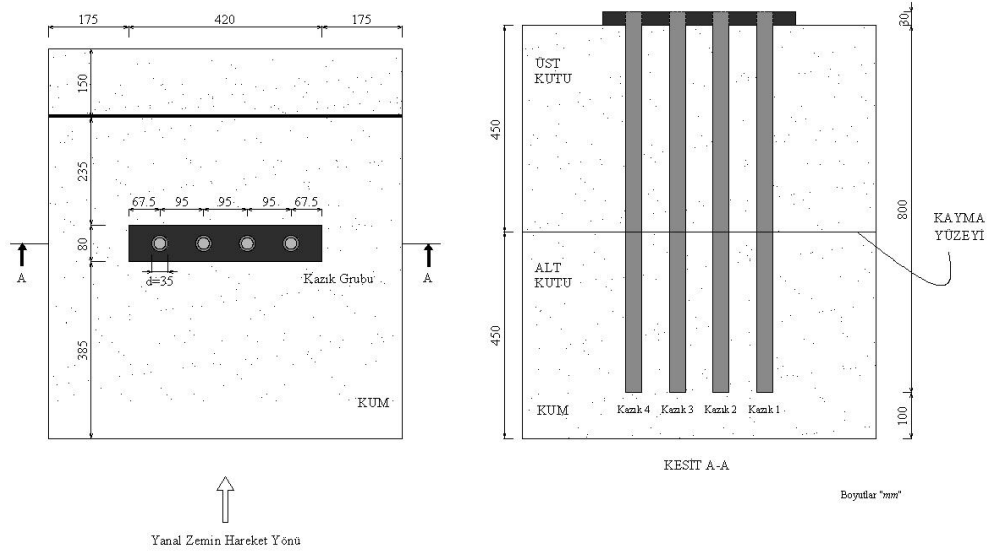
Zemin Sınıfı (USCS)	SP
Özgül Ağırlık, $G_s$	2.65
Ortalama Dane Boyutu, $D_{50}$ (mm)	0.31
Maksimum Boşluk Oranı, $e_{max}$	0.87
Minimum Boşluk Oranı, $e_{min}$	0.53
Maksimum Kuru Birim Hacim Ağırlık, $\gamma_{k,max}$ ( $kN / m^3$ )	17.0
Minimum Kuru Birim Hacim Ağırlık, $\gamma_{k,min}$ ( $kN / m^3$ )	13.9

Çizelge2. Kumun Dayanım Özellikleri

Sııklık Derecesi, $D_r$ (%)	İçsel Sürtünme Açısı, $\phi$ (°)
50	36.7
60	37.4
70	38.5

### 2.3. Kullanılan Model Kazık Grubu ve Ölçüm Aygıtları

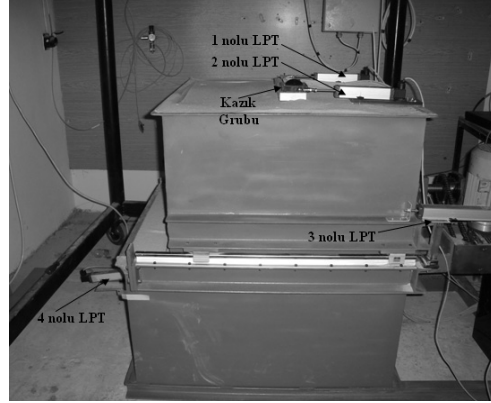
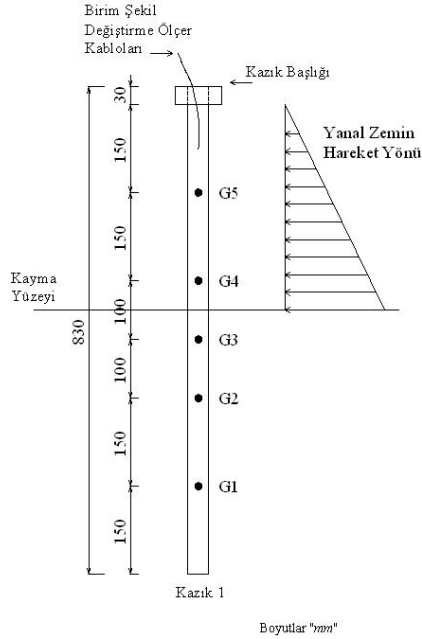
Bu çalışmada kazık malzemesi olarak dış çapı (d) 35 mm, et kalınlığı (t) 5 mm ve uzunluğu (L) 800 mm olan alüminyum boru kazıklar kullanılmıştır. Yanal yük etkisi altında kalacak kazık grubu tek sıra halinde 4 kazıktan oluşmakta olup yanar yük doğrultusuna dik doğrultuda deney kutusuna yerleştirilmiştir. Tutulu başlı olarak tasarlanan kazık grubuna ait geometri Şekil 3'de gösterilmiştir. Şekil 3'de görüldüğü üzere kazık aks aralığının kazık çapına oranı ( $S/d = 95/35$ ) 2.7 olup bu değer yanar zemin hareketi etkisinde kalan kazık grupları için uygun bir orandır.



Şekil 3. Model Kazık Grubu Ayrıntısı

Bu çalışmada, model deney düzeneğinde, kazık kesiti boyunca yerleştirilmiş olan birim şekil değiştirme ölçerler, kazık başında yer alan yer değiştirme ölçerler ve kesme kutusu önündeki yük hücresi olmak üzere üç çeşit ölçüm aygıtı kullanılmıştır. Tüm bu ölçüm aygıtları kablolar yoluyla veri toplama kartına ve veri toplama kartı da bir bilgisayara bağlanmaktadır. Tüm deney verileri Labview adlı bir programda toplanmakta ve analizler gerçekleştirilmektedir.

