

## **POLİPROPİLEN FİBER İLE GÜÇLENDİRİLMİŞ YUMUŞAK ZEMİNLER: KONSOLİDASYON DAVRANIŞI**

### **POLYPROPYLENE FIBER – REINFORCED SOFT SOILS: CONSOLIDATION BEHAVIOR**

**Tanay KARADEMİR<sup>1</sup>**

#### **ÖZET**

İnce daneli yumuşak zeminlerin (killer) yük altında konsolidasyon davranışı; oturma reaksiyonu açısından mühendislik özelliklerinin iyileştirilmesi hususunda esneklik, modifiye sağlamlık özellikleriyle karakterize edilen polimerik fiberlerin dahil edilmesiyle sağlanabilir. Böylece, killi toprağın sertlik, sıkılık özellikleri sağlanmış olacaktır. Bu amaçla, farklı kuru ağırlık oranlarında hazırlanan; kuru ağırlıkça 0%, 1%, 3%, ve 5% oranında polipropilen (PP) fiberin, killi zemin ile karıştırılmasıyla elde edilen kil zemin numuneleri üzerinde 1B konsolidasyon testlerinden oluşan deney programı gerçekleştirilmiştir. Test ölçümleri sonucunda oluşturulan konsolidasyon eğrileri kullanılarak, sahada farklı yük koşulları altında gelişen konsolidasyon davranışı, oturma özelliklerini değerlendirebilmek amacıyla gerek görülen mühendislik parametreleri; yük – deformasyon karakteristiğinin değerlendirilmesi için sıkışma indeksi ( $C_c$ ); hidrolik özelliklerin değerlendirilmesi için konsolidasyon katsayısı ( $c_v$ ) belirlendi. Deneysel bulgular, test edilen killi zeminlerdeki fiber lif içeriğindeki artışla  $C_c$ 'nin azaldığını, oysa  $c_v$ 'nin arttığını ortaya koydu. Bu durum, fiberin ince daneli zemine dahil edilmesinin mekanik özelliklerin iyileştirilmesi, konsolidasyon karakteristik özelliklerinin olumlu yönde düzelmesiyle sonuçlandığını gösterir. Böylece, yumuşak killi toprağın yüklemeye karşı daha büyük basınç mukavemeti; ayrıca, daha az miktarda ölçülen deformasyon özellikleri oluşturulmuş oldu, bu durum killi toprağın yük altındaki kararlılığının, direncinin ve dayanıklılığının modifikasyonu için avantajdır. Ayrıca, kilin hidrolik iletkenliği ne kadar yüksek olursa, konsolidasyon oturma süresinin hızlandırılmasıyla sonuçlanacak; nihayetinde, plastik konsolidasyon deformasyonunun tamamlanmasını istenildiği şekilde olumlu yönde etkileyecektir.

**Anahtar Kelimeler:** Yumuşak Zeminler, Konsolidasyon Davranışı, Polipropilen Fiber, Sıkışma Özellikleri

<sup>1</sup> Dr. Öğr. Üyesi, İstanbul Bilgi Üniversitesi, tanay.karademir@bilgi.edu.tr

## ABSTRACT

The improvement of engineering properties of fine grained soils (clays) per consolidation behavior, settlement response under loading can be facilitated by inclusion of polymeric fibers characterized by flexibility, modified stiffness so that firmness of clays will be enabled. To this end, an experimental program including 1D consolidation tests was performed on clay specimens prepared at different dry weight proportions; 0%, 1%, 3%, 5% polypropylene (PP) fiber by weight mixed with clay. Using consolidation curves generated from the tests, the engineering parameters required to evaluate consolidation behavior, settlement properties under different loadings in field including; compression index ( $C_c$ ) for assessment of load – deformation characteristics; coefficient of consolidation ( $c_v$ ) for assessment of hydraulic properties were determined. Experimental findings revealed,  $C_c$  decreased whereas  $c_v$  increased with an increase in fiber content in clay tested. This shows, the fiber inclusion into clay resulted enhancement of mechanical properties; improvement of consolidation characteristics. The larger compressive strength of clay against loading along with smaller amount of measured deformation achieved which is advantage for modification of stability, resistance, durability of clay under loads. The higher the hydraulic conductivity of clay resulted that will expedite duration of consolidation settlement; eventually influence the completion of consolidation favorably for clays.

**Keywords:** *Soft Soils, Consolidation Behavior, Polypropylene Fiber, Deformation Properties*

## 1. GİRİŞ VE İLGİLİ LİTERATÜR

Mühendislik projelerindeki geoteknik sorunları hafifletmek, problemlere bir çözüm bulmak için toprak endeks ve mukavemet özelliklerini iyileştirmek adına zemine farklı katkı maddeleri (örn. çimento, kireç, uçucu kül ve lifler) ekleyerek bazı deneysel çalışmalar günümüze kadar yapılmıştır ve sonuçları literatürde rapor edilmiştir. Yoğunlaştırılıp kuvvetlendirilmiş bir polimerik kompozit malzeme olarak lifler çok sayıda araştırmacının geçmişte dikkatini çekmiştir. Fiber takviyeli (yani lif ile güçlendirilmiş) zeminin karakteristik özelliklerini keşfetmek için muazzam sayıda ilgili deneyler (örneğin, serbest sıkıştırma/basınç testleri, üç eksenli testler, CBR testleri, direk kesme testleri ve geçirgenlik testleri) araştırmacılar tarafından yürütülen deneysel programlar dahilinde yapılmıştır. Bu çalışmaların en önemlileri şu şekilde sıralanabilir: Maher ve Ho, 1994; Santoni and Webster, 2001; Cai vd., 2006; Tang vd., 2010; Tang vd., 2016a. Bütün bu önceki araştırma bulguları, liflerin eklenmesinin etkili ve efektif bir biçimde zeminin mukavemeti, sünekliği ve geçirgenliğini iyileştirip artırdığını göstermiştir. Ancak, fiber katksının zeminin konsolidasyon karakteristik özelliklerini nasıl ve ne yönde etkilediği hususunda kapsamlı bir çalışma, detaylı ölçümlere dayandırılarak ayrıntılı bir şekilde henüz sunulmamıştır.

