

ARTAN TEKRARLI YÜKLER ALTINDA NCE DANEL ZEM NLERDE F BER KULLANIMININ D NAM K ÖZELL KLERE ETK S N N NCELENMES

.Kalıpcılar¹, E. Karakan², D. Erdogan³, A. Sezer⁴, S. Altun⁴

¹ Ara tırma Görevlisi, n aat Müh. Bölümü, Ege Üniversitesi, zmir

² Yrd. Doç. Dr., n aat Müh. Bölümü, Kilis 7 Aralık Üniversitesi, Kilis

³ Yrd. Doç. Dr., n aat Müh. Bölümü, Ege Üniversitesi, zmir

⁴ Doç. Dr., n aat Müh. Bölümü, Ege Üniversitesi, zmir

Email: alper.sezer@ege.edu.tr

ÖZET:

Zeminler, dinamik etkiler altında farklı gerilme ekleme ve mukavemet davranı ları göstermektedir. Özellikle, katkılı zeminler üzerine yapılan dinamik incelemelerin sınırlı olması, son zamanlarda bu konu üzerine çalı maların yo unlaşmasına sebep olmu tur. Laboratuvar çalı maları, sismik etkiler altında davranı nın ve sonrasında tasarımda kullanılacak parametrelerin belirlenmesinde önemli bir yer tutmaktadır. Bilindi i üzere, ince daneli zeminler, gerek laboratuvar ko ullarında, gerekse deprem yükleri altında arazide genellikle dayanımını tamamen kaybetmeden yumu amaya ba lı yüksek deformasyonlar sergilemektedir. Bu çalı mada, ince daneli zeminlerde fiber katkısının yukarıda sözü edilen dinamik davranı nı ne yönde etkiledi i, deneysel bir çerçeve dahilinde ara tırılmı tur. Bu amaçla, laboratuvarda, bir dizi çevrimsel üç eksenli dinamik deney yapılmı tur. Çalı mada örnekler, ince daneli zeminin optimum su içeri inde hazırlanmı tur. nce daneli zemine, a ırlıkça % 0, 0.25, 0.5, 1 ve 2 oranında polipropilen fiber karı tırılmı tur. Ayrıca, fiber boyutunun davranı a katkısının gözlenmesi amacı ile 6 ve 12 mm. boyutunda fiberler kullanılarak örnekler üzerinde çevrimsel üç eksenli deneyler de tatbik edilmi tir. Deneyler 0.1 Hz yükleme frekansında ve 100 kPa efektif gerilme altında konsolide edilmi örnekler üzerinde gerçekleştirilmi tir. Artan gerilme genlikleri ile elde edilen deneysel çalı malarda birim kayma deformasyonu de erinin, kayma modülü oranı ve sönüm oranı ile de i imi incelenmi tir. Elde edilen sonuçlar de erlendirilerek, fiber oranı ve boyutunun ince daneli zeminin kayma modülünü ve sönüm oranını ne oranda de i tirdi i ara tırılmı tur.

ANAHTAR KEL MELER : Dinamik davranı , fiber katkılı ince daneli zemin, kayma modülü, sönüm oranı

1. G R

Son yıllarda, birçok geosentetik malzeme geoteknik mühendisliği kapsamında mühendislik özelliklerinin iyile tirilmesi amacı ile kullanılmaktadır. Bu amaçla kullanılan geosentetik malzemelerin bir türü olan fiber, kayma ve çekme dayanımını arttırmakta ve fiber ile zeminden olu an kompozit malzemenin davranı nı tamamen de i tirmektedir.

Yapılan çalı malarda, fiber katkısı ile birlikte serbest basınç deneylerinde zeminin dayanımının ve eksenel deformasyonlarının arttı ı böylelikle fiber katkılı zeminin daha sünek davranı gösterdi i belirlenmi tir (Consoli et al., 2010; Olgun, 2013; Starcher ve Liu, 2013). Fiber katkılı zeminlerde olu an bu dayanım artı ı; fiber içeri inden, fiber türünden ve fiber çap-uzunluk oranından etkilenmektedir (Chen vd., 2015).

