




## Kohezyonsuz Zeminlerde Kesme Bant Kalınlığı ve Rölatif Sıklık Arasındaki İlişki

Doğucan RESULOĞULLARI<sup>1\*</sup>  Gökhan ALTAY<sup>1</sup>  Cafer KAYADELEN<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği, Osmaniye, Türkiye

### Makale Bilgisi

Araştırma makalesi  
Başvuru: 26/07/2023  
Düzeltilme: 03/10/2023  
Kabul: 12/11/2023

### Anahtar Kelimeler

Kesme bant  
Rölatif sıklık  
Görüntü işleme  
Kohezyonsuz zemin

### Article Info

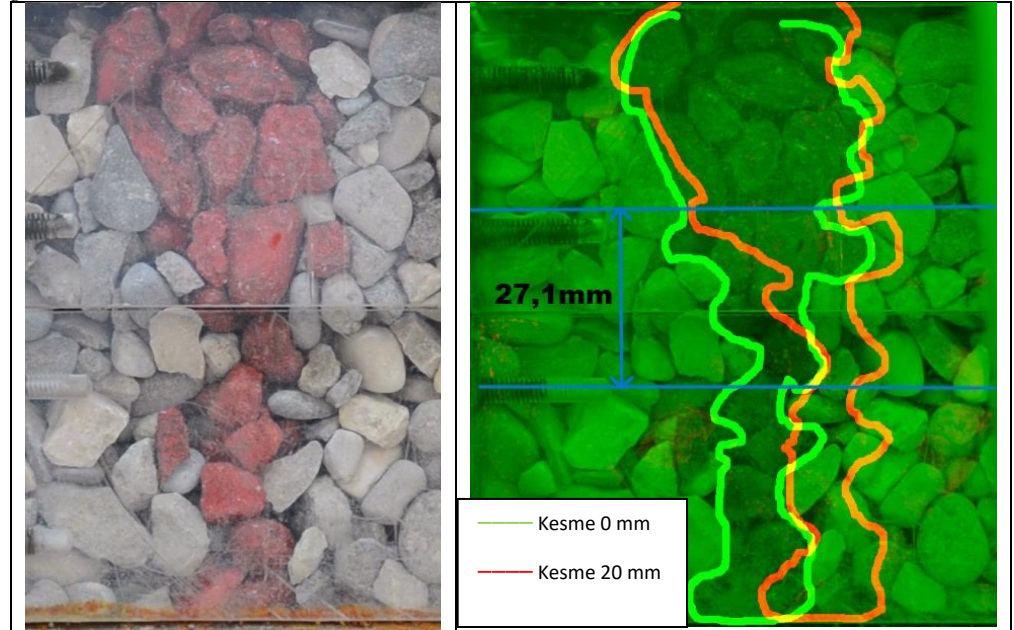
Research article  
Received: 26/07/2023  
Revision: 03/10/2023  
Accepted: 12/11/2023

### Keywords

Shear band  
Relative density  
Image processing  
Cohesionless soil

### Grafik Özet (Graphical/Tabular Abstract)

Bu çalışmada 3 farklı sıklıkta iri taneli zemin numunesi geotekstili ve geotekstilsiz olarak direk kesmeye tabi tutulup, kesme bant kalınlıkları incelenmiştir. / In this study, coarse grained soil samples with 3 different relative densities were subjected to direct shearing without interfacial material and using geotextile, and the shear band thicknesses were examined.



**Şekil A:** Rölatif sıklık %30 için zemin-zemin kesme bant kalınlığı / **Figure A:** Soil-Soil shear band thickness for relative density 30%

### Önemli noktalar (Highlights)

- En yüksek kesme dayanımı %80 sıklıkta elde edilmiştir. Geotekstil kullanımı deney zemin numunesinin kesme dayanımı düşürmüştür. / The highest shear strength was obtained at 80% relative density. The use of geotextile decreased the shear strength of the test soil sample.
- Geotekstilin arayüzeyde kullanımı taneler arasındaki sürtünmeyi azaltmasıyla birlikte dilatasyon açılarında azalma görülmüştür. / As the use of geotextile at the interface reduced the friction between soil particles, a decrease in dilatation angles was observed.
- Geotekstil altında kalan zemin içerisinde kesme bant oluşumuna rastlanılmamıştır. / No shear band formation was found in the soil under the geotextile.

**Amaç (Aim):** Bu çalışmanın amacı kaba taneli zeminlerde, geotekstilin arayüzde kullanılması durumunda kesme bant oluşumlarını incelemektir. / The aim of this study is to examine shear band formations when geotextile is used at the interface in coarse grained soils.

**Özgünlük (Originality):** Geotekstil alt-üst bölgelerinde kesme bant formasyonu açısından dijital görüntü işleme metodunun kullanılması ile literature katkı yapılmıştır. / A contribution to the literature was made by using the digital image processing method in terms of shear band formation in the upper and lower zones of geotextile.

