

Prefabrik Düşey Drenlerin (PDD) Boşaltma Kapasitesini Etkileyen Faktörlerin Belirlenmesi

Tayfun ŞENGÜL*
Tuncer EDİL**
Kutay ÖZAYDIN***

ÖZ

PDD'lerin performansını etkileyen önemli faktörlerden biri boşaltma kapasitesidir. Bu nedenle dört farklı özellikteki PDD türü için, uygulanan hidrolik eğim, etkiyen yanal gerilme, uygulandığı zemin cinsi, PDD'nin yapısı ve bükülmeye karşı direnci gibi faktörler dikkate alınarak, zeminin konsolidasyonu sırasında oluşan PDD'nin deformasyonu ve çekirdek bölgesinin kirlenmesinin boşaltma kapasitesi üzerine etkileri araştırılmıştır. Sonuçlar değerlendirildiğinde, düşük deformasyon seviyelerinde yüksek olan PDD'lerin boşaltma kapasitesi, bu çalışmada uygulanan en düşük ve en yüksek hidrolik eğim seviyesi aralığında (0.10-1.00) hidrolik eğimin artmasıyla önemli bir miktarda (%57'ye kadar) azalırken, yüksek deformasyon seviyelerinde daha düşük olan boşaltma kapasitesi üzerinde hidrolik eğimin etkisinin ihmal edilebilir olduğu gözlenmiştir. Zeminin konsolidasyonu sırasında farklı PDD türlerinde meydana gelen deformasyonun boşaltma kapasitesi üzerindeki etkileri incelendiğinde, %41.5 civarında deformasyon meydana geldiğinde boşaltma kapasitesinin %68-%100 arasında azalabileceği, etkiyen yanal gerilmeye bağlı olarak ise, yanal gerilmenin 25 kPa değerinden 200 kPa'ya yükselmesi durumunda boşaltma kapasitesinde yaklaşık %40 azalma olduğu belirlenmiştir. PDD'nin çekirdek bölgesinin kirlenmesi, PDD'de meydana gelen deformasyon biçimleri, PDD'nin yapısı ve bükülmeye karşı direnci gibi faktörlerin de uygulandığı zemin cinsine göre boşaltma kapasitesi üzerinde değişik derecelerde etkileri olduğu gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Prefabrik düşey dren, boşaltma kapasitesi model deney sistemi, prefabrik düşey drenlerin boşaltma kapasitesi.

ABSTRACT

Investigation of Factors Affecting Discharge Capacity of Prefabricated Vertical Drains

An important factor affecting the performance of PVDs is their discharge capacity. The effect of factors such as, the hydraulic gradient, lateral stresses on a PVD, the type of soil in

Not: Bu yazı

- Yayın Kurulu'na 07.03.2013 günü ulaşmıştır.
- 31 Aralık 2013 gününe kadar tartışmaya açıktır.

* Dumlupınar Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kütahya - tsengul@dpu.edu.tr

** University of Wisconsin-Madison, Civil and Env. Engineering, Madison - edil@engr.wisc.edu

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

which PVDs are placed, the structure of PVDs and their flexural stiffness were investigated. Four different types of PVDs were used to investigate the effects of PVD deformation during the consolidation of soil and clogging of the core area on the discharge capacity of PVDs. The discharge capacity of PVDs, which is large at low deformations, decreases significantly (up to 57%) within the range of hydraulic gradients applied in this study (0.10 to 1.00). At large deformations, PVDs have a lower discharge capacity although the change in hydraulic gradient has a negligible effect on them. On the other hand, experimental observations have shown that the deformations occurring during consolidation of soils have an important effect on the discharge capacity of PVDs. For the type of PVDs used, the discharge capacity decreases by 68% to 100% when PVDs deform by 41.5%. Furthermore, a 40% decrease in discharge capacity is observed when lateral stress is increased from 25 kPa to 200 kPa. Clogging of the core zone, shapes of deformation, structure of PVD, and resistance against buckling have varying effects on the discharge capacity of PVDs depending on the soil type.

Keywords: Prefabricated vertical drain, model testing system for discharge capacity, discharge capacity of prefabricated vertical drains.

1. GİRİŞ

Boşaltma kapasitesi, Prefabrik Düşey Drenler'in (PDD) performansı için en önemli parametredir. Büyük konsolidasyon oturmalarından dolayı PDD'de meydana gelen deformasyonlar sonucunda PDD'nin boşaltma kapasitesi önemli bir miktarda veya büyük oranda azalabilir. Prefabrik düşey drenler'in boşaltma kapasitesinin, zemin içerisinde deforme olmasıyla azalmasından dolayı, genellikle hem düz hem de deforme edilmiş drenler için ölçülmesi gerekmektedir. ASTM D4716 standardı [1], sık sık referans gösterilmesine rağmen, düşey drenlerin boşaltma kapasitesini ölçmek için standart bir yöntem henüz belirlenmemiştir. Bu standart özellikle prefabrik düşey drenlerin boşaltma kapasitesini belirlemek için değil geosentetiklerin geçirgenliğini belirlemeye yöneliktir [2]. Bu nedenle düşey drenlerin boşaltma kapasitesini ölçmek için çeşitli cihazlar ve yöntemler geliştirilmiştir [3, 4, 5, 6, 7].

PDD'nin deformasyonunun boşaltma kapasitesi üzerine etkisinin belirlendiği araştırmalarda iki yöntem benimsenmiştir. Birinci yöntemde PDD bükülerek PDD'de meydana geleceği tahmin edilen deformasyon biçimi oluşturulmaktadır. Daha sonra deforme edilmiş PDD'yi yanal olarak sınırlandırmak için membran veya zemin içerisine yerleştirilerek boşaltma kapasitesi deneyi yapılmaktadır. İkinci yöntemde, PDD zemin içerisine yerleştirilerek konsolidasyon oturmalarıyla doğal bir şekilde deformasyon yapması sağlanarak, zemin içerisinde bulunan deforme edilmiş PDD'nin boşaltma kapasitesi ölçülmektedir.

Lee ve Kang [8], tarafından yürütülen araştırmalarda zemin içerisine yerleştirilen drenin boşaltma kapasitesinin, membran içerisinde deforme edilmiş drenin boşaltma kapasitesinden %30 daha küçük olabileceği belirtilmiştir. Zemin kullanıldığında dren boşaltma kapasitesinin daha küçük ölçülmesinin başlıca nedeni, dren çekirdek bölgesinin etrafını saran geotekstil filtrenin, drenin çekirdek bölgesindeki kanallara girerek daraltması ve dren filtresindeki gözeneklerin zeminle tıkanmasıdır. Membranla sarılmış drende, dren filtresinin daha az deforme olmasından dolayı, geotekstil filtrenin drenin çekirdek bölgesindeki kanalları daraltmasının daha az olacağı belirtilmiştir. Bu bakımdan ASTM

D4716 standardında tavsiye edilen test cihazı dren boşaltma kapasitesinin ölçülmesi için uygun değildir [2].

Birinci yöntemde PDD üzerinde yapay bir deformasyon etkilidir. Genel arazi şartlarına benzemediğinden boşaltma kapasitesi daha yüksek belirlenebilir. Fakat bu yöntemle hızlı bir şekilde deneysel sonuçlara ulaşılabilir. İkinci yöntemde boşaltma kapasitesinin belirlenmesi uzun zaman almasına rağmen arazi şartları daha iyi temsil edilmektedir.

Birçok araştırmacının, düşey şekil değiştirmenin %15'den büyük olması durumunda boşaltma kapasitesinin önemli bir miktarda azaldığını kabul etmesine rağmen, PDD'nin arazi koşullarında deforme olmasının boşaltma kapasitesi üzerine etkisi hakkında literatürde tutarsız açıklamalar bulunmaktadır. Sasaki [9] ve Hansbo [3], büyük boyutlu laboratuvar deneylerinde %15 düşey şekil değiştirmeye PDD'nin katlanmasının boşaltma kapasitesi üzerinde etkisi olmadığını belirtmişlerdir. Benzer bir şekilde Miura vd. [10], %20 düşey şekil değiştirmeye kadar PDD'nin katlanmasının boşaltma kapasitesini etkilemediğini rapor etmişlerdir. Buna karşın Kremer vd. [11], Kremer [12], büyük şekil değiştirmelerden dolayı PDD'nin katlanmasının boşaltma kapasitesini büyük oranda azaltabileceğini ve %15'den daha büyük düşey şekil değiştirme olduğunda boşaltma kapasitesindeki azalmanın dikkate alınması gerektiğini belirtmişlerdir.

Ali [13], 0.5 m genişliğinde ve yüksekliğinde bir konsolidasyon hücresinde kaolin zemini kullanarak konsolidasyon oturmalarından dolayı doğal bir şekilde deformasyona uğramış PDD'nin boşaltma kapasitesini araştırmıştır. Bu çalışmada hidrolik eğimin 0.50, düşey gerilmenin 120 kPa, göreceli sıkışmanın %30'un altında olması durumunda PDD'nin rijitliğine bağlı olarak boşaltma kapasitesinin %47-99 arasında önemli miktarda azaldığı belirlenmiştir. Chu vd. [14], 495 mm çapında bir konsolidasyon hücresi kullanarak, 110 kPa düşey gerilme altında çok yumuşak bir zemin içerisindeki PDD'nin boşaltma kapasitesini araştırmışlardır. Konsolidasyon aşamasının sonunda %46 düşey şekil değiştirme meydana geldiğinde, PDD'nin boşaltma kapasitesinde %84 oranında azalma olduğunu belirtmişlerdir. Bu çalışmada boşaltma kapasitesi sabit seviyeli metodla hidrolik eğimin 0.50 olması durumu için ölçülmüştür.

Literatürde bulunan çalışmalara ilave olarak bu araştırma kapsamında, PDD'nin boşaltma kapasitesi üzerinde etkili olduğu düşünülen birçok faktörün etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu nedenle dört farklı özellikteki PDD türü için, uygulanan hidrolik eğim, etkileyen yanıl gerilme ve uygulandığı zemin cinsi ile, PDD'nin yapısı ve bükülmeye karşı direnci gibi faktörler dikkate alınarak, zeminin konsolidasyonu sırasında oluşan PDD'nin deformasyonu ve çekirdek bölgesinin kirlenmesinin boşaltma kapasitesi üzerine etkileri Wisconsin-Madison Üniversitesi'nde tasarlanmış [15] olan büyük boyutlu "boşaltma kapasitesi model deney sistemi" kullanılarak araştırılmıştır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Malzeme Özelliklerinin Belirlenmesi

Bu deneysel çalışmada, daha önce arazide PDD'ler kullanılarak ön yüklemeli zemin iyileştirme yönteminin uygulandığı, Craney Adası çökelleri (CAÇ) Craney Adası, Virjinya'dan temin edilmiş örnekler, doğal su muhtevası korunarak model deney sisteminde kullanılmıştır. Craney Adası çökelleri çok geniş bir alana yayılmış bulunmaktadır. Bu nedenle literatürde Craney Adası zeminlerinin kullanıldığı

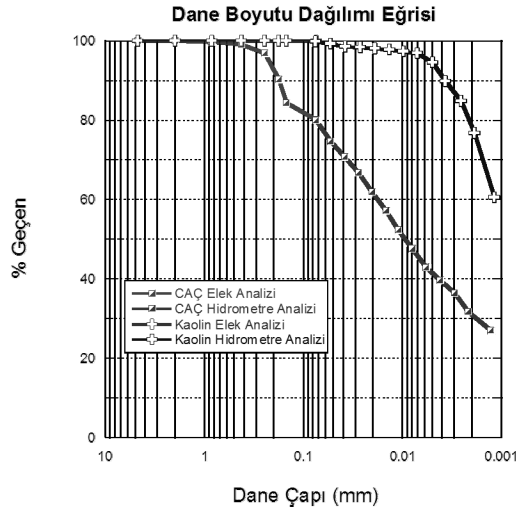
araştırmalarda belirlenen fiziksel özellikler arasında farklılıklar görülmektedir. Bu çalışmada kullanılan zemin güney Craney Adası çökelleri bölgesinin güney batısından yüzeye yakın bölgeden temin edilmiştir.

Ayrıca ön yüklemeli zemin iyileştirme yönteminin uygulandığı projelerde PDD'nin performansını etkileyen faktörlerden, PDD'nin boşaltma kapasitesindeki değişimin farklı zemin türleri için belirlenmesi amacıyla kaolin kili temin edilmiştir. Bu kaolin kilinden, yaklaşık olarak likit limit değerinin 2 katı olacak şekilde saf suyla karıştırılarak elde edilen zemin bulamacı deneylerde kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan zeminlerin bazı mühendislik özellikleri Çizelge 1'de ve dane boyutu dağılımı Şekil 1'de sunulmuştur.