Fiber katkısı tek ba ına zemine uygulandı ı gibi çe itli ba layıcı katkılarla da iyile tirme amacı ile kullanılmaktadır. Genellikle çimento gibi ba layıcı katkılar gevrek davranı ve basınç dayanımı artmakta iken çekme basıncına etki etmemektedir. Ancak, stabilize zeminler sismik ya da yanal deplasmanlara maruz kaldı ında zeminin e ilme dayanımının e ilme mukavemetini kar ılayabilmesi gerekmektedir (Sukontaskul ve Jamsawang, 2012). Bu durumda, çekme dayanımını arttırmak için fiber kullanımı alternatif bir yöntem olmaktadır (Correia et al., 2015). Zeminde olu abilecek çatlakların da fiber içeri inden belirgin olarak

etkilendi i ayrıca belirtilmi tir (Nahlavi ve Kodikara, 2006). Hamidi ve Hooresfand (2013) çimento içeri ini ve polipropilen fiber katkısının kum üzerindeki etkisini üç eksenli deneyler yardımı ile incelemi tir. Çalı malarında, çimento içeri ini ve kür süresini sırasıyla %3 ve 7 olarak belirlemi ler ve örneklerdeki çekme dayanımını arttırmak için %0.5 ile % 1 olmak üzere iki farklı oranda fiber kullanımlardır. 100, 300 ve 500 kPa'lık çevre basıncında yaptıkları deneyler sonrasında fiber içeri ini pik ve rezidüel kayma dayanımını arttırdı mı ve çimento içeren örneklerin gevrek davranı yerine daha sünek davranı gösterdi ini belirlemi lerdir. Dinamik etkiler altında fiber etkisi incelendi inde ise, drenajsız yüklemelerde sıvılaşmanın daha fazla sayıdaki çevrimlerde gerçekleşti i gözlemlenmi tir (İbrahim et al., 2010; Maheshwari et al., 2013). Aynı zamanda, dinamik kayma modülü de fiber içeri inden etkilenmekte ve fiber içeri i arttıkça artmaktadır.

Literatürde, dinamik deneyler ile farklı tip zeminlerin fiber katkısı ile birlikte dinamik parametrelerindeki de iimler belirlenmi tir. Noorzad ve Amini (2014) çalı malarında, gev ek ve orta sıklıktaki kum zeminlerde rastgele da ılımı fiberlerin sıvılaşma direncinde ve kesme modülünde olu turdu u de iimleri incelemi lerdir. Fiber içeri ini, fiber boyutunu, rölatif sıklı ı ve çevre basıncını de iken parametreler olarak belirlemi lerdir. Deneysel çalı malarının sonucunda, fiber katkısının kum zeminlerde sıvılaşma dayanımını arttırdı mı gözlemlenmi lerdir. Artan fiber içeri inde ve uzunlu unda, sıvılaşma için gerekli olan çevrim sayısının arttı mı, sıkı zeminlerde gev ek zeminlere oranla donatının etkisinin daha fazla gözlemlendi ini vurgulamı lardır. Donatısız ve donatılı zeminlerin kayma modüllerini de çalı malarında ayrıca ara tırmı lar ve elde ettikleri sonuçlardan fiber içeri ini artması ile birlikte kayma modülünün arttı mı belirlemi lerdir.

İbrahim vd. (2012) fiber içeren zemin örnekleri için titre im kullanarak yeni bir örnek hazırlama metodu önermi tir. Çalı malarında, nemli kum ve fiber karı ımının titre im kullanılarak sıkı tırılması ile uygulanan yöntem ve geleneksel yöntem yapılan üç eksenli deneyler ile kıyaslanmı tır. Elde ettikleri sonuçlar do rultusunda her iki yöntemin de birbiri ile benzer sonuçlar verdi ini belirtmi lerdir.