**Sonuç (Conclusion):** En yüksek kesme bant kalınlığı 27.1 mm ile rölatif sıklık %30 için zemin-zemin kesme durumunda elde edilmiştir. / The highest shear band thickness was obtained in the soil-soil shearing case for 27.1 mm and relative tightness of 30%.



## Kohezyonsuz Zeminlerde Kesme Bant Kalınlığı ve Rölatif Sıklık Arasındaki İlişki

Doğucan RESULOĞULLARI<sup>1\*</sup> Gökhan ALTAY<sup>1</sup> Cafer KAYADELEN<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği, Osmaniye, Türkiye

### Makale Bilgisi

Araştırma makalesi  
Başvuru: 26/07/2023  
Düzeltilme: 03/10/2023  
Kabul: 12/11/2023

### Anahtar Kelimeler

Kesme bant  
Rölatif sıklık  
Görüntü işleme  
Kohezyonsuz zemin

### Öz

Bu çalışmada iri daneli zemin üzerinde, kesme kutusu deneyleri yapılarak kesme bant kalınlığı incelenmiştir. Standart kesme kutusu deneyi cihazının boyutları 15 cm x 15 cm x 9 cm olacak şekilde modifiye edilmiştir. Ayrıca, kesme kutusu deney cihazının bir yüzeyinde şeffaf plaka kullanılarak kesmebant kalınlığı bütün kesme aşaması süresince gözlemlenmiştir. Deneyler %30-%50-%80 sıklık oranlarında ve sabit 54 kPa normal gerilme altında yapılmıştır. Deneyler yüksek çözünürlüklü kamera ile kayıt altına alınarak görüntü işleme yöntemiyle kesme bant kalınlığı belirlenmiştir. Deneylerde geotekstil kullanılarak, zemin-zemin ve zemin-geotekstil ara yüzey kesme durumlarında ortaya çıkan kesme bantları karşılaştırılmıştır. Geotekstil kullanılmadan gerçekleştirilen deneylerde %30, %50 ve %80 sıklık durumları için sırasıyla kesme bant kalınlıkları 27.1 mm, 26.7 mm ve 25.2 mm bulunmuştur. Geotekstil in ara-yüzeye dahil edilmesiyle birlikte ise sırasıyla %30, %50 ve %80 kalınlıklar için kesme bant kalınlıkları 25.9 mm, 23.2 mm ve 20.2 mm olarak belirlenmiştir. Geotekstil kullanımı ile kesme bant kalınlıklarının azaldığı ve kesme bant oluşumunun geotekstil altında görülmeyeceği belirlenmiştir.

## Relationship between Shearband Thickness and Relative Density for Cohesionless Soil

### Article Info

Research article  
Received: 26/07/2023  
Revision: 03/10/2023  
Accepted: 12/11/2023

### Keywords

Shear band  
Relative density  
Image processing  
Cohesionless soil

### Abstract

In this study, shear band thickness was examined by performing shear box tests on coarse-grained soil. The dimensions of the standard shear box experiment device were modified to be 15 cm x 15 cm x 9 cm. Additionally, the shear band thickness was observed throughout the entire shear phase by using a transparent plate on one surface of the shear box test device. The experiments were carried out at 30%-50%-80% relative densities and under a constant 54 kPa normal stress. The experiments were recorded with a high-resolution camera and the shear band thickness was determined by image processing method. By using geotextile in the experiments, reinforced and unreinforced conditions were compared. In the experiments carried out without using geotextile, the shear band thicknesses were found to be 27.1 mm, 26.7 mm and 25.2 mm for 30%, 50% and 80% tightness conditions, respectively. With the inclusion of geotextile in the interface, the shear band thicknesses were determined as 25.9 mm, 23.2 mm and 20.2 mm for 30%, 50% and 80% thicknesses, respectively. It was determined that shear band thicknesses decreased with the use of geotextile and shear band formation was not observed under the geotextile.

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Zemin arayüz kesme davranışı ile ilgili karşılaşılan problemler genelde kazık temel, dayanma duvarları veya güçlendirme uygulamalarında karşımıza çıkmaktadır. Bu problemler granüler zeminlerde vorteksler, kesme bantları olarak belirmektedir. Kesme esnasında zeminin yenilmesi ile birlikte kesme bant formasyonu olduğu önceki çalışmalarla belirlenmiştir [1–3]. Bu yenilme esnasında kesme bantları kesme alanları içerisinde gerçekleşmektedir. Lu, Wang ve Peng [4],

yaptıkları çalışmada kesme alanı içerisindeki zemin tanelerinin üniform olmayan bir deformasyon yaptığını açıklamışlardır. Zemin arayüz sürtünmesi esnasında zemin tanelerinin ilk etapta kesme alanı doğrultusunda var olan boşluklara yerleştiği ve ikinci aşamada ise bu tanelerin birbirlerine kenetlendiği daha sonraki çalışmalarla ispatlanmıştır [5]. Büyük kütlelerde ise açılmal kesme bant oluşumları kinematik, reolojik ve geometrik parametreler ile teorik analizlerle açıklanmıştır. Bu analizler sonucunda düktil kesme bölgelerinde makro ve mikro kesme bantları

