

POLİPROPİLEN FİBERLERLE GÜÇLENDİRİLMİŞ KUM ZEMİNLERİN DİNAMİK ETKİ ALTINDA BOŞLUK SUYU BASINCI DAVRANIŞI

Eyyüb KARAKAN¹ Selim ALTUN² ve Tuğba ESKİŞAR³

¹ Yrd. Doç. Dr., İnşaat Müh. Bölümü, Kilis 7 Aralık Üniversitesi, Kilis

² Doç. Dr., İnşaat Müh. Bölümü, Ege Üniversitesi, İzmir

³ Dr., İnşaat Müh. Bölümü, Ege Üniversitesi, İzmir

Email: eyyubkarakan@kilis.edu.tr

ÖZET:

Bu çalışma kapsamında rastgele yönelimli polipropilen fiber içeren kum zeminlerin dinamik yükleme altında boşluk suyu basıncı oluşum mekanizmalarının incelenmesi amaçlanmıştır. Çalışmada 6 mm uzunluğa sahip, dikdörtgen kesitli mono-filament halde bulunan fiberler tercih edilmiştir. Kum örneklerine toplam kuru ağırlıkları üzerinden %0.25, %0.50 ve %1.0 oranında fiber katılmış olup, kum malzeme İzmir’de yapılan bir derin kazı sahasından elde edilmiştir. Çeşitli oranlarda polipropilen fiber karıştırılarak kum zeminlerden gevşek ve orta sıkı örnekler hazırlanmıştır. Bu örnekler üzerinde tekrarlı üç eksenli deney cihazıyla sıvılaşma deneyleri gerçekleştirilerek boşluk suyu basıncı oranı ile çevrim sayısı oranı ilişkisi incelenmiştir. Böylece fiber katkılı ve katkısız örnek gruplarının karşılaştırılması ile boşluk suyu basıncı oluşumu davranışı üzerinde değişen fiber oranı ve zemin sıklığının etkileri ortaya konmuştur. Deneysel çalışmada kullanılan dinamik üç eksenli deney cihazı gerilme kontrollüdür. Bu çalışma kapsamında boşluk suyu basıncı oranı ile çevrim sayısı oranı arasında gerilme tabanlı modellerden literatürde en çok kullanılanlar seçilmiştir. Bu nedenle gerilme kontrollü modellerden literatürde en çok kullanılanlar için model katsayıları olan α ’ların değişimi polipropilen fiber içeren kum zeminler için incelenmiştir.

ANAHTAR KELİMELEER: Kum, Fiber, Boşluk suyu basıncı, Tekrarlı üç eksenli deney, sıvılaşma.

1.GİRİŞ

Gevşek kum zeminlerin tekrarlı yükler etkisinde kalması sonucu aşırı boşluk suyu basıncının gelişim göstermesiyle birlikte ortalama efektif gerilmelerin azalarak zeminde kayma mukavemetinin tamamen yok olması ile sonuçlanan yıkıcı etkileri gözlemlenen durum sıvılaşma olarak tanımlanmaktadır (Kramer, 1996). Sıvılaşma riskine sahip zeminin durumu, söz konusu zemine donatı görevi görececek elemanlar eklenerek özelliklerinin iyileştirmesi ile düzeltilebilir. Rastgele yönelimli fiberlerin zemin içinde homojen bir yapıda dağılmış olarak bulunması, zemin yapılarının sıvılaşma potansiyellerini azaltan bir alternatif olarak karşımıza çıkmaktadır. Literatürde, kumların sıvılaşma dayanımının fiber donatılar ile artması üzerine yapılan çalışmalarda yer almaktadır. İbrahim vd., 2010 ve Liu vd., 2011 tarafında yapılan çalışmalarda fiber donatı kullanımı ile yanal yayılmaların önlenmesinin mümkün olabileceği sonucunun ortaya çıktığı belirtilmiştir.