Yukarıdaki münazaradan anlaşıldığı üzere inşaa projelerinde ortaya çıkan geoteknik sorunları çözmek adına zeminleri güçlendirmek, ve dolayısıyla, yük taşıma kapasitesini artırmak için, çeşitli yöntemler mevcuttur. Yaygın yöntemlerden birisi; zeminin, bünyede rastgele yönlendirilmiş fiberler ile karıştırılmasıdır. Böylece, ayrık ve esnek fiberlerin (örneğin doğal, sentetik veya atık ürün lifleri) zemin içerisinde rastgele dağıtılması ile fiber

takviyeli mukavetli zeminler oluşturulur. Diğer taraftan, yumuşak ve ince daneli zeminlerin (örneğin killeri) yük altında konsolidasyon davranışı ve oturma reaksiyonu açısından mühendislik özelliklerinin iyileştirilmesi; esneklik, modifiye sağlamlık özellikleri ile karakterize edilen polimerik fiberlerin ne ölçüde (yani, hangi optimum oranda) dahil edilmesiyle sağlanabilir; bunun detaylı incelenmesi gerekir. Zemin içerisinde rastgele yönlendirilmiş ve dağılmış liflerin birincil avantajı; sistematik olarak güçlendirilmiş, geogrid ve geotekstil gibi belirli bir düzende yönlendirilmiş, geosentetik takviye inklüzyonları içeren zeminlerde, takviyeye paralel olarak gelişebilecek potansiyel zayıflık düzlemlerinin olmamasıdır (Maher ve Gray, 1990). Birçok araştırmacı üç eksenli, serbest sıkıştırma (basınç) CBR, direk kesme, çekme ve eğilme mukavemeti testlerini kağıt, metal, naylon ve polyester fiberlerle takviye edilmiş zemin numuneleri üzerinde uyguladı. Bu çalışmaların başlıca olanlarından bir tanesi Kumar vd. (2006) tarafından yürütülmüştür. Kumar vd. (2006), polyester liflerin büyük ölçüde sıkıştırılabilir bir kile dahil edilmesiyle birlikte kil zeminin serbest basınç mukavemetinde önemli ölçüde bir artış yani iyileşme gözlemlendiğini buldular. 3 mm büyüklüğünde liflerden 0.5% ila 2% ağırlık oranlarında, kil zemine eklendiğinde yaklaşık 50% ila 68% oranlarında mukavemet artışı gerçekleştiğini gösterdiler. Ayrıca, 6 mm düz ve kıvrımlı lifler kullanıldığında 70% oranında mukavemet artışı, oysa 12 mm lifler kullanıldığında 115% oranında artış gözlemlendiğini rapor ettiler. Bu sonuçlar gösterdi ki, mukavemet fiber yüzdesi artırılarak artırılabilir. Elde edilen bu sonuçlar Tang vd. (2006) ile benzer ve karşılaştırılabilir mertebededir. Tang vd. (2006) kaolinit kil zemini polipropilen lifler ile güçlendirdiler, ve sonuç olarak, serbest basınç mukavemetinde ciddi düzeyde bir artış gözlemlendiler. Benzer şekilde, çelik lifler de toprağın mukavemetini artırabilir, ancak bu güçlendirme metodu, diğer lif türlerinin kullanılmasıyla elde edilecek mukavemet artışı ile karşılaştırılmaz (Gray ve Ohashi, 1983; Gray ve Al-Refeai, 1986).

## 2. MALZEME VE YÖNTEMLER

Konsolidasyon deneyine tabi tutulacak karışımları oluşturan fiber ve bentonit zeminlere ait görseller Şekil 1’de verilmiştir. Bentonit Kil içerisinde aşağıda Tablo 1’de detayları listelendiği şekilde önceden belirlenen kuru ağırlık oranlarında Polipropilen (PP) Fiber katılarak homojen karışımlar oluşturuldu. Sonrasında bu hazırlanan karışım numunelere su katılıp yoğrularak konsolidasyon deneyine hazır hale getirilmişlerdir. Herbir deney beş günde tamamlanmıştır.



Şekil 1. Bentonit Kil ve Polipropilen Fiber

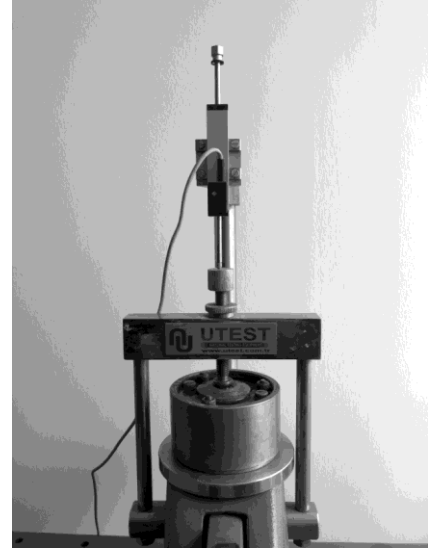
Tablo 1. Fiber – Bentonit Muhtevası

| Deney           | 1    | 2   | 3   | 4   |
|-----------------|------|-----|-----|-----|
| <b>Fiber</b>    | %0   | %1  | %3  | %5  |
| <b>Bentonit</b> | %100 | %99 | %97 | %95 |