Çizelge 1. Zeminlerin mühendislik özellikleri

Zemin Türü	4 Nolu Elekten Geçen %	200 Nolu Elekten Geçen %	Kil Yüzdesi %	$w_{doğal}$	LL	PL	PI	G_s	Zemin Sınıfı
CAÇ	100	80	32	100	51	30	21	2.70	MH
Kaolin	100	100	78	-	51	26	25	2.60	CH

Elde edilen bu sonuçlara göre Craney Adası çökellerinin yaklaşık %20 oranında kum, %32 oranında kil zeminden oluştuğu ayrıca %0.5 civarında organik madde içerdiği, birleştirilmiş zemin sınıflandırma sistemine (USCS) göre yüksek plastisiteli inorganik siltler ve killi siltler grubunda olduğu belirlenmiştir. Kaolin kilinin ise %78 oranında kil içerdiği, birleştirilmiş zemin sınıflandırma sistemine (USCS) göre yüksek plastisiteli inorganik killer ve siltli killer grubunda olduğu belirlenmiştir.



Şekil 1. Craney Adası çökelleri ve kaolin kili için dane boyutu dağılımı eğrisi

Bu deneysel çalışmada kullanılan PDD'lerin üreticileri tarafından belirtilen bazı özellikleri Çizelge 2'de gösterilmektedir.

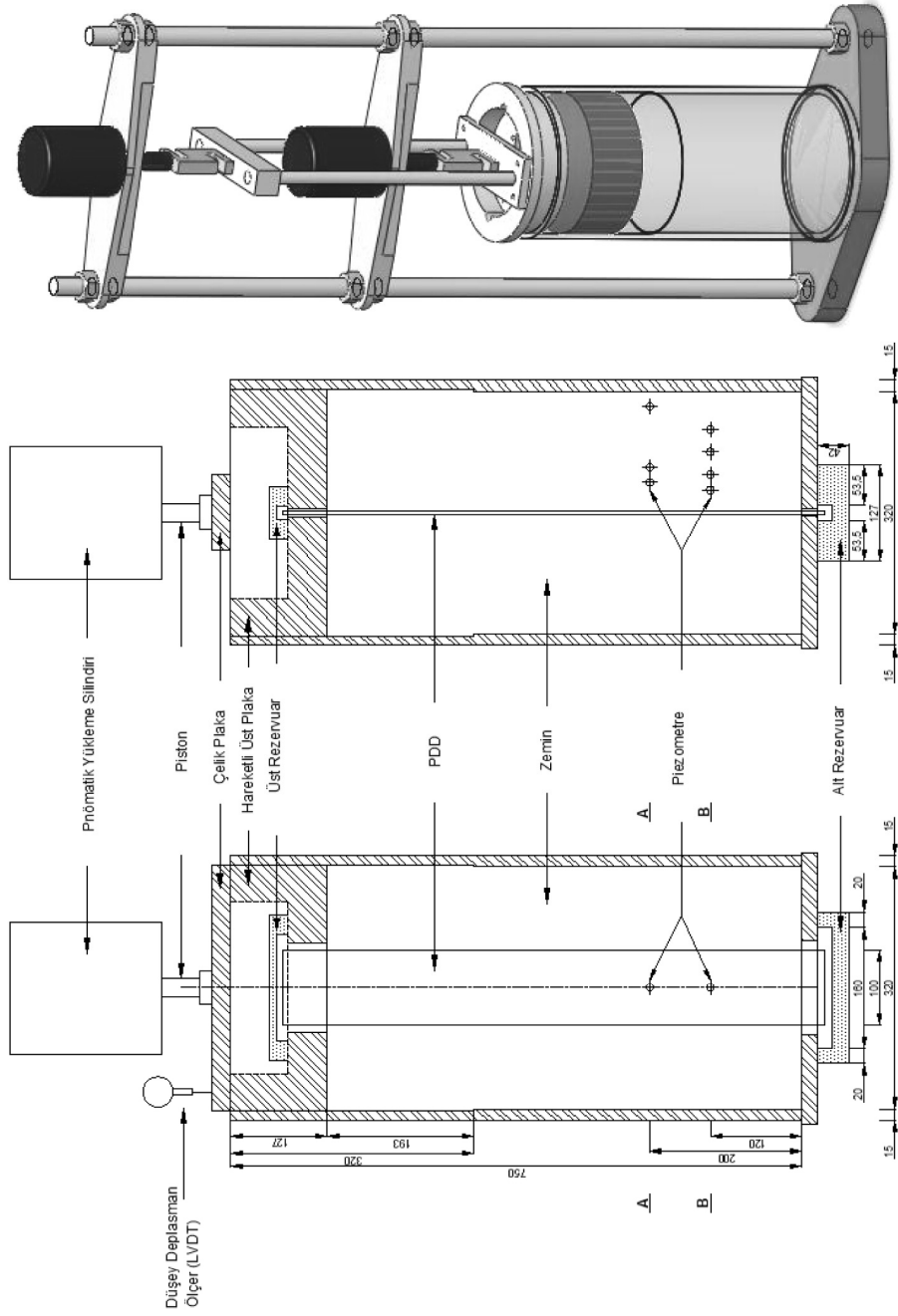
Çizelge 2. PDD türlerinin üreticileri tarafından belirtilen özellikleri

PDD									
PDD Türü	Boyut		Filtre Geotekstil Özellikleri			Çekirdek		Boşaltma Kapasitesi	
	Kalınlık	Genişlik	Gözenek Açıklığı (O ₉₅)	Dielektrik Sabiti (Permittivity)	k	Malzeme	Şekil	Düz ASTM D-4716	Bükülmüş ASTM D-4716
	mm	mm	µm	s ⁻¹	m/s	-	-	10 ⁻⁶ m ³ /s	
<i>Alidrain</i>	5.5	96	<75	-	15x10 ⁻⁴	Polietilen	Çivili	>2.4	>2.4
<i>Colbond CX 1000</i>	5.0	100	<75	1.7	15x10 ⁻⁴	Polipropilen	Lifli	90	80
<i>Amerdrain 407</i>	3.2	102	210	0.8	3x10 ⁻⁴	Polipropilen	Oluklu	100	-
<i>Mebra Dren 7407</i>	3.6	100	140	0.5	-	Polipropilen	Sürekli Kanallı	134	111

2.2 Model Deneysel Sistemi

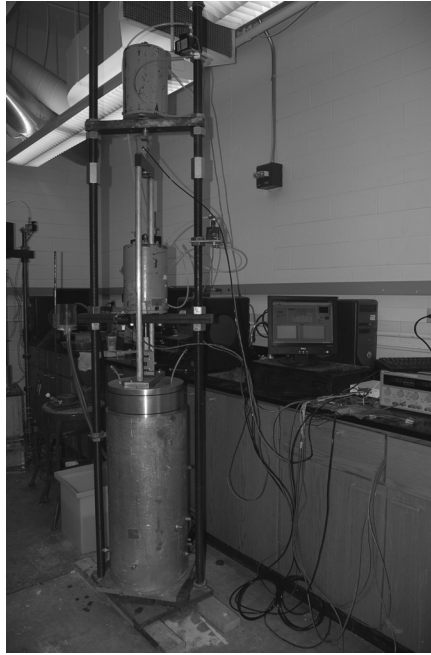
Silindirik olarak tasarlanan büyük boyutlu konsolidasyon deney sisteminin şematik görünümü Şekil 2'de ve bu model deney sisteminin fotoğrafı Şekil 3'de gösterilmektedir. Bu model deney sisteminin öncelikli amacı değişik gerilmeler altında konsolide olan zemin içerisindeki prefabrik düşey drende meydana gelecek deformasyonlar sonucu, boşaltma kapasitesindeki azalmayı bulmaya yöneliktir [15].

Şekillerde gösterilen büyük boyutlu bu deney sisteminin yüksekliği 750 mm ve iç çapı 320 mm'dir. Deney sistemindeki tüm parçalar paslanmaz çelikten sadece üst ve alt su toplama kanalları sert plastik malzemeden imal edilmiştir. Silindirin üst kısmında konsolidasyon sırasında yükün uygulandığı, 320 mm hareket edebilen rijit bir plaka bulunmaktadır. Bu rijit plakanın kalınlığı 127 mm olarak tasarlanarak konsolidasyon sırasında silindirik hücre içerisinde dönmesi engellenmiştir. Hareketli rijit plakanın merkezinde, PDD'nin zemin içerisine yerleştirilmesinde kullanılan mandrelin geçebileceği boyutlarda (138 x 10.7mm) bir boşluk bulunmaktadır. Deney sırasında zemin üzerine uygulanan yük, eş zamanlı çalışabilen yükleme kontrollü iki farklı pnömatik yükleme silindiri vasıtasıyla sağlanmaktadır. Pnömatik silindireler üst hareketli rijit plaka arasına yerleştirilen iki farklı kuvvet ölçer (Load Cell) ile pnömatik silindirelerden zemine aktarılan toplam yük kontrol edilebilmektedir. Deney sırasında zemindeki eksenel şekil değiştirmeleri ölçmeye yarayan bir adet deplasman ölçer (LVDT) ise pnömatik silindirin bağlı olduğu rijit çelik plaka ile hareketli rijit plakaya yük aktaran çelik bar arasında bağlı bulunmaktadır.



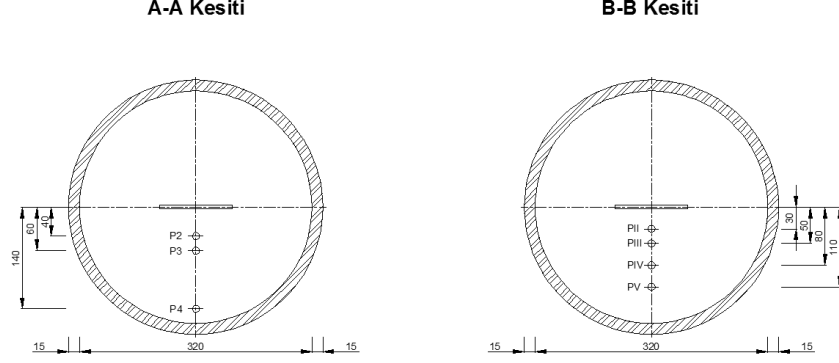
Şekil 2. Büyük boyutlu model deney sisteminin şematik görünümü (Geo. Lab. CEE. UWM)

Konsolidasyon sırasında zemin suyunun sadece yanal doğrultuda olmak üzere prefabrik düşey drenen geçerek hareket etmesini sağlamak amacıyla zeminle alt ve üst rijit plakalar arasına geçirimsiz bir membran yerleştirilmektedir. Prefabrik düşey dren içerisinde hareket eden zemin suyu, alt ve üst rijit plakalara monte edilebilen plastik iki su toplama hücreinde toplanmaktadır. Bu şekilde istenildiği takdirde silindirik deney hücresinin alt kısmında bulunan rijit plakaya bağlı su toplama kanalında drenaja izin verilmemekte, böylece zemin içerisindeki su sadece radyal doğrultuda hareket edip PDD'den geçerek üst su toplama hücreinde toplanmaktadır.



Şekil 3. Büyük boyutlu model deney sistemi (Geo. Lab. CEE. UWM)

Silindirik deney hücresinin çeperinde değişik noktalarda ve yüksekliklerde ($h=12-20$ cm) zemin içerisinde oluşan boşluk suyu basıncı ölçmek için açılmış kanallar bulunmaktadır. Bu kanallara boşluk suyu basıncı ölçerler yerleştirilerek deney süresince boşluk suyu basıncı değişimi yatay ve düşey doğrultuda belirlenebilmektedir. Deney hücreesindeki zemin içerisinde boşluk suyu basıncı ölçümünün yapıldığı noktaların konumları şematik olarak Şekil 4'de gösterilmektedir. Ayrıca yukarıda bahsedilen tüm data ölçerlerden alınan veriyi bilgisayara aktarmak için Labview isimli bir bilgisayar yazılımı kullanılmıştır.



Şekil 4. Büyük boyutlu model deney sisteminde boşluk suyu basıncı ölçüm noktalarının şematik görünümü

2.3 Deney Numunesinin Hazırlanması

Bu deneysel çalışmada kaolin kilinden hazırlanan örnek için, zemin su muhtevası likit limit değerinin yaklaşık 2 katı olacak şekilde havası alınmış saf su ile karıştırılarak bulamaç haline getirilmiştir. Hazırlanan numune, yaklaşık olarak 1 hafta süreyle su muhtevası kaybolmayacak şekilde bir kapta bekletilerek ve zaman zaman mikserle karıştırılarak danelerin segregasyonu önlenerek, homojen hale gelmesi sağlanmıştır. Bulamaç halindeki numuneler, deney sistemine yerleştirilmeden önce yaklaşık 30 dakika karıştırılarak deneye hazır hale getirilmiştir.

Silindirik model deney sisteminde çok yumuşak bir zeminin konsolidasyonu sırasında hacim değişiminin çok fazla olacağı ve aynı zamanda üst rijit plakanın hareket bölgesinin de sınırlı olduğu göz önünde bulundurularak, su muhtevasının likit limit değerinin yaklaşık iki katı seçilmesinin uygun olduğu belirlenmiştir.