Bu çalışmanın amacı, fiber donatılı kum zemin örneklerinin tekrarlı yükleme devam ederken boşluk suyu basıncı davranışının belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu çalışma bir seri dinamik laboratuvar deneyi ile rastgele yönelimli fiber katkılı kum zeminin boşluk suyu basıncı davranışının ne şekilde geliştiği incelenmiştir.

2. MALZEME VE METOD

2.1. Kullanılan Malzemeler ve Deney Programı

Kullanılan temiz kum zemin, İzmir’in merkezinde yer alan bir kazı çalışma alanından elde edilmiştir. Kum zemine ait endeks özellikleri Tablo 1’de özetlenmiştir.

Mono-filament tipindeki polipropilen fiber malzeme yerli üreticiden temin edilmiştir. Fiberlerin kesiti dikdörtgen şekilli olup, özgül yoğunlukları 0.91'dir. Fiberlerin çekme mukavemeti 400 MPa ve elastisite modülü üretici firma tarafından 1000-2500 MPa aralığında tanımlanmıştır.

Sistematik olarak oluşturulan deney programı ile fiber donatılı zemin örnekleri tekrarlı üç eksenli deneylere tabi tutulmuştur. Deney koşulları, rölatif sıklık, fiber oranları ve fiber boylarının kombinasyonları halinde oluşturulmuştur. Rölatif sıklık değerleri ($D_r = \%30$ ve $\%50$) olarak belirlenmiştir. Fiber oranları ise zemine kuru ağırlığınca $\%0$, $\%0.25$, $\%0.5$ ve $\%1$ oranında fiber katılarak elde edilmiştir. Çalışmada kullanılan fiber uzunluğu 6 ve 12 mm'dir. Böylece iki farklı rölatif sıklık, bir adet fibersiz ve üç adet farklı fiber oranı olmak üzere 4 farklı fiber oranı ile iki farklı fiber boyu için toplam 64 adet dinamik üç eksenli deney gerçekleştirilmiştir (Tablo 2).

Tablo 1. Zemin endeks özellikleri

Zemin Sınıfı	SP
Efektif çapı (D_{10})	0.15 mm
(D_{30})	0.28 mm
Ortalama dane çapı (D_{50})	0.53 mm
(D_{60})	0.70 mm
Üniformluk katsayısı	4.67
Eğrilik katsayısı	0.75
En büyük boşluk oranı (e_{mak})	0.84
En küçük boşluk oranı (e_{min})	0.56
Özgül ağırlığı (G_s)	2.67

Tablo 2. Çalışmanın deneysel programı

Rölatif Sıklık (%)	Fiber oranı (%)	Fiber Uzunluğu (mm)
30	0	----
	0.25	6/12
	0.50	6/12
	1.00	6/12
50	0	----
	0.25	6/12
	0.50	6/12
	1.00	6/12

2.2. Deney Ekipmanı ve Deney Prosedürü

Gerilme kontrollü deneyler yapabilen bir tekrarlı üç eksenli deney aleti ile deney programı uygulanmıştır. Deney aletinin temel üniteleri, hava ve su panelli düşey basınç uygulama düzeneği, üç eksenli hücre, pnömatik sinüs yükleyici, basınç ve yer değiştirme transdüserleri ve hacim değişimi transdüserinden oluşan elektriksel ölçüm birimleri, deformasyon yükselticiler ve veri edinim üniteleridir. Veri edinim üniteleri doğrudan bilgisayara bağlı olup, özel bir yazılım ile her türlü ölçüm dijital olarak görüntülenmekte ve istenirse kaydedilebilmektedir. Deney aleti dinamik yüklemeler esnasında 0.001 Hz - 10 Hz frekans aralığında sinüzoidal titreşim uygulama kapasitesine sahiptir. Çalışmada 0.1Hz frekanslı sinüs dalgaları ile dinamik yükleme koşulları gerçekleştirilmiştir. Sıvılaşma deneyleri konsolidasyonlu ve drenajsız olarak yapılmıştır. Hacim değişimi dijital olarak takip edilebildiği gibi deney aletinin dışında yer alan çift tüplü büret ile görsel olarak da izlenebilmektedir.