Fiber – bentonit karışımlarının sıkışma özelliklerini ve konsolidasyon parametrelerini ( $C_c$ ,  $c_v$ ) belirlemek için ödometre cihazı kullanılarak (Şekil 2) bir boyutlu (1B) konsolidasyon deneyleri uygulanmıştır (ASTM D2435, 2003). Bir boyutlu konsolidasyon deneyi, Terzaghi'nin bir boyutlu konsolidasyon teorisine dayanarak; yatay deformasyonun engellendiği numunede, kontrollü olarak arttırılan düşey gerilme altında, düşey yönde drenajın sağlanmasıyla konsolidasyon paramterelerinin bulunmasını amaçlar. Bu çalışmada, farklı kuru ağırlık oranlarında (0%, 1%, 3%, ve 5%) fiber katkılı bentonit zeminler su ile karıştırılıp yoğurulduktan sonra, kalınlığı 2.50 cm, çapı 6.0 cm olan numuneler hazırlanmıştır. Herbir ayrı fiber katkılı bentonit numunesi için gerçekleştirilecek olan konsolidasyon deneyi için öncelikle konsolidasyon halkasının ağırlığı ölçülmüştür. Sonrasında, deney numuneleri, yanal sürtünme etkisinin en aza indirgenmesi için iç çeperi vazelin ile sıvanmış konsolidasyon halkasının içine alınmıştır. Konsolidasyon halkası içindeki numunelerin altı ve üstü 24 saat süre ile arıtılmış suda bekletilerek tüm hava boşluklarından ve kirden arınmış filtre kağıdı ve poroz taşlarla kapatılıp ağırlığı ölçülmüştür. Numune deney hücresine yerleştirildikten sonra, hücre su ile doldurulmuş ve deneye başlanmıştır. Konsolidasyon deneyi esnasında alınan okuma aralıkları Tablo 2'de verilmiştir. Her bir deney 24 saatlik süreyle 5, 10, 20, 40, 80 kg altında gerçekleştirilmiştir. Deney sırasında alınan okumalar eşzamanlı olarak bilgisayara kaydedilmiştir. Yük altında numunede meydana gelen dikey deplasmanlar (deformasyonlar) LVDT aracılığı ile ölçülüp bilgisayara aktarılmıştır. Bunun için, bilgisayardaki kontrol eden yönetici program ile iletişimi sağlayan veri okuma ünitesi kullanılmıştır.



(a)



(b)

Şekil 2. Ödometre Konsolidasyon Test Cihazı

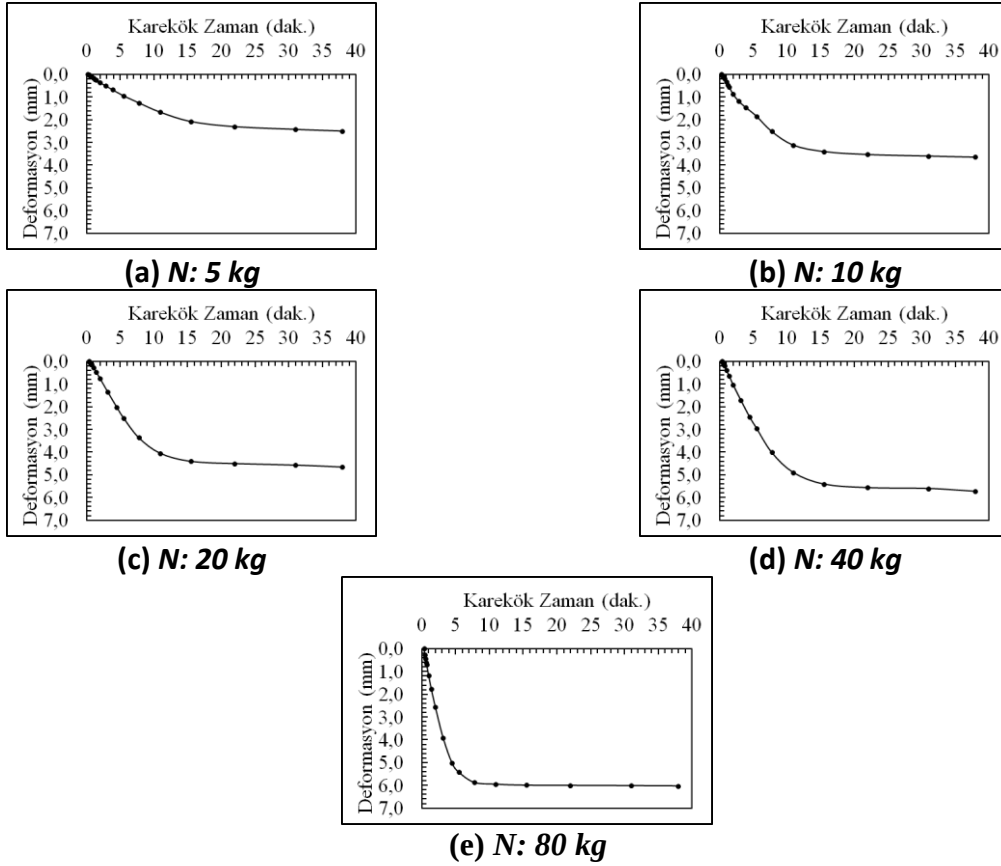
Tablo 2. Konsolidasyon Deneyi Veri Okuma Aralıkları

| Okuma      | 1    | 2   | 3   | 4    | 5   | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13  | 14  | 15  | 16  | 17   |
|------------|------|-----|-----|------|-----|---|---|---|---|----|----|----|-----|-----|-----|-----|------|
| Süre(dak.) | 0.05 | 0.1 | 0.2 | 0.25 | 0.5 | 1 | 2 | 4 | 8 | 15 | 30 | 60 | 120 | 240 | 480 | 960 | 1440 |