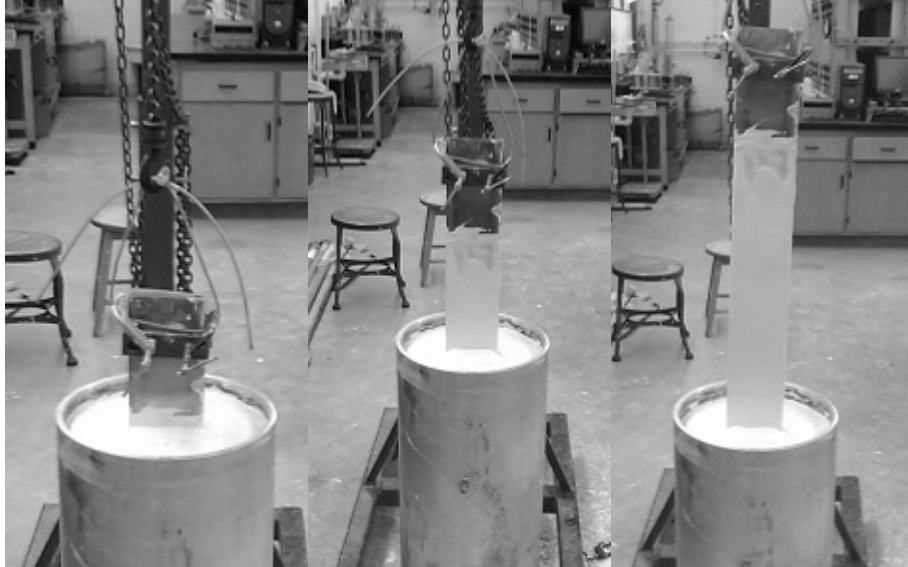
Ayrıca farklı zemin türlerinde kullanılan PDD'lerin aynı konsolidasyon gerilmeleri etkisinde boşaltma kapasitelerindeki değişimi belirlemek için, daha önce arazide PDD'ler kullanılarak yapılan ön yüklemeli zemin iyileştirme yönteminin uygulandığı, Craney Adası çökelleri temin edilmiş ve doğal su muhtevası korunarak model deney sisteminde kullanılmıştır.

2.4 Deney Yöntemi

Prefabrik düşey dren zeminle temas etmeyecek bir şekilde mandrel içerisine yerleştirildikten sonra, alt ucu silindirik hücrenin taban plakasındaki açıklıktan bu plakanın altında bulunan alt su toplama kanalına yerleştirilmiştir. Daha sonra mandrel büyük boyutlu model deney sisteminin merkezine yerleştirilerek sabitlenmiştir. Hazırlanan deney numunesi deney hücrelerini 5-6 eşit parçaya dolduracak şekilde yerleştirilmiştir. Her eşit yükseklikte zemin deney hücrelerine yerleştirildikten sonra bir vibrasyon makinası kullanılarak zemin içerisinde mümkün olduğunca az miktarda hava kalması sağlanmıştır. Ayrıca her bir zemin seviyesi için su muhtevası örneği alınmıştır. Zemin hücre içerisine

yerleştirilmeden önce hücrenin alt kısmı, tamamen yerleştirildikten sonra da bu zemin numunesinin üzeri geçirimsiz bir geomembranla kapatılmıştır. Geomembran'ın kullanılmasındaki amaç, zemin suyunun dūřey doğrultuda hareket etmesi engellenerek zemin suyu hareketinin prefabrik dūřey drene doğru olmasını sağlamak içindir. Prefabrik dūřey drenin, geomembran'ın merkezinden geçtiği noktada sızıntı olması durumunda silindirik hücrenin alt ve üstünde bulunan su toplama kanallarının zeminle dolmasını engellemek amacıyla da geomembran'ın üzeri geçirimli bir geotekstil ile kapatılmıştır.

Daha sonra mandrel silindirik hücrenin merkezinden uzaklařmayacak bir şekilde sabit hızla yukarıya dođru çekilerek mandrel içerisindeki prefabrik dūřey drenin deformasyon yapmadan zeminin merkezinde kalması sađlanmıřtır. Silindirik model deneyde prefabrik dūřey drenin zemine yerleřtirilmesi yöntemi Őekil 5'de gösterilmektedir. Bu işlemden sonra hareketli üst plaka kapatılarak prefabrik dūřey drenin üst ucu hareketli üst plakanın üstünde bulunan üst su toplama kanalına yerleřtirilmiřtir.



Şekil 5. Silindirik büyük boyutlu model deneyde PDD'nin zemine yerleştirilmesi yöntemi

Deney sistemi konsolidasyon için hazır hale getirildikten sonra 25, 50, 100, 200, 400 veya 500 kPa dūřey gerilme altında zemin kademeli olarak konsolide edilmiştir. Her yük kademesinde konsolidasyonun tamamlandığı belirlendikten sonra diğer bir yük kademesine geçmeden önce değişik hidrolik eğimlerde (0.1-0.25-0.50-0.75-1.0) boşaltma kapasitesi deneyi yapılarak, her yük kademesinde zeminde dolayısıyla prefabrik dūřey drende meydana gelen deformasyon sonucu drenin boşaltma kapasitesindeki azalma miktarı belirlenmiştir.

Ayrıca her yük kademesi için konsolidasyon aşamasında deney hücresinin yan çeperinden zemin içerisine yerleştirilen boşluk suyu basıncı ölçerler yardımıyla boşluk suyu basıncının değişimi, hareketli üst plakaya bağlanan bir adet deformasyon ölçer (LVDT) yardımıyla da konsolidasyon sırasında zeminde meydana gelen dūřey şekil değiştirmeler belirlenmiştir.

Deney sonunda zemin deney hücresinden çıkarılmadan önce, değişik numune derinliklerinde ve prefabrik düşey drenen yatay ve düşey doğrultuda değişik uzaklıklarda, su muhtevası ve veyn deney aleti kullanılarak drenajsız kayma dayanımı belirlenmiştir. PDD'den yatay ve düşey doğrultuda değişik uzaklıklarda drenajsız kayma dayanımının belirlendiği noktalar Şekil 6'da gösterilmektedir.

Yukarıda bahsedilen deney prosedürü sıvanma etkisi olmayan deneyler için düzenlenmiştir. Ayrıca bu deneylerde iki farklı zemin türü (Kaolin ve Craney Adası Zemini) ve dört farklı prefabrik düşey dren (Colbond CX1000, Mebra Dren 7407, Alidrain, Amerdrain 407) kullanılmıştır. Böylece değişik prefabrik düşey drenlerin maruz kaldıkları düşey deformasyona karşılık boşaltma kapasitelerindeki azalma miktarları belirlenmiştir.



Şekil 6. PDD'den yatay ve düşey doğrultuda değişik uzaklıklarda drenajsız kayma dayanımının belirlendiği noktalar

3. BOŞALTMA KAPASİTESİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER

3.1 Hidrolik Eğim

Belirli bir hidrolik eğim etkisiyle PDD'nin çekirdek bölgesi boyunca aksenal yönde birim zamanda taşınabilen suyun hacmi boşaltma kapasitesi (q_w) olarak adlandırılmaktadır [3].

$$q_w = \frac{Q}{i} \quad (1)$$

$Q =$ Birim zamanda PDD'den çıkan su hacmi, (m^3/s)

$i =$ Hidrolik Eğim

Bo vd. [16], yapılan birçok çalışmayı göz önünde bulundurarak hidrolik eğimin boşaltma kapasitesi ölçümlerini etkileyebileceğini bu nedenle boşaltma kapasitesi belirlenirken PDD'nin arazideki hidrolik eğiminin göz önünde bulundurulması gerektiğini belirtmişlerdir. Buna rağmen arazide PDD içinde hidrolik eğimin belirlenmesi veya tahmin edilmesi oldukça zordur. Bu nedenle boşaltma kapasitesinin belirlenmesinde hidrolik eğim

değerinin 0.50 alınması gerektiğini tavsiye etmişlerdir. Buna karşın Holtz vd. [17], hidrolik eğimin boşaltma kapasitesini önemli bir derecede etkilemediği sonucuna varmışlardır.

Literatürde bulunan birbiriyle çelişen açıklamalardan dolayı bu deneysel çalışmada zemin içerisinde bulunan ve farklı deformasyonlara maruz kalmış PDD'nin boşaltma kapasitesi farklı hidrolik eğimler altında (0.10-0.25-0.50-0.75-1.00) belirlenmiştir. Farklı PDD türleri için farklı hidrolik eğimlerde boşaltma kapasitesinin değişimi Şekil 7'de gösterilmektedir.

Şekil 7'de görüldüğü gibi farklı zemin türlerinde kullanılan ve farklı deformasyonlara maruz kalmış PDD türlerinin boşaltma kapasitesi, hidrolik eğimin artmasıyla azalmaktadır.

PDD'nin boşaltma kapasitesinin $10 \times 10^{-6} (m^3/s)$ 'den büyük olduğu düşük deformasyon seviyelerinde, hidrolik eğim bu deneysel çalışmada kullanılan en büyük değerine (1.0) ulaştığında, boşaltma kapasitesi yaklaşık %50 oranında azalmaktadır. Buna karşın boşaltma kapasitesinin $10 \times 10^{-6} (m^3/s)$ 'den küçük olduğu yüksek deformasyon seviyelerinde, PDD'nin boşaltma kapasitesi hidrolik eğim değişiminden etkilenmemektedir.

Genel olarak düşük deformasyon seviyelerinde yüksek boşaltma kapasitesine sahip PDD'nin boşaltma kapasitesi hidrolik eğimin artmasıyla azalırken, yüksek deformasyon seviyelerinde düşük boşaltma kapasitesine sahip PDD de boşaltma kapasitesi üzerinde hidrolik eğimin etkisi iyice azalmaktadır.

3.2 Eksenel Şekil Değiştirme Yüzdesi

Farklı düşey gerilmeler altında konsolide edilen zeminde meydana gelen eksenel şekil değiştirmelerin bir fonksiyonu olarak PDD'de meydana gelen deformasyonlar sonucu boşaltma kapasitesinde ortaya çıkan değişim deneysel olarak belirlenmiştir.

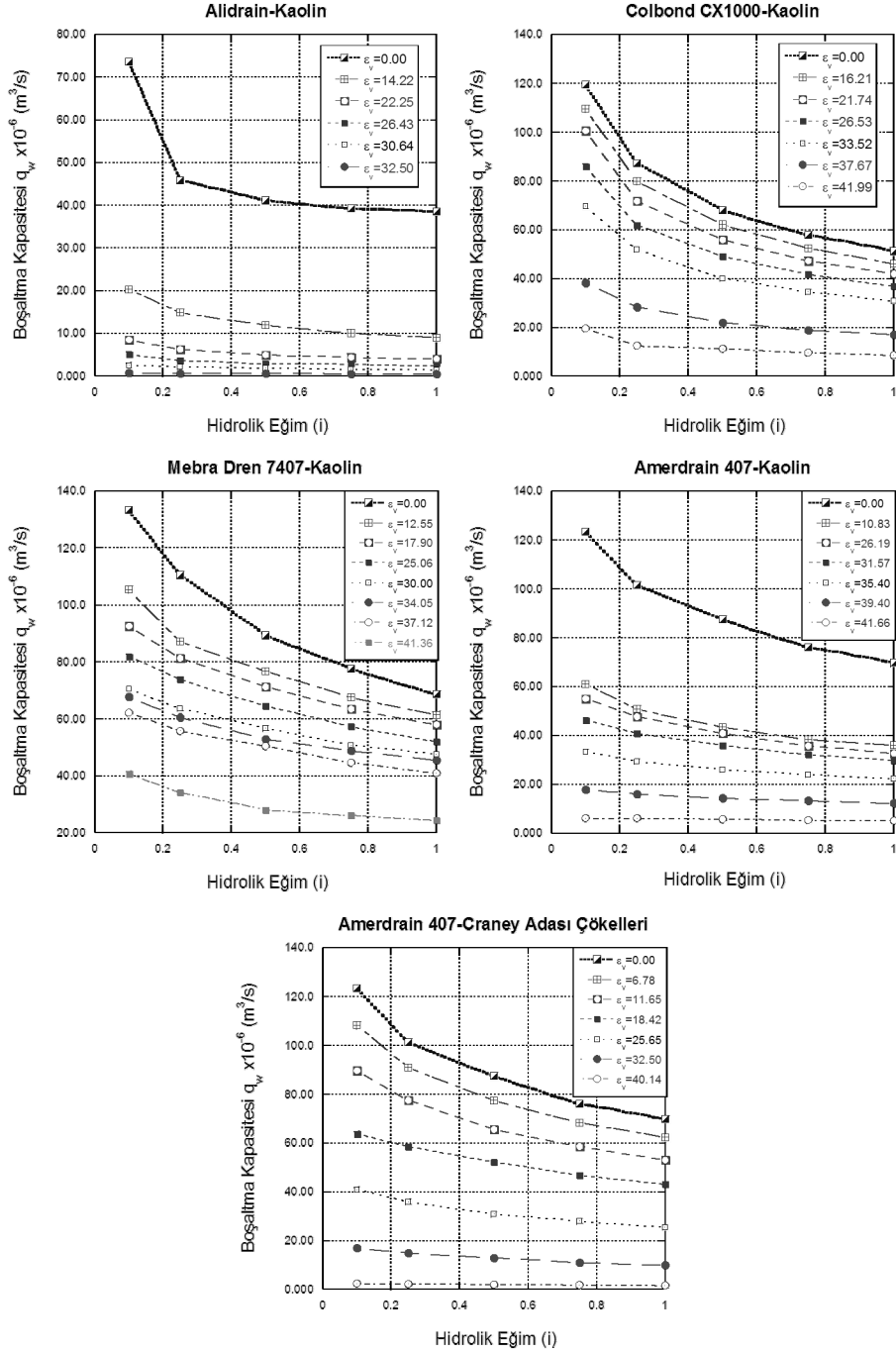
Değişik yük kademelerinde zeminde meydana gelen eksenel şekil değiştirmeler aşağıda belirtilen bağıntıdan hesaplanmıştır.