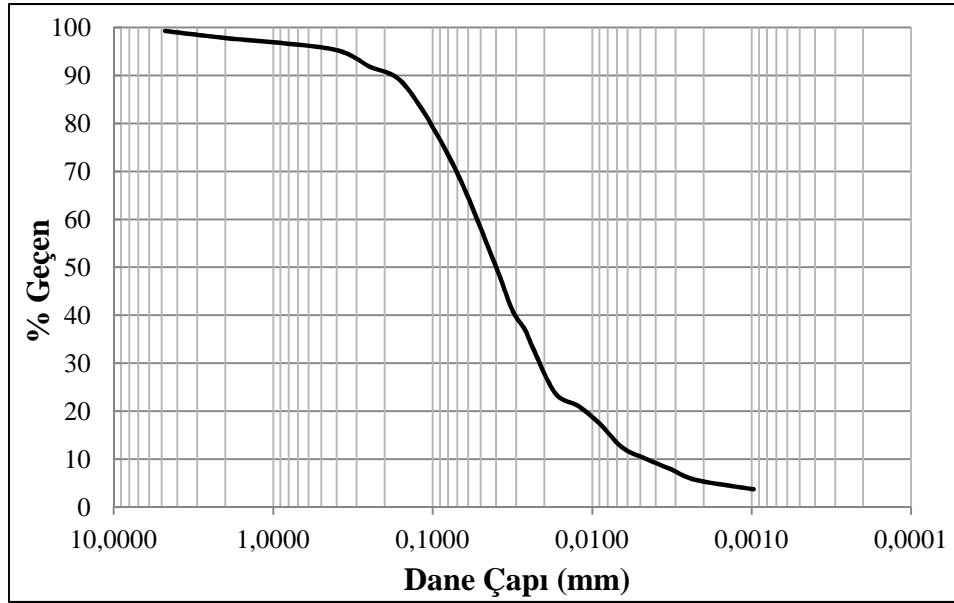
2. MALZEME VE DENEY YÖNTEM

2.1. Deneysel Çalı mada Kullanılan Malzeme Özellikleri

Çalı mamızın deneysel kısmında % 0.25, 0.5, 1 ve 2 olmak üzere 4 farklı fiber içeri inde ve 6 mm, 12 mm uzunlu undaki iki farklı fiber ile iyile tirilen kil zeminin tekrarlı yükler altındaki davranı ları incelenmi tir. Deneysel çalı mada kullanılan dane çapı da ılımı, Atterberg limitleri, maksimum birim hacim a ırlıkları ve optimum su içerikleri sırası ile ASTM D6913-04, ASTM D4318-10, ASTM D698-12 standartlarına göre belirlenmi tir. Birle tirilmi zemin sınıflandırılması sistemine göre zeminin sembolü CL olarak belirlenmi tir. ekil 1'de granülometri e risi ve Tablo 1'de ise kilin fiziksel özellikleri verilmi tir.

Tablo 1. Kil zeminin fiziksel özellikleri

Zemin Sembolü	CL
Likit Limit	41
Plastik Limit	22
Plastisite ndis	19
Optimum Su içeri i (%)	20
Maksimum Kuru Birim Hacim A ırlı ı (kN/m ³)	16



ekil 1. Kilin Granülometre Erisi

Çalışmada özel bir firmadan temin edilen polipropilen fiber malzeme kullanılmıştır. Farklı boyda olan fiber malzemenin, erime sıcaklığı 162°C , elektriksel iletkenliği düşük ve özgül ağırlığı 0.91 olarak belirlenmiştir. Tablo 2'de polipropilen fiber malzemenin bazı özellikleri görülmektedir.

Tablo 2. Polipropilen fiber malzemenin özellikleri

Fiber Tipi	FM6	FM12
Uzunluk (mm)	6	12
Özgül ağırlık (gr/cm^3)	0.91	
Çekme dayanımı	$700 \text{ N}/\text{mm}^2$	
Erime sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)	162	
Asit ve tuz direnci	Yüksek	
Elektriksel iletkenlik	Düşük	

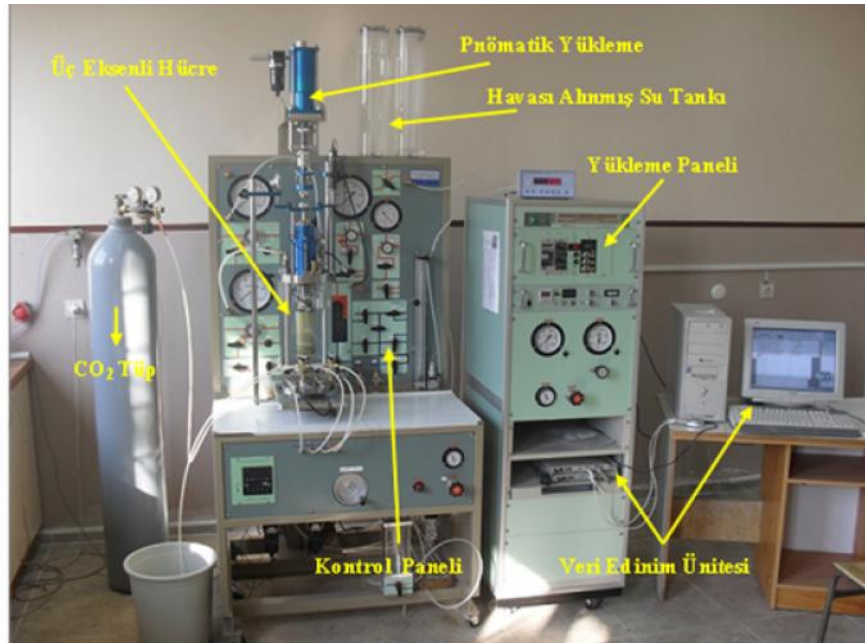
2.2. Örnek Hazırlama Metodu ve Dinamik Üç Eksenli Basınç Deney Düzenine İlişkin