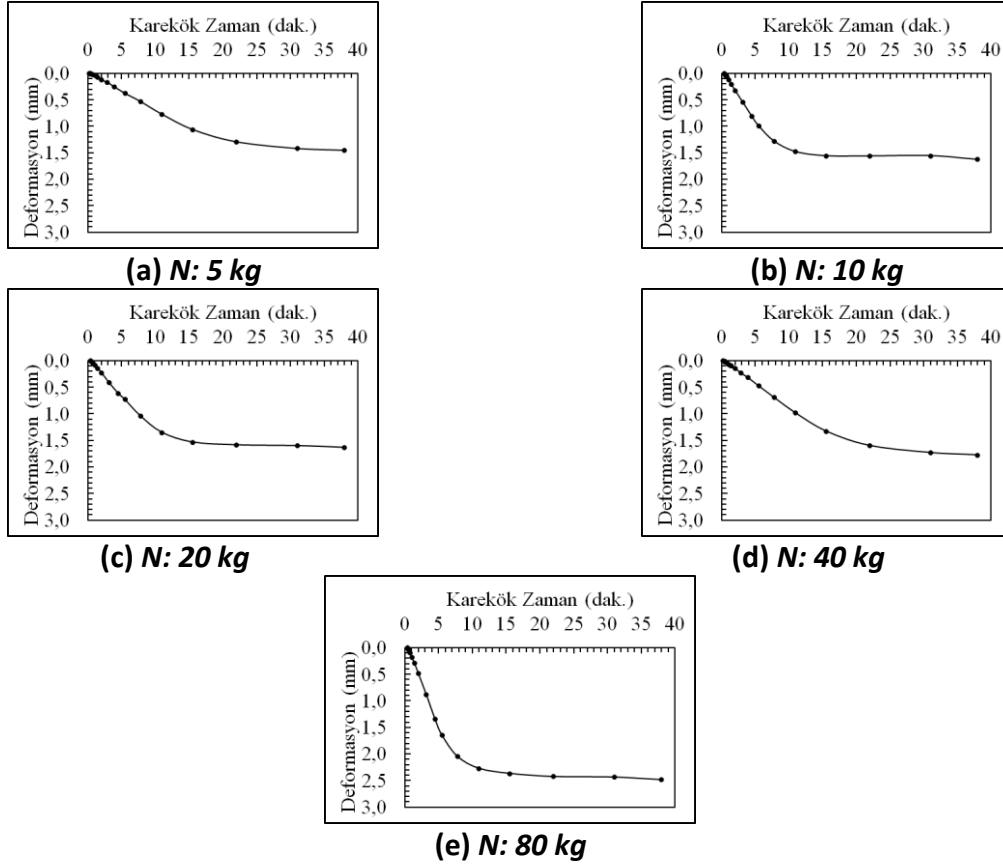
### 3. POLİPROPİLEN FİBER İLE GÜÇLENDİRİLMİŞ YUMUŞAK ZEMİNLER

#### 3.1. 1B Deformasyon Gelişimi

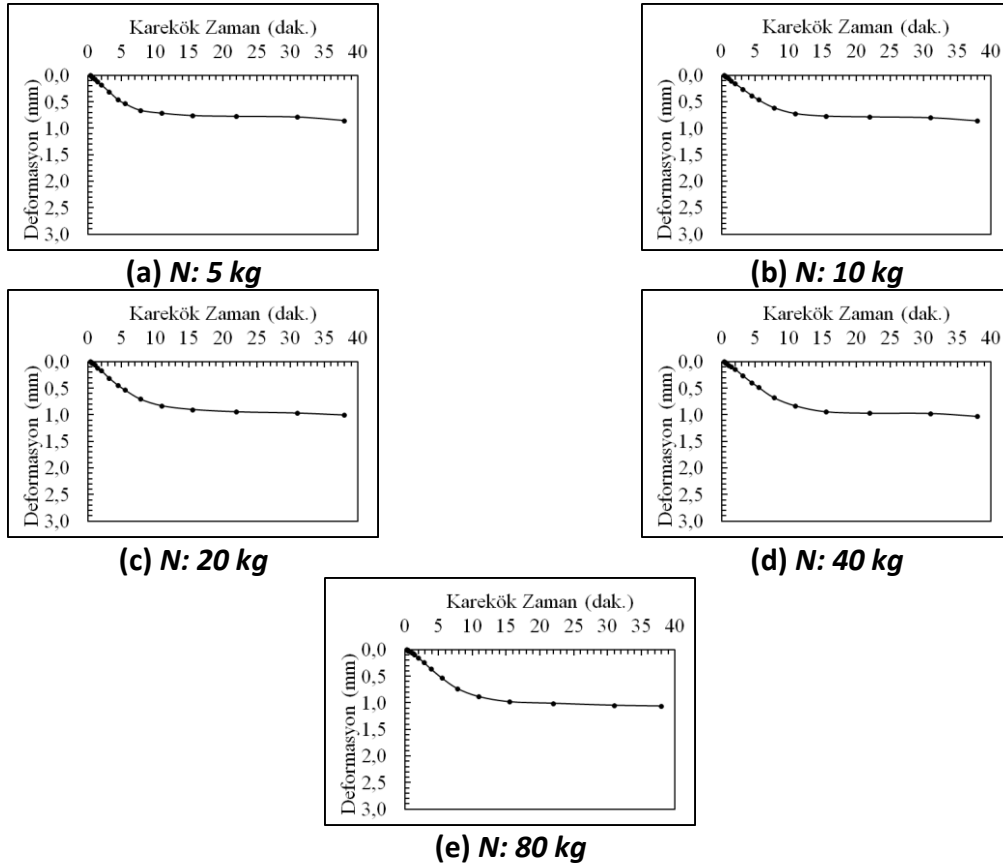
Ayrık ve esnek fiberlerin zemin içerisinde rastgele dağıtılması ile oluşturulan fiber takviyeli zeminlerin yük altında konsolidasyon davranışı ve oturma reaksiyonu açısından mühendislik özelliklerinin iyileştirilmesini incelemek amacıyla gerçekleştirilen laboratuvar test programı dahilinde farklı karışım numunelere uygulanan konsolidasyon deneyleri sonucunda elde edilen deneysel veriler bu bölümde detaylı bir şekilde sunulacaktır. Bu amaçla, farklı kuru ağırlık oranlarında hazırlanan, örneğin kuru ağırlıkça 0%, 1%, 3%, ve 5% oranında polipropilen (PP) fiberin, killi zemin ile karıştırılmasıyla elde edilen kil zemin numuneleri üzerinde uygulanan 1B konsolidasyon testleri sonucu elde edilen deformasyon eğrileri Şekil 3'ten Şekil 6'ya kadar sırası ile (i) 100% Bentonit – 0% Fiber, (ii) 99% Bentonit – 1% Fiber, (iii) 97% Bentonit – 3%, (iv) 97% Bentonit – 3% karışım zeminler için farklı, artan yük koşulları altında gösterilmiştir.