Deney örnekleri hazırlandıktan sonra sırası ile örneklerden karbondioksit ve havası alınmış su geçirilmiş, geri basınç uygulanarak örneklerin yeterli doygunluğa ulaşması hedeflenmiştir. Skempton'ın boşluk suyu basıncı parametresi olan B değerinin 0.96 ile 1.00 arasında olması sağlanmıştır. Örnekler izotropik koşullarda 100 kPa basınç ile konsolide edilmiştir. Ardından örnekler gerilme kontrollü olarak drenajsız halde tekrarlı yüklere maruz bırakılmışlardır. Sıvılaşma deneylerinde sıvılaşma koşulu 0.1 Hz frekans ile uygulanan yükleme belirli bir çevrim

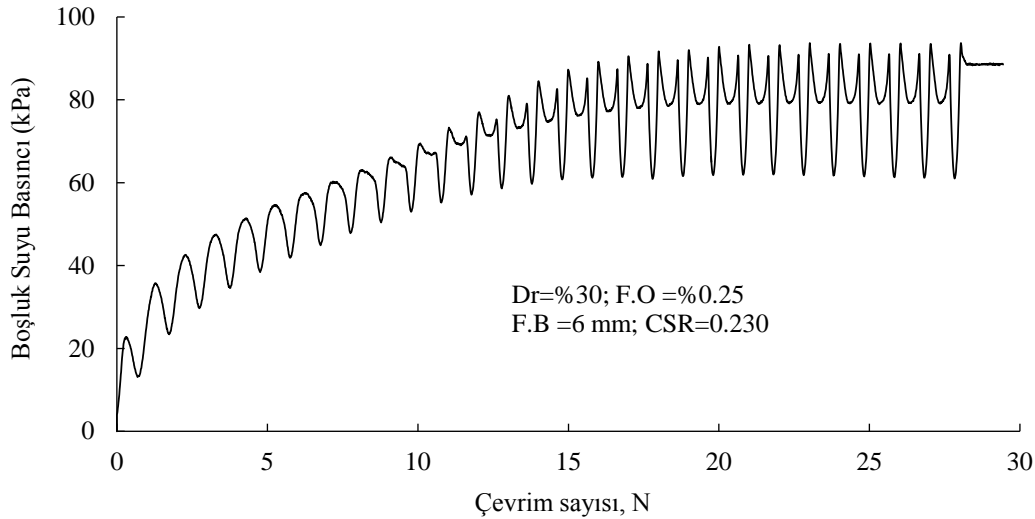
sayısında çift genlikli eksenel şekil değiştirmenin, (DA), %5'ine ulaştığı andaki tekrarlı gerilmelere karşılık gelmektedir. Tekrarlı yüklemeler esnasında, aşırı boşluk suyu basıncının, (u), tekrarlı eksenel şekil değiştirmenin, (ϵ_c), ve tekrarlı deviator gerilmelerin sürekli kaydı alınmıştır.

Tüm deneyler 100 kPa efektif çevre basıncı altında gerçekleştirilmiştir. Çalışmadaki deneylerde sıvılaşma ölçütü olarak örneğin çift genlikte eksenel şekil değiştirme seviyesi %5 değerine ulaştığı andaki çevrim sayısı kabul edilmiştir. Deneyler ise konsolidasyonlu–drenajsız şartları yerine getirecek şekilde JGS 0541-2000'e uygun olarak yapılmıştır.