oluşumu gözlemlenmiş olup mikro ölçekte kesme bantları 500-1500  $\mu\text{m}$ , makro ölçekteki kesme bantlarının ise 40 cm'e kadar ulaştığı görülmüştür [6]. Shen vd. [7] yaptıkları çalışmada ise modifiye kesme kutusu cihazı kullanarak zemin arayüz davranışını incelemiş, kalker içerikli kuru kum üzerinde kesme uygulamışlardır. Bu deney sonucunda kesme bantlarının kesme kutu halkalarının birleştiği doğrultuda oluştuğunu ve 0.79-1.59 mm arasında kesme bant kalınlığı saptamışlardır. Maksimum kayma deformasyonun kutu halkaları kesişim düzleminde gerçekleştiği ve deney öncesine oranla zemin daneleri pozitif y eksenine 90° açı yaptığı gözlemlenmiştir. Başka bir çalışmada ise kesme esnasında, kesme bölgesi içerisindeki kum zemin danelerinin kesme bant içerisinde yumuşama eğiliminde olduğu iki kesme bant arasında ise elastik yük boşaltması yaptığı gözlemlenmiştir. Triantafyllidis vd. [8] yapmış oldukları çalışma “bookshelf” deformasyon mekanizması üzerine kurulmuş olup, kesme uygulamasına tabi tutulan bölgede oluşan açıl kesme bantları arasındaki mesafe incelenmiştir. Analitik ve deneysel metotlarla incelenen bu davranış sonucunda, kesme bantları arasındaki yatay uzaklığın numune yüksekliği ve sıklık parametrelerine bağlı olduğu açıklanmıştır [8]. Khan ve Latha [9] yaptıkları çalışmada ise farklı morfolojik özelliklere sahip kum numunesi ile geotekstil arasındaki arayüz etkileşimlerini incelemiş, daha düzensiz şekilli ve köşeli dane yapısındaki zemin numunesinin kesme sonucunda daha yüksek içsel sürtünme açısı verdiğini dijital görüntü korelasyon yöntemi ile açıklamışlardır. Pan vd [10] beton-zemin arayüz etkileşimi ve kesme bant oluşumunu incelemek amacıyla parçacık görüntülemeli akış ölçüm yöntemini kullanmışlardır. Zemin siltli kil seçilmiş olup deney sonucunda kesme bant oluşumunun, kesme yenilmesinin hemen öncesinde gerçekleştiği görülmüştür. An vd [11] tek eksenli basınç altında kül modifiyeli zeminde oluşan kesme bantları ve çatlakları x-ray bilgisayarlı tomografi yöntemi ile gözlemledikleri çalışmalarında, kesme bant oluşumunun zeminin kırılma noktasında belirmesiyle birlikte düzensiz ve eğimli bir şekle sahip olduğunu belirtmişlerdir. Bu çalışmada ise farklı şekil boyutları içeren karma ince çakıl zemin numunesinin farklı sıklıklarda kullanılarak zemin-geotekstil ve zemin-zemin arayüz etkileşimleri incelenmiş, bu iki etkileşim durumlarına göre kesme bant kalınlıkları, kesme dayanımları ve dilatasyonlar belirlenmiştir. Aynı zamanda geotekstilin iyileştirme malzemesi olarak kullanımı durumunda kesme bölgesi altında, kesmenin gerçekleşme ve görelî dane ötelenmesinin

anlaşılması açısından literatüre katkı sağlayacağı düşünülmüştür.

## 2.MATERYAL VE METHOD (MATERIALS AND METHODS)

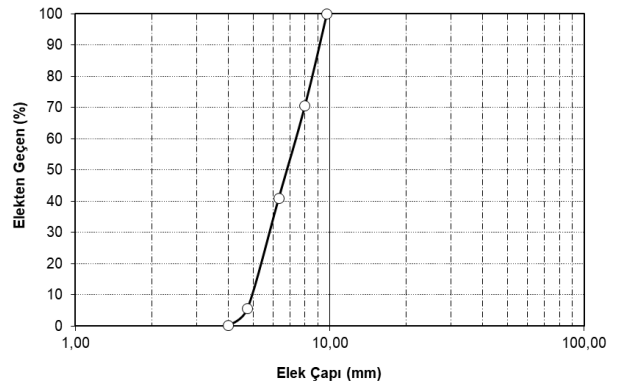
### 2.1. Malzeme (Material)

Bu çalışmada 4–9 mm arası elenmiş ince dere çakılı kullanılmış olup, numune Adana'nın Ceyhan ilçesinden temin edilmiştir (Şekil 1). Numuneler hazırlanırken Sıklık Oranları %30, %50 ve %80 olarak belirlenmiştir.



Şekil 1. Deney zemin numunesi (Test soil sample)

Bu çalışmada arayüz sürtünme davranışının zemin-materyal etkisini gözlemek amacıyla yüksek yoğunluklu polipropilen beyaz geotekstil kullanılmıştır. Yüksek çekme gerilmesi kabiliyeti nedeniyle genellikle geotekstil malzemeler geoteknik mühendisliğinde sıklıkla kullanılmaktadır. Kullanılan geotekstilin özellikleri aşağıda tabloda verilmiştir (Tablo 1).