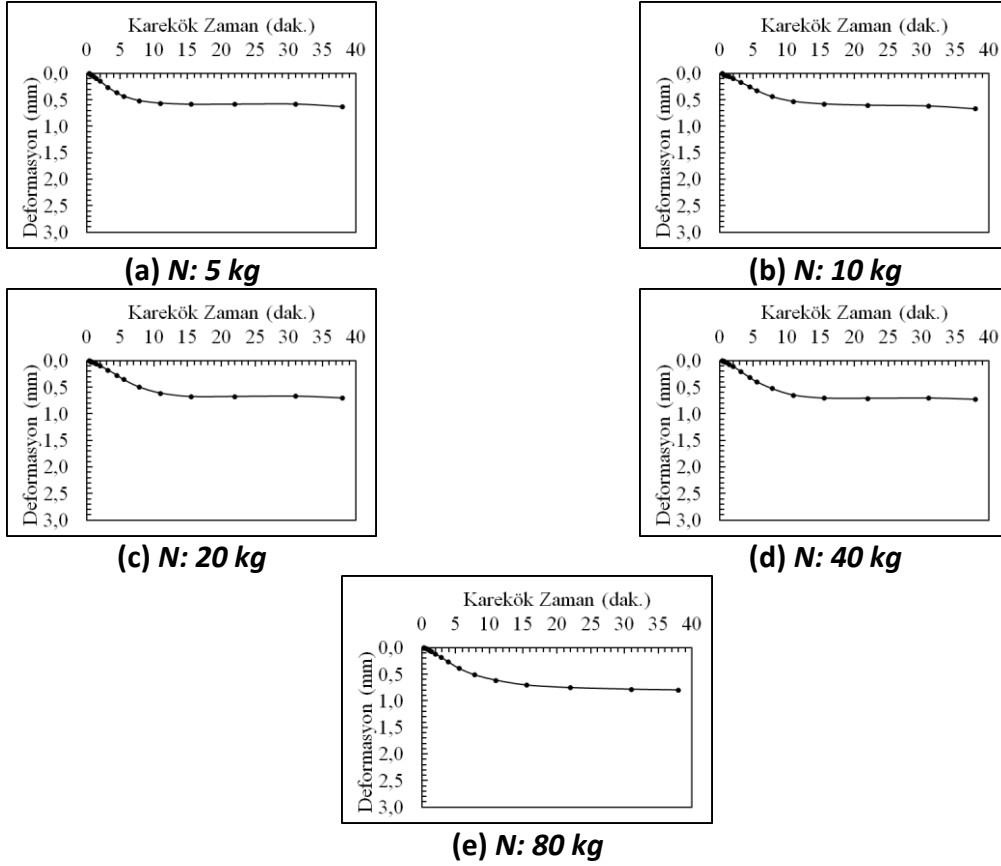
Şekil 3. Deformasyon Eğrileri [Saf Bentonit] (100% Bentonit – 0% PP Fiber)



Şekil 4. Deformasyon Eğrileri (99% Bentonit – 1% PP Fiber)



Şekil 5. Deformasyon Eğrileri (97% Bentonit – 3% PP Fiber)



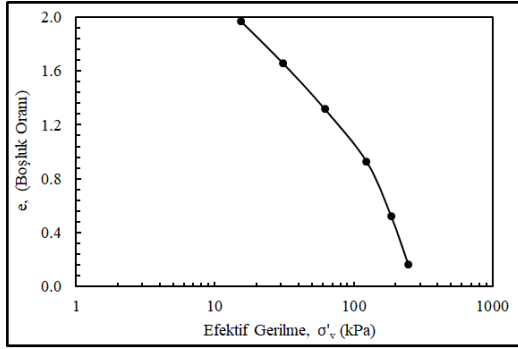
Şekil 6. Deformasyon Eğrileri (95% Bentonit – 5% PP Fiber)

Karışım oranlarından bağımsız olarak her bir zemin için yük artışı ile birlikte gerçekleşen 1B deformasyon artmıştır. Diğer bir ifadeyle, her zeminde yüksek yüklerde daha büyük 1B deplasmanlar gözlemlenmiştir. Bunun dışında, zemin içerisindeki fiber oranı arttıkça farklı yükleme koşullarında gözlemlenen 1B deformasyonların büyüklüğünde azalma izlenmiştir. Bir başka deyişle, zemin muhtevastındaki fiber ağırlık oranı arttıkça, deney programında testler sırasında uygulanan her bir yük kendi arasında kıyaslandığında daha yüksek miktarda fiber içeren zemin numuneleri yüke karşı daha dirençli hale gelip, daha yüksek mukavemet gösterip çok daha az 1B deformasyona maruz kalmıştır, yani yükleme ile gerçekleşen deplasman miktarında azalma meydana gelmiştir (Şekiller 3 – 6).