Farklı sıklık derecelerinde yerleştirilen kum zeminde, kazık grubu yanal olarak yüklenerek, meydana gelecek kesit tesirleri kazık kesiti boyunca belirli aralıklarla yerleştirilmiş olan birim şekil değiştirme ölçerler (strain gauge) yardımı ile, kazık başındaki yerdeğişimler ise yerdeğişim ölçerler ile belirlenmiştir. Birim şekil değiştirme ölçerler kazıkların, (Kazık 1 (köşe kazık) ve Kazık 3 (orta kazık)), içerisine aynı eksen doğrultusunda, yanal zemin hareketine dik doğrultuda olacak şekilde belirli aralıklarla yerleştirilmiştir. Model kazıkların alt ucu kapaklar ile kapatılmıştır. Böylelikle yanal zemin hareketi sırasında kumun kazık ucundan içeriye girerek birim şekil değiştirme ölçerleri olumsuz yönde etkilemesi ve kumun yağmurlama sırasındaki formunun bozulması ve dolayısıyla hatalı sonuçlar ortaya çıkması engellenmiştir. Şekil 4’de görüldüğü üzere yanal zemin hareketi sırasında kazıklarda oluşacak birim şekil değiştirmeleri ölçmek için G1, G2, G3, G4 ve G5 olmak üzere her bir kazığa 5 adet birim şekil değiştirme ölçer yerleştirilmiştir. Kazık başında oluşacak yerdeğişimleri ölçmek için de kazık başının karşılıklı iki kenarına 1 ve 2 nolu LPT (lineer yerdeğişim ölçer), kazık ucunda meydana gelecek olası yerdeğişimi hesaplamak için de Kazık 1’e 4 nolu LPT yerleştirilmiştir. Üst kutunun alt kutuya göre göreceli hareketini belirlemek amacıyla da üst kutuya bağlı olan 3 nolu LPT bulunmaktadır.



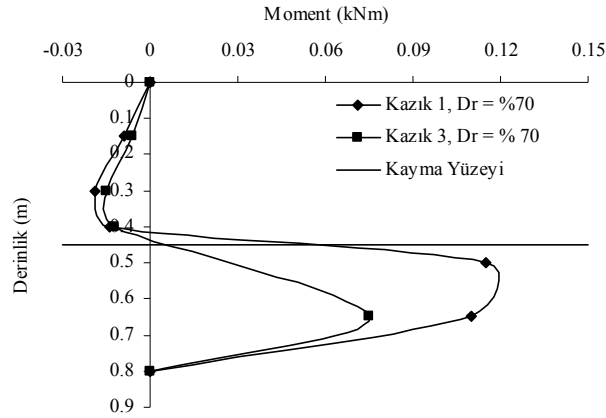
Şekil 4. Model Deneylerde Kullanılan Ölçüm Aygıtları

Gerçekleştirilen deneylerde, yanal zemin hareketi etkisinde kalan tek sıra halinde 4 kazıktan oluşan kazık grubunda meydana gelecek kesit tesirlerini belirlemek için, kazık 1 (köşe kazık) ve kazık 3'e (orta kazık) kazık başından itibaren 150, 300, 400, 500 ve 650 mm derinlikte birim şekil değiştirme ölçerler yerleştirilmiştir. Böylelikle kesme kutusunda kayma yüzeyinin üstünde kalan her bir kazık kesitinde 2 adet, kayma yüzeyinin altında

kalan her bir kazık kesitinde de 3 adet olmak üzere toplam 5 adet birim şekil değiştirme ölçer yer almaktadır. Elde edilen birim şekil değiştirmelerden her bir kazık kesiti için eğilme momenti değerleri hesaplanmıştır. Kazık grubunun başına yerleştirilen LPT'lerden de yanal zemin hareketi boyunca kazıkta meydana gelen yerdeğiştirmeler ölçülmüştür. Ayrıca kesme kutusunun üst kısmına yerleştirilen LPT'den de üst kutunun alt kutuya göre olan göreceli yerdeğiştirmesi belirlenmiştir. Deneylere ilişkin ayrıntılı bilgi Özçelik (2007)'de [20] verilmektedir.

### 3. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRMELER

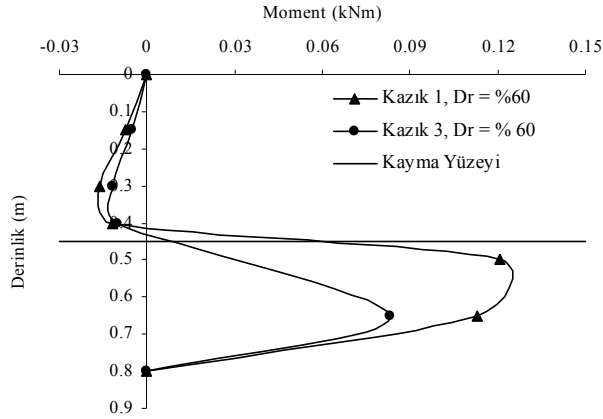
Büyük ölçekli kesme kutusu içerisine yağmurlama tekniği ile %50, %60 ve %70 sıklıkta yerleştirilmiş olan kum zeminde bulunan kazık sırası, kesme kutusunun üst parçasının yatay yönde hareket ettirilmesi ile yanal zemin hareketi etkisinde bırakılmış ve kazık kesitinde derinlik boyunca oluşan eğilme momenti davranışları ve yerdeğiştirmeler gözlenmiştir. Elde edilen sonuçlar Şekil 5-8'de gösterilmiştir. Görüldüğü üzere zeminin sıklık derecesinin azalmasıyla birlikte kayma yüzeyinin altında kalan kazık kesitinde oluşan maksimum moment değerinin arttığı gözlenmiştir. Ayrıca kazık 1'de (köşe kazık) oluşan maksimum moment değerinin kazık 3'ün (orta kazık) maksimum moment değerine göre daha yüksek olduğu gözlenmiş olup bu sonuç yanal zemin hareketi etkisindeki kazık grupları için beklenen bir sonuçtur. Şekil 9'da %70 sıklık derecesinde kum zeminde yer alan kazık grubuna bakıldığında, kesme kutusunun 140 mm yatay yönde hareket etmesiyle kazık başında meydana gelen yatay yerdeğiştirmenin 35 mm mertebelerinde olduğu ve bu yerdeğiştirme sırasında kesme kutusuna 2.21 kN yatay yük (yük hücresinden okunan değer) değerinin etkidiği görülmektedir. Diğer sıklık dereceleri için yapılan deneylerde kumun sıklık derecesinin azalması ile kazık başında meydana gelen yatay yerdeğiştirmenin arttığı belirlenmiştir. Şekilde görüldüğü üzere, belirli bir kutu yerdeğiştirmesinden sonra (~5 mm), kutu yerdeğiştirmesi artmaya devam ederken yük hücresinden okunan değerler değişmemiştir. Bunun nedeni, zeminde göçme oluşmasıyla birlikte zeminden kazıklara olan yük aktarımının tamamlanmış olması ve kırılan kazık elemanının daha fazla yükü taşıma kapasitesinin olmamasıdır.