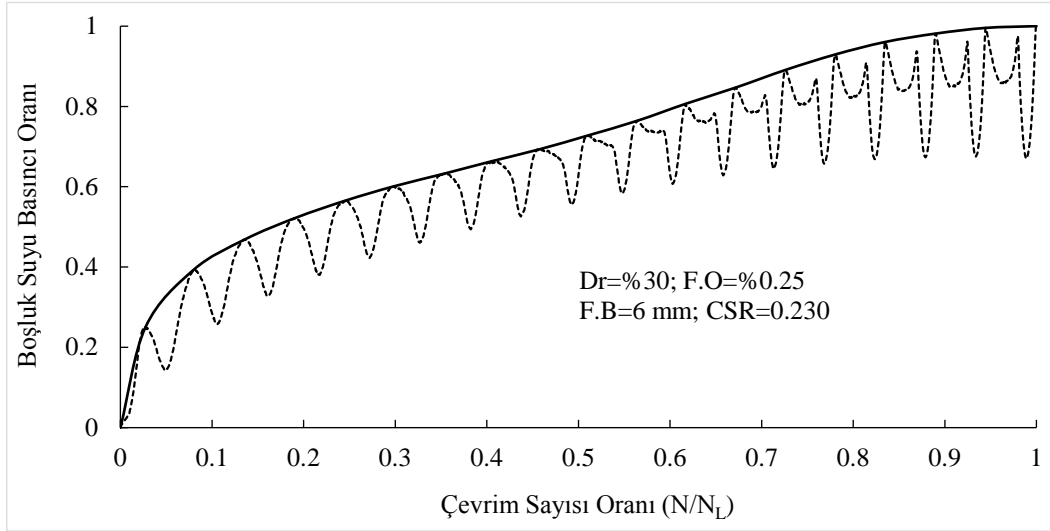
3. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu bölümde, literatürde yer alan gerilme tabanlı boşluk suyu basıncı modelleri kullanılarak alfa (α) parametresinin, çalışmanın esas değişkenleri olan rölatif sıklık, fiber boyu ve fiber oranına olan etkilerini incelemektedir.

Tekrarlı üç eksenli deneye tabi tutulmuş fiber katkılı bir kum zemin örneğinin tipik boşluk suyu basıncı davranışı Şekil 1'de sunulmuştur. Bu örnekteki kum zeminin rölatif sıklığı, (D_r), %30 olup, kum malzemeye katılan 6 mm uzunluğundaki fiberlerin kuru malzemeye göre oranı % 0.25'tir. Ortalama efektif çevre basıncı, (σ_0'), 100 kPa'dır. Daha sonra boşluk suyu basıncı ile çevrim sayısı normalize edilerek, boşluk suyu basıncı oranı-çevrim sayısı oranı grafiği elde edilmiştir (Şekil 2). Şekil 2'de kesikli çizgilerle gösterilen boşluk suyu basıncı oranı ile çevrim sayısı oranı ilişkisinden tepe noktalarını birleştiren eğri elde edilmiştir. Böylece 64 adet deney için de her bir duruma karşılık gelen boşluk suyu basıncı oranı çevrim sayısı oranı eğrileri elde edilmiştir (Şekil 2).



Şekil 1. Boşluk suyu basıncı çevrim sayısı



Şekil 2. Boşluk suyu basıncı oranı-çevrim sayısı oranı ilişkisi

Bu çalışma kapsamında boşluk suyu basıncı oranı ile çevrim sayısı oranı arasında gerilme tabanlı modellerden literatürde en çok kullanılanlar seçilmiştir. Lee ve Albaisa (1974) tarafından gerilme tabanlı modellerin temeli atılmış ve Seed vd. (1975) çevrim sayısı oranı ile boşluk suyu basıncı oranı arasında denklem 1'de gösterilen bağıntıyı geliştirmişlerdir.

$$r_u = \left[\frac{1}{2} + \frac{1}{\pi} \arcsin \left\{ 2 \left(\frac{N}{N_{liq}} \right)^{1/\alpha} - 1 \right\} \right] \quad (1)$$

Booker vd. (1976)'da bu modele alternatif bir model önermişlerdir. Model denklem 2'de gösterilmiştir.

$$r_u = \frac{2}{\pi} \arcsin \left(\frac{N}{N_{liq}} \right)^{1/2\alpha} \quad (2)$$