Kil zemin öncelikle, 105°C 'lik etüvde kurutulmuş, daha sonra da özütmüştür. Örnekler, deneylerin tekrarlanabilir olması amacıyla standart bir prosedürde hazırlanmıştır. Kil zemin belirlenen miktarda fiber ile kuru olarak karıştırılmış, daha sonra optimum su içeriğine ve miktardaki su ile homojen bir karışım elde edilinceye kadar karıştırılmıştır. Fiber-kil karışımı mini proktor kalıbında standart enerji ile sıkıştırılmıştır. Ekil 2'de hazırlanan fiber kil karışımı görülmektedir. Tüm deneyler doyum olmayan $50 \times 100 \text{ mm}$ 'lik örnekler üzerinde 100 kPa 'lık çevre basıncında gerçekleştirilmiş olup, tekrarlı yüklemeler dreajsız koşullarda 0.1 Hz frekansında sinüzoidal olarak gerçekleştirilmiştir. Dinamik üç eksenli deneyler, JGS 0542-2000 (Method for Cyclic Undrained Triaxial Test on Soils) standardına uygun olarak tamamlanmıştır.



ekil 2. Homojen olarak Karı tırlımı Fiber- Kil Karı ımı

Çalı mada kullanılan dinamik üç eksenli deney sistemi pnömatrik türde olup dört ana bölümden olmaktadır : deney hücresi, basınç sistemi, dinamik yük düzeni, ölçüm ve kayıt sistemi. Deney düzeninde izotropik ve anizotropik olmak üzere iki farklı gerilme koşulunda deney yapılabilmektedir. Hava regülatörüne bağlı piston aracılığı ile eksenel yük tekrarlı olarak örnek üzerine uygulanmaktadır. Kohezyonlu örnek, yerle tırlmesi esnasında örselenmemesi amacı ile hücre destek kolonları kullanılarak sisteme yerle tırlmı tir. ekil 3'te kullanılan deney sistemi gösterilmektedir.



ekil 3. Kullanılan deney sistemi

Drenajsız yükleme deneylerinde, tek genlikteki eksenel ekilde i tirme %0.001'den az olacak ekilde, on bir çevrimlik yükleme kademesi için gerçekleştirilir. Yeni bir yükleme kademesine geçmeden önce örneğin boy ve hacim değişimi ölçülür. Her yükleme kademesi için benzer işlemler gerçekleştirilerek en az 40 yükleme kademesi olacak ekilde deney sonlandırılmaktadır.

3. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Zeminlerin tekrarlı yükler altında davranışları, bir başka ifadeyle dinamik özelliklerini tanımlanırken, gerilme–ekil deformasyon ve mukavemet özellikleri araştırılmaktadır. Gerilme–ekil deformasyon özellikleri olarak genellikle dinamik kayma modülü ve sönüm oranı değerlerinin ve bunların birim deformasyonla ilişkisi olarak değerlendirilmektedir. Zeminlerin gerilme–ekil deformasyon özelliklerinin tayin edilmesinde, model çalışmasının seçiminde ve yapılan deneylerin analizinde elastik deformasyon seviyesi en belirleyici rolü oynamaktadır. Çünkü farklı deformasyon seviyelerinde zeminlerin gerilme–ekil deformasyon davranışları oldukça farklı özellikler arz etmektedir.