Şekil 2. Deneyde kullanılacak zemin numunesinin elek analizi (Sieve analysis of the soil sample to be used in the experiment)

**Tablo 1.** Geotekstil Parametreleri (Geotextile Parameters)

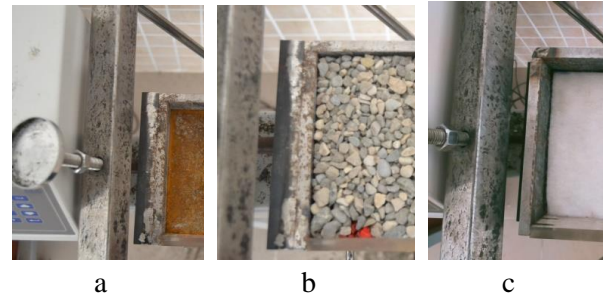
Özellik	Birim	Değer
Malzeme Bileşeni	-	Polypropylene (PP), beyaz
Malzeme Yoğunluğu	g/cm <sup>2</sup>	1000
Çekme Dayanımı, md/cmd	kN/m	47/49
Elongation at Break	%	50
Statik Delme Dayanımı	N	8000
Dinamik Delme Dayanımı	mm	0.25
Sıvı Geçirgenliği	m/s	0.01
Görünür Açılma	mm	0.12
UV Direnci	%	70

Deney numunesi üzerinde yapılacak olan kesme ve görüntü işleme için ilk olarak standart kesme kutusu deneyi cihazı modifiye edilmiştir. Kutu boyutları 15x15x9 cm haline, kutunun bir yüzeyi ise kesme bant kalınlığını bütün kesme aşaması süresince gözlemlemek amacıyla da şeffaf hale getirilmiştir. Şeffaf hale getirilecek yüzey, rijit saydam pleksiglas malzeme kullanılarak oluşturulmuş ve kutunun iki kenarına montelenmiştir [12]. Modifiye edilmiş kesme kutusu cihazı maksimum 12 mm ye kadar kesme yapabilmektedir. Bu çalışma için belirlenen maksimum kesme miktarı 11 mm olmuştur. İki LVDT ve bir load-cell aparatlarıyla cihaz otomatik olarak, yatay deplasman, düşey deplasman, kesme gerilmesi okuması yapabilmektedir (Şekil 2). Düşey normal gerilme sabit 54 kPa olarak tüm numunelere uygulanmıştır. Görüntü işleme için Fiji İmagej programı kullanılmıştır.

**Şekil 3.** Modifiye direkt kesme sistemi (Modified direct shear system)

## 2.2. Yöntem (Method)

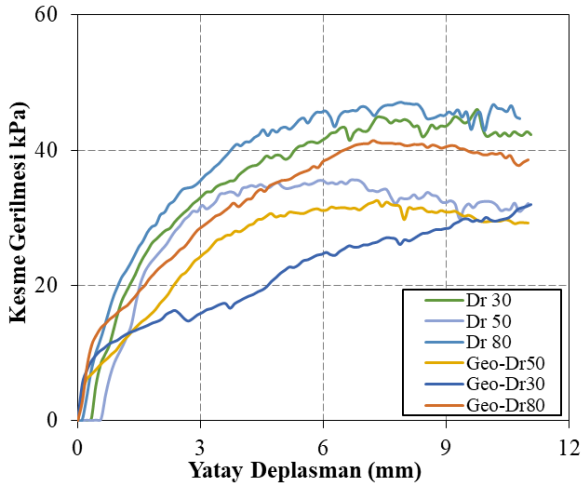
Deney kutusu iç yüzeyi yükseklikle orantılı olarak her 1.5 cm de bir olmak kaydıyla toplamda 6 belirteçli parçaya ayrılmıştır. Zemin numunesi belirlenen sıklıklara göre ağırlık hesapları yapılarak yükleme esnasında eksantrite problemleri oluşmaması adına her 1.5 cm e düzgün serilecek şekilde yerleştirilip sıkıştırılmıştır. Sıkıştırma işlemi 14.8 x 14.8 cm'lik metal plaka üzerine numunenin düzgün yerleştirilmesi amacıyla, plaka ortasına uygulanan vuruşlarla ve her bir 1.5 cm de 25 vuruş olacak şekilde iğneleme ile sağlanmıştır. Vuruş sayısı numune yerleşme yüksekliği ile orantılı olarak artırılmıştır. Görüntü işleme kullanılarak kesme bant gözlemi yapılacak bölge için hazırlanan zemin daneleri kırmızı renge boyanmıştır [13]. Kırmızı boyanan zemin kısmı şerit halinde yerleştirilip sıkıştırılma yapılmıştır. Bu boyalı şerit zemin ağırlığı ise rölatif sıklığa bağlı kalınarak toplam numune ağırlığı içerisinde hesap edilmiştir. Geotekstil, iki kutu halkası arasında zemin danelerini kaplayacak şekilde kesilip, kesme esnasında büzülme, yuvarlanma gibi etkenlerden kaçınmak amacıyla kutu tabanına yatayda 7 cm'lik kısmı yerleştirilip numune doldurulduktan sonra iki halka arasında hizalanacak şekilde kapatılmıştır (Şekil 3).