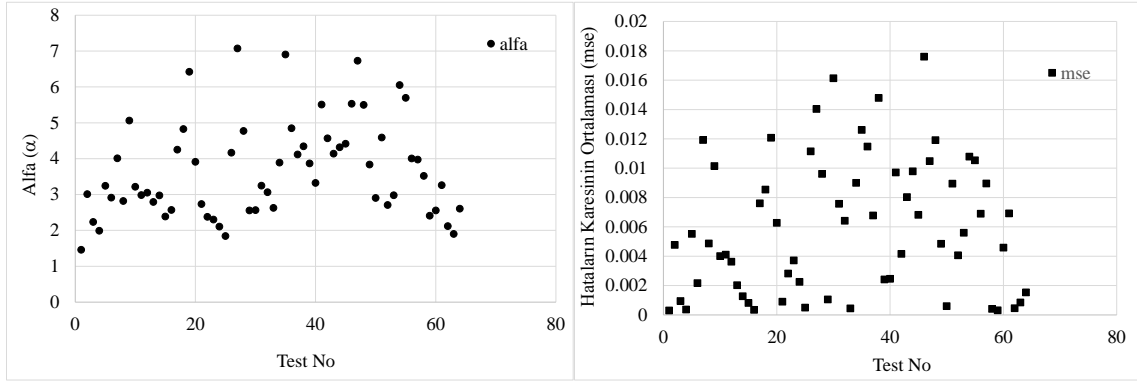
Daha sonra Polito vd. (2008) 'de denklem 1'de gösterilen α parametresini ince dane oranı (F.C), rölatif sıklık (D_r), tekrarlı gerilme genliği (CSR) ve sabit bir katsayıya bağlı olarak denklem 3'de yeniden ifade etmiştir.

$$\alpha = 0.01166 FC + 0.007397 D_r + 0.01034 CSR + 0.5058 \quad (3)$$

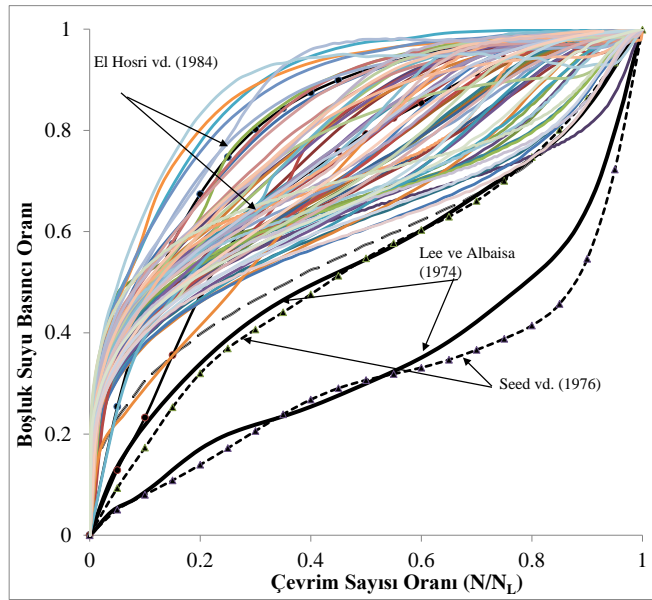
Seed vd. tarafından önerilen denklem 1 kullanılarak yapılan çalışma sonucunda ortalama α değeri 3.66 ve hataların karesinin ortalaması (mse) değeri ise 0.0059 olarak bulunmuştur. Deney sonuçlarına göre şekil 3'de α değerlerinin dağılımı ve buna karşılık gelen hataların karesinin ortalaması (mse) değerleri gösterilmiştir.

Şekil 4'de deney verileri kullanılarak elde edilen boşluk suyu basıncı oranı ile çevrim sayısı oranı ilişkisi gösterilmiştir. Deney sonuçları Seed vd., Lee ve Albaisa, ve El Hosri vd. için elde edilen çalışmalarla karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlardan tüm deney datalarının, temiz kumlar için elde edilen Seed vd., ile Lee ve Albaisa datalarının üst sınırının üzerinde olduğu, El Hosri vd.,'nin önerdiği sınırların üst kısmını bir miktar daha geçtiği gözlemlenmiştir.