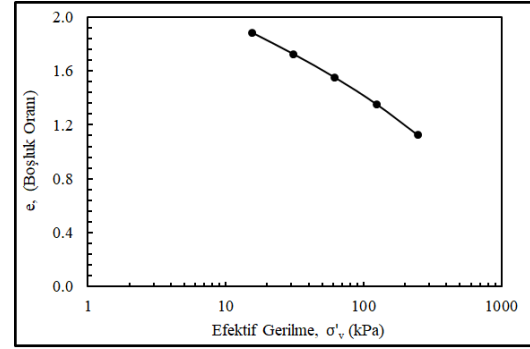
### 3.2. Konsolidasyon Davranışı

Kademeli artan yük altında kil zeminde meydana gelen oturma gelişimini incelemek için konsolidasyon deneyi sonucu elde edilen 1B deformasyon verileri kullanılarak boşluk oranı ( $e$ ) – efektif gerilme ( $\sigma'_v$ ) eğrileri elde edilir, ve böylece, kil zeminin konsolidasyon davranışı ortaya çıkartılmış olur. Geliştirilen bu eğriler, kil zeminin sahada yük altında ne şiddette bir oturmaya uğrayacağı, yani artan yük altındaki konsolidasyon davranışı ve üzerindeki yükü karşılamak için geliştirceği oturma reaksiyonu hususlarında bilgi verir. Bu bağlamda, farklı kuru ağırlık oranlarında PP fiber içeren kil zeminlerin boşluk oranı ( $e$ ) – efektif gerilme ( $\sigma'_v$ ) eğrileri Şekil 7’de sunulmuştur. Artan yük ile birlikte boşluk oranında en fazla azalış saf bentonitte (100% Bentonit – 0% Fiber) gözlemlenmiştir. Buna karşın, boşluk oranında en az değişim (azalış) ise farklı karışım zeminler arasında en fazla miktarda fiber içeren 95% Bentonit – 5% Fiber numunesinde izlenmiştir. Yani, kil zemin

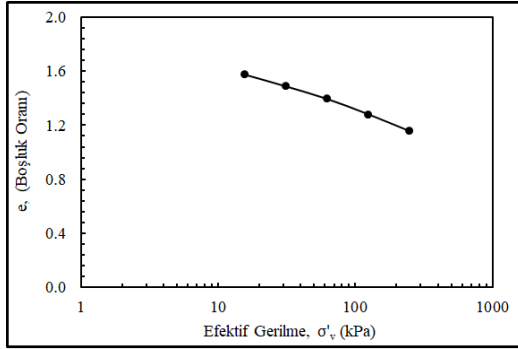
içerisindeki fiber oranı arttıkça, artan yük altında meydana gelen boşluk oranındaki azalış giderek azalmaktadır. Kil zemindeki bu boşluk oranındaki azalış, yükleme ile zeminden su kaçışı ile gerçekleşen konsolidasyon oturmalarını işaret eder; yani, suyun çıkışı ile birlikte kil zeminde izleyen deformasyonların fiber katkısı ile azaldığını, ve neticesinde, zeminin yüke karşı daha mukavemetli ve sağlam bir hale geldiğinin sonucudur. Saf bentonitte boşluk oranı ( $e$ ) – efektif gerilme ( $\sigma'_v$ ) eğrisi daha dikey ve yüksek eğimli iken; fiber katkısı ve muhtevastındaki artışla birlikte bu eğim azalmakta ve eğri daha yatay hale gelmektedir (Şekil 7).



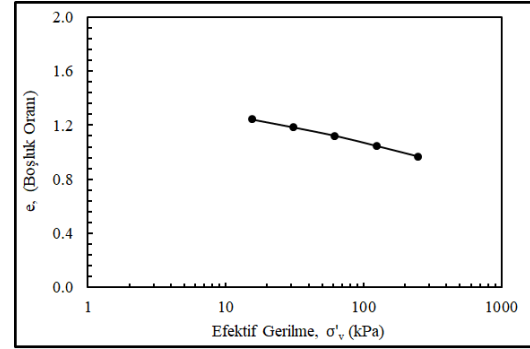
(a) (100% Bentonit – 0% PP Fiber)



(b) (99% Bentonit – 1% PP Fiber)



(c) (97% Bentonit – 3% PP Fiber)

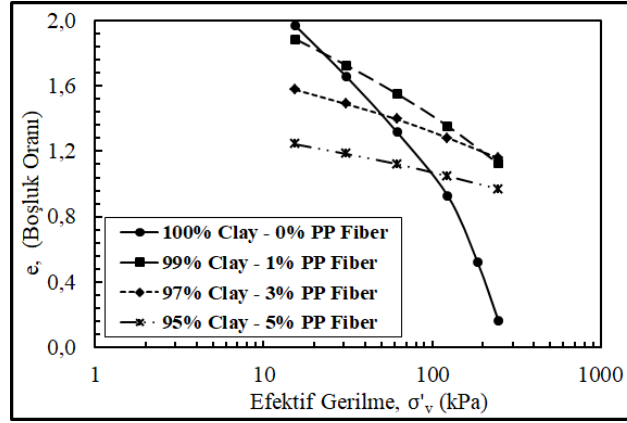


(d) (95% Bentonit – 5% PP Fiber)