**Şekil 4.** Sırasıyla geotekstil yerleştirme aşamaları; (a) Geotekstilin tabana yerleştirilmesi (b) Zeminin yerleştirilmesi (c) Geotekstilin doldurulan zemin üzerine kapatılması (Geotextile placement stages respectively; (a) Placing the geotextile on the base (b) Placing the soil (c) Covering the geotextile on the filled soil)

Görüntü işleme aşamasında ise numunenin yerleştirilmesinin hemen ardından tüm kesme süreci video kaydına alınıp numunenin kesme öncesi (kesme 0 mm) ve deney sonu durumları (kesme 11 mm) Fiji İmagej programı kullanılarak tek bir görüntü haline getirilmiştir. Kesme etkisiyle boyalı kolonun yatayda ötelenme miktarına göre ise kesme bant oluşum alanı belirlenip kesme bant kalınlıkları hesaplanmıştır (Şekil 9-14).

### 3.BULGULAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

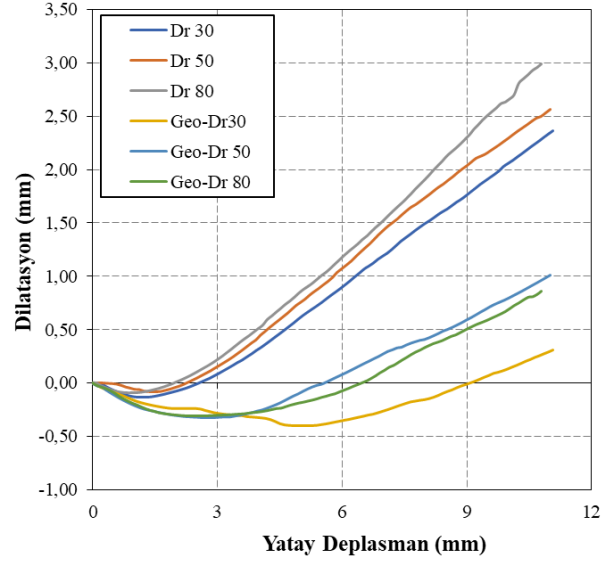
ASTM D3080 [14] standardına bağlı kalınarak 54 kPa normal düşey gerilme altında yapılan kesme testleri sonucunda %30, %50 ve %80 zemin sıklıklarında elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir. Şekil 4 de gösterildiği gibi Geotekstil malzeme kullanılmadan yapılan kesme deneyi süresince %30 sıklıkta yerleştirilen zemin pik kesme dayanımına 10 mm de ulaşmış ardından yenilme gerçekleşmiştir. %50 sıklıkta ise pik kesme dayanımı %30 ve %80 sıklıkta gerçekleştirilen deneylere görece daha düşük elde edilmesiyle birlikte pik dayanıma 6 mm yatay deformasyonda ulaşılmıştır. %80 sıklık durumunda numune maksimum kesme dayanımına 8 mm yatay deplasmanda ulaşmış olup yenilmesini tamamlamıştır [5]. Her bir yenilme anına karşılık gelen yatay deformasyon durumlarında kesme bantları numune üzerinde belirgin hale gelmiştir [15]. Geotekstil arayüzeye dahil edilerek yapılan testlerde ise maksimum kesme dayanımları, numunelerin zemin-zemin arayüzey kesme sonuçlarına oranla yaklaşık olarak 10 kPa'lık bir düşüş göstermiştir [16].



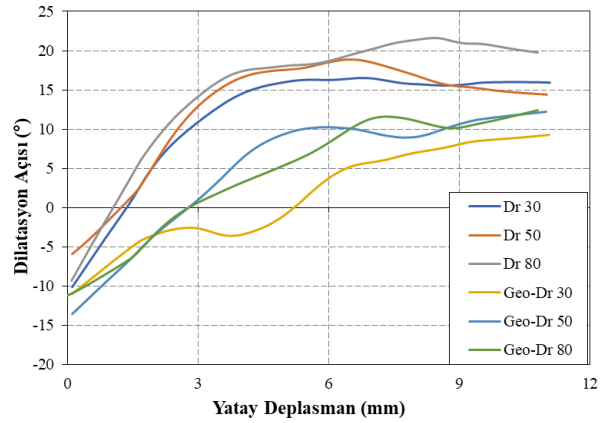
Şekil 5. Arayüzey kesme sonuçları (Interface shear results)