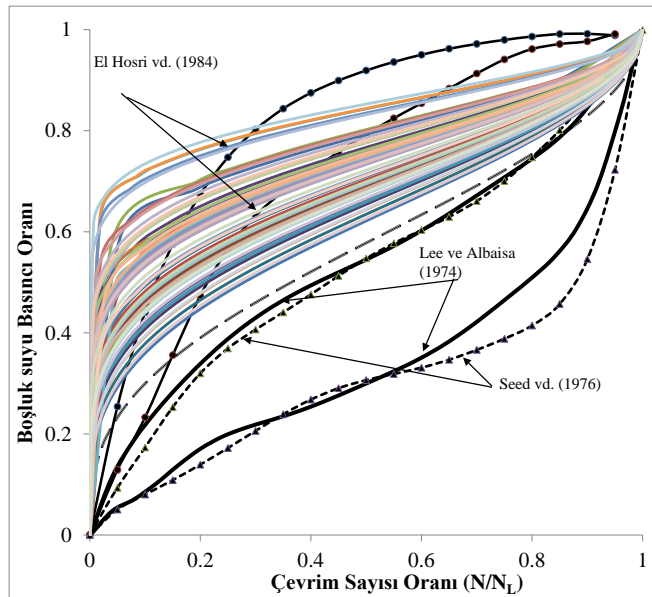
Denklem 1 kullanılarak, her bir deney verisi için hataların karesinin ortalaması (mse) en küçük olacak şekilde, elde edilen α değerleri için boşluk suyu basıncı oranı ile çevrim sayısı oranı şekil 5'de gösterilmiştir. Şekil 5'de gösterildiği üzere α değerleri büyük olduğu için küçük çevrim sayısı oranlarında boşluk suyu basıncı üretim hızı artmıştır. Yaklaşık olarak %50 boşluk suyu basıncı üretimi için gereken çevrim sayısı oranı 0.1'dir.



Şekil 3. Seed vd. için α değerleri ve hataların karesinin ortalaması (mse) dağılımı



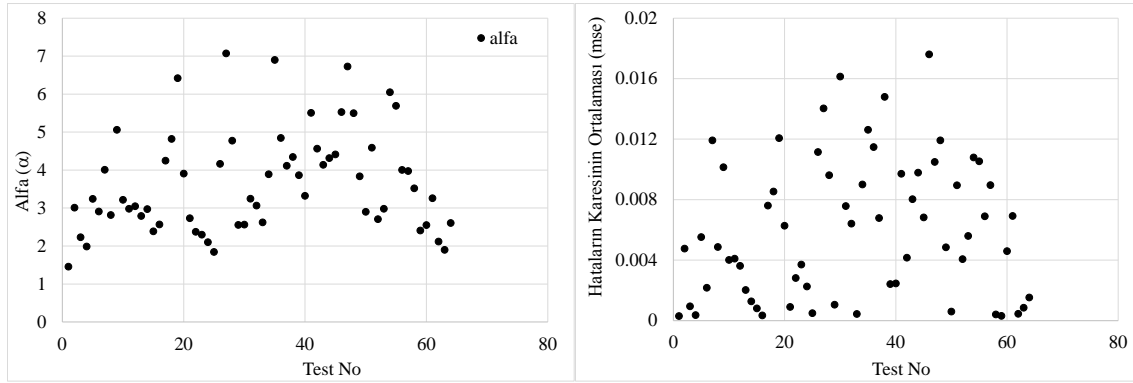
Şekil 4. Orijinal veriler için boşluk suyu basıncı oranı çevrim sayısı oranı ilişkisi