$$\% \varepsilon_v = \frac{\text{Düşey Deplasman}}{\text{Başlangıç Zemin Yüksekliği}} \times 100 \quad (2)$$

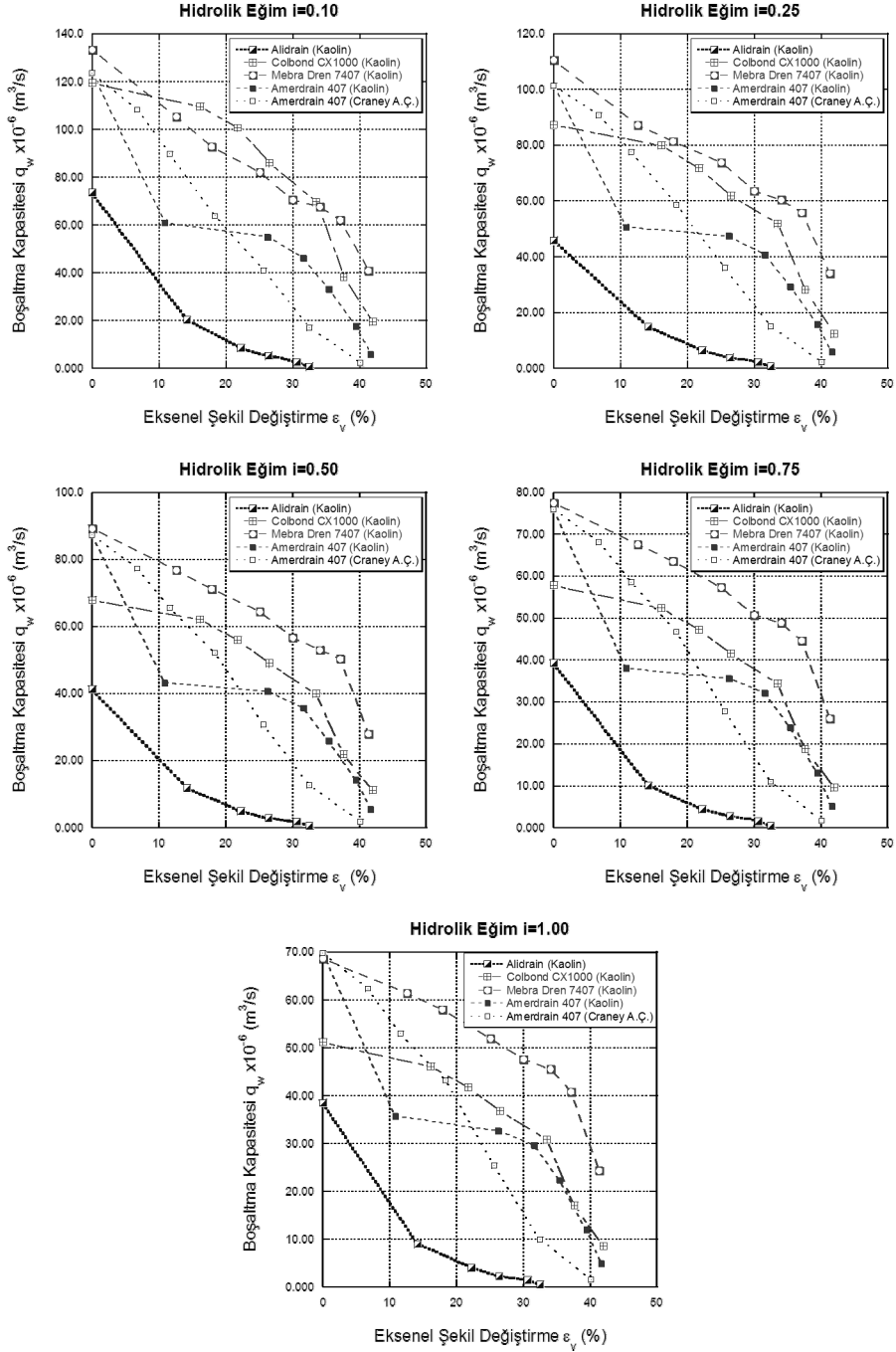
Kaolin kilinden likit limit değerinin yaklaşık iki katı su muhtevasında hazırlanan zemin bulamacına yerleştirilen dört farklı PDD türü için, zeminin farklı düşey gerilmeler altında (25-50-100-200-500 kPa) konsolide edilmesinden sonra meydana gelen eksenel şekil değiştirmelere bağlı olarak PDD'de oluşan deformasyon seviyelerinde ve farklı hidrolik eğimlerin etkisinde, boşaltma kapasitesi belirlenmiştir. Ayrıca farklı zemin tiplerinde kullanılan PDD'lerin aynı deformasyon seviyelerinde olmasına rağmen boşaltma kapasitesinin ne şekilde değişeceğinin belirlenmesi amacıyla, Craney Adası çökellerinde uygulanan Amerdrain 407 için farklı hidrolik eğimlerde boşaltma kapasitesi deneyleri yapılmıştır. Bu deney sonuçları Şekil 8'de gösterilmektedir.

Bu deneysel sonuçlardan gözlenebileceği üzere, daha önce de belirtildiği gibi hidrolik eğimin artmasıyla PDD'lerin boşaltma kapasitesi önemli ölçüde azalabilmektedir. Ayrıca PDD'lerin boşaltma kapasitesinin düşey deformasyon seviyesi arttıkça önemli oranda azaldığı gözlenmektedir. Hidrolik eğim etkisini göz ardı etmek için Şekil 8'de hidrolik eğimin 0.50 olduğu deney sonuçları dikkate alınrsa, aynı zemin türünde kullanılan dört

Prefabrik Düşey Drenlerin (PDD) Boşaltma Kapasitesini Etkileyen ...



Şekil 7. Farklı PDD türleri için, drendeki deformasyona ve hidrolik eğime bağlı olarak PDD'nin boşaltma kapasitesinin değişimi



Şekil 8. Farklı PDD türleri için, zeminin konsolidasyonu sırasında PDD’de meydana gelen eksenel şekil değişirme yüzdesine bağlı olarak boşaltma kapasitesinin değişimi

farklı PDD türünden Mebra Dren 7407'nin boşaltma kapasitesinin tüm deformasyon seviyelerinde diğer dren çeşitlerine göre önemli bir miktarda yüksek olduğu, Mebra Dren 7407'nin, %41.5 oranında deformasyona uğraması durumunda %69 oranında azalmasına rağmen, boşaltma kapasitesinin $28 \times 10^{-6} (m^3/s)$ olduğu belirlenmiştir.

Yine aynı şekilde Alidrain için sonuçlar incelenirse, drenin başlangıçta hiçbir deformasyona uğramamasına rağmen boşaltma kapasitesinin diğer drenlere göre önemli oranda düşük olduğu görülebilir. Yine bu drenin %15 oranında deformasyona maruz kalması durumunda %75 oranında, %33 oranında deformasyona maruz kalması durumunda ise yaklaşık olarak %100 oranında boşaltma kapasitesini yitirdiği belirlenmiştir.

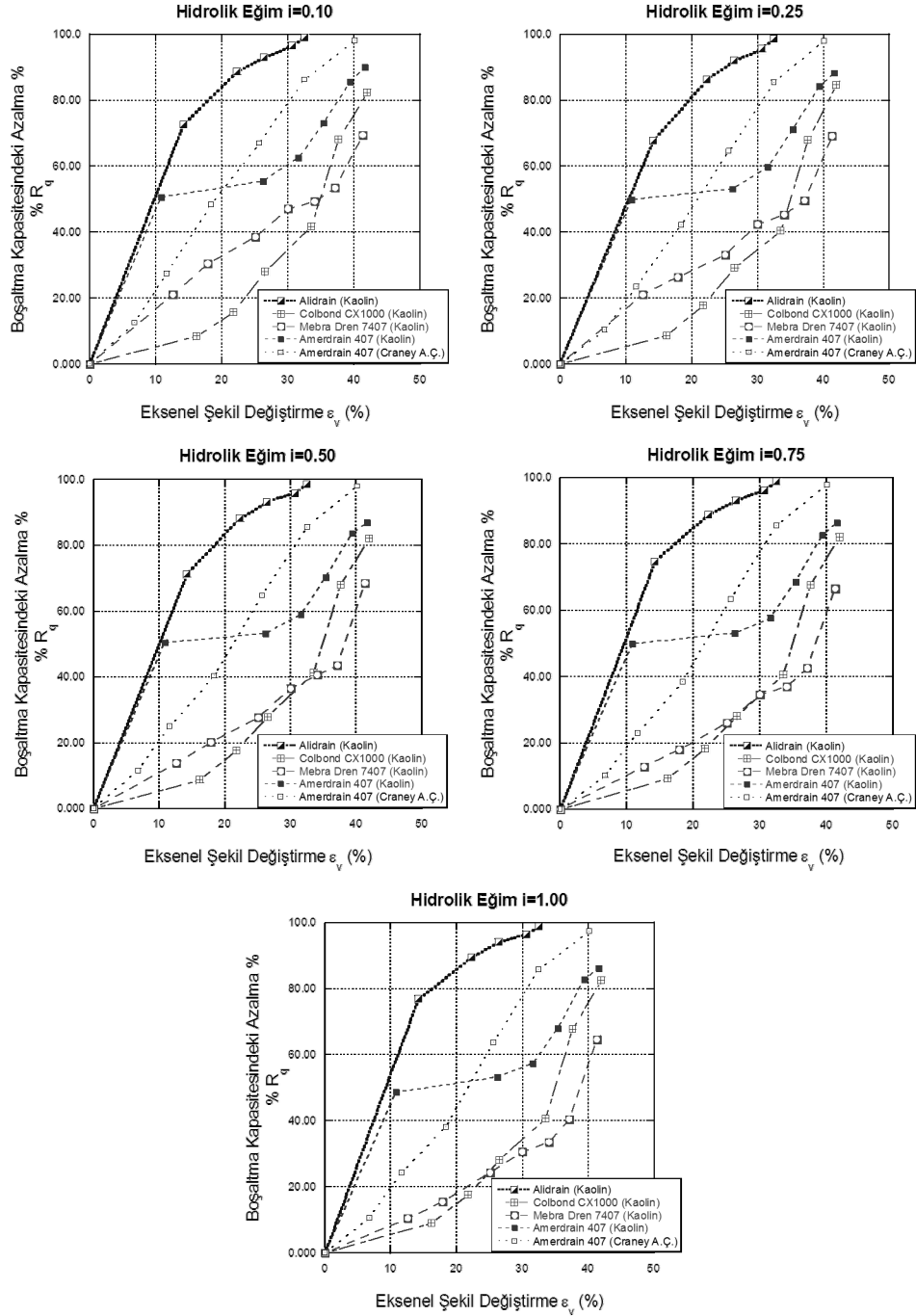
Colbond CX 1000 türü PDD'nin başlangıç boşaltma kapasitesinin bir miktar düşük olmasına rağmen bu dren modelinde diğerlerinden farklı olarak dren çekirdek bölgesini oluşturan lifli yapı sayesinde konsolidasyon aşamasında meydana gelen deformasyonlara daha iyi uyum sağladığı bu nedenle boşaltma kapasitesindeki azalma miktarının daha az olduğu, buna karşın yaklaşık % 33 den büyük deformasyon seviyelerinde boşaltma kapasitesinin hızlı bir şekilde düştüğü belirlenmiştir.