Şekil 7. Boşluk Oranı – Efektif Gerilme Konsolidasyon Davranışı:  
Kademeli Artan Yük altında Oturma Gelişimi

Dahası, kil zeminde yük altında gelişen konsolidasyon oturma davranışına PP fiber etkisini karşılaştırmalı sunmak adına boşluk oranı ( $e$ ) – efektif gerilme ( $\sigma'_v$ ) eğrileri aynı grafikte (Şekil 8) verilmiştir. Şekil 8’de gözlemlenen karşılaştırmalı konsolidasyon davranışı gösteriyor ki; esneklik, modifiye sağlamlık özellikleri ile karakterize edilen polimerik polipropilen (PP) fiberlerin dahil edilmesiyle (katılmasıyla) killi toprağın sertlik, sıkılık, metanetlilik özellikleri sağlanmış olup, yüke karşı daha dirençli hale gelmiştir. Bu durum, zeminin mukavetindeki artışı işaret eder ve PP fiber ile yumuşak zeminlerin güçlendirilebileceği hususunda bilgi verir.

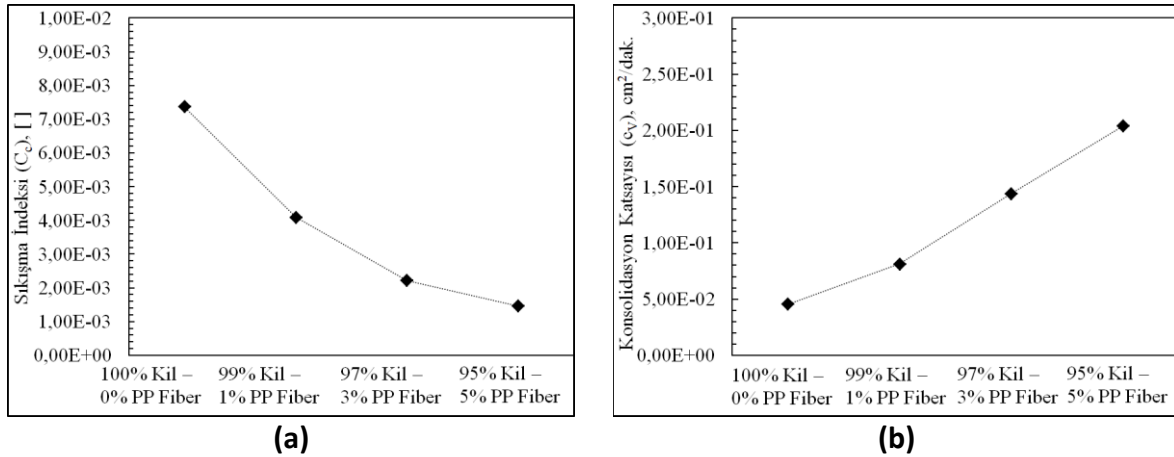




Şekil 8. Karşılaştırmalı Konsolidasyon Davranışı: Kilde Oturma Gelişimine PP Fiber Etkisi

### 3.3. Konsolidasyon Parametrelerinin Fiber Katkısı ile Değişimi

Önceki bölümlerde sunulan test ölçümleri ile elde edilen deney verileri ışığında oluşturulan konsolidasyon eğrileri (boşluk oranı ( $e$ ) – efektif gerilme ( $\sigma'_v$ )) kullanılarak, sıkışma indeksi ( $C_c$ ); deformasyon eğrileri (deformasyon – karekök zaman) kullanılarak, konsolidasyon katsayısı ( $c_v$ ) belirlenmiştir. Bu şekilde, sahada farklı yük koşulları altında gelişen konsolidasyon davranışı ve oturma reaksiyonu özelliklerini değerlendirebilmek amacıyla gerek görülen en önemli mühendislik parametreleri; yük – deformasyon karakteristiğinin (mekanik özelliklerinin) değerlendirilmesi için sıkışma indeksi ( $C_c$ ); ve yanısıra, hidrolik özelliklerin değerlendirilmesi için konsolidasyon katsayısı ( $c_v$ ) elde edilip, fiber katkısı ile değişimi ortaya çıkartılmış oldu (Şekil 9).



Şekil 9. Konsolidasyon Mühendislik Parametrelerinin Fiber Katkısı ile Değişimi

Şekil 9'da görüldüğü üzere, deneysel bulgular, test edilen killi zeminlerdeki fiber lif içeriğindeki artışla birlikte  $C_c$ 'nin azaldığını, oysa  $c_v$ 'nin arttığını ortaya koydu. Bu durum, fiberin ince daneli zemine dahil edilmesinin mekanik özelliklerin iyileştirilmesi ve konsolidasyon karakteristik özelliklerinin olumlu yönde düzelmesi ile sonuçlandığını gösterir. Zemine fiber katkısı ile yumuşak killi toprağın yüklemeye karşı daha büyük basınç mukavemeti, ve ayrıca, daha az miktarda gelişen/ölçülen deformasyon özellikleri oluşturulmuş oldu; ki bu durum, killi toprağın yük altındaki kararlılığının, direncinin ve dayanıklılığının modifikasyonu için bir avantajdır (Şekil 9a). Fiber oranı arttıkça,  $C_c$ 'nin

değerinin azaldığı daha önce Şekil 7’de sunulan boşluk oranı ( $e$ ) – efektif gerilme ( $\sigma'_v$ ) eğrilerinin fiber kuru ağırlık yüzdesi arttıkça daha yatay; azaldıkça daha dikey bir hale gelmesinden gözlemlendi. Bir başka ifadeyle, benzer yük artışında yüksek fiber muhtevalı kil zeminlerde daha az miktarda boşluk oranında azalış (deformasyon) gerçekleşirken; buna karşın, düşük fiber muhtevalı kil zeminlerde ise daha çok miktarda boşluk oranında azalış (oturma) geliştiği ortaya çıkartılmış oldu. Buna ek olarak, kilin hidrolik iletkenliği ne kadar yüksek olursa, konsolidasyon oturma süresinin kısaltılması (hızlandırılması) ile sonuçlanacak, ve nihayetinde, plastik konsolidasyon deformasyonunun tamamlanmasını istenildiği şekilde olumlu yönde uygunlukla etkiliyecektir (Şekil 9b).