Dilatasyon, normal gerilme altında zeminde meydana gelen hacim değişimi olarak tanımlanır [17]. Bu hacim değişimine ise plastik deformasyonun neden olduğu söylenebilir [18]. Zemin-zemin arayüzey kesme testlerinde zemin danelerinin kendi aralarındaki yüzey sürtünmeleri pürüzlü iki yüzey alanı arasında daha çok gerçekleştiği için taneler ilk etapta boşlukları doldurma eğiliminde olup, kesmenin ilerleyen safhalarında ise normal gerilme etkisiyle birbirlerinden ayrılma eğilimi göstermişlerdir. Geotekstil-zemin arayüzey etkileşiminde ise kesme alanında zemin taneleri arasındaki kenetlenme

geotekstil etkisiyle azalmış, kesme yüzeyinde tanelerin geotekstil üzerinde hareketi veya dönmesi ile dilatasyon değerlerinde ve dilatasyon açılarında düşüş gözlemlenmiştir (Şekil 5-6).



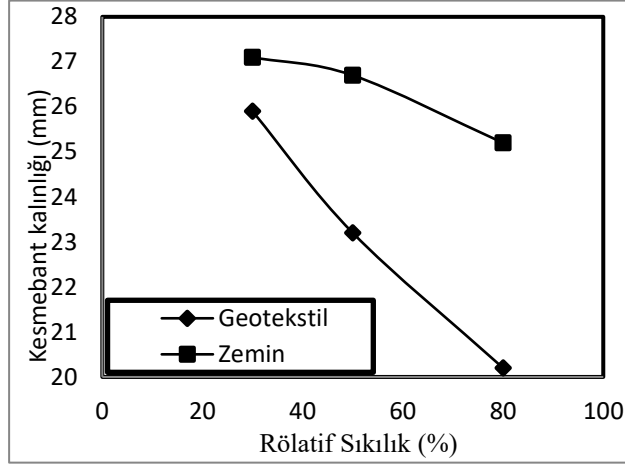
Şekil 6. Farklı sıklıklardaki dilatasyon deplasman ilişkisi (Dilation-displacement relationship at different relative densities)



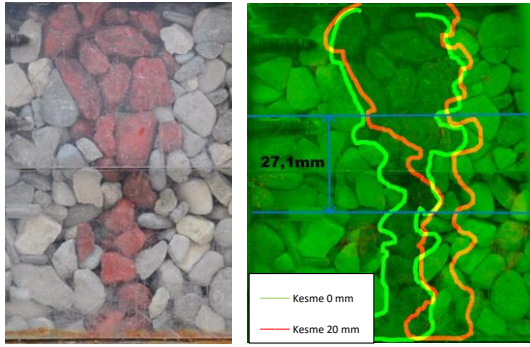
Şekil 7. Farklı sıklıklardaki dilatasyon açısı deplasman ilişkisi (Dilation angle-displacement relationship at different relative densities)

Kesme bant kalınlıkları ve kesme kaynaklı zemin tanelerine bağlı, görelî ötelenmeler Şekil 7-12'deki gibi gösterilmiştir. Görüntü işleme sonrası kesmenin 0 mm olduğu an zemin kolunu yeşil hat, kesmenin yatayda 20 mm olduğu andaki boyalı zemin kolunu kırmızı hat ile çizilmiştir. Kesme bant kalınlıkları belirlenirken zemin tanelerinin kesme ekseninde görelî ötelenme başlangıç ve bitiş pozisyonları kabul edilmiştir [13]. Zemin-zemin arayüz etkileşimi ve zemin-geotekstil arayüz etkileşiminde de sıklık arttıkça Kesme bant kalınlıkları azalma eğilimi göstermiştir. Geotekstilin arayüz malzemesi olarak kullanılması ile geotekstil bir alt sınır işlevi görmüş, bu hattın altında kesme kaynaklı görelî hareket

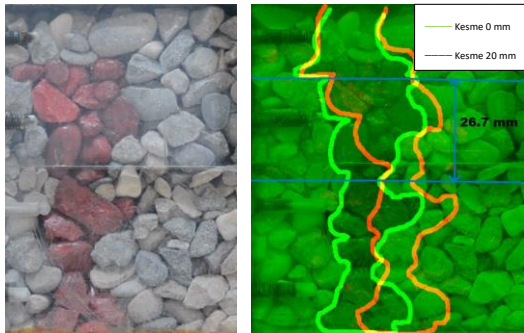
gerçekleşmediği saptanmıştır. Bu duruma bağlı olarak aynı sıklıkta geotekstil kullanımında kesme bant kalınlığı geotekstilsiz duruma göre 1.2-5 mm arasında kısalma göstermiştir.