Farklı zemin türlerinde kullanılan PDD'lerin boşaltma kapasitesinin değişiminin belirlenmesi amacıyla Amerdrain 407 iki farklı zemin tipinde kullanılarak boşaltma kapasitesinin değişimi belirlenmiştir. Bu deney sonuçlarından Craney Adası çökellerinde kullanılan Amerdrain 407 için boşaltma kapasitesinin değişimi, zemin türünün etkisi bölümünde detaylı olarak incelenecektir. Kaolin kilinde kullanılan Amerdrain 407 için sonuçlar değerlendirildiğinde ise başlangıç boşaltma kapasitesinin Mebra Dren 7407 ile yaklaşık olarak aynı olmasına rağmen konsolidasyon aşamasının başlangıcında boşaltma kapasitesinin önemli bir miktarda azaldığı görülmektedir. Bu boşaltma kapasitesindeki azalmanın deformasyondan bağımsız dren çekirdek bölgesinin ani şekilde kirlenmesi veya tıkanması etkisinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu nedenle Amerdrain 407'de dren çekirdek bölgesinin etrafını saran geotekstil malzemenin kaolin kili gibi ince daneli ve çok yüksek su muhtevasına sahip zeminlerde kullanılması durumunda kirlenme veya tıkanma etkisine karşı yeterli olmadığı düşünülmektedir. Boşaltma kapasitesindeki bu ani azalmanın deformasyondan kaynaklanmadığının bir göstergesi olarak yüksek deformasyon seviyelerinde PDD'nin boşaltma kapasitesindeki azalmanın küçük olması gösterilebilir. Amerdrain 407 ve Mebra dren 7407'nin dren çekirdek bölgesi malzemesi ve dren kanallarının şekli bakımından yakın benzerlik göstermesi, bu iki drenin deformasyonlara karşı aynı davranışı göstermesi sonucunu doğurmaktadır.

Yukarıda belirtilen PDD türleri için zemindeki eksenel şekil değiştirmelere bağlı olarak boşaltma kapasitesindeki azalma miktarı (3)'deki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır. Sonuçlar eksenel şekil değiştirmelere ve hidrolik eğime bağlı olarak Şekil 9'da gösterilmektedir.

$$\%R_q = \left(1 - \frac{q_{w,\varepsilon_v \geq 0}}{q_{w,\varepsilon_v = 0}} \right) \times 100 \quad (3)$$

- $\%R_q$: Boşaltma kapasitesindeki azalma yüzdesi
 $q_{w,\varepsilon_v \geq 0}$: Eksenel şekil değiştirme ≥ 0 olduğu zamandaki boşaltma kapasitesi
 $q_{w,\varepsilon_v = 0}$: Eksenel şekil değiştirmenin sıfır olduğu zamandaki boşaltma kapasitesi



Şekil 9. Farklı PDD türleri için, $\% \epsilon_v$ bağlı olarak boşaltma kapasitesindeki azalma yüzdesi

Ön yükleme tekniğiyle zemin iyileştirme projelerinde genellikle kullanılacak PDD'nin boşaltma kapasitesinin proje süresi boyunca $15 \times 10^{-6} (m^3/s)$ 'den büyük olması istenmektedir. Chu vd. [14] çalışmalarında, kullanılan çamurun permeabilite değerinin $10^{-10} - 10^{-9} m/s$ mertebelerinde ve PDD'nin boşaltma kapasitesinin $11 \times 10^{-6} m^3/s$ olması nedeniyle, yaptıkları hesaplarda permeabilitesi $10^{-9} m/s$ olan zeminler için bu boşaltma kapasitesinin yetersiz olduğu sonucuna varmışlardır. Bu nedenle zemine iki aşamalı PDD yerleştirilmesi metodu önerilmektedir. Bu yöntemde ikinci aşamada yerleştirilen PDD'lerin çok daha az deformasyona maruz kalmaları sebebiyle boşaltma kapasitelerindeki düşüş önemli miktarda azalmaktadır.

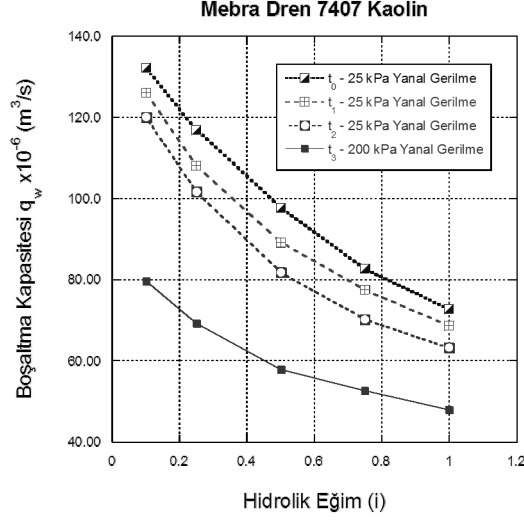
Şekil 8 ve Şekil 9'da gösterilen sonuçlar ışığında, arazi uygulamaları bakımından bu çalışmada kullanılan PDD türlerinin deformasyona bağlı boşaltma kapasitesindeki değişim incelendiği takdirde, Alidrain kullanılması durumunda PDD'de %14, Colbond CX 1000 ve Amerdrain 407 kullanıldığında ise PDD'de %40 oranında eksenel şekil değiştirme meydana geldiğinde drenin boşaltma kapasitesi yetersiz olmaktadır.

Mebr Dren 7407 kullanılarak yapılan model deneyde ise diğer PDD'lere göre daha iyi sonuçlar elde edilmiş olup PDD'de %41.5 oranında eksenel şekil değiştirme meydana geldiğinde PDD'nin boşaltma kapasitesinin %69 oranında azalmasına rağmen $28 \times 10^{-6} (m^3/s)$ olduğu ve bu boşaltma kapasitesinin yeterli olduğu belirlenmiştir.

3.3 Yanal Gerilme ve PDD'nin Çekirdek Bölgesinin Kirlenmesi Etkisi

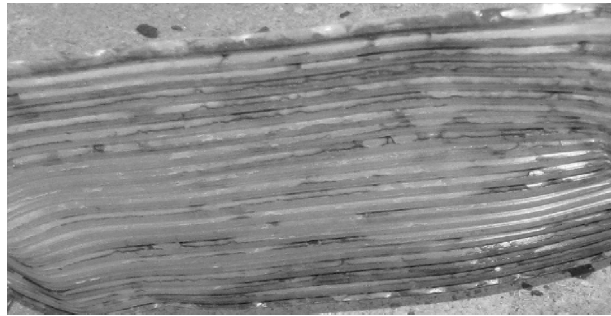
Silindirik büyük boyutlu model deney sisteminde konsolidasyon sırasında prefabrik düşey drenler zeminle birlikte düşey doğrultuda büyük deformasyonlara uğramaktadır. Bu nedenle sadece yanal gerilme etkisi ve PDD'nin çekirdek bölgesinin kirlenmesi veya tıkanmasıyla boşaltma kapasitesinin değişimini belirlemek için dikdörtgen bir konsolidasyon hücresi kullanılmıştır. Bu konsolidasyon hücresinde, prefabrik dren zemin konsolide olduktan sonra yatay doğrultuda yerleştirildiği için, yatay ve düşey doğrultuda herhangi bir deformasyona uğramamaktadır. Bu özelliği sebebiyle deformasyondan bağımsız olarak sadece dren çekirdek bölgesinin kirlenmesi veya tıkanmasıyla ve PDD'ye etki eden yanal gerilme etkisiyle, prefabrik düşey drenin boşaltma kapasitesindeki azalmayı belirleme olanağı sağlamaktadır.

Dikdörtgen konsolidasyon hücresinde 25 kPa'lık yanal gerilme sabit tutularak farklı zamanlarda ($t_0 \sim t_1 \sim t_2$) zemin içerisinde bulunan Mebra Dren 7407 için boşaltma kapasitesi deneyleri yapılmış, sabit yanal gerilme altında deformasyondan bağımsız sadece dren çekirdek bölgesinin kirlenmesi veya tıkanması etkisiyle dren boşaltma kapasitesindeki değişim belirlenmiştir. Ayrıca aynı deney sisteminde yine benzer şekilde deformasyon etkisinden bağımsız sadece drene etki eden yanal gerilme artırılarak boşaltma kapasitesindeki değişim belirlenmiştir. Deformasyondan bağımsız dren çekirdek bölgesinin kirlenmesi veya tıkanmasıyla ve PDD'ye etki eden yanal gerilme etkisiyle boşaltma kapasitesindeki değişim Şekil 10'da gösterilmektedir. Şekil 11'de ise PDD'nin çekirdek bölgesinde ortaya çıkan kirlenme görülmektedir.



Şekil 10. Deformasyondan bağımsız dren çekirdek bölgesinin kirlenmesi veya tıkanmasıyla ve PDD'ye etki eden yanall gerilme etkisiyle boşaltma kapasitesindeki değişim

Şekil 10'daki sonuçlar incelendiğinde deformasyondan ve yanall gerilme etkisinden bağımsız sadece drendeki kirlenme veya tıkanma etkisiyle, PDD'nin boşaltma kapasitesinin hidrolik eğime bağlı olarak %10-16 oranında azaldığı belirlenmiştir. Dikdörtgen konsolidasyon hücresinde PDD zemine belirli bir gerilme altında konsolide edildikten sonra yerleştirilmesi sebebiyle, arazi uygulamalarında PDD'nin zemine yerleştirilme yöntemine daha çok benzemektedir. Buna rağmen dren çekirdek bölgesinin kirlenmesiyle veya tıkanmasıyla boşaltma kapasitesindeki azalma oranının, arazide uygulama yapılan zeminin içerdiği ince dane oranına, özellikle PDD'nin yerleştirildiği andaki zeminin su muhtevasına ve arazi uygulamalarında PDD'nin uzun süreler boyunca işlevini yitirmemesinin beklendiği düşünülürdüğünde, zaman etkisine bağlı olarak değişebileceğinin göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

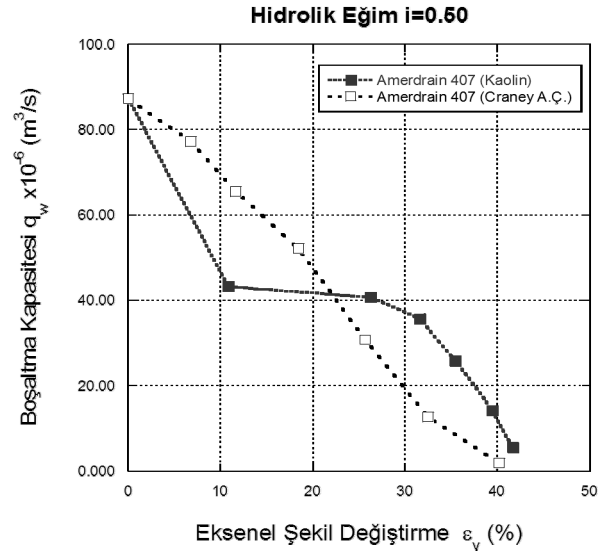


Şekil 11. PDD'nin çekirdek bölgesindeki kirlenme veya tıkanma etkisi

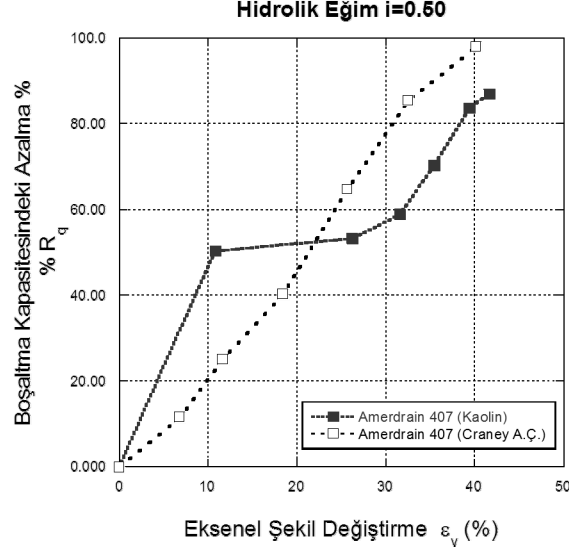
Dikdörtgen konsolidasyon hücresinde 25 kPa'lık yanal gerilme altında dren boşaltma kapasitesi belirlendikten sonra, zemin 200 kPa gerilme altında konsolide edilerek yanal gerilme artışı etkisiyle dren boşaltma kapasitesindeki değişim, deformasyondan ve dren çekirdek bölgesinin kirlenmesi veya tıkanması etkisinden bağımsız olarak incelenmiştir. Deneylerde hemen hemen tüm hidrolik eğim seviyelerinde yaklaşık %40 oranında boşaltma kapasitesinde azalma olduğu belirlenmiştir. Bu sonuçlar, yanal gerilmelerin dren boşaltma kapasitesini önemli oranda etkilediğini göstermektedir.