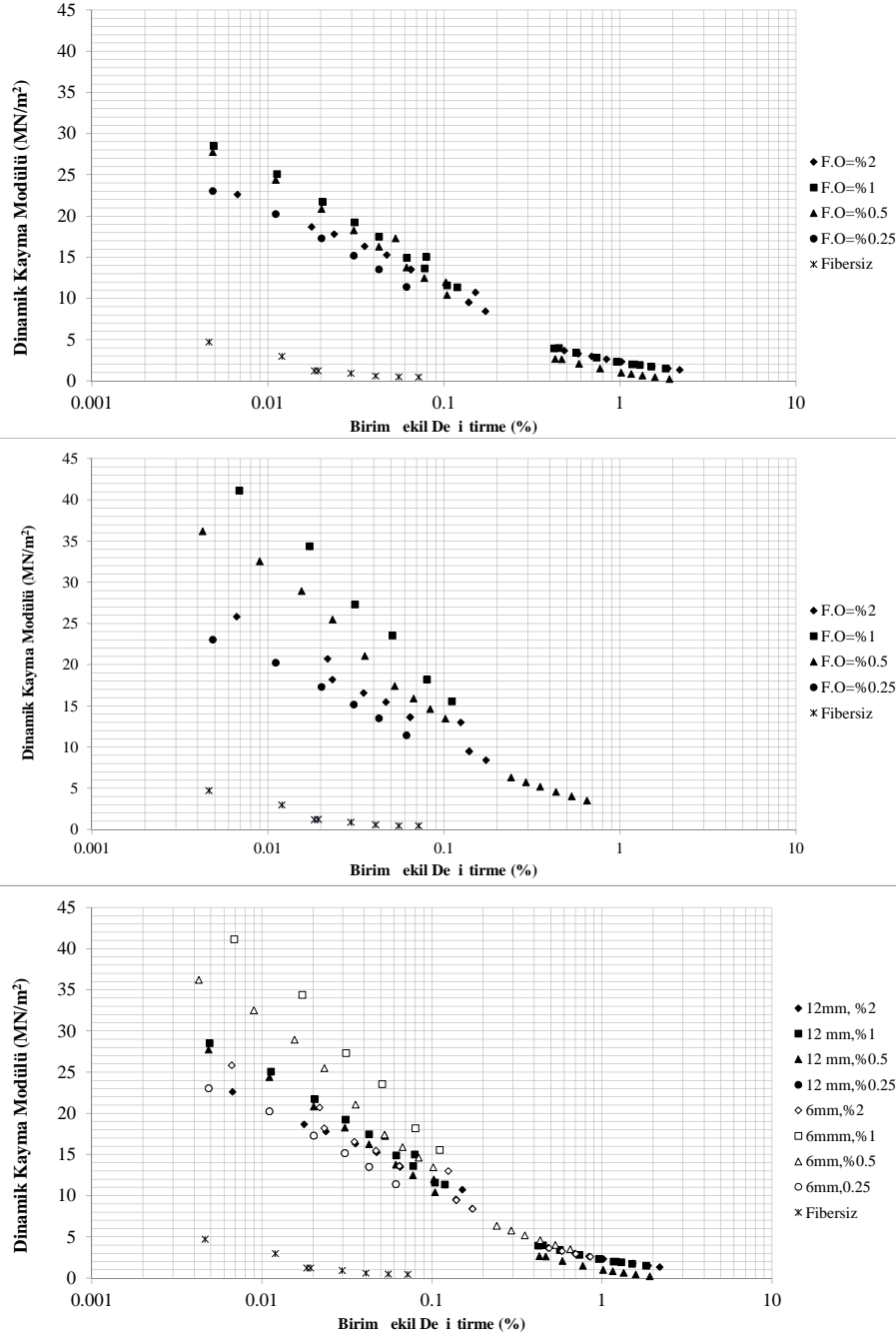
Zeminlerde gerilme–ekil deformasyon ilişkisi incelenirken özellikle kalıcı deformasyonların oluştuğu zemin ortamlarında simetrik tekrarlı yüklemeye koşullarına maruz kalan zeminlerin davranışları genellikle kayma modülü ve sönüm oranı özellikleri ile belirlenir. Bu tür zemin durumlarında kayma modülü ve sönüm oranı faktörlerinin kullanıldığı doğrusal analizler, zeminde oluşacak deformasyonlarla daha uyumlu olmaktadır. Hardin ve Drnevich (1972a) tarafından yapılan çalışmada zeminlerde kayma modülüne etki eden en önemli faktörlerin çevre gerilmesi, birim deformasyon genliği ve boşluk oranı olduğu; buna karşın sönüm oranının ise tane boyutu, doygunluk derecesi, boşluk oranı, içsel sürtünme açısı, yanal toprak basıncı katsayısı ve çevrim sayısı değerlerinden az miktarda etkilenmekle beraber daha çok zeminin maruz kaldığı deformasyon seviyesi ve efektif çevre gerilmesinden etkilendiği belirtilmektedir.