#### 4. SONUÇLAR

Polipropilen (PP) fiber ile güçlendirilmiş yumuşak killi zeminlerin konsolidasyon davranışını ve sıkışma özelliklerini incelemek için ödometre cihazı kullanılarak bir dizi 1B konsolidasyon testleri farklı kuru ağırlık oranlarındaki fiber – bentonit karışım numuneleri üzerinde uygulanmıştır. Bu deneysel program neticesinde elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır:

- Karışım oranlarından bağımsız olarak her bir zemin için yük artışı ile birlikte gerçekleşen 1B deformasyon artmıştır.
- Zemin içerisindeki fiber oranı arttıkça farklı yükleme koşullarında gözlemlenen 1B deformasyonların büyüklüğünde azalma izlenmiştir.
- Kil zemin içerisindeki fiber oranı arttıkça, artan yük altında meydana gelen boşluk oranındaki azalış giderek azalmaktadır. Kil zemindeki bu boşluk oranındaki azalış, yükleme ile zeminden su kaçışı ile gerçekleşen konsolidasyon oturmalarını işaret eder; yani, suyun çıkışı ile birlikte kil zeminde izleyen deformasyonların fiber katkısı ile azaldığını, ve neticesinde, zeminin yüke karşı daha mukavemetli ve sağlam bir hale geldiğinin sonucudur.
- Deneysel bulgular test edilen killi zeminlerdeki fiber lif içeriğindeki artışla birlikte  $C_c$ ’nin azaldığını, oysa  $c_v$ ’nin arttığını ortaya koydu. Bu durum, fiberin ince daneli zemine dahil edilmesinin mekanik özelliklerin iyileştirilmesi ve konsolidasyon karakteristik özelliklerinin olumlu yönde düzelmesi ile sonuçlandığını gösterir. Zemine fiber katkısı ile yumuşak killi toprağın yüklemeye karşı daha büyük basınç mukavemeti, ve ayrıca, daha az miktarda gelişen/ölçülen deformasyon özellikleri oluşturulmuş oldu; ki bu durum, killi toprağın yük altındaki kararlılığının, direncinin ve dayanıklılığının modifikasyonu için bir avantajdır.
- Farklı karışım numunelerin için elde edilen karşılaştırmalı konsolidasyon davranışı analizi gösterdi ki; esneklik, modifiye sağlamlık özellikleri ile karakterize edilen polimerik polipropilen (PP) fiberlerin dahil edilmesiyle (katılmasıyla) killi toprağın sertlik, sıkılık, metanetlilik özellikleri sağlanmış olup, yüke karşı daha dirençli hale gelmiştir. Bu durum, zeminin mukavetindeki artışı işaret eder ve PP fiber ile yumuşak zeminlerin güçlendirilebileceği hususunda bilgi verir.
- Kilin hidrolik iletkenliği ne kadar yüksek olursa, konsolidasyon oturma süresinin kısaltılması (hızlandırılması) ile sonuçlanacak, ve nihayetinde, plastik konsolidasyon deformasyonunun tamamlanmasını istenildiği şekilde olumlu yönde uygunlukla etkiliyecektir.

## KAYNAKLAR

- ASTM D2435 (2003), "Standard test method for one-dimensional consolidation properties of soils", ASTM D2435-65T, vol. 4 (June), 1-10.
- Cai, Y., Shi, B., Ng, C.W.W., vd. (2006), "Effect of polypropylene fibre and lime admixture on engineering properties of clayey soil", Engineering Geology Vol 87 (3), 230–240.
- Gray, D.H., Al-Refeai, T. (1986), "Behavior of fabric versus fiber reinforced sand", Journal of Geotechnical Engineering, Vol 112 (8), 809–820.
- Gray, D.H., Ohashi, H. (1983), "Mechanics of fiber reinforcement in sand", Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol 109 (3), 335–351.
- Kumar, A., Walia, B., Mohan, J. (2006), "Compressive strength of fiber reinforced highly compressible clay", Construction and Building Materials, Vol 20, 1063–1068.
- Maher, M.H., Gray, D.H. (1990), "Static response of sands reinforced with randomly distributed fibers", Journal of Geotechnical Engineering, Vol 116 (11), 1661–1677.
- Maher, M.H., Ho, Y.C. (1994), "Mechanical properties of kaolinite/fiber soil composite", Journal of Geotechnical Engineering, Vol 120 (8), 1381–1393.
- Santoni, R.L., Webster, S.L. (2001), "Airfields and roads construction using fiber stabilization of sands", Journal of Transportation Engineering, Vol 127 (2), 96–104.
- Tang, C., Shi, B., Gao, W. Chen (2006), "Strength and mechanical behavior of short polypropylene fiber reinforced and cement stabilized clayey soil", Geotextiles and Geomembranes, Vol 24, 1–9.
- Tang, C.S., Shi, B., Zhao, L.Z. (2010), "Interfacial shear strength of fiber reinforced soil", Geotextiles and Geomembranes, Vol 28 (1), 54–62.
- Tang, C.S., Wang, D.Y., Cui, Y.J., vd. (2016a), "Tensile strength of fiber-reinforced soil", Journal of Materials in Civil Engineering, Vol 28 (7), 04016031.