3.4 Zemin Türü

Farklı zemin türlerinde kullanılan PDD'lerin boşaltma kapasitesi değişimlerinin belirlenmesi amacıyla Amerdrain 407 iki farklı zemin tipinde kullanılarak boşaltma kapasitesi değişimi deneysel olarak incelenmiştir. Farklı zeminlerde konsolidasyon sırasında meydana gelen aksel şekil değiştirmelerin bir fonksiyonu olarak drende meydana gelen deformasyon sonucu Amerdrain 407'nin boşaltma kapasitesinin değişimi Şekil 12'de, boşaltma kapasitesindeki azalma yüzdesi ise Şekil 13'de gösterilmektedir.



Şekil 12. Farklı tür zeminlerde Amerdrain 407 için dren deformasyonuna bağlı olarak boşaltma kapasitesi değişimi



Şekil 13. Farklı tür zeminlerde Amerdrain 407 için dren deformasyonuna bağlı olarak boşaltma kapasitesindeki azalma yüzdesi

Yukarıdaki şekillerde Amerdrain 407'nin farklı zemin türlerinde kullanılması durumunda, hidrolik eğiminin 0.50 olması durumu için, eksenel şekil değiştirmelere bağlı olarak boşaltma kapasitesindeki değişim gösterilmektedir. Farklı hidrolik eğim değerlerindeki değişimin daha önce Şekil 8 ve Şekil 9'da gösterilen sonuçlara benzer eğilim göstermesi beklenildiği için, bu bölümde belirli bir hidrolik eğim ($i = 0.50$) seviyesinde farklı zemin türleri için değişimin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Craney Adası çökellerinde kullanılan Amerdrain 407 için sonuçlar değerlendirildiğinde, drenin boşaltma kapasitesinin drendeki deformasyonla yaklaşık olarak lineer azaldığı, drende %40 oranında deformasyon meydana geldiğinde dren boşaltma kapasitesinin 1.8×10^{-6} (m^3/s) seviyesine düştüğü bunun da boşaltma kapasitesinde %98 oranında azalmaya karşılık geldiği görülmektedir.

Kaolin kilinde kullanılan Amerdrain 407'de 12.5 kPa'lık konsolidasyon gerilmesi altında meydana gelen eksenel şekil değiştirme, CAÇ'da kullanılan Amerdrain 407'de 25 kPa'lık konsolidasyon gerilmesi altında meydana gelen eksenel şekil değiştirmeden bir miktar küçük olmasının yanında PDD'ye etki eden yanal gerilmenin de daha küçük olmasına rağmen boşaltma kapasitesinde önemli bir miktarda azalma meydana geldiği görülmektedir. Boşaltma kapasitesindeki bu azalmanın deformasyon etkisinden çok dren çekirdek bölgesinin ani şekilde kirlenmesi veya tıkanması etkisinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu sonuç ince daneli ve çok yüksek oranda su muhtevasına sahip zeminlerde, dren filtre malzemesinin gözenek açıklığının zemindeki ince dane boyutuna göre yeterli olmaması durumunda, boşaltma kapasitesi azalması üzerinde çekirdek bölgesinde oluşan kirlenme veya tıkanma etkisinin PDD'nin deformasyonundan daha çok etkili olabileceğini göstermektedir.

Yukarıdaki şekillerde, her iki zemin türü için konsolidasyon gerilmesinin 200 kPa olması durumunda kaolin kilinde %39.4, Craney Adası çökellerinde %32.5 eksenel şekil değiştirme meydana gelmesine rağmen, kaolin kilinde Amerdrain 407'nin boşaltma kapasitesinin bir miktar daha yüksek olduğu görülmektedir. Kaolin kilinde kullanılan Amerdrain 407'nin düşük deformasyon seviyelerinde kirlenme veya tıkanma etkisiyle boşaltma kapasitesinde %50 oranında azalma olmasının yanında daha fazla deformasyona uğramasına rağmen boşaltma kapasitesinin daha yüksek olması, zemin türünün PDD'de meydana gelen deformasyon biçimini etkilemesiyle açıklanabilir. PDD'nin yanal deformasyon yapmasına karşı zeminin gösterdiği direncin yüksek olması deformasyon biçimini etkilemektedir. Amerdrain 407'nin kaolin kili ve Craney Adası çökellerinde kullanılması durumunda konsolidasyon sonunda drende meydana gelen deformasyon biçimleri Şekil 15'de görülmektedir. Bu şekillerde gözlenen PDD deformasyon biçimlerinden, zemin/PDD sürtünme direncinin ve zeminin PDD'nin yanal deformasyonuna karşı gösterdiği direncin daha büyük olduğu Craney Adası çökellerinde, PDD'de keskin kıvrımlar şeklinde birçok bükülme meydana geldiği bu nedenle de boşaltma kapasitesinin daha fazla azaldığı düşünülmektedir.

3.5 Prefabrik Düşey Drenin Yapısı ve Bükülmeye Karşı Direnci

Aynı konsolidasyon şartlarında PDD'lerin çekirdek bölgesinin yapısı ve bükülmeye karşı direnci boşaltma kapasitesi davranışını etkilemektedir. Geosentetiklerin bükülmeye karşı direncinin belirlenmesi için kullanılan ASTM D1388 standardı kullanılarak PDD'lerin bükülmeye karşı direnci belirlenebilmektedir. ASTM D1388 birim hücredeki kütle ve kendi ağırlığı altında meydana gelen bükülmenin miktarıyla ilgili ölçümleri içermektedir. Bu deneysel çalışmada kullanılan PDD türlerinin üreticileri tarafından belirtilen bükülmeye karşı direnç değerleri Çizelge 3'de gösterilmektedir.

Çizelge 3. Deneylerde kullanılan PDD'lerin ASTM D1388 deney yöntemine göre belirlenmiş bükülmeye karşı direnç değerleri

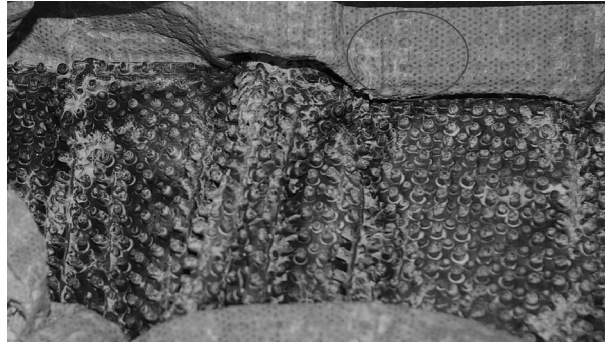
<i>Bükülmeye Karşı Direnç</i>	<i>Deney Yöntemi</i>	<i>Birim</i>	<i>PDD Türleri</i>			
			<i>Alidrain</i>	<i>Colbond CX 1000</i>	<i>Amerdrain 407</i>	<i>Mebra Dren 7407</i>
	<i>ASTM D1388</i>	<i>µ Joule/m</i>	5	34	40	74

Çizelge 3'deki değerler incelendiğinde Alidrain'in bükülmeye karşı direnç değerinin en küçük olduğu, daha sonra Colbond CX1000 ve Amerdrain 407'nin yaklaşık aynı bükülmeye karşı direnç değerine sahip olduğu, Mebra Dren 7407'nin bükülmeye karşı direnç değerinin ise en yüksek olduğu görülmektedir. Bu değerler daha önceki bölümlerde incelenen, aynı deformasyon seviyeleri için farklı PDD'lerin boşaltma kapasitesindeki değişimi gösteren deney sonuçlarıyla yakın benzerlik göstermektedir. Bu deney sonuçlarından aynı deformasyon seviyelerinde Mebra Dren 7407'nin en yüksek, Alidrain'in en düşük boşaltma kapasitesi değerine sahip olduğu görülmektedir. Bu sonuçlara paralel

olarak literatürde PDD'nin merkezindeki çekirdek bölgede esnekliğin artmasıyla, deformasyonlar etkisiyle dren boşaltma kapasitesindeki azalma miktarının artacağı belirtilmektedir [7, 13, 18, 19]. Yüksek dirence sahip PDD'ler etrafındaki zeminde meydana gelen yüksek deformasyonların etkisini tolere edebilirken, aynı zamanda PDD'nin çekirdek bölgesindeki kanallarda yeterli derecede su akışının devamlılığını sürdürebilmektedir.

Ayrıca PDD'nin çekirdek bölgesindeki kanalların su akışı için daha fazla alana sahip olması, daha yüksek boşaltma kapasitesine sahip olmasını sağlamaktadır. Mebra Dren 7407'nin sahip olduğu sürekli kanallı yapı ve Amerdrain 407'deki oluklu yapı, PDD'nin etrafını saran geotekstil filtre malzemenin yanıl gerilme etkisiyle kolay bir şekilde çekirdek bölgesindeki su akış kanallarına girmesini engelleyerek, konsolidasyon sırasında su akışı için kullanılabilir boşluğun devamlılığını sağlamaktadır. Birbirinden ayrı kanallar oluşturan üç boyutlu yerleşimde lifli çekirdek bölgesine sahip Colbond CX1000'in bu özel yapısının su akışı için geniş alan sağladığı görülmektedir. Oluklu ya da sürekli kanallara nazaran bu üç boyutlu yerleşimde su kanallar arasında da akışını sürdürebilir. Ancak bu lifli yapı geotekstil filtre malzemesinin yanıl gerilme etkisiyle çekirdek bölgesindeki su akış kanallarını sıkıştırmasına karşı koyacak dirence, Mebra Dren 7407'nin sürekli kanallı yapısı ve Amerdrain 407'deki oluklu yapı kadar, sahip değildir. Çivili çekirdek yapısına sahip Alidrain de ise yanıl gerilme etkisiyle çiviler üzerinde oluşan yüksek gerilme nedeniyle çivilerin etrafını saran geotekstil filtre malzemesinde zımbalama etkisi oluşmakta bu etki nedeniyle geotekstil filtre malzeme çekirdek bölgesindeki kanallara girerek su akış kanallarındaki boşluğu azaltmaktadır [13]. Bu araştırma kapsamında Alidrain'in boşaltma kapasitesinde deformasyona bağıl değişiminin belirlendiği deneylerden sonra, deformasyon biçimlerini incelemek için PDD'nin çekirdek bölgesi açıldığında, PDD'nin etrafını saran geotekstil filtre malzeme de oluştuğu gözlenen bu zımbalama etkisi Şekil 14'de gösterilmektedir.

Miura ve Chai [18] ve Chai vd. [19], zeminle çevrelenmiş PDD'lerin uzun dönem boşaltma kapasitelerini belirledikten sonra test ettikleri PDD kesitindeki bağımsız drenaj kanallarının hidrolik özelliklerini ölçmüşlerdir. Bunun sonucunda geniş drenaj kanallarına ve daha büyük hidrolik çapa sahip PDD'lerin boşaltma kapasitesindeki azalmanın daha düşük değerlerde olduğu sonucuna varmışlardır. Bu sonuçlar, bu deneysel çalışmada gözlemlenen sonuçlarla uyum göstermektedir.



Şekil 14. Alidrain'de yanıl gerilme etkisiyle çekirdek bölgesindeki çivilerin etrafını saran geotekstil filtre malzemesinde oluşan zımbalama etkisi

3.6 PDD'lerin Deformasyon Biçimleri

Farklı PDD türleri için boşaltma kapasitesi değişiminin belirlendiği deneylerde PDD'lerde farklı deformasyon biçimlerinin meydana geldiği gözlenmiştir. Şekil 15'de farklı PDD türlerinde meydana gelen farklı deformasyon biçimleri gösterilmektedir. Boşaltma kapasiteleri değişimlerinin incelendiği deneylerde, zeminde meydana gelen %32-42 arasında düşey şekil değiştirmeler sonucunda bütün PDD'lerde yüksek derecede deformasyon gözlemlense de, bu deformasyonların biçimi PDD türleri arasında değişiklik göstermektedir.

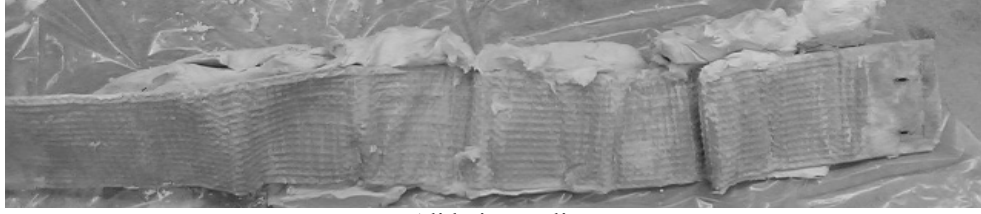
Kaolin kilinde kullanılan drenlerde zemin/dren sürtünme direnci düşük olmasına rağmen, Alidrain ve Colbond CX1000'in bükülmeye karşı dirençlerinin düşük olması keskin kıvrımlar şeklinde birçok bükülmeye sebep olmaktadır. Mebra Dren 7407 ve Amerdrain 407'nin ise bükülmeye karşı dirençlerinin daha yüksek olmasının daha geniş kıvrımlar şeklinde deformasyonlar meydana gelmesine sebep olduğu düşünülmektedir. Diğer taraftan, Craney Adası çökellerinde zemin/PDD sürtünme direncinin Mebra Dren 7407 ve Amerdrain 407'nin bükülmeye karşı direncinden büyük olduğu, bu nedenle de keskin kıvrımlar şeklinde deformasyon biçimleri meydana geldiği düşünülmektedir. Aynı zamanda keskin kıvrımlar şeklinde oluşan deformasyonların PDD'nin boşaltma kapasitesi üzerinde daha fazla olumsuz etki yaptığı deneysel sonuçlarla belirlenmiştir.