Deformasyonların küçük seviyelerde kalması bekleniyorsa gerilme–ekil deformasyon özelliklerinin belirlenmesinde “lineer elastik teori”ye uygun modellerin kullanımı daha doğru olmaktadır. Bu deformasyon seviyesinde zemin davranışının modellenmesinde “kayma modülü” en önemli parametre olmaktadır. Deformasyonların elastik sınırlar içerisinde kaldığını ifade edebilmek için deformasyonların teorik olarak yaklaşık 10^{-5} den küçük olması gerektiği ve zeminlerin bu seviyenin altında elastik davranış özellikleri gösterdiği kabul edilir. Yine bu deformasyon seviyesinde kayma modülü maksimum değerinde (G_{maks}) olup elastik sınırlar içerisinde bu sabit değeri sürdürür.

Dinamik yükler altında gerilme veya deformasyon kontrollü olarak gerçekleştirilen laboratuvar deneylerinde çevrim sayısındaki artışla beraber kum zeminlerde sıvılaşma, kil zeminlerde ise yumuşama ön plana çıkmaktadır. Böylece zeminlerin tekrarlı yükler altındaki gerilme–ekil deformasyon özelliklerini temsil eden en önemli parametreler olan dinamik kayma modülü ve sönüm oranı değerleri ve bu değerlerin zamana (veya birim deformasyondaki artışla) ilişkisi olarak her çevrimde elde edilen histeresis ilmiklerinden yararlanılarak belirlenmiştir.

Yapılan bu çalışmada kapsamında standart proktor enerjisinde sıkıştırılmış fiber katkılı/katkısız kil zeminin drenajsız koşullardaki gerilme–ekil deformasyon özelliklerini belirlemek amacıyla deformasyon oranlarında ve boyda fiber içeren örnekler üzerinde dinamik üç eksenli deneyler gerçekleştirilmiştir. Böylelikle kil zeminde fiberin dinamik mukavemete katkısı, artan genlikli gerilmelerle yapılan tekrarlı yüklemeye deneyleri ile belirlenmeye çalışılmıştır. Onbirer çevrimlik bu gerilme artımı yöntemi ile katkılı/katkısız kil zemine ait dinamik kayma modülü ve sönüm oranı değerlerinin değişimi incelenecektir.

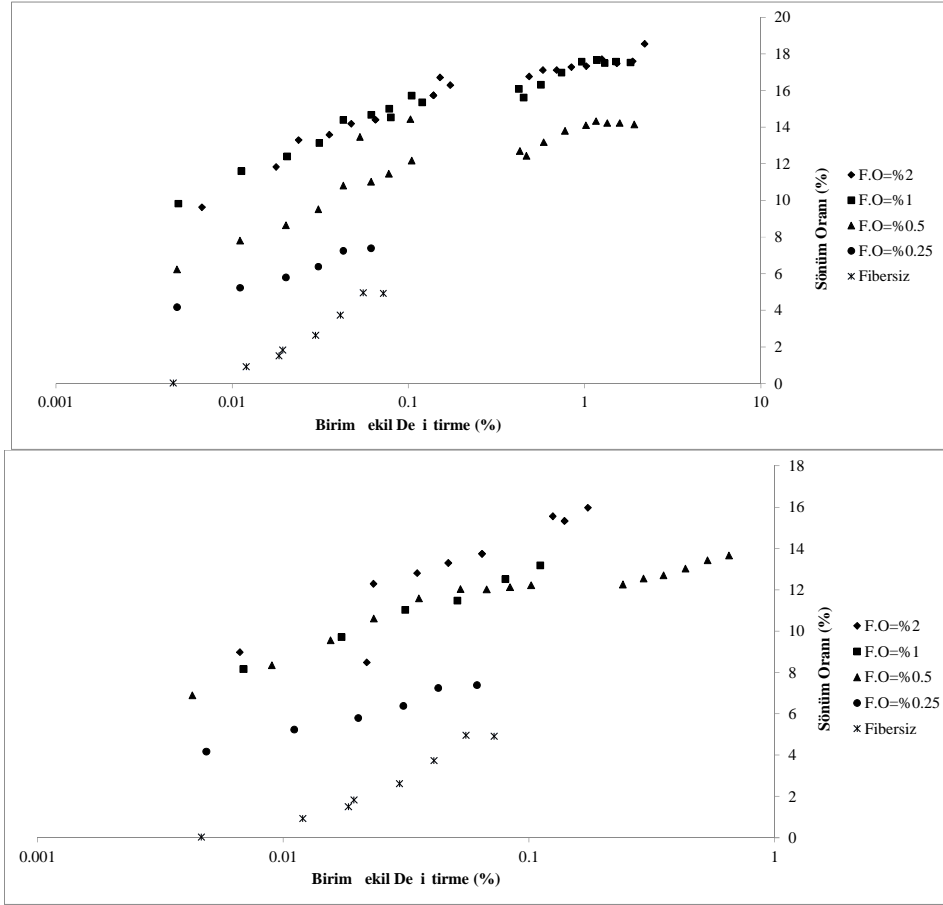
Deformasyon 4’de 12 ve 6 mm boyunda fiber kullanılarak, farklı fiber oranları için elde edilen dinamik kayma modülü birim deformasyon grafikleri verilmiştir. Deformasyon 4a ve 4b’de görüldüğü gibi hem 12 mm hem de 6 mm fiber kullanılarak hazırlanmış olan örneklerde birim deformasyona bağılı olarak kayma modüllerinde azalma gözlenmektedir. Fiber oranı dinamik kayma modülü değerleri birim deformasyona bağılı olarak incelendiğinde en genel hali ile iki fiber boyu için de fiber içeriğinin %1’e kadar artması durumunda dinamik kayma modüllerinde artış gözlemlenmiştir, %1 değerinden sonra ise azalmaların başladığı gözlemlenmektedir.