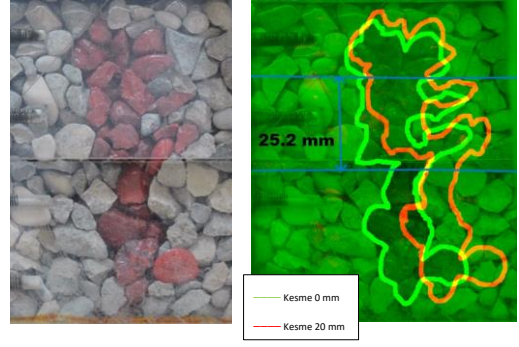
Şekil 8. Rölaf sıklığa bağlı kesme bant kalınlıkları (Shear band thicknesses depending on relative densities)



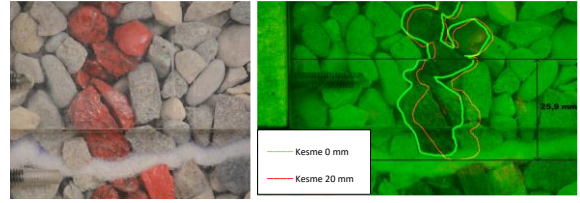
Şekil 9. Rölaf sıklık %30 için zemin-zemin kesme bant kalınlığı (soil-soil shear band thickness for relative density 30%)



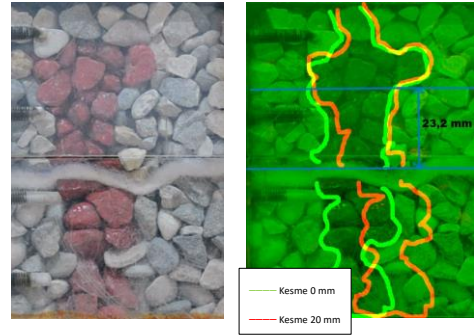
Şekil 10. Rölaf sıklık %50 için zemin-zemin kesme bant kalınlığı (soil-soil shear band thickness for relative density 50%)



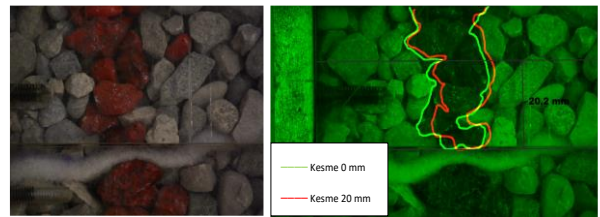
Şekil 11. Rölaf sıklık %80 için zemin-zemin kesme bant kalınlığı (soil-soil shear band thickness for relative density 80%)



Şekil 12. Rölaf sıklık %30 için geotekstil-zemin kesme bant kalınlığı (geotextile-soil shear band thickness for relative density 30%)



Şekil 13. Rölaf sıklık %50 için geotekstil-zemin kesme bant kalınlığı (geotextile-soil shear band thickness for relative density 50%)



Şekil 14. Rölaf sıklık %80 için geotekstil-zemin kesme bant kalınlığı (geotextile-soil shear band thickness for relative density 80%)

#### 4.SONUÇLAR (CONCLUSSIONS)

Bu çalışmada zemin numunesinin 3 farklı sıklıkta direk kesme deneyi verilerine göre elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi sıralanmıştır;

- Zemin numunesinin maksimum kesme dayanımları %80 rölatif sıklıklarda elde edilmiş olup, sıklığın azalmasıyla birlikte maksimum kesme dayanımlarında düşüş gözlemlenmiştir. Zemin-zemin kesme durumu için maksimum kesme dayanımı %80 sıklığa ait olup 47.10 kPa olarak elde edilmiştir. Sıklığın %30 a düşürülmesiyle kesme dayanımı %2.33 azalırken, bu değer sıklığın %50 ye düşürülmesiyle %24.42 oranında azalmıştır.

- Geotekstil-zemin arayüz etkileşiminde ise %80 sıklıkta maksimum kesme dayanımları elde edilmiş olmasına rağmen, geotekstilin arayüz malzemesi olarak kullanılması daneler arası sürtünmeyi kısmen azaltmıştır. Kesme dayanımlarında maksimum değer %80 sıklıkta görülmüş olup 41.42 kPa olarak elde edilmiştir. %50 sıklıkta maksimum kesme dayanımı %21.26 oranında azalmıştır. %30 sıklıkta ise maksimum kesme dayanımında %22.96 düşüş görülmüştür.

- Geotekstil kullanımı zemin daneleri arasındaki sürtünme ve kenetlenmeleri kesme bölgesinde azaltmasıyla birlikte dilatasyon oluşumunu da azaltmıştır. Buna bağlı olarak en yüksek dilatasyon 3 mm ile %80 rölatif sıklıkta elde edilmiştir.

- Kesme bant oluşumları bütün testlerde net bir şekilde gözlemlenmiştir. Kesme etkisiyle görelî hareket baz alınarak belirlenen kesme bant kalınlıkları hem sıklığın artması durumunda hem de geotekstil kullanılması durumunda azalmıştır. Aynı sıklıklarda geotekstil kullanımı ise kesme bölge alanlarını azaltmıştır ve geotekstil hattı altında kesme bant oluşumu gözlemlenmemiştir.

#### ETİK STANDARTLARIN BEYANI (DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

Bu makalenin yazarı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler.

The author of this article declares that the materials and methods they use in their work do not require ethical committee approval and/or legal-specific permission.