3.7 Drenajsız Kayma Dayanımı ve Su Muhtevasının, Derinlikle ve PDD'den Uzaklıkla Değişiminin Belirlenmesi

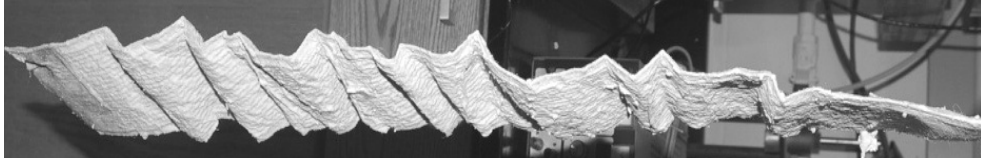
Kaolin kili ve Craney Adası çökelleri kullanılarak farklı PDD türlerinin boşaltma kapasitesinin belirlendiği deneylerin sonunda zemin deney hücresinden çıkarılmadan önce değişik numune derinliklerinde, prefabrik düşey drenlerden yatay doğrultuda değişik uzaklıklarda su muhtevası ve veyn deney aleti kullanılarak drenajsız kayma dayanımı belirlenmiştir. Kullanılan PDD türlerine bağlı olarak, farklı zeminlerde su muhtevasının ve drenajsız kayma dayanımının derinlikle ve PDD'den uzaklıkla değişimi Şekil 16'da gösterilmektedir.

Genel olarak, aynı derinlikte PDD'ye olan uzaklığın, farklı zemin derinliklerinde ise derinliğin artmasıyla su muhtevası değerinin arttığı ve buna bağlı olarak drenajsız kayma dayanımının azaldığı görülmektedir.

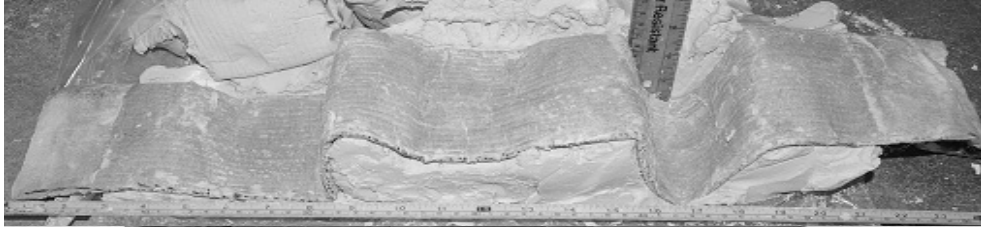
Sabit gerilmeler altında konsolidasyon aşamalarının sonunda zeminin su muhtevası değerinin ve drenajsız kayma dayanımının kullanılan farklı PDD türlerine göre değişimi değerlendirildiğinde, diğer dren türlerine göre boşaltma kapasitesi en yüksek olan Mebra Dren 7407'nin kullanıldığı deneyde zemin yüzeyinde belirlenen su muhtevasının diğer dren türlerinin kullanıldığı deneylerde belirlenen değerlere kıyasla daha düşük olduğu, drenajsız kayma dayanımının su muhtevasıyla ilişkili olarak daha yüksek değerlerde olduğu görülmektedir. Bu deneysel sonuçların, kullanılan PDD türünün boşaltma kapasitesinin büyüklüğüyle doğrudan ilişkili olduğu düşünülmemekle birlikte uyumlu olduğu sonucuna varılmıştır.



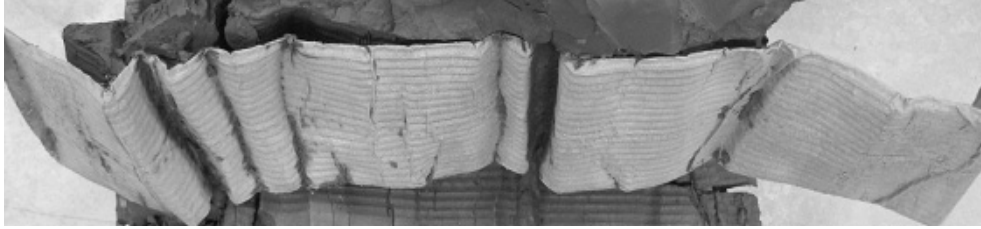
Alidrain-Kaolin



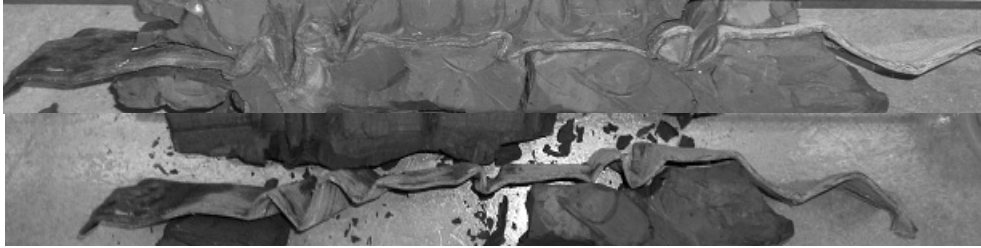
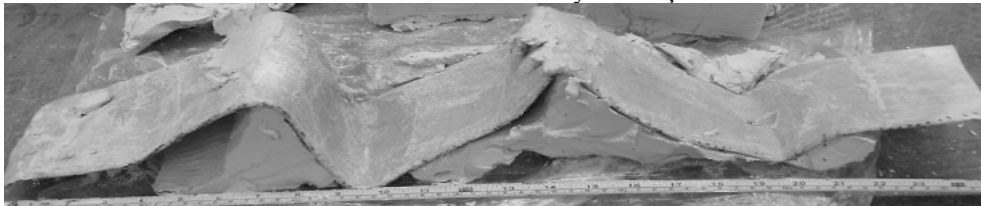
Colbond CX1000-Kaolin



Mebra Dren 7407-Kaolin-Craney Adası Çökelleri

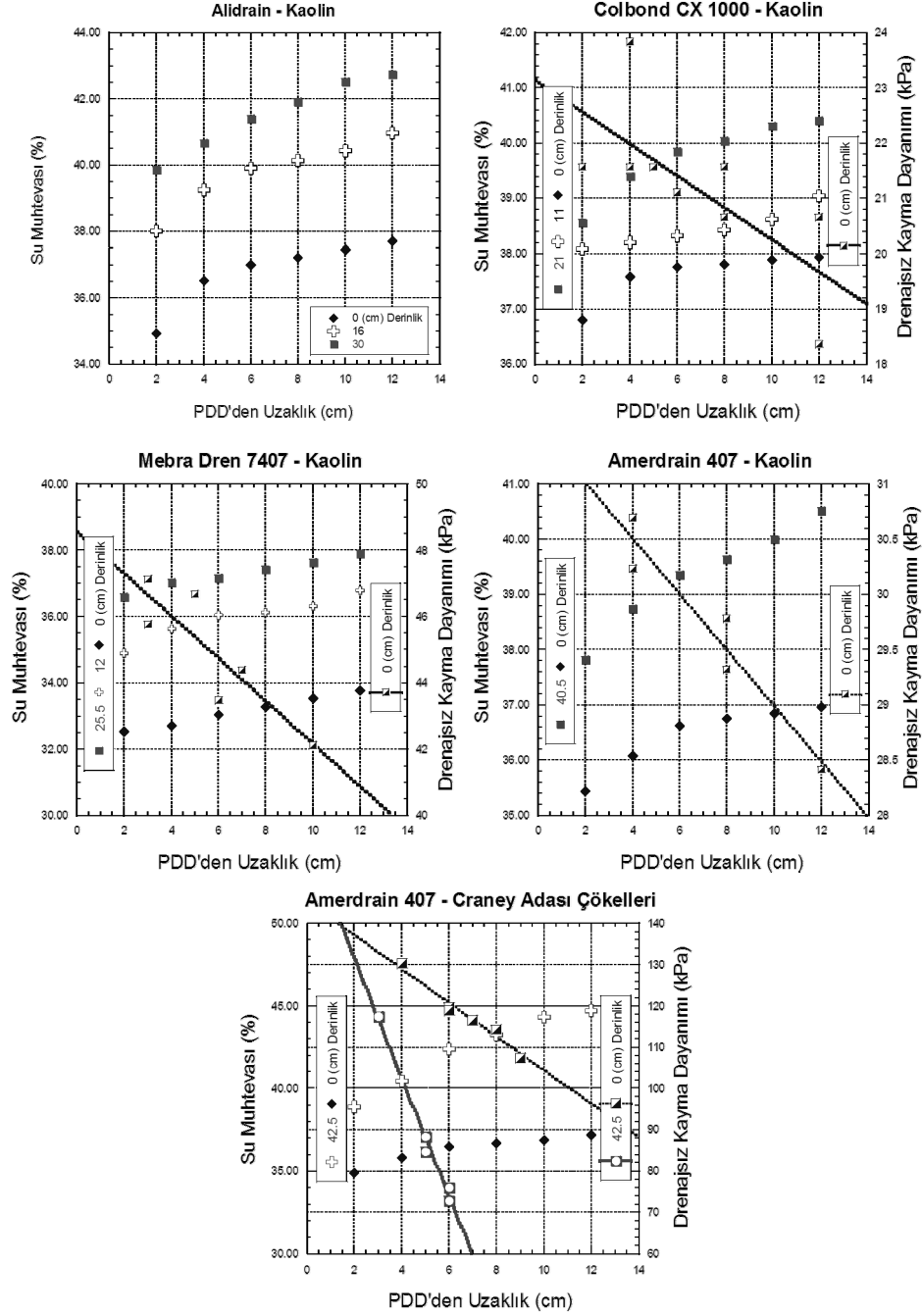


Amerdrain 407-Kaolin-Craney Adası Çökelleri



Şekil 15. Farklı zeminlerde kullanılan farklı PDD türleri için deformasyon biçimleri

Prefabrik Düşey Drenlerin (PDD) Boşaltma Kapasitesini Etkileyen ...



Şekil 16. Kullanılan PDD türlerine bağlı olarak farklı zeminlerde su muhtevasının ve drenajsız kayma dayanımının, derinlikle ve PDD'den uzaklıkla değişimi

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

PDD kullanılarak önyükleme ile zemin iyileştirme yönteminde proje süresi boyunca PDD'lerin performansını sürdürebilmesi, uygulanan zemin iyileştirme yönteminin hedeflenen sonuçlara ulaşması için çok önemlidir. PDD'lerin performansını etkileyen en önemli faktörlerden biri de PDD'nin boşaltma kapasitesidir. Bu nedenle dört farklı özellikteki PDD türü için, uygulanan hidrolik eğim, üzerine etkiyen yanıl gerilme ve uygulandığı zemin türü yanında, PDD'nin yapısı ve bükülmeye karşı direnci gibi faktörlerin etkileri incelenmiştir. PDD'nin boşaltma kapasitesi üzerinde, gösterdiği deformasyon davranışı ve çekirdek bölgesinin kirlenmesinin etkileri, özel olarak geliştirilmiş büyük boyutlu bir boşaltma kapasitesi model deney sistemi kullanılarak araştırılmıştır. Deneysel sonuçlar toplu olarak değerlendirildiğinde;