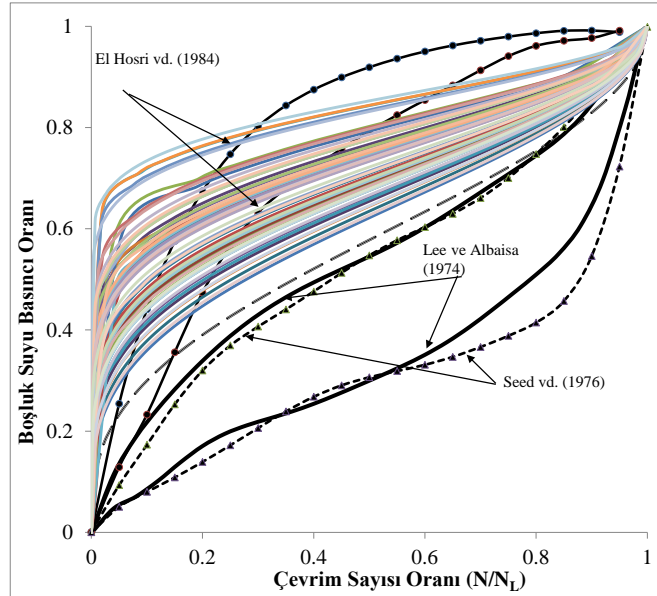
Şekil 5. Seed vd., denklemi için elde edilen boşluk suyu basıncı oranı çevrim sayısı oranı ilişkisi

Aynı işlemler Booker vd., tarafından önerilen alternatif model için de yapılmıştır. Buna göre önerilen alternatif model için şekil 6'da gösterildiği gibi ortalama α değeri 3.66 ve hataların karesinin ortalaması (mse) değeri ise 0.0059 olarak Seed vd., için önerilen değerle aynı bulunmuştur.

Booker tarafından önerilen denklem 2 kullanılarak elde edilen α değerleri için boşluk suyu basıncı oranı ile çevrim sayısı oranı şekil 7'de gösterilmiştir. Burada başlangıç boşluk suyu basıncı artım hızının çok büyük olmasından dolayı α değerleri de çok büyük elde edilmiştir. Yine %50 boşluk suyu basıncı oranı için gereken çevrim sayısı oranı %10'un altındadır.



Şekil 6. Booker vd. için α değerleri ve hataların karesinin ortalaması (mse) dağılımı



Şekil 7. Booker vd., denklemi için elde edilen boşluk suyu basıncı oranı çevrim sayısı oranı ilişkisi

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada suya doygun fiber katkılı kum zemin örneğinin tekrarlı boşluk suyu basıncı gelişim davranışlarının belirlenmesi amacıyla literatürde yer alan ampirik modeller için elde edilen α katsayılarının değişimi incelenmiştir. Bu amaçla farklı rölatif sıklık, fiber oranı ve fiber boyu için tekrarlı üç eksenli deney sonuçları kullanılmıştır. Çalışma kapsamında iki farklı ampirik bağıntı kullanılarak α katsayılarının değişimi incelenmiştir. Burada hem Seed vd., için hem de Booker vd., için ortalama α değerinin aynı ve 3.66, hataların karesinin ortalaması da 0.0059 olarak elde edilmiştir. Şekil 4'de gösterilen orijinal değerler için başlangıç boşluk suyu basıncı artım hızının temiz

kumlara kıyasla daha büyük olduğu gözlemlenmiştir. Burada %40 boşluk suyu basıncı oranına ulaşması için gereken çevrim sayısı oranı da %10'un altındadır. Ayrıca her iki modelde de başlangıç boşluk suyu basıncı artım hızının çok büyük olduğu, %60 boşluk suyu basıncı oranına kadar elde edilen çevrim sayısı oranının %10 civarında olduğu gözlemlenmiştir.

KAYNAKLAR

- Ibraim E, Diambra A, Muir Wood D, Russell AR (2010) “Static liquefaction of fibre reinforced sand under monotonic loading” *Geotext Geomembr* 28 (4): 374–85
- JGS 0541-2000 Method for Cyclic Undrained Triaxial Tests on Soils Japanese Geotechnical Society, 2000
- Kramer, SL (1996) Geotechnical Earthquake Engineering, Prentice-Hall international series in civil engineering and engineering mechanics Upper Saddle River, NJ
- Liu J, Wang G, Kamai T, Zhang F, Yang J, Shi B (2011) “Static liquefaction behavior of fiber-reinforced sand in undrained ring shear tests” *Can Geotech J* 29 (5): 462–71