Şekil 5.  $D_r = \% 70$  için Eğilme Momenti – Derinlik Değişimi

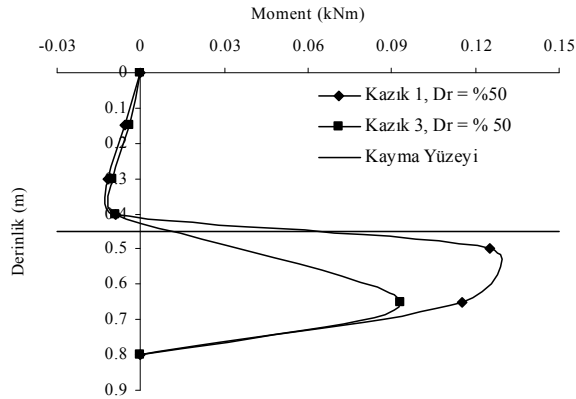


%70 sıklıktaki kum içerisinde yerleştirilen kazık grubunun yanal zemin hareketi etkisinde kalması durumunda köşe kazıkta maksimum eğilme momenti 0.123 kNm ve yeri kazık başından itibaren 0.55 m derinliktedir. Orta kazıkta ise maksimum eğilme momenti 0.075 kNm ve yeri 0.65 m derinliktedir.



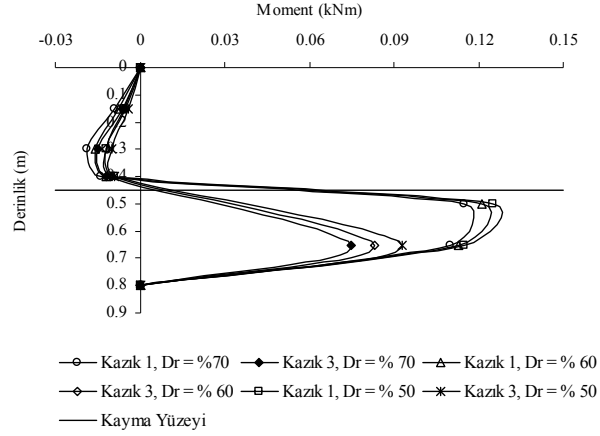
Şekil 6.  $D_r = \% 60$  için Eğilme Momenti – Derinlik Değişimi

%60 sıklıktaki kum içerisinde yerleştirilen kazık grubunun yanal zemin hareketi etkisinde kalması durumunda köşe kazıkta maksimum eğilme momenti 0.128 kNm ve yeri kazık başından itibaren 0.55 m derinliktedir. Orta kazıkta ise maksimum eğilme momenti 0.083 kNm ve yeri 0.65 m derinliktedir.

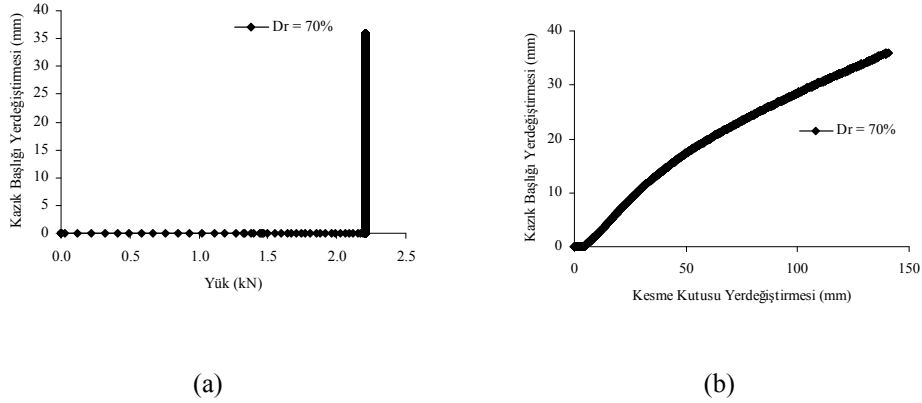


Şekil 7.  $D_r = \% 50$  için Eğilme Momenti – Derinlik Değişimi

%50 sıklıktaki kum içerisinde yerleştirilen kazık grubunun yanal zemin hareketi etkisinde kalması durumunda köşe kazıkta maksimum eğilme momenti 0.130 kNm ve yeri kazık başından itibaren 0.55 m derinliktedir. Orta kazıkta ise maksimum eğilme momenti 0.093 kNm ve yeri 0.65 m derinliktedir.



Şekil 8.  $D_r = \%70, 60, 50$  için Eğilme Momenti – Derinlik Değişiminin Karşılaştırılması



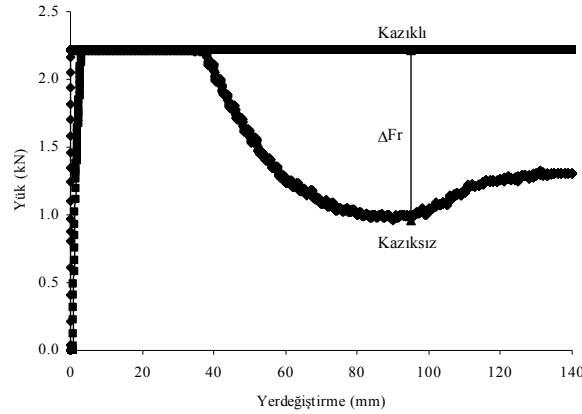
Şekil 9.  $D_r = \%70$  Sıklık İçin (a) Kazık Başı Yerdeğiştirmesi-Yük Değişimi, (b) Kazık Başı Yerdeğiştirmesi-Kesme Kutusu Yerdeğiştirmesi Değişimi

Çizelge 3’de deneysel olarak farklı sıklık derecelerinde köşe kazık (Kazık 1) ve orta kazık (Kazık 3) için elde edilmiş maksimum eğilme momenti değerleri ve yerleri ile kazık başı yerdeğiştirmeleri ( $y_x$ ) özetlenmiştir.

Çizelge 3. Deneysel Olarak Elde Edilen Sonuçlar

	$M_{max,1}$ (kNm)	Yeri (m)	$M_{max,3}$ (kNm)	Yeri(m)	$y_x$ (mm)
$D_r = \% 70$	0.123	0.55	0.075	0.65	35.00
$D_r = \% 60$	0.128	0.55	0.083	0.65	36.34
$D_r = \% 50$	0.130	0.55	0.093	0.65	37.05