ekil 4. Dinamik Kayma Modülü Birim ekleme Değiştirme Grafiği

a) Fiber boyu 12 mm, b) Fiber boyu 6 mm c) Fiber boyu içeriği toplu karışım ile artırılması

Bilindiği üzere fiber malzeme kendi eksenine doğru rultusunda zemindeki birim deformasyona bağlı olarak çekme kuvvetlerinin harekete geçmesi ve bu yolla zeminin mukavemetine katkıda bulunan bir malzemedir. ekil 4c'de birim ekleme değiştirme oranının % 0.1-0.2 aralığından sonraki deformasyonlarda fiber içeriği ve boyunun dinamik kayma modülü üzerinde herhangi bir ekleme etkisi görülmemiştir. Deney sonrasında örnekler görsel olarak incelendiğinde beklendiği üzere fiber malzemede kopma görülmemiştir. Bu sebepten yukarıda sözü edilen davranışı % 0.1-0.2 deformasyon seviyeleri sonrasında fiber malzemenin, mukavemet açısından kendi sınır değerine ulaşarak ortamın kayma modülü deformasyon değişimine herhangi bir etkisinin kalmadığı ekleme oranlarında yorumlamak mümkündür.



ekil 5. Sönüm Oranı Birim ağırlık kaybı Grafiği
a) Fiber boyu 12 mm, b) Fiber boyu 6 mm

ekil 5’de tüm fiber boyu ve içerikleri için sönüm oranının birim ağırlık kaybı ile ilişkisi görülmektedir. Buna göre, iki fiber boyu için de fiber içeriğinin artışı ile birlikte fiber örneklerin enerji yutma kapasitelerinde artış gözlenmiştir. Bu sonucu, fiber oranı arttıkça örneklerin deformasyon yapabilme kapasitelerinin artmasına bağlamak mümkündür.

ekil 6’da 12 mm fiber boyu için, soldan sağa sırasıyla %2, 1 ve 0.5 oranında fiber içeren örneklerin çevrimsel yükleme sonrasındaki aksenal boyda ilişkileri görülmektedir. Bu ekilde fiber katkılı kil zeminin arazide kullanımı durumunda artan çevrim sayısı ile beraber deformasyona başlamakta olan oturmalar hakkında fikir verecektir. Ayrıca bu ekilde, fiber içeriğinin artışı ile birlikte, düzlemsel geotekstil kullanımındaki benzer olarak, belirgin kayma düzlemlerinin oluştuğu gözlenmektedir.



ekil 6. Çevrimsel Yükleme Sonrasındaki Eksenel Boy Değişimi ile İlgili Görsel
a) Fiber Oranı %2, b) Fiber Oranı %1, c) Fiber Oranı %0.5

4.SONUÇLAR

Bu çalışmada, iki boyda ve içeriklerde polipropilen fiber ile güçlendirilmiş kil zeminin dinamik özelliklerindeki değişim bir deneysel program dahilinde araştırılmıştır. Deneysel çalışmada sonucunda aşağıdaki bulgular elde edilmiştir:

1. Seçilen fiber boyutlarının dinamik özelliklere katkısı araştırıldığında, 12 mm uzunluğunda fiber içeren örneklerin dinamik özelliklerinin 6 mm.fiber içeren örneklere göre daha zayıf olduğu gözlemlenmiştir. Fiber içeriklerinin katkısı araştırıldığında, her iki fiber boyu için % 1 fiber içeriğinde en büyük dinamik kayma modülü elde edilmiştir. Yapılan deneysel çalışmada sonucu, seçilen fiber boyları ve uzunluklarına istinaden, 6 mm. boyunda ve % 1 oranında fiber içeren örneğin kayma modülü değerleri tüm deformasyon seviyelerinde en yüksek dinamik kayma modülü değerlerini vermiştir.
2. Fiber oranı ve fiber boyundan bağımsız olarak, birim eksenel deformasyonların % 0.1'den daha büyük değerlerinden sonra fiber varlığının dinamik kayma modülüne katkıda bulunmadığı görülmüştür.
3. Fiber boyundan bağımsız olarak, fiber oranı arttıkça, elde edilen sönüm oranları artmıştır.
4. Netice itibarı ile, kil zeminde fiber kullanımının statik dayanım üzerindeki etkisi geçmiş çalışmalarla kanıtlanmıştır. Bu çalışmada en yalın tabirle % 1 oranında 12 mm'lik fiber kullanımı ile deneylerin yapıldığı deformasyon seviyelerindeki dinamik kayma modülü değerleri 6 ile 30 kat arasında artmıştır. Aynı şartlar, 6 mm'lik fiber kullanıldığında 9 ile 36 kat arasında değişmektedir. % 1'den daha küçük fiber içeriklerinde bu artışlar ciddi seviyede azalmamaktadır, fiber kullanımının kilin dinamik kayma modülüne etkisi azımsanmayacak düzeydedir. Fiber kullanımında sönüm oranındaki artışlar çok daha büyük değerlerdedir.
5. Bundan sonraki çalışmalarda, farklı oranlarda ve bağıl çukullarında örnekler hazırlanarak çalışmanın çerçevesi genişletilecektir.

TE EK KÜR

Bu çalışmada kullanılan polipropilen fiber, Atlas1 firmasından temin edilmiştir.

KAYNAKLAR

- Chen, M., Shen, S. L., Arulrajah, A., Wu, H. N., Hou, D. W., Xu, Y. S. (2015). Laboratory evaluation on the effectiveness of polypropylene fibers on the strength of fiber-reinforced and cement-stabilized Shanghai soft clay. *Geotextiles and Geomembranes*.
- Consoli, N.C., Bassani, M.A.A., Festugato, L. (2010). Effect of fiber-reinforcement on the strength of cemented soils. *Geotextile and Geomembranes* **28:4**, 344-351.
- Correia, A. S. A., Olivera, P. J. V., Custódio, D. G. (2015). Effect of polypropylene fibres on the compressive and tensile strength of a soft soil, artificially stabilised with binders. *Geotextiles and Geomembranes* **43:2**, 97-106
- Hamidi, A., Hooresfand, M. (2013). Effect of fiber reinforcement on triaxial shear behavior of cement treated sand, *Geotextiles and Geomembranes* **36**, 1-9.
- Ibraim, E., Diambra, A., Muir Wood, D., Russell, A.R. (2010). Static liquefaction of fibre reinforced sand under monotonic loading. *Geotextiles and Geomembranes* **28:4**, 374-385.
- Ibraim, E., Diambra, A., Russell, A.R., Muir Wood, D. (2012). Assessment of laboratory sample preparation for fibre reinforced sands. *Geotextiles and Geomembranes* **34**, 69-79.
- Maheshwari, B., Singh, H., Saran, S. (2013). Closure to Effects of Reinforcement on Liquefaction Resistance of Solani Sand. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering* **139:9**, 1634–1635.
- Nahlawi, N., Kodikara, J.K. (2006). Laboratory experiments on desiccation cracking of thin soil layers. *Geotechnical and Geological Engineering* **24**, 1641-1664.
- Noorzad, R., Fardad Amini, P. (2014). Liquefaction resistance of Babolsar sand reinforced with randomly distributed fibers under cyclic loading. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* **66**, 281-292.
- Olgun, M. (2013). The effects and optimization of additives for expansive clays under freeze–thaw conditions, *Cold Regions Science and Technology* **93**, 36-46.
- Starcher, R., Liu, C. (2013). Mechanical Behavior of Cement- and Cement-Fiber-Improved Soft Soils. Geo-Congress 2013. 2041-2050.
- Sukontasukkul, P., Jamsawang, P. (2012). Use of steel and polypropylene fibers to improve flexural performance of deep soil-cement column. *Construction and Building Materials* **29 (1)**, 201-205.