#### YAZARLARIN KATKILARI (AUTHORS' CONTRIBUTIONS)

Yazarlar bu çalışmaya eşit şekilde katkı sunmuşlardır.

The authors contributed equally to this work.

#### ÇIKAR ÇATIŞMASI CONFLICT OF INTEREST (CONFLICT OF INTEREST)

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

There is no conflict of interest in this study.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] T. W. Lambe and R. V. Whitman, "Soil Mechanics." John Wiley & Sons, p. 548, 1969.
- [2] X. Y. Jing, W. H. Zhou, H. X. Zhu, Z. Y. Yin, and Y. Li, "On the interface shearing behavior between granular soil and artificial rough surfaces," Springer Series in Geomechanics and Geoengineering, vol. 2, pp. 437–444, 2017, doi: 10.1007/978-3-319-52773-4\_52.
- [3] D. Lesniewska and M. Pietrzak, "Experimental investigations of micro-structural phenomena inside strain localisation in granular materials," AIP Conf Proc, vol. 1542, no. June 2013, pp. 425–428, 2013, doi: 10.1063/1.4811958.
- [4] X. B. Lu, S. Y. Wang, and C. Peng, "On the evolution of simple shear in saturated soil," Int J Numer Anal Methods Geomech, vol. 28, no. 3, pp. 269–278, 2004, doi: 10.1002/nag.335.
- [5] M. I. Peerun, D. E. L. Ong, and C. S. Choo, "Interpretation of Geomaterial Behavior during Shearing Aided by PIV Technology," Journal of Materials in Civil Engineering, vol. 31, no. 9, 2019, doi: 10.1061/(asce)mt.1943-5533.0002834.
- [6] A. Roy, N. Roy, P. Saha, and N. Mandal, "Factors Determining Shear-Parallel Versus Low-Angle Shear Band Localization in Shear Deformations: Laboratory Experiments and Numerical Simulations," J Geophys Res Solid Earth, vol. 126, no. 10, pp. 1–23, 2021, doi: 10.1029/2021JB022578.
- [7] J. Shen, X. Wang, W. Liu, P. Zhang, C. Zhu, and X. Wang, "Experimental study on mesoscopic shear behavior of calcareous sand material with digital imaging approach," Advances in Civil Engineering, vol. 2020, 2020, doi: 10.1155/2020/8881264.
- [8] T. Triantafyllidis, L. Röchter, A. Niemunis, and L. F. Prada-Sarmiento, "Shear banding in geomaterials under extensional plane strain conditions: Physical and analytical model," Acta Geotech, vol. 6, no. 2, pp. 93–103, 2011, doi: 10.1007/s11440-011-0136-5.
- [9] R. Khan and G. M. Latha, "Multi-scale understanding of sand-geosynthetic interface shear response through Micro-CT and shear band analysis," Geotextiles and Geomembranes, vol. 51, no. 3, pp. 437–453,

- Sep. 2023, doi:  
10.1016/j.geotxmem.2023.01.006.
- [10] J. Pan et al., “Thickness of the shear band of silty clay–concrete interface based on the particle image velocimetry technique,” *Constr Build Mater*, vol. 388, Jul. 2023, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2023.131712.
- [11] R. An, X. Zhang, Y. Wang, C. Chen, and X. Chen, “Dynamic Evolution of Cracks in Slag-Modified Soil under Uniaxial Loading Using Real-Time X-Ray Computed Tomography,” *Journal of Materials in Civil Engineering*, vol. 35, no. 6, Jun. 2023, doi: 10.1061/jmcee7.mteng-14491.
- [12] R. A. Jewell, “Direct shear tests on sand,” *GEOTECHNIQUE*, vol. 39, no. 2, pp. 309–322, 1989.
- [13] P. Vangla and G. M. Latha, “Influence of Particle Size on the Friction and Interfacial Shear Strength of Sands of Similar Morphology,” *International Journal of Geosynthetics and Ground Engineering*, vol. 1, no. 1, 2015, doi: 10.1007/s40891-014-0008-9.
- [14] A. D3080, “ASTM D 3080 - 03 Direct Shear Test of Soilds Under Consolidated Drained Conditions,” *ASTM International*, vol. 04, p. 7, 2003, [Online]. Available: [www.astm.org](http://www.astm.org)
- [15] L. K. Park, M. Suneel, and I. J. Chul, “Shear strength of jumunjin sand according to relative density,” *Marine Georesources and Geotechnology*, vol. 26, no. 2, pp. 101–110, 2008, doi: 10.1080/10641190802022445.
- [16] A. Lashkari and V. Jamali, “Global and local sand–geosynthetic interface behaviour,” *Geotechnique*, vol. 71, no. 4, pp. 346–367, 2021, doi: 10.1680/jgeot.19.P.109.
- [17] J. Lubliner, *PLASTICITY THEORY*. Pearson Education, Inc., 1990.
- [18] X. G. Zhao and M. Cai, “A mobilized dilation angle model for rocks,” *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, vol. 47, no. 3, pp. 368–384, 2010, doi: 10.1016/j.ijrmms.2009.12.007.