- Farklı zemin türlerinde kullanılan ve farklı deformasyonlara maruz kalmış PDD türlerinin boşaltma kapasitesinin, genel olarak hidrolik eğimin artmasıyla azaldığı gözlenmektedir. Düşük deformasyon seviyelerinde yüksek boşaltma kapasitesine sahip PDD'lerin boşaltma kapasitesi bu çalışmada uygulanan en düşük ve en yüksek hidrolik eğim seviyeleri aralığında (0.10-1.00) hidrolik eğimin artmasıyla önemli bir miktarda (%57'ye kadar) azalırken, yüksek deformasyon seviyelerinde boşaltma kapasiteleri oldukça azalan PDD'lerde boşaltma kapasitesi üzerinde hidrolik eğimin etkisi ihmal edilebilir mertebelere düşmektedir.
- Aynı zemin türünde kullanılan dört farklı PDD türünden Mebra Dren 7407'nin boşaltma kapasitesinin tüm deformasyon seviyelerinde diğer dren çeşitlerine göre önemli bir miktarda yüksek olduğu, %41.5 oranında deformasyona uğraması durumunda, %69 oranında azalma meydana gelmesine rağmen boşaltma kapasitesinin yine de 28×10^{-6} (m³/s) olduğu belirlenmiştir. Alidrain için, başlangıçta hiçbir deformasyona uğramadan önce dahi boşaltma kapasitesinin diğer drenler göre önemli oranda düşük olduğu görülmekte, %15 oranında deformasyona maruz kalması durumunda %75 oranında, %33 oranında deformasyona maruz kalması durumunda ise yaklaşık olarak %100 oranında boşaltma kapasitesini yitirdiği gözlenmiştir. Colbond CX 1000 için başlangıç boşaltma kapasitesinin bir miktar düşük olmasına rağmen, bu drenin diğerlerinden farklı olarak dren çekirdek bölgesini oluşturan lifli yapı sayesinde konsolidasyon aşamasında meydana gelen deformasyonlara daha iyi uyum sağladığı ve bu nedenle oldukça büyük deformasyonlara kadar boşaltma kapasitesindeki azalma miktarının daha az olduğu, buna karşın yaklaşık % 33 den büyük deformasyon seviyelerinde boşaltma kapasitesinin hızlı bir şekilde düştüğü belirlenmiştir. Amerdrain 407 için sonuçlar değerlendirildiğinde ise, kaolin kilinde kullanılması durumunda başlangıç boşaltma kapasitesinin Mebra Dren 7407 ile yaklaşık olarak aynı olmasına rağmen konsolidasyon aşamasının başlangıcında boşaltma kapasitesinin önemli bir miktarda azaldığı görülmektedir. Bu boşaltma kapasitesindeki azalmanın deformasyondan bağımsız dren çekirdek bölgesinin ani şekilde kirlenmesi etkisinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu nedenle Amerdrain 407'de dren çekirdek bölgesinin etrafını saran geotekstil malzemenin, kaolin kili gibi ince daneli ve yüksek oranda su muhtevasına sahip zeminlerde kullanılması durumunda kirlenme veya tıkanma etkisine karşı yeterli olmadığı düşünülmektedir.
- Arazi uygulamaları bakımından bu çalışmada kullanılan PDD türlerinin deformasyona bağlı olarak boşaltma kapasitelerindeki değişim değerlendirilirken, ön yükleme

teknisiyle zemin iyileştirme projelerinde kullanılacak PDD'nin boşaltma kapasitesinin genellikle proje süresi boyunca 15×10^{-6} (m³/s)'den büyük olmasının istenildiği göz önüne alınmalıdır. Bu tip projelerde Alidrain kullanılması durumunda PDD'de %14, Colbond CX 1000 ve Amerdrain 407 kullanıldığında ise %40 oranında eksenel şekil değiştirme meydana geldiğinde, drenin boşaltma kapasitesi yetersiz seviyeye düşmektedir. Mebra Dren 7407 kullanılarak yapılan model deneyde ise, %41.5 oranında eksenel şekil değiştirme meydana geldiği durumda, %69 oranında azalmasına rağmen boşaltma kapasitesinin 28×10^{-6} (m³/s) olduğu ve bu boşaltma kapasitesinin yeterli olduğu belirlenmiştir.

- Deformasyondan ve yanıl gerilme etkisinden bağımsız olarak sadece drendeki kirlenme veya tıkanma etkisiyle, PDD'lerin boşaltma kapasitesinin hidrolik eğime bağılı olarak %10-16 oranında azalabileceği belirlenmiştir. Buna rağmen dren çekirdek bölgesinin kirlenmesi veya tıkanmasıyla meydana gelebilecek boşaltma kapasitesinde azalma oranının, arazide uygulama yapılan zeminin içerdiği ince dane oranı ve su muhtevassından etkilenebileceği bilinmektedir. Arazi uygulamalarında PDD'lerin uzun süreler boyunca işlevini yitirmemesi amaçlandığından, tasarımda boşaltma kapasitesinde zamana bağılı olarak değişimler meydana gelebileceğinin göz önünde bulundurulması gerekmektedir.
- Eksenel deformasyon ve dren çekirdek bölgesinin kirlenmesinden bağımsız olarak, yanıl gerilmelerin dren boşaltma kapasitesi üzerinde etkisinin incelenmesi için, PDD'nin zemin içine yatay olarak yerleştirilebildiği dikdörtgen bir konsolidasyon hücresinde deneyler gerçekleştirilmiştir. 25 kPa ve 200 kPa yanıl gerilme altında dren boşaltma kapasitesi belirlenmiş, deneysel sonuçlar hemen hemen tüm hidrolik eğim seviyelerinde boşaltma kapasitesinde daha yüksek yanıl gerilme altında %40 oranında azalma olduğunu göstermiştir. Bu sonuçlardan, yanıl gerilmelerin dren boşaltma kapasitesini önemli bir miktarda etkilediği anlaşılmaktadır.
- Farklı zemin türlerinde kullanılmasının PDD davranışı üzerinde olası etkilerini araştırmak amacı ile Craney Adası Çökelleri (CAÇ) ve kaolin kilinden hazırlanan örnekler üzerinde Amerdrain 407 kullanılarak deneyler yapılmış ve zemin türünün boşaltma kapasitesine olan etkisi araştırılmıştır. Kaolin kilinde 12.5 kPa'lık konsolidasyon basıncı altında meydana gelen eksenel şekil değiştirmenin CAÇ'da 25 kPa konsolidasyon gerilmesi altında meydana gelen eksenel şekil değiştirmeden bir miktar küçük olması yanında, PDD'ye etki eden yanıl gerilmenin de küçük olmasına rağmen boşaltma kapasitesinde önemli bir miktarda azalma meydana geldiği görülmektedir. Boşaltma kapasitesindeki bu azalmanın deformasyon etkisinden çok dren çekirdek bölgesinin ani şekilde kirlenmesi veya tıkanmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu sonuçlar ince daneli ve yüksek su muhtevassına sahip zeminlerde, dren filtre malzemesinin gözenek açıklığının zemindeki ince dane boyutuna göre yeterli olmaması durumunda PDD'nin çekirdek bölgesinde oluşan kirlenme veya tıkanma etkisinin PDD'nin deformasyonundan daha çok boşaltma kapasitesinin değişimi üzerinde etkili olabileceğini göstermektedir.

Diğer taraftan her iki zemin türü için konsolidasyon basıncının 200 kPa olması durumunda kaolin kilinde %39.4, Craney Adası çökellerinde %32.5 oranında eksenel şekil değiştirme meydana gelmesine rağmen, kaolin kilinde kullanılan Amerdrain 407'nin boşaltma kapasitesinin bir miktar daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Kaolin

kilinde kullanılan Amerdrain 407'nin düşük deformasyon seviyelerinde kirlenme veya tıkanma etkisiyle boşaltma kapasitesinde %50 oranında azalma meydana gelmesine karşın daha yüksek deformasyon seviyelerinde boşaltma kapasitesinin Craney Adası çökeltilerinde kullanılan drene göre daha yüksek olması durumunun, zemin türünün aynı zamanda PDD'de meydana gelen deformasyon biçimini etkilemesiyle açıklanabileceği düşünülmektedir.

- PDD'lerin bükülmeye karşı daha fazla dirence sahip olması, zeminde meydana gelen yüksek deformasyonlardan etkilenme derecesini azaltmakta ve bunun sonucu olarak boşaltma kapasitesinde deformasyonlara bağlı azalma miktarını düşürmektedir.
- Farklı PDD türleri için boşaltma kapasitelerinin belirlendiği deneylerde, zeminde %32-42 arasında meydana gelen eksenel şekil değiştirmeler sonucunda bütün PDD'lerde yüksek derecede deformasyon gözlemlense de, bu deformasyonların biçiminin PDD'ler arasında önemli değişiklik gösterdiği gözlenmiştir. PDD'lerde meydana gelen deformasyon biçimlerinin zemin türüyle ilişkili olduğu, PDD'nin yanal deformasyonuna karşı gösterdiği direncin yüksek olmasının keskin kıvrımlar şeklinde katlanmalar içeren deformasyon türü oluşmasına sebep olduğu düşünülmektedir. Ayrıca keskin kıvrımlar şeklinde deformasyon biçiminin, geniş kıvrımlar şeklinde deformasyon meydana gelmesine göre PDD'nin boşaltma kapasitesi üzerinde daha fazla azaltıcı etki yaptığı deneysel sonuçlardan anlaşılmaktadır.

Semboller

G_s	: Özgül ağırlık,
i	: Hidrolik eğim,
k	: Hidrolik iletkenlik,
LL	: Likit limit,
PI	: Plastisite İndisi,
PL	: Plastik limit,
R_q	: Boşaltma kapasitesindeki azalma yüzdesi,
q_w	: Boşaltma kapasitesi,
Q	: Birim zamanda çıkan su hacmi,
$w_{doğal}$: Doğal su muhtevası,
ε_v	: Eksenel şekil değiştirme.

Kaynaklar

- [1] ASTM D4716, Standard test method for determining the (in-plane) flow rate per unit width and hydraulic transmissivity of a geosynthetic using a constant head, Annual Book of ASTM Standards, 1995.
- [2] Chu, J., Bo, M.W. ve Choa, V., Practical Considerations for Using Vertical Drains in

- Soil Improvement Projects, Geotextiles and Geomembranes, 22: 101-117, 2004.
- [3] Hansbo, S., How to Evaluate the Properties of Prefabricated Drains, Proceedings of the Eighth European Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering: Improvement of Ground. Vol.2, Soil Reinforcement, Speeding Up of Consolidation, Improvement of Special Soils, Soil Improvement Under Water and Soil Stabilization., Helsinki, 6(13): 621-626, 1983.
- [4] Kamon, M., Pradhan, B.S., Suwa, S., Laboratory Evaluation of The Prefabricated Bands-Shaped Drains, Soil Improvement, Current Japanese Materials Research. Vol.9, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 1984.
- [5] Guido, V.A., Ludewig, N.M., A Comparative Laboratory Evaluation of Band-Shaped Prefabricated Drains, In. Yong, R.N., Townsend, F.C. (Eds.), Consolidation of Soils: Testing and Evaluation, ASTM STP 892, 642-662, 1986.
- [6] Suits, L.D., Gemme, R.L., Masi, J.J., Effectiveness of Prefabricated Drains on Laboratory Consolidation of Remolded Soils, In. Yong, R.N., Townsend, F.C. (Eds.), Consolidation of Soils: Testing and Evaluation, ASTM STP 892, 663-683, 1986.
- [7] Bergado, D.T., Manivannan, R. ve Balasubramaniam, A.S., Proposed Criteria for Discharge Capacity of Prefabricated Vertical Drains, Geotextile and Geomembranes, 14: 481-505, 1996.
- [8] Lee, C.H., Kang, S.T., Discharge Capacity of Prefabricated Vertical Band Drains, Final Year Report, Nanyang Technological University, Singapore, 1996.
- [9] Sasaki, S., Report of Experimental Test for the Prefabricated Drain Geodrain, Tokyo Construction Co., Tokyo, 1981.
- [10] Miura, N., Chai, J.C. ve Toyota, K., Investigation on Some Factors Affecting Discharge Capacity of Prefabricated Vertical Drain, Proceedings of the 6th International Conference on Geosynthetics, IFAI, Atlanta, Georgia, 2: 845-850. 1998.
- [11] Kremer, R., De Jager, W., Maagdenberg, A., Meyvogel, I. ve Oostveen, J., Quality Standards for Vertical Drains, Proceedings 2nd International Conference on Geotextiles, Las Vegas, 2: 319-324, 1982.
- [12] Kremer, R., Discussion to Specialty Session 6, Proceedings of the 8th European Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Helsinki, 3: 1235-1237, 1983.
- [13] Ali, F.H., The Flow Behavior of Deformed Prefabricated Vertical Drains, Geotextiles and Geomembrane, Vol.10, 235-248, 1991.
- [14] Chu, J., Bo, M.W. ve Choa, V., Improvement of Ultra-Soft Soil Using Prefabricated Vertical Drains, Geotextiles and Geomembranes, 24: 339-348, 2006.
- [15] Tran-Nguyen, H.H., Effect of Deformation of Prefabricated Vertical Drain on Discharge Capacity and The Characteristics of PVD Smear Zone, University of Wisconsin-Madison, P.H.D. Thesis, 2010.
- [16] Bo, M.W., Chu, J. ve Choa, V., Soil Improvement: Prefabricated Vertical Drain Techniques, Thompson, Singapore, 341, 2003.

- [17] Holtz, R. D., Jamiolkowski, M. B., Lancellotta, R. ve Pedroni, R., Prefabricated Vertical Drains: Design and Performance, Butterworth-Heinemann, Oxford, U.K., 1991.
- [18] Miura, N. ve Chai, J.C., Discharge Capacity of Prefabricated Vertical Drains Confined in Clay, Geosynthetics International, 7(2): 119-135, 2000.
- [19] Chai, J.C., Miura, N. ve Nomura, T., Effect of Hydraulic Radius on Long-Term Drainage Capacity of Geosynthetics Drains, Geotextiles and Geomembranes, 22(1-2): 3-16, 2004.