

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**





KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde

Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : / /

Tezin Savunma Tarihi : / /

Tez Danışmanı :

Trabzon

ÖNSÖZ

Tez çalışmamın her aşamasında değerli katkılarıyla bana yardımcı olan, hiçbir zaman yardımını esirgemeyen verdiği tecrübelerden yararlanırken gösterdiği hoşgörü ve sabırdan dolayı danışman hocam sayın Prof. Dr. Erol ŞADOĞLU'na sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam kapsamında gerekli malzemenin alınmasında yardımcı bulunan sayın Prof. Dr. Atakan AKSOY' a tüm içtenlikle teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım sırasında K.T.Ü. Ulaştırma Laboratuvarı yöneticisi sayın Prof. Dr. Muhammet Vefa AKPINAR'a ve çalışmam kapsamında gerekli aleti kullanmamda yardımcı olan sayın Prof. Dr. Şerif Oruç'a teşekkür ederim.

Tez çalışmam kapsamında deney çalışmaları için kullandığım Ankara Karayolları Genel Müdürlüğü zemin laboratuvarını kullanmamızı sağlayan Araştırma Geliştirme Daire Başkanı sayın Sina KİZİROĞLU ve deneysel çalışmalar sırasında gerekli bilgiyi ve yardımlarını esirgemeyen K.G.M. zemin mekaniği laboratuvar şefi sayın İrşad ÖZKAYNAK'a teşekkür ederim.

Tezimin gerçekleştirilmesinde FYL-2019-8237 numaralı proje ile maddi destek sağlayan BAPSİS'e teşekkür ederim.

Çalışmalarım sırasında bana yardım eden, bilgilerini esirgemeyen, kıymetli vaktini ayıran, her daim maddi ve manevi yanımda olan değerli arkadaşım Saeid ZARDARI' ye en içten teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmam sırasında maddi manevi desteğini esirgemeyen her zaman yanımda olan aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Eyüp Sultan SELÇUK

Trabzon, 2021

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Lifli Bitümlerle Stabilize Edilen Kum Zeminlerin Dinamik Özellikleri” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Erol ŞADOĞLU'nun sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim.
25/06/2021.

Eyüp Sultan SELÇUK

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET.....	VIII
SUMMARY.....	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	X
TABLolar(ÇİZELGELER) DİZİNİ.....	X
SEMBOLLER DİZİNİ.....	XI
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1 Giriş.....	1
1.2. Stabilizasyon.....	1
1.3. Stabilizasyonda Kullanılan Katkı Maddeleri.....	2
1.3.1. Taneleri Birbirine Bağlamada Kullanılan Katkı Maddeleri.....	2
1.3.2. Zeminin Fiziksel Özelliklerini Değiştirmekte Kullanılan Katkı Maddeleri.....	2
1.3.3. Su Geçirmezlik ve Bağlayıcı Özelliği Olan Katkı Maddeleri.....	3
1.4. Bitümlü Malzemeler.....	4
1.4.1. Asfalt Grubu.....	4
1.4.2. Katran Grubu.....	6
1.5. Stabilizasyon Çeşitleri.....	7
1.5.1. Mekanik Stabilizasyonlar.....	7
1.5.2. Kimyasal Stabilizasyonlar.....	8
1.5.3. Kireç Stabilizasyonu.....	8
1.5.4. Uçucu Kül Stabilizasyonu.....	9
1.5.5. Çimento Stabilizasyonu.....	10
1.5.6. Bitümlü Stabilizasyon.....	11
1.5.7. Kimyasallar ile Sentetik Malzemelerin Stabilizasyonu.....	11
1.6. Bitümlü Stabilizasyon Çeşitleri.....	12
1.6.1. Kum-Bitüm Stabilizasyonları.....	12

1.6.1.1.	Kum-Bitüm Stabilizasyonunda Malzemelerde Aranılan Özellik.....	12
1.6.1.2.	Kum-Bitüm Stabilizasyonunda Kullanılabilen Katkılar.....	13
1.6.2.	Kum-Çakıl-Bitüm Stabilizasyonları.....	13
1.6.2.1.	Kum-Çakıl-Bitüm Stabilizasyonunda Malzemelerde Aranılan Özellikler	14
1.7.	Lifler Hakkında Bilgi.....	14
1.7.1.	Lif Çeşitleri	15
1.7.1.2.	Doğal Lifler.....	16
1.7.1.2.1.	Bitkisel Lifler.....	16
1.7.1.2.2.	Hayvansal Lifler.....	16
1.7.1.2.3.	Mineral Lifler.....	17
1.7.1.3.	Sentetik Lifler.....	18
1.7.1.3.1.	Metalik Lifler	18
1.7.1.3.2.	Seramik Lifleri.....	19
1.7.1.3.3.	Polimerik Lifler.....	20
1.7.2.	Bitümle Kullanılan Lifler ve Davranışlarıyla İlgili Çalışmalar.....	21
1.7.3.	Bitüm Cam Lif ve Lignin Karışımı ile İlgili Güncel Çalışma.....	26
1.7.4.	Asfalta Sülfür-Uçucu Kül Katkı Maddelerinin Etkisi.....	30
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	36
2.1.	DeneySEL Çalışmalar.....	36
2.2.	Malzemeler.....	37
2.2.1.	Granüler Malzemeler.....	37
2.2.2.	Lifler.....	37
2.2.3.	Bağlayıcı Malzemeler.....	42
2.3.	Tekrarlı Basit Kesme Deneyi İçin Numunelerin Hazırlanması.....	43
2.3.1.	Zeminlerin Dinamik Yükleme Altındaki Davranışı.....	47
2.3.1.1.	Kayma Modülü.....	47
2.3.1.2.	Sönüm Oranı.....	49
2.3.2.	Tekrarlı Basit Kesme Deneyinin Yapılması.....	52
3.	BULGULAR VE TARTIŞMA.....	57
3.1.	Tekrarlı Basit Kesme Deneyi Sonuçları.....	57
3.1.1.	Kum-Bitüm-Selüloz Lif Karışımı İçin Tekrarlı Basit Kesme Deneyi Sonuçları.....	58

3.1.2.	Kum-Bitüm-Polipropilen Lif Karışımı İçin Tekrarlı Basit Kesme Deneyi Sonuçları	61
3.1.3.	Kum-Bitüm-Bazalt Lif Karışımı İçin Tekrarlı Basit Kesme Deneyi Sonuçları.....	63
3.1.4.	Kum-Bitüm-Bazalt Lif Karışımı İçin Lif Uzunluğunun Sönüm Oranına ve Kayma Modülüne Etkisi.....	69
4.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	76
5.	KAYNAKLAR.....	78
6.	EKLER.....	83

ÖZGEÇMİŞ



Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

LİFLİ BİTÜMLERLE STABİLİZE EDİLEN KUM ZEMİNLERİN DİNAMİK ÖZELLİKLERİ

Eyüp Sultan SELÇUK

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Erol ŞADOĞLU
2021, 82 Sayfa, 80 Sayfa Ek

Dünyanın hemen hemen her yerinde depremler olmaktadır. Bunlardan bazıları can kaybına sebebiyet vermektedir. Bunları önleyecek güvenli ekonomik çözümler üretilmesi gerekmektedir. Bunun için zeminlerin çeşitli özelliklerinin yanı sıra mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi gerekmektedir. Günümüzde en çok uygulanan yöntemlerden biri de farklı zeminlere çeşitli malzemeler eklenip, karıştırılıp zeminin iyileştirilmeye çalışılmasıdır. Bu farklı malzemelerde genelde bağlayıcılar ve lifler olmaktadır. Bu çalışmaların amacı deprem gibi dinamik yükler altındaki bitüm ve liflerle stabilize edilen kum zeminlerin dinamik özelliklerinin araştırılmasıdır. Bu bağlamda yüksek sönüm oranlarına sahip kum ve bitüm ile zeminlerin dinamik özelliklerini iyileştirmek amaçlı çeşitli liflerle (bazalt, polipropilen ve selüloz lifi) stabilize edilmiştir. Çeşitli yüzdelerle karıştırılan bu malzemelerden numuneler oluşturuldu. Daha sonra çevrimsel basit kesme deneyi uygulanmıştır. Bu deneyden elde edilen farklı oranlarda polipropilen lifli, bazalt lifli ve selüloz lifli numunelerin dinamik özellikleri kıyaslanıp hangisinin en iyi sonucu verdiği belirlendi. Deneysel çalışma kapsamında selüloz lifi için bitüm oranının %3'ü kadar lif en yüksek sönüm oranı olarak belirlenmiştir ve bu sönüm oranı %45'dir. Polipropilen lifi için bitüm oranının %1'i kadar lif en yüksek sönüm oranını vermektedir ve bu oran %44.6 olarak bulunmuştur. En yüksek sönüm oranı bazalt lifli numunede %47 olarak bulunmuştur. Ayrıca en yüksek kayma modülü de bazalt lifli karışımdan 11.8 Mpa olarak elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Stabilizasyon, Bitüm, Tekrarlı basit kesme deneyi, Sönüm oranı, Kayma modülü

Master Thesis

SUMMARY

DYNAMIC CHARACTERISTICS OF SAND SOILS STABILIZED WITH FIBER
BITUMEN

Eyüp Sultan SELÇUK

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Civil Engineering Graduate Program
Supervisor: Prof. Dr. Erol ŞADOĞLU
2021, 82 Pages, 80 Pages Appendix

There are earthquakes almost everywhere in the world. Some of these cause loss of life. In order to prevent this, safe and economic solutions should be produced to prevent them. For this, in addition to various properties of soils, it is necessary to improve their mechanical properties. Today, one of the most common methods is adding various materials to different soils, mixing them and trying to improve the soil. These different materials usually contain binders and fibers. The aim of these studies is to investigate the dynamic properties of sandy soils stabilized with bitumen and fibers under dynamic loads such as earthquakes. In this context, in this study, it has been stabilized with sand and bitumen with high damping rates and various fibers (basalt, polypropylene and cellulose fiber) to improve the dynamic properties of the soils. Samples were produced with these materials mixed in various percentages. Then, cyclic simple shear test was applied. It was aimed to compare the dynamic properties of polypropylene fiber, basalt fiber and cellulose fiber in different ratios obtained from this experiment and find out which one gives the best results. Within the scope of the experimental study, 3% of the bitumen rate was determined as the highest damping for cellulose fiber, and this damping rate was 45%. The fiber up to 1% of the bitumen ratio gives the highest damping rate for polypropylene fiber and this was found to be 44.6%. The highest damping rate was found as 47% in the basalt fiber sample. In addition, the highest shear modulus was obtained from the basalt fiber mixture as 11.8 Mpa.

Keywords: Stabilization, Cyclic simple shear test, Bitumen, Damping ratio, Shear modulus

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1. Bitümle karıştırılmış organik liflerin viskozitesi (Chen ve Lin, 2005)	22
Şekil 1.2. Lif türüne bağlı viskozite-lif kırılma grafiği (Chen ve Lin, 2005)	23
Şekil 1.3. Farklı konsantrasyonlarda bitümle karıştırılmış mineral lifler için gerilme kuvveti-uzama grafiği (Chen ve Lin, 2005)	24
Şekil 1.4. Kompozitlerin çekme dayanımı üzerine liflerin etkisi (Chen ve Lin, 2005)	25
Şekil 1.5. 60 °C de mineral lifle karıştırılmış bitüm için birleşik modül eğrileri (Chen ve Lin, 2005)	25
Şekil 1.6. 1.59 Hz'de bitümle karıştırılmış organik lifler için tanδ – sıcaklık grafiği (Chen ve Lin, 2005)	26
Şekil 1.7. Özgül ağırlığın farklı katkı yüzdeleri ile karşılaştırılması (Zarai ve Janmohammadi, 2018)	29
Şekil 1.8. 12 mm uzunluğunda %0,3 cam lif ve farklı yüzdelerde lignin içeren karışımda 15 °C'de MPa cinsinden esneklik modülünün sonuçları (Zarai ve Janmohammadi, 2018)	29
Şekil 1.9. 6 mm uzunluğunda % 0,3 cam lif ve farklı yüzdelerde lignin içeren karışımda 15 °C'de MPa cinsinden esneklik modülünün sonuçları (Zarai ve Janmohammadi, 2018)	30
Şekil 1.10. Kumun Tane Boyutu Dağılımı Grafiği (Satyakumar ve Satheeshchandran, 2013)	31
Şekil 1.11. Uçucu Külün Tane Boyutu Dağılımı Grafiği (Satyakumar ve Satheeshchandran, 2013)	32
Şekil 1.12. Sertlik Modülü Test Sonuç Grafiği (Satyakumar ve Satheeshchandran, 2013)	34
Şekil 1.13. Dinamik Modülü Test Sonuç Grafiği (Satyakumar ve Satheeshchandran, 2013)	35
Şekil 2.1. Deneyde kullanılan polipropilen lif	40
Şekil 2.2. Deneyde kullanılan bazalt lif	41
Şekil 2.3. Bitüm-lif karışımının silindirik metal teneke kutusuna konulmasından sonra tekrar kullanımı.....	44
Şekil 2.4. Bitüm karıştırma mikseri	44
Şekil 2.5. Lifli bitüme uygun miktarda kumun eklenmesi	45
Şekil 2.6. 63,5 mm çapındaki çelik kapta sıkıştırılmış numune	46
Şekil 2.7. Proktor tokmağı ile sıkıştırma.....	46
Şekil 2.8. Kumpas ile yükseklik ve yamukluk ölçümü	47

Şekil 2.9.	Bir numune örneği	48
Şekil 2.10.	Tekrarlı basit kesme cihazının şematik görünüşü (Zehtab, 2010)	49
Şekil 2.11.	Histerezis eğrisiyle sönüm oranının tanımı (Das ve Ramana, 2011)	50
Şekil 2.12.	Ortalama sıklıkta kumda kayma modülü ile kayma şekil değiştirme arasındaki ilişki (Silver ve Seed, 1971)	51
Şekil 2.13.	Döngüsel yükleme altında kumun gerilme-şekil değiştirme grafiği (Silver ve Seed, 1971)	52
Şekil 2.14.	Tekrarlı basit kesme cihazı	53
Şekil 2.15.	Teflon kaplı hacim sabitleme halkaları	54
Şekil 2.16.	Shear – Cyclic adlı programdaki numunenin özelliği	54
Şekil 2.17.	Tekrarlı yüklemeye ait girilen veriler	55
Şekil 2.18.	Shear-Cyclic programında bir numunenin kayma gerilmesi grafiği	56
Şekil 2.19.	Tekrarlı direk kesme deneyine ait Shear-Cyclic programından alınan grafik	56
Şekil 3.1.	Farklı bitüm-lif oranlarında sönüm oranının değişimi	59
Şekil 3.2.	Bitüm içeriğinin sönüm oranına etkisi (Zardari, 2020).	59
Şekil 3.3.	Farklı bitüm-lif oranlarında kayma modülünün değişimi	60
Şekil 3.4.	Dinamik modülün frekans ile değişim grafiği (Feng vd., 2017)	61
Şekil 3.5.	Farklı lif bitüm oranlarında sönüm oranının değişimi	62
Şekil 3.6.	Farklı bitüm-lif oranlarında kayma modülünün değişimi	63
Şekil 3.7.	2mm uzunluğunda bazalt lif için farklı lif bitüm oranlarında sönüm oranının değişimi	64
Şekil 3.8.	2mm uzunluğunda bazalt lif için farklı lif bitüm oranlarında kayma modülünün değişimi	65
Şekil 3.9.	4mm uzunluğunda bazalt lif için farklı lif bitüm oranlarında sönüm oranının değişimi	66
Şekil 3.10.	4mm uzunluğunda bazalt lif için farklı lif bitüm oranlarında kayma modülünün değişimi	67
Şekil 3.11.	6mm uzunluğunda bazalt lif için farklı lif bitüm oranlarında sönüm oranının değişimi	68
Şekil 3.12.	6mm uzunluğunda bazalt lif için farklı lif bitüm oranlarında kayma modülünün değişimi	69
Şekil 3.13.	%8 bitüm için farklı uzunluktaki lifler ve lif içeriğinin sönüm oranına etkisi	70
Şekil 3.14.	%8 bitüm için farklı uzunluktaki lifler ve lif içeriğinin kayma modülüne etkisi	71

Şekil 3.15.	%10 bitüm için farklı uzunluktaki lifler ve lif içeriğinin sönüm oranına etkisi	72
Şekil 3.16.	%10 bitüm için farklı uzunluktaki lifler ve lif içeriğinin kayma modülüne etkisi	73
Şekil 3.17.	%12 bitüm için farklı uzunluktaki lifler ve lif içeriğinin sönüm oranına etkisi	74
Şekil 3.18.	%12 bitüm için farklı uzunluktaki lifler ve lif içeriğinin kayma modülüne etkisi	75



TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1. Zemin cinsine göre stabilizasyonda kullanılan kireç miktarı (Tunç, 2002)	9
Tablo 1.2. Değişik türdeki liflere ait özellikler (Biber, 2001)	15
Tablo 1.3. Chawlaya (1988) göre değişik türdeki cam liflere ait özellikler (Kurt, 2006) 18	18
Tablo 1.4. Chawlaya (1988) göre değişik türdeki metal liflere ait özellikler (Kurt, 2006).....	19
Tablo 1.5. Chawlaya göre (1998) değişik türdeki polimer liflere ait özellikler (Kurt, 2006)	21
Tablo 1.6. Lifler ve özellikleri (Chen ve Lin, 2005)	21
Tablo 1.7. Ligninin İçeriği (Zarai ve Janmohammadi, 2018)	27
Tablo 1.8. Cam Lifin Fiziksel Özellikleri (Zarai ve Janmohammadi, 2018)	27
Tablo 1.9. Asfalt karışımında cam lif ve lignin (Zarai ve Janmohammadi, 2018)	28
Tablo 1.10. Kullanılan Malzemelerin Fiziksel Özellikleri (Satyakumar ve Satheeshchandran, 2013)	30
Tablo 1.11. Sülfür-Asfalt-Uçucu kül karışımının Marshall özellikleri(Satyakumar ve Satheeshchandran, 2013).....	32
Tablo 2.1. Denede Referans alınan ASTM standartı	36
Tablo 2.2. Kumun geoteknik özellikleri	37
Tablo 2.3. Granül olarak sıkıştırılmış selüloz lifin teknik özellikleri (URL-2)	38
Tablo 2.4. Polipropilen lifin teknik özellikleri (URL-3)	39
Tablo 2.5. Bazalt lifin teknik özellikleri (URL-3)	41
Tablo 2.6. Denede kullanılan bitümün özellikleri (URL5,6, 7 ve 8)	43
Tablo 3.1. Selüloz ve polipropilen lif katkılı numunelerin adlandırılması.....	57
Tablo 3.2. Bazalt lif katkılı numunelerin adlandırılması.....	58

SEMBOLLER DİZİNİ

AC	: Asfalt betonu
$A_{eğri}$: Histeris eğrisinin alanı
CSR	: Tekrarlı gerilme oranı
C°	: Derece
E	: Elastisite modülü
G	: Kayma Modülü
G _s	: Özgül ağırlık
Hz	: Hertz
RC	: Katbek asfalt
RT	: Yol katranları
SS	: Asfalt emülsiyonu
USCS	: Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi
ξ	: Sönüm oranı
σ_v	: Dikey gerilme
ρ	: Yoğunluk
θ	: Faz açısı
τ	: Tekrarlı kayma gerilmesi
Υ	: Kayma şekil değiştirmesi

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Dünyanın her yerinde her yıl neredeyse 500 bin deprem olmaktadır. Bu depremlerden bazıları hissedilmemektedir. Bazıları ölümcül sonuçlar doğurmaktadır. Bu ölümcül sonuç doğuran depremler için can kaybını en aza indirmek için zeminin mühendislik parametrelerinin iyileştirilmesi gerekmektedir. Zemin özelliklerinin iyileştirilmesi eski zamanlarda da kullanılmıştır. Kireç bilinen en eski stabilizasyon malzemesidir (Özpolat, 2020). Gelişen teknolojiyle günümüzde zemin özelliklerini iyileştirmek için çeşitli malzemeler eklenmiştir. En çok uygulanan metotlardan biri de değişik zeminlere çeşitli malzemeler eklenip, karıştırılıp zeminin iyileştirilmeye çalışılmasıdır. Bu yaygın olarak kullanılan farklı malzemeler; uçucu kül, kireç, çimento ve liflerdir (Gerkuş, 2011). Liflerle güçlendirilmiş zemin fikri ağaç kök-zemin mekanizmasından türetilmiştir (Waldron, 1977). Doğal ve sentetik lif türleri zemine karıştırılır ve etkileri farklı test yöntemleri ile belirlenir.

Bu çalışmada yüksek sönüm oranlarına sahip kum ve bitüm zeminlerin dinamik özelliklerini iyileştirmek amaçlı çeşitli lifler (bazalt, polipropilen ve selüloz lifi) ile kullanılarak stabilize numuneler elde edilmiştir. Bu numunelerin dinamik özellikleri tekrarlı basit kesme deneyiyle araştırılmıştır.

1.2. Stabilizasyon

Stabilizasyon geoteknik mühendisliğinde sıklıkla başvurulan işlemlerden biridir. Mukavemet özellikleri zayıf olan zeminin mekanik, fiziksel ve kimyasal stabilizasyon metotları ile dış kuvvetlere mukavemetli hale getirilmesine zemin stabilizasyonu (iyileştirmesi) denir (Özpolat, 2020).

Stabilizasyonda aranan temel amaçlar aşağıdaki gibidir:

- Taşıma gücü-dayanım artışı
- Oturmaların yük altında azaltılması
- Şekil değiştirmelerin gerilmeler altında azaltılması
- Şişme-büzülme potansiyelinin azaltılması

- Dayanıklılığın artması ve ıslanma/kuruma, donma/çözülme gibi çevresel faktörler sonucu olumsuz fiziksel ve kimyasal değişimlerin önlenmesi,
- Su geçirgenliği, su basınçları oluşumu ve sızıntı suyu kontrolü
- Erozyon direncinin artırılması
- Çevrimsel yükler ve depremler altında mukavemet, rijitlik ve sıvılaşma kaybı potansiyelinin azaltılması
- Temel zemini ve dolgu malzemelerinde değişkenliğin azaltılması
- Yüzey bozulmalarına karşı direncin artırılması (Çınar, 2014)

Zeminleri veya granüler malzemeleri stabil hale getirmek için stabilizasyonda çeşitli katkı maddeleride kullanılmaktadır (Maden, 1965).

1.3. Stabilizasyonda Kullanılan Katkı Maddeleri

1.3.1. Taneleri Birbirine Bağlamada Kullanılan Katkı Maddeleri

Taneler arasında katkı maddelerinin etkisiyle bağlar meydana gelir. Bu bağlar çok kuvvetlidir. Malzemenin ağır yüklere karşı mukavemet göstermesini sağlar. Fakat bağın özel karakterinden dolayı donma-çözünme, ıslanma-kuruma gibi ağır iklim şartlarına maruz kaldıklarında yük altında uzun zaman arzu edilen dayanıklılığı gösteremezler.

Bu katkı maddelerinin bazıları:

- Çimento
- Kireç
- Fosforik asit şeklindedir.

1.3.2. Zeminin Fiziksel Özelliklerini Değiştirmekte Kullanılan Katkı Maddeleri

Bu tür katkı maddeleri zeminin fiziki ve mühendislik özelliklerini değiştirir. Zeminlerin karışma, sıkışma, kuruma, mukavemet gibi özelliklerinde değişiklikler olur. Fakat bu da iklim şartlarına dayanıksızdır.

Bu katkı maddelerinden bazıları:

- Çimento
- Kireç
- Kalsiyum klorür
- Sodyum klorür gibi tuzlardır.

Bu katkı maddeleri zemine az miktarda eklenir (Maden, 1965).

1.3.3. Su Geçirmezlik ve Bağlayıcı Özelliği Olan Katkı Maddeleri

Granüler malzemeler veya kum gibi kohezyonsuz zeminlerde bitüm iki maksatla hizmet etmektedir:

- Zemini su geçirmez hale getirir

Burada stabilizasyon için kullanılan katkı maddeleri zemin tanelerini ve tane gruplarını sarmak suretiyle birbirine bağladıkları gibi taneler arasındaki mevcut boşlukları veya su ile dolu kılcal boşlukların ağzını kapatır. Zemin tabakası içine suyun sızmasını engeller.

- Zemin tanelerini birbirine bağlar dolayısıyla zeminin yük taşıma kabiliyetini artırır.

Bitümlü malzeme zeminde var olan kohezyon kuvvetlerinin suyun etkisiyle azalmasını önler. Bu sayede sıkışmış zemin hiç olmazsa sahip olduğu mukavemetini korur.

Bu katkı maddelerinden bazıları:

- Asfaltlar
- Bazı reçineli maddeler
- Yol katranları şeklindedir.

Bitümlü malzemelerle zemin stabilizasyonunun oluş şekli izah eden başlıca iki teori vardır. Bunlar V.A. Endersby'nin Plug(tıkaç) ve intimate mix(içten karışım) teorileridir. İçten karışım teorisine göre zemin partikülleri ayrı ayrı bitümlü malzeme ile sarılır ve bağlayıcı özelliği olan bitümlü malzemeler ile taneler birbirine yapışır.

Kil ince taneler halinde bulunduğu için bitümle sarılacak alan çok fazla olur. Bu da fazla bitümlü malzeme kullanılmasını sağlar. Bunun sonucunda bitüm yağlama etkisi göstererek zemin stabilizesini azaltıcı özellik sağlar.

Tıkaç teorisine göre zeminin kapiler boşluklarının ağzı bitümlü malzeme ile kapanır ve kapiler boşlukların içine fazla su girmez veya içindeki suyun dışarı çıkmasına mani olunur (Maden, 1965).

1.4. Bitümlü Malzemeler

Doğada katı veya yarı katı halde olabildiği gibi, daha çok ham petrolün damıtılması sonucu artık ürün olarak veya taşkömürünün karbonizasyonu sırasında bir yan ürün olarak elde edilen hidrokarbon malzemelerdir. (Hidrojen ve karbonun birleşiminden oluşan hidrokarbonlar, sade ya da kompleks yapılı elementlerdir.)

Bitümlü malzemelerin, kömür asıllı olanları katran, petrol asıllı olanları asfalt ismini alırlar. Katranın yıkanmış kalıntısı ise zifttir. Karayolu ve kaplama işlerinde, bitümlü malzemelerin süneklik\esneklik (düktilite) ve yapışma özellikleri bu malzemeleri daha cazip kılmaktadır.

Bitümlü malzemeler; İngiltere, ABD, Fransa'da 19.yy'da yol kaplamaları ve kaya asfaltı kaldırım kaplamalarında uygulanmaya başlanmıştır. 1900 yılının ilk çeyreğinde ham petrolden arıtım metodu ile asfalt üretiminin bulunması ve otomobillerin gitgide artan ünü, hızla büyüyen bir sanayi dalının meydana çıkmasına sebep olmuştur. Asfaltın en fazla kullanıldığı alanlardan bazıları şunlardır: Yol inşasında, köprü döşemelerinde, yalıtım malzemesi ve yalıtım örtüsü olarak çatılarda, sanayide akü imalatında vb. kullanılır.

Bitümlerin ortak özellikleri aşağıdaki gibidir:

- Sıcaklığa bağlı olarak katı, yarı katı veya akıcı yoğunlukta olabilirler.
- Bitümlerin renkleri genelde siyah ve koyudur.
- Moleküler ağırlıkları yüksektir.
- Bağlayıcı özelliklere sahiptirler.
- Bitümlü malzemeler çatlama ve ayrılma olmaksızın geçirimsiz ve plastik filmler oluşturarak şekil değiştirme özelliği (kohezyon) gösterirler.

1.4.1. Asfalt Grubu

Doğada mevcut olan ürünler:

- Asfalt gölü ürünleri:

Dünyadaki en büyük asfalt gölleri Venezuela ve Trinidad'ta bulunmaktadır.

- Doğal kaya asfaltı ürünleri:

Doğal kaya asfaltları, kaya çatlaklarında damar şeklinde veya gözenekli kayalar (kumtaşı ve kireçtaşı) içindedir.

- Asfaltitler:

Petrolün başkalaşımı (metamorfizması) ile meydana gelmiş doğal asfalt benzeri maddelere asfaltit denir.

Doğada 3 çeşit ham petrol vardır:

- Asfaltik esaslı ham petrol
- Parafin esaslı ham petrol
- Karışık esaslı ham petrol (Asfalt- Parafin) şeklindedir.

Asfalt, ham petrolün türüne göre değişen ayırıcılı distilasyon (damıtma) işlemiyle meydana gelir. Damıtmadan çıkan ham asfalt artıklarının üzerinden hava üfleme yöntemiyle okside asfaltlar meydana gelir.

Asfalt çimentolarını elde edebilmek için asfaltlar ısıtılır, buhar ve vakum yöntemleri uygulanır. Kıvam ve kalite itibarı ile asfalt çimentoları (AC) doğrudan yol inşasında kullanılmak üzere oluşturulan asfaltlardır.

Bazı kullanım yerleri;

- Yollar ve kaplamaların inşasında,
- Sıcak karışım oluşturulmasında,
- Modifiye asfaltların, sıvı petrol asfaltları (katbekler) ve asfalt emülsiyonlarının yapımında kullanılır.

Sıvı asfaltlar ise ikiye ayrılmaktadır:

- Sıvı petrol asfaltı (SPA), katbek asfaltları
- Asfalt emülsiyonları

Katbek asfaltları asfalt çimentosunun diğer petrol ürünleri ile karıştırılmasıyla elde edilir. Katbek asfaltın üç türü vardır:

1. Hızlı kür olan RC (Rapid-Curing) katbekler:

Nafta veya benzinin 25 °C'de karıştırılmasıyla elde edilir. Karışımın çabuk kür olmasının sebebi benzin düşük sıcaklıklarda uçmasıdır. Hızlı kür olan katbeklerle çalışma yapılırken yangına karşı önlem alınmalıdır. Viskozitelerine göre sınıflandırılması, RC-70, RC-250, RC-800 ve RC-3000 şeklindedir.

2. Orta hızda kür olan MC (Medium-Curing) katbekler:

Orta yoğunluktaki asfalt çimentosu ile gazyağının (inceltici) karıştırılmasıyla meydana gelir. Viskozitelerine göre sınıflandırılması MC-30, MC-70, MC-250, MC-800 ve MC-3000 şeklindedir.

3. Yavaş kür olan SC (Slow-Curing) katbekler:

Yumuşak asfalt çimentosu ile mazot ya da makina yağının karışımıyla oluşur. Bunun dışında yavaş kür olan katbek doğrudan distilasyon (damıtma) işlemi artıklarından da oluşabilir.

Katbek asfaltlarının kullanım alanlarından bazıları şunlardır: sıkıştırılmış granüler temel tabakalarında astar olarak, sathi (yüzeysel) kaplamalarda ve soğuk agregalar karışımlarında (yama karışımlarında) kullanılır. Katbek asfaltların soğuk agregalarla kullanılabilmesi, sıvı halde olduklarından ısıtma gereksinimlerine gerek duyulmaması gibi özellikleriyle asfalt çimentolarına karşı avantajları vardır. Asfalt emülsiyonlarıyla kıyaslandığında yalnızca kuru yüzeylerde kullanılabilmesi gibi bir dezavantaja sahiptirler.

Birbiri ile iyi karışmayan iki sıvıdan birinin diğerinde küçük küreler halinde dağılmış durumda bulunduğu heterojen karışıma emülsiyon denir. Yol yapımında kullanılan asfalt emülsiyonları asfaltın “dağınık faz”, suyun “sürekli faz” olduğu emülsiyonlardır.

Asfalt emülsiyonlarının avantajları:

- Normal sıcaklıklarda sıvı haldedirler, ısıtma gerektirmezler.
- Soğuk ve yaş agregalarla kullanılabilir.
- Yangın tehlikeleri yoktur.

Emülsiyon yol yüzeyine uygulandıktan ya da agregalarla karıştırıldıktan sonra asfaltın sudan ayrılarak agregalar yüzeyine ya da uygulandığı tabakaya yapışması ve böylece bu yüzeyi kaplaması işlemine "kesilme" denir. Kesilme hızına göre asfalt emülsiyonları 3'e ayrılır:

- RS tipleri (Hızlı kesilen):RS-1 ve RS-2 şeklinde iki farklı yoğunlukta oluşturulur, harç tipi kaplamalar, sathi (yüzeysel) kaplamalar vb. yüzeysel işlemlerde püskürtme biçiminde kullanılırlar.
- MS tipleri (Orta hızda kesilen):MS-1, MS-2, MS-3, MS-4 olmak üzere 4 farklı yoğunlukta oluşturulur, yamalarda ve yüzeysel kaplama işlemlerinde kullanılır.
- SS tipleri (Yavaş kesilen): Tek yoğunlukta (SS-1) üretilir, en kalıcı olanıdır ve maksimum sıkıştırma stabilitesini elde edebilmek amacıyla tasarlanmıştır (Yalçınkaya, 2019).

1.4.2. Katran Grubu

Ham katranlar (yol katranları) şeklindedir. Petrol ürünlerinin yaygın kullanımı

başlamadan önce kömür ürünü olan zift ve katran en yaygın kullanılan bitümlü malzemelerdi. Katran, zift ile ağır ve hafif yağların yapay ve doğal karışımıdır.

Ham katranın içinde çok miktarda su olması ve ince kıvamlı çökeltili bir durumda olması sebebiyle bu haliyle yol bağlayıcısı olarak kullanılması mümkün değildir. Bundan dolayı ham katran damıtılarak ağır yağlar, su ve ince yağlar olarak ayrılır. Damıtılmayan kısımdaki çökeleğe' de zift denir.

Katranlar asfalttan yumuşaktır ve sertliğine göre RT1- RT12 aralığında adlandırılırlar. Örnek olarak, RT12 yaklaşık AC-200 yoğunluğundadır. RT1 ve RT2 en hafif yoğunluktadır ve astar tabakasında, toz-örtü işlerinde kullanılır. RT7, RT8, RT9 orta yoğunlukta olanlardır ve yüzey kaplama işlerinde kullanılır. RT10-RT11-RT12 sert olanlarıdır ve katran betonu olarak, tamir işleri ve sıcak işlemlerde yüzey kaplaması için uygundur. Yalıtım olarak ise zift kullanılır.

Asfalt ile katran arasındaki farklar:

- Asfaltlar katranlara göre daha mukavemetlidir. Bunun sebebi katranların dağıtıcı fazını oluşturan hafif yağların kararlılığı az olduğundan, kohezyon ve elastik özellik zamanla yüzeysel tabakalarda zayıflamaktadır.
- Katranlar asfalta göre kimyasal etkilere karşı daha dayanıklıdır. Asfalta kıyasla ıslak agregaya oldukça iyi yapışırlar ve temizlenmeleri oldukça zordur. Soyulmaya karşı daha dayanıklıdır. Fakat sıcaklığa karşı daha hassas olup, yüksek sıcaklıklarda daha fazla şekil değiştirirler.
- Katranlar yaklaşık 1.16- 1.22 g/cm³ özgül ağırlığa sahiptir ve asfalta göre özgül ağırlığı daha fazladır (Yalçınkaya,2019).

1.5. Stabilizasyon Çeşitleri

1.5.1. Mekanik Stabilizasyonlar

Winterkorn ve Fang' e (1975) göre mekanik (granüler) stabilizasyon, zayıf zeminlerin fiziksel ve mekanik özelliklerini iyileştirmek için iki ya da daha fazla farklı malzemenin uygun oranlarda karıştırılarak istenilen koşulları sağlayan bir zemin duruma dönüştürülmesidir. Böylece yük altında zeminin kalıcı deformasyon yapması önlenmektedir. Zeminin karıştırılması yolda, sabit veya hareketli bir plentte ya da malzeme ocağında yapılır ve karışım yola serilerek klasik yöntemlerle kontrollü bir şekilde sıkıştırılır.

Mekanik stabilizasyon ile zeminin, gradasyonunun düzeltilmesi, LL veya PI indeksinin azaltılması, mukavemet ve durabilitenin artırılması, dren kabiliyetinin artırılması, uzun dönemli oturmaların artırılması ve don duyarlılığının azaltılması amaçlanmaktadır (Yeşilçiçek, 2016).

1.5.2. Kimyasal Stabilizasyonlar

Çalık'a (2012) göre mekanik stabilizasyon ile ıslah edilemeyen zeminlere çeşitli katkı malzemeleri (kireç, çimento, uçucu kül, bitüm vb.) karıştırılarak yapılan zemin iyileştirme işlemine kimyasal stabilizasyon denir. Bu stabilizasyon dayanımı arttırmak, geçirimsizliği azaltmak, hacim değişimi en aza indirmek gibi amaçlarla yapılmaktadır. Kimyasal stabilizasyonda; stabilizör seçiminde, zemin türü, stabilizasyonun hedefi (kaplama kalınlığının azalması, stabilite artışı vb.), zeminin hangi özelliğinin iyileştirileceği, maliyet ve malzeme temin etme kolaylığı gibi hususların göz önünde bulundurulması gerekmektedir (Yeşilçiçek, 2016).

1.5.3. Kireç Stabilizasyonu

Özaydın'a (2012) göre kireç eskiden beri kullanılan stabilizasyon malzemelerinden biridir. Buna örnek olarak Babil, Çin, Mısır, Pers ve Hititler tarafından yapılan yapılarda, Romalılar döneminde su içi inşaatlarda, kireç yol yapımında kireç kullanılmıştır. Roma civarlarında Pozzuolini'de çıkarılan volkanik kül ile kireç karıştırılıp reaksiyona girerek dayanımının arttığı da bilinmektedir.

Sönmüş kireç ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) kireçle zemin stabilizasyonunda kullanılmaktadır. Sönmemiş kireç (CaO) stabilizasyonda sönmüş kirece göre daha iyi olmasına rağmen, tehlikeli ve yakıcı olduğundan genellikle kullanılmaz. Genellikle zemin stabilizasyonunda zemin kuru ağırlığının yaklaşık %3- %10'u kadar kireç kullanılır (Ghabaee, 2015). Zemin türüne göre stabilizasyonda kullanılan kireç miktarı Tablo 1.1 de gösterilmektedir.

Tablo 1.1. Zemin türüne göre stabilizasyonda kullanılan kireç oranları (Tunç, 2002)

Zemin türü	Zeminin kuru ağırlıkça yüzdesi olarak
İyi derecelenmiş çakıl	3
Kumlu kil	5
Kumlar	Önerilmiyor
Siltli kil	2-4
Plastik kil	3-8
Yüksek plastisiteli kil	3-10
Organik zeminler	Önerilmiyor

Özaydın'a (2012) göre genel olarak, kireç stabilizasyonu elastisite modülünü, zeminin dayanımının artmasını, şişme basınçlarının ve şişme potansiyelinin azalmasını, çevre şartlarında zeminin dayanıklılığının artmasını ve zeminin kolay bozulmasını güçleştirmeyi sağlamaktadır. Bunun yanında kireç plastisitenin azalmasına sebep olduğundan arazi çalışma şartlarının iyileşmesine sebep olmaktadır. Kil zeminlerle yapılan dolgularda yol yapılarında yaygın olarak kullanılmaktadır (Ghabae, 2015).

1.5.4. Uçucu Kül Stabilizasyonu

Taşçı'ya (2011) göre silisyum, alüminyum, alkaliler ve çeşitli oksitler içeren puzolanik malzemeye uçucu kül adı verilir. Puzolan malzeme, kohezyon özelliği olmayan ya da çok az olan, yalnız kireç ve suyla birlikte kimyasal tepkimeye girdiklerinde bağlayıcılık özelliği kazanan malzemelere denir. Bağlayıcı özelliği olan uçucu kül, kil ve kireç arasındaki puzolanik tepkimeyi artırmak ve böylece zeminin tane çapını arttırmak amacıyla zemine eklenir. Uçucu küllerin bazılarının yapısında uçucu küller vardır ve bunlar normal uçucu küllerle karıştırılıp daha verimli sonuçlar gözlenebilir.

Ferguson (1993), yaptığı deneyde altı farklı zemine uçucu kül ilavesinin zeminin şişme potansiyelini azalttığı sonucunu gözlemlemiştir. Şişme potansiyeli yaklaşık %14 olan kil

zemine %16 uçucu kül ilavesiyle şişme potansiyeli %0.8 değerine kadar azaldığını gözlemlemiştir.

Kashyap ve Nicholson (1993), tropikal Hawaii kiline (yüksek şişme potansiyeli olan kil) kireç ve uçucu kül ile stabilize ederek şişme potansiyelinde azalma, sıkışma özelliklerinde iyileşme, CBR değerinde bir artış olduğunu gözlemlemiştir.

Wasti (1990), Çatalağzı ve Soma Termik santrallerinden uçucu küller alınmıştır. Geoteknik uygulamalarında kullanılabilirliği araştırılmıştır santrallerden elde edilen uçucu küllerin geoteknik özelliklerine (indeks, sıkışabilirlik ve kayma mukavemeti) bakılmıştır. Uçucu küllerin yüksek plastisiteli killerin stabilizasyonunda ve toprak dolgu malzemesinin yerine kullanılabileceği sonucuna ulaşılmıştır (Ünver, 2015).

1.5.5. Çimento Stabilizasyonu

Killi ve kumlu zeminlerin iyileştirilmesinde kullanılabilir. Toz haline getirilmiş zemine çimento ilave edilip karıştırılarak çimento stabilizasyonu gerçekleştirilmektedir. Bu yöntem gevşek ve akışkan olmayan, nem ve yoğunluk olarak zeminin tüm yüzeyinde benzerlik gösteren zeminlerde uygulanmakta ve daha etkili olmaktadır. Çimento eklenmesi zeminin likit limitini azalır, plastik limit ve işlenebilirlik artar. Killi zeminlerde likit limit %45-50'den az ise ve plastisite indisi %25'den az ise bu teknik çok etkindir. Çimento kireçte olduğu gibi mukavemeti artırır ve bu artış kür süresi ile artar.

Çimento ile iyileştirmede dikkat edilmesi gereken hususlar:

1) Zemin yüzeyi çimento stabilizasyonunun uygulanması için yumuşak ve uygun hale getirilmelidir. Çimento, uygulama alanında depoya yerleştirilerek nemden korunmalıdır.

2) Çimento stabilizasyonuna başlamadan önce zemin incelenmelidir. Gevşek ya da çimento stabilizasyonuna uygun olmayan zemin kazılarak atılmalı veya bazı yerlerinin ıslatılması, bazı yerlerinin kurutulması, zeminin yüzeyinin karıştırılması vb. işlemlerle zemin her yerde aynı yoğunlukta olmalıdır.

3) Zemin ile çimento su ile karıştırılmadan önce kuru şekilde karıştırılmalıdır. Kuru şekilde karışım yapıldıktan hemen sonra hızla su ile karıştırma işlemine geçilmelidir. Su ile karışımın hemen ardından sıkıştırma işlemi yapılmalıdır.

4) Yayılma yolu ile zemin üzerine serilen çimentonun aynı gün içinde karıştırma ve sıkıştırma işlemlerinin tamamlanması gerekmektedir. Çimentonun zemine serilme işleminde rüzgâr ile istenmeyen yönde yayılması minimumda tutulmalıdır (Kılıç, 2008).

1.5.6. Bitümlü Stabilizasyon

Purushothamaya (2013) göre zemin stabilizasyonu için farklı formlarda bitüm kullanılabilir (asfalt çimentosu, katbek bitüm, emülsiyon bitüm, katran). Zemin stabilizasyonu için seçilebilen bitümün tipi ve derecesi, hava koşullarına ve yapının olduğu zemine bağlıdır. Su içeriği, asfaltın viskozitesi, asfalt içeriği, karışımın uygunluğu, havalandırma, sıkışma ve kür koşulları zemin stabilizasyonunu etkileyen en önemli parametrelerdir. Bitümün uygulanması zemin parçacıklarını suya daha dayanıklı hale getirir.

Agregaların ve bitümle stabilize zeminlerin tasarımı için kriterler, derece ve kararlılığı temel alır. Bitümün karıştırılabileceği her tür inorganik zemin bitüm stabilizasyonu için uygundur. Fakat plastik killer bitüm stabilizasyonu için karışım problemlerinden dolayı uygun değildir. Likit limit ve plastisite indisi genelde %18-%40 aralığında olmalıdır. Yüksek zemin plastisitesi ihtimaline karşı kirecin bir miktar eklenmesi gerekebilir. Organik maddelerin bulunması, çözünmemiş tuzlar ve yüksek pH değerli zeminler bitüm stabilizasyonunu olumsuz etkiler.

Genelde bitüm miktarının %4-%7 arasında olması gerekir. Kullanılan en uygun bitüm miktarından yüksek olursa sadece zemin-agrega parçacıkları arasındaki boşlukları doldurur. Bu da zayıf sıkıştırmaya neden olur, mukavemeti azaltır ve stabilize zeminin deformasyon davranışını olumsuz etkiler. Agregası ve zemin-agrega karışımı ihtimaline karşı bitüm içeriğini en uygun hale getirmek için genellikle bitümlü karışım tasarımı yapılır.

Karışım tasarımı yapılırken göz önünde bulundurulması gereken hususlar:

- Mineral agregalar arasındaki boşluk, asfalt ile doldurulmuş boşluklar, bitüm hacmi ve karışımındaki hava boşlukları gibi hacimsel hususlar,
- Kararlılık, birim ağırlık ve akış gibi fiziksel düşünceler,
- İşlenebilirlik, kayma direnci, dayanıklılık, esneklik şeklindedir.

Karıştırma, havalandırma ve kür sırasında kaybolacak seyrelticilerin miktarını telafi etmek için katbek asfalt miktarları arttırılmalıdır (Anjan, 2019).

1.5.7. Kimyasallar ile Sentetik Malzemelerin Stabilizasyonu

Purushothamaya (2013) göre zemin stabilizasyonu için kalsiyum klorür, sodyum klorür, sodyum karbonat, kalsiyum karbonat, hidroflorik asit, sodyum silikat, fosforik asitler ve benzeri gibi farklı kimyasallarda kullanılır. Alüminyum ve demir tuzları genellikle

alüminyum ve demiri gözenek boşluklarına çöktürmek için kullanılır ve zeminin mukavemetini artırır. Ayrıca hidroskopik ve nem alabilen kalsiyum klorür gibi tuzlar suyun buhar basıncını azaltır. Tuzlar, gözenek suyunun donma noktasını düşürür ve bu nedenle soğuk bölgelerde don oluşumunun olumsuz etkilerini kontrol etmede çok yardımcı olabilir. Alkil klorosilanlar , silikonatlar ,aminler ve kuaterner amonyum gibi su geçirmez kimyasallar , suyun zeminlere zararlı saldırısını önlemek veya azaltmak için kullanılabilir. (Anjan,2019).

1.6. Bitümlü Stabilizasyon Çeşitleri

1.6.1. Kum-Bitüm Stabilizasyonları

Kum kohezyonsuz malzemedir ve yatay kuvvetlere düşük mukavemetlidir. Kum içerisinde bağlayıcı vazifesi görmek ve kohezyon etkisini sağlamak üzere bitümlü malzeme katılıp yatay kuvvetlere karşı daha mukavim hale gelebilir. Bu tip stabilizasyona kum-bitüm stabilizasyonu denir.

Kumlu malzemelerin, kum taneleri arasındaki içsel sürtünmeden dolayı bir mukavemeti vardır. Kum taneleri arasında ince bir bitüm bulunması halinde kum taneleri birbirine kenetlenmiş duruma gelir. Fakat taneler arasında bitüm kalın olursa taneler arasındaki içsel sürtünme kuvveti kaybolabilir. Bundan dolayı bitümün fazla kullanılması zararlıdır.

Optimum bitümle yapılacak stabilizasyon en yüksek mukavemeti sağlar. Kum bitüm stabilizasyonunda kullanılan bitümün esas fonksiyonu lüzumlu kohezyon kuvvetini sağlamak olup burada su geçirmezlik fonksiyonu önemli değildir.

1.6.1.1. Kum-Bitüm Stabilizasyonunda Malzemelerde Aranacak Özellik

Kum-bitüm stabilizasyonunda kullanılan kumlar:

- nehir kumu
- plaj kumu
- kum-çakıl ocaklarından çıkarılan kumlar olabilir. Ancak bu kumlarda fazla miktarda kil toprakları veya bitkisel madde olmaması lazımdır.

Kullanılacak bitümlü malzeme cinsi kullanılacak temel tabakasından istenen mukavemet ve kaliteye bağlıdır.

Kullanılabilen bitümlü malzemeler:

- Asfalt Çimentosu: Bu tip stabilizasyonlar en yüksek kaliteli bitüm stabilizasyonlarını ortaya çıkarır.
- Katbek Asfaltlar: RC-1, RC-2 ,RC-3 dereceli katbek asfaltların kullanılması uygundur.
- Asfalt Emülsiyonları: En çok kullanılan ve en elverişli olan asfalt emülsiyonu SS-1 dir. Diğer tip emülsiyonlar çok çabuk ayrışma gösterdikleri için elverişli şekilde kullanılması zordur.
- Yol Katranları: RT-6 dan RT-10 a kadar dereceler kullanılmaktadır. Bunlardan hangisinin uygun olduğu iklim şartlarından bulunur.

1.6.1.2. Kum-Bitüm Stabilizasyonunda Kullanılabilen Katkılar

Kum stabilizasyonunda granülometrinin iyi olmaması veya yuvarlak üniform tanelerin varlığından dolayı stabilite değeri düşükse belli miktarda katkı maddesi eklenebilir.

Bu katkı maddesi olarak:

- Mineral filler olarak non-plastik kaya tozları, çimento, ince kum, buna benzer maddeler kullanılabilir.

Kum-bitüm stabilizasyonunda kum tanelerinin bitümle iyice sarılmasını sağlamak için katkı maddesi olarak:

- Sönmüş kireç kullanılabilir.

Islak kum içine %1-2 sönmüş kireç ilavesinden sonra %4 -10 katbek asfalt iyi netice verir. Bu metot yağışlı havada ya da ıslak kumda kullanılır.

1.6.2. Kum-Çakıl-Bitüm Stabilizasyonları

Bu gibi malzemelerle yapılan stabilizasyonlarda kullanılan bitümlü malzemeler iki şekilde tesir eder:

- Bağlayıcı rolü oynarlar
- Kum-çakıl malzemelerinin su geçirmez hale gelmesine yardım ederler.

Kum-çakıl-bitüm stabilizasyonlarında az miktarda bitüm kullanılmalıdır. Çünkü kum-çakıl daneleri arasında yeterli bağlantı kurmayı sağlayacak bitüm miktarından fazlası yağlama tesiri göstererek stabilitenin azalmasına neden olur.

1.6.2.1. Kum-Çakıl-Bitüm Stabilizasyonunda Malzemelerde Aranılan Özellikler

Kum-Çakıl: İyi granülometrilik malzeme kullanılması yüksek mukavemetli karışım elde edilmesi bakımından önemlidir. Karışım içinde belli miktarda ince malzeme bulunması boşluksuz bir granülometri sağlaması bakımından önemlidir.

Bitümlü malzeme olarak:

- Çoğu kez likit haldeki bitümlü malzemeler
- Çabuk Kuruyan Katbekler: RC-1, RC-2, RC3
- Emülsiyon Asfaltları (En fazla kullanılan SS-1 dir)
- Yol Katranları: RT-4, RT-5, RT-6 kullanılabilir (Maden, 1965).

1.7. Lifler Hakkında Bilgi

Doğal kaynaklar ile elde edilen veya insan eliyle üretilen, bükülebilirliği, uzunluğu, dayanıklılığı ve esnekliği olan maddeye lif denir. Uygulamada kullanılan yapay ve doğal lifler vardır. Doğal lifler mineral, hayvan, bitki gibi kaynaklardan elde edilen, elde edildiği şekliyle doğrudan kullanılabilen maddelere denir. Yapay lifler ise özel olarak, insan aracılığıyla üretilen belirli özellikleri taşıyacak biçimde yapılan ve geliştirilen malzemelerdir (Acun, 2000).

Elastisite modülleri ve dayanımları genellikle aynı malzemenin büyük hacimli şekline göre çok büyük olan lifler malzemelerin en geliştirilmiş halidir. Doğada lif şeklinde bulunan birçok malzemeler vardır. Lifler insanlar aracılığıyla uzun zamandır kullanılmaktadır. Kil hamuruna samanın veya bitkisel liflerin ilavesiyle kerpiç yapımında; kartonpiyer, alçı sıva uygulamalarında ise kenevir ve keten liflerinin, at kuyruğu, keçi kılı ve kıtık gibi hayvansal liflerin kullanıldığı bilinmektedir (Ersoy, 2001).

1.7.1. Lif Çeşitleri

Farklı kullanım alanları ve özellikleri bakımından birçok lif çeşiti vardır. Bu lifleri değişik şekillerde sınıflandırmak mümkündür. Liflerin genel olarak sınıflandırılması aşağıdaki gibidir (Bunsell, 1988):

- Doğal Lifler:
 1. Hayvansal Lifler
 2. Mineral lifler
 3. Bitkisel Lifler
- Sentetik Lifler:
 1. Metalik Lifler
 2. Seramik Lifler
 3. Polimer Lifler

Bunların dışındaki değişik türdeki liflere ait bazı özellikler Tablo 1.2 de gösterilmektedir.

Tablo 1.2. Değişik türdeki liflere ait özellikler (Biber, 2001)

Lif cinsi	Çekme dayanımı (MPa)	Elastisite modülü (10^3 , MPa)	Maksimum uzama (%)	Özgül ağırlık (gr/cm^3)
Akrilik	207-414	2.1	25-45	1.1
Asbestler	552-966	83-138	0,6	3,2
Pamuk	414-690	4.8	3-10	1,5
Cam	1035-3795	69	1,5-3,5	2,5
Naylon	759-828	4,1	16-20	1,1
Polyester	724-863	8.3	11-13	1,4
Polietilen	690	0,14-0,4	10	0,95
Polipropilen	552-759	3,5	25	0,90
Pamuk-Yün	414-621	6,9	10-25	1,5
Mineral yünü	483-759	69-117	0,6	2,7
Çelik	276-2760	200	0,5-35	7,8

1.7.1.2. Doğal Lifler

Dünya üzerinde kullanılan liflerden %61'i bitkisel, %34'ü kimyasal, %5'i hayvansal, kökenlidir. Bitkisel liflerden olan pamuk, lif üretiminin %54'ünü oluşturduğu için sanayide önemli bir yere sahiptir (M.E.B., 2011).

Doğal lifler insan sağlığı açısından olumlu özelliklere sahiptir. Bu yüzden doğal liflere yapay liflere oranla daha çok ihtiyaç duyulmaktadır. Bu lifler üç grupta incelenir:

- Hayvansal
- Bitkisel
- Mineral lifler

1.7.1.2.1. Bitkisel Lifler

Bakım ve sağlık şartları bitkisel liflerde diğer liflere oranla daha kolaydır. Bu yüzden bitkisel lifler kullanım alanları en geniş doğal liflerdir. Bunlar:

- Pamuk: 1-2m boyunda, bir yıllık ömrü olan bir bitkidir.
Lif uzunluğu; 26-38mm arasında olup ve biraz fazla olabilir.
- Jüt: Lif hücreleri jütün gövdesinde demetler halinde bulunur ve lif boyları yaklaşık 18-25cm'dir.
- Rami: Bitki gövdesinde, kabuk kısmının hemen altında lif hücreleri bulunur.
- Keten: Bir yıllık ömrü olan keten bitkisinin saplarından elde edilir.
Lif demetlerinin uzunluğu 30-90 cm iken tek lif uzunluğu 2-4 cm. arasındadır.

1.7.1.2.2. Hayvansal Lifler

Hayvansal lifler hayvanlardan elde edilir bunlar:

- İpek: Doğal lifler arasında önemli bir yere sahiptir. Doğal ipek ipekböceğinden elde edilir.
- Yün: Koyunların vücutlarını örten kıvrıkcık ve yumuşak liflere yün denir.
- Alpaka: Alpaka isimli deve türünden kırıkm yoluyla elde edilen liflerdir.

1.7.1.2.3. Mineral Lifler

Doğal(organik) olmayan maddelerden elde edilen liflere mineral lifler denir. İnce tel şekline getirilebilen madensel maddelere, çeşitli kimyasal işlemler uygulanarak elde edilir. En önemli olanları:

- Kaya Lifleri:

Yok edilemeyen, söndürülemeyen anlamına gelir. Asbest lifi bazen boyuna bazen de enine olarak kayaların arasında damar şeklinde bulunur. Kayada damar şeklinde bulunan lifi kayadan ayırmak için gerekli işlemlerden geçirilmesi gerekir ve bu işlemlerden geçtikten sonra elde edilir. Özel değirmenlerde öğütülür. Toprak, taş gibi yabancı maddelerden arındırılır.

Esnekliği az dayanıklılığı fazladır. Yumuşak tutumlu olması dokunulduğunda yayılmış gibi bir his uyandırır, yüzeyleri pürüzsüz olup 1150-1500 °C’ de eriyebilir. Asbestin en önemli özelliği ateşe ve asitlere karşı dayanıklı olmasıdır. Asbest kansere sebep olduğundan, cilde direkt temas eden malzemelerde artık kullanılmamaktadır.

- Cam Lifleri:

Barbero’a (1999) göre cam lifleri korozyona dayanıklılık, sertlik ve diğer malzemelerle fazla reaksiyona girmeme gibi tipik cam özelliklerini sergiler. Ayrıca, hafif, pahalı olmayan ve esnek bir malzemedir. Bu özelliklerden dolayı cam lifleri düşük maliyetli endüstriyel çalışmalarda en çok tercih edilen lif tipidir. Cam liflerinin lif yüzeyinde oluşan kusurların boyutça küçük ve sayıca az olmasının sebebi yüksek dayanıma sahip olmasındandır. Bütün cam liflerin elastisite modülleri benzer olmalarına rağmen, dayanım değerleri ve çevresel etkilere karşı dirençleri farklılık gösterir.

Chawlaya (1988) göre kimyasal direncin ve yüksek çekme dayanımının gerekli olmadığı çalışmalarda E tipi cam lifler kullanılır. Bu tür camlar; yüksek korozyon dayanımı, düşük fiyat ve iyi mekanik özelliklere sahip olduğundan yapısal desteklerde de tercih edilebilirler. Değişik türdeki cam liflere ait özellikler Tablo 1.3’te gösterilmektedir. Buna göre en yüksek dayanıma sahip camlar S türü ve S-2 türünde camlardır fakat E türü cama kıyasla 3-4 kat daha pahalı olduklarından dolayı kullanım alanları kısıtlıdır. Diğer cam lif türleri ve uygulama alanları şöyledir: korozyon dayanımı gerektiren uygulamalarda C türü, elektrik akımına karşı direncin yüksek olması nedeniyle seramik sigorta gibi elektrige dirençli malzemelerin üretilmesinde D türü, yüksek alkali dayanımı gerektiren uygulamalarda ise A türü ve AR türü cam kullanılabilir.

Tablo 1.3. Chawlaya (1988) göre değişik türdeki cam liflere ait özellikler (Kurt,2006)

Cam lifi tipi	Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	Çekme Dayanımı (GPa)	Elastisite Modülü (GPa)
E	2,54	1,7-3,5	69-72
S	2,48	2,0-4,5	85
C	2,48	1,7-2,8	70
CEM-FİL	2,70	-	80

1.7.1.3. Sentetik Lifler

1.7.1.3.1. Metalik Lifler

Chawlaya (1988) göre metaller çoğu alanda sıklıkla kullanılırlar. Bu kullanılan alanların en başında mühendislik uygulamaları gelir. Metaller, fiziksel ve mekanik özelliklerin mükemmel bir kombinasyonu olup uygun fiyatlarla elde edilebilirler. Metaller, plastik şekil değiştirebilme yeteneğine sahip olduğundan dolayı çok basit şekiller oluşturmanın yanında çok karmaşık formlar ve şekiller oluşturulabilmesine olanak sağlar. Metaller gaz borularında, uçak gövdesinde, büyük petrol borularında ve hatta günlük hayatta kullandığımız çoğu basit alette kullanılır. Lif şeklinde olan metaller uzun zamandır kullanılmaktadır. Bu metalik liflere ait özellikler Tablo 1.4'te gösterilmektedir.

Tablo 1.4. Chawlaya (1988) göre değişik türdeki metal liflere ait özellikler (Kurt, 2006)

Metal	Özgül ağırlık (gr/cm ³)	Ergime sıcaklığı (°C)	Elastisite modülü (GPa)	Çekme dayanımı (MPa)
Al	2,7	660	70	300
Be	1,8	1350	310	1100
Cu	8,9	1083	125	450
Mo	10,2	2625	330	2200
W	19,3	3410	350	2890(<250µm) 3150(<125µm) 3850(<25µm)
0,9 % Karbon çeliği (0.1 mm çapında)	7,9	1300	210	4000
Paslanmaz çelik (0,05 mm çapında)	7,8	1535	198	2400

1.7.1.3.2.Seramik Lifleri

Alagirusamy ve Das'a (2010) göre metalik olmayan inorganik malzemelerden olan seramiklerin yoğunlukları metallerinkinden düşük ama organik malzemelerinkinden daha yüksektir. Seramik lifler karbon ve cam lifin kullanıldığı yerlerde kullanım alanına sahiptirler. Seramik liflerin, organik ve diğer liflere göre çok farklı özelliği vardır. Bu farklı özelliklerden en önemli olanı ısıl kararlılığıdır. Seramik liflerin ısıl kararlılığı metal liflerden ve organik liflerden daha iyidir. Elastik modül ve dayanıklılık gibi yapısal özellikleri, oksitleyici ve inert ortamlarda bile 1200-1400°C'e kadar koruyabilir. Bazı seramik lifler mekanik yüklemesiz, erime noktalarına çok yakın sıcaklıklara kadar kararlılıklarını koruyabilirler. Seramik liflerin kalın çapı, düşük kopma uzaması ve yüksek elastik modülü, kullanımda bazı zorluklar meydana getirmekle birlikte; uygun kullanım ile üç ve iki boyutlu dokuma ve çapraz dokuma yapılar oluşturabilir. Ticari açıdan kesiksiz seramik lifleri oksit esaslı olmayan (alümina-silika, Al₂O₃-SiO₂) ve oksit esaslı (β-faz silikon karbit, SiC) olan seramik lifler şeklinde ikiye ayrılabilir (URL-1).

El Mogahzy'e (2009) göre çoğu seramik lifler, baz, derişik asit ve baz-metal davranışları dışında, mükemmel bir kimyasal kararlılığa sahiptirler. Bu kimyasal kararlılık,

oksit esaslı olmayan ve bazı oksit esaslı seramik lifleri için, oksidasyona karşı direnci de dahil edecek şekilde, yüksek sıcaklıklarda muhafaza edilebilir. 800°C'den önce kaplamasız seramik lifi okside olmaya başlar. Bu nedenle, bu durumdayken birçok kullanım için uygun değildir. Seramik lifleri, organik liflerle kıyaslandığında çok yüksek basınç mukavemetine ve elastisite modülüne sahip olduğundan dolayı yüksek sıcaklıklarda işlenebilmesine, kullanılabilmesine imkân tanımakta; seramik ve metal matriks esaslı kompozit malzemelerde mükemmel bir destek elemanı olarak kullanılabilmektedirler. Seramik liflerinin doğasında sertlik özelliğine sahiptir bu yüzden kumaş haline getirmek zordur ama ince seramik lifleriyle (yaklaşık 10 µm) bu engel büyük oranda aşılabilmektedir (URL-1).

1.7.1.3.3. Polimerik Lifler

Chawlaya göre (1998) polimer liflerin çok çeşitleri ve geniş uygulama alanları vardır. Polimer lifler sentetik ve doğal olmak üzere iki ana gruba ayrılır. Doğal lifler; sisal, pamuk ve Hint keneviri gibi bitkisel ya da deri, yün gibi hayvansaldır. Doğal lifler genellikle doğada polimer olarak bulunmasının yanında kimi doğal lifler kaya formasyonlarında da bulunabilirler. Bu lifler mineral halde olduğundan dolayı seramik olarak isimlendirilirler. Örneğin bu gruba bazalt ve asbest girer (Kurt,2006).

Chawlaya göre (1998) naylon, polipropilen, polietilen, perlon ve aramid sentetik polimerik lifler olarak gösterilebilir. Çimento esaslı malzemelerin desteklenmesinde polipropilen lifler kullanılabilir fakat liflerin kullanım oranları genelde çok düşüktür (%0,5-%10 arası). Beton ve harca lif eklenmesinin temel nedeni; lifin malzemenin darbe ve çekme dayanımını arttırması ayrıca çatlak oluşumundan sonra sünek bir yapıymış gibi gözükmesidir. Burada söylenen bazı polimerik liflere ait özellikler Tablo 1.5'te gösterilmiştir.

Tablo 1.5. Chawlaya göre (1998) değişik türdeki polimer liflere ait özellikler (Kurt, 2006)

Lif Tipleri	Etkili Çap (10 ⁻³ mm)	Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	Çekme Dayanımı (MPa)	Elastisite Modülü (GPa)	Nihai Uzama (%)
Akrilik	13-104	1,17	207-1000	14,6-196	7,5-50,0
Aramid I	12	1,44	3620	62	4,4
Aramid II	10	1,44	3620	117	2,5
Naylon		1,16	965	5,17	20,0
Polyester		1,34-1,39	896-1100	17,5	
Polietilen	25-1020	0,96	200-300	5,0	3,0
Polipropilen		0,90-0,91	310-760	3,5-4,9	15,0

1.7.2. Bitümle Kullanılan Lifler ve Davranışlarıyla İlgili Çalışmalar

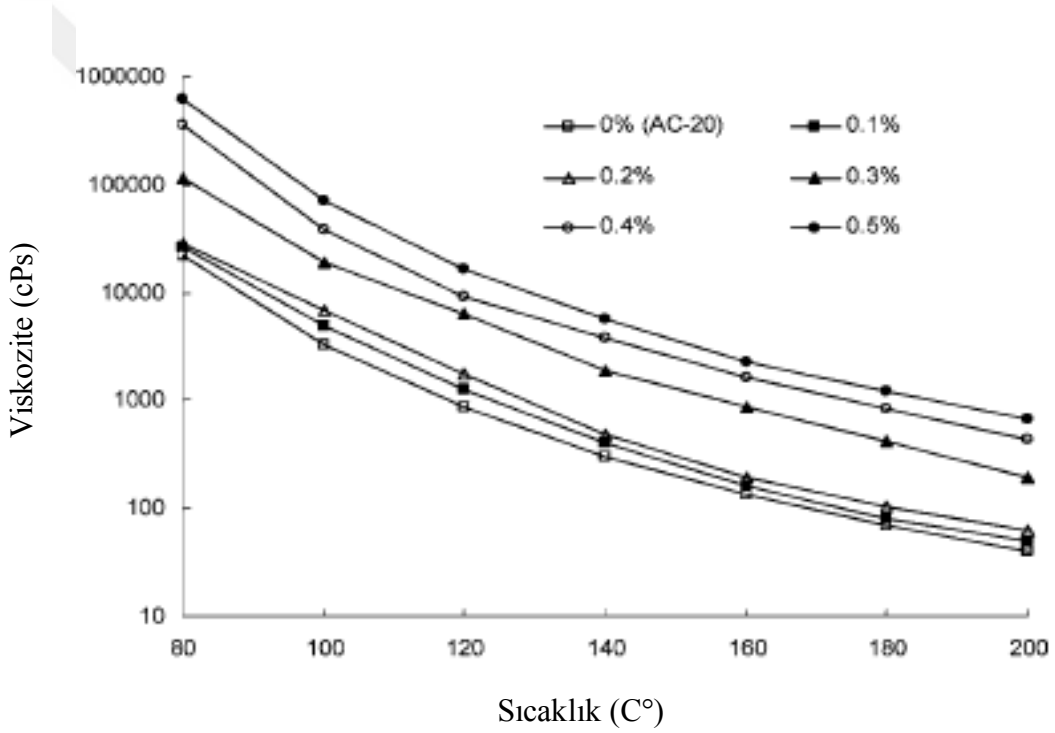
Geleneksel olarak hazır giyim ve ev eşyaları için kullanılan polipropilen son zamanlarda, yüksek çekme dayanımı nedeniyle yol yapımında uygulanmıştır. Poliester lifler 280°C erime noktasına sahiptir, bu nedenle yüksek karışım sıcaklıklarında bozulmadan kalırlar. Poliester lifler ve bitümle karışabilen liflere ait bazı özellikler Tablo 1.6'da gösterilmiştir.

Tablo 1.6. Lifler ve özellikleri (Chen ve Lin, 2005)

Lif	Kaynak	Özgül ağırlık	Uzunluk (µm)	Çap(µm)	Gerilme gücü(Mpa)	Özgül yüzey alanı(m ² /g)
Poliester-l	Polipropilen	1.18	12,000	90	330	0.07
Poliester-s	Polipropilen	1.18	6,000	90	330	0.08
Mineral	Bazalt	2.75	6,000	6	2	0.10
Organik	Selüloz	1.15	1,100	75	N.A.	1.50

Stuart ve Malmquist'e (1994) göre organik lifler, doğrudan ahşaptan elde edilen ince öğütülmüş selüloz içerikleri içerir. Hem mineral hem organik lifler asfaltta erken onarım için kullanılır (Chen ve Lin, 2005).

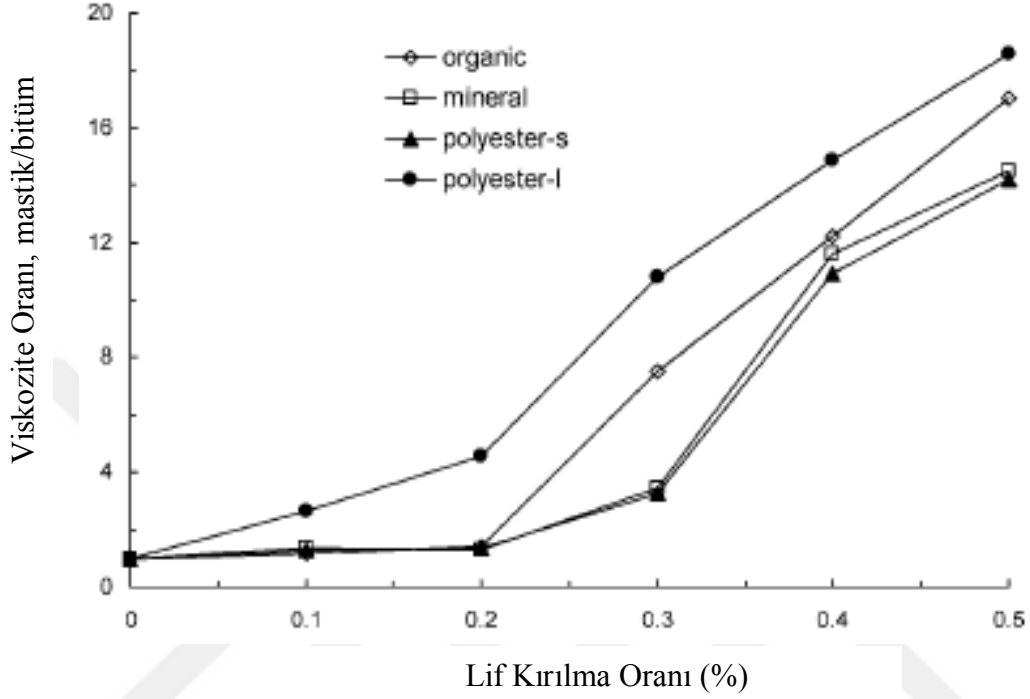
Organik lifler homojen ve küçük parçacıklar olarak etki ettiğinden, Şekil 1.1'de bitümle karıştırılmış organik liflerin viskozitesi görülmektedir. Buna göre viskozitede %0.1'lik bir sınırlı artış vardır. %0.3 lif konsantrasyonunda, viskozite beş ila sekiz kat artar çünkü organik lifler kendi arasında ağ yapısı oluşturmaya başlar. Lif içeriği %0.4'e yakın olduğunda, kendi arasındaki ağlar bitüm boyunca kesintisiz olarak yavaş yavaş etkileşime girer. Bu sonuçtan lif içeriği arttıkça viskozite arttığı gözlemlenmiştir.



Şekil 1.1. Bitümle karıştırılmış organik liflerin viskozitesi (Chen ve Lin, 2005)

4 lifin viskozite oranı Şekil 1.2'de gösterilmektedir. %0.4 konsantrasyonundaki mineral lif, viskozite oranında önemli bir artış gösterir. Bu yüzden, %0.3 organik liflerdeki ve %0.4 mineral liflerdeki konsantrasyonların istenen içerikte olduğu gözlemlenmiştir. Arzu edilen içerik için karşılık gelen viskozite oranı 8 ile 12 arasındadır, bu da 10 kat sertleştirme etkisinin bitümü güçlendirmek için yeterli olması gerektiğini gösterir. Bu güçlendirme kriterine göre, istenen polyester lif içeriği, kısa ve uzun lif için sırasıyla %0.4 ve %0.3 olarak

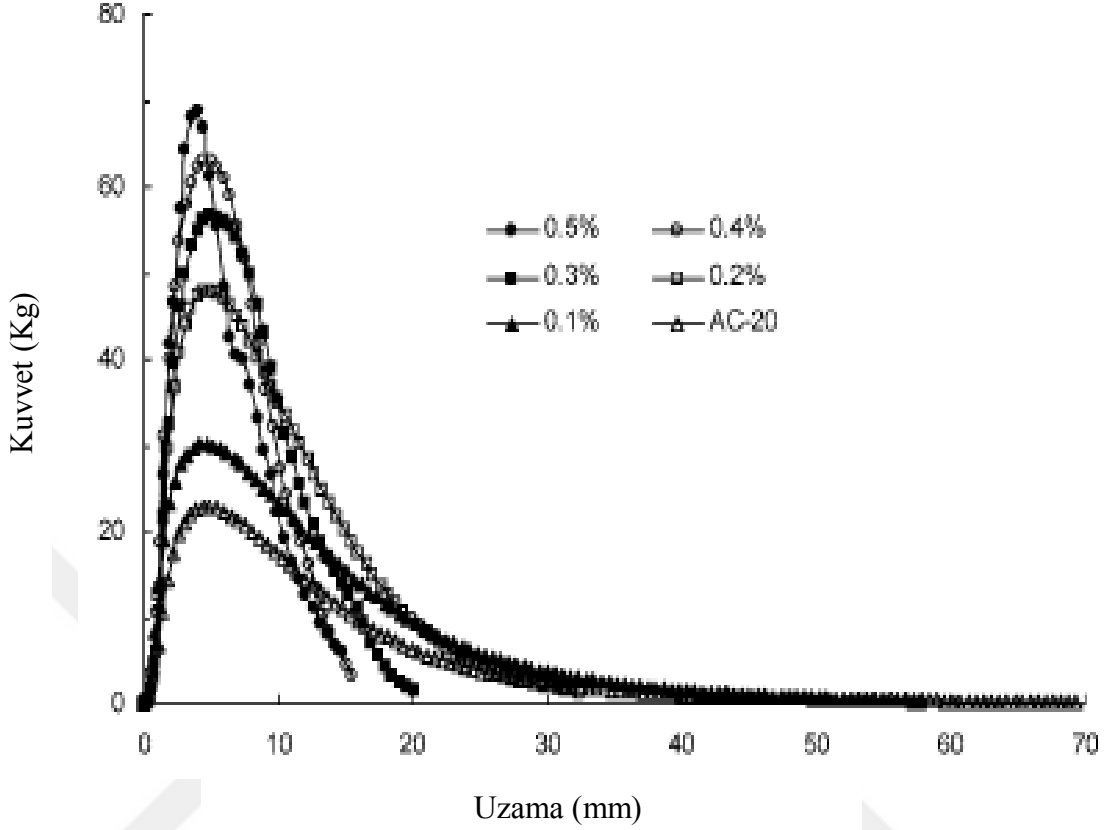
görülmektedir. Güçlendirme etkisi, uygun lif içeriği için dikkate alınması gereken faktörlerden biridir.



Şekil 1.2. Lif türüne bağlı viskozite-lif kırılma grafiği (Chen ve Lin, 2005)

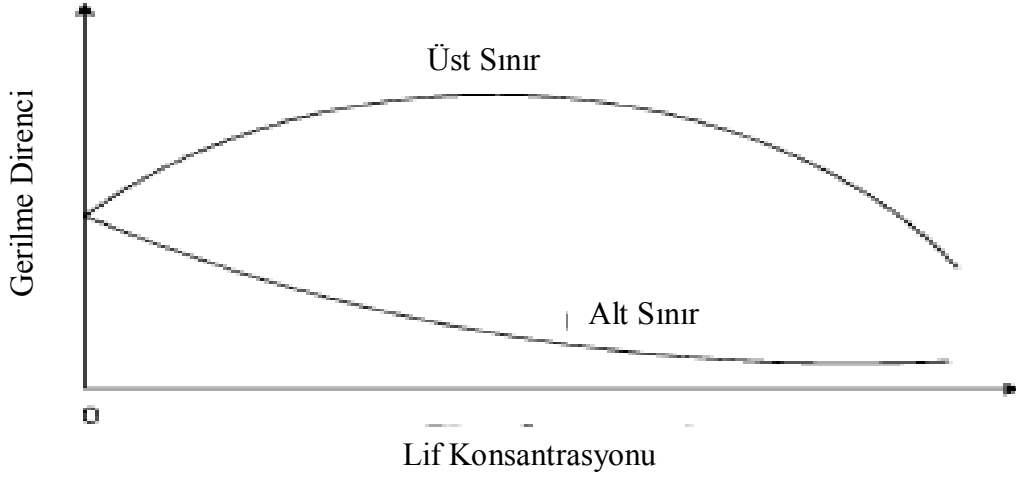
Viskozite oranının, özellikle yüksek konsantrasyonlarda, artan sıcaklıklarla arttığı gözlenir. Bu artış, sertleşme etkilerinin, düşük sıcaklıklardan daha yüksek sıcaklıklarda daha önemli olduğunu, bunun da bitüm gücüne faydalı olduğunu göstermektedir (Chen ve Lin, 2005).

Şekil 1.3'de 25 °C'de bitüm-mineral lif mastikler için lif oranının bir fonksiyonu olarak gerilme kuvvetinin değişimlerini göstermektedir. Mineral lif oranının artması gerilme kuvvetini etkili bir şekilde arttırdığı, kopmadaki uzamanın artan lif içeriğiyle azaldığı gözlenmiştir.



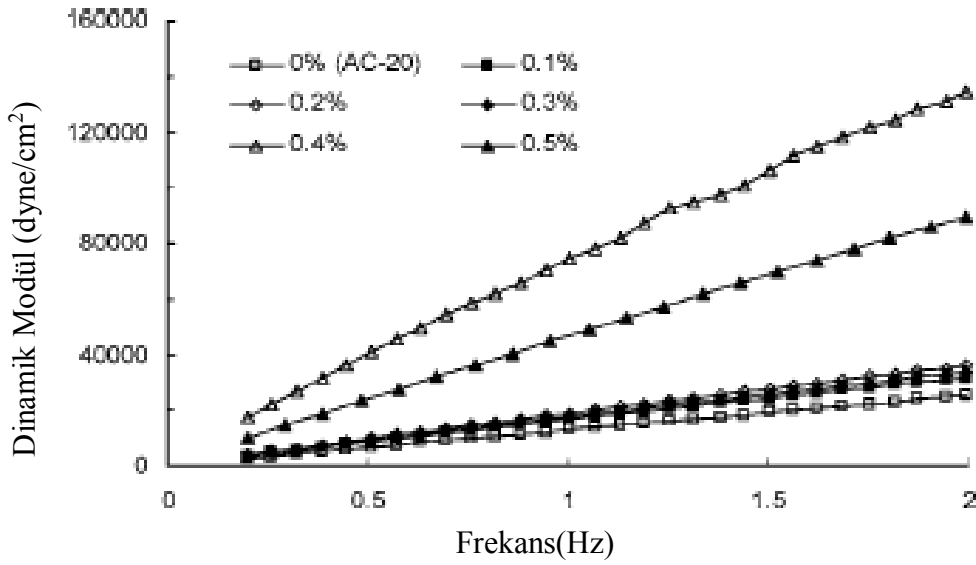
Şekil 1.3. Farklı konsantrasyonlarda bitümle karıştırılmış mineral lifler için gerilme kuvveti-uzama grafiği (Chen ve Lin, 2005)

Araştırmacılar, lif dolgulu kompozitleri çeşitli koşullar altında analiz ettiler ve lif dolgulu kompozitlerin gerilme direnci için iki genel sınır gözlemler. Bu sınır Şekil 1.4'te gösterildiği gibi, özetlenebilir. Üst sınır, matris ve lif arasındaki güçlü yapışmayı temsil ederken alt sınır, bu iki faz arasında zayıf yapışma olduğunu veya hiç yapışma olmadığını gösterir. Bu çalışmada, liflerin eklenmesi çekme mukavemetinde artışa neden olur. Lif miktarının artmasıyla gerilme direncindeki artış, bitüm ile lifler arasında iyi bir yapışma olduğunu gösterir. Bu iyi yapışma ile, bitüm bağlayıcılar yükleme sırasında lifleri bir arada tutabilir. Sonuç olarak, genel sistemin gerilme direnci artar.



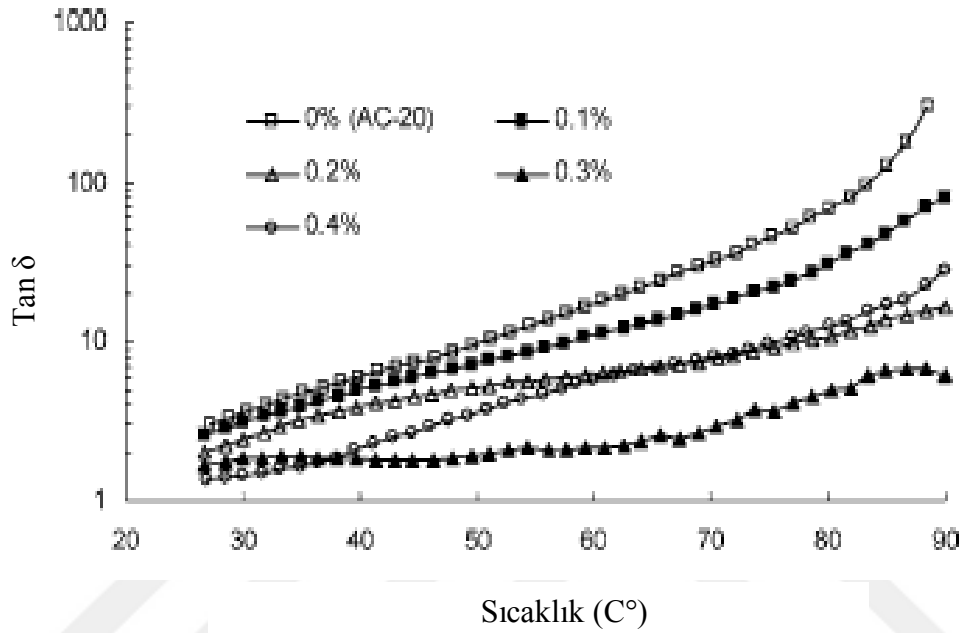
Şekil 1.4. Kompozitlerin çekme dayanımı üzerine liflerin etkisi (Chen ve Lin, 2005)

Bitümle karıştırılmış farklı mineral lif konsantrasyonları için dinamik modül (G) Şekil 1.5'te gösterilmektedir. Gerilme direncinin fazla olabilmesi için yüksek bir G ve düşük $\tan\delta$ değeri istenmektedir. G değeri ne kadar yüksekse karışım o kadar sert ve yüke karşı o kadar dirençlidir. $\tan\delta$ değeri ne kadar düşükse karışım o kadar elastiktir. Artan lif içeriği genellikle dinamik modülde bir artışa yol açar. %0.4'lük konsantrasyon seviyesinde, lif eklemek, Şekil 1.5'te gösterildiği gibi, G 'de belirgin bir artışa neden olur.



Şekil 1.5. 60 °C de mineral lifle karıştırılmış bitüm için birleşik modül eğrileri (Chen ve Lin, 2005)

Reolojik parametre, $\tan \delta$, bağlayıcı performansını tahmin etmek için anahtar unsurlardan biridir. Organik lifle güçlendirilmiş bitüm için $\tan \delta$ grafiği Şekil 1.6'da gösterilmektedir. $\tan \delta$ üzerindeki en önemli azalma, % 0.3 selüloz liflerinin eklenmesiyle meydana gelir. Bununla birlikte, % 0.3'ten fazla eklemek, $\tan \delta$ değerini düşürebilir fakat ekonomik olarak uygun olmayabilir.



Şekil 1.6. 1.59 Hz de bitümle karıştırılmış organik lifler için $\tan \delta$ – sıcaklık Grafiği (Chen ve Lin, 2005)

1.7.3. Bitüm, Cam Lif ve Lignin Karışımı ile İlgili Güncel Çalışmalar

Lignin polimerik malzeme çeşitlerinden biridir. Lignin bitüm ve asfaltın özelliklerini iyileştirmek için katkı maddesi olarak kullanılmıştır. 1993'te Sjostrom, lignini karmaşık bir yapıya sahip heterojen bir biyopolimer olarak adlandırdı; bu yapı, aril / alkil bağlantıları (fenil halkaları) olan kararlı karbon-karbon bağları içeren fenilpropanoid gruplardan oluşur. Başka bir tanımla, selüloz lignin dünyada en bol bulunan ve son derece karmaşık yapıya sahip doğal polimerdir. Taş mastik asfaltta (gözenekli asfalt) cam lif kullanımı yorulma direncini artırır. Bu araştırmada, %0,1, %0,2 ve %0,3 cam lif eklenerek dayanım ömrünü kontrol numunesine göre sırasıyla %28,2, %37,2 ve %44,4 arttırabilir (Taher vd., 2011). Çalışmada kullanılan lignin içeriği ve cam lifin fiziksel özellikleri sırası ile Tablo 1.7'de ve Tablo 1.8'de gösterilmiştir.

Tablo 1.7. Ligninin İçeriği (Zarai ve Janmohammadi, 2018)

En Son Ayrışmış Hali	Yumuşak Yünlü Lignin (%)
Karbon	62.17
Hidrojen	5.89
Nitrojen	0.15
Sülfür	0.06
Kül	0.62
Oksijen	31.11

Tablo 1.8. Cam Lifin Fiziksel Özellikleri (Zarai ve Janmohammadi, 2018)

Özellikler	Değer
Çap (mm)	0.01
Narinlik	2
Yoğunluk (g/cm ³)	2.44
Çekme Kuvveti (Mpa)	2310
Young Modülü (Gpa)	68.9
Erime Noktası (°C)	705

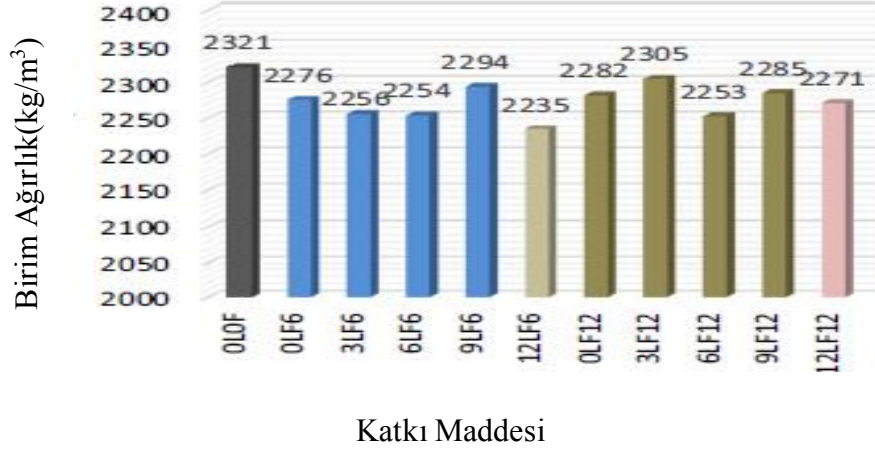
ASTM-D1559'a göre bitüm önce 155°C'ye ısıtıldı; daha sonra, bir elek gözünden (30 numara) geçirilen lignin tozu yavaş yavaş bitüme ilave edildi. Bitüm ve lignini iyice karıştırmak için istenen karışım, 5000 rpm hızında ve 30 dakika sabit bir sıcaklıkta dönen yüksek karıştırıcı ile karıştırılmalıdır. Çalışmada kullanılan karışımların adlandırılması Tablo 1.9'da gösterilmiştir.

Tablo 1.9. Asfalt karışımında cam lif ve lignin (Zarai ve Janmohammadi, 2018)

Birleşim İsmi	Açıklama
0L0F	Normal asfalt karışımı
0LF6	Bitüm ağırlığının %0.3'ü kadar cam lif karışımı (6mm)
3LF6	Bitüm ağırlığının %0.3'ü cam lif (6mm) ve %3'ü kadar lignin karışımı
6LF6	Bitüm ağırlığının %0.3'ü cam lif (6mm) ve %6'sı kadar lignin karışımı
9LF6	Bitüm ağırlığının %0.3'ü cam lif (6mm) ve %9'u kadar lignin karışımı
12LF6	Bitüm ağırlığının %0.3'ü cam lif (6mm) ve %12'si kadar lignin karışımı
0LF12	Bitüm ağırlığının %0.3'ü kadar cam lif karışımı (12mm)
3LF12	Bitüm ağırlığının %0.3'ü cam lif (12mm) ve %3'ü kadar lignin karışımı
6LF12	Bitüm ağırlığının %0.3'ü cam lif (12mm) ve %6'sı kadar lignin karışımı
9LF12	Bitüm ağırlığının %0.3'ü cam lif (12mm) ve %9'u kadar lignin karışımı
12LF12	Bitüm ağırlığının %0.3'ü cam lif (12mm) ve %12'si kadar lignin karışımı

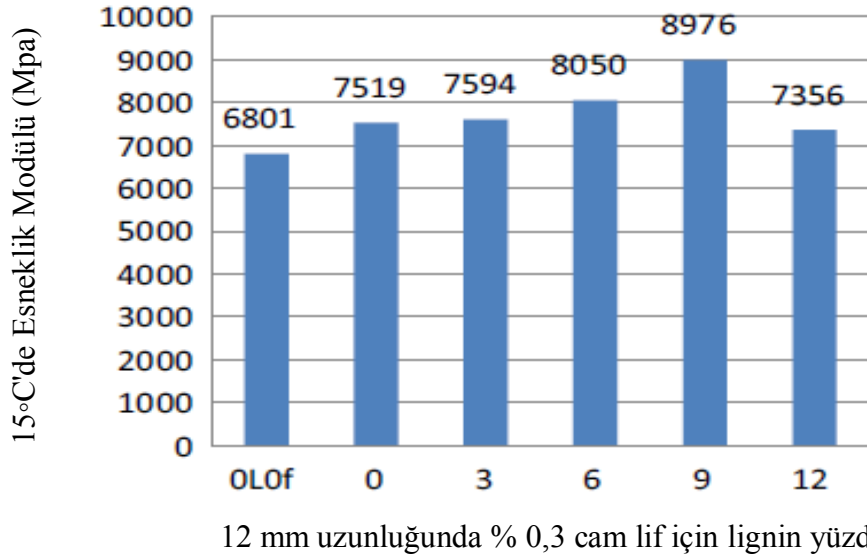
Lignin içeriği artırılarak bitümün viskozitesi ve yüksek sıcaklıklarda performansının arttığı gözlemlendi. Bu bitüm ve cam lifin kohezyonunu artırır ve uygun lif uzunluğunda asfalt karışımı daha uyumlu olmuştur (Zarai ve Janmohammadi, 2018).

Gözlemler, cam lifin asfalt karışımının özgül ağırlığında bir azalmaya neden olduğunu, böylece asfalt karışımının özgül ağırlığının, 6 mm'lik bir cam lifin %0.3'ünün asfalt karışımına eklenmesiyle % 1.9 azaldığını göstermiştir. Bununla birlikte, özgül ağırlık 9LF6 ve 3LF12 numunelerinde nispeten arttığından, bu numunelerin tümü için doğru değildir. Şekil 1.7'de gösterildiği gibi, 3LF12, 9LF6 ve 9LF12 karışımları en yüksek özgül ağırlığa sahiptir.

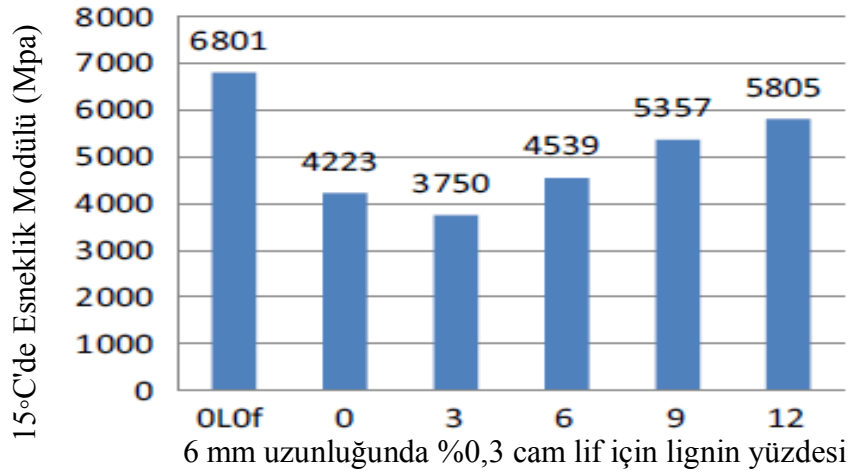


Şekil 1.7. Özgül ağırlığın farklı katkı yüzdeleri ile karşılaştırılması (Zarai ve Janmohammadi, 2018)

Zarai ve Janmohammadi'ye göre (2018) 12 mm uzunluğundaki lif ve lignin esneklik modülünü artırdığından, sonuçlar lif uzunluğunun kritik bir rol oynadığını göstermektedir. Doğru karışımı seçmek için bir sınır yoktur (12 mm için) Ayrıca, esneklik modülü, lignin etkisi durumunda ve 6 mm uzunluğundaki liflerde azalmıştır (Şekil 1.8 ve Şekil 1.9).



Şekil 1.8. 12 mm uzunluğunda % 0,3 cam lif ve farklı yüzdelerde lignin içeren karışımında 15 °C'de Mpa cinsinden esneklik modülünün sonuçları (Zarai ve Janmohammadi, 2018)



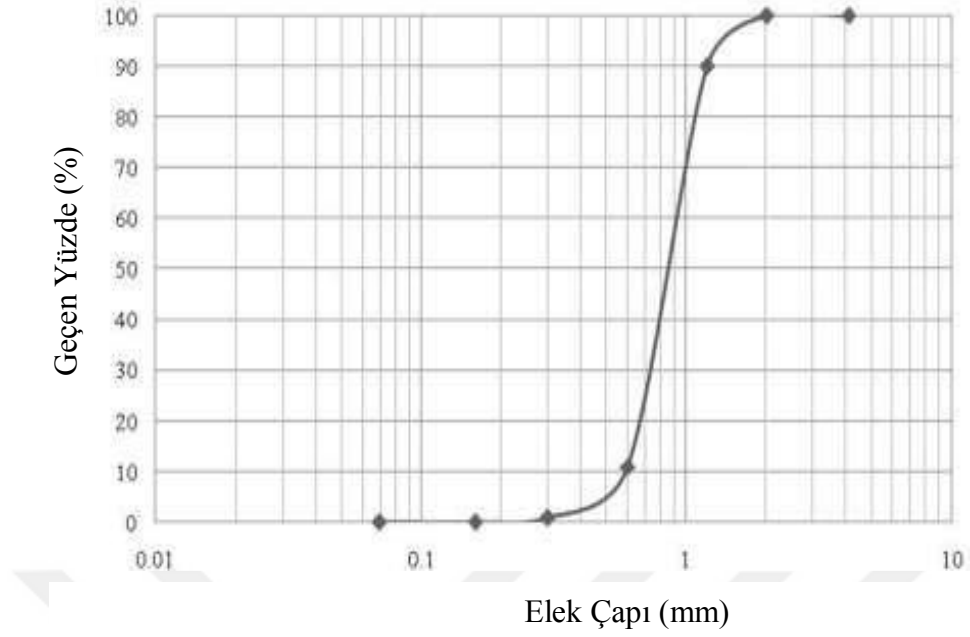
Şekil 1.9. 6 mm uzunluğunda %0,3 cam lif ve farklı yüzdelerde lignin içeren karışımda 15 °C'de Mpa cinsinden esneklik modülünün sonuçları (Zarai ve Janmohammadi, 2018)

1.7.4. Asfalta Sülfür-Uçucu Kül Katkı Maddelerinin Etkisi

Çalışma için kullanılan plaj kumu Hindistan'ın Kerala eyaletinin Trivandrum bölgesindeki Shankumugham plajından toplanmıştır. Bu kum çok incedir, gradasyonu Şekil 1.10'da gösterilmektedir. Mevcut incelemelerde kullanılan malzemelerin fiziksel özellikleri ise Tablo 1.10'da gösterilmektedir.

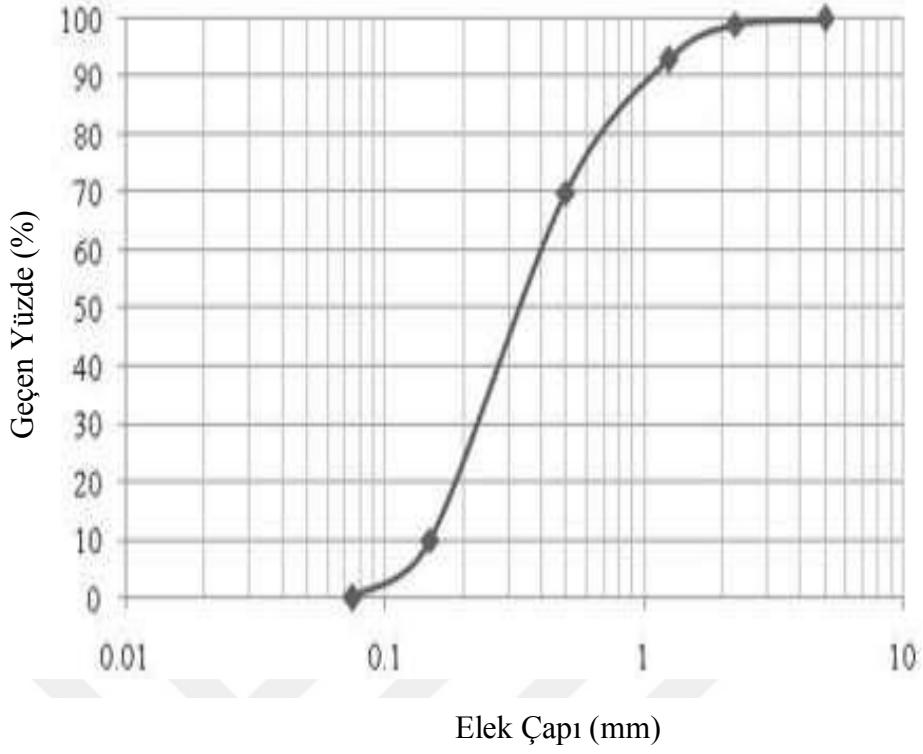
Tablo 1.10. Kullanılan Malzemelerin Fiziksel Özellikleri (Satyakumar ve Satheeshchandran, 2013)

Malzemeler	Fiziksel Özellikler	
Kum	Özgül Ağırlık	2.63
Asfalt	Sınıfı	60-70
	Özgül Ağırlığı	1.01
	Yumuşama Noktası	42°C
	Süneklik	96 cm
Sülfür	Özgül Ağırlığı	1.96
Uçucu Kül	Özgül Ağırlık	2.05
	Plastisite	Plastik Olmayan



Şekil 1.10. Kumun Tane Boyutu Dağılım Grafiği (Satyakumar ve Satheeshchandran, 2013)

Kumun, 300-600 mikron aralığında bir derecelendirmeye sahip, üniform olarak derecelendirildiği görülmüştür. Numunenin hazırlanmasında kullanılan dolgu malzemesi uçucu küldü. Çalışma için kullanılan uçucu külün tane boyutu dağılımı Şekil 1.11'de gösterilmektedir.



Şekil 1.11. Uçucu Külün Tane Boyutu Dağılım Grafiği (Satyakumar ve Satheeshchandran, 2013)

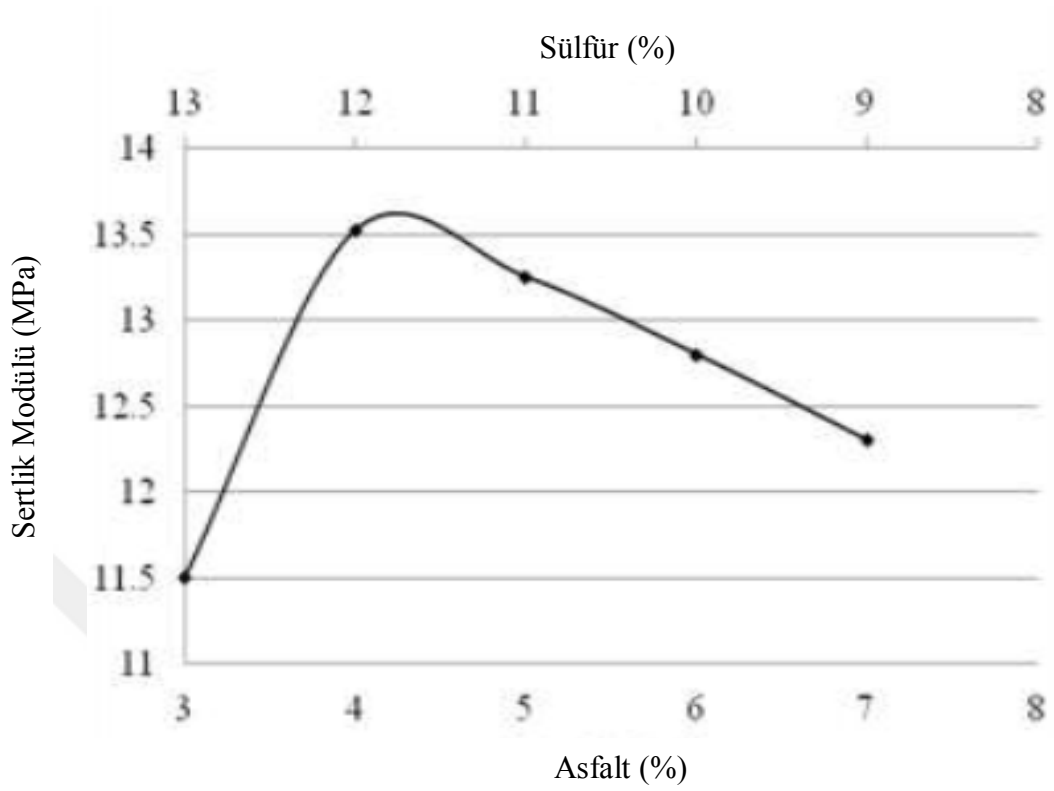
Bileşenlerin değişen oranlarının etkisini incelemek için, farklı yüzdelerde çeşitli içerik maddelerine sahip 1200 gramlık karışım dikkate alınmıştır. Sahil kumu ve uçucu kül oranını belirlemek için farklı deneme karışımları hazırlanmış ve test edilmiştir. Karışım hazırlığı için ise sahil kumu ve uçucu kül 150°C'ye kadar ısıtıldı, gerekli miktarda asfalt ve kükürt 140 °C'ye kadar ısıtıldı ve karıştırma sıcaklığı $160 \pm 2^\circ\text{C}$ tutularak ısıtılmış uçucu kül-kum karışımı ile iyice karıştırıldı. Daha sonra numune oda sıcaklığında soğumaya bırakıldı ve Marshall stabilite testi uygulandı. Elde edilen sonuçlar Tablo 1.11'de gösterilmiştir.

Tablo 1.11. Sülfür-Asfalt-Kum-Uçucu Kül Karışımının Marshall Özellikleri
(Satyakumar ve Satheeshchandran, 2013)

Kum (%)	Uçucu Kül (%)	Asfalt (%)	Sülfür (%)	Stabilite (KN)	Boşluk Oranı (%)	Akma Değeri (mm)	Özgül Ağırlık (KN/m ³)
42	42	3	13	7.5	10.5	3.80	15.50
42	42	4	12	14.2	16.2	2.90	15.46
42	42	5	11	12.1	15.8	3.12	15.50
42	42	6	10	11.5	14.6	2.40	15.63
42	42	7	9	10.2	11.6	3.90	15.62

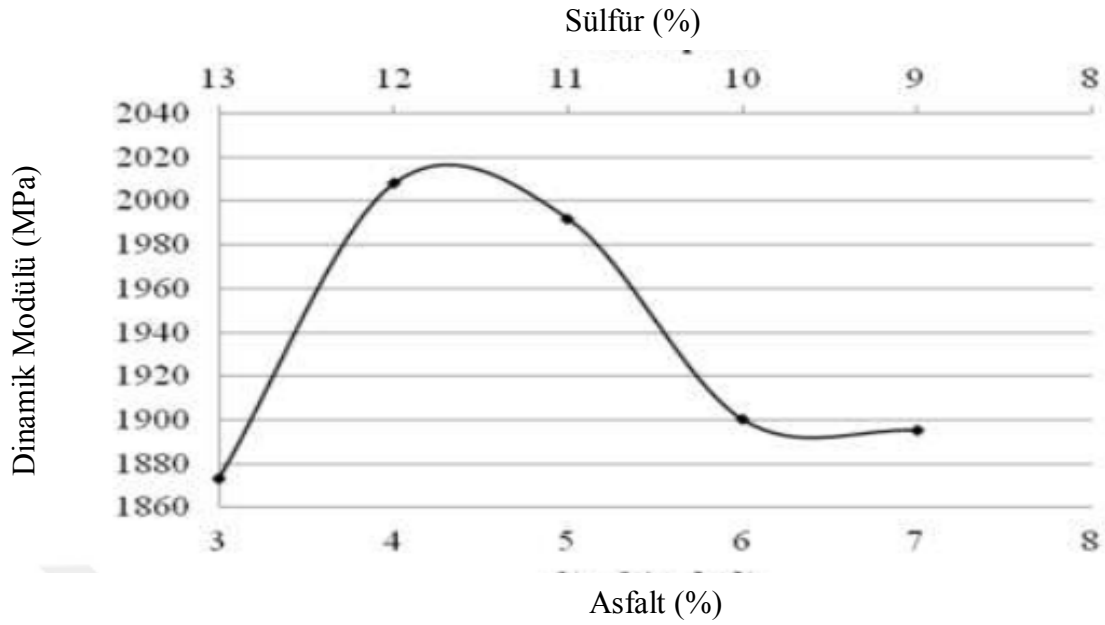
Bitümlü karışımlarda yüksek hava boşluğu olduğu düşünülür. Bu gibi durumlarda bitümlü karışım son derece geçirgen olur ve ayrışma eylemine daha duyarlı olur sonuç olarak dayanıklılığı azalır. Sülfür-Asfalt karışımlarında bu hava içeriği yüzde 10-30'a kadar çıkabilir (Satyakumar ve Satheeshchandran, 2013).

%4 asfalt ve %12 sülfür karışımında sertlik modülü en yüksek değerdedir. Karışımda ayrıca asfalt ve kükürtün eklenmesi veya azaltılması, sertlik modülünü önemli ölçüde azaltır (Şekil 1.12).



Şekil 1.12. Sertlik Modülü Test Sonuç Grafiği (Satyakumar ve Satheeshchandran, 2013)

0.25Mpa gerilme seviyesinde 25, 10, 5, 1, 0.5, ve 0.1 Hz'lik frekans uygulandı. 10 Hz'e karşılık gelen ortalama dinamik modül, dinamik modül olarak kabul edilir. Dinamik modül testinden elde edilen sonuçlar Şekil 1.13'te gösterilmiştir. Sonuç olarak %4 asfalt ve %12 sülfür karışımında dinamik modülü değeri en yüksek olarak bulunmuştur.



Şekil 1.13. Dinamik Modülü Test Sonuç Grafiği (Satyakumar ve Satheeshchandran, 2013)

Sonuç olarak:

- Sulfür-Kükürt-Asfalt-Uçucu Kül-Kum karışımı iyi bir yorulma ömrüne ve sertlik modülüne sahiptir.
- Sulfür-Kükürt-Asfalt-Uçucu Kül-Kum karışımındaki kükürt ve asfalt değişimi kum-uçucu kül-asfalt karışımlarının özelliklerini önemli ölçüde etkiler.
- Karışımında hiç sulfür olmasaydı daha düşük sağlamlıkla kum tanecikleri birbirine tutunurdu (Satyakumar ve Satheeshchandran, 2013).

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Yüksek Lisans çalışması kapsamında deneysel çalışmalar yapılmıştır. Deneysel çalışmalarda kullanılan materyallerin (kum, bitüm, polipropilen, selüloz, bazalt) dinamik ve geoteknik özellikleri, uygun oranlarda karıştırılması, numunelerin hazırlanması, numunelerin isimlendirilmesi, numuneler üzerine yapılan deneyler ve bunlara ait standartlar verilmiştir. Literatürde yapılan benzer araştırmalardaki metodoloji takip edilerek deneysel aşamaları belirlenmiştir. Bu çalışmada granüler malzemeler ile bağlayıcı ve farklı liflerin karıştırılıp tekrarlı basit kesme deneyi sonucunda dinamik özelliklerinin bulunması esasen amaçlanmıştır. İlk aşamada, kullanılan granüler malzemeler ve bağlayıcı olarak kullanılan bitüm bunun yanında numuneyi güçlendirmek için kullanılan selüloz, polipropilen ve bazalt lifleri tanıtılmıştır. Malzemelerin tanıtımından sonra bitümü lifler ile stabilize etme işlemi için farklı oranlarda lifler karıştırılmış ve farklı uzunlukta bazalt lifi kullanılmıştır ve uygun bir karıştırıcıda karıştırılmıştır. Daha sonra numunelerin tekrarlı basit kesme deneyi için nasıl hazırlanması gerektiğiyle ilgili bilgi verilmiştir.

2.1. Deneysel Çalışmalar

Deneysel çalışmaların büyük bir kısmı Karadeniz Teknik Üniversitesi Geoteknik ve Ulaştırma Laboratuvarında yapılmıştır. Çevrimsel basit kesme deneyleri ise Karayolları Genel Müdürlüğü, Araştırma Geliştirme Daire Başkanlığı, Zemin Mekaniği Laboratuvarında yapılmıştır. Deneyler ASTM standartlarına uygun olarak yürütülmüştür. Deneyler ve ilgili standartları toplu olarak Tablo 2.1’de görülmektedir.

Tablo 2.1. Deneyde referans alınan ASTM standartları

Deney Adı	Standart
Özgül ağırlık deneyi	ASTM D 854 (2010)
Elek analizi	ASTM D 422 (2007)
Maksimum kuru yoğunluk deneyi	ASTM D4253-16 (2016)
Standart Proktor deneyi	ASTM D 698 (2007)
Minimum kuru yoğunluk deneyi	ASTM D4254-00 (2000)
Çevrimsel Direkt Kesme Deneyi	ASTM D6528, ASTM D2435/T216

2.2. Malzemeler

2.2.1. Granüler Malzeme

Kum tez kapsamında dinamik özellikleri araştırılan karışımların granüler kısmını oluştururken, bağlayıcı olarak da bitüm kullanılmıştır. Ayrıca bu karışımı güçlendirmek için çeşitli lifler kullanılmıştır.

Kum; Trabzon İli, Ortahisar İlçesindeki bir ocaktan alınıp Karadeniz Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Geoteknik ve Ulaştırma Laboratuvarına getirilmiştir. Deney kumunun geoteknik özellikleri toplu olarak Tablo 2.2’de gösterilmiştir.

Tablo 2.2. Kumun geoteknik özellikleri

Özellik	Değer
Renk	Sarımtırak
Özgül Ağırlık	2.59
Minimum kuru yoğunluk	1.25
Maksimum kuru yoğunluk	1.75
Üniformluk Katsayısı	5.14
Kohezyon	7.69
İçsel sürtünme açısı	41.7

2.2.2. Lifler

Karışımların; çekme, eğilme ve özellikle çarpma dayanımları gibi mekanik dayanımlarının iyileştirilmesi, ayrıca gevrek kırılma özelliğinin kısmen giderilebilmesi amacıyla liflerle güçlendirilmesi yaygın bir uygulamadır (Ersoy, 2008). Dayanıklılığı, rijitliği ve sönümlenme kapasitesini arttırmak için selüloz lif, polipropilen lif ve bazalt lif kullanılmıştır.

Selüloz, doğada bitkiler tarafından sentez yoluyla oluşturulan organik ve suda çözünmeyen bir maddedir (Güler, 2008).

Sakura (1962) selüloz lifin elastisite modülü değerini yaklaşık olarak X-ışın difraksiyonuyla 140 GPa olarak bulmuştur. Böylece selüloz lif yoğunluk hesaba katıldığında düşük yoğunluğa sahip olduğundan cam veya çelik gibi mevcut mühendislik malzemeleriyle rekabet edebilir. Ayrıca mevcut stabilizasyon malzemeleriyle rekabet etmesini de sağlar (Denoyelle, 2011).

Çalışmada kullanılan, selüloz lif Koza Yönetim ve Servis A.Ş.'den temin edilmiştir. Selüloz lifin bazı özellikleri Tablo 2.3'te görülmektedir.

Tablo 2.3. Granül olarak sıkıştırılmış selüloz lifin teknik özellikleri (URL-2)

Özellik	Değer
Görünümü	Granül elyaf
Renk	Gri
Pelet Çapı	7 mm
Yoğunluk	450 g/l
Ortalama lif uzunluğu	2 mm
Isıl dayanımı	> 250 °C

Propilenin polimerizasyonu sonucu polipropilen (PP) lifleri elde edilirler ve kimyasal liflerin poliolefinler grubunda yer alırlar ayrıca polipropilen liflerinin yaklaşık özgül ağırlığı 0,90-0,95 gr/cm³ arasındadır. Birim hacim için en düşük ağırlıktaki liftir. Bu da lifin kullanım alanında maliyet açısından avantaj yaratır. Ayrıca kimyasal yapıları sebebiyle nem geri kazanımı düşüktür. Buna ek olarak liflerin kopma mukavemeti ve aşınma dayanımı iyidir.

Polipropilen liflerin erime ve yumuşama sıcaklıkları diğer kimyasal liflere göre nispeten düşüktür bu yüzden lifler 120°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda uzun süre kalırsa

mukavemet kaybı olur. Soğukta ise $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ye kadar mukavemet kaybı olmaz. Uzun süre sabit yük altında ise akma deformasyonuna uğrarlar.

Polipropilen liflerinin tüm organik çözücüler, asit ve alkali çözeltilerine karşı dayanımı oda sıcaklığında çok iyidir. Bununla birlikte sıcaklığın yükselmesi ile konsantre nitrik asit gibi yüksek oksidan maddelerden etkilenirler (Erdoğan,2008).

Çalışmada kullanılan, polipropilen lif Dost Kimya Tic. Ltd. Şti. 'den temin edilmiştir. Polipropilen lifin bazı özellikleri Tablo 2.4'te görülmektedir.

Tablo 2.4. Polipropilen lifin teknik özellikleri (URL-3)

Özellik	Değer
Saflık	%100 Polipropilen
Tip	Homopolimer
Görünüm	Doğal Beyaz
Standart	ASTM-C1116
Fiber uzunluğu	6.12mm
Çekme mukavemeti	350Mpa
Özgül yoğunluk	$0,91\text{g/cm}^3$
Ergime Noktası	$165-170\text{ }^{\circ}\text{C}$

Deneyde kullanılan polipropilen lifin şekli Şekil 2.1'de görülmektedir.



Şekil 2.1. Deneyde kullanılan polipropilen lif

Ludovico vd.'e (2010) göre bazalt volkanik bir kayaç türü olup yoğun, sert ve termoplastik bir malzemedir. Yoğunluğu yaklaşık 2,7- 2,8 g/cm³ aralığındadır. Brik vd. (1998) göre bazalt lifin elastisite modülü 80-90 GPa ve çekme dayanımı ise 3.0-4.8 GPa arasındadır.

Lee vd. (2002) göre bazalt liflerin çekme dayanımı cam liflerin çekme dayanımının yaklaşık olarak iki katıdır. Elastisite modülü ile kıyaslandığında ise yaklaşık %15-30 kadar daha fazladır. Bazalt lifli kompozitler korozyon riski söz konusu olduğunda çelik liflerin yerine kullanılabilir. Bazalt lifin çelik liflere göre diğer bir avantajı ise yaklaşık 1/3 oranında daha hafif olmasıdır. Brik (2003) göre bazalt lifin termal kararlılığı araştırıldığında, 600°C gibi yüksek sıcaklık etkisine maruz bırakıldığında yalnızca bazalt lifin dayanımını %90 oranında muhafaza ettiği ve hacim sabitliğini koruduğu belirlenmiştir.

Deb'e (2012) göre kimyasal etkilere maruz kalınması durumunda bazalt lif destekli kompozitler kullanılarak hizmet ömrünün uzatılabileceği, korozyon riskinin olduğu durumlarda diğer lifler yerine bazalt lifin kullanılabileceği belirtilmiştir.

Brik'e (2003) göre bazalt liflerin UV ve alkali direnci ile termal kararlılığının, cam ve karbon lifler ile kıyaslandığı deneysel çalışmada; karbon lifler, bazalt ve cam liflere göre alkalilere karşı iyi performans göstermiştir. Karbon lifler 4000 saat UV etkisine maruz kaldığında dayanımda neredeyse hiçbir kayıp gözlenmezken, cam liflerde ise dayanım kaybı bazalt liflerdekine yaklaşık iki katı olduğu tespit edilmiştir (Kızılkant vd.,2014).

Bu çalışmada kullanılan, bazalt lif Dost Kimya Tic. Ltd. Şti. 'den temin edilmiştir. Bazalt lifin bazı özellikleri Tablo 2.5'te görülmektedir.

Tablo 2.5. Bazalt lifin teknik özellikleri (URL-4)

Özellik	Değer
Çekme dayanımı	4840Mpa
Elastisite modülü	89Gpa
Uygulama sıcaklık limitleri	-260 C ° +982 C °
Ergime sıcaklığı	1450 C °
Özgül ağırlık	2.60-2.80 g/cc
Bazalt lif uzunluğu	24mm
Elyaf çapı	9-23 mikron

Bu çalışmada kullanılan bazalt lif aşağıda şekil 2.2'de gösterilmiştir. Bazalt lif tez kapsamında lif uzunluğunun sönümlenme kapasitesine ve kayma modülüne etkisini araştırmak maksadıyla 2mm,4mm ve 6mm olmak üzere kesilmiş ve kullanılmıştır.



Şekil 2.2. Deneyde kullanılan bazalt lif

2.2.3. Bağlayıcı Malzemeler

Bitüm, doğal ya da pirojenik kökenli hidrokarbonların bir karışımı veya bunların her ikisinin bir kombinasyonu olup yapıştırıcı (bağlayıcı) özelliği olan ve karbon disülfürde (C₂S) tamamen çözünen madde olarak tanımlanır. Farklı penetrasyon derecelerine sahip bitümler vardır. Kuvat (2019) yaptığı tez çalışması kapsamında 50/70, 70/100, 100/150 ve 160/220 olmak üzere 4 farklı penetrasyona sahip bitüm kullanılmıştır. 4 farklı penetrasyona sahip bitüm, 3 farklı içerikte (kum ağırlığının %6, 8 ve %10'u) karıştırılarak bitümlü kum numuneleri hazırlamıştır. Bitüm penetrasyonuna bağlı elde edilen sonuçlara göre bitüm penetrasyonunun artmasının sönüm oranını arttırdığını gözlemlemiştir. Buna dayanarak tez çalışması kapsamında 160/220 penetrasyona sahip bitüm kullanılmıştır.

Penetrasyon, standart bir iğnenin belirli bir yük altında ve belirli bir süre içinde, asfalt numunesi içerisine düşey olarak batma derinliğinin 0,1 mm cinsinden değeridir. Penetrasyonun birimi santimetrenin yüzde biridir. Deney sonunda okunan değer 100 ise, asfaltın penetrasyonu 100 demektir; iğne asfaltın içerisine 1 cm batmış anlamına gelir. Penetrasyon değeri kıvamlilikle ters orantılıdır, penetrasyon yükseldikçe asfalt yumuşar (Eren, 2008).

Tez çalışmamda kullanılan bitüm Türkiye Petrol Rafineleri Anonim Şirketi (TÜPRAŞ) İzmit rafinerisinden temin edilmiştir. Deneyde kullanılan bitümün özellikleri Tablo 2.6'da gösterilmiştir.

Tablo 2.6. Deneyde kullanılan bitümün özellikleri (URL5, 6, 7 ve 8)

Özellik	Değer
Bitüm Penetrasyonu (x0.1 mm) (TS EN 1426)	160/220
Yumuşama Noktası (TS EN 1427)	35-43
Kütle değişimi (ısıtmadaki kayıp) (%) (TS EN 12607-1 veya 2)	1.0
Kalıcı penetrasyon (%) (TS EN 1426)	37
Sertleşmeden sonra yumuşama noktası (TS EN 1427)	37
Parlama Noktası (TS EN ISO 2592)	220
Çözünürlük (% ağırlık) (TS EN 12592)	99
Yumuşama noktası yükselmesi (TS EN 1427)	11

2.3. Tekrarlı Basit Kesme Deneyi İçin Numunelerinin Hazırlanması

Çevrimsel basit kesme deneyi kapsamında bitümün ve liflerin sönüme ve dayanıma etkisini belirlemek amacıyla 3 farklı lif (polipropilen lif, selüloz lif ve bazalt lif) 3 farklı içerikte (bitüm ağırlığının %1, %3 ve %5 i) bitümle karıştırılmış ve silindirik metal teneke kutusunda muhafaza edilip tekrar kullanılmak üzere Şekil 2.3'teki gibi konulmuştur.



Şekil 2.3. Bitüm-lif karışımının silindirik metal teneke kutusuna konulmasından sonra tekrar kullanımı

Lif boyunun sönümlenmeye ve dayanıklılığa etkisini belirlemek için bazalt lifi 3 farklı uzunlukta (2mm, 4mm ve 6mm) kullanılmıştır.

Bitüm ve lifler Jeotest marka bitüm karıştırma mikserinde 160 C ° sabit sıcaklıkta yaklaşık 1 saat (homojen karışım olana kadar) 480 dev/dk hızında karıştırılmıştır ve silindirik metal teneke kutularında muhafaza edilmiştir (Şekil 2.4).



Şekil 2.4. Bitüm karıştırma mikseri

Hazırlanan lifli bitüm karışımı 3 farklı miktarda (kum ağırlığının %8, %10 ve %12'si) kumla karıştırılıp numuneler hazırlanmıştır. Bundan önce gerekli miktarda kum ve lifli bitüm etüvde 160 C ° de ısıtılıp karıştırılmak için hazır hale getirilmiştir. Daha sonra gerekli miktarda kum ile karıştırılmıştır (Şekil 2.5).



Şekil 2.5. Lifli bitüme uygun miktarda kumun eklenmesi

160 C ° sıcaklıktaki karışım 63,5 mm çapında 35 mm yüksekliğinde çelik dairesel kaplara Standart Proktor enerjisine uygun olarak sıkıştırılmıştır (Şekil 2.6). Bu sıkıştırma işlemi yapılmadan önce çelik dairesel kapların numuneler kolay çıksın diye kenarları yağlanmıştır.



Şekil 2.6. 63,5 mm çapındaki çelik çapta sıkıştırılmış numune

Proktor deneyine göre 35 mm çelik kaplarda 7 kez vuruş yapılması yaklaşık Proktor sıklılığını verdiği deneysel olarak belirlenmiştir. Lifli bitüm karışımları daha sonra kum ağırlığının %8, %10 ve %12 si oranlarında kumla karıştırılıp çelik dairesel kalıplarda standart Proktor tokmağı ile 7 kez vurulmuş ve sıkıştırılmıştır (Şekil 2.7).



Şekil 2.7. Proktor tokmağı ile sıkıştırma

Çelik kaplarda sıkıştırılan numuneler soğuduktan sonra (yaklaşık 3 saat) düzgünce çıkartılır ve kumpasla 5mm'yi geçmeyecek miktarda hatalı olup olmadığı kontrol edilir. 5mm'yi geçen çarpıklığa sahip hatalı numuneler atılır. Çevrimsel basit kesme deneyinde düzgün bir ölçüm elde edebilmek için hata miktarları düşük olan numunelerin yükseklikleri ölçülür ve kayıt edilir (Şekil 2.8).



Şekil 2.8. Kumpas ile yükseklik ve yamukluk ölçümü

2.3.1. Zeminlerin Dinamik Yükleme Altında Davranışı

Depremin hasarı zeminin dinamik özelliklerini önemli ölçüde etkilemektedir. Bunun için zeminin dinamik yükler altındaki davranışını bilmemiz gerekir. Bu 3 şekilde belirlenir:

- Laboratuvar test ve sonuçları
- Arazi test ve sonuçları
- Laboratuvar sonuçlarından kayma modülü (G) ile sönüm oranı (D) arasındaki amprik ilişkilerle elde edilmesi (Das ve Ramana, 2011).

2.3.1.1. Kayma Modülü

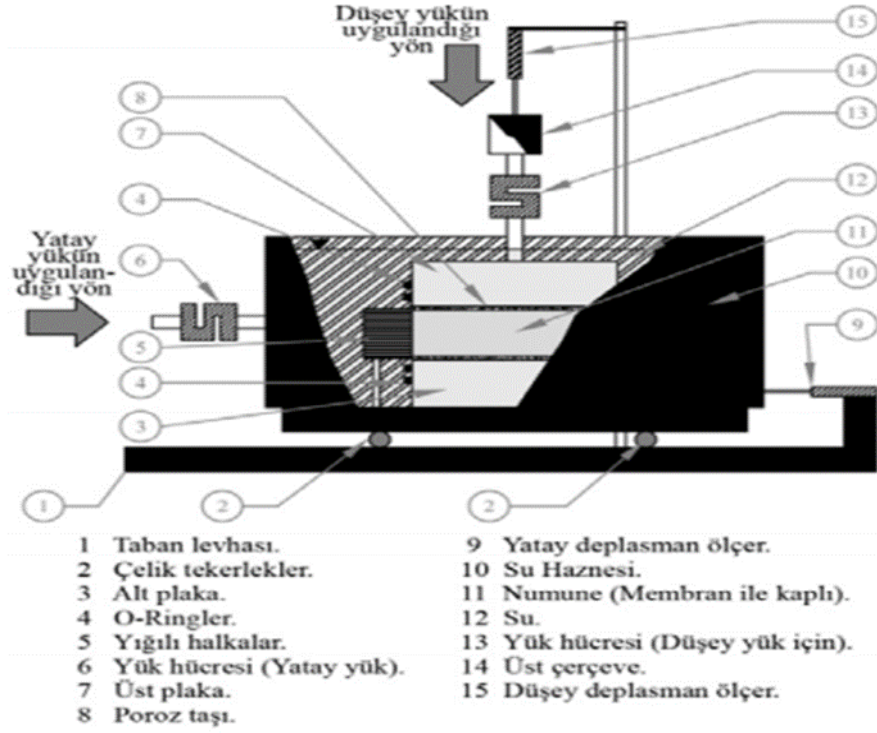
Tekrarlı basit kesme deneyinde kullanılan zemin örnekler genellikle 20-30 mm

yükseklığe ve yaklaşık 60-80 mm genişliğinde'de çapa sahip olurlar (Das ve Ramana, 2011). Şekil 2.9'da çevrimsel basit kesme deneyi için hazırlanan bir numune görülmektedir.



Şekil 2.9. Bir numune örneği

Dikey gerilme σ_v ve tekrarlı kayma gerilmesi τ Şekil 2.10'da gösterilmektedir.



Şekil 2.10. Tekrarlı basit kesme cihazının şematik görünüşü (Zehtab, 2010)

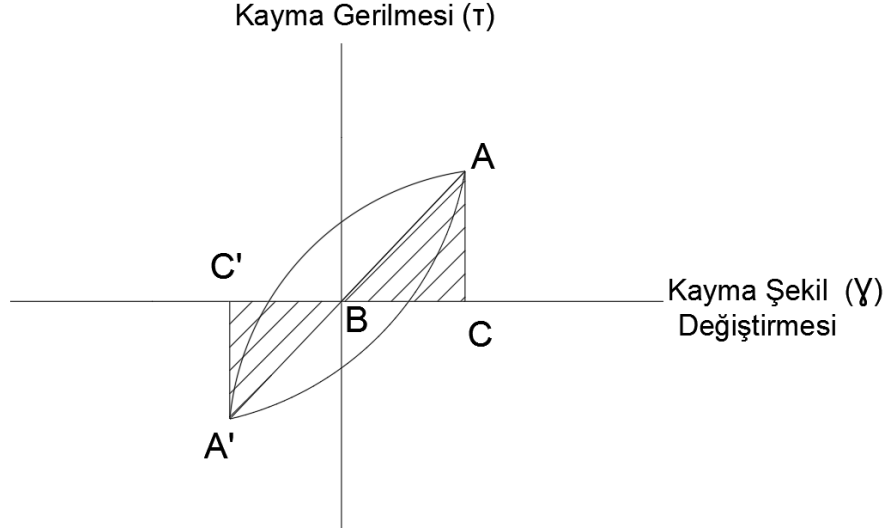
Tekrarlı basit kayma testinde zeminin kayma modülü tekrarlı kayma gerilmesi genliğinin (τ) tekrarlı kayma şekil değiştirme genliğine (γ) oranıdır (Bağıntı 2.1).

$$G = \tau/\gamma \quad (2.1)$$

2.3.1.2. Sönüm Oranı

Sistemler serbest titreşim halindeyken zamanla bu titreşimlerin genliklerinde azalma meydana gelecektir. Titreşimin bu özelliğine sönüm denir. Kayma şekil değiştirme genliği verildiğinde sönüm oranı histerezis gerilme-şekil değiştirme özelliklerinden bulunur (Şekil 2.11).

$$D = \frac{1}{2\pi} * \frac{A_{eğri}}{A_{\text{üçgen}}^{\text{alt}} + A_{\text{üçgen}}^{\text{üst}}} \quad (2.2)$$

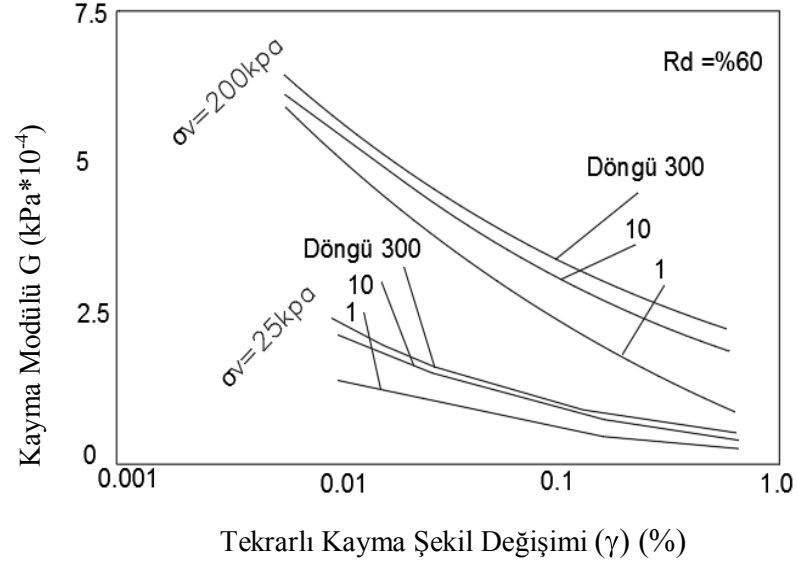


Şekil 2.11. Histerezis eğrisiyle sönüm oranının tanımı (Das ve Ramana, 2011)

Bağıntı 2.2'de $A_{eğri}$ histerezis eğrisinin alanını, $A_{üçgen}^{üst}$ eğrinin üstünde kalan taralı kısımdaki ABC üçgenin alanını $A_{üçgen}^{alt}$ ise eğrinin altında kalan taralı kısımdaki A'B'C' üçgenin alanını göstermektedir.

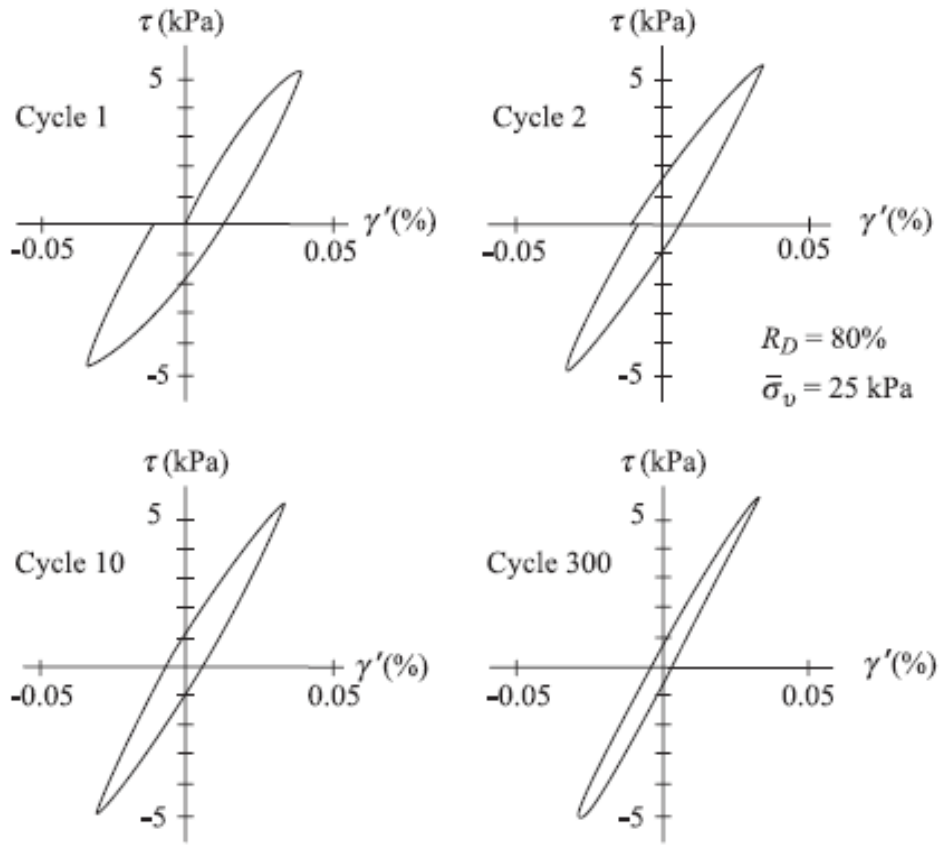
Ortalama sıklıkta bir kumla tekrarlı basit kayma testinden elde edilen σ_v 'nin 2 değeri için kayma modülü G ile birlikte tekrarlı kayma şekil değişirmesi γ 'nın grafiği Şekil 2.12'de gösterilmektedir (Silver ve Seed, 1971). Verilen σ_v ve γ için kayma gerilmesinin tekrar sayısıyla birlikte kayma modülü artar. Kayma modülünde artışın büyük bir kısmı ilk 10 çevrimde (döngüde) meydana gelir. Daha sonra yavaşça artış oranı düşer. Her kayma şekil değişirmesi değeri ve döngü sayısı için σ_v 'nin artışıyla birlikte kayma modülünün (G) büyüklüğü de artar.

Verilen σ_v ve kayma şekil değişirme genliği (γ) için sönüm oranı azaldıkça döngü sayısı da onunla birlikte azalır. Verilen döngü sayısı ve σ_v için, sönüm oranı büyüklüğü (D) azaldıkça kayma şekil değişirme genliği (γ) de azalır.



Şekil 2.12 Ortalama sıklıkta kumda kayma modülü ile kayma şekil değiştirme arasındaki ilişki (Silver ve Seed, 1971)

Çevrimsel yüklemeye maruz sıkı kumun gerilme-şekil değiştirme grafiği Şekil 2.13'te gösterilmektedir. Buna göre verilen kayma gerilmesi genliği (τ) ve σ_v için döngü sayısı arttıkça kayma şekil değiştirme genliğinin (γ) azaldığı görülmektedir. Ayrıca çoğu sismik olaylarda önemli döngü sayısı muhtemelen 20'den az olduğundan 5 döngüde belirlenen değerlerin pratik amaçlarda kullanımı için makul değerler sağlaması muhtemeldir.



Şekil 2.13. Döngüsel yükleme altında kumun gerilme-şekil değiştirme grafiği (Silver ve Seed, 1971)

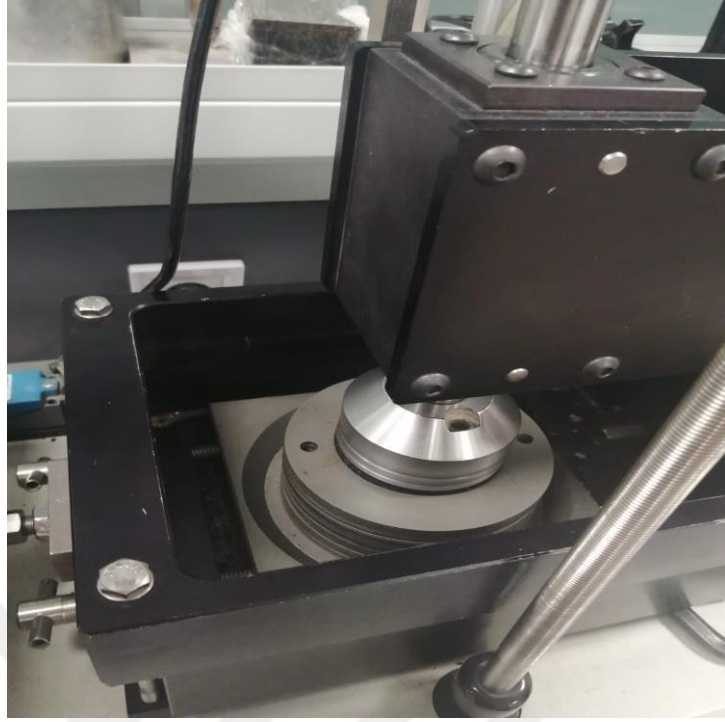
2.3.2. Tekrarlı Basit Kesme Deneyinin Yapılması

Hazırlanan dairesel kesitli numunelerle, Ankara Karayolları Genel Müdürlüğü AR-GE Daire Başkanlığı Zemin Mekaniği laboratuvarında bulunan Geocomp marka Tam Otomatik Dinamik Basit Kesme cihazı kullanılarak deneyler yapılmıştır (Şekil 2.14).



Şekil 2.14. Tekrarlı basit kesme cihazı

Sistemde bilgisayar kontrollü bir ünite de dikey ve yatay yükler zemin numunesine hassas adımlı motorlarla uygulanmaktadır. 101 mm'e kadar silindirik numuneleri test edebilmek için kesme kutusu seçenekleri olup, üst ve alt poroz taşları ve teflon kaplı hacim sabitleme halkaları bulunmaktadır (Şekil 2.15). Ayrıca excel formatına kolayca dönüştürülebilecek şablonda verilerle hesaplamalar yapılabilmektedir.



Şekil 2.15. Teflon kaplı hacim sabitleme halkaları

Numuneler cihaza koyulmadan önce teflon kaplı hacim sabitleme halkalarının içine koyuldu. Daha sonra birlikte cihaza yerleştirildi. Daha sonra Shear-Cyclic adlı programa numunenin yüksekliği, ismi ve tekrarlı yüklemeye ait veriler girildi (Şekil 2.16).

SHEAR:CYCLIC - C:\Users\internet\Desktop\TEZ\Eyup\Propropilen\%3\PP-%3L-%10-B.dat

File View Run Calibrate Control Report Options Help

Consolidation Table		Cyclic Table		Shear Table
Project	Specimen	Water Content	Read Table	Test Parameters
	Initial Diameter: 63.5			mm
	Initial Height: 24.5			mm
	Initial Sample Weight: 150.			gm
	Specific Gravity: Measured			0.
	Plasticity: <input checked="" type="radio"/> Plastic			
	<input type="radio"/> Non-Plastic			
	<input type="radio"/> Unknown			
	Liquid Limit: 0.			
	Plastic Limit: 0.			

Şekil 2.16. Shear – Cyclic adlı programdaki numunenin özelliği

Tekrarlı yüklemeye ait girilen veriler Şekil 2.17’de gösterilmiştir.

	Stress Ratio Amplitude	Maximum Peak-Peak Strain (%)	Cycle Period (sec)	Maximum Number of Cycles	Number of Readings per Cycle
1	0.35	10.	1.	200	200
2	0.	0.	0.	0	0
3	0.	0.	0.	0	0
4	0.	0.	0.	0	0
5	0.	0.	0.	0	0
6	0.	0.	0.	0	0
7	0.	0.	0.	0	0
8	0.	0.	0.	0	0
9	0.	0.	0.	0	0
10	0.	0.	0.	0	0

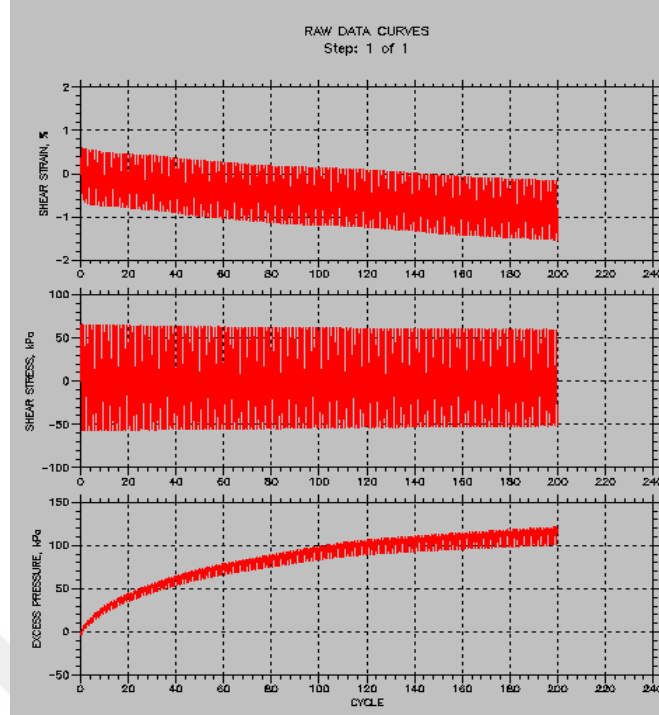
Şekil 2.17. Tekrarlı yüklemeye ait girilen veriler

Şekil 2.17’de gösterildiği gibi numunelere 200 çevrim uygulanmıştır. Normal gerilme 200 kPa olarak alınmıştır. Yaklaşık 20 dakika numune cihazda kalmıştır.

Tekrarlı gerilme oranı (CSR), kayma gerilmesinin normal gerilmeye oranı olarak Bağıntı 2.3’te tanımlanmıştır.

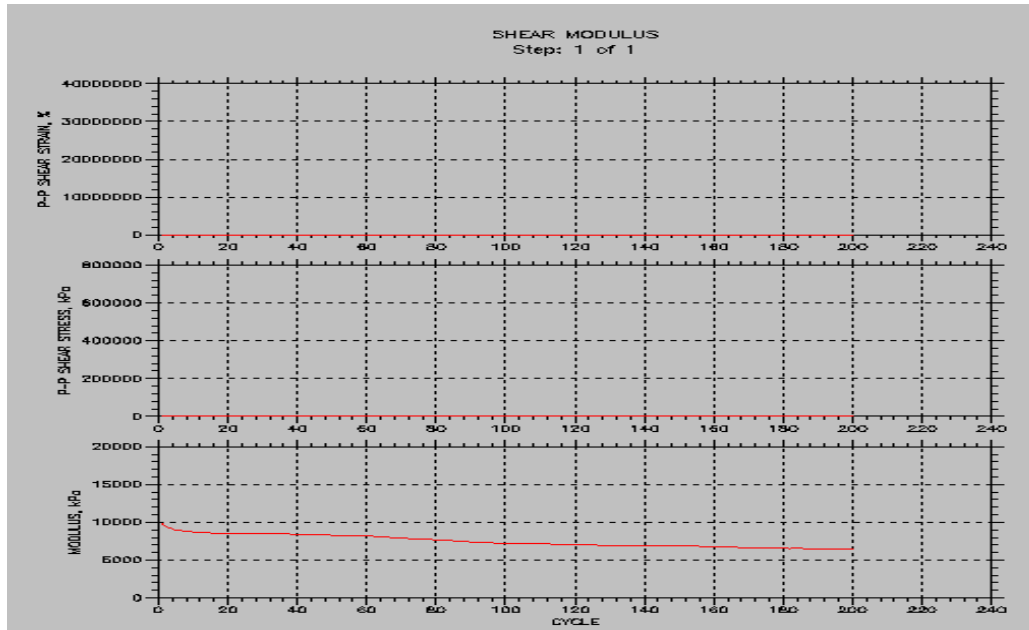
$$CSR = \frac{\tau}{\sigma} \quad (2.3)$$

200 kPa normal gerilme altında kayma gerilmesi 120 kPa olacak şekilde ayarlanmıştır (Şekil 2.18). Bunun için tekrarlı gerilme oranı (CSR) formüle göre yaklaşık 0.6 olarak alınmıştır. Bu oran tüm numunelerde aynı kullanılmıştır.



Şekil 2.18. Shear-Cyclic programında bir numunenin kayma gerilmesi grafiği

Yaklaşık 0.6 tekrarlı gerilme oranında (CSR) 200 kPa altında 200 çevrim uygulanmış bir numuneye ait veriler aşağıda Şekil 2.19’da görülmektedir.



Şekil 2.19. Tekrarlı basit kesme deneyine ait Shear-Cyclic programından alınan grafik

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Deneyisel çalışmalarda numunelerin dinamik özellikleri olan sönüm oranını (D) ve kayma modülünü (G) belirleyebilmek için tekrarlı basit kesme deneyi yapılmıştır. Bu parametreleri belirleyebilmek için Bağıntılar 2.1 ve 2.2 kullanılmıştır.

3.1. Tekrarlı Basit Kesme Deneyi Sonuçları

Shear-Cyclic programından verileri kolayca değerlendirebilmek için her numunenin verileri Excel'e dönüştürülmüştür. 200 kPa'lık normal gerilme altında her numune için 200 döngü yapılmıştır. Kayma modülünde artışın çoğu ilk 10 tekrarda (döngüde) meydana gelir. Daha sonra yavaşça artış oranı düşer (Şekil 2.12). Buna göre hesaplamalarımızı dinamik özelliklerin yaklaşık olarak sabitlendiği nokta olan 10. döngüdeki verileri alarak yaptık. Bu verilere göre dinamik özellikler belirlenmiştir. Deneyler için hazırlanan numunelerin isimlendirmeleri Tablo 3.1 ve Tablo 3.2'de verilmiştir.

Tablo 3.1. Selüloz ve polipropilen lif katkılı numunelerin adlandırılması

Kullanılan Lif	Lif Katkı Oranı	Bitüm İçeriği	Notasyon
Polipropilen	%1	%8	PP1L8B
Polipropilen	%3	%10	PP3L10B
Polipropilen	%5	%12	PP5L12B
Polipropilen	%5	%8	PP5L8B
Polipropilen	%1	%10	PP1L10B
Selüloz	%5	%12	SZ5L12B
Selüloz	%5	%8	SZ5L8B
Selüloz	%5	%10	SZ5L10B
Selüloz	%5	%12	SZ5L12B
Selüloz	%3	%12	SZ3L12B

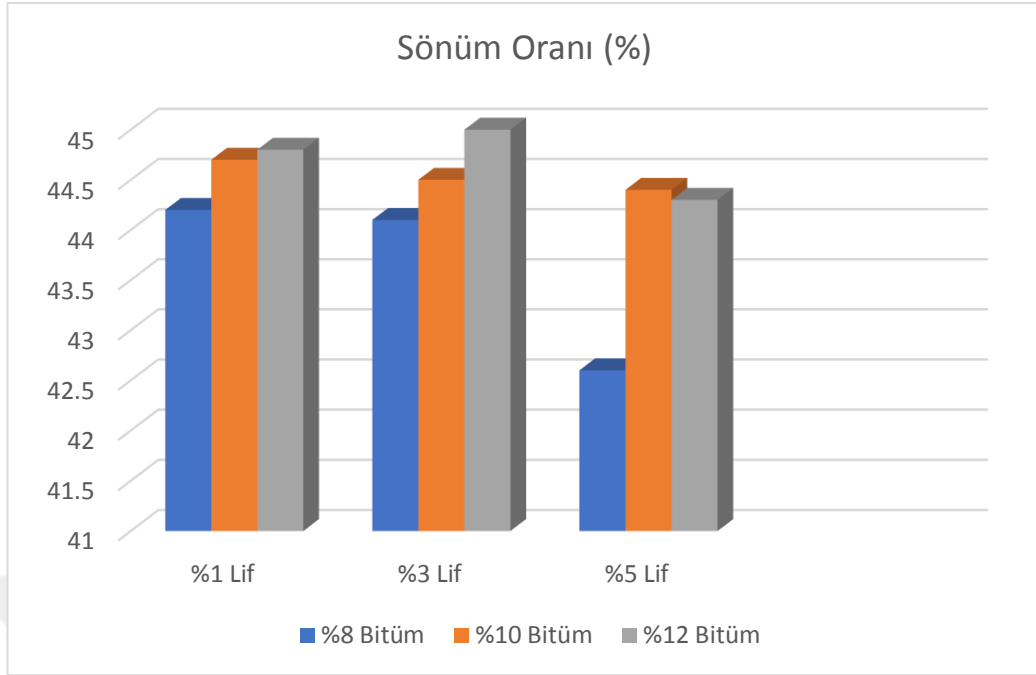
Tablo 3.2. Bazalt lif katkılı numunelerin adlandırılması

Lif Uzunluğu	Lif Katkı Oranı	Bitüm İçeriği	Notasyon
2 mm	%1	%8	BZ1L8B.2
4 mm	%3	%10	BZ3L10B.4
6 mm	%5	%12	BZ5L12B.6
2mm	%3	%8	BZ3L8B.2
4mm	%1	%10	BZ1L10B.4
6mm	%3	%12	BZ3L12B.6
2mm	%5	%8	BZ5L8B.2
4mm	%5	%10	BZ5L10B.4
6mm	%1	%12	BZ1L12B.6
2mm	%3	%12	BZ3L12B.2

3.1.1. Kum-Bitüm-Selüloz Lif Karışımı İçin Çevrimsel Basit Kesme Deneyi Sonuçları

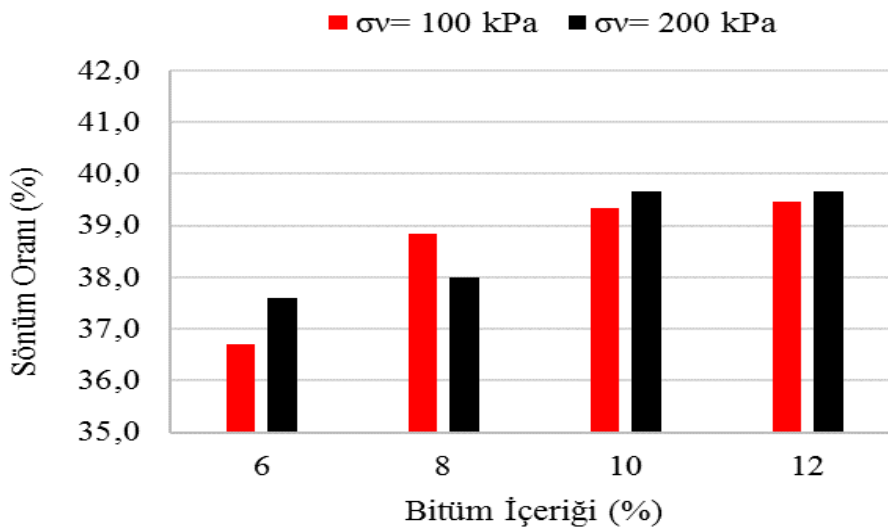
Bu deneylerdeki amaç bitüm ve selüloz lif oranının, karışımların kayma modülü ve sönüm oranı üzerindeki etkisini belirlemektir. Bu doğrultuda kum ağırlığının %8, %10 ve %12 si oranında 160/220 penetrasyonlu bitüm kullanılmıştır. Bitüm ağırlığının %1, %3 ve %5 i oranında selüloz lifi kullanılmıştır. Deneyler yaklaşık 0.6 tekrarlı gerilme oranında (CSR) ve 200 kPa normal gerilme altında yapılmıştır. Ayrıca sabit 1 Hz çevrimsel frekansta yapılmıştır. Şekil 3.1’de bitüm ve selüloz lif yüzdesine bağlı olarak sönüm oranının değişimi görülmektedir.

Selüloz lif oranı arttıkça genel olarak sönüm oranı düşmektedir. Bitüm oranının %3’ü kadar lif selüloz lifi için en yüksek sönüm oranını vermektedir. Tez çalışması kapsamında deney sonuçlarına göre bitüm oranı arttıkça farklı selüloz lif oranlarında (%1, %3 ve %5) sönüm oranı genel olarak artmaktadır. %10 ve %12 arasındaki bitüm oranlarında sönüm oranındaki artışta biraz düşüş yaşanmıştır.



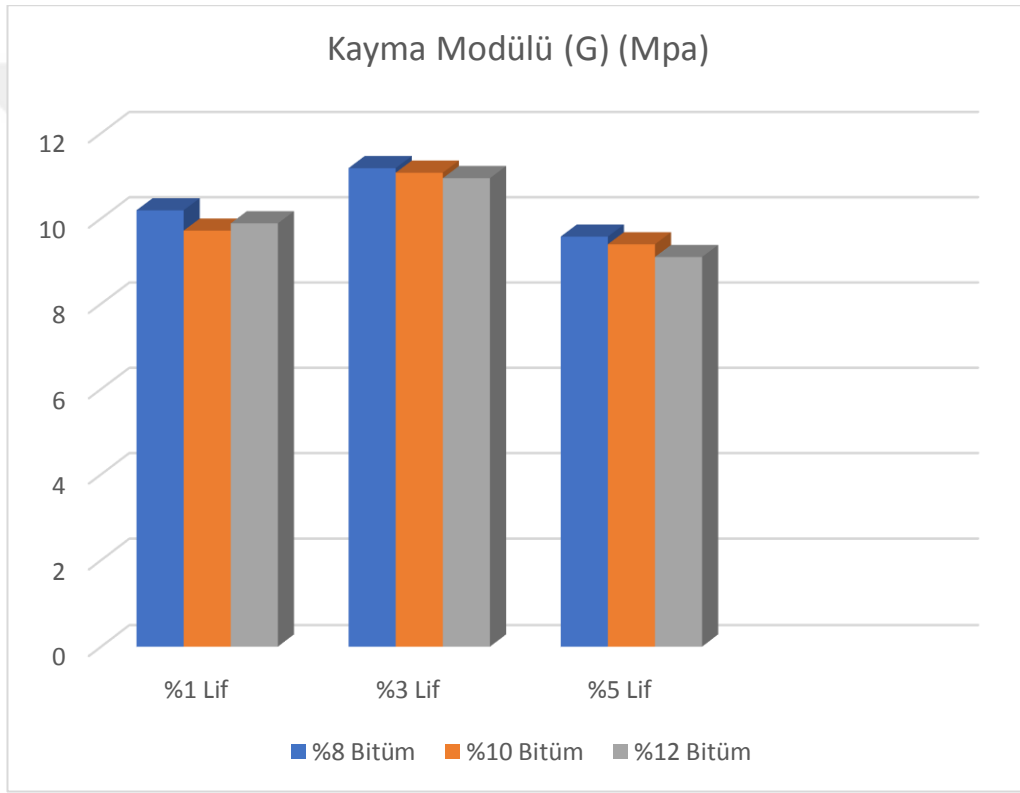
Şekil 3.1. Farklı bitüm-lif oranlarında sönüm oranının değişimi

Literatürde tez çalışmamda yaptığım deneylere benzer, kum-bitüm karışımlarıyla bir deneysel çalışma Zardari (2020) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada değişik oranlarda bitüm (%6, %8, %10 ve %12 oranında) kuma eklenmiştir. Bu çalışma, bitüm miktarındaki artışın sönüm oranında da artışa sebep olduğunu göstermiştir (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. Bitüm içeriğinin sönüm oranına etkisi (Zardari, 2020)

Şekil 3.3'te kayma modülünün, selüloz lif yüzdesi ve bitüm oranına bağlı olarak değişimi görülmektedir. Deney sonuçlarına göre bitüm oranı arttıkça farklı selüloz lif oranlarında (%1, %3 ve %5) kayma modülü (G) değerleri azalmaktadır. En yüksek kayma modülü 11,2 MPa ile %8 bitüm ve %3 içeren lif karışımından elde edilmiştir. En düşük kayma modülü ise 9,1 MPa ile %12 bitüm-%3 lif karışımından elde edilmiştir. %1 lif karışımından %3 lif karışımına geçişte kayma modülü artmıştır ama %5 lif oranında kayma modülünde azalma meydana gelmiştir. Bu deneysel çalışmaya göre %3 lif oranı, selüloz lif için en yüksek kayma modülü değerinin elde edildiği orandır.



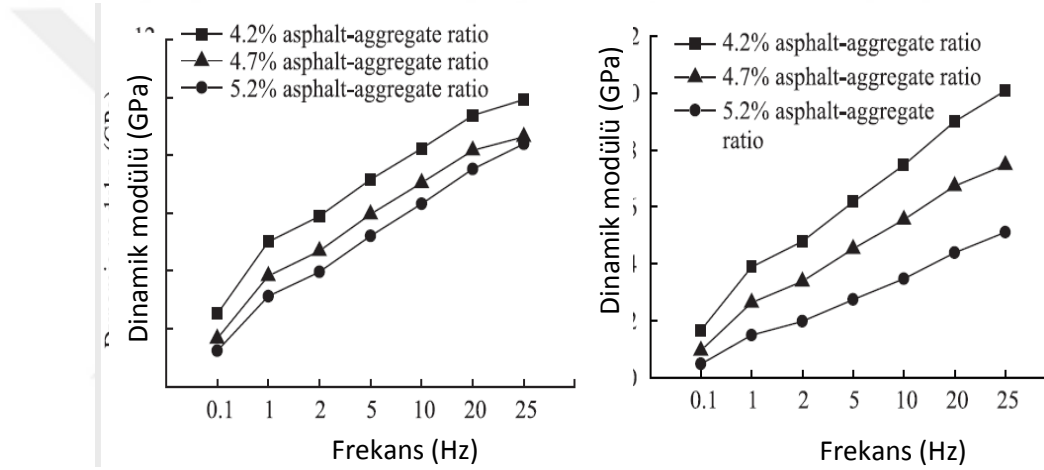
Şekil 3.3. Farklı bitüm-lif oranlarında kayma modülünün değişimi

Literatürde tez çalışmama benzer yapılan başka bir deneysel çalışmada ise ince agrega (kireç taşı) ve çeşitli oranlarda (%4.2, %4.7 ve %5.2 oranında) AC-13 tipi asfalt ile karışımlar hazırlandı. Şekil 3.4'te dinamik modülün frekans ile değişimi görülmektedir.

Elastik bölgede; bir malzemenin maruz kaldığı kayma gerilmesinin, bu gerilmeden dolayı uğradığı birim şekil değiştirmeye oranı ile dinamik modülü elde edilir. "G" ile ifade edilir. Deprem sırasında zemin tepkisinin hesaplanması, deprem sırasında şevlerin

stabilitesinin analizi ve diğer dinamik zemin analizleri için zeminin dinamik modülünün ve sönüm oranının bilinmesi gerekir. Zeminlerin dinamik modülü G ve sönümleme oranı D , zemin türü, sınırlayıcı basınç, dinamik gerilme seviyesi, doygunluk derecesi, frekans ve dinamik yük uygulama döngü sayısı, dinamik gerilmenin büyüklüğü gibi birkaç faktöre bağlıdır (Hardin ve Black, 1968).

Standart penetrasyon testiyle çeşitli dinamik kayma modülleri (G) bulunmuştur. Buna göre asfalt oranındaki artış dinamik kayma modülünde düşüğe sebep olmuştur (Şekil 3.4) (Feng vd., 2017). Yüksek lisans çalışmam kapsamında bu literatürle benzer sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 3.4. Dinamik modülün frekans ile değişim grafiği (Feng vd., 2017)

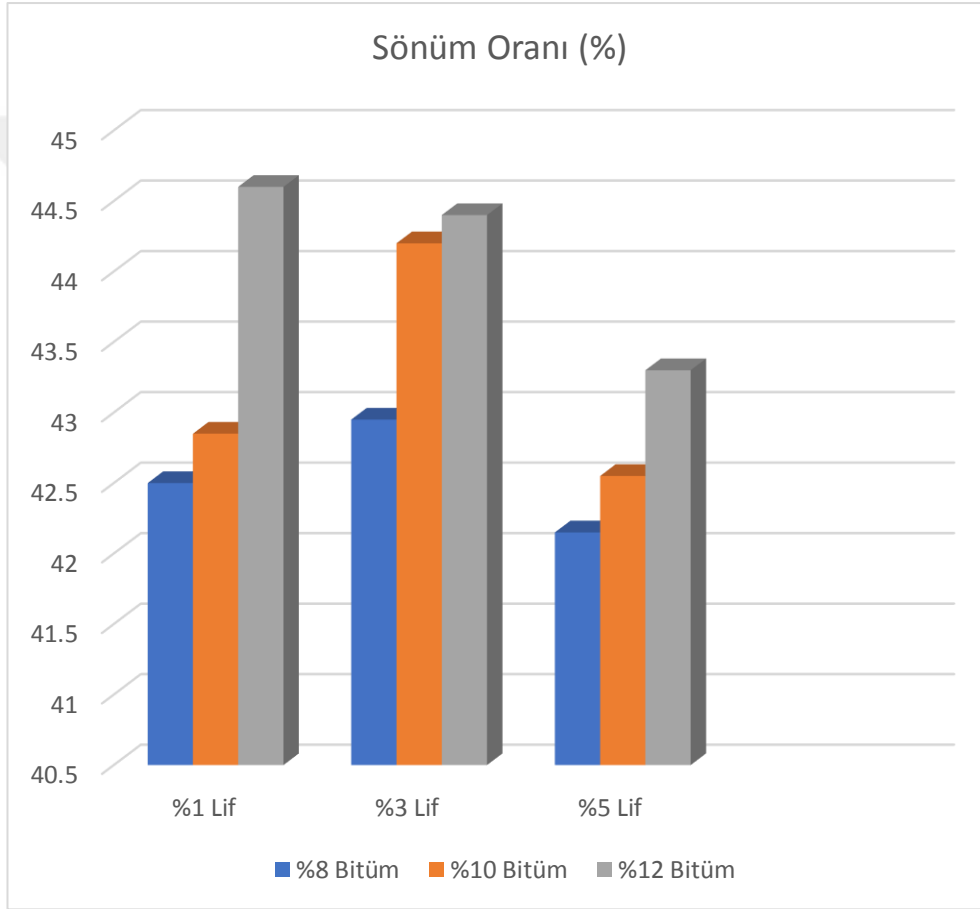
3.1.2. Kum-Bitüm-Polipropilen Lif Karışımı İçin Tekrarlı Basit Kesme Deneyi Sonuçları

Bu deneydeki amaç Bir önceki deneydeki gibi lif oranının ve bitüm oranının kayma modülü ve sönüm oranı üzerindeki etkisini belirlemektir. Bu doğrultuda aynı şekilde kum ağırlığının %8, %10 ve %12 si oranında 160/220 penetrasyonlu bitüm kullanılmıştır. Bitüme ise %1, %3 ve %5 i oranında polipropilen lifi katılmıştır. Deneyler 1 Hz sabit çevrimsel frekansta yapılmıştır. Deneyler 200 kPa normal gerilme altında yapılmıştır.

Deneyler yaklaşık 0.6 tekrarlı gerilme oranında (CSR) yapıldı. Cihaz kalibre edilmediğinden 200 kPa normal gerilmeye karşılık gelen 0.6 tekrarlı gerilme oranına göre Bağlantı 2.3' e göre kayma gerilmesi 120 kPa alınıp ona göre kalibre edildi. Bunu elde

edebilmek için her bir numune için farklı gerilme oranı genliği cihaza girildi. Bundan sonra tüm numunelerde 200 kPa altında 200 döngü uygulanmıştır.

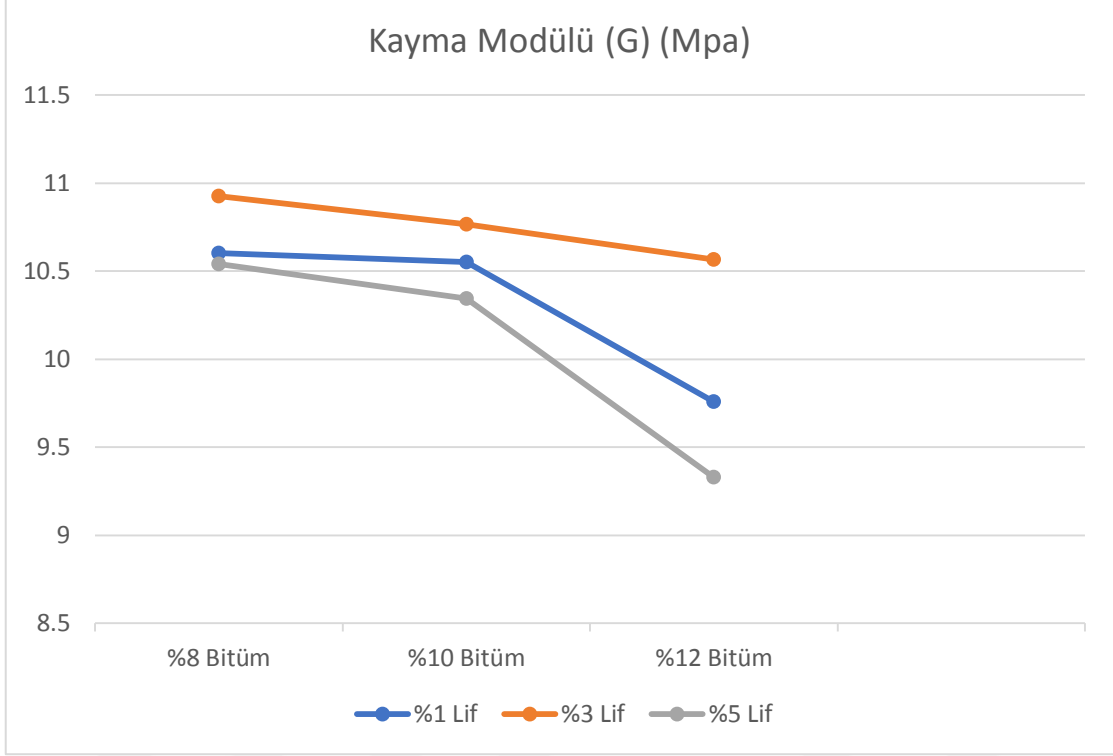
Şekil 3.5'te sönüm oranının lif ve bitüm oranıyla değişimi görülmektedir. Polipropilen lif oranı arttıkça genel olarak sönüm oranında biraz artış oldu pik değere ulaştı ve sonra düşüş gösterdi. Bitüm oranının %1'i kadar polipropilen lifi içeren numuneler diğerlerinden farklı olarak sönüm oranı lif miktarındaki artışla azalmıştır ve en yüksek sönüm oranı %1 lif ve %12 bitüm içeren numunede gözlenmiştir. Bu oran %44.6 olarak bulunmuştur.



Şekil 3.5. Farklı lif bitüm oranlarında sönüm oranının değişimi

Şekil 3.6'da görüldüğü üzere farklı polipropilen lifi oranlarında (%1, %3 ve %5) bitüm oranı arttıkça kayma modülleri (G) azalmaktadır. En yüksek kayma modülü 10.9 MPa ile %8 bitüm ve %3 lif karışımından elde edilmiştir. En düşük kayma modülü ise 9.3 MPa ile %12 bitüm ve %5 lif karışımından elde edilmiştir. %1 lif karışımından %3 lif karışımına geçişte kayma modülü artmıştır ama %5 lif oranında kayma modülünde azalma meydana gelmiştir.

Burada deneysel çalışmalara göre %3 lif oranı polipropilen lif için en uygun en yüksek kayma modülü değerini oluşturmuştur.



Şekil 3.6. Farklı bitüm-lif oranlarında kayma modülünün değişimi

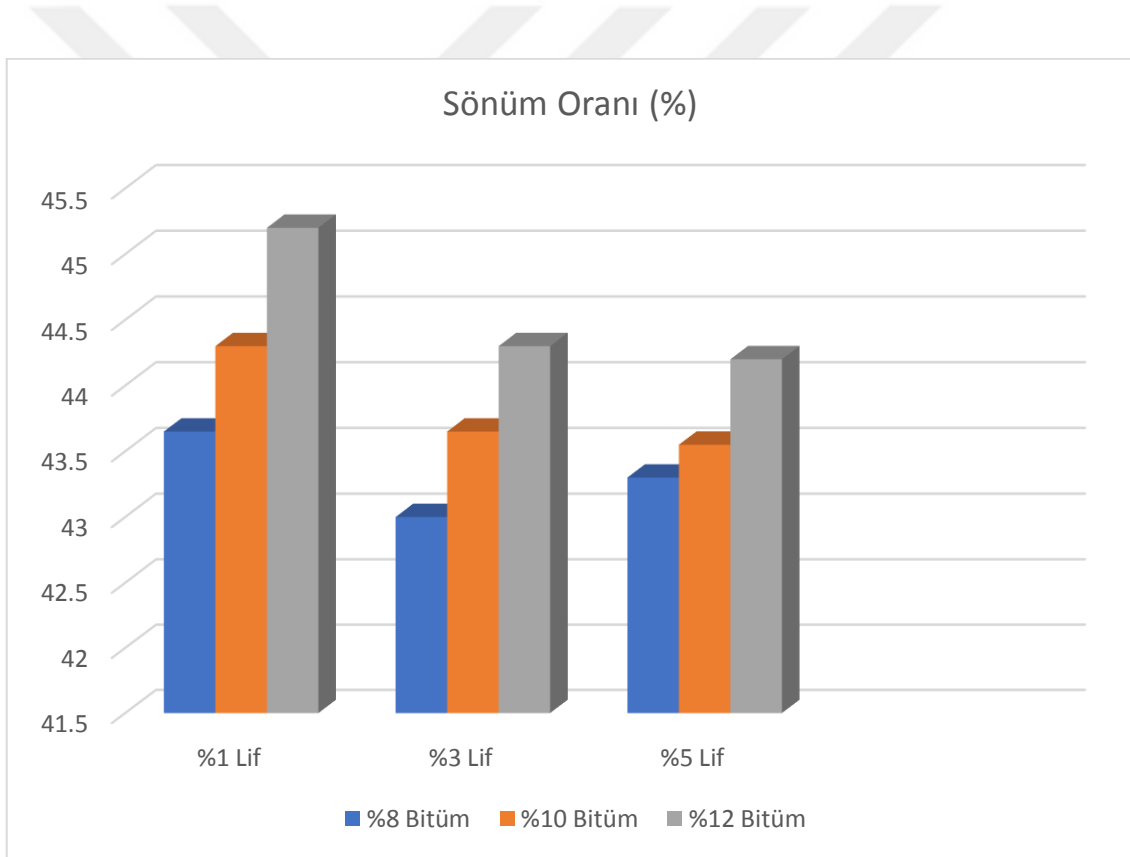
3.1.3. Kum-Bitüm-Bazalt Lif Karışımı İçin Tekrarlı Basit Kesme Deneyi Sonuçları

Bu deneylerdeki amaç diğer deneylerdeki gibi lif oranının ve bitüm oranının kayma modülü ve sönüm oranı üzerindeki etkisini belirlemektir. Bunun dışında bazalt lif diğer deneylerdekinden farklı olarak çeşitli uzunluklarda (2 mm ,4 mm ve 6 mm olmak üzere) kesilmiştir. Bu uzunlukların kayma modülüne ve sönüm oranına etkisinin olup olmadığı da araştırılmıştır. Bunun doğrultusunda aynı şekilde kum ağırlığının %8, %10 ve %12'si oranında 160/220 penetrasyonlu bitüm kullanılmıştır. Bitümün ise %1, %3 ve %5 i oranında bazalt lifi kullanılmıştır.

Deneyler 1 Hz sabit çevrimsel frekansta yapılmıştır. Deneyler 200 kPa normal gerilme altında yapılmıştır. Deneyler, yaklaşık 0.6 tekrarlı gerilme oranında (CSR) yapıldı. Cihaz kalibre edilmediğinden 200 kPa normal gerilmeye karşılık gelen 0.6 tekrarlı gerilme oranına göre aynı şekilde Bağıntı 2.3' e göre kayma gerilmesi 120 kPa olarak alınıp ona göre kalibre

edildi. Bunu elde edebilmek için her bir numune için farklı gerilme oranı genliği cihaza girildi. Bundan sonra tüm numunelerde 200 kPa altında 200 döngü uygulanmıştır.

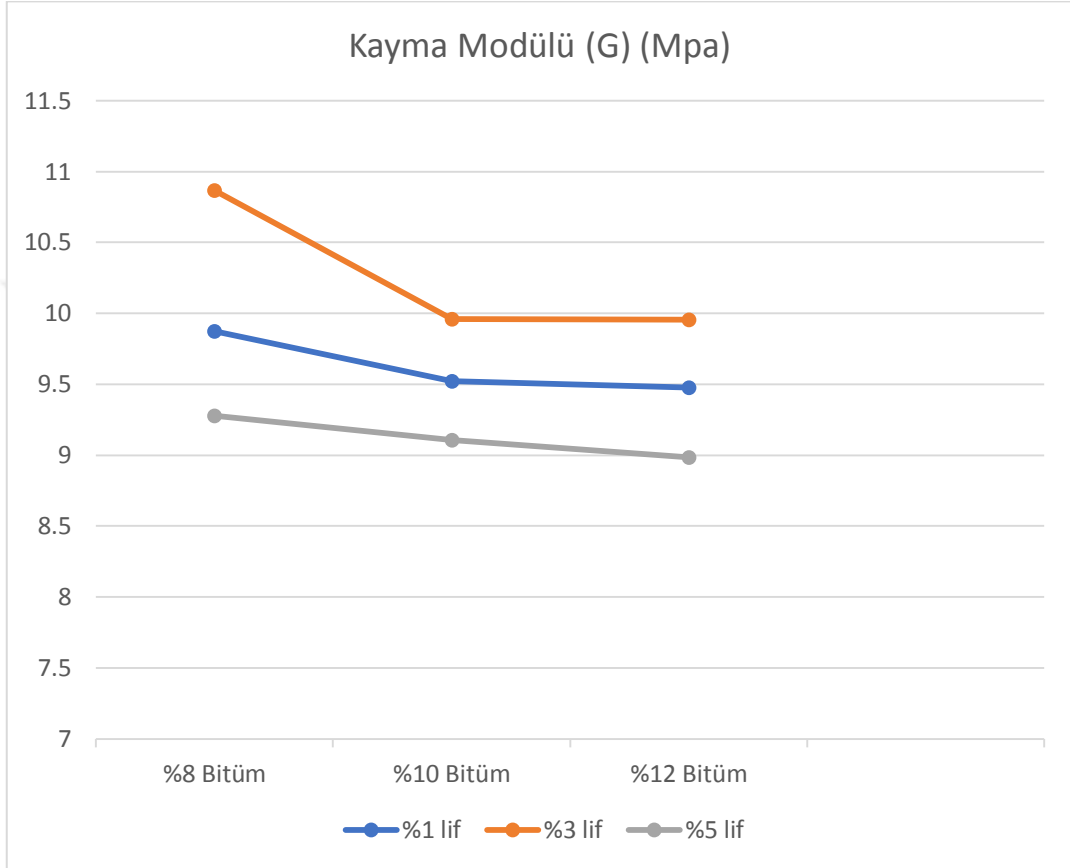
Şekil 3.7’de sönüm oranının bazalt lif miktarı ve bitüm oranıyla değişimi görülmektedir. Bu bağlamda bazalt lif (2 mm) oranı arttıkça genel olarak sönüm oranında düşüş yaşanmaya başlandı. %5 lif oranına kadar sönüm oranında düşüş gerçekleşti. Bu düşüş %3 lif ile %5 lif arasında daha az gerçekleşmiştir. Bitüm oranının %1’i kadar bazalt lifi (2mm) ve %12 bitüm kullanılması en yüksek sönüm oranını vermektedir. Bu oran %45,2 olarak bulunmuştur. En düşük sönüm oranı ise %8 bitüm ve %3 lif karışımında %43 olarak bulunmuştur. Bitüm oranı arttıkça farklı bazalt lifi (2 mm) oranlarında (%1, %3 ve %5) sönüm oranı artmaktadır.



Şekil 3.7. 2 mm uzunluğunda bazalt lif için farklı lif bitüm oranlarında sönüm oranının değişimi

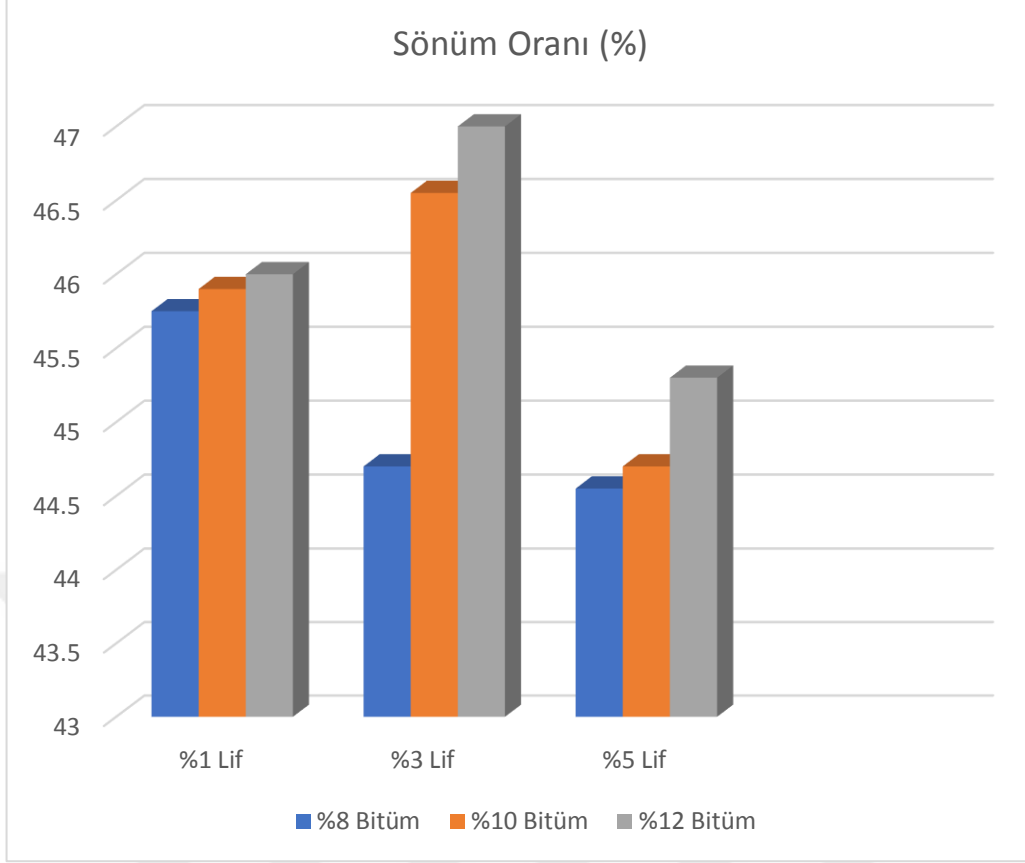
Şekil 3.8’de 2 mm uzunluğunda bazalt lif için farklı bitüm ve lif oranlarında kayma modülünün değişimi görülmektedir. Deney sonuçlarına göre bitüm oranı arttıkça farklı bazalt lifi (2 mm) oranlarında (%1, %3 ve %5) kayma modülü (G) oranları azalmaktadır. En yüksek kayma modülü 10.8 Mpa ile %8 bitüm ve %3 lif karışımından elde edilmiştir. En düşük

kayma modülü ise 8.9 Mpa ile %12 bitüm ve %5 lif karışımından elde edilmiştir. %1 lifli karışımlardan %3 lifli karışımlara geçişte kayma modülü artmıştır ama %5 lif oranında kayma modülünde azalma meydana gelmiştir. Buradaki deneysel çalışmalara göre %3 lif oranı 2 mm'lik bazalt lifleri için en yüksek kayma modülü değerini vermektedir.



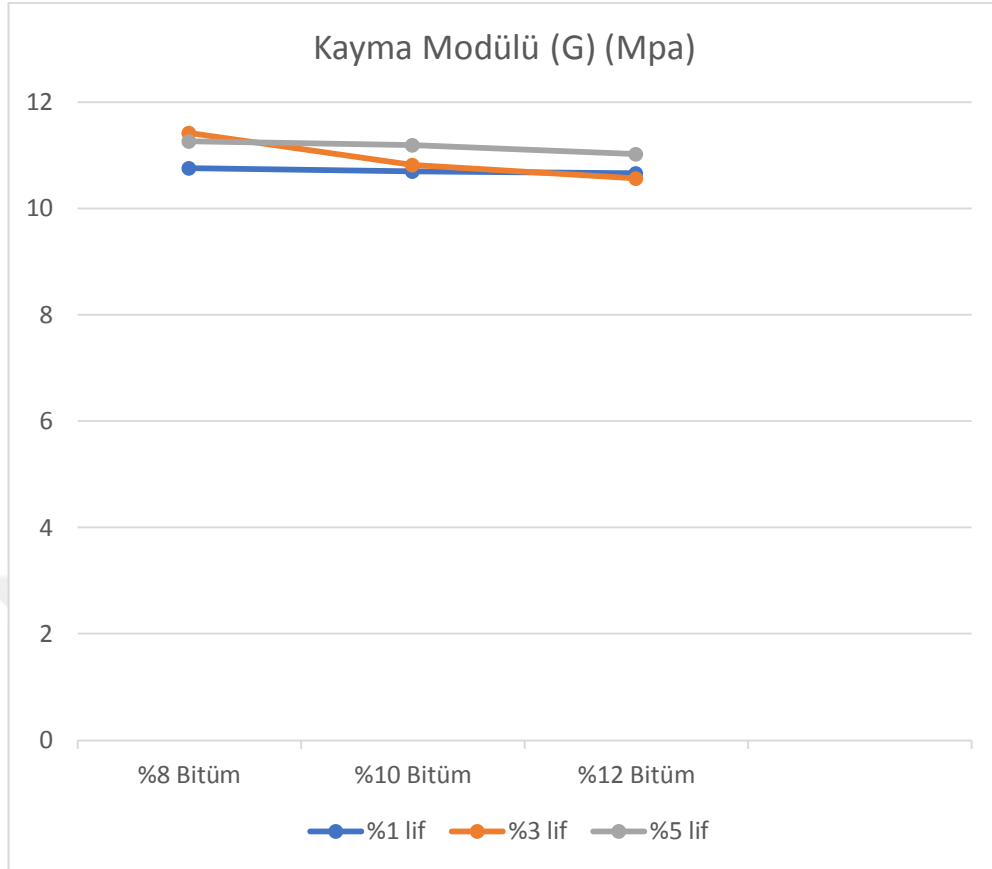
Şekil 3.8. 2 mm uzunluğunda bazalt lif için farklı bitüm-lif oranlarında kayma modülünün değişimi

Şekil 3.9'da 4 mm bazalt lifleri için farklı lif-bitüm oranlarında sönüm oranının değişimi gözlenmektedir. Deney sonuçlarına göre bitüm oranı arttıkça tüm bazalt lifi (4mm) oranlarında (%1, %3 ve %5) sönüm oranı artmaktadır. %8 bitüm oranında içeren karışımlarda bazalt lifi (4mm) oranı arttıkça sönüm oranında düşüş gözlenmiştir. %10 ve %12 oranında bitüm içeren karışımlarda ise %3 lif oranına kadar sönüm oranında artış yaşandı; %3'ten daha büyük lif oranlarında ise sönüm oranında azalma olmuştur. %12 bitüm ve bitüm oranının %3'ü kadar bazalt lifi (4 mm) içeren numuneler en yüksek sönüm oranını vermektedir. Bu oran %47 olarak bulunmuştur. En düşük sönüm oranı da %8 bitüm %5 lif karışımında %44.55 olarak bulunmuştur.



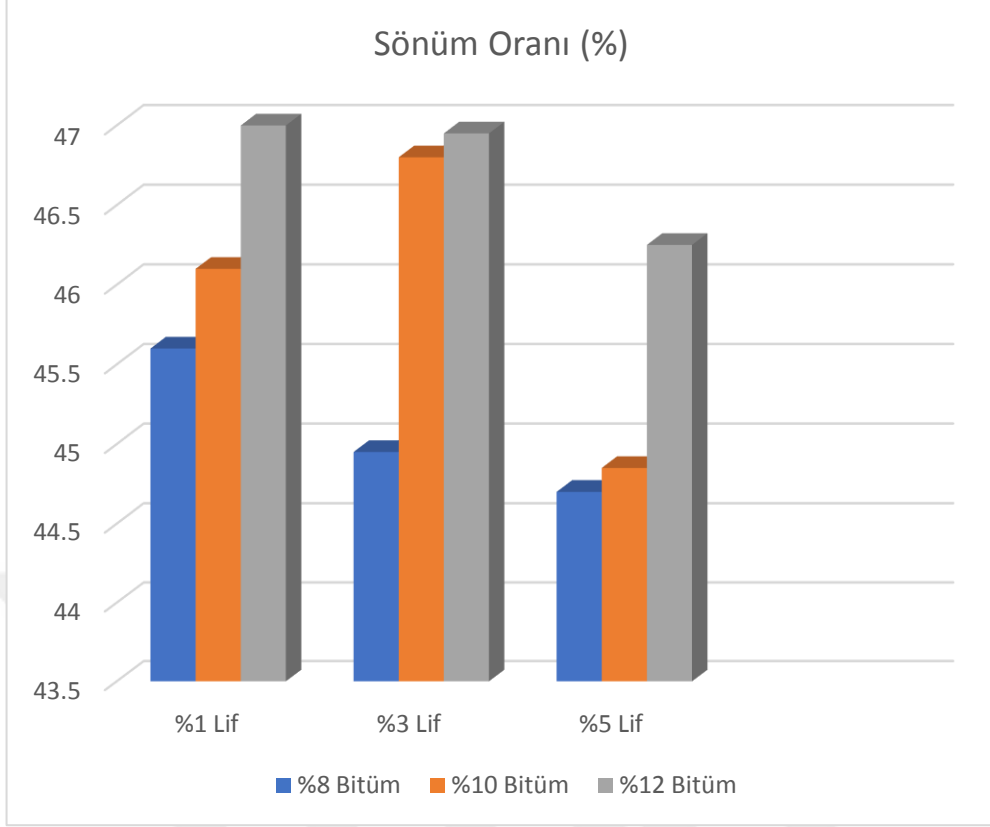
Şekil 3.9. 4 mm uzunluğunda bazalt lif için farklı lif bitüm oranlarında sönüm oranının değişimi

Şekil 3.10'da 4mm uzunluğunda bazalt lif için farklı bitüm-lif oranlarında kayma modülünün değişimi gösterilmiştir. Deneysel sonuçlarına göre bitüm oranı arttıkça farklı bazalt lifi (4 mm) oranları (%1, %3 ve %5) için kayma modülü (G) değerleri azalmaktadır. %1 lif karışımından %5 lif karışımına kadar kayma modülünde artış gözlenmiştir ama bu artış çok az gerçekleşmiştir. En yüksek kayma modülü 11.4 MPa ile %8 bitüm ve %3 lif karışımından elde edilmiştir. En düşük kayma modülü ise 10.5 MPa ile %12 bitüm ve %3 lif karışımından elde edilmiştir. Buradaki deneysel çalışmalara göre %3 lif oranı bazalt lif için en yüksek kayma modülü değerini ortaya çıkarmıştır.



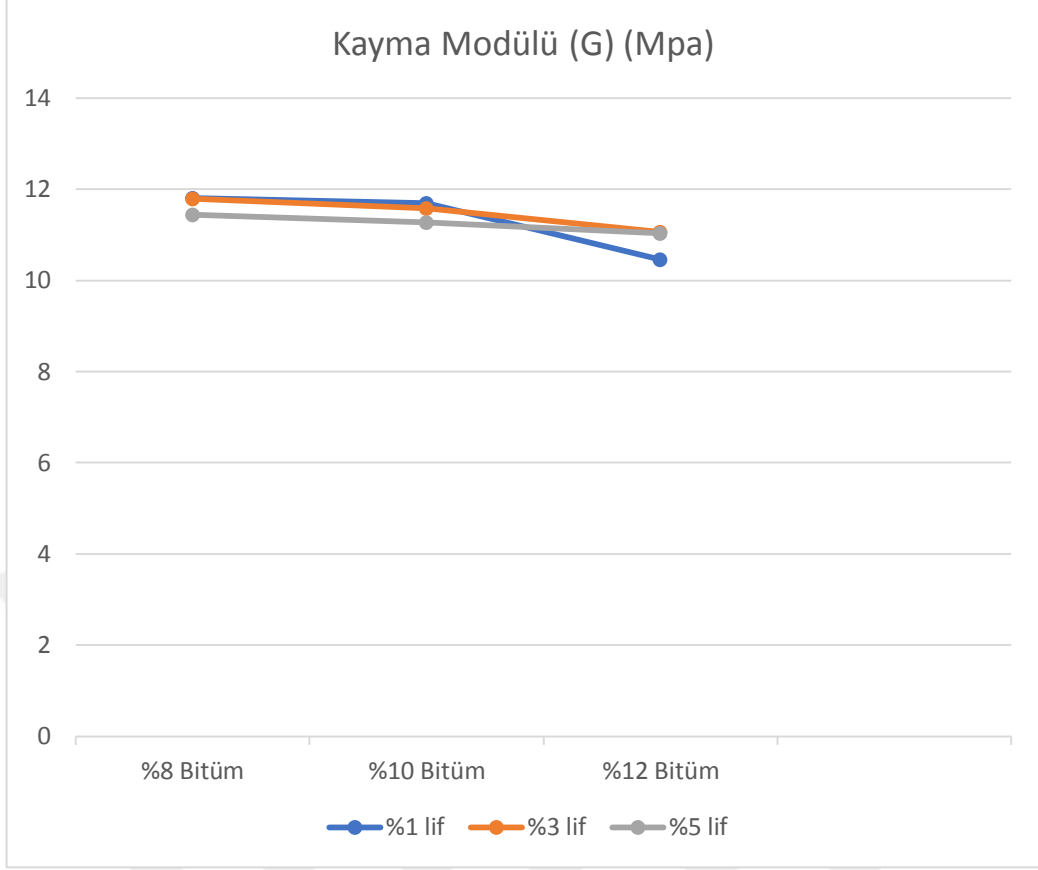
Şekil 3.10. 4 mm uzunluğunda bazalt lif için farklı bitüm-lif oranlarında kayma modülünün değişimi

Şekil 3.11’de 6 mm uzunluğundaki bazalt lifi için farklı lif ve bitüm oranlarında sönüm oranının değişimi görülmektedir. Bazalt lifi (6 mm) oranı arttıkça genel olarak %1 lif oranından %5 lif oranına kadar sönüm oranında düşüş yaşanmıştır. Bitüm oranının %1’i kadar lif bazalt lifi (6 mm) için en yüksek sönüm oranını vermektedir. Bu oran %47 olarak bulunmuştur. En düşük sönüm oranı da %8 bitüm ve %5 lif karışımında %44.7 olarak bulunmuştur. Buna göre, bitüm oranı arttıkça farklı bazalt lif (6 mm) oranlarında (%1, %3 ve %5) sönüm oranı artmaktadır.



Şekil 3.11. 6 mm uzunluğunda bazalt lifi için farklı lif bitüm oranlarında sönüm oranının değişimi

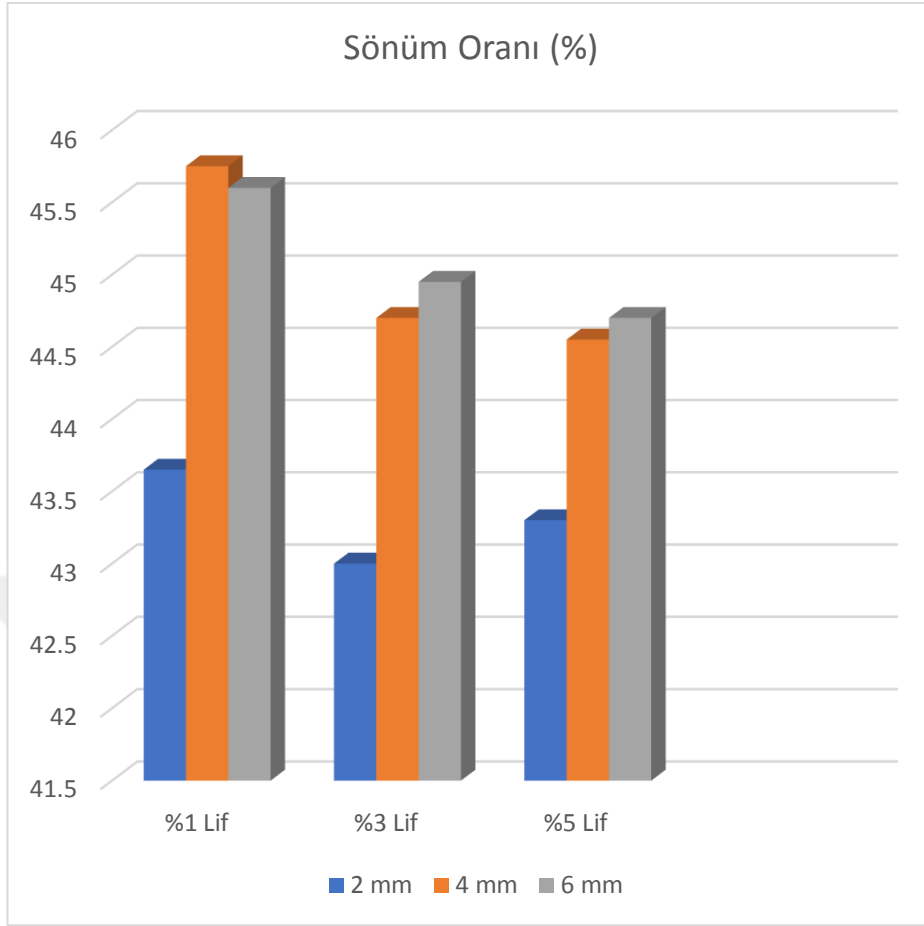
Şekil 3.12’de 6 mm uzunluğunda bazalt lifi için farklı bitüm-lif oranlarında kayma modülünün değişimi görülmektedir. Bitüm oranı arttıkça farklı bazalt lifi (6 mm) oranlarında (%1, %3 ve %5) kayma modülü (G) oranları azalmaktadır. En yüksek kayma modülü 11.8 MPa ile %8 bitüm ve %1 lif karışımından elde edilmiştir. En düşük kayma modülü ise 10.4 MPa ile %12 bitüm ve %1 lif karışımından elde edilmiştir. %1 oranında lif içeren karışımdan %5 lif içeren karışımına kadar kayma modülünde düşüş gözlenmiştir ama bu düşüş çok az gerçekleşmiştir. Buradaki deneysel çalışmanın sonuçlarına göre %1 oranında bazalt lifi içeren karışımlar en yüksek kayma modülü değerini vermektedir.



Şekil 3.12. 6 mm uzunluğunda bazalt lifi için farklı bitüm-lif oranlarında kayma modülünün değişimi

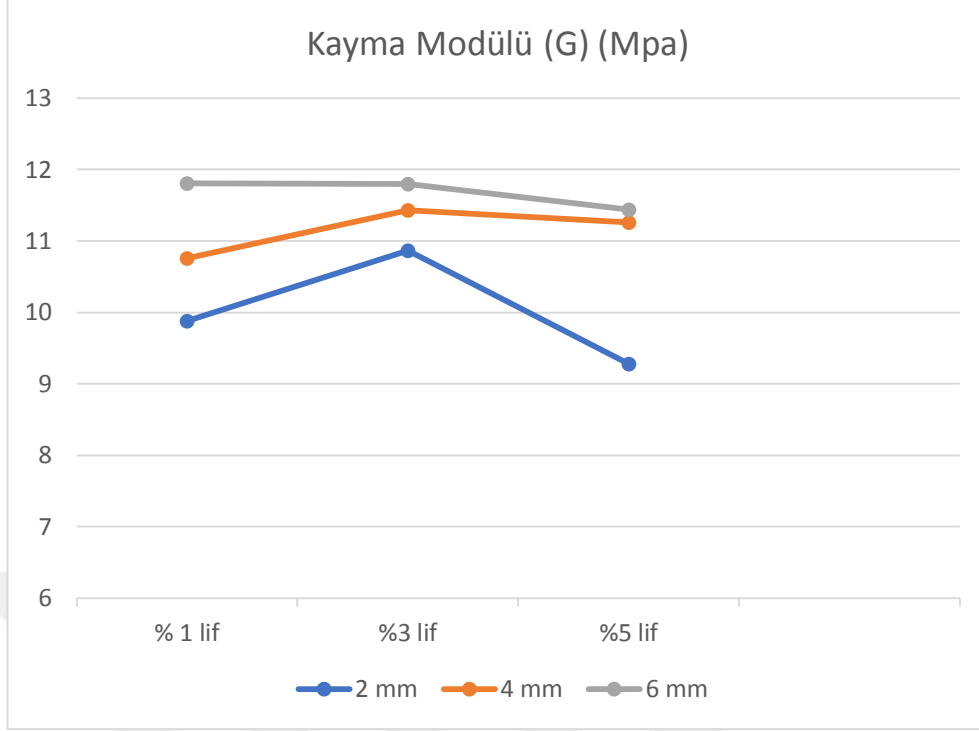
3.1.4. Kum-Bitüm-Bazalt Lif Karışımı İçin Lif Uzunluğunun Sönüm Oranına ve Kayma Modülüne Etkisi

Şekil 3.13'te lif uzunluğu ve lif oranına bağlı olarak sönüm oranının değişimi görülmektedir. Bazalt lif uzunluğu arttıkça sönüm oranında bir artış olmaktadır. Bu artış, 4 mm'lik bazalt liften 6 mm'lik bazalt life geçişte daha az gözlenmiştir. %8 bitümlü karışımli numuneler için en büyük sönüm oranı 4 mm'lik bazalt lifi lifinde yaklaşık %45.6 olarak bulunmuştur. En düşük sönüm oranı 2 mm'lik bazalt lifinde %43 olarak bulunmuştur.



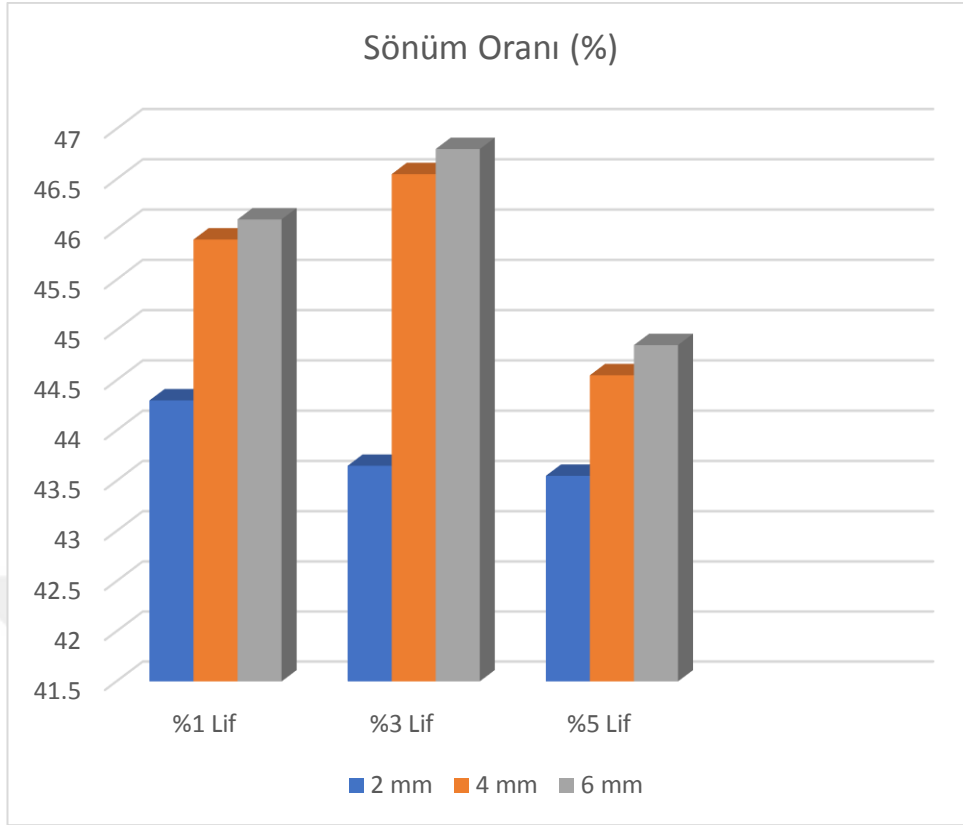
Şekil 3.13. %8 bitüm için farklı uzunluktaki lifler ve lif içeriğinin sönüm oranına etkisi

Şekil 3.14'te %8 bitüm içeren numuneler için bazalt lifi uzunluğu ve lif içeriğinin kayma modülüne etkisi görülmektedir. Deney sonuçlarına göre bazalt lifi uzunluğu arttıkça kayma modülünde bir artış sağlanmıştır. Bu artış 4 mm'lik bazalt liften 6mm'lik bazalt life geçişte daha az gözlenmiştir. %8 bitümlü numuneler için en büyük kayma modülü 6 mm'lik bazalt lifinde 11.8 MPa olarak bulunmuştur. En düşük kayma modülü 2 mm'lik bazalt lifinde bulunmuştur. Bu değer 9.2 MPa olarak bulunmuştur.



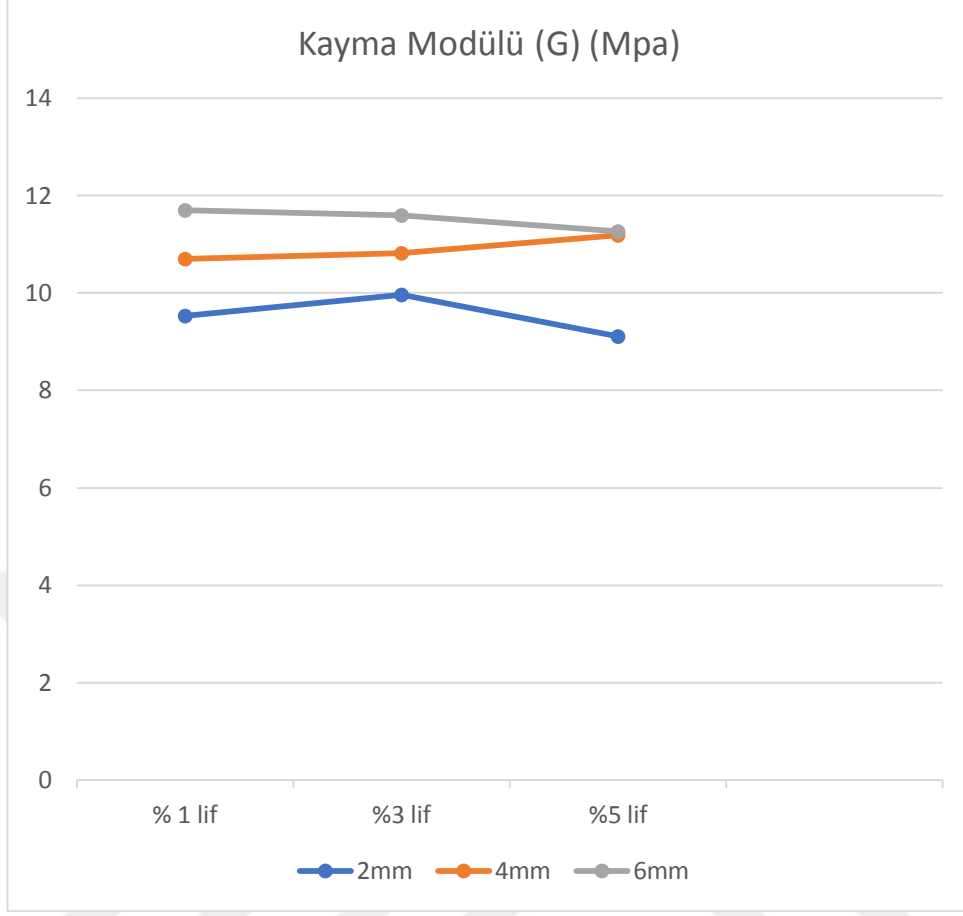
Şekil 3.14. %8 bitüm için farklı uzunluktaki lifler ve lif içeriğinin kayma modülüne etkisi

Şekil 3.15'te lif uzunluğu ve lif oranına bağlı olarak sönüm oranının değişimi %10 bitüm içeren numuneler için görülmektedir. Deney sonuçlarına göre bazalt lifi uzunluğu arttıkça sönüm oranında bir artış olmaktadır. Bu artış 4 mm'lik bazalt liften 6mm'lik bazalt life geçişte daha az gözlenmiştir. %10 bitümlü numuneler için en büyük sönüm oranı 6 mm'lik %3 karışımlı bazalt lifinde yaklaşık %46.8 olarak bulunmuştur. En düşük sönüm oranı 2 mm'lik %5 bazalt lifli örneklerde %43.6 olarak bulunmuştur.



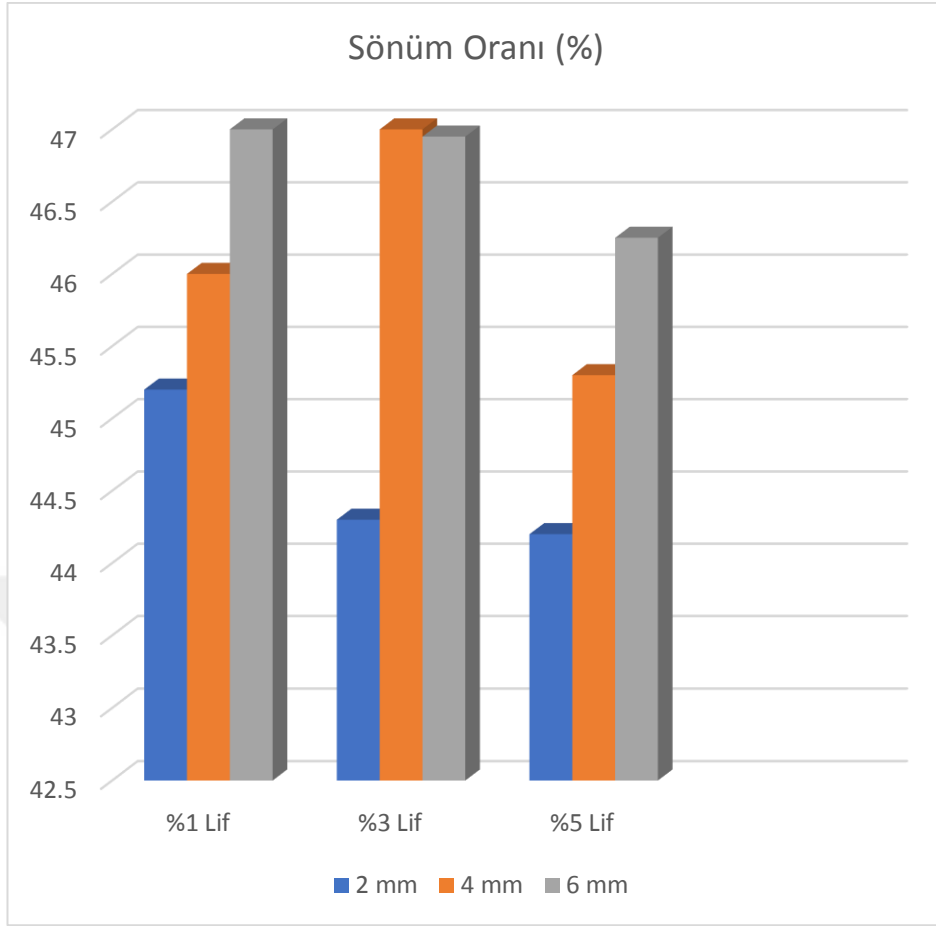
Şekil 3.15. %10 bitüm için farklı uzunluktaki lifler ve lif içeriğinin sönüm oranına etkisi

Şekil 3.16'da %10 bitüm için farklı uzunluktaki lifler ve lif içeriğinin kayma modülüne etkisi gösterilmiştir. Deney sonuçlarına göre bazalt lif uzunluğu arttıkça kayma modülünde bir artış sağlanmıştır. %10 bitümlü karışımli numuneler için en büyük kayma modülü 6 mm'lik bazalt lifinde 11.7 MPa olarak bulunmuştur. En düşük kayma modülü 2 mm'lik bazalt lifinde 9.1 MPa olarak bulunmuştur



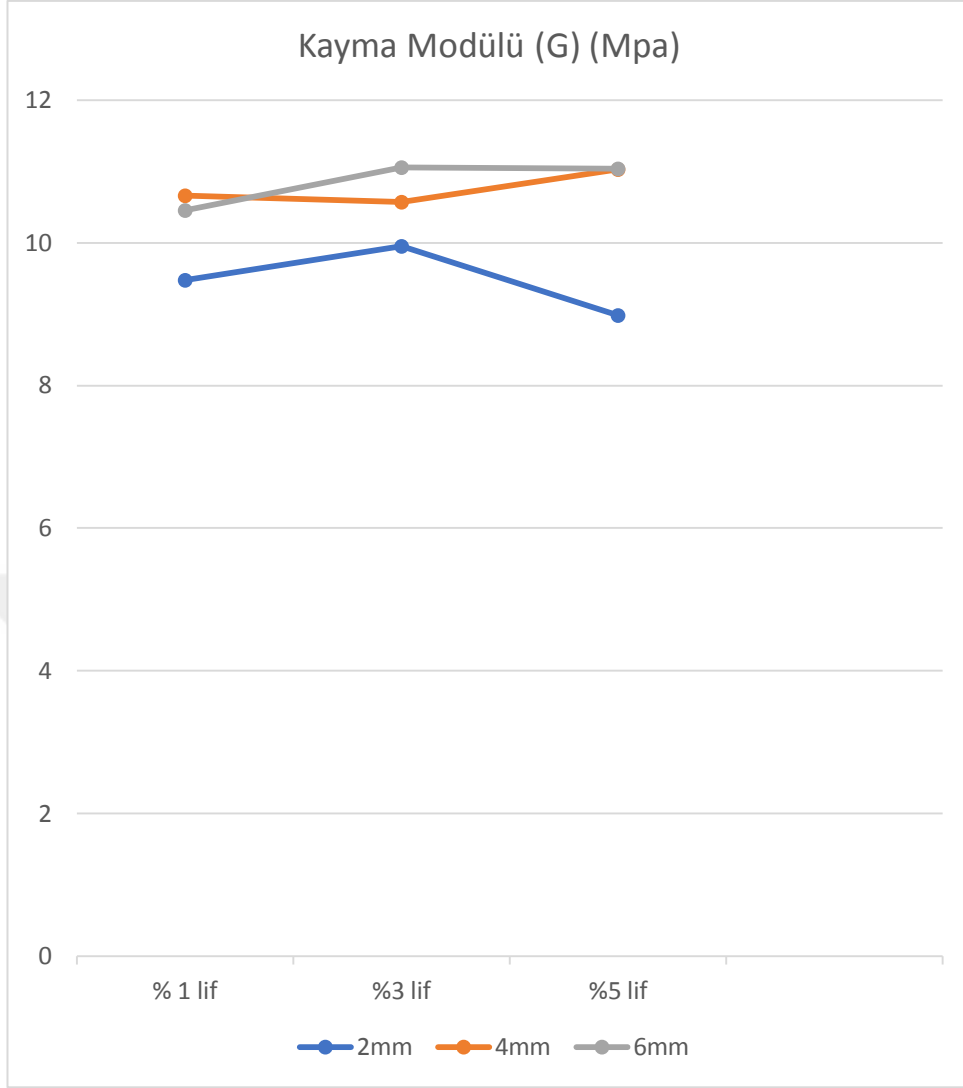
Şekil 3.16. %10 bitüm için farklı uzunluktaki lifler ve lif içeriğinin kayma modülüne etkisi

Şekil 3.17’de lif uzunluğu ve lif oranına bağlı olarak sönüm oranının değişimi %12 bitüm içeren numuneler için görülmektedir. Tez çalışması kapsamındaki deney sonuçlarına göre bazalt lif uzunluğu arttıkça sönüm oranında bir artış olmaktadır. %12 bitümlü numuneler için en büyük sönüm oranı 6 mm’lik %1 karışımlı bazalt lifinde yaklaşık %47 olarak bulunmuştur. En düşük sönüm oranı 2 mm’lik %5 karışımlı bazalt lifinde %44.2 olarak bulunmuştur.



Şekil 3.17. %12 bitüm için farklı uzunluktaki lifler ve lif içeriğinin sönüm oranına etkisi

Şekil 3.18’de %12 bitüm için farklı uzunluktaki lifler ve lif içeriğinin kayma modülüne etkisi görülmektedir. Deney sonuçlarına göre bazalt lif uzunluğu arttıkça kayma modülünde bir artış sağlanmıştır. 4 mm’den 6 mm’e geçişte bu artış az gerçekleşmiştir. %12 bitümlü karışımlı numuneler için en büyük kayma modülü 6 mm’lik bazalt lifinde 11.1 MPa olarak bulunmuştur. En düşük kayma modülü 2 mm’lik bazalt lifinde bulunmuştur. Bu değer 9.0 Mpa’dır.



Şekil 3.18. %12 bitüm için farklı uzunluktaki lifler ve lif içeriğinin kayma modülüne etkisi

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, lifli bitümle stabilize edilmiş kum zeminlerin dinamik özelliklerinin çeşitli parametrelere bağlı olarak değişimi deneysel olarak incelenmiştir. Laboratuvarda hazırlanan numunelerin dinamik özelliklerini belirlemek için çevrimsel basit kesme deneyleri yapılmıştır. Deneysel çalışmada tüm kum-lifli bitüm karışımlarının sönüm oranları ve kayma modülleri belirlenmiş ve karşılaştırılmıştır. Yapılan deneysel çalışmaların sonuçları aşağıda sıralanmaktadır:

- Literatürde yapılan çalışmalara benzer olarak tüm kum-lifli bitüm karışım çeşitlerinde bitüm oranındaki artışa bağlı olarak sönüm oranında artış sağlanmıştır. Bununla birlikte bitüm oranındaki artış kayma modülünde azalmaya sebebiyet vermektedir.
- Bazalt, selüloz ve polipropilen lifleriyle hazırlanan numuneler arasında en yüksek sönüm oranını veren lif bazalt lifli (4 mm ve 6mm uzunluklu lifli karışımda yaklaşık aynı değerde) karışımı numunede (%3 lif ve %12 bitüm karışımı) %47 olarak bulunmuştur. Ayrıca en yüksek kayma modülü de bazalt lifli (6 mm uzunluklu lifli karışım) karışımdan (%1 lif ve %8 bitüm karışımı) elde edilmiştir ve bu değer 11.8 MPa dır. En yüksek sönüm oranına sahip olduğu için en uygun malzeme bazalt lifli karışımı malzeme olarak bulunmuştur.
- Bazalt, selüloz ve polipropilen lifleriyle hazırlanan numuneler arasında en düşük sönüm oranını veren lif polipropilen karışımı numunede (%5 lif ve %8 bitüm karışımı) %42.15 olarak bulunmuştur. Ayrıca en düşük kayma modülü de bazalt lifli (2 mm uzunluklu lifli karışım) karışımdan (%5 lif ve %12 bitüm karışımı) elde edilmiştir ve bu oran 9 MPa dır.
- Yalnızca bazalt lifli numunelerde lif uzunluğunun dinamik özelliklere etkisi incelenmiştir. Lif uzunluğunun sönüm oranına etkisi incelendiğinde uzunluk arttıkça sönüm oranında bir artış gözlenmiştir. Ayrıca lif uzunluğunun kayma modülüne etkisi incelendiğinde; lif uzunluğu arttıkça kayma

modülünde artış meydana gelmiştir ama bu artış fazla değildir. En uzun lif 6mm olduğundan en uygun uzunluk 6 mm olarak bulunmuştur.

- Lif içeriğinin sönüm oranına etkisi incelendiğinde selüloz lifinde %3'lük lif içeriğine kadar sönüm oranında artış, %5'lik lif içeriğinde sabitlenme gözlenmiştir. Yani selüloz lifi için lif oranı arttıkça sönüm oranı artar. Bu polipropilen lifi içinde aynı çıkmıştır fakat %5'lik polipropilen lif içeriğinde azalma gözlenmiştir. Bazalt lifi içinde polipropilen lifine benzer sonuçlar gözlenmiştir.
- Lif içeriğinin kayma modülüne etkisi incelendiğinde tüm liflerde %3'lük lif içeriğine kadar kayma modülünde artış gözlenmiş olup %5'lik lif içeriğinde azalma gözlenmiştir. En yüksek kayma modülü %3'lük lif içeriğinde bulunmuştur.

5. KAYNAKLAR

- Acun, S., 2000. Yüksek Dayanımlı Beton Üretiminde Dizayn Parametresi Olarak Lifsel Katkıların İrdelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Barbero, E.J., 1999. Introduction to Composite Materials Design, Edwards Brothers, Ann Arbor, MI, U.S.A.
- Biber, S.A., 2001. Karmaşık Çelik Tel Takviyeli Betonların Mekanik Davranışı, Bitirme Ödevi, İT.Ü., İnşaat Fakültesi, İstanbul
- Brik, V. B., 1998. Ramakrishnan, V. Tolmare ,N. Performance evaluation of 3-D basalt fiber reinforced concrete & basalt rod reinforced concrete, Idea Program Final Report, Contract No. NCHRP-45.
- Brik, V.B., 2003. Advanced concept concrete using basalt fiber/BF composite rebar reinforcement, Final Report for Highway-IDEA Project 86.
- Bunsell, A. R., 1988. Fiber Reinforcement for Composite Materials, Composite Materials Series, Elsevier Science, The Netherlands, 2, 93
- Chawla K.K., 1998. Fibrous Materials, Cambridge University Pres, Cambridge
- Chen, J.S. ve Lin, K.Y., 2005. Mechanism and Behavior of Bitumen Strength Reinforcement Using Fibers, Journal Of Materials Science, 40, 87-95
- Çalık, Ü., 2012. Perlitin Puzolanik Katkı Olarak Kireç ile Birlikte Zemin Stabilizasyonunda Kullanımı, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Çınar, H., 2014. Zemin İyileştirilmesinde Jet Grout Yöntemi Ve Uygulamaya Yönelik Proje Çalışmaları, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri
- Das, B.M. ve Ramana, G.V., 2011. Principles of Soil Dynamics, Cengage Learning.
- Deb, S., 2012. The Impact of basaltic fibre on selected physical and mechanical properties of cement mortar, Composite Materials, 286-290.
- Denoyelle, T., 2011. Mechanical properties of materials made of nano-cellulose, 2, KTH Engineering Science, Stockholm/Sweden
- Erdoğan, Ü., 2008. Jeotekstillerde Kullanılan Polipropilen Liflerin Kullanım Anındaki Özelliklerinin Çeşitli Metotlarda İncelenmesi, Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

- Eren, Ü., 2008. Asfaltitin Asfalt Betonunda Mineral Filler Olarak Kullanılması. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon
- Ersoy, H. Y., 2001. Kompozit Malzeme, Literatür Yayınları, İstanbul, 66-67
- Ersoy, H., 2008. Kompozit Malzemeler, Literatür Yayınları.
- Feng, C. M., Dong, Z. D., Young, L. ve Ping, S. Y., 2017. The Dynamic Modulus of Asphalt Mortar and Its Master Curve, Journal of Highway and Transportation Research and Development, 11,2,22-26
- Ferguson, G., 1993. Use of Self-Cementing Fly Ashes As A Soil Stabilization Agent, Fly Ash for Soil Improvement, Geotechnical Special Publication, No:36, s. 1-15, Ed.:Sharp K.D., ASCE, Newyork.
- Gerkuş, H., 2011. Dynamic Properties And Static Behavior Of Fiber Reinforced Sand, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Ghabaee, S., 2015. Kireç ile Stabilize Edilmiş Bentonitin Kür Süresinin Mukavemet Üzerinde Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Güler, N.,2008. Rejenere Selüloz Liflerin Yüzey Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- Hardin, B. O. ve Black, W. L., 1968. "Vibration Modulus of Normally Consolidated Clays," Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, Vol. 94, No. SM2, 353-369.
- Kılıç, G., 2008. Çimento ile Zemin Stabilizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kızılkant, A. B., Kabay, N., Akyüncü, V., ve Erdoğan, G., 2014. Basalt Fibers and Mechanical Properties of Basalt Fiber Reinforced Concrete, Journal of Engineering and Natural Sciences, 444-452.
- Kurt, G., 2006. Lif İçeriği ve Su/Çimento Oranının Fibrobetonun Mekanik Davranışına Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kuvat, A., 2019. Bitümlü Sönümleyici Geomateryallerin Tasarlanması ve Sismik İzolasyon Amaçlı Kullanılabilirliklerinin Sayısal Olarak İncelenmesi. Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon
- Lee, Y. T., Lee, J.H., Hwang, H.S. ve Kim, Y. D.,2002. Performance of concrete structures retrofitted with fiber reinforced polymers, Mag Korean Conc Inst, 14, 4, 89-96.
- Li,H. Ve Senakatis,K., 2018. Modulus Reduction and Damping Increase of Two Sands Reinforced with Polypropylene Fibers, American Society of Civil Engineers ,30, 0899-1561

- Ludovico, M., Prota, A. ve Manfredi, G., 2010. Structural upgrade using basalt fibers for concrete confinement, Journal of Composites for Construction ASCE.
- M.E.B., 2011. Giyim Üretim Teknolojisi, Tekstil Lifleri Modülü, Ankara, 4-22
- Nicholson, P.O., Kashyap, V., 1993. Fly ash Stabilization of Tropic Hawaiian Soils, Fly Ash for Soil Improvement, Geotechnical Special Publication, No: 36, s. 15-30, Ed.: Sharp K.D., ASCE, Newyork.
- Özaydın, K., 2012. “Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği”, Ondördüncü Ulusal Kongresi 4-5 Ekim 2012, İstanbul.
- Özpolat, N., 2020. Kireç, Uçucu Kül Ve Mermer Tozu İle Zemin Stabilizasyonu , Sürdürülebilir Mühendislik Uygulamaları ve Teknolojik Gelişmeler Dergisi ,3,1, 38-53
- Patel. A., 2019. Geotechnical Investigation and Improvement of Ground Conditions, Elsevier, Soil Stabilization, s19-27
- Purushothama, R., 2013. Ground Improvement Techniques. Laxmi Publications Pvt. Ltd, New Delhi.
- Rabinovich, M.L., Melnik, M.S. ve Bolobova, A.V., 2002. Microbial celluloses: a review. Appl. Biochem. Microbiol. 38, 305–321
- Sachurada, I, Nukushina Y ve Ito T., 1962. Experimental Determination of the Elastic Modulus of Crystalline Regions in Oriented Polymere. Journal of Polymer Science, 52, 651-660.
- Satyakumar, M. Ve Satheeshchandran, R., 2013. Experimental Investigations of Effect of Sulphur on Beach Sand–Fly Ash–Asphalt (S-F-A) Paving Mixes, Civil Engineering Dimension, 15,1,36-42
- Stuart, K.D. ve Malmquist, P., 1994. Transport. Res. Record.
- Süleyman, M., 1965. Yol Yapımında Bitümlü Stabilizasyonlar, Bayındırlık Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü, Ankara, 3-36
- Taher, B.M., Mohamed, R.K. ve Mahrez, A., 2011. A review on fatigue and rutting performance of asphalt mixes., Sci. Res. Essays 6, 670–682
- Taşçı, G., 2011. Problemlili kil zeminin geoteknik özelliklerine silis dumanı ve kireç katkısının etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Tunç, A., 2002. “Yol Mühendisliğinde Geoteknik ve Uygulamaları” Atlas Yayın Dağıtım, İstanbul.
- URL-1, <http://www.tekniktekstiller.com/articles/seramik-lifleri>, 27.01.2021

- URL-2, <https://www.istanbulteknik.com/asfalt-urunleri/hipercell-selulozik-elyaf>, 27.01.2021
- URL-3, https://www.dostkimya.com/tr/urunler/elyaf-katkilar/yapi-kimyasallari-katkilari/polipropilen-elyaf-kirpilmis_, 28.01.2021
- URL-4, <https://www.dostkimya.com/tr/urunler/elyaf-katkilar//bazalt-elyaf-kirpilmis>, 28.01.2021
- URL-5, [https://www.tupras.com.tr/uploads/Urunler2/BITUM_50_70_\(750\).pdf](https://www.tupras.com.tr/uploads/Urunler2/BITUM_50_70_(750).pdf), 27.01.2021
- URL-6, [https://www.tupras.com.tr/uploads/Urunler2/BITUM_70_100_\(760\).pdf](https://www.tupras.com.tr/uploads/Urunler2/BITUM_70_100_(760).pdf), 27.01.2021
- URL-7, [https://www.tupras.com.tr/uploads/Urunler2/BITUM_100_150_\(770\).pdf](https://www.tupras.com.tr/uploads/Urunler2/BITUM_100_150_(770).pdf), 27.01.2021
- URL-8, [https://www.tupras.com.tr/uploads/Urunler2/BITUM_160_220_\(780\).pdf](https://www.tupras.com.tr/uploads/Urunler2/BITUM_160_220_(780).pdf), 27.01.2021
- Ünver, E., 2015. Problemlili Kıl Zeminlerin Uçucu Kıl ile İyileştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Waldron, L. J., 1977: Shear resistance of root-permeated homogeneous and stratified soil, Soil Science Society of America Proceedings, 41, 843-849
- Wasti, Y., 1990. Uçucu Küllerin Geoteknik Özellikleri ve Kullanım Olanakları, İMO Teknik Dergi, Cilt: 1, Sayı: 4, s. 177-188, Ankara.
- Winterkorn, H., F., ve Fang, H., Y., 1975. Foundation Engineering Handbook, Van Nostrand Reinhold Publication, London, 176
- Yalçınkaya, Ç., Yapı Malzemesi I: Bitümlü Malzemeler. http://www.caglaryalcinkaya.com/FileUpload/ks149954/File/16-bitumlu_malzemeser-cyweb.pdf 15 Nisan 2021
- Yeşilçiçek, H., 2016. Kolemanitin Zemin Stabilizasyonunda Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü., Fen bilimleri Enstitüsü, Trabzon
- Zardari, S., 2020. Termoplastik Elastomerlerle (TPE) Modifiye Bitüm Katkılı Geoteknik Sismik İzolasyon (GSİ) Malzemesi Araştırılması ve Yapı Davranışına Etkisi İncelenmesi. Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon
- Zarei, A., Zarei, M. ve Janmohammadi, O., 2019. Evaluation of the Effect of Lignin and Glass Fiber on the Technical Properties of Asphalt Mixtures, Arabian Journal for Science and Engineering, 44, 4085–4094

Zehtab, H. K., 2010. An assessment of dynamic properties of Adapazarı soils by cyclic direct simple shear tests. Yüksek Lisans Tezi, Mühendislik Bilimleri Bölümü, Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Ankara



6. EKLER

Tekrarlı basit kesme deneyi histerezis eğrileri ve kayma modülü grafikleri (Tüm deneyler için için $\sigma_v=200$ Kpa ve $CSR=0.6$).

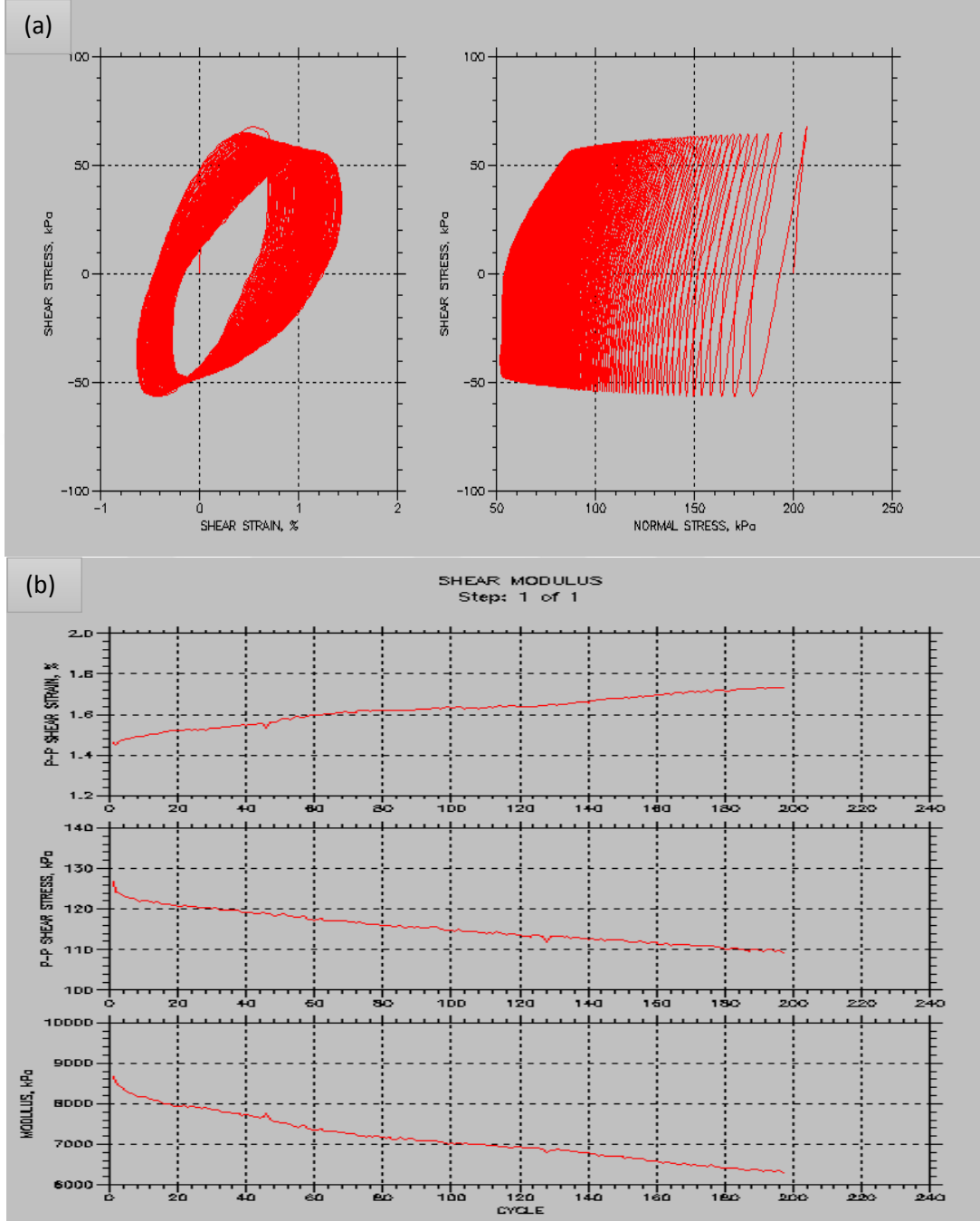
Formüller:

$$D = (A_{\text{loop}}) / (4\pi * A_{\text{triangle}}) * 100 \quad (\text{E.1})$$

$$G = \sigma / \gamma \quad (\text{E.2})$$



Ek 1. Selüloz Lifli Numuneler ve Grafikleri

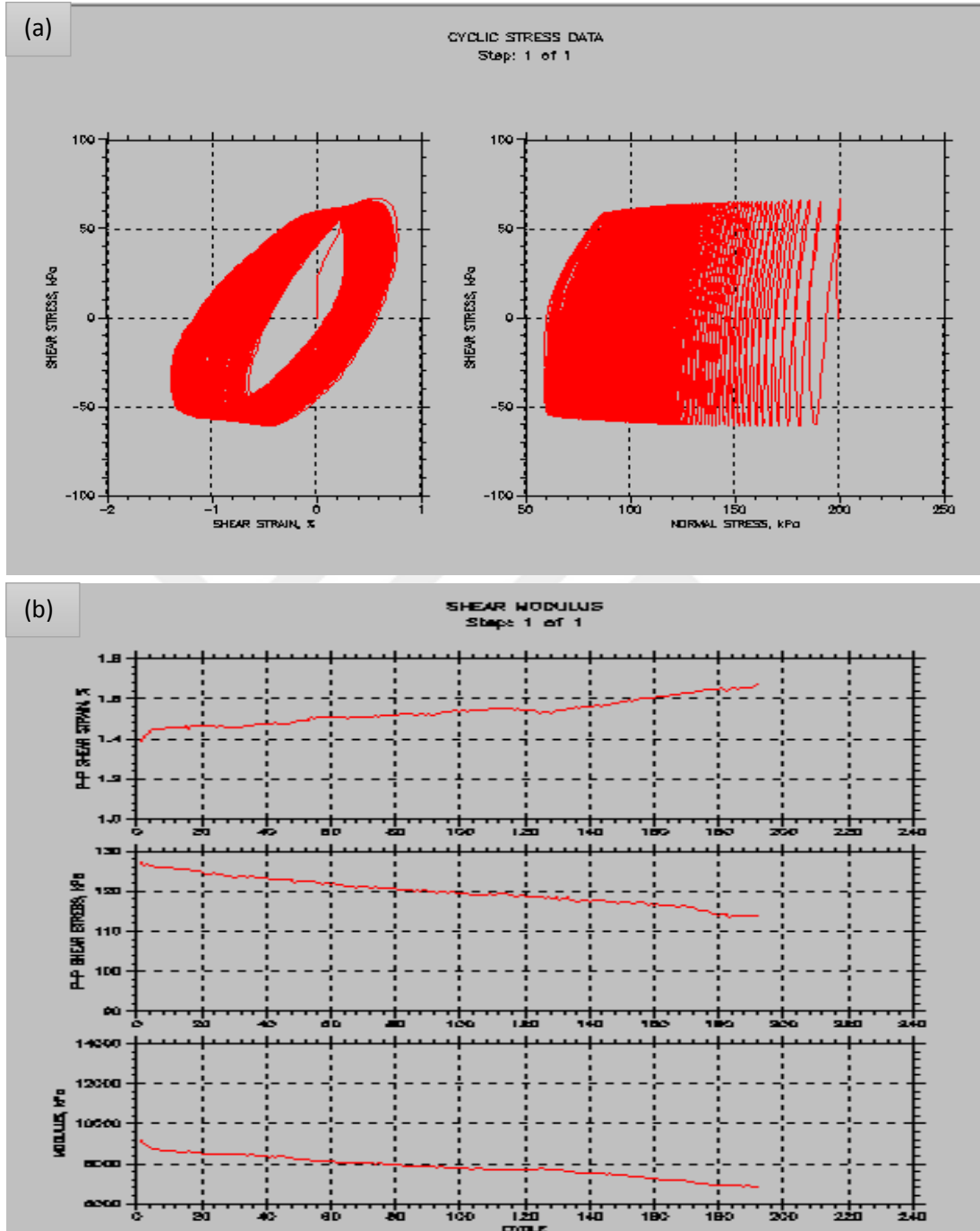


Ek Şekil 1. a) Şekil değiştirme-kayma gerilmesi grafiği
b) Kayma modülü-çevrim sayısı grafiği

Ek Tablo 1. Selüloz lif sonuçları

SELÜLOZ			
LİF ORANI(%)	BİTÜM ORANI(%)	DAMPİNG(%)	G MODÜLÜS(KPA)
1	8	44,9	10379,55

Ek 1'in Devamı

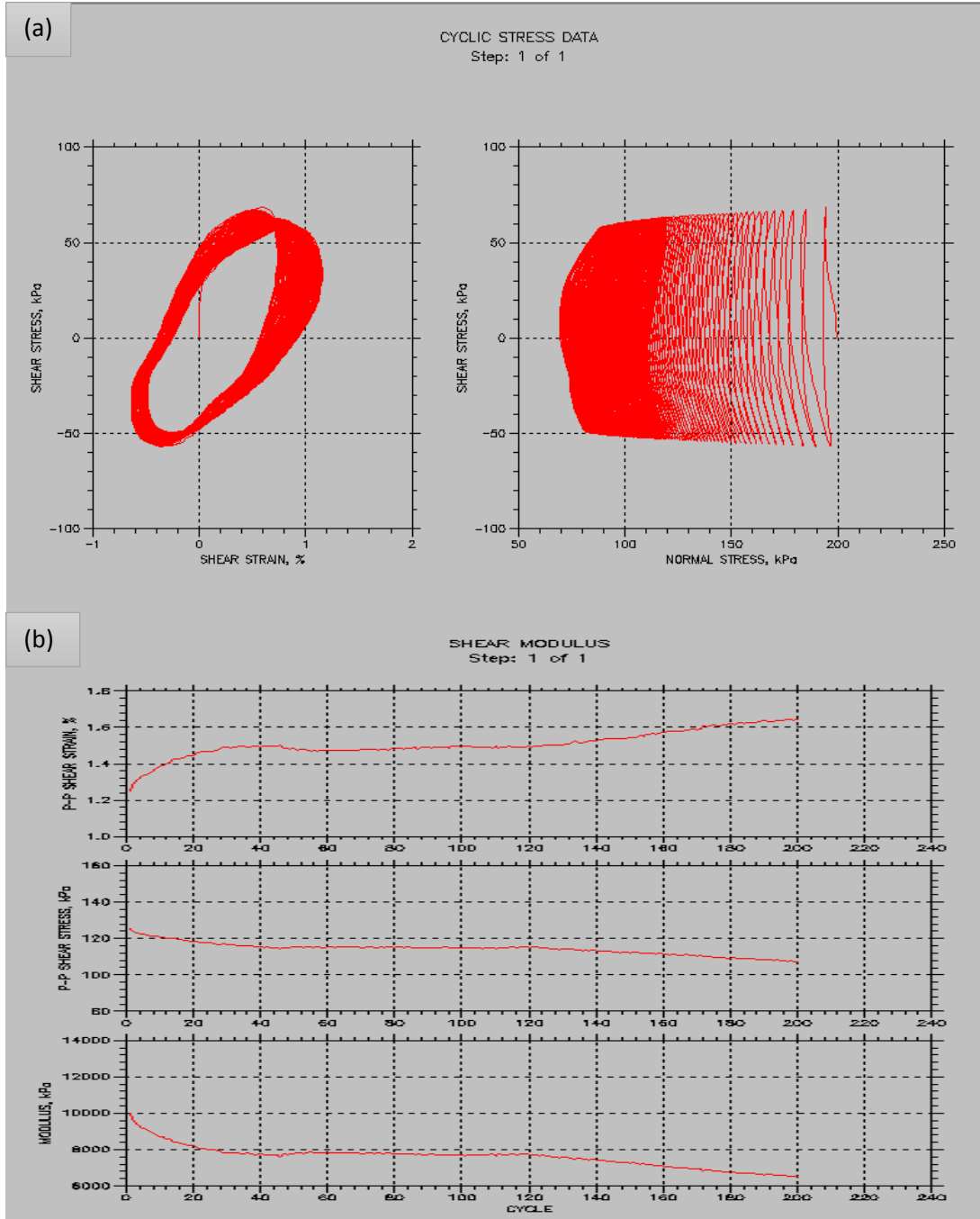


Ek Şekil 2. a) Şekil değiştirme-kayma gerilmesi grafiği
b) Kayma modülü-çevrim sayısı grafiği

Ek Tablo 2. Selüloz lif sonuçları

SELÜLOZ			
LİF ORANI(%)	BİTÜM ORANI(%)	DAMPİNG(%)	G MODÜLÜS(KPA)
3	8	44,1	11179,4

Ek 1'in Devamı

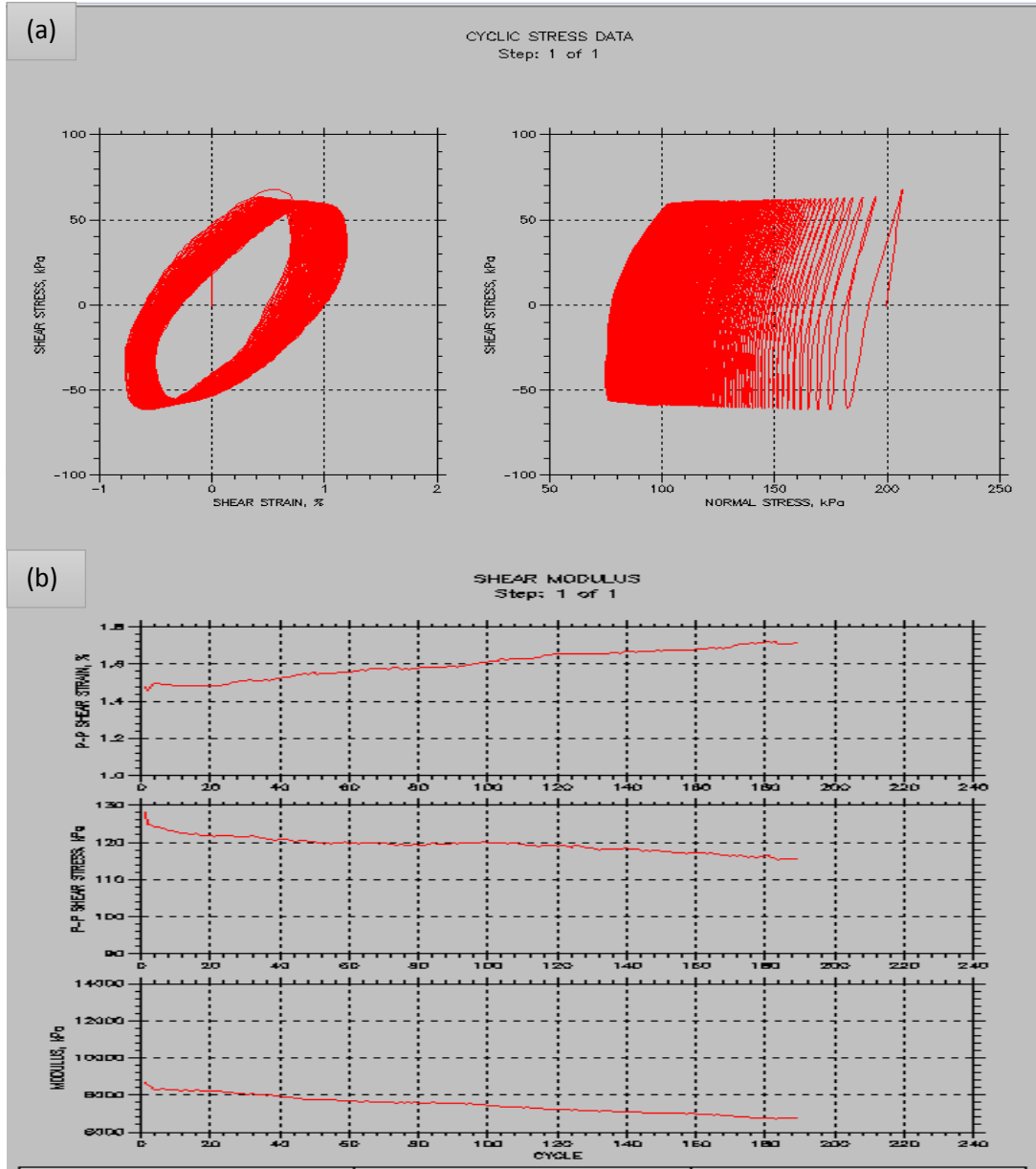


Ek Şekil 3. a) Şekil değiştirme-kayma gerilmesi grafiği
b) Kayma modülü-çevrim sayısı grafiği

Ek Tablo 3. Selüloz lif sonuçları

SELÜLOZ			
LİF ORANI(%)	BİTÜM ORANI(%)	DAMPİNG(%)	G MODÜLÜS(KPA)
3	8	44,1	11179,4

Ek 1'in Devamı

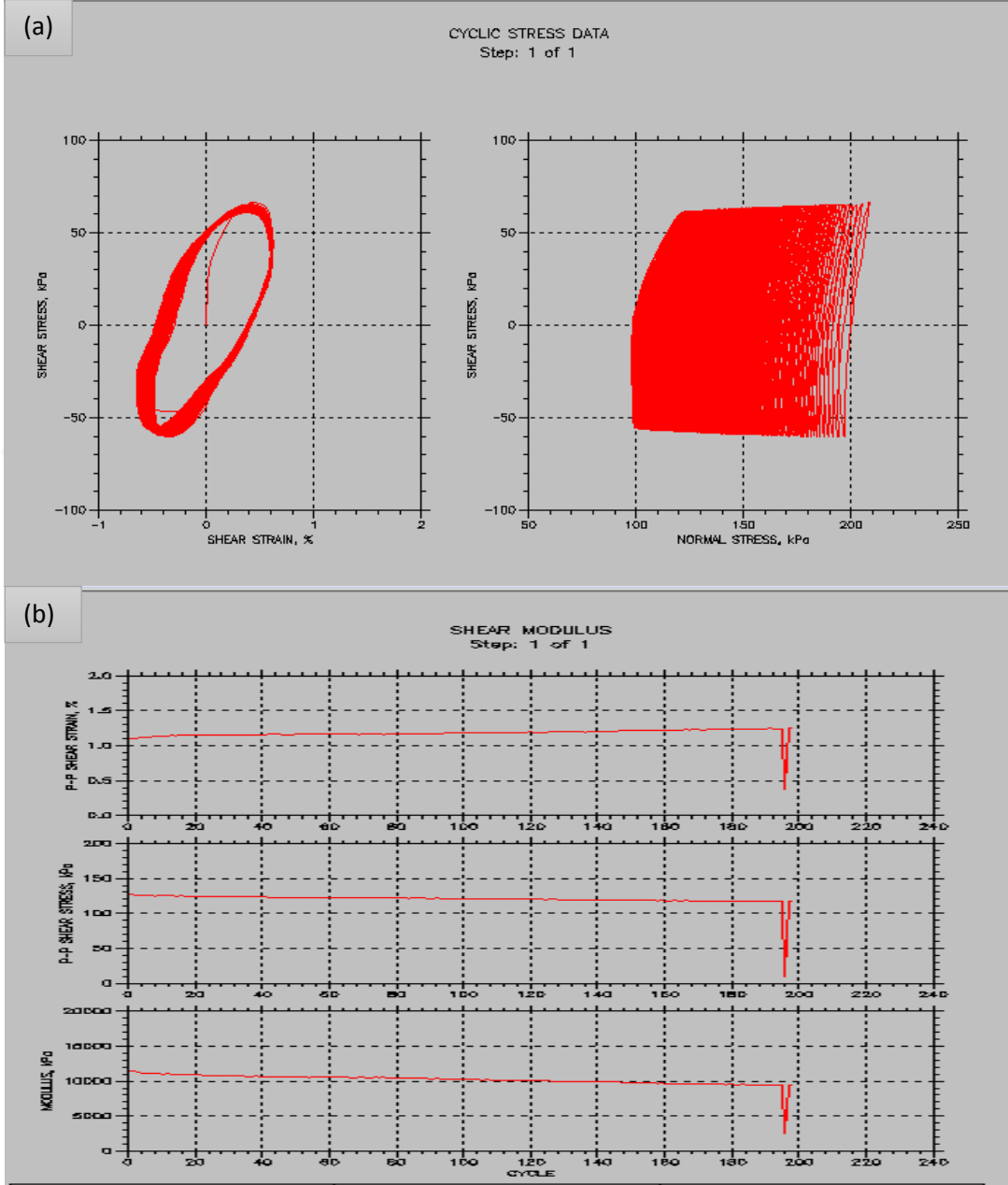


Ek Şekil 4. a) Şekil değiştirme-kayma gerilmesi grafiği
b) Kayma modülü-çevrim sayısı grafiği

Ek Tablo 4. Selüloz lif sonuçları

SELÜLOZ			
LİF ORANI(%)	BİTÜM ORANI(%)	DAMPİNG(%)	G MODÜLÜS(KPA)
5	8	42,6	9573,2

Ek 1'in Devamı

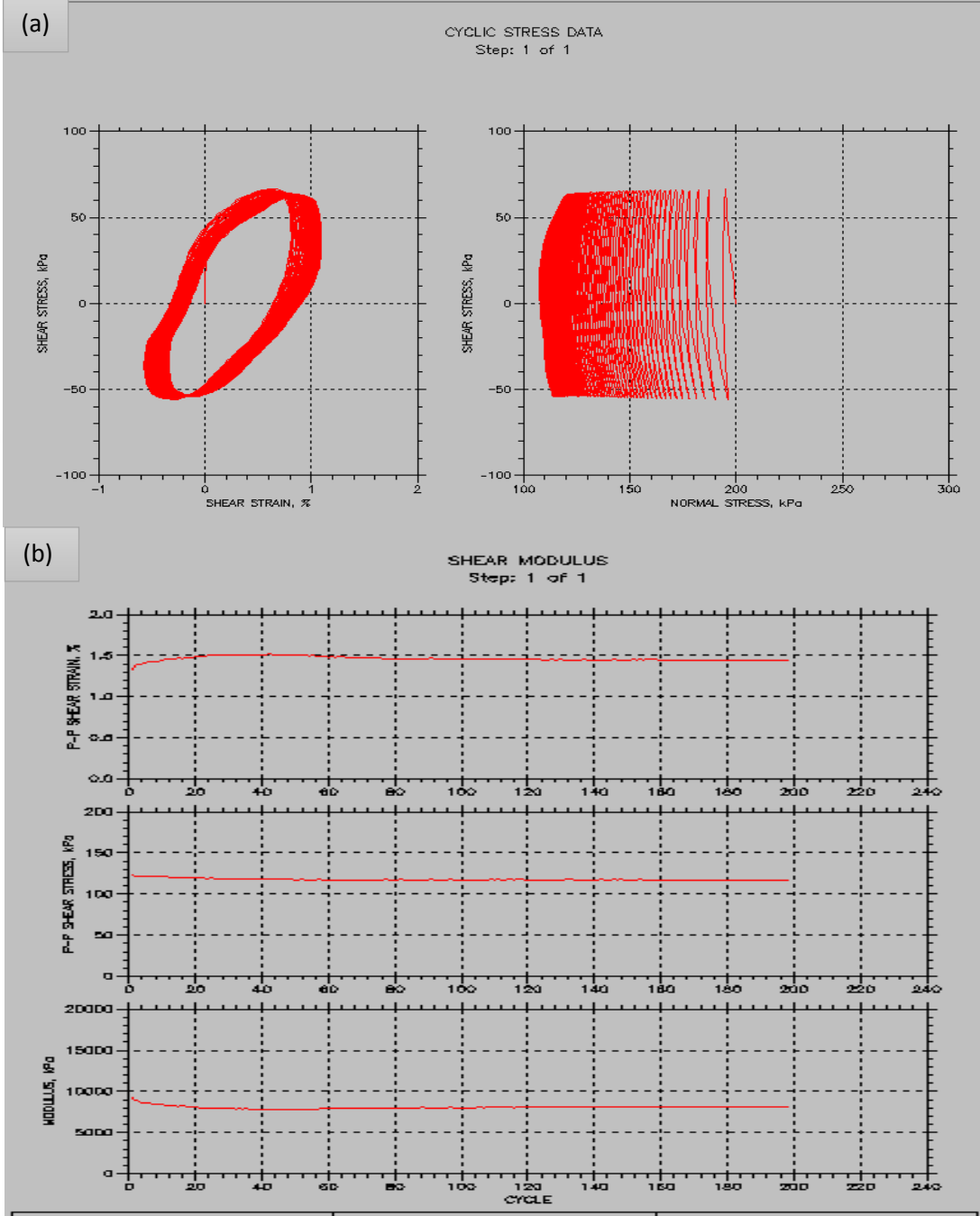


Ek Şekil 5. a) Şekil değiştirme-kayma gerilmesi grafiği
b) Kayma modülü-çevrim sayısı grafiği

Ek Tablo 5. Selüloz lif sonuçları

SELÜLOZ			
LİF ORANI(%)	BİTÜM ORANI(%)	DAMPİNG(%)	G MODÜLÜS(KPA)
1	10	45,2	9690,8

Ek 1'in Devamı

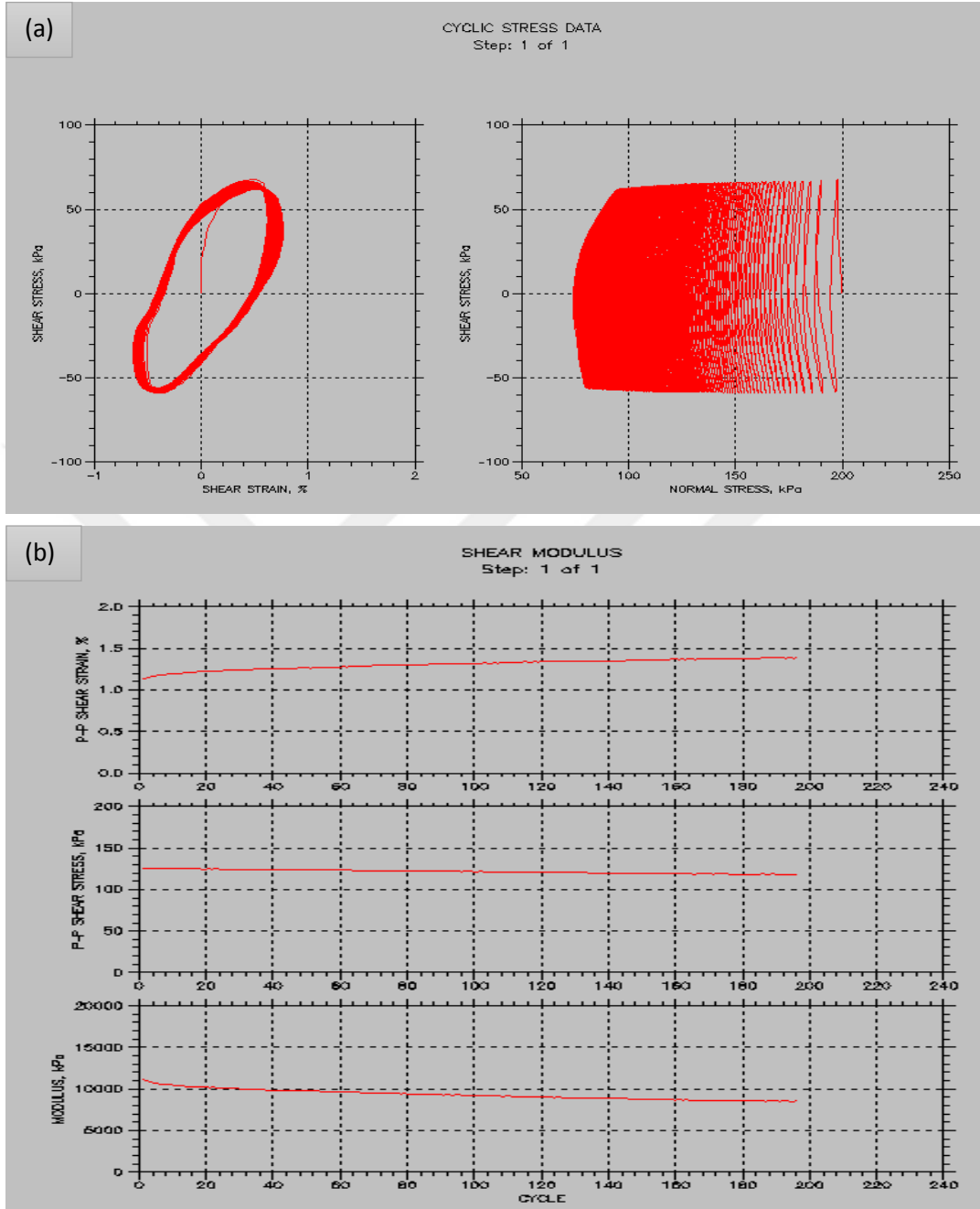


Ek Şekil 6. a) Şekil değiştirme-kayma gerilmesi grafiği
b) Kayma modülü-çevrim sayısı grafiği

Ek Tablo 6. Selüloz lif sonuçları

SELÜLOZ			
LİF ORANI(%)	BİTÜM ORANI(%)	DAMPİNG(%)	G MODÜLÜS(KPA)
3	10	44,4	13425

Ek 1'in Devamı

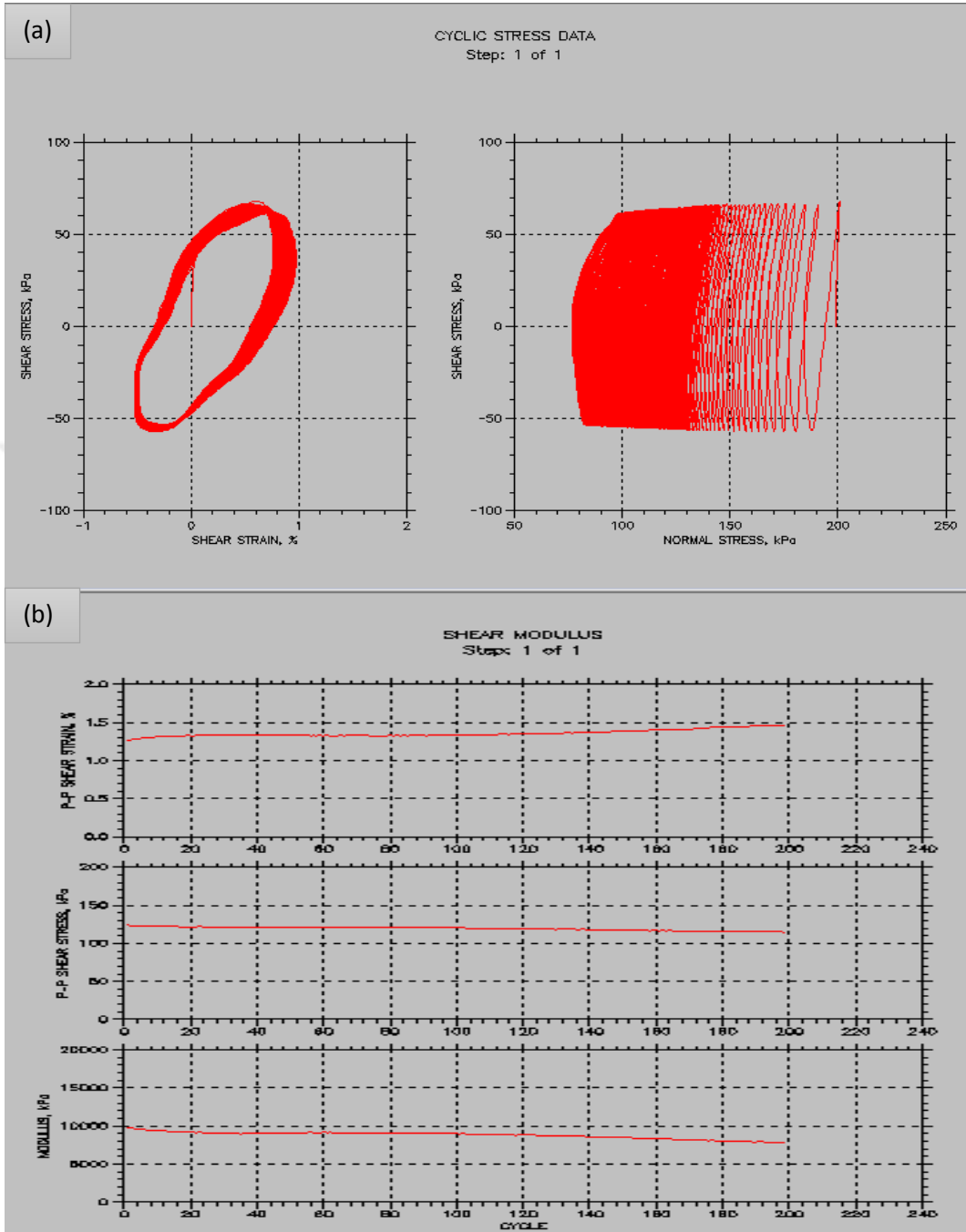


Ek Şekil 7. a) Şekil değiştirme-kayma gerilmesi grafiği
b) Kayma modülü-çevrim sayısı grafiği

Ek Tablo 7. Selüloz lif sonuçları

SELÜLOZ			
LİF ORANI(%)	BİTÜM ORANI(%)	DAMPİNG(%)	G MODÜLÜS(KPA)
5	10	44,7	9548,5

Ek 1'in Devamı

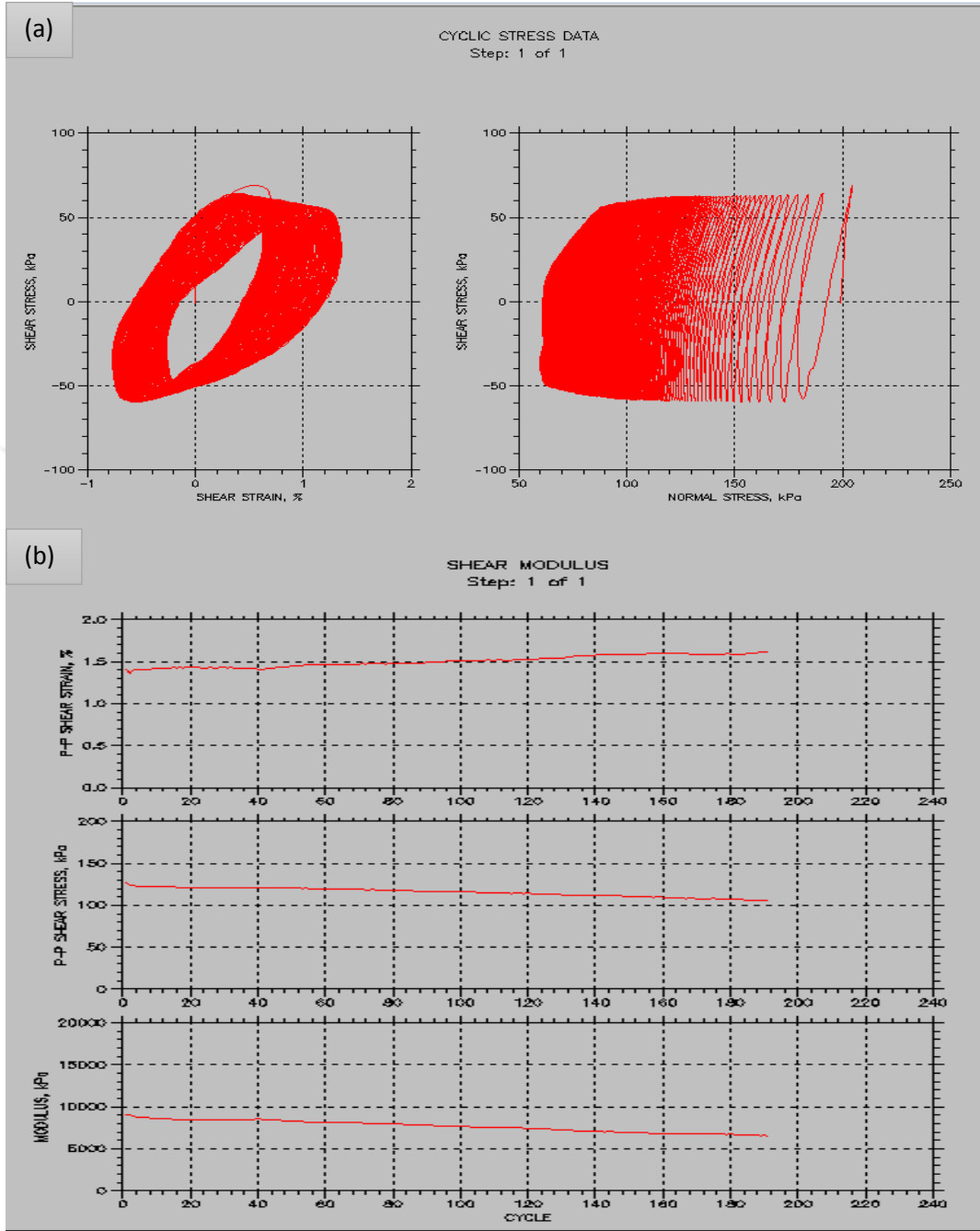


Ek Şekil 8. a) Şekil değiştirme-kayma gerilmesi grafiği
b) Kayma modülü-çevrim sayısı grafiği

Ek Tablo 8. Selüloz lif sonuçları

SELÜLOZ			
LİF ORANI(%)	BİTÜM ORANI(%)	DAMPİNG(%)	G MODÜLÜS(KPA)
1	12	46,1	13058,5

Ek 1'in Devamı

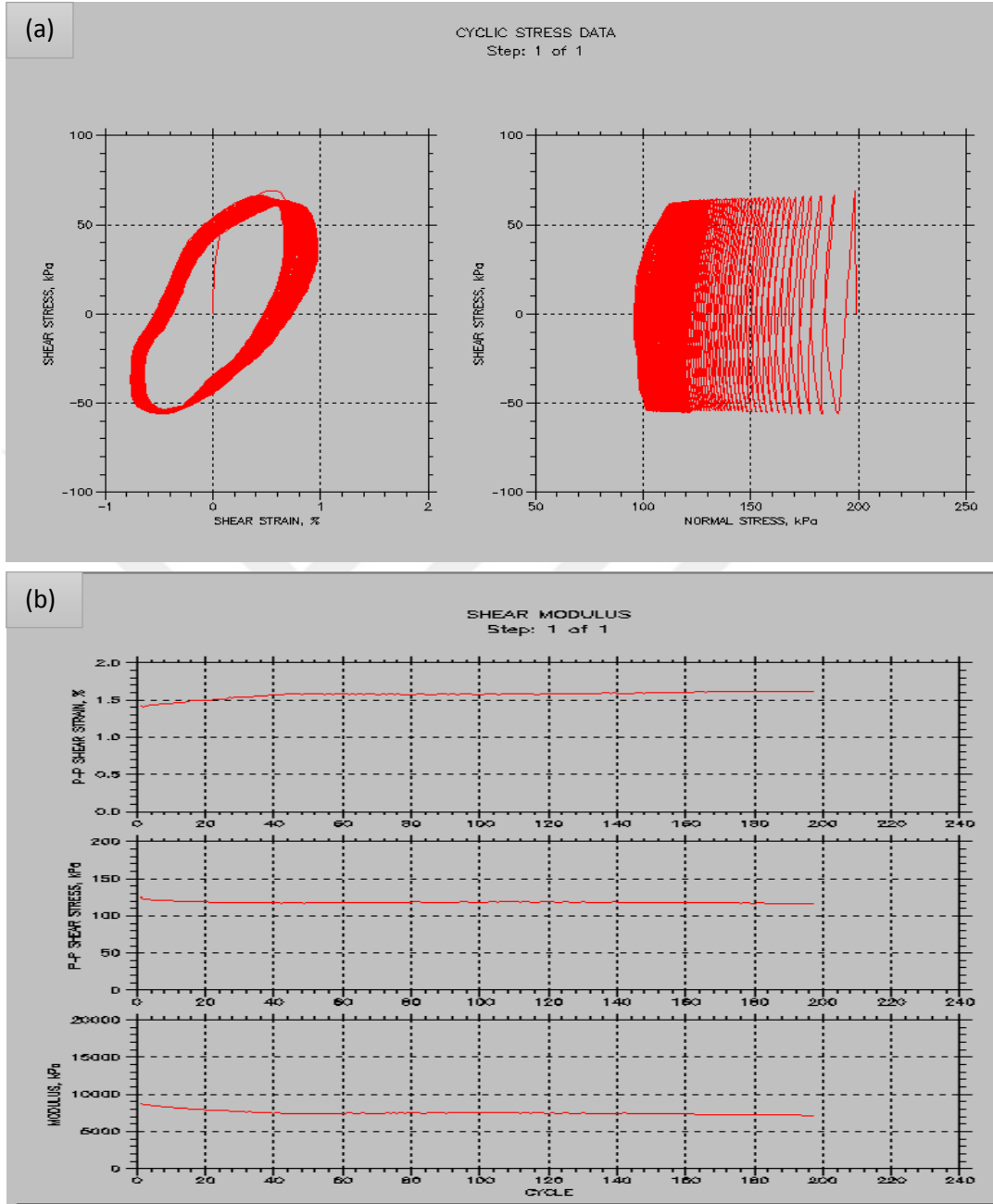


Ek Şekil 9. a) Şekil değiştirme-kayma gerilmesi grafiği
b) Kayma modülü-çevrim sayısı grafiği

Ek Tablo 9. Selüloz lif sonuçları

SELÜLOZ			
LİF ORANI(%)	BİTÜM ORANI(%)	DAMPİNG(%)	G MODÜLÜS(KPA)
3	12	45	10945,65

Ek 1'in Devamı



Ek Şekil 10. a) Şekil değiştirme-kayma gerilmesi grafiği
b) Kayma modülü-çevrim sayısı grafiği

Ek Tablo 10. Selüloz lif sonuçları

SELÜLOZ			
LİF ORANI(%)	BİTÜM ORANI(%)	DAMPİNG(%)	G MODÜLÜS(KPA)
5	12	45,1	9446,2

Ek 1'in Devamı

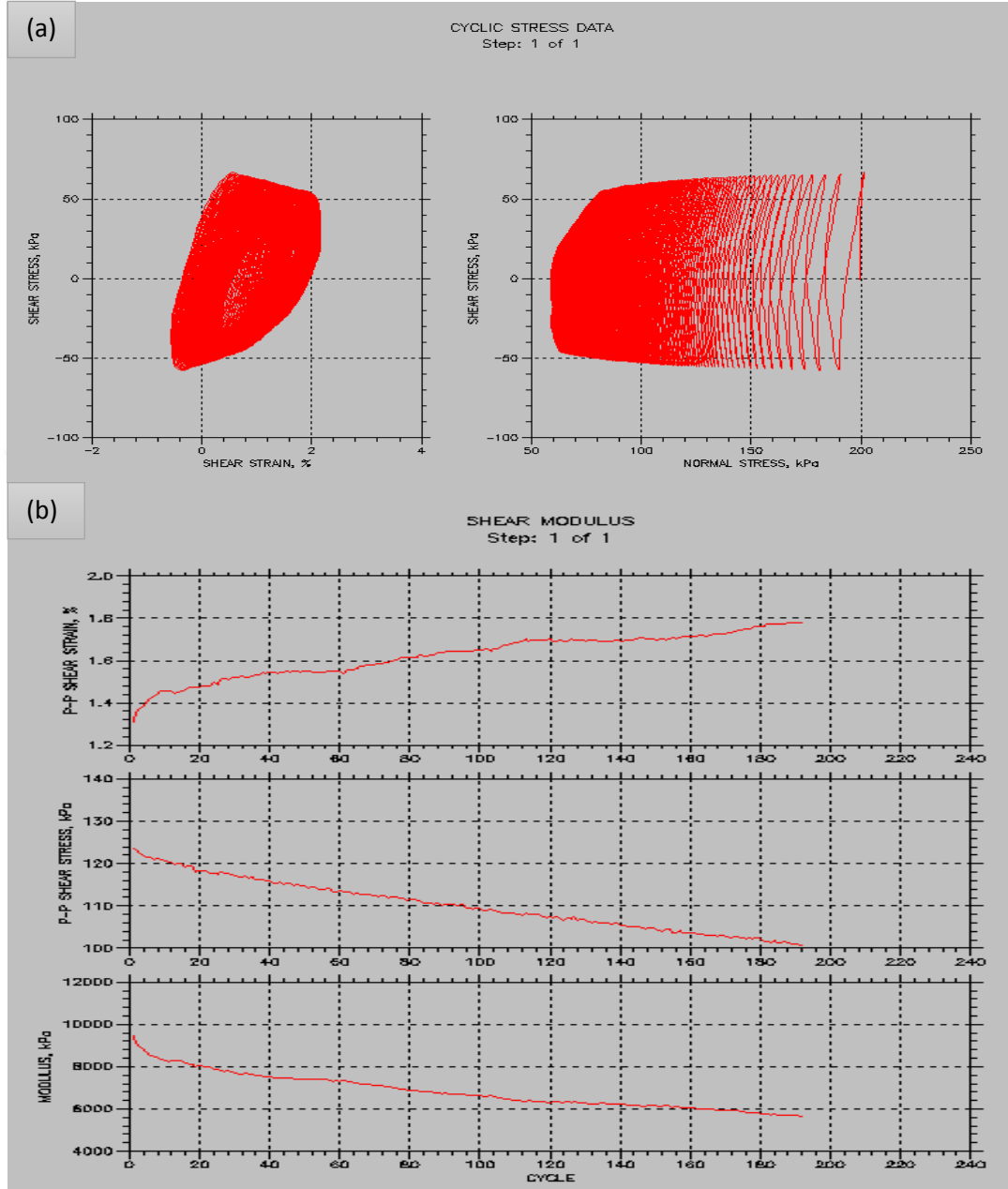
Ek Tablo 11. Selüloz lifli numuneler için sönüm oranı sonuçları

DAMPİNG (%)	SELÜLOZ ORANLARI		
BİTÜM ORANLARI	%1	%3	%5
%8	44,2	44,1	42,6
%10	44,7	44,5	44
%12	44,8	45	44,3

Ek Tablo 12. Selüloz lifli numuneler için kayma modülü oranı sonuçları

G MODÜLÜS(KPA)	SELÜLOZ ORANLARI		
BİTÜM ORANLARI	%1	%3	%5
%8	10190,8	11179,4	9573,2
%10	9713,6	11072,3	9393,5
%12	9885,6	10945,65	9095,4

Ek 2. Polipropilen Lifli Numuneler ve Grafikleri



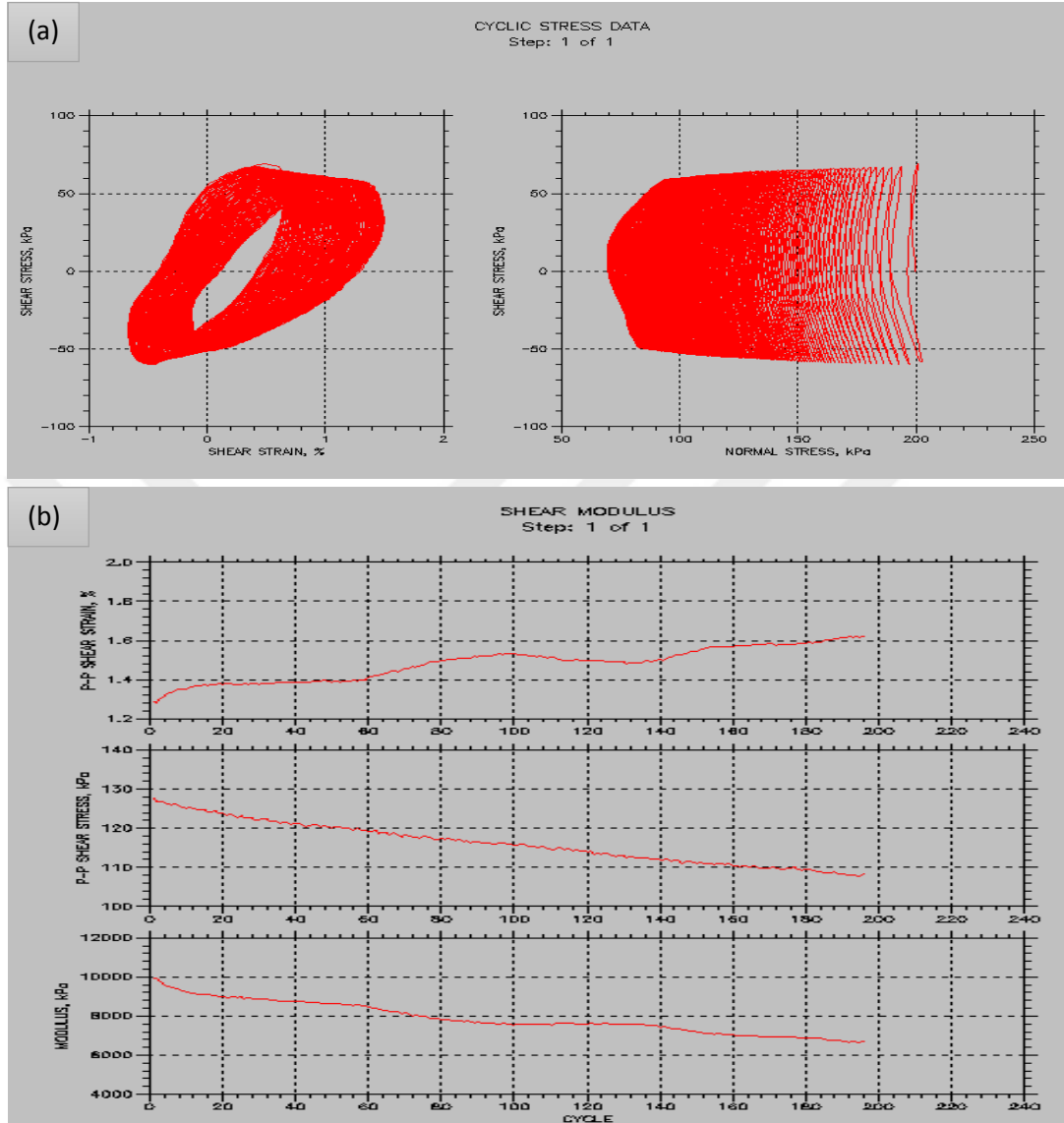
Ek Şekil 11. a) Şekil değiştirme-kayma gerilmesi grafiği

b) Kayma modülü-çevrim sayısı grafiği

Ek Tablo 13. Polipropilen lif sonuçları

POLİPROPİLEN			
LİF ORANI(%)	BİTÜM ORANI(%)	DAMPİNG(%)	G MODÜLÜS(KPA)
1	8	43,7	10114,0

Ek 2'nin Devamı



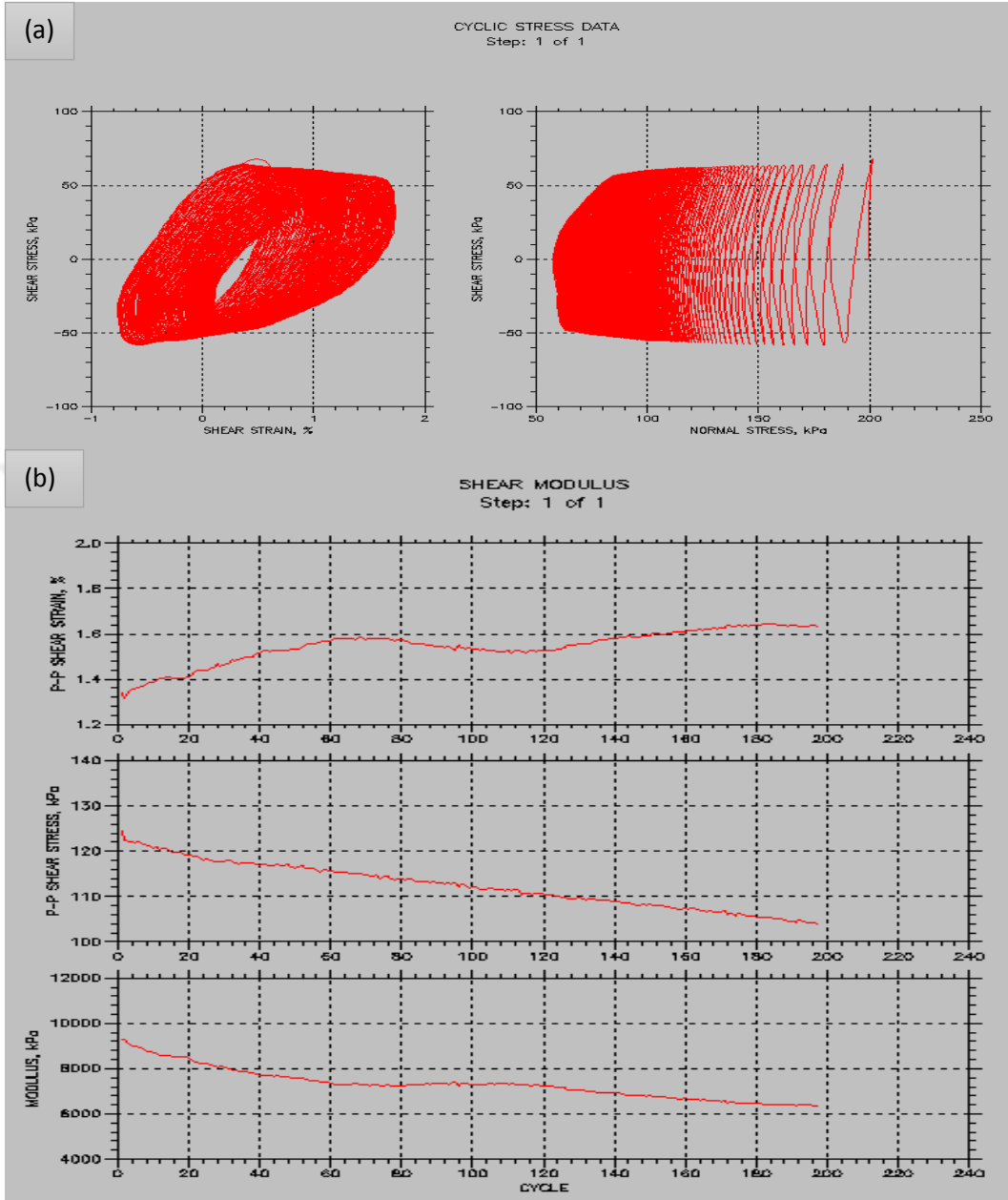
Ek Şekil 12. a) Şekil değiştirme-kayma gerilmesi grafiği

b) Kayma modülü-çevrim sayısı grafiği

Ek Tablo 14. Polipropilen lif sonuçları

	LİF ORANI(%)	BİTÜM ORANI(%)	DAMPİNG(%)	G MODÜLÜS(KPA)
POLİPROPİLEN	1	8	41,3	11093
POLİPROPİLEN (ORTALAMA)	1	8	42,5	10603,5

Ek 2'nin Devamı

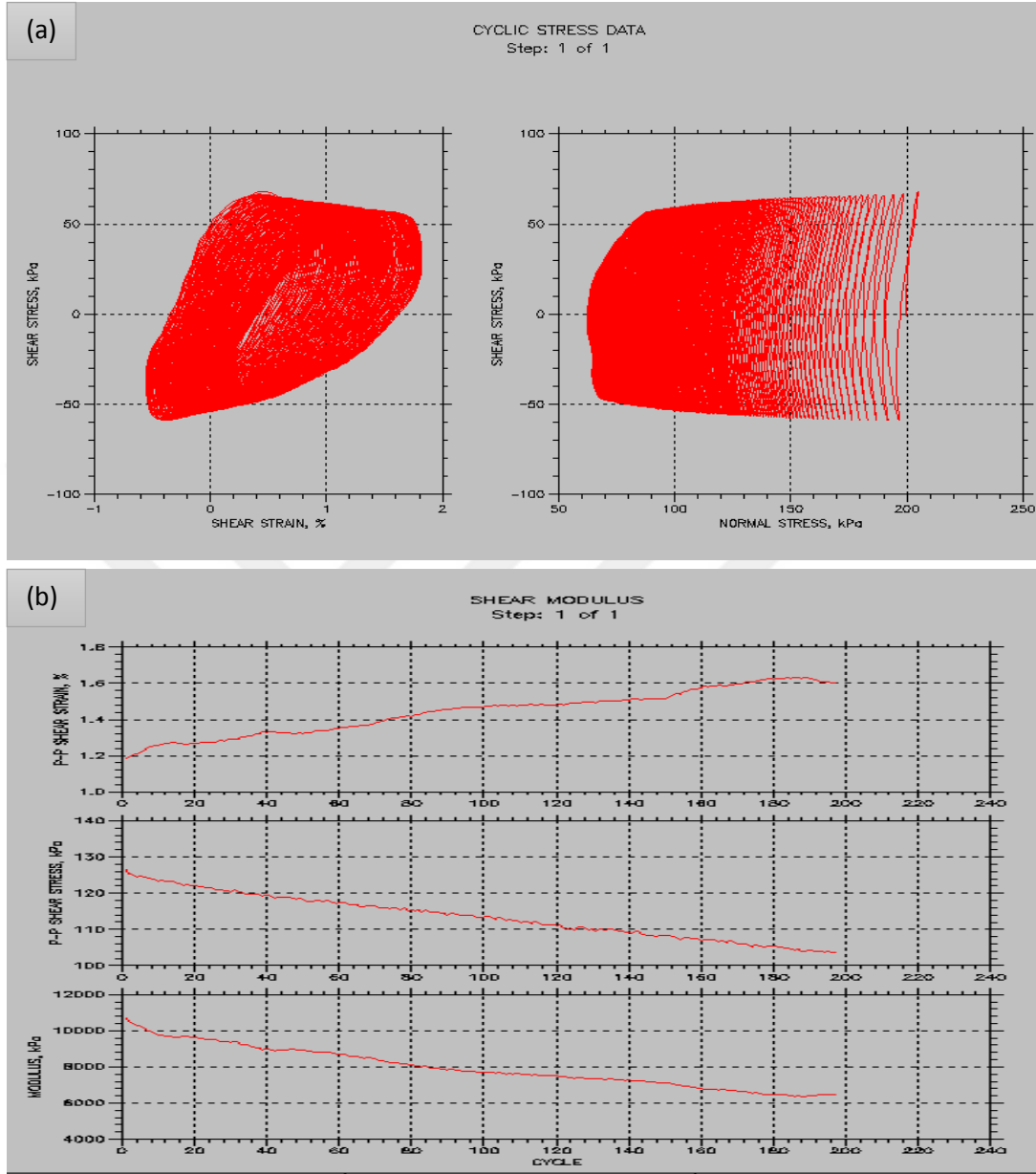


Ek Şekil 13. a) Şekil değiştirme-kayma gerilmesi grafiği
b) Kayma modülü-çevrim sayısı grafiği

Ek Tablo 15. Polipropilen lif sonuçları

POLİPROPİLEN LİF ORANI(%)	BİTÜM ORANI(%)	DAMPİNG(%)	G MODÜLÜS(KPA)
1	10	42,8	10474,1

Ek 2'nin Devamı

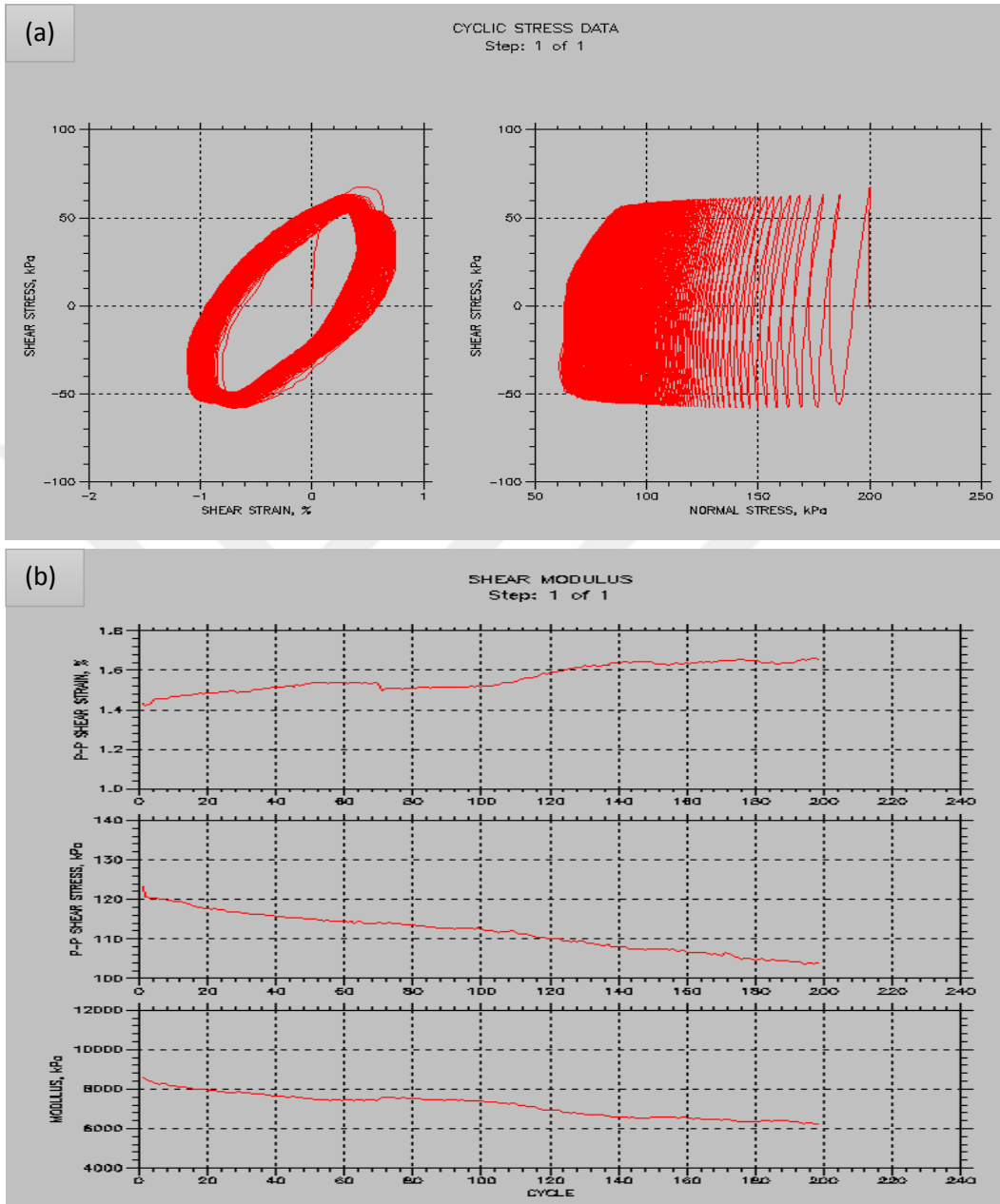


Ek Şekil 14. a) Şekil değiştirme-kayma gerilmesi grafiği
b) Kayma modülü-çevrim sayısı grafiği

Ek Tablo 16. Polipropilen lif sonuçları

	LİF ORANI(%)	BİTÜM ORANI(%)	DAMPİNG(%)	G MODÜLÜS(KPA)
POLİPROPİLEN	1	10	42,9	10631,3
POLİPROPİLEN (ORTALAMA)	1	10	42,85	10552,7

Ek 2'nin Devamı

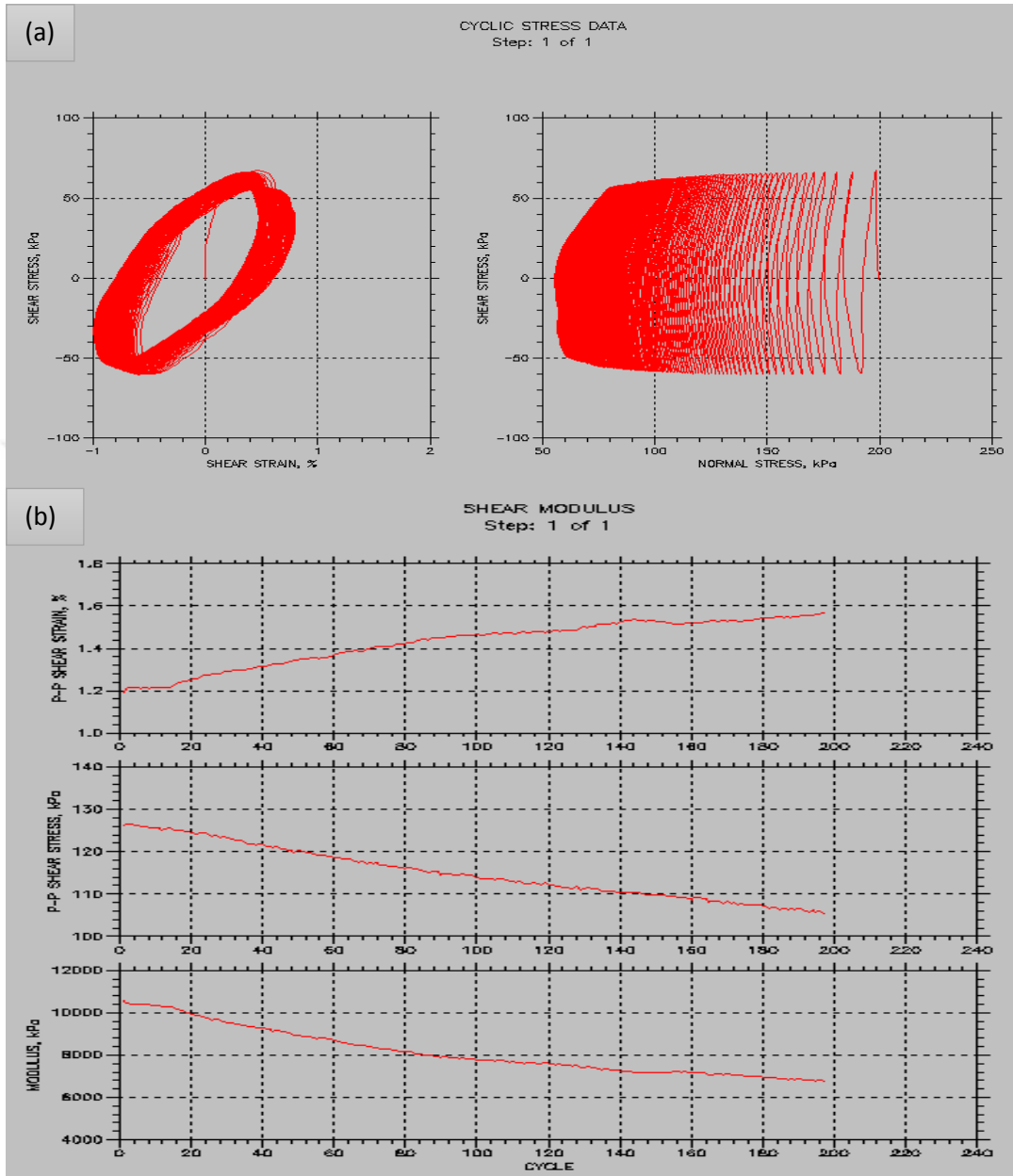


Ek Şekil 15. a) Şekil değiştirme-kayma gerilmesi grafiği
b) Kayma modülü-çevrim sayısı grafiği

Ek Tablo 17. Polipropilen lif sonuçları

POLİPROPİLEN LİF ORANI(%)	BİTÜM ORANI(%)	DAMPİNG(%)	G MODÜLÜS(KPA)
1	12	45	9637,8

Ek 2'nin Devamı

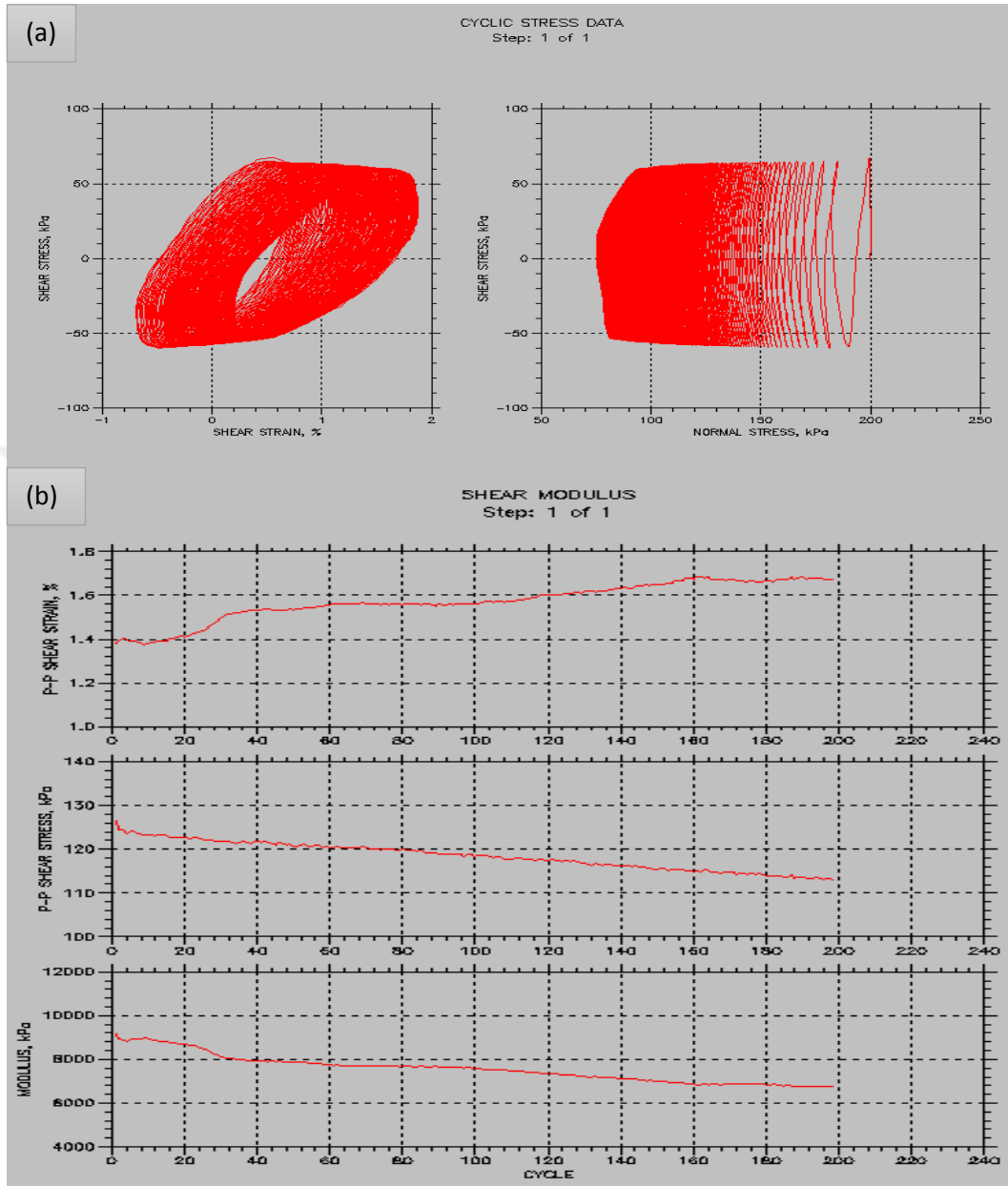


Ek Şekil 16. a) Şekil değiştirme-kayma gerilmesi grafiği
b) Kayma modülü-çevrim sayısı grafiği

Ek Tablo 18. Polipropilen lif sonuçları

	LİF ORANI(%)	BİTÜM ORANI(%)	DAMPİNG(%)	G MODÜLÜS(KPA)
POLİPROPİLEN	1	12	44,2	9883,1
POLİPROPİLEN (ORTALAMA)	1	12	44,6	9760,45

Ek 2'nin Devamı

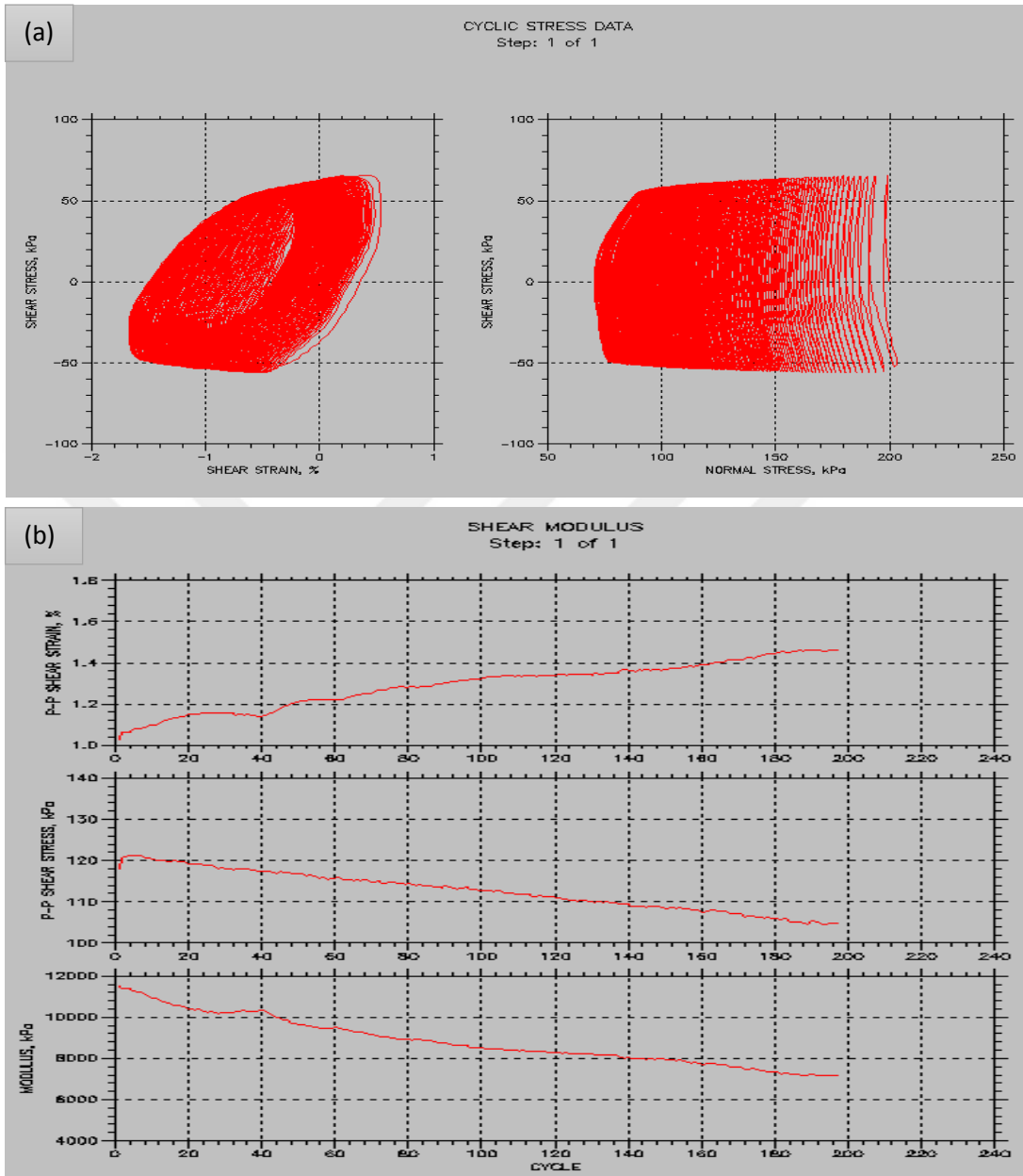


Ek Şekil 17. a) Şekil değiştirme-kayma gerilmesi grafiği
b) Kayma modülü-çevrim sayısı grafiği

Ek Tablo 19. Polipropilen lif sonuçları

POLİPROPİLEN			
LİF ORANI(%)	BITÜM ORANI(%)	DAMPİNG(%)	G MODÜLÜS(KPA)
3	8	43,3	10396

Ek 2'nin Devamı

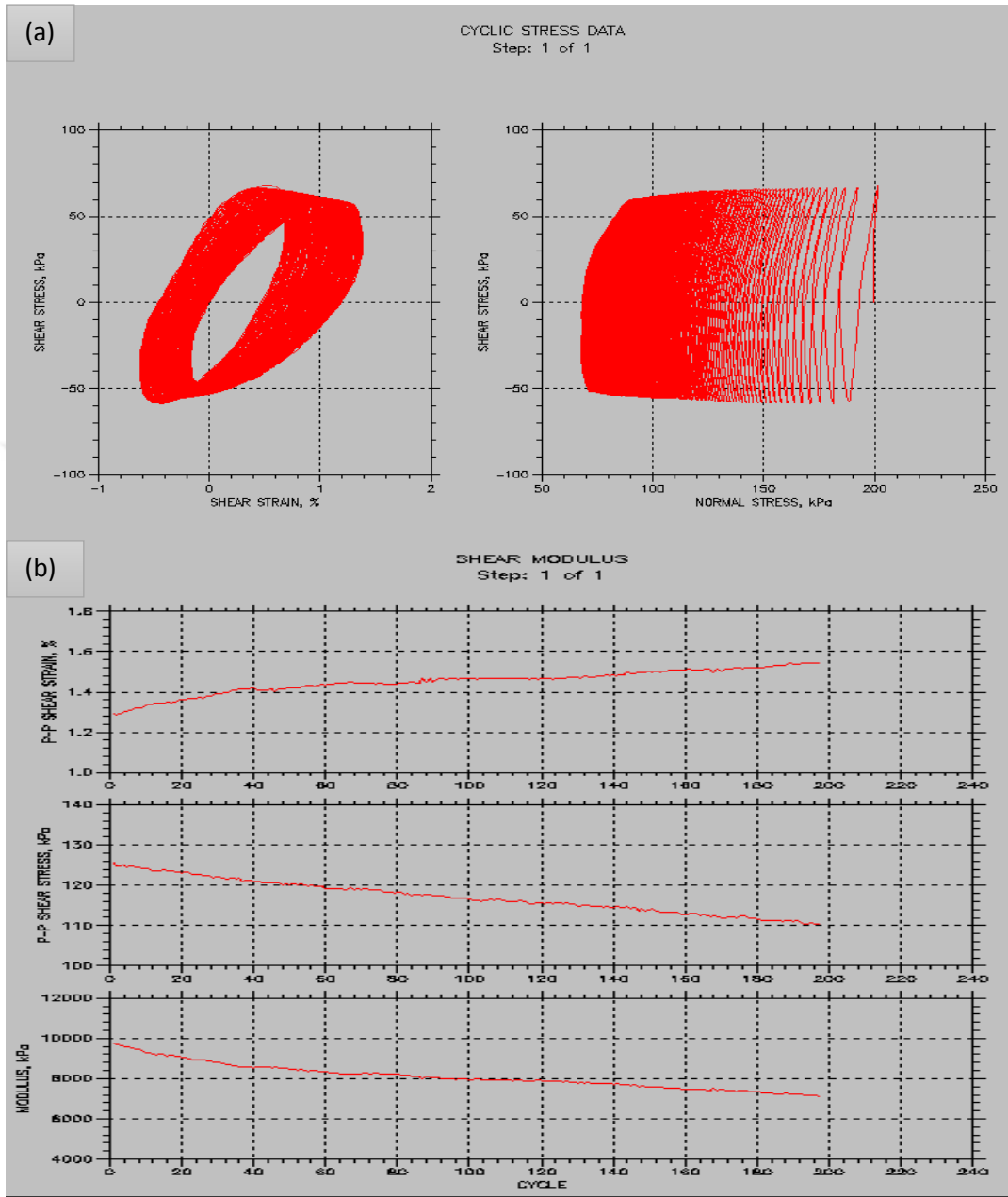


Ek Şekil 18. a) Şekil değiştirme-kayma gerilmesi grafiği
b) Kayma modülü-çevrim sayısı grafiği

Ek Tablo 20. Polipropilen lif sonuçları

	LİF ORANI(%)	BİTÜM ORANI(%)	DAMPİNG(%)	G MODÜLÜS(KPA)
POLİPROPİLEN	3	8	42,6	11458
POLİPROPİLEN (ORTALAMA)	3	8	42,95	10927

Ek 2'nin Devamı

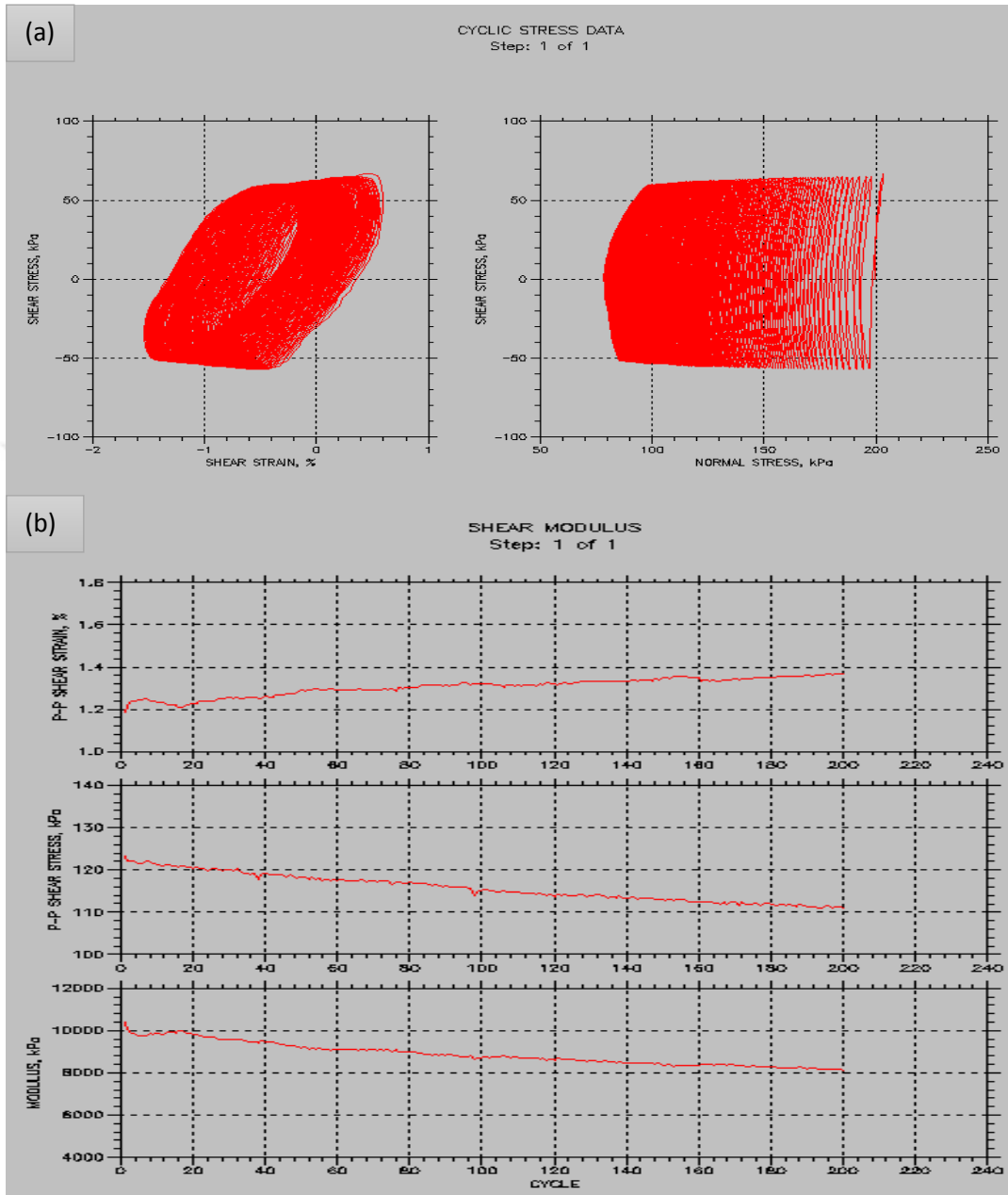


Ek Şekil 19. a) Şekil değiştirme-kayma gerilmesi grafiği
b) Kayma modülü-çevrim sayısı grafiği

Ek Tablo 21. Polipropilen lif sonuçları

POLİPROPİLEN			
LİF ORANI(%)	BİTÜM ORANI(%)	DAMPİNG(%)	G MODÜLÜS(KPA)
3	10	44,6	11017,9

Ek 2'nin Devamı

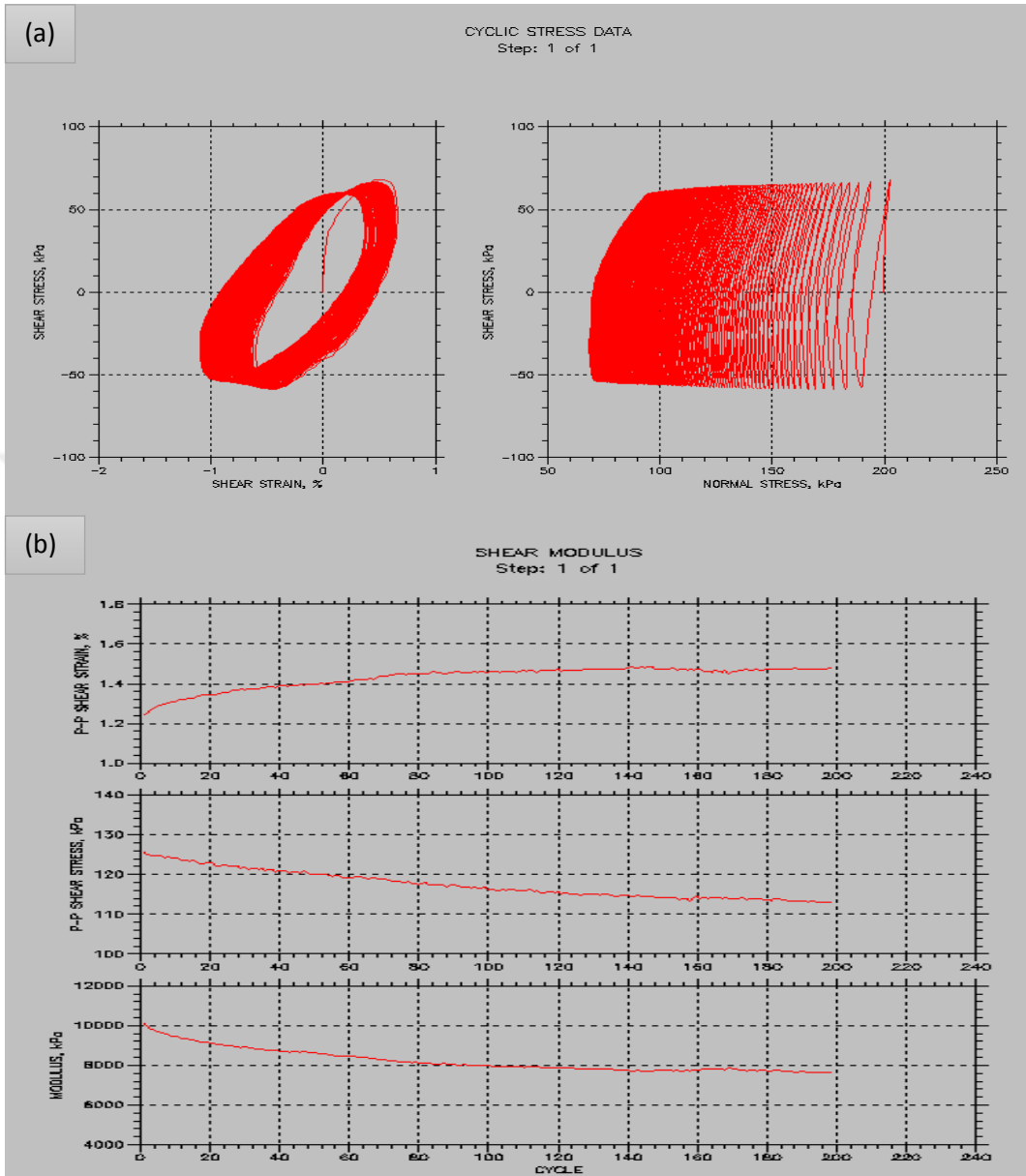


Ek Şekil 20. a) Şekil değiştirme-kayma gerilmesi grafiği
b) Kayma modülü-çevrim sayısı grafiği

Ek Tablo 22. Polipropilen lif sonuçları

	LİF ORANI(%)	BİTÜM ORANI(%)	DAMPİNG(%)	G MODÜLÜS(KPA)
POLİPROPİLEN	3	10	43,8	10515,5
POLİPROPİLEN (ORTALAMA)	3	10	44,2	10766,7

Ek 2'nin Devamı

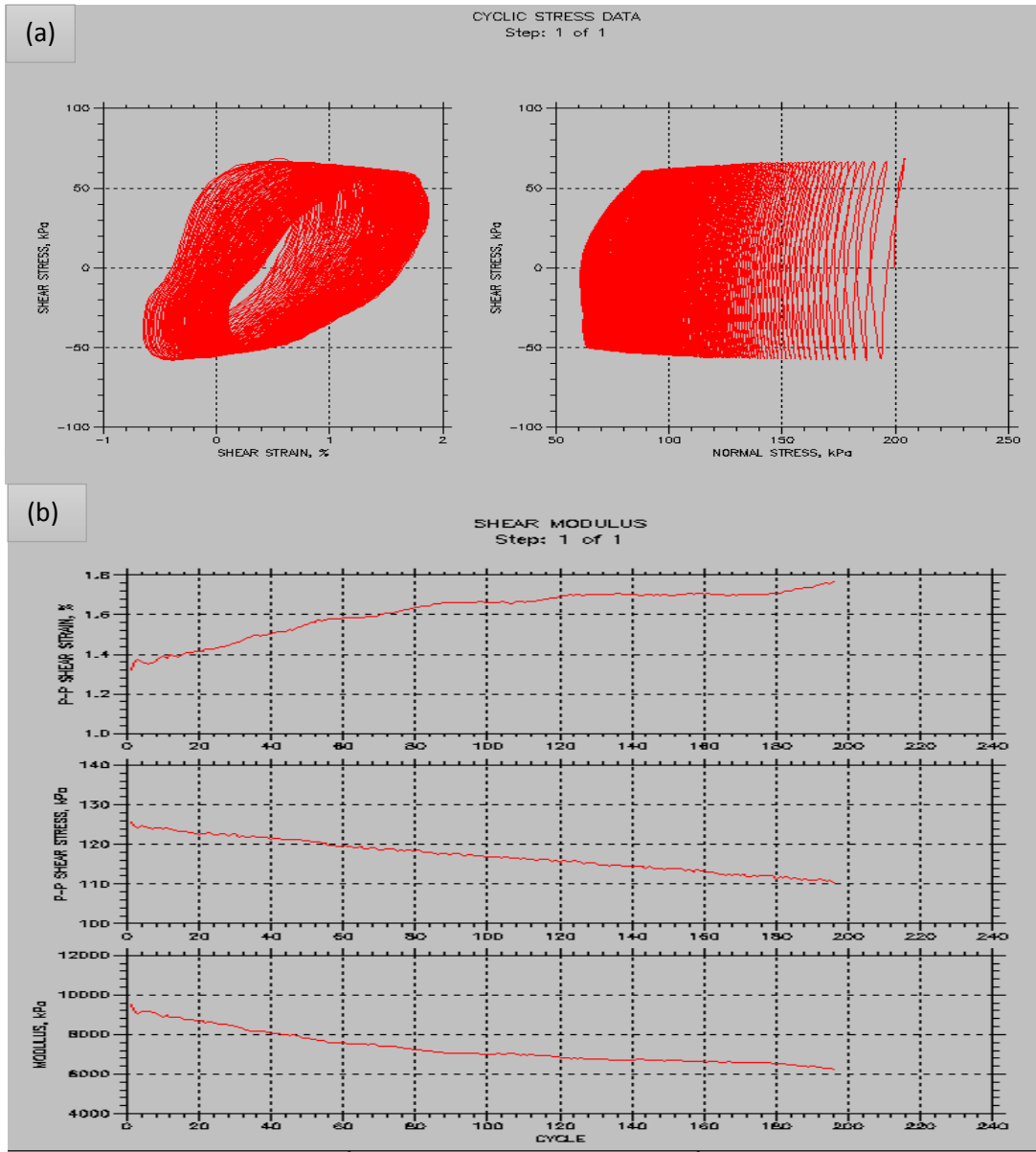


Ek Şekil 21. a) Şekil değiştirme-kayma gerilmesi grafiği
b) Kayma modülü-çevrim sayısı grafiği

Ek Tablo 23. Polipropilen lif sonuçları

POLİPROPİLEN			
LİF ORANI(%)	BİTÜM ORANI(%)	DAMPİNG(%)	G MODÜLÜS(KPA)
3	12	43,9	10785,1

Ek 2'nin Devamı

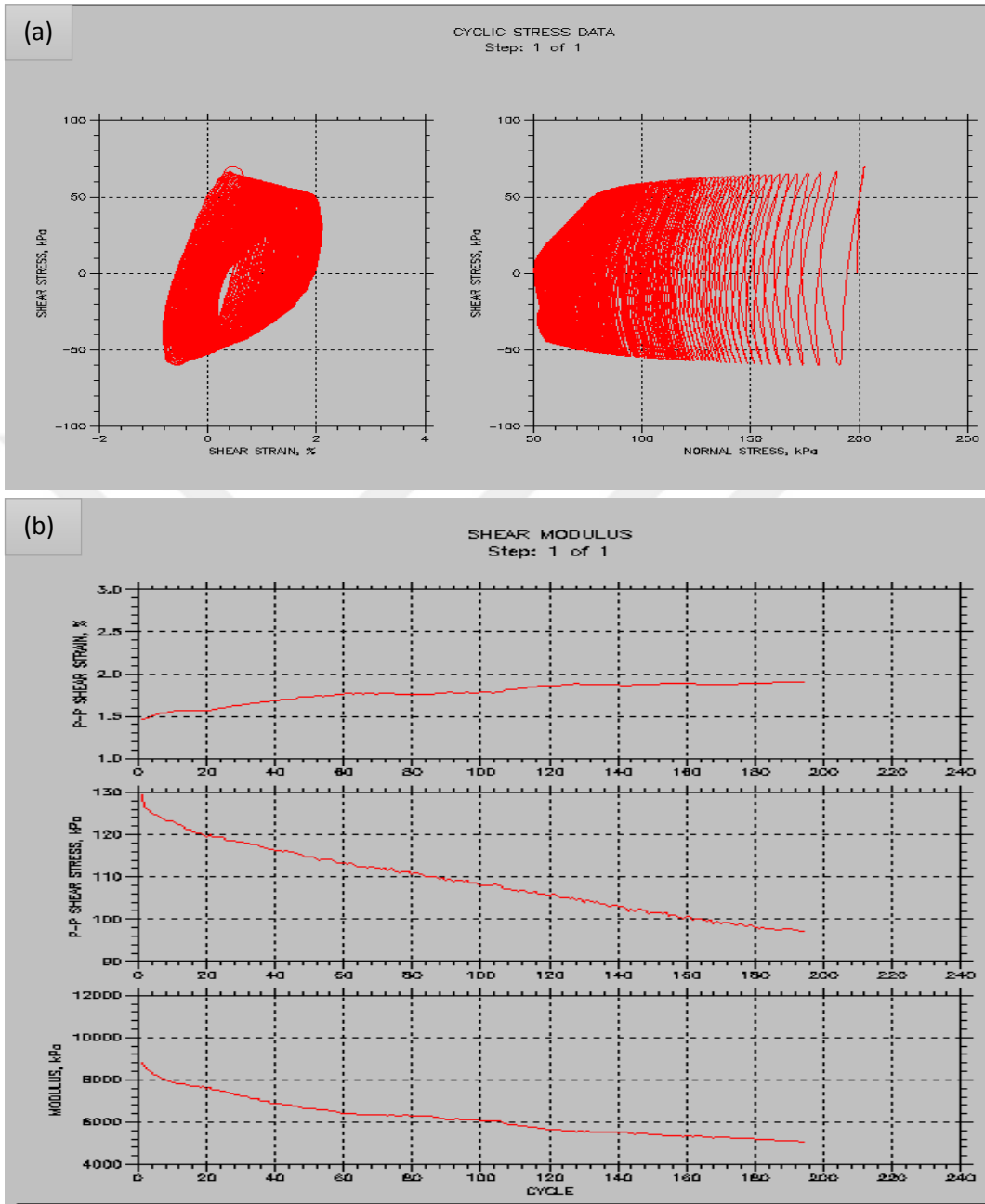


Ek Şekil 22. a) Şekil değiştirme-kayma gerilmesi grafiği
b) Kayma modülü-çevrim sayısı grafiği

Ek Tablo 24. Polipropilen lif sonuçları

	LİF ORANI(%)	BİTÜM ORANI(%)	DAMPİNG(%)	G MODÜLÜS(KPA)
POLİPROPİLEN	3	12	44,9	10347
POLİPROPİLEN (ORTALAMA)	3	12	44,4	10566,05

Ek 2'nin Devamı

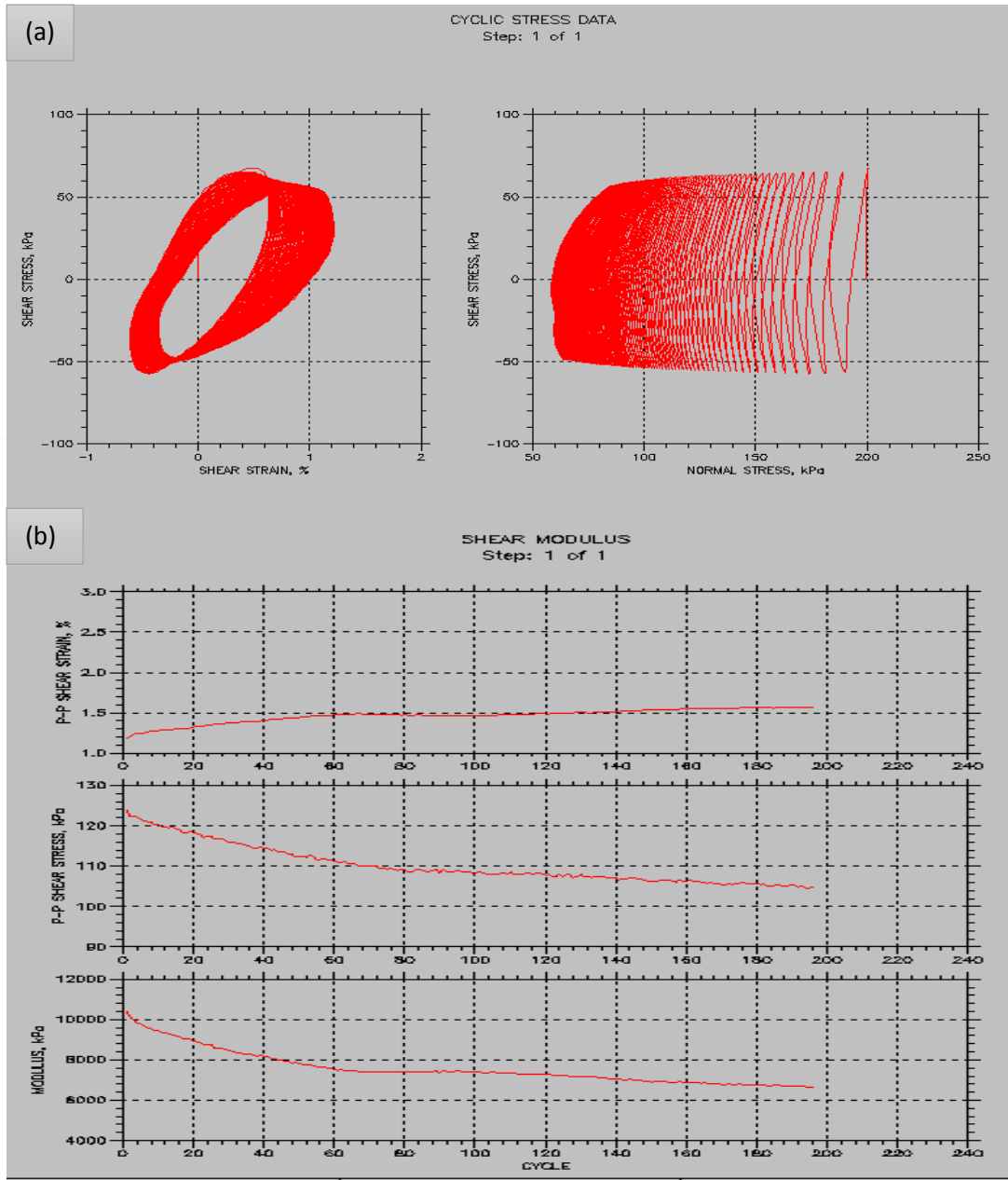


Ek Şekil 23. a) Şekil değiştirme-kayma gerilmesi grafiği
b) Kayma modülü-çevrim sayısı grafiği

Ek Tablo 25. Polipropilen lif sonuçları

POLİPROPİLEN			
LİF ORANI(%)	BİTÜM ORANI(%)	DAMPİNG(%)	G MODÜLÜS(KPA)
5	8	42,9	10257,7

Ek 2'nin Devamı

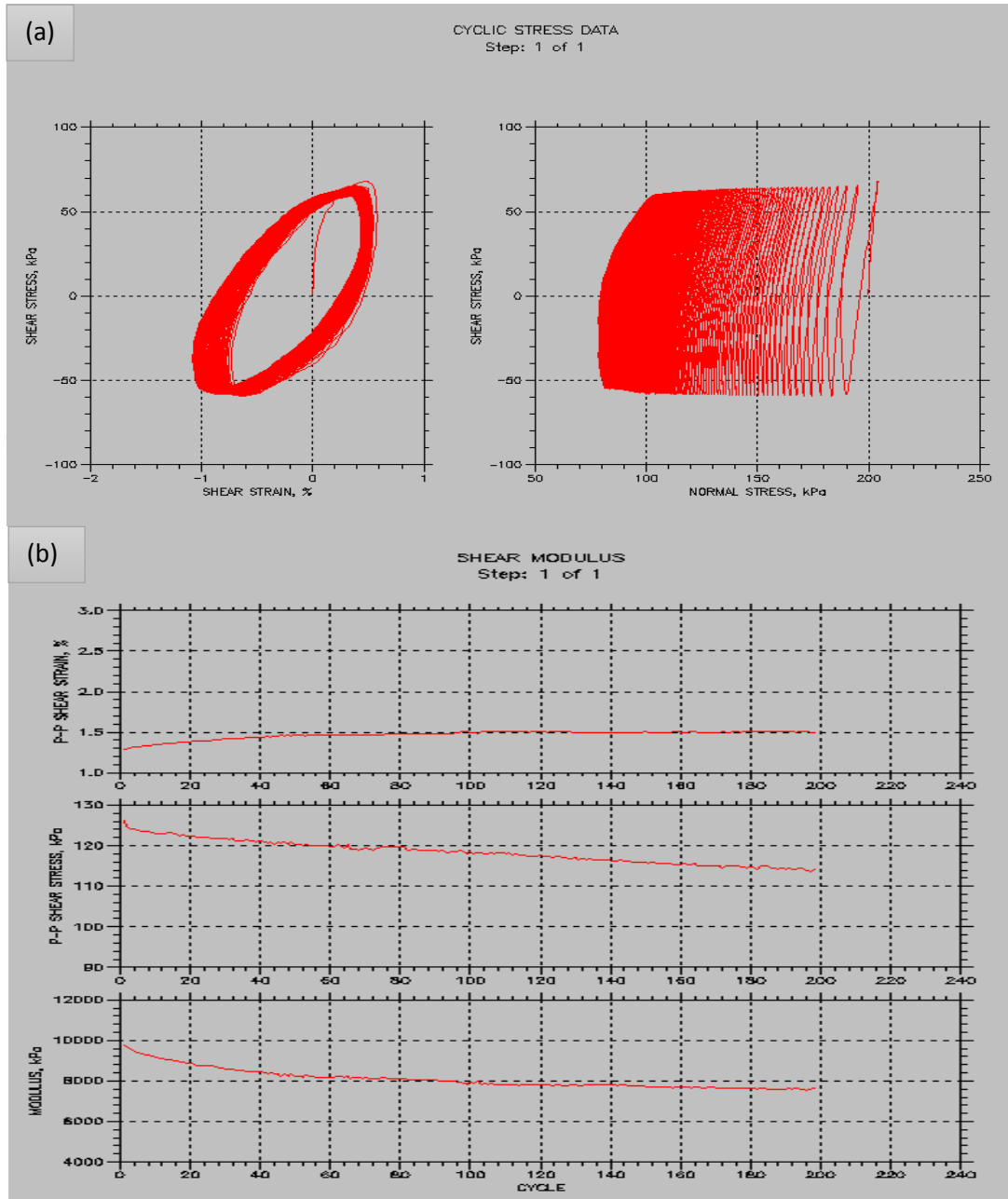


Ek Şekil 24. a) Şekil değiştirme-kayma gerilmesi grafiği
b) Kayma modülü-çevrim sayısı grafiği

Ek Tablo 26. Polipropilen lif sonuçları

	LİF ORANI(%)	BİTÜM ORANI(%)	DAMPİNG(%)	G MODÜLÜS(KPA)
POLİPROPİLEN	5	8	41,4	10824,5
POLİPROPİLEN (ORTALAMA)	5	8	42,15	10541.1

Ek 2'nin Devamı

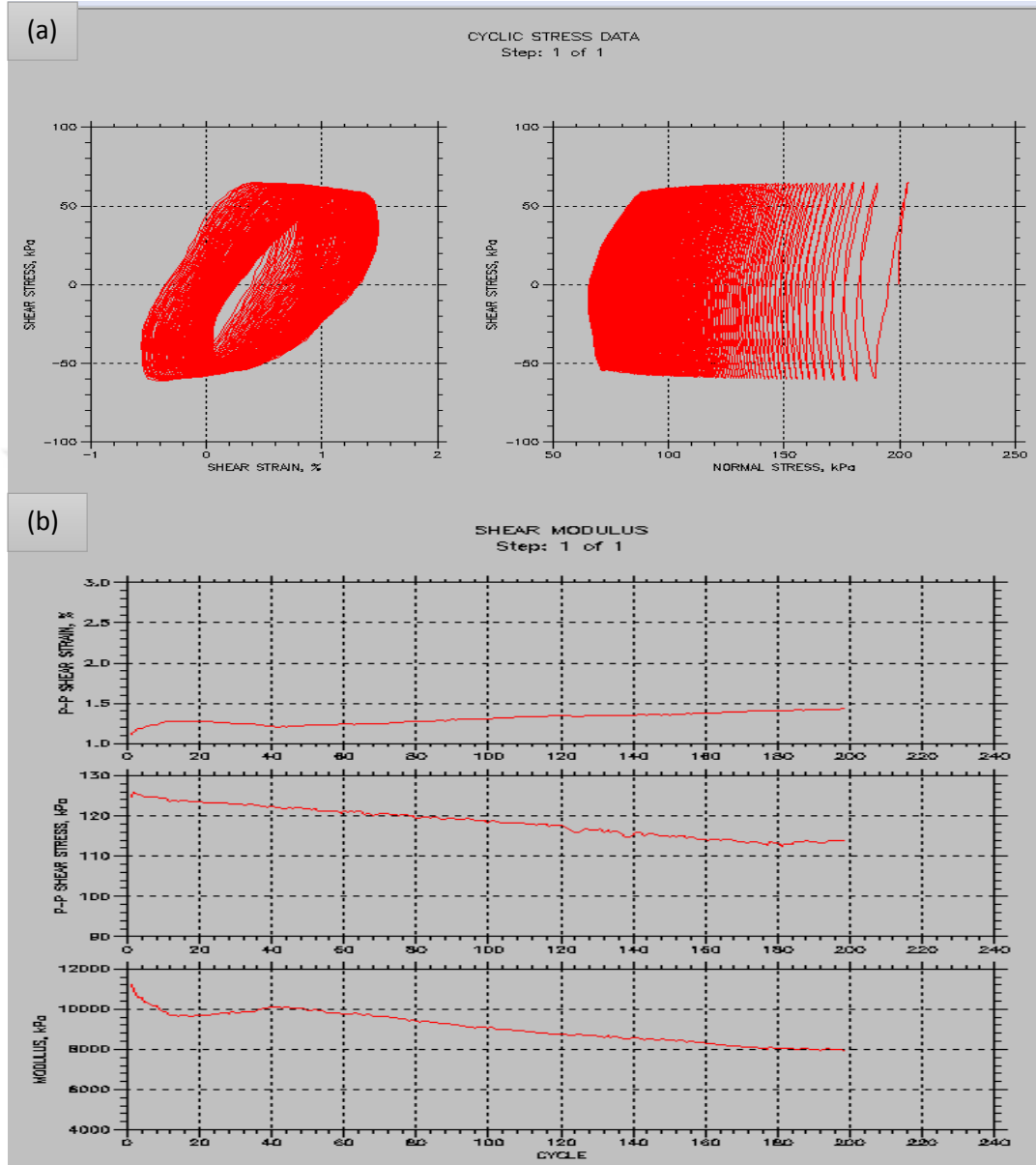


Ek Şekil 25. a) Şekil değiştirme-kayma gerilmesi grafiği
b) Kayma modülü-çevrim sayısı grafiği

Ek Tablo 27. Polipropilen lif sonuçları

POLİPROPİLEN			
LİF ORANI(%)	BİTÜM ORANI(%)	DAMPING(%)	G MODÜLÜS(KPA)
5	10	42,2	10423,2

Ek 2'nin Devamı

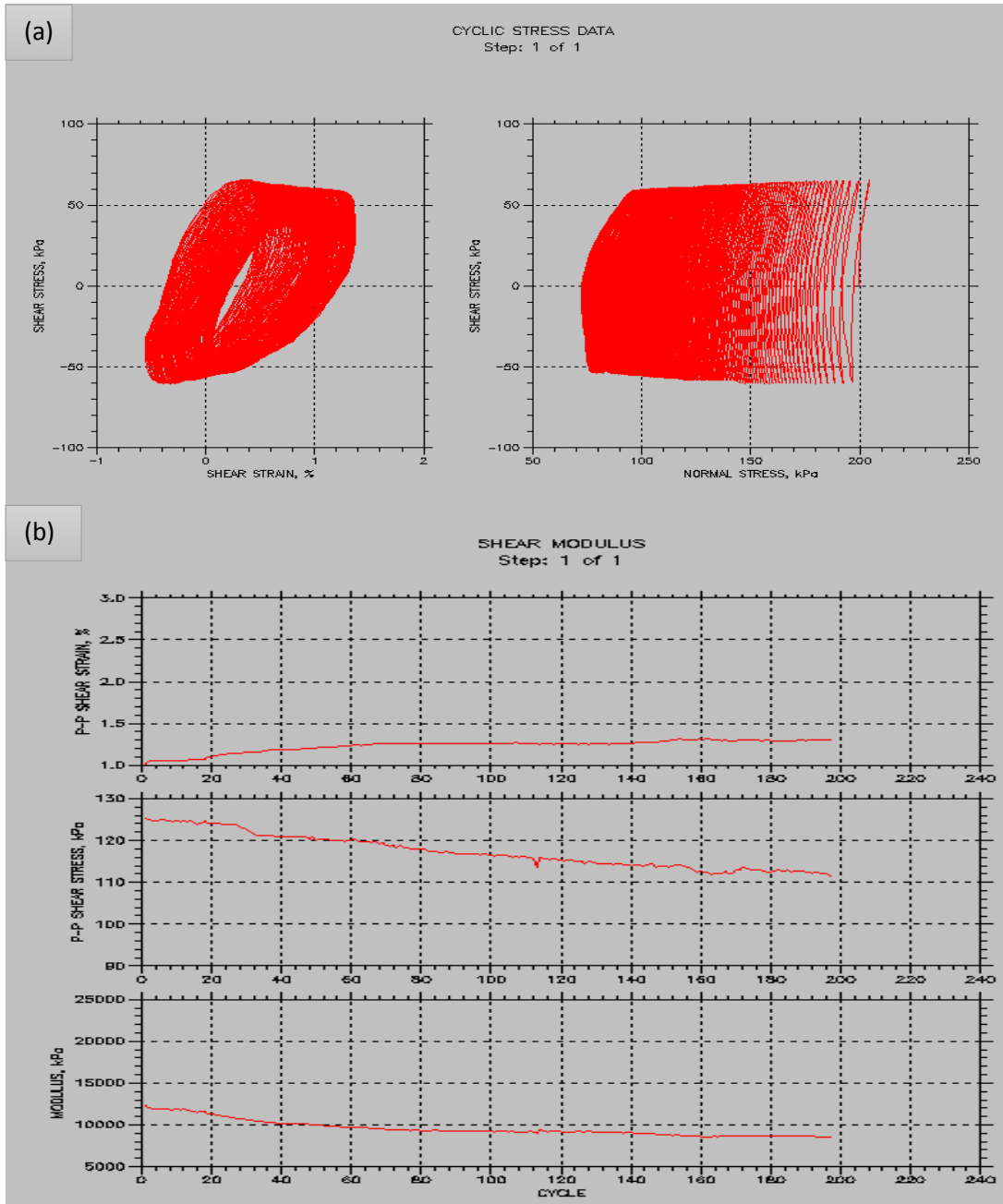


Ek Şekil 26. a) Şekil değiştirme-kayma gerilmesi grafiği
b) Kayma modülü-çevrim sayısı grafiği

Ek Tablo 28. Polipropilen lif sonuçları

	LİF ORANI(%)	BİTÜM ORANI(%)	DAMPİNG(%)	G MODÜLÜS(KPA)
POLİPROPİLEN	5	10	42,9	10268,7
POLİPROPİLEN (ORTALAMA)	5	10	42,55	10345,95

Ek 2'nin Devamı

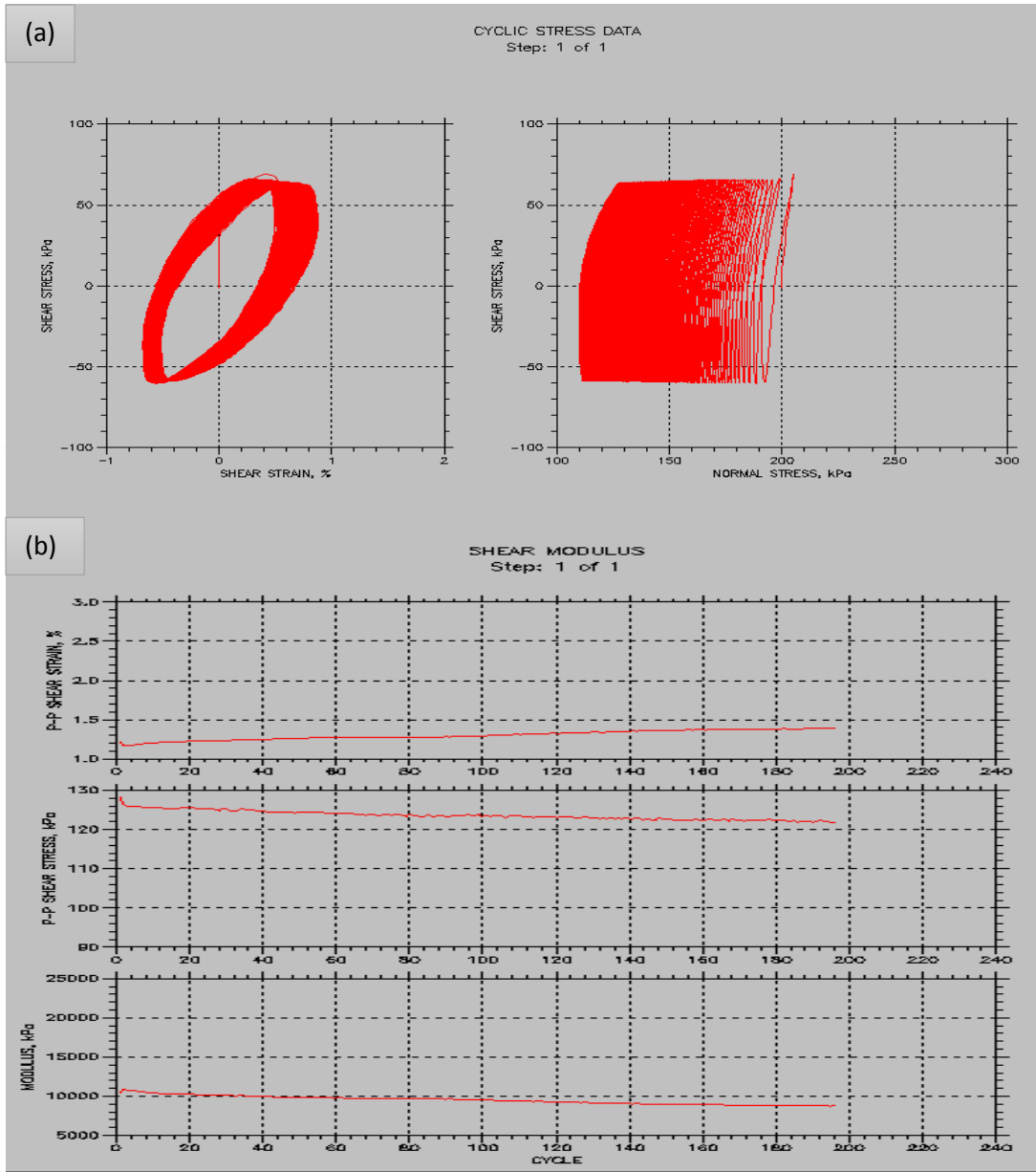


Ek Şekil 27. a) Şekil değiştirme-kayma gerilmesi grafiği
b) Kayma modülü-çevrim sayısı grafiği

Ek Tablo 29. Polipropilen lif sonuçları

POLİPROPİLEN			
LİF ORANI(%)	BİTÜM ORANI(%)	DAMPİNG(%)	G MODÜLÜS(KPA)
5	12	43,3	9135,4

Ek 2'nin Devamı



Ek Şekil 28. a) Şekil değiştirme-kayma gerilmesi grafiği
b) Kayma modülü-çevrim sayısı grafiği

Ek Tablo 30. Polipropilen lif sonuçları

	LİF ORANI(%)	BİTÜM ORANI(%)	DAMPİNG(%)	G MODÜLÜS(KPA)
POLİPROPİLEN	5	12	43,3	9522,2
POLİPROPİLEN (ORTALAMA)	5	12	43,3	9328,8

Ek 2'nin Devamı

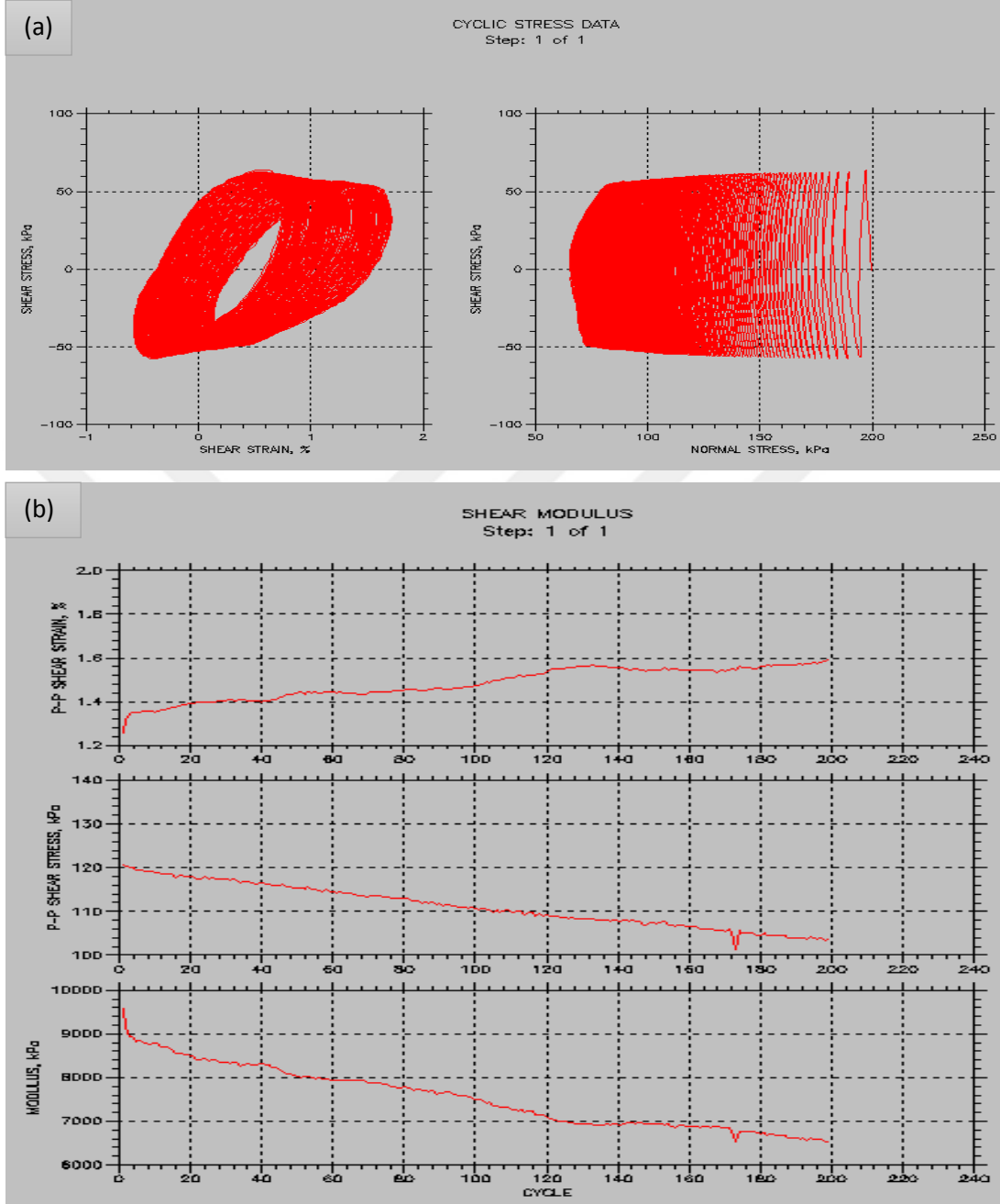
Ek Tablo 31. Polipropilen lifli numuneler için sönüm oranı sonuçları

DAMPİNG (%)	POLİPROPİLEN ORANLARI		
BİTÜM ORANLARI	%1	%3	%5
%8	42,5	42,95	42,15
%10	42,85	44,2	42,55
%12	44,6	44,4	43,3

Ek Tablo 32. Polipropilen lifli numuneler için kayma modülü sonuçları

G MODÜLÜS(KPA)	POLİPROPİLEN ORANLARI		
BİTÜM ORANLARI	%1	%3	%5
%8	10603,5	10927	10541,1
%10	10552,7	10766,7	10345,95
%12	9760,45	10566,05	9328,8

Ek 3. Bazalt Lifli Numuneler ve Grafikleri

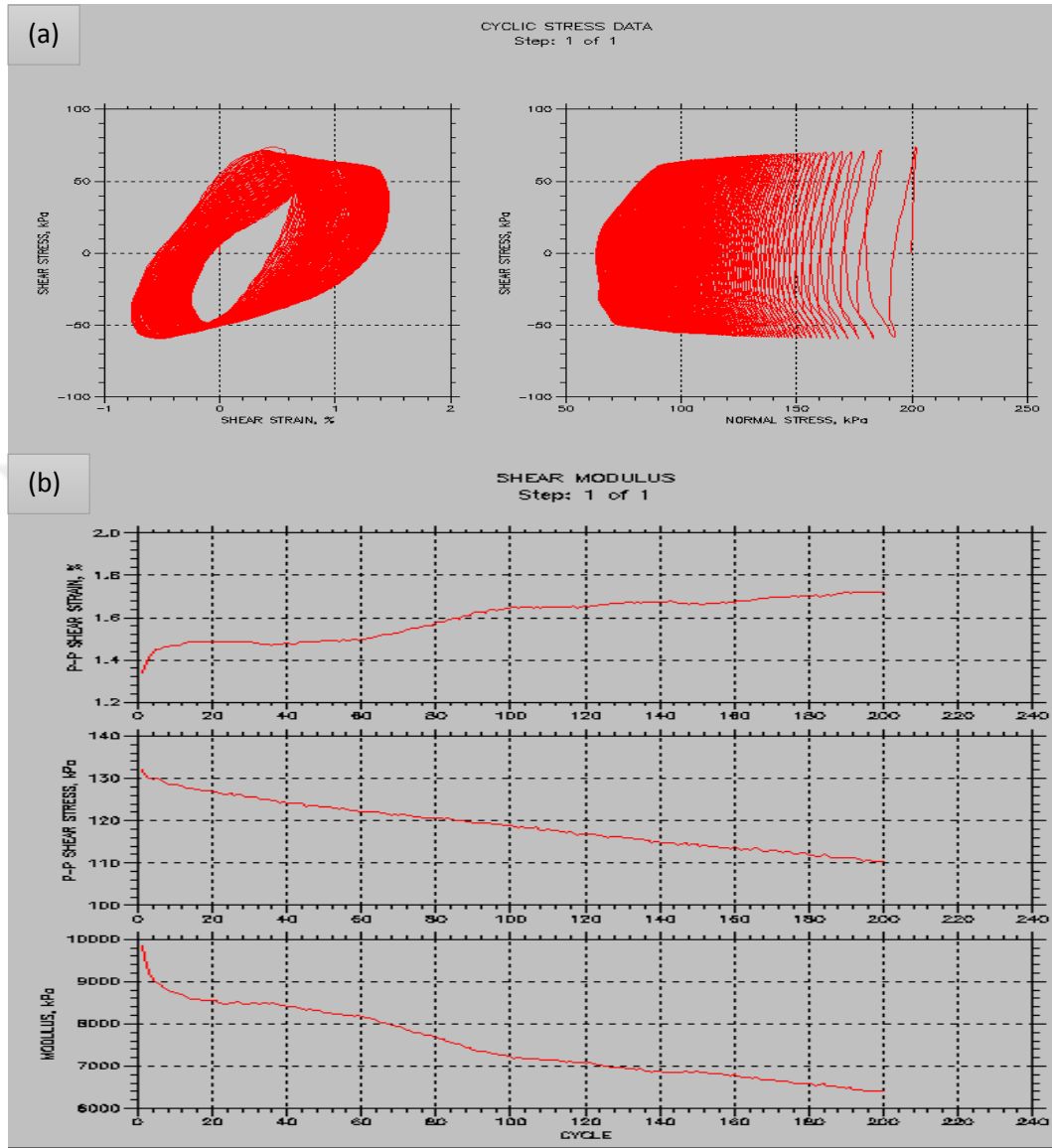


Ek Şekil 29. a) Şekil değiştirme-kayma gerilmesi grafiği
b) Kayma modülü-çevrim sayısı grafiği

Ek Tablo 33. 2 mm uzunluklu bazalt lif sonuçları

BAZALT (2mm) LİF ORANI(%)	BİTÜM ORANI(%)	DAMPİNG(%)	G MODÜLÜS(KPA)
1	8	43,5	9944,1

Ek 3'ün Devamı

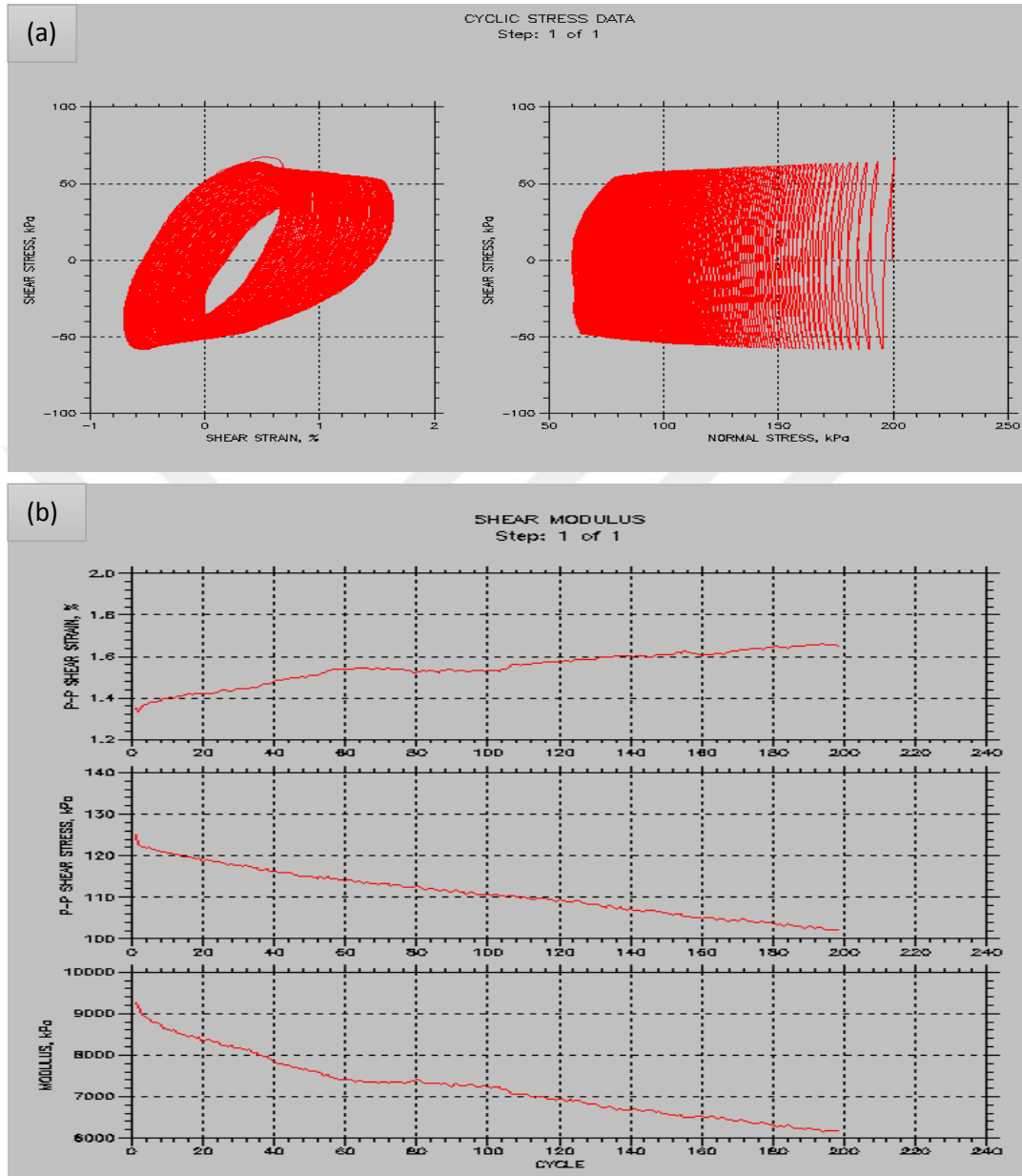


Ek Şekil 30. a) Şekil değiştirme-kayma gerilmesi grafiği
b) Kayma modülü-çevrim sayısı grafiği

Ek Tablo 34. 2 mm uzunluklu bazalt lif sonuçları

(2 mm)	LİF ORANI(%)	BİTÜM ORANI(%)	DAMPİNG(%)	G MODÜLÜS(KPA)
BAZALT	1	8	43,8	9806,8
BAZALT (ORTALAMA)	1	8	43,65	9875,45

Ek 3'ün Devamı

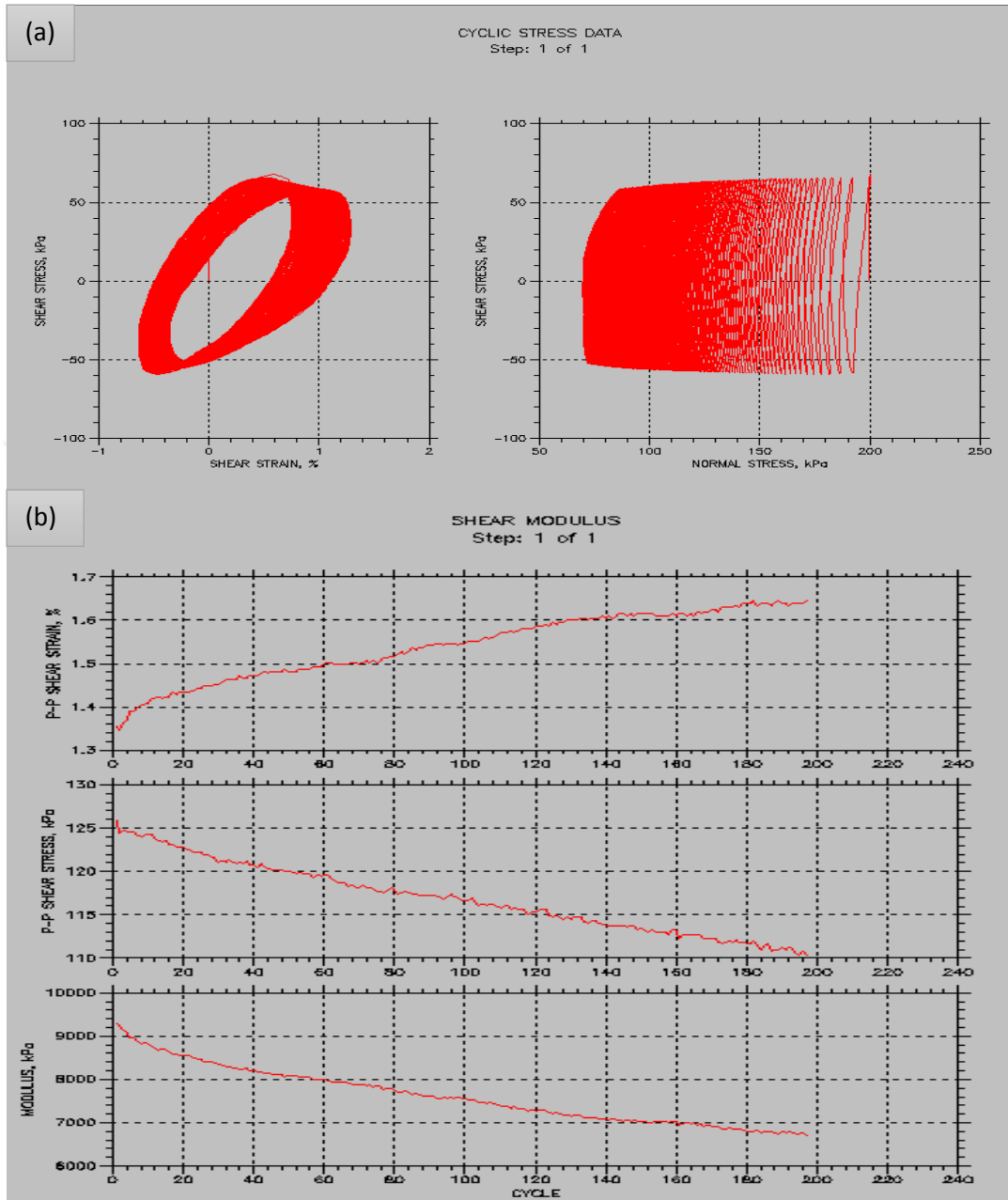


Ek Şekil 31. a) Şekil değiştirme-kayma gerilmesi grafiği
b) Kayma modülü-çevrim sayısı grafiği

Ek Tablo 35. 2 mm uzunluklu bazalt lif sonuçları

BAZALT (2mm)			
LİF ORANI(%)	BİTÜM ORANI(%)	DAMPING(%)	G MODÜLÜS(KPA)
1	10	44,3	9523,7

Ek 3'ün Devamı

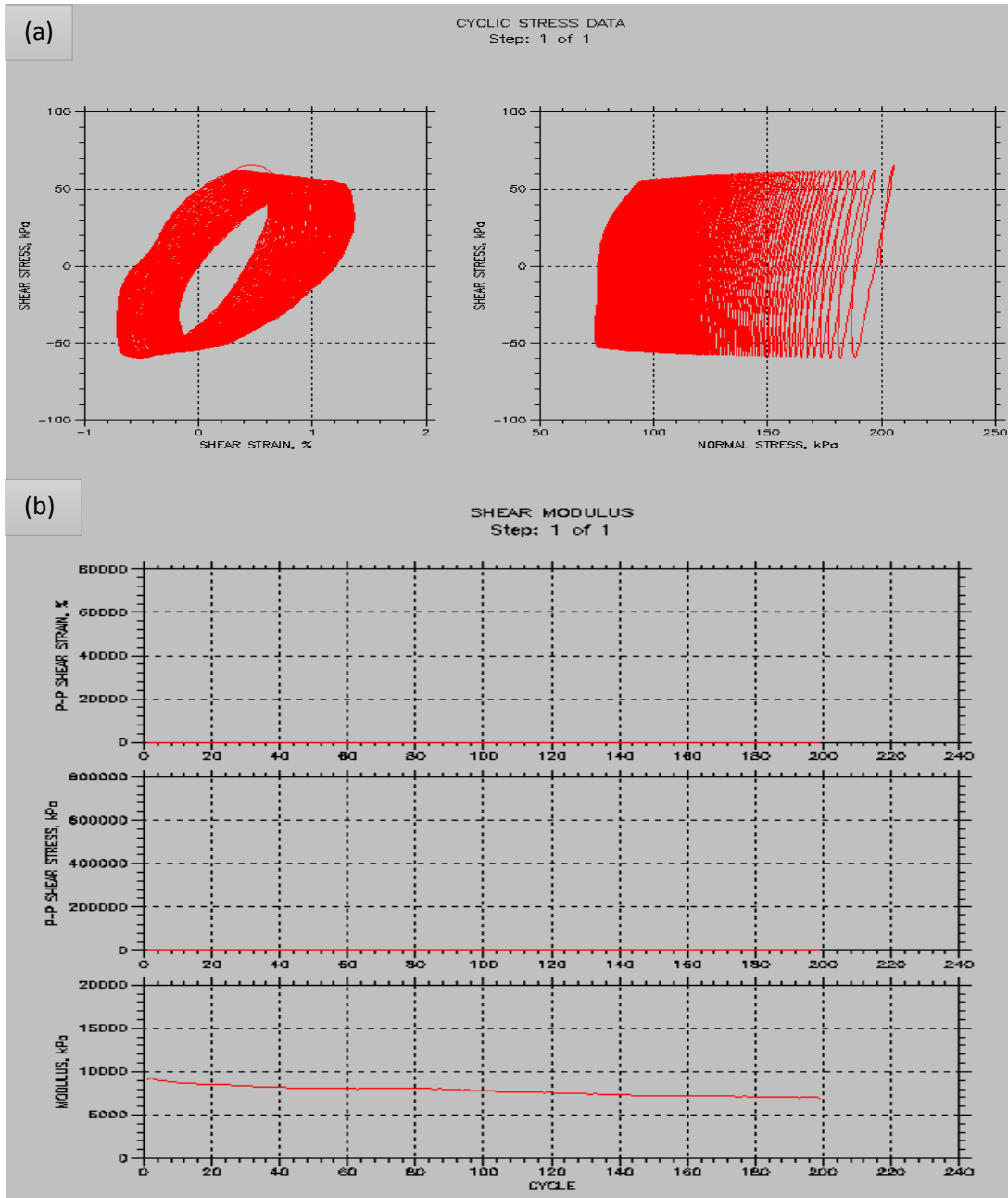


Ek Şekil 32. a) Şekil değiştirme-kayma gerilmesi grafiği
b) Kayma modülü-çevrim sayısı grafiği

Ek Tablo 36. 2 mm uzunluklu bazalt lif sonuçları

BAZALT (2mm) LİF ORANI(%)	BİTÜM ORANI(%)	DAMPING(%)	G MODÜLÜS(KPA)
1	12	45,2	9478,2

Ek 3'ün Devamı

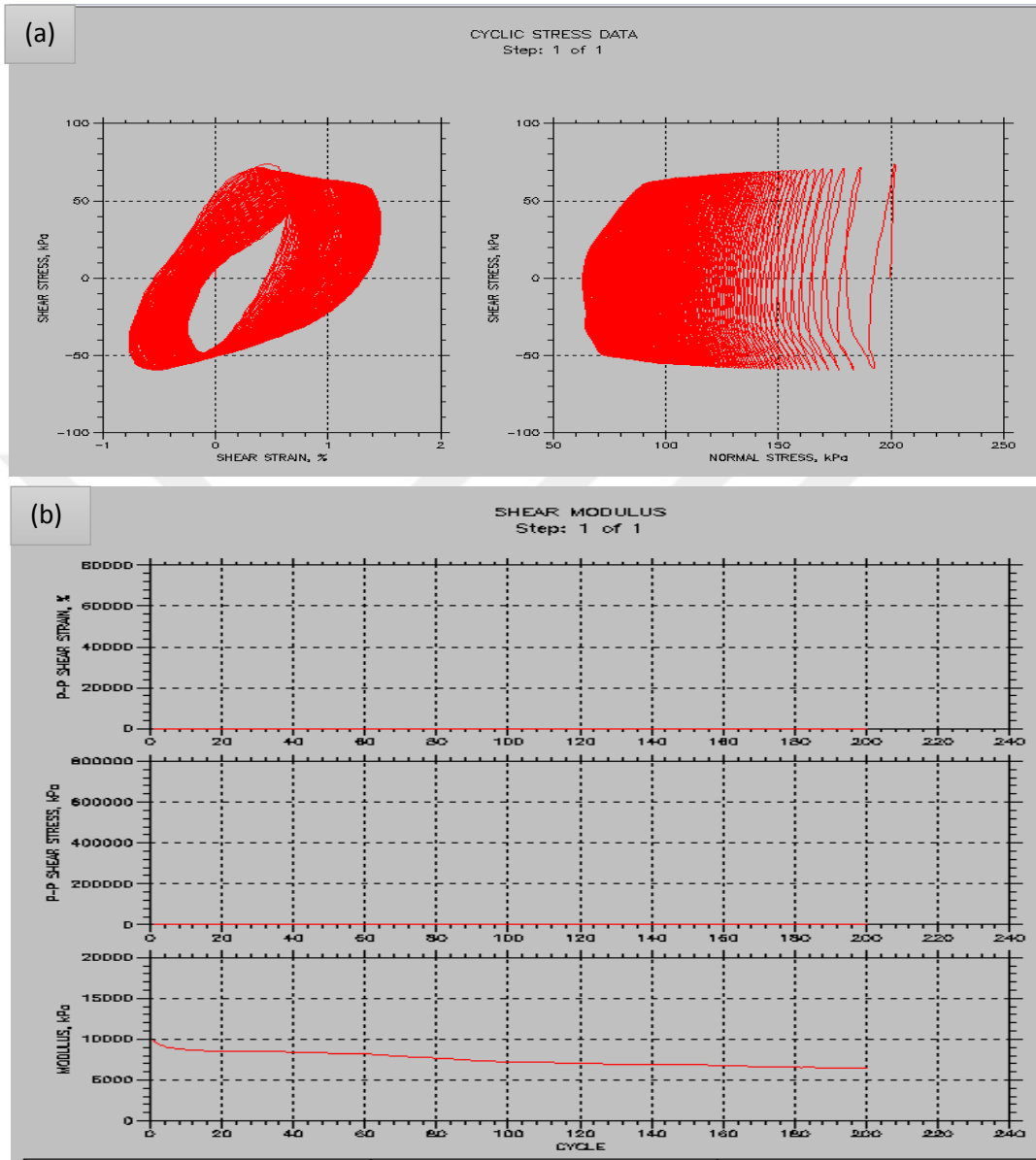


Ek Şekil 33. a) Şekil değıştirme-kayma gerilmesi grafiği
b) Kayma modülü-çevrim sayısı grafiği

Ek Tablo 37. 4 mm uzunluklu bazalt lif sonuçları

BAZALT (4mm) LİF ORANI(%)	BİTÜM ORANI(%)	DAMPİNG(%)	G MODÜLÜS(KPA)
1	8	45,8	10809,3

Ek 3'ün Devamı

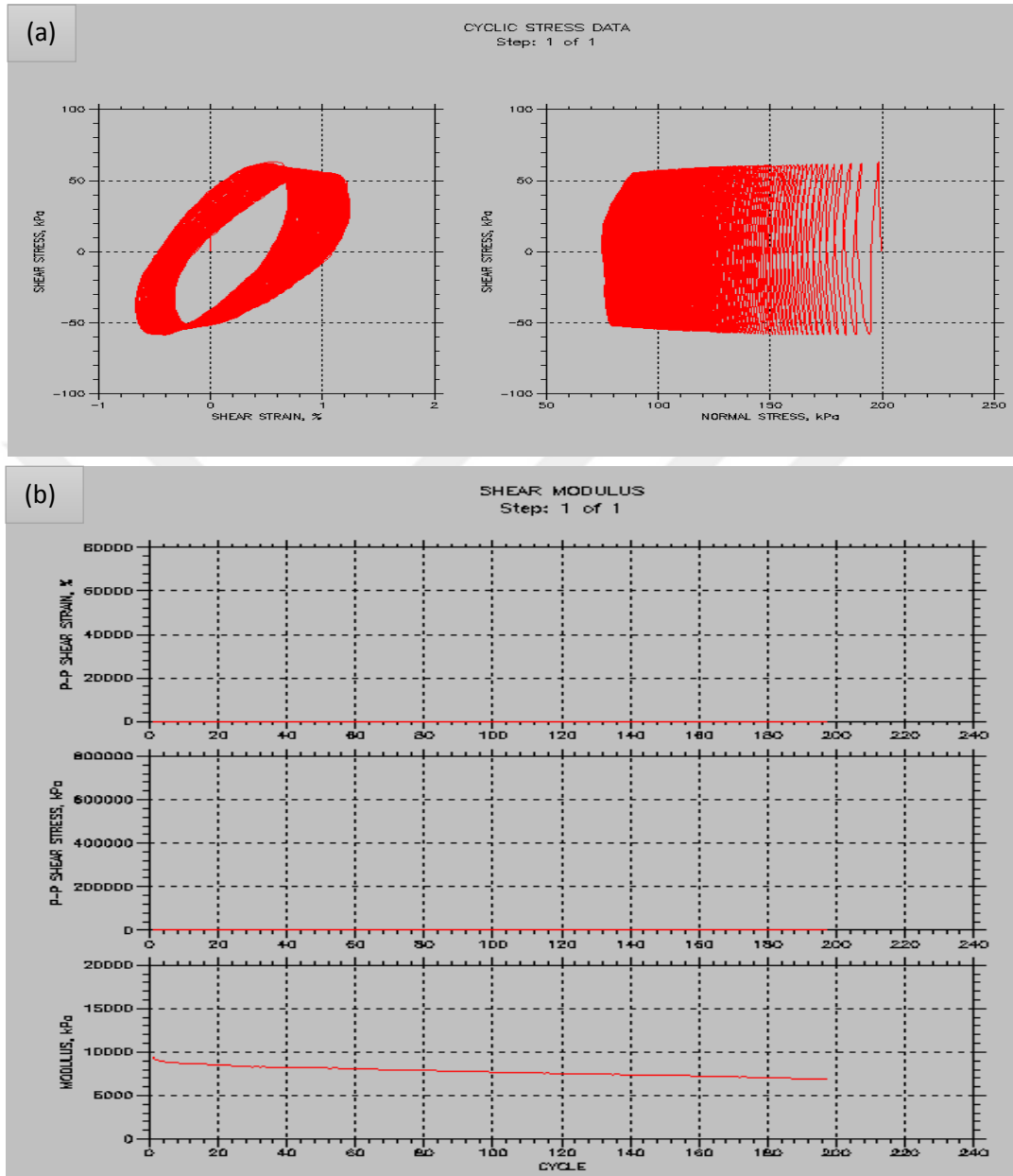


Ek Şekil 34. a) Şekil değiştirme-kayma gerilmesi grafiği
b) Kayma modülü-çevrim sayısı grafiği

Ek Tablo 38. 4 mm uzunluklu bazalt lif sonuçları

(4 mm)	LİF ORANI(%)	BİTÜM ORANI(%)	DAMPİNG(%)	G MODÜLÜS(KPA)
BAZALT	1	8	45,7	10708,3
BAZALT (ORTALAMA)	1	8	45,75	10758,8

Ek 3'ün Devamı

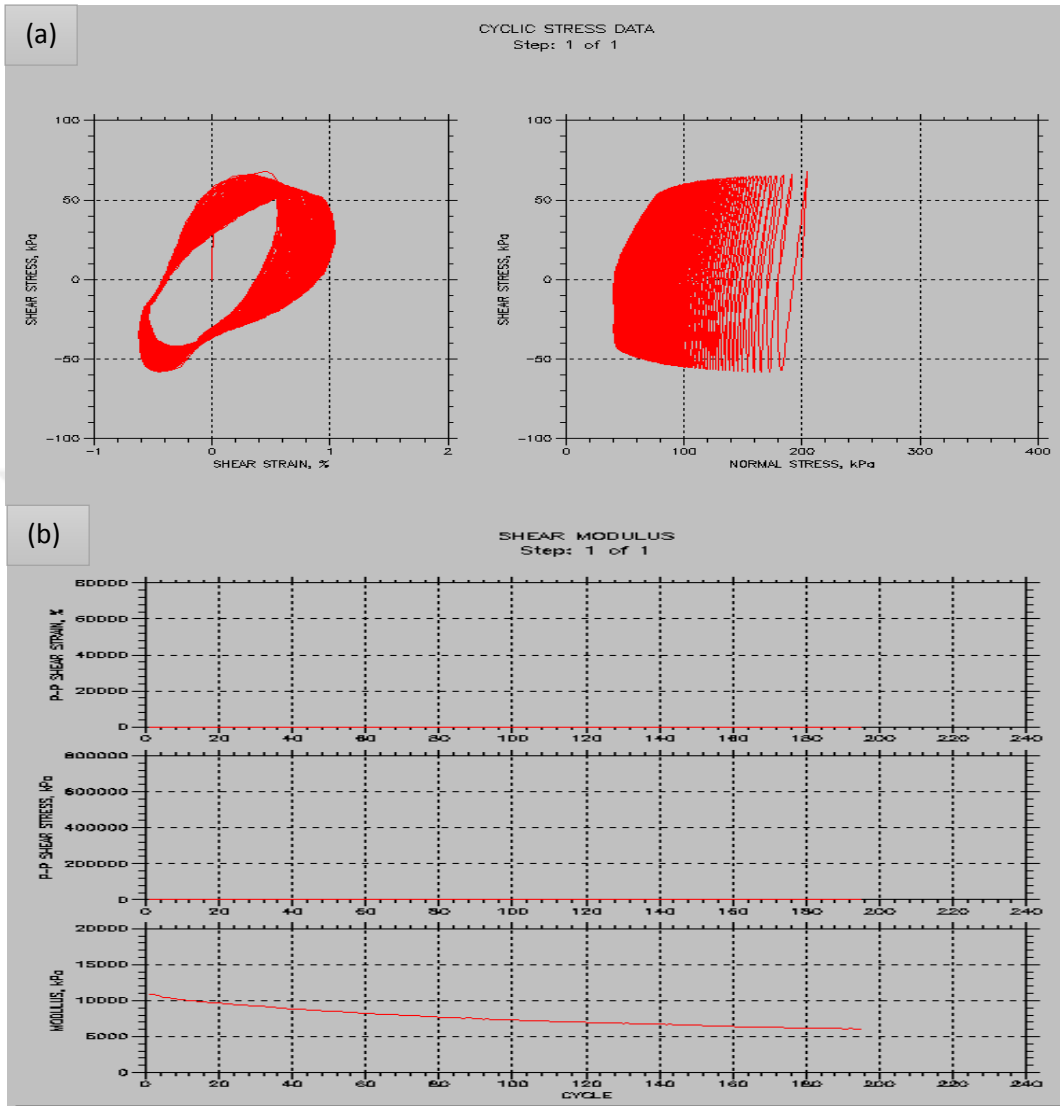


Ek Şekil 35. a) Şekil değiştirme-kayma gerilmesi grafiği
b) Kayma modülü-çevrim sayısı grafiği

Ek Tablo 39. 4 mm uzunluklu bazalt lif sonuçları

BAZALT (4mm)			
LİF ORANI(%)	BITÜM ORANI(%)	DAMPİNG(%)	G MODÜLÜS(KPA)
1	10	46	10883,8

Ek 3'ün Devamı

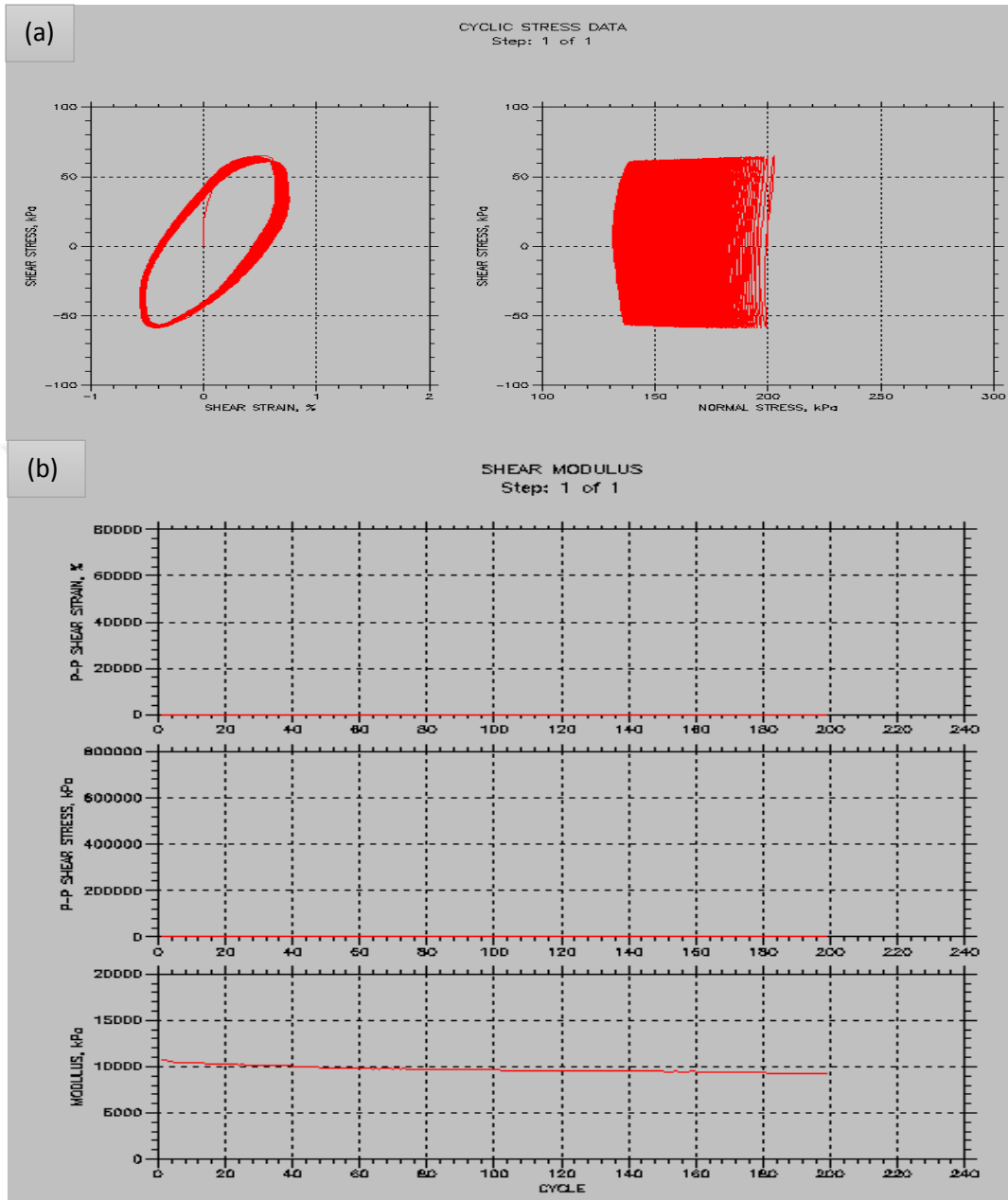


Ek Şekil 36. a) Şekil değiştirme-kayma gerilmesi grafiği
b) Kayma modülü-çevrim sayısı grafiği

Ek Tablo 40. 4 mm uzunluklu bazalt lif sonuçları

(4 mm)	LİF ORANI(%)	BİTÜM ORANI(%)	DAMPİNG(%)	G MODÜLÜS(KPA)
BAZALT	1	10	45,8	10511,1
BAZALT (ORTALAMA)	1	10	45,9	10697,45

Ek 3'ün Devamı

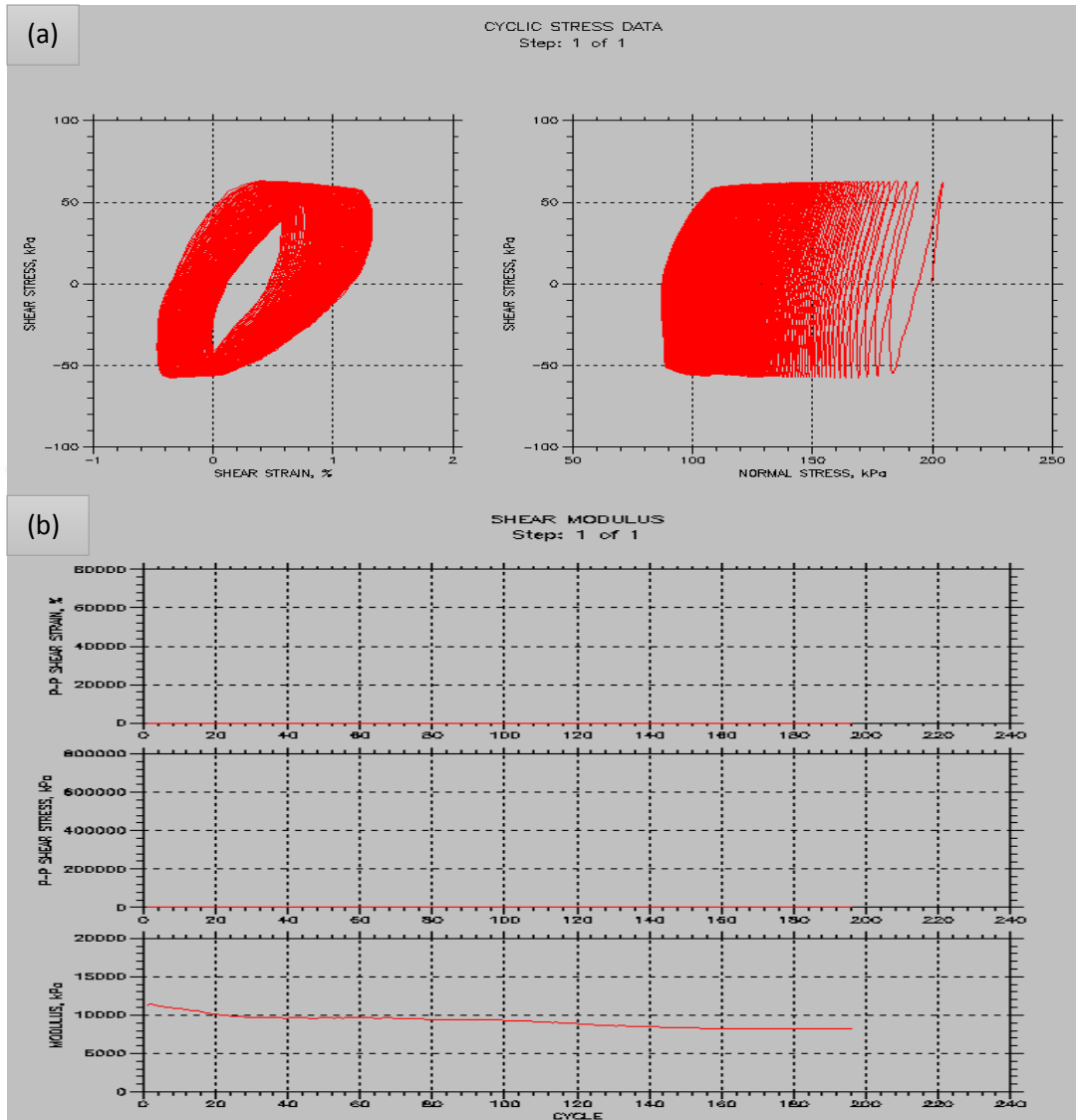


Ek Şekil 37. a) Şekil değiştirme-kayma gerilmesi grafiği
b) Kayma modülü-çevrim sayısı grafiği

Ek Tablo 41. 4 mm uzunluklu bazalt lif sonuçları

BAZALT (4mm)			
LİF ORANI(%)	BİTÜM ORANI(%)	DAMPİNG(%)	G MODÜLÜS(KPA)
1	12	45,3	11294,3

Ek 3'ün Devamı



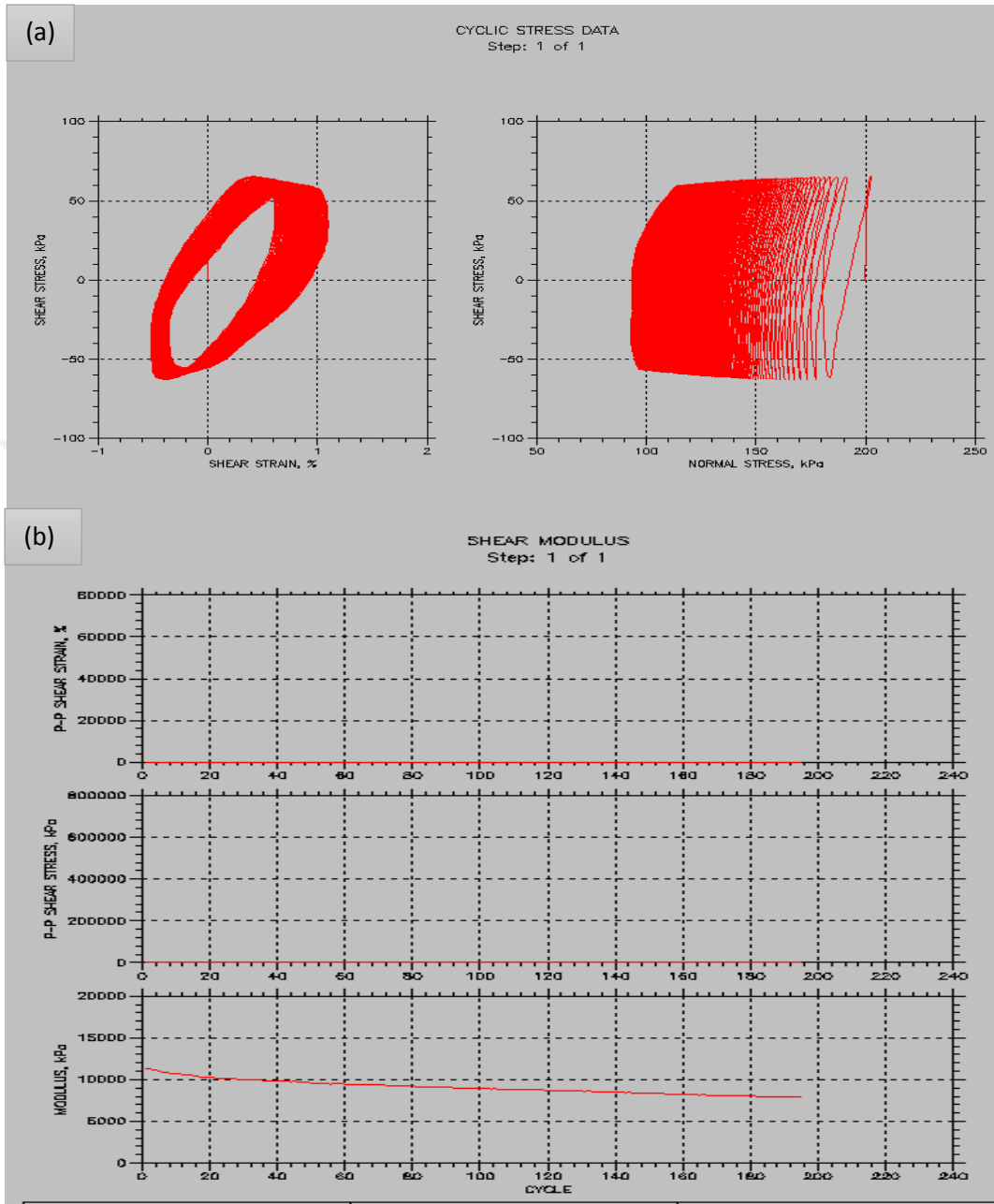
Ek Şekil 38. a) Şekil değiştirme-kayma gerilmesi grafiği

b) Kayma modülü-çevrim sayısı grafiği

Ek Tablo 42. 4 mm uzunluklu bazalt lif sonuçları

(4 mm)	LİF ORANI(%)	BİTÜM ORANI(%)	DAMPİNG(%)	G MODÜLÜS(KPA)
BAZALT	1	12	46,7	10036,7
BAZALT (ORTALAMA)	1	12	46	10665,5

Ek 3'ün Devamı

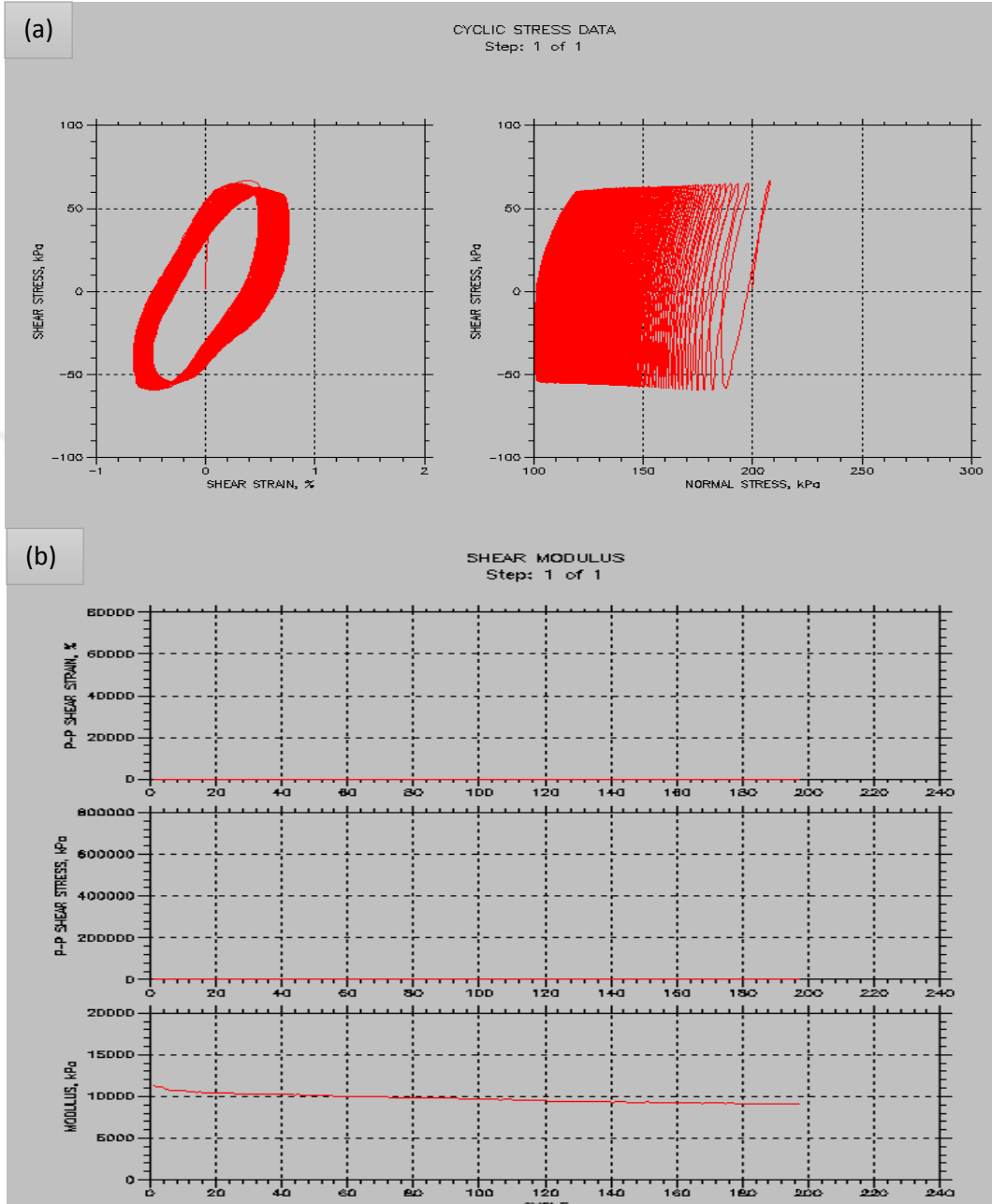


Ek Şekil 39. a) Şekil değiştirme-kayma gerilmesi grafiği
b) Kayma modülü-çevrim sayısı grafiği

Ek Tablo 43. 6 mm uzunluklu bazalt lif sonuçları

BAZALT (6mm)			
LİF ORANI(%)	BITÜM ORANI(%)	DAMPING(%)	G MODÜLÜS(KPA)
1	8	45,6	11810,3

Ek 3'ün Devamı

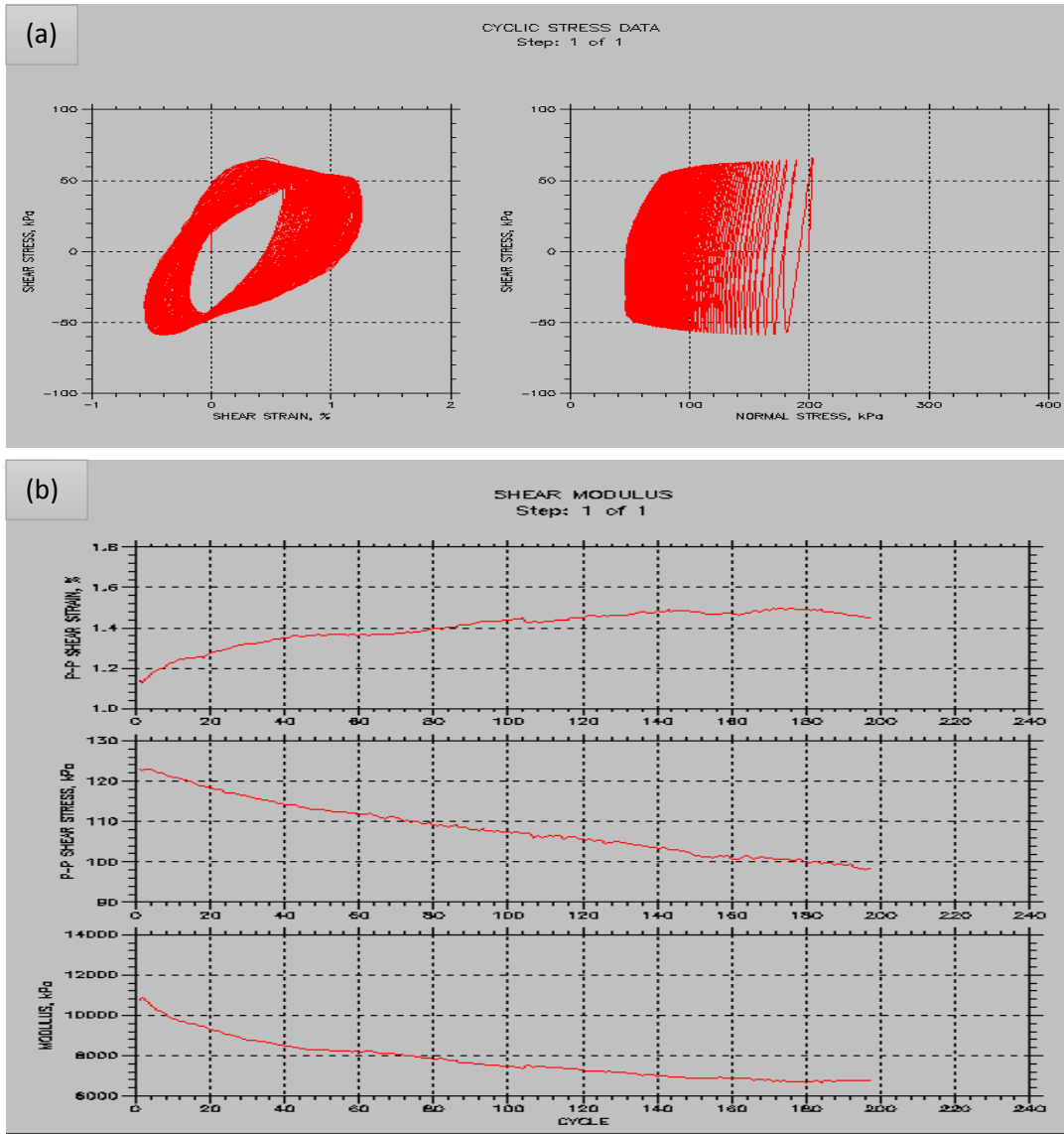


Ek Şekil 40. a) Şekil değiştirme-kayma gerilmesi grafiği
b) Kayma modülü-çevrim sayısı grafiği

Ek Tablo 44. 6 mm uzunluklu bazalt lif sonuçları

BAZALT (6mm)			
LİF ORANI(%)	BITÜM ORANI(%)	DAMPİNG(%)	G MODÜLÜS(KPA)
1	10	46,1	11699,1

Ek 3'ün Devamı

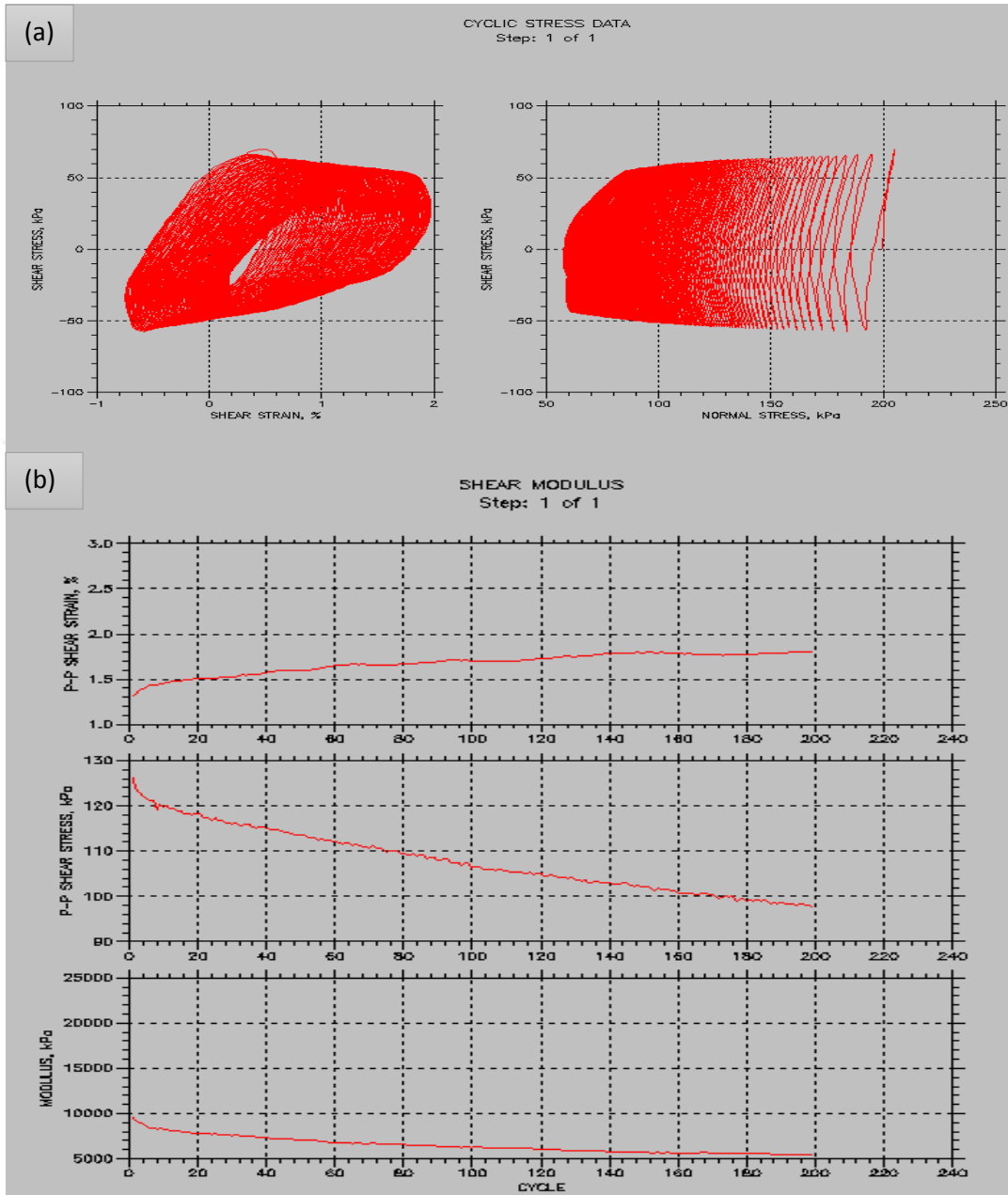


Ek Şekil 41. a) Şekil değiştirme-kayma gerilmesi grafiği
b) Kayma modülü-çevrim sayısı grafiği

Ek Tablo 45. 6 mm uzunluklu bazalt lif sonuçları

(6 mm)	LİF ORANI(%)	BİTÜM ORANI(%)	DAMPİNG(%)	G MODÜLÜS(KPA)
BAZALT	1	12	47	10457,4
BAZALT (ORTALAMA)	1	12	47	10457,4

Ek 3'ün Devamı

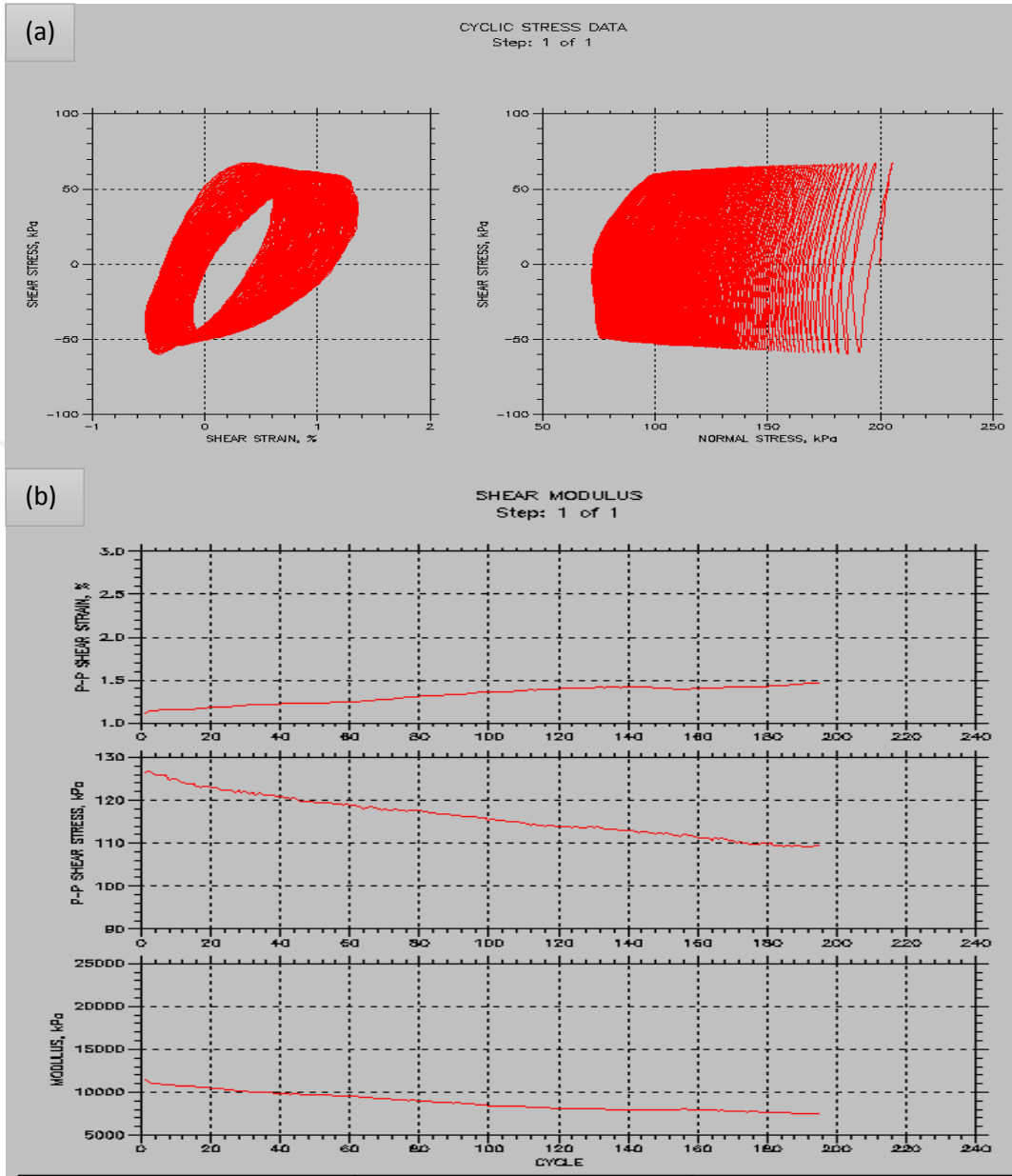


Ek Şekil 42. a) Şekil değiştirme-kayma gerilmesi grafiği
b) Kayma modülü-çevrim sayısı grafiği

Ek Tablo 46. 2 mm uzunluklu bazalt lif sonuçları

BAZALT (2mm)			
LİF ORANI(%)	BİTÜM ORANI(%)	DAMPİNG(%)	G MODÜLÜS(KPA)
3	8	43	10642,2

Ek 3'ün Devamı

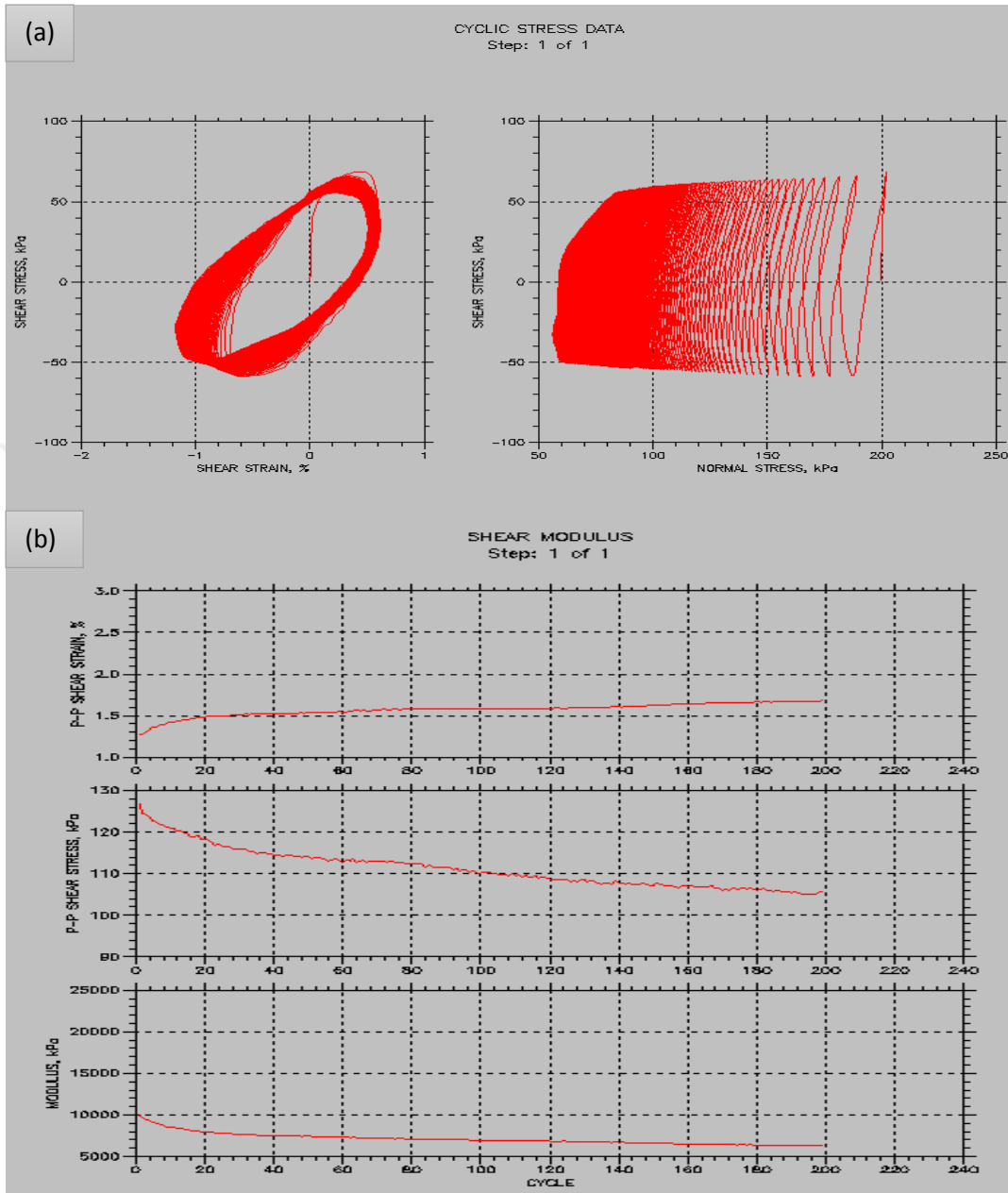


Ek Şekil 43. a) Şekil değiştirme-kayma gerilmesi grafiği
b) Kayma modülü-çevrim sayısı grafiği

Ek Tablo 47. 2 mm uzunluklu bazalt lif sonuçları

(2 mm)	LİF ORANI(%)	BİTÜM ORANI(%)	DAMPİNG(%)	G MODÜLÜS(KPA)
BAZALT	3	8	43	10866,85
BAZALT (ORTALAMA)	3	8	43	10587.75

Ek 3'ün Devamı

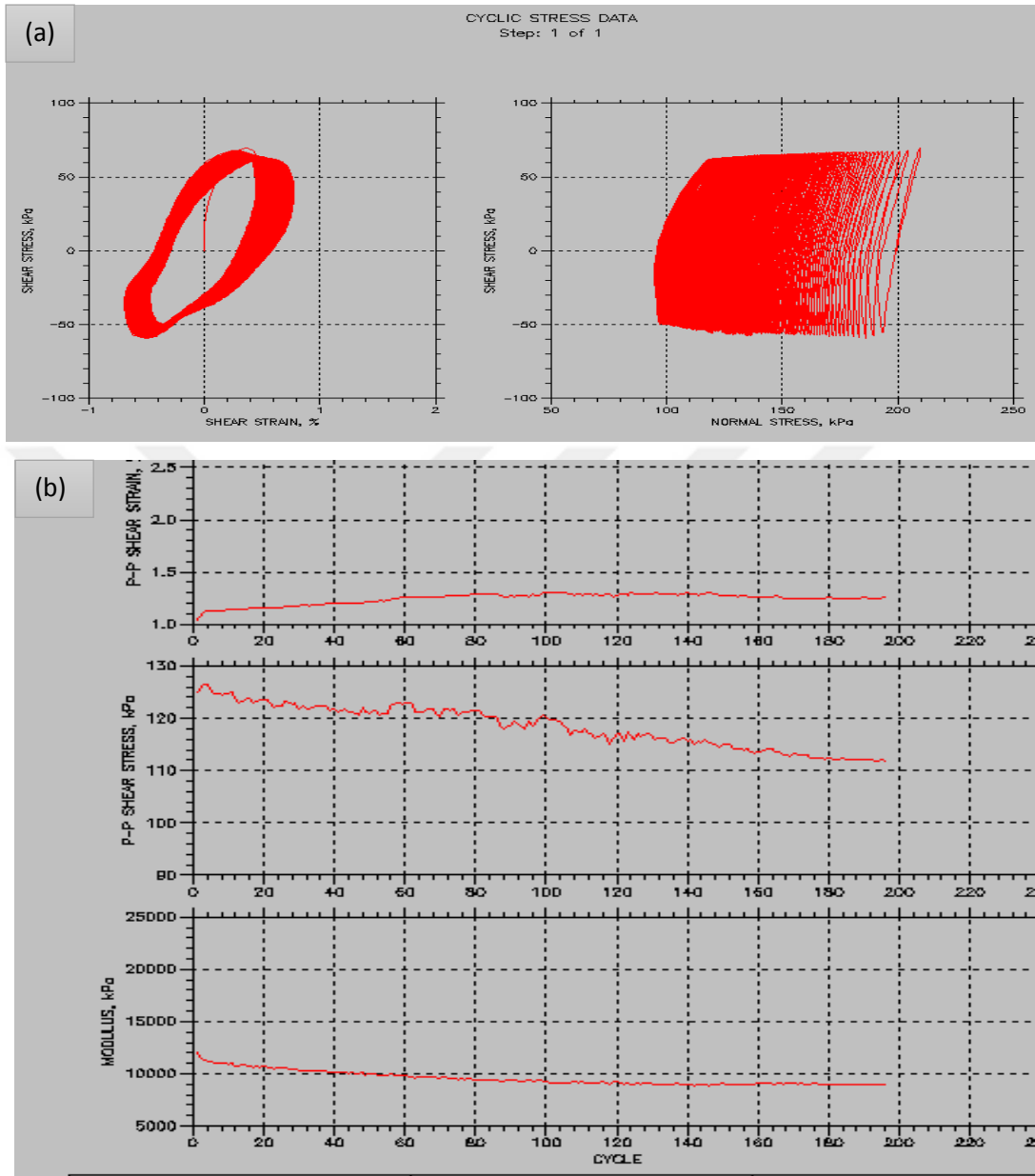


Ek Şekil 44. a) Şekil değiştirme-kayma gerilmesi grafiği
b) Kayma modülü-çevrim sayısı grafiği

Ek Tablo 48. 2 mm uzunluklu bazalt lif sonuçları

BAZALT (2mm)			
LİF ORANI(%)	BİTÜM ORANI(%)	DAMPİNG(%)	G MODÜLÜS(KPA)
3	10	43,8	9501,2

Ek 3'ün Devamı

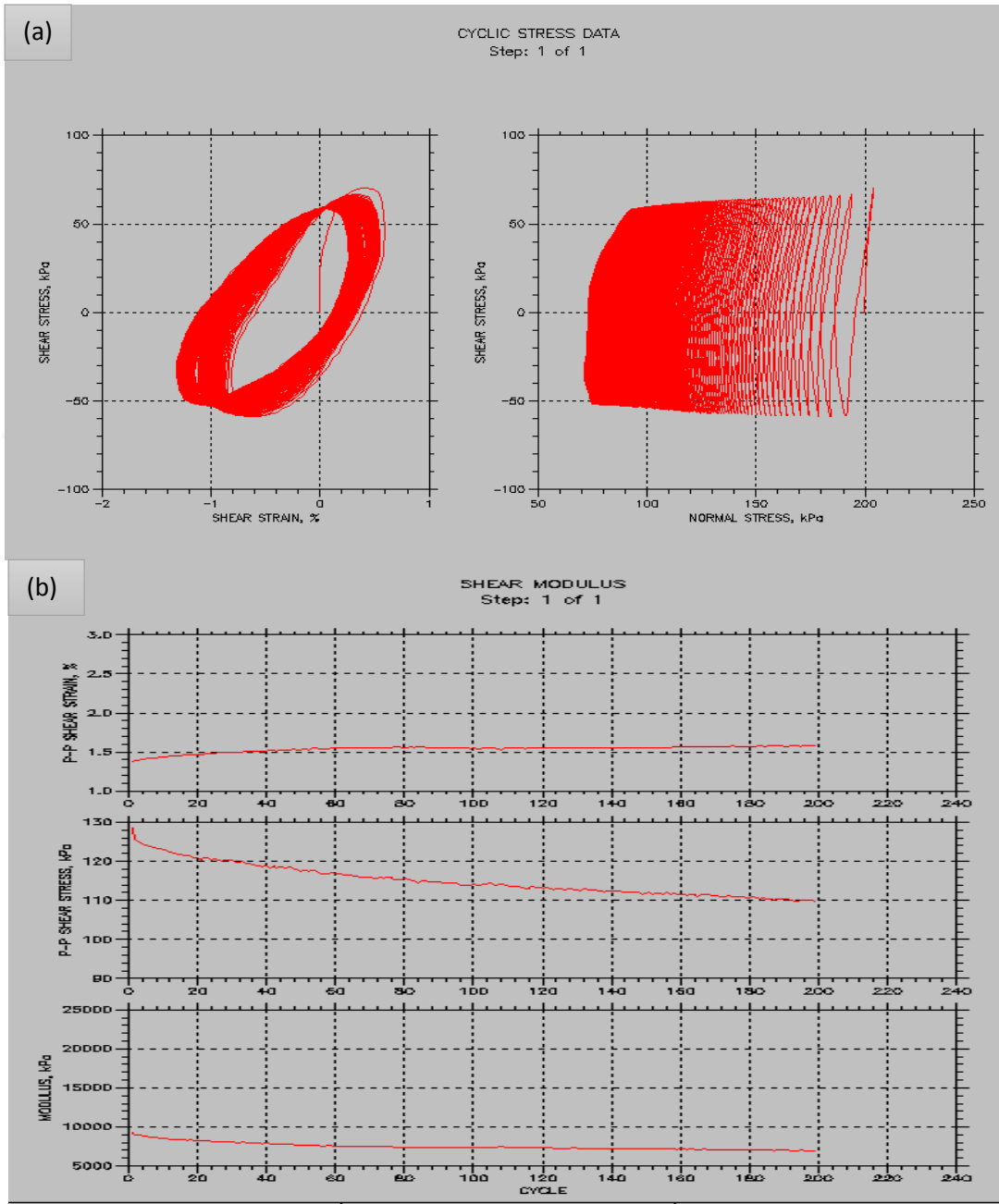


Ek Şekil 45. a) Şekil değiştirme-kayma gerilmesi grafiği
b) Kayma modülü-çevrim sayısı grafiği

Ek Tablo 49. 2 mm uzunluklu bazalt lif sonuçları

(2 mm)	LİF ORANI(%)	BİTÜM ORANI(%)	DAMPİNG(%)	G MODÜLÜS(KPA)
BAZALT	3	10	43,5	10420,4
BAZALT (ORTALAMA)	3	10	43,65	9960,8

Ek 3'ün Devamı

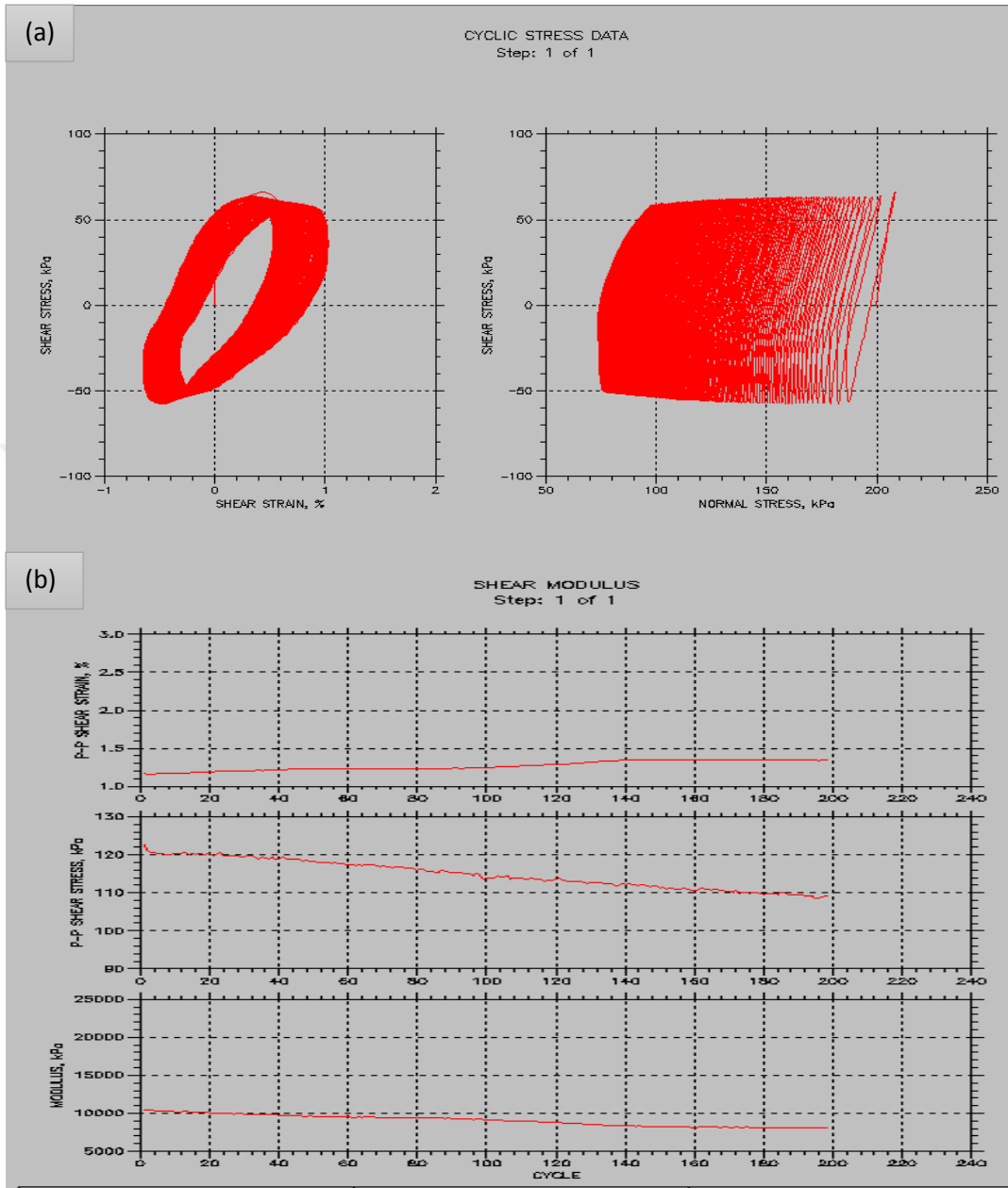


Ek Şekil 46. a) Şekil değiştirme-kayma gerilmesi grafiği
b) Kayma modülü-çevrim sayısı grafiği

Ek Tablo 50. 2 mm uzunluklu bazalt lif sonuçları

BAZALT (2mm)			
LİF ORANI(%)	BİTÜM ORANI(%)	DAMPİNG(%)	G MODÜLÜS(KPA)
3	12	44,3	9953,1

Ek 3'ün Devamı

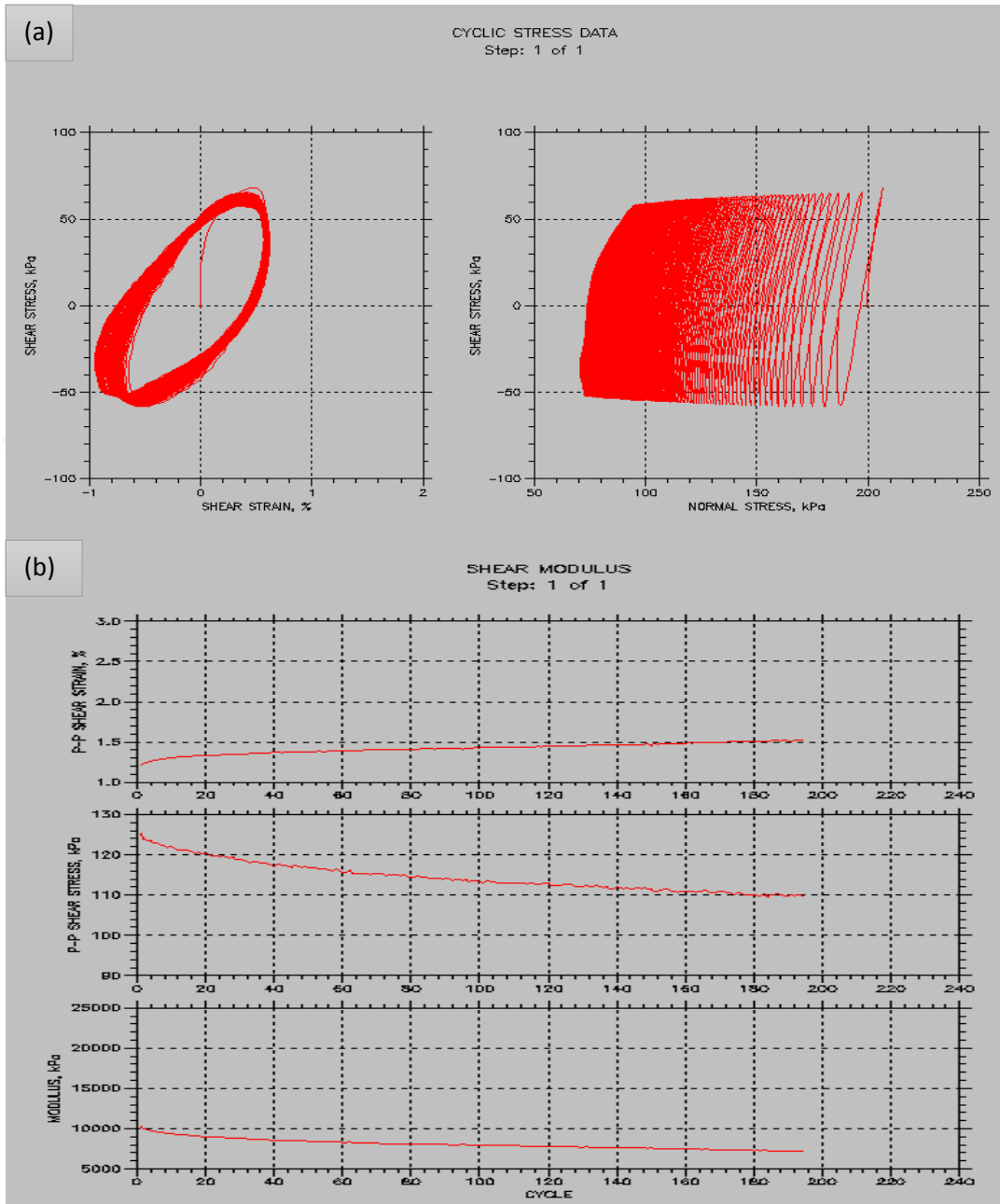


Ek Şekil 47. a) Şekil değiştirme-kayma gerilmesi grafiği
b) Kayma modülü-çevrim sayısı grafiği

Ek Tablo 51. 2 mm uzunluklu bazalt lif sonuçları

BAZALT (2mm) (ortalama)			
LİF ORANI(%)	BİTÜM ORANI(%)	DAMPING(%)	G MODÜLÜS(KPA)
3	12	44,3	9953,1

Ek 3'ün Devamı

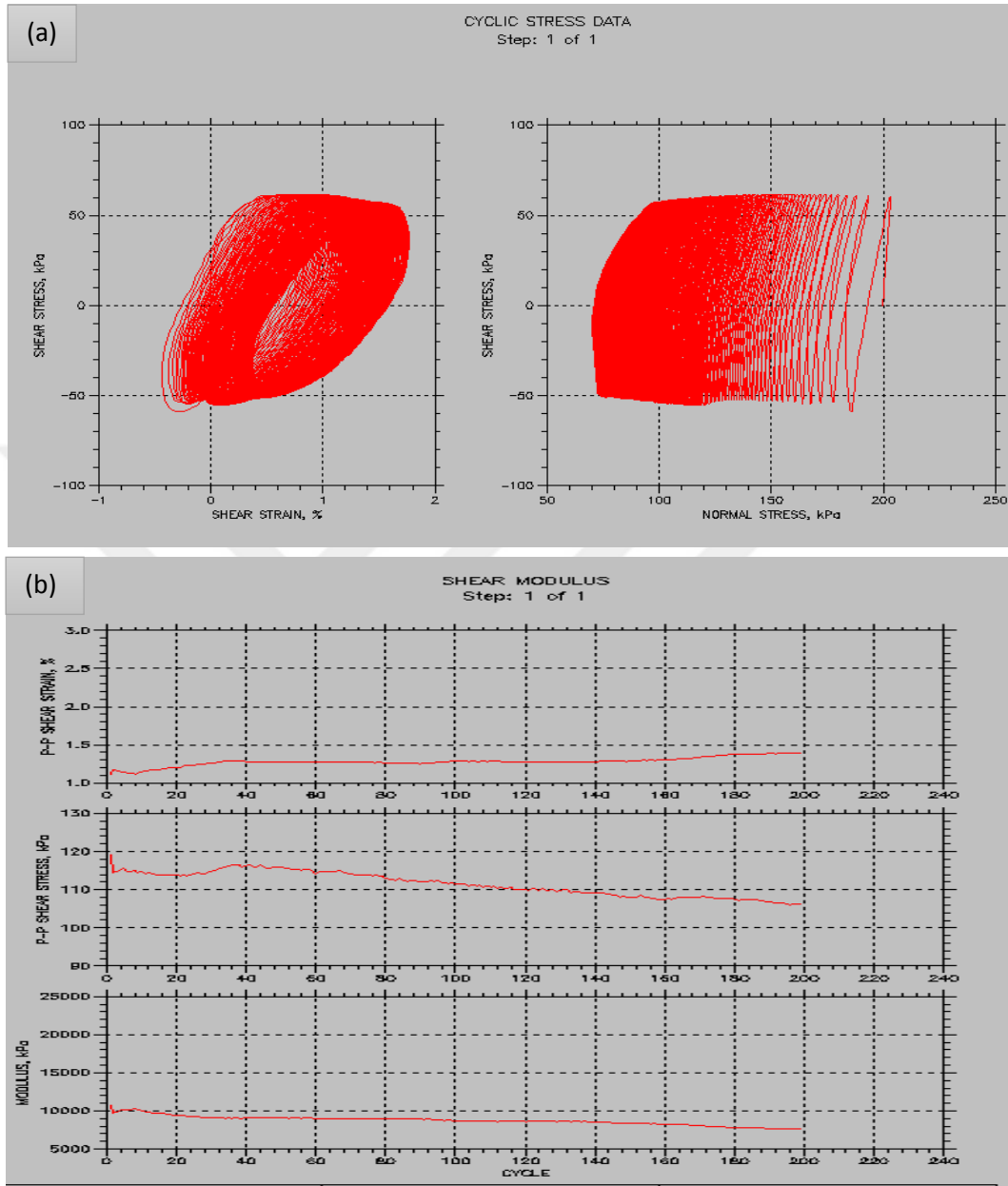


Ek Şekil 48. a) Şekil değiştirme-kayma gerilmesi grafiği
b) Kayma modülü-çevrim sayısı grafiği

Ek Tablo 52. 4 mm uzunluklu bazalt lif sonuçları

BAZALT (4mm)			
LİF ORANI(%)	BITÜM ORANI(%)	DAMPİNG(%)	G MODÜLÜS(KPA)
3	8	44,4	10902

Ek 3'ün Devamı

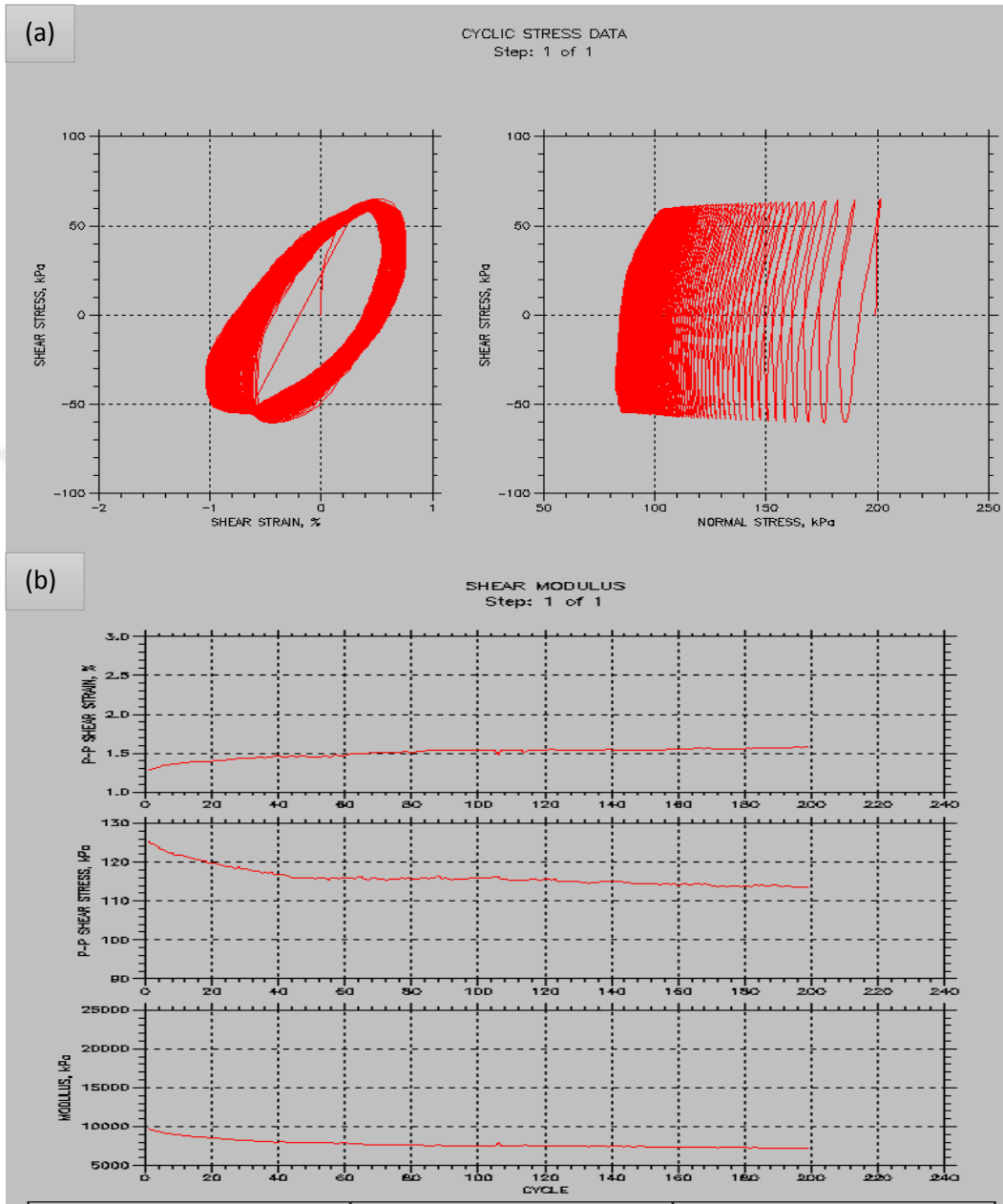


Ek Şekil 49. a) Şekil değiştirme-kayma gerilmesi grafiği
b) Kayma modülü-çevrim sayısı grafiği

Ek Tablo 53. 4 mm uzunluklu bazalt lif sonuçları

(4 mm)	LİF ORANI(%)	BİTÜM ORANI(%)	DAMPİNG(%)	G MODÜLÜS(KPA)
BAZALT	3	8	45	11949,9
BAZALT (ORTALAMA)	3	8	44,7	11425,95

Ek 3'ün Devamı

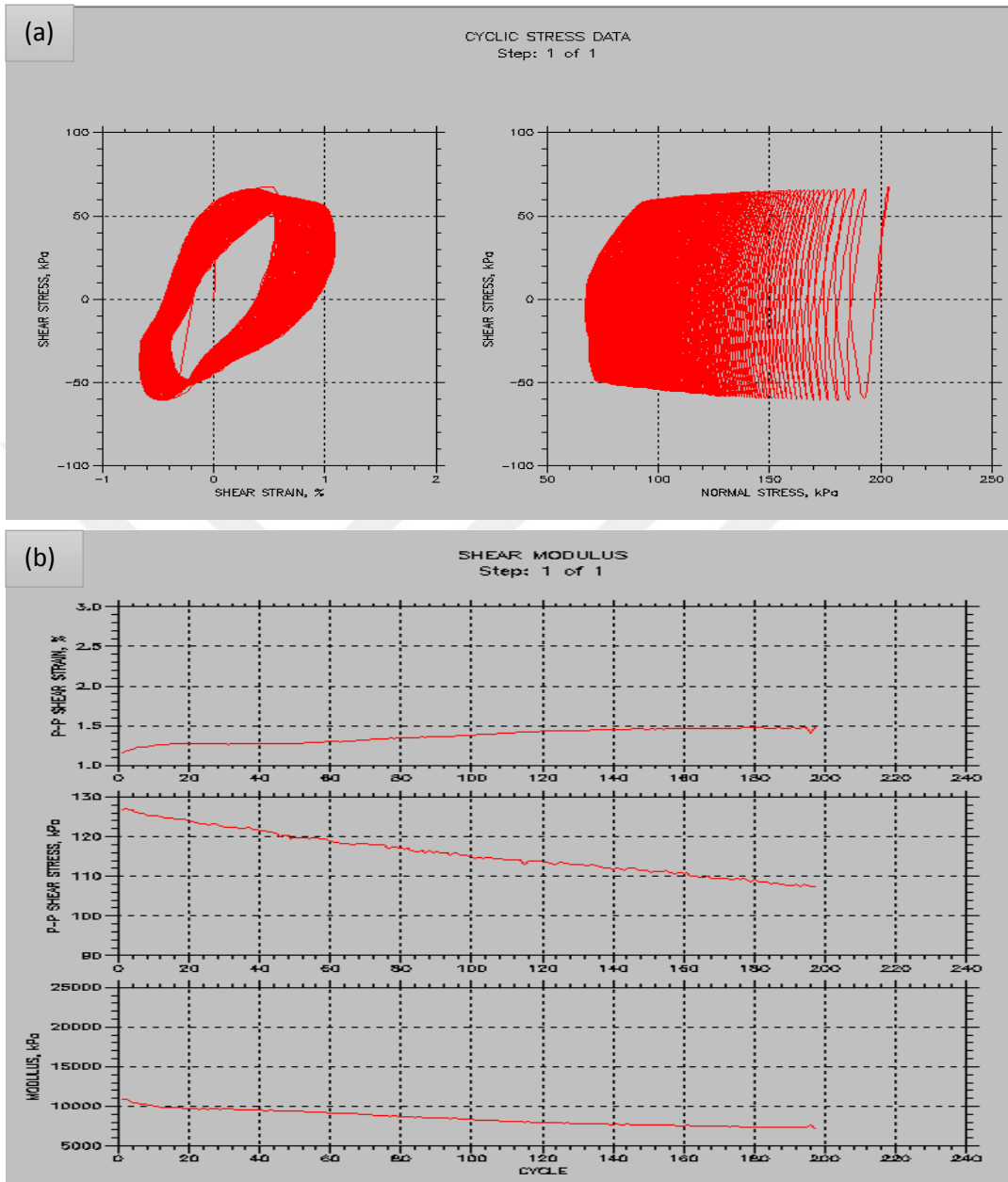


Ek Şekil 50. a) Şekil değiştirme-kayma gerilmesi grafiği
b) Kayma modülü-çevrim sayısı grafiği

Ek Tablo 54. 4 mm uzunluklu bazalt lif sonuçları

BAZALT (4mm)			
LİF ORANI(%)	BİTÜM ORANI(%)	DAMPİNG(%)	G MODÜLÜS(KPA)
3	10	45,6	10618,4

Ek 3'ün Devamı