Kesme kutusuna %70 sıklıkta yerleştirilerek yapılan ve deneysel olarak ölçülen yük-kesme kutusu yerdeğiştirmesi arasındaki ilişki, kazık grubunun sisteminin kesme dayanımına katkısını göstermektedir. Kesme kutusunun 140 mm hareket etmesi sonucunda kum ile dolu kazıksız kutuya ve kazık grubunun olması durumunda kutuya gelen yük değerleri görülmektedir. İlk olarak, kum ile dolu kazıksız kutunun yanal olarak hareket etmesiyle yük hücrelerinden okunan yük değerleri kaydedilmiştir. Daha sonra, kazık grubunun bulunduğu kum ile dolu kutunun hareket ettirilmesi ile yük hücrelerinden okunan yük değerleri kaydedilmiştir. Kazık grubu tarafından taşınan yük,  $\Delta Fr$ , (kazık grubundan şeve uygulanan yanal tepki kuvveti) kazıklı ve kazıksız durumlardaki yük hücrelerinden elde edilen yük değerleri arasındaki fark kullanılarak hesaplanmıştır. Şekil 10'da da görüldüğü üzere kazıksız durumda kutuya etkiyen sürtünme kuvveti 0.96 kN iken, kazık grubunun olması durumunda kutuya etkiyen yük 2.21 kN olup kazık sırasından şeve uygulanan yanal tepki kuvveti 1.25 kN ( $\Delta Fr$ )'dur ve tek sıra 4 kazıktan oluşan kazık grubunda tek bir kazık için bu değer yaklaşık olarak 0.32 kN'dur.

Şekil 10.  $D_r = \%70$  Sıklık İçin Yük-Kesme Kutusu Yerdeğiştirme Değişimi

### 3.1. Amirik Bağıntılar ile Kazık Davranışının Belirlenmesi

Bu çalışmada, kayma yüzeyinin üstünde kalan kazık kesitinde, tek bir kazık için kazıktan şeve uygulanan yanal tepki kuvveti ve kazık kesitinde (köşe ve orta kazık) meydana gelen maksimum eğilme momenti değerleri deneysel olarak ölçülmüştür. Deneysel olarak ölçülen

bu eğilme momenti değerlerini veren yanal yük değerleri de kaynaklarda önerilen yöntemler ile belirlenmiş ve deneysel olarak ölçülmüş olan yanal yük değeri ile karşılaştırılmıştır. Bilindiği üzere, kumlu zeminlerde yanal zemin hareketine maruz kalan kazıklarda kayma yüzeyinin üstündeki kazık kesitine etkiyen yanal yük, zemin yüzeyinden başlayarak kayma yüzeyine kadar doğrusal olarak artmakta (Şekil 4) ve etkiye yeri de kayma yüzeyinde kalan kazık kesitinin ( $H$ )  $1/3$ 'ünde olmaktadır. Bu bilgiye ek olarak etkiye yerinin kazık kesitinde farklı seviyelerde olması durumunda (zemin yüzeyine yaklaşmasıyla), beklenen yüklerin deneysel olarak elde edilen gerçek yanal yüke olan oranlarına etkisi de incelenmiştir.

Tek bir kazık için kazıktan şeve uygulanan yanal tepki kuvveti olan 0.32 kN değerinin (deneysel olarak belirlenen gerçek yük) kazık kesitinde kayma yüzeyinin üzerinde 0.45 m olan kazık boyunun  $H/3$ 'ünde (0.15 m) etkiği gözönüne alınarak Brinch-Hansen, Yatak Katsayısı ve Broms yöntemlerine göre kazıklar analiz edilmiş ve elde edilen sonuçlar Çizelge 4, Çizelge 5 ve Çizelge 6'da sunulmuştur. Ayrıca deneysel olarak köşe kazık ve orta kazık için ölçülen maksimum moment değerlerini veren yanal yük değerleri de bu yöntemlere bağlı olarak belirlenmiştir.

*Çizelge 4. Brinch – Hansen Yönteminden Elde Edilen Sonuçlar (Etkime Yeri  $H/3$ )*

Brinch – Hansen Yöntemi				
	$M_{max}$ (kNm)	Yeri (m)	$M_{max,1}$ için Yatay Yük (kN)	$M_{max,3}$ için Yatay Yük (kN)
$D_r = \% 70$	0.386	0.6208	0.640 (yeri: 0.53 m)	0.422 (yeri: 0.51 m)
$D_r = \% 60$	0.336	0.6197	0.646 (yeri: 0.54 m)	0.453 (yeri: 0.51 m)
$D_r = \% 50$	0.298	0.6195	0.648 (yeri: 0.54 m)	0.495 (yeri: 0.51 m)

*Çizelge 5. Yatak Katsayısı Yönteminden Elde Edilen Sonuçlar (Etkime Yeri  $H/3$ )*

Yatak Katsayısı Yöntemi				
	$M_{max}$ (kNm)	Yeri (m)	$M_{max,1}$ için Yatay Yük (kN)	$M_{max,3}$ için Yatay Yük (kN)
$D_r = \% 70$	0.0688	0.600 ( $y_x = 3.12$ mm)	0.572 (yeri: 0.60 m) ( $y_x = 5.58$ mm)	0.349 (yeri: 0.60 m) ( $y_x = 3.40$ mm)
$D_r = \% 60$	0.0734	0.620 ( $y_x = 4.45$ mm)	0.558 (yeri: 0.62 m) ( $y_x = 7.76$ mm)	0.362 (yeri: 0.62 m) ( $y_x = 5.03$ mm)
$D_r = \% 50$	0.0756	0.632 ( $y_x = 5.17$ mm)	0.551 (yeri: 0.632 m) ( $y_x = 8.90$ mm)	0.394 (yeri: 0.632 m) ( $y_x = 6.36$ mm)

Çizelge 6. Broms Yönteminden Elde Edilen Sonuçlar (Etkime Yeri H/3)

Broms Yöntemi				
	$M_{max}$ (kNm)	Yeri (m)	$M_{max,1}$ için Yatay Yük (kN)	$M_{max,3}$ için Yatay Yük (kN)
$D_r = \% 70$	0.112	0.750	0.345 (yeri: 0.761 m)	0.234 (yeri: 0.706 m)
$D_r = \% 60$	0.114	0.760	0.349 (yeri: 0.774 m)	0.250 (yeri: 0.724 m)
$D_r = \% 50$	0.116	0.768	0.350 (yeri: 0.783 m)	0.270 (yeri: 0.742 m)

Tek bir kazık için kazıktan şeve uygulanan yanal tepki kuvveti olan 0.32 kN değerinin kazık kesitinde kayma yüzeyinin üzerinde 0.45 m olan kazık boyunun  $5H/12 = 0.1875$  m’de etki ettiği gözönüne alınarak yapılan analiz sonuçları Çizelge 7, Çizelge 8 ve Çizelge 9’da özet halinde sunulmuştur.

Çizelge 7. Brinch – Hansen Yönteminden Elde Edilen Sonuçlar (Etkime Yeri 5H/12)

Brinch – Hansen Yöntemi				
	$M_{max}$ (kNm)	Yeri (m)	$M_{max,1}$ için Yatay Yük (kN)	$M_{max,3}$ için Yatay Yük (kN)
$D_r = \% 70$	0.446	0.6208	0.553 (yeri: 0.53 m)	0.359 (yeri: 0.51 m)
$D_r = \% 60$	0.338	0.6197	0.557 (yeri: 0.53 m)	0.384 (yeri: 0.51 m)
$D_r = \% 50$	0.344	0.6195	0.558 (yeri: 0.54 m)	0.423 (yeri: 0.50 m)

Çizelge 8. Yatak Katsayısı Yönteminden Elde Edilen Sonuçlar (Etkime Yeri 5H/12)

Yatak Katsayısı Yöntemi				
	$M_{max}$ (kNm)	Yeri (m)	$M_{max,1}$ için Yatay Yük (kN)	$M_{max,3}$ için Yatay Yük (kN)
$D_r = \% 70$	0.0781	0.600 ( $y_x = 3.47$ mm)	0.504 (yeri: 0.60 m) ( $y_x = 5.47$ mm)	0.307 (yeri: 0.60 m) ( $y_x = 3.33$ mm)
$D_r = \% 60$	0.0828	0.620 ( $y_x = 4.92$ mm)	0.495 (yeri: 0.62 m) ( $y_x = 7.61$ mm)	0.321 (yeri: 0.62 m) ( $y_x = 4.93$ mm)
$D_r = \% 50$	0.0849	0.632 ( $y_x = 5.69$ mm)	0.490 (yeri: 0.632 m) ( $y_x = 8.71$ mm)	0.350 (yeri: 0.632 m) ( $y_x = 6.22$ mm)

Çizelge 9. Broms Yönteminden Elde Edilen Sonuçlar (Etkime Yeri 5H/12)

Broms Yöntemi				
	$M_{max}$ (kNm)	Yeri (m)	$M_{max,1}$ için Yatay Yük (kN)	$M_{max,3}$ için Yatay Yük (kN)
$D_r = \% 70$	0.124	0.750	0.318 (yeri: 0.749 m)	0.214 (yeri: 0.695 m)
$D_r = \% 60$	0.126	0.760	0.324 (yeri: 0.762 m)	0.229 (yeri: 0.713 m)
$D_r = \% 50$	0.128	0.768	0.325 (yeri: 0.771 m)	0.248 (yeri: 0.730 m)

Tek bir kazık için kazıktan şeve uygulanan yanal tepki kuvveti olan 0.32 kN değerinin kazık kesitinde kayma yüzeyinin üzerinde 0.45 m olan kazık boyunun  $H/2 = 0.225$  m'de etki ettiği gözönüne alınarak yapılan analiz sonuçları Çizelge 10, Çizelge 11 ve Çizelge 12'de özet halinde sunulmuştur.

Çizelge 10. Brinch – Hansen Yönteminden Elde Edilen Sonuçlar (Etkime Yeri H/2)

Brinch – Hansen Yöntemi				
	$M_{max}$ (kNm)	Yeri (m)	$M_{max,1}$ için Yatay Yük (kN)	$M_{max,3}$ için Yatay Yük (kN)
$D_r = \% 70$	0.505	0.6208	0.481 (yeri: 0.52 m)	0.310 (yeri: 0.50 m)
$D_r = \% 60$	0.440	0.6197	0.487 (yeri: 0.52 m)	0.332 (yeri: 0.50 m)
$D_r = \% 50$	0.390	0.6195	0.490 (yeri: 0.53 m)	0.366 (yeri: 0.50 m)

Çizelge 11. Yatak Katsayısı Yönteminden Elde Edilen Sonuçlar (Etkime Yeri H/2)

Yatak Katsayısı Yöntemi				
	$M_{max}$ (kNm)	Yeri (m)	$M_{max,1}$ için Yatay Yük (kN)	$M_{max,3}$ için Yatay Yük (kN)
$D_r = \% 70$	0.0875	0.600 ( $y_x = 3.83$ mm)	0.450 (yeri: 0.60 m) ( $y_x = 5.38$ mm)	0.275 (yeri: 0.60 m) ( $y_x = 3.29$ mm)
$D_r = \% 60$	0.0922	0.620 ( $y_x = 5.38$ mm)	0.445 (yeri: 0.62 m) ( $y_x = 7.49$ mm)	0.289 (yeri: 0.62 m) ( $y_x = 4.86$ mm)
$D_r = \% 50$	0.0943	0.632 ( $y_x = 6.21$ mm)	0.441 (yeri: 0.632 m) ( $y_x = 8.56$ mm)	0.316 (yeri: 0.632 m) ( $y_x = 6.13$ mm)

Çizelge 12. Broms Yönteminden Elde Edilen Sonuçlar (Etkime Yeri H/2)

Broms Yöntemi				
	$M_{max}$ (kNm)	Yeri (m)	$M_{max,1}$ için Yatay Yük (kN)	$M_{max,3}$ için Yatay Yük (kN)
$D_r = \% 70$	0.136	0.750	0.295 (yeri: 0.738 m)	0.197 (yeri: 0.685 m)
$D_r = \% 60$	0.138	0.760	0.301 (yeri: 0.751 m)	0.212 (yeri: 0.703 m)
$D_r = \% 50$	0.140	0.768	0.302 (yeri: 0.760 m)	0.230 (yeri: 0.720 m)

Tek bir kazık için kazıktan şeve uygulanan yanal tepki kuvveti olan 0.32 kN değerinin kazık kesitinde kayma yüzeyinin üzerinde 0.45 m olan kazık boyunun  $7H/12 = 0.2625$  m’de etkiği gözönüne alınarak yapılan analiz sonuçları Çizelge 13, Çizelge 14 ve Çizelge 15’de özet halinde sunulmuştur.

Çizelge 13. Brinch – Hansen Yönteminden Elde Edilen Sonuçlar (Etkime Yeri 7H/12)

Brinch – Hansen Yöntemi				
	$M_{max}$ (kNm)	Yeri (m)	$M_{max,1}$ için Yatay Yük (kN)	$M_{max,3}$ için Yatay Yük (kN)
$D_r = \% 70$	0.565	0.6208	0.424 (yeri: 0.51 m)	0.271 (yeri: 0.50 m)
$D_r = \% 60$	0.493	0.6197	0.432 (yeri: 0.52 m)	0.292 (yeri: 0.50 m)
$D_r = \% 50$	0.436	0.6195	0.436 (yeri: 0.52 m)	0.321 (yeri: 0.50 m)

Çizelge 14. Yatak Katsayısı Yönteminden Elde Edilen Sonuçlar (Etkime Yeri 7H/12)

Yatak Katsayısı Yöntemi				
	$M_{max}$ (kNm)	Yeri (m)	$M_{max,1}$ için Yatay Yük (kN)	$M_{max,3}$ için Yatay Yük (kN)
$D_r = \% 70$	0.097	0.600 ( $y_x = 4.18$ mm)	0.407 (yeri: 0.60 m) ( $y_x = 5.32$ mm)	0.248 (yeri: 0.60 m) ( $y_x = 3.24$ mm)
$D_r = \% 60$	0.101	0.620 ( $y_x = 5.85$ mm)	0.404 (yeri: 0.62 m) ( $y_x = 7.38$ mm)	0.262 (yeri: 0.62 m) ( $y_x = 4.79$ mm)
$D_r = \% 50$	0.104	0.632 ( $y_x = 6.73$ mm)	0.402 (yeri: 0.632 m) ( $y_x = 8.46$ mm)	0.287 (yeri: 0.632 m) ( $y_x = 6.04$ mm)

Çizelge 15. Broms Yönteminden Elde Edilen Sonuçlar (Etkime Yeri 7H/12)

Broms Yöntemi				
	$M_{max}$ (kNm)	Yeri (m)	$M_{max,1}$ için Yatay Yük (kN)	$M_{max,3}$ için Yatay Yük (kN)
$D_r = \% 70$	0.148	0.750	0.275 (yeri: 0.728 m)	0.182 (yeri: 0.676 m)
$D_r = \% 60$	0.150	0.760	0.281 (yeri: 0.741 m)	0.196 (yeri: 0.693 m)
$D_r = \% 50$	0.152	0.768	0.282 (yeri: 0.749 m)	0.214 (yeri: 0.710 m)

#### 4. SONUÇLAR VE YORUMLAR

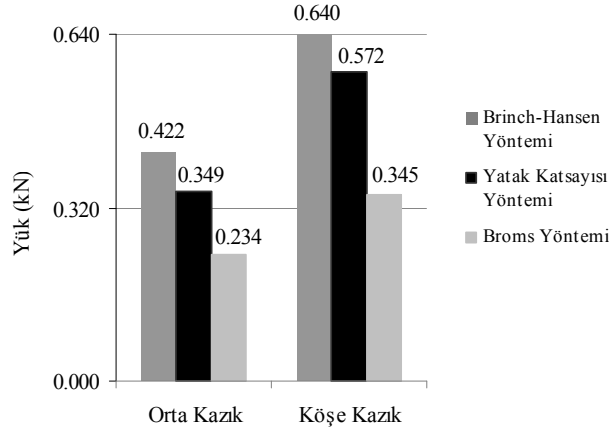
Bu çalışmada, şevlerin duraylılığını sağlamak amacıyla, şev içerisine yerleştirilen düşey kazıkların yanal zemin hareketi boyunca davranışını gözlemlemek için, Yıldız Teknik Üniversitesi Geoteknik Anabilim Dalı Laboratuvarında büyük ölçekli bir kesme kutusu geliştirilerek deneyler yapılmıştır. Gözönüne alınan zemin ortamı kum olup,  $D_r = \%70$ ,  $\%60$  ve  $\%50$  sıklıkta yerleştirilmiş olan kum içerisinde bulunan kazık sırası yanal zemin hareketi etkisinde bırakılmış ve kazık kesitinde derinlik boyunca oluşan eğilme momenti davranışı ve kazık başı yerdeğiştirmeleri gözlenmiştir. Yapılan deneyler sonunda elde edilen sonuçlar Brinch-Hansen yöntemi, Yatak katsayısı yöntemi ve Broms yönteminden elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Yapılan deneylerde aşağıda belirtilen sonuçlar elde edilmiştir.

- Deneysel olarak elde edilen sonuçlardan zeminin sıklık derecesinin azalmasıyla birlikte kayma yüzeyinin altında kalan kazık kesitinde oluşan maksimum moment değerinin arttığı gözlenmiştir. Aynı şekilde Yatak Katsayısı Yöntemi ve Broms Yönteminde de aynı eğilimin olduğu görülmüştür.
- Köşe kazıkta (Kazık 1) oluşan maksimum moment değerinin orta kazığın (Kazık 3) maksimum moment değerine göre daha yüksek olduğu gözlenmiş olup bu sonuç yanal zemin hareketi etkisindeki kazık grupları için beklenen bir sonuçtur.
- Farklı sıklık derecelerinde yapılan deneylerde, kazık başına yerleştirilmiş olan yerdeğiştirme ölçerlerden ölçülen kazık başı yerdeğiştirmesinin diğer yöntemlere göre daha fazla olduğu belirlenmiştir.
- Gerçekleştirilen deneylerde, tek tip kazık kesiti kullanılmış olup kazık çapı (35 mm), et kalınlığı (5 mm) ve kazık grubu ile kesme kutusu kenar duvarları arasındaki mesafe sabittir. Bundan dolayı bu çalışmada bu değerlerin değişiminin kazık grubuna etkisine yer verilmemiştir. Bununla birlikte, farklı kazık çaplarının kullanılması ile kazık rijitliğinin kazık yanal direncine etkisinin ve yanal yük etkisi altında kalan kazık grubuna ve kazık grubundaki herbir kazığa etkiyen kuvvetlerin, yüklemeye dik doğrultuda, kazık çapına ve kesme kutusu kenar duvarları arasındaki mesafeye bağlı etkilerinin incelenmesi için YTÜ Geoteknik Laboratuvarında hala tez çalışması kapsamında deneylere devam edilmektedir.



- Kazık grubuna gelen toplam 1.25 kN'un her bir kazığa eşit oranda etki ettiği ve tek bir kazık için bu yükün 0.32 kN olduğu gözönüne alınarak yapılan analizlerde kayma yüzeyinin üst kısmında etkiyen yükün yerinin farklı uzaklıklarda olabileceği düşünülerek kazık kesiti analiz edilmiştir. Bu sonuçlardan da kazık grubuna gelen yatay yükün tek bir kazık için kazık grubundaki kazık sırasına bölünmesinin pek doğru bir yöntem olmadığı görülmüş olup köşe kazık ve orta kazık kesitine gelmesi beklenen yükler (yatay yükün etkime yerinin kayma yüzeyinin üstündeki kazık kesitinin H/3 ve H/2 olması durumları) aşağıda belirtildiği gibi elde edilmiştir.

Yatay yükün etkime yerinin kayma yüzeyinin üstündeki kazık kesitinin H/3'ünde olması durumunda, Brinch-Hansen, Yatak Katsayısı ve Broms yöntemlerinde, %70 sıklıkta, köşe kazık için  $M_{max,1}$  ve orta kazık için  $M_{max,3}$  değerlerini veren yatay yük değerleri Şekil 10'da verilmiştir.



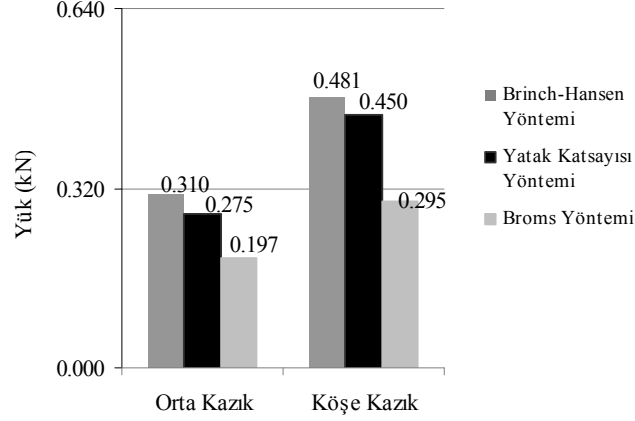
Şekil 10. Etkime Yerinin H/3 Olması Durumunda Köşe Kazık ve Orta Kazık Kesitine Gelecek Yatay Yük Değerleri

Bu durumda;

- Brinch-Hansen yönteminde köşe kazığa gelmesi beklenecek yükün gerçekte gelen yüke oranı %200 ( $0.640/0.320=2$ ), orta kazığa gelmesi beklenecek yükün gerçekte gelen yüke oranı %132 ( $0.422/0.320=1.32$ )'dir.
- Yatak Katsayısı yönteminde köşe kazığa gelmesi beklenecek yükün gerçekte gelen yüke oranı %179, orta kazığa gelmesi beklenecek yükün gerçekte gelen yüke oranı %109'dur.
- Broms yönteminde köşe kazığa gelmesi beklenecek yükün gerçekte gelen yüke oranı %108, orta kazığa gelmesi beklenecek yükün gerçekte gelen yüke oranı %73'dür.

Yatay yükün etkime yerinin kayma yüzeyinin üstündeki kazık kesitinin H/2'sinde olması durumunda, Brinch-Hansen, Yatak Katsayısı ve Broms yöntemlerinde, %70 sıklıkta, köşe

kazık için  $M_{max,1}$  ve orta kazık için  $M_{max,3}$  değerlerini veren yatay yük değerleri Şekil 11’de verilmiştir.



Şekil 11. Etkime Yerinin  $H/2$  Olması Durumunda Köşe Kazık ve Orta Kazık Kesitine Gelecek Yatay Yük Değerleri

Bu durumda;

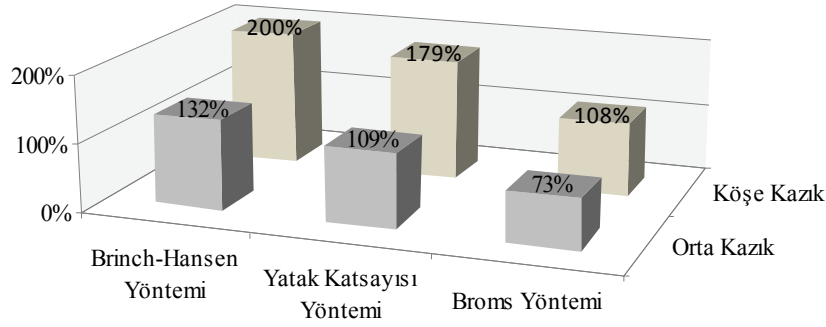
- Brinch-Hansen yönteminde köşe kazığa gelmesi beklenen yükün gerçekte gelen yüke oranı %150, orta kazığa gelmesi beklenen yükün gerçekte gelen yüke oranı %97’dir.
- Yatak Katsayısı yönteminde köşe kazığa gelmesi beklenen yükün gerçekte gelen yüke oranı %141, orta kazığa gelmesi beklenen yükün gerçekte gelen yüke oranı %86’dir.
- Broms yönteminde köşe kazığa gelmesi beklenen yükün gerçekte gelen yüke oranı %92, orta kazığa gelmesi beklenen yükün gerçekte gelen yüke oranı %62’dir.

Kesme kutusunun kazıksız ve kazık grubu olması durumunda itilmesi sonucunda, kazık sırasından şev uygulanan yanal tepki kuvveti 1.25 kN olarak ölçülmüş ve tek bir kazık için bu değer yaklaşık olarak 0.32 kN olduğu varsayılmıştır. Bununla birlikte yanal zemin hareketi etkisinde kazık grubunda köşe kazık ve orta kazık için deneysel ölçümlerden elde edilen eğilme momenti değerleri (Çizelge 3) ve bu moment değerlerini veren yatay yükler Brinch-Hansen, Yatak katsayısı ve Broms yöntemlerine göre kayma yüzeyinin üstündeki kazık kesitinde farklı uzaklıklarda etkiyebileceği düşünülerek hesaplanmış (Bölüm 3) ve bu yatay yükler kazıklara gerçekte gelen yükler ile karşılaştırılmıştır. Kazıkların kayma yüzeyinin altında analizinde aşağıda belirtilen genel sonuçlar çıkarılabilir. Şekil 12 - Şekil 13’de bu yöntemlerden elde edilmiş sonuçlar özet halinde sunulmaktadır.

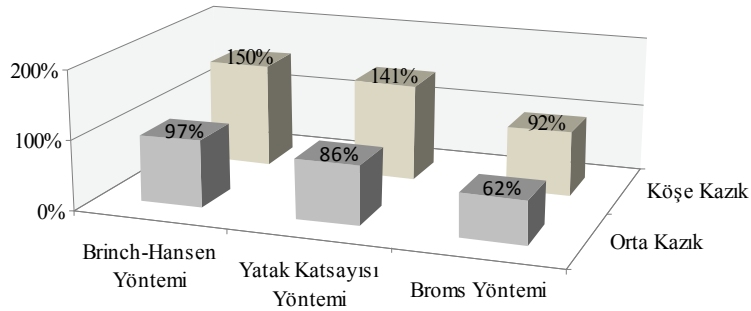
- Brinch-Hansen yöntemi genelde fazla yük tahmin etmekte olup (hem köşe kazık hem de orta kazık için) şev için güvensiz durumlar doğurabilecek bir yöntem olarak görülmektedir. Bununla birlikte kazıkların kırılmaya karşı güvenliği ise ekonomik

olmayan çözümler doğmasına yol açabilecektir. Yatay kuvvetin olduğundan küçük tahmin edilmesi ise tam tersi etki yapmaktadır.

- Yatak katsayısı yöntemi ile yapılan analizlerde orta kazık için doğruya yakın (%9 daha fazla) sonuç verirken köşe kazık için yaklaşık %79 daha fazla yük gelebileceği düşünülmelidir.
- Broms yöntemi ile yapılan analizlerde ise orta kazık için daha az yük tahmin edilmekte olup köşe kazık için doğruya yakın sonuç vermektedir. Diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında ise Broms yöntemi ile genelde daha az yük tahmin edilmektedir. Bu yargı yükün etkime yerinden bağımsızdır.



Şekil 12. Etkime Yerinin H/3 Olması Durumunda Köşe Kazık ve Orta Kazık Kesitine Gelecek Yatay Yük Değerlerinin Gerçekte Gelen Yüke Oranlarının Karşılaştırılması



Şekil 13. Etkime Yerinin H/2 Olması Durumunda Köşe Kazık ve Orta Kazık Kesitine Gelecek Yatay Yük Değerlerinin Gerçekte Gelen Yüke Oranlarının Karşılaştırılması

**Semboller**

USCS	: Birleştirilmiş zemin sınıflandırma sistemi
$G_s$	: Özgül Ağırlık
$D_{50}$	: Ortalama Dane Boyutu
$e_{max}$	: Maksimum Boşluk Oranı
$e_{min}$	: Minimum Boşluk Oranı
$\gamma_{k,max}$	: Maksimum Kuru Birim Hacim Ağırlık
$\gamma_{k,min}$	: Minimum Kuru Birim Hacim Ağırlık
$\phi$	: İçsel Sürtünme Açısı
d	: Kazık dış çapı
t	: Kazık et kalınlığı
L	: Kazık boyu
S	: Kazık aks aralığı
$M_{max,1}$	: Köşe kazıkta maksimum eğilme momenti
$M_{max,3}$	: Orta kazıkta maksimum eğilme momenti
$y_x$	: Kazık başı yerdeğiştirmesi
$\Delta Fr$	: Kazık sırasından şeve uygulanan yanal tepki kuvveti
H	: Kayma yüzeyinin üzerindeki kazık kesiti uzunluğu

**Kaynaklar**

- [1] Ito, T. ve Matsui, T., (1975), “Methods to Estimate Lateral Force Acting on Stabilizing Piles”, *Soils and Foundations*, 15(4), pp. 43-59.
- [2] Ito, T., Matsui, T. ve Hong, W. P., (1982), “Extended Design Method for Multi-Row Stabilizing Piles Against Landslide”, *Soils and Foundations*, 22(1), pp. 1-13.
- [3] Jinoh Won, Kwangho You, Sangseom Jeong ve Sooil Kim (2005), “Coupled Effects in Stability Analysis of Pile-Slope Systems”, *Computers and Geotechnics*, 32 (2005) 304-315.
- [4] S. T. Kok ve Bujang B. K. Huat (2008), “Numerical Modeling of Laterally Loaded Piles”, *American Journal of Applied Sciences* 5 (10): 1403-1408.

- [5] Sangseom Jeong, Byungchul, Jinhon Won ve Jinhyung Lee (2003), "Uncoupled Analysis of Stabilizing Piles in Weathered Slopes", *Computers and Geotechnics* 30 (2003) 671-682.
- [6] Mark J. Thompson, Muhannad T. Suleiman ve David J. White, (2005), "Lateral Load Tests on Small-Diameter Piles for Slope Remediation", *Proceedings of the 2005 Mid-Continent Transportation Research Symposium*, Ames, Iowa.
- [7] D. Ghosh Roy, M.F. Bransby ve G.J. Yun (2004), "Centrifuge Investigation of The Lateral Response of Pile Groups in Sand", *Division of Civil Engineering, University of Dundee*, Paper No. 2004-MFB-01
- [8] Bransby, M.F. (1995), " Piled Foundations Adjacent to Surcharge Loads", PhD. thesis, University of Cambridge.
- [9] J.L. Pan, A.T.C. Goh, K.S. Wong ve C.I. Teh, (2000), "Model Tests on Single Piles İn Soft Clay", *Canadian Geotechnical Journal*, Aug 2000; 37,4; ProQuest Science Journals, pg 890.
- [10] Ramin Motamed ve Ikuo Towhata, (2010), "Shaking Table Model Tests on Pile Groups behind Quay Walls Subjected to Lateral Spreading", *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE*, Vol. 136, No. 3, pp. 477-489.
- [11] Chen, L.T. ve Poulos, H.G., (1997), "Piles Subjected to Lateral Soil Movements", *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE*, 123(9), 802-811.
- [12] Chen, L.T. ve Poulos, H.G., (1996), "The Behaviour of Piles Subjected to Lateral Soil Movement", *Proc., 7th ANZ Conf. On Geomech.*, 604-609.
- [13] Poulos , H.G., ve Chen, L.T., (1997), "Pile Response Due to Unsupported Excavation-Induced Lateral Soil Movement", *J. Geotech. Engrg., ASCE*, 123(2), 94-99.
- [14] Poulos HG. (1995), "Design of reinforcing piles to increase slope stability", *Canadian Geotechnical Journal* 1995; 32(5): 808–18.
- [15] Reese, L.C., Cox, W.R. ve Koop, F.D., (1974), "Analysis of Laterally Loaded Piles in Sand", *Proceeding Offshore Technology Conference*, Paper No: OTC 2080, pp. 473-48, Houston.
- [16] Brinch Hansen, J., (1961), "The Ultimate Resistance of Rigid Piles Against Transversal Forces", *Danish Geotechnical Institute Bull. No.12, Copenhagen*, p.5-9.
- [17] Prakash, S. ve Sharma, H., (1989), "Pile Foundation in Engineering Practice", *John Wiley & Sons Inc., New York*.
- [18] Reese L.C., Matlock, H., (1956), "Non-dimensional Solutions for Laterally Loaded Piles with Soil Modulus Assumed Proportional to Depth", *Proceeding 8th Texas Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Austin*, pp. 1-45
- [19] Broms, B.B, (1964), "Lateral Resistance of Piles in Cohesionless Soils", *Journal of Soil Mechanics and Foundation Engineering, ASCE*, Vol. 90, No. SM3, pp. 123-156.
- [20] Özçelik, Çiğdem, (2007), "Şevlerde Yanal Yüklü Kazıkların Laboratuvar Koşullarında Modellenmesi", *YTÜ FBE Lisans Üstü Tezi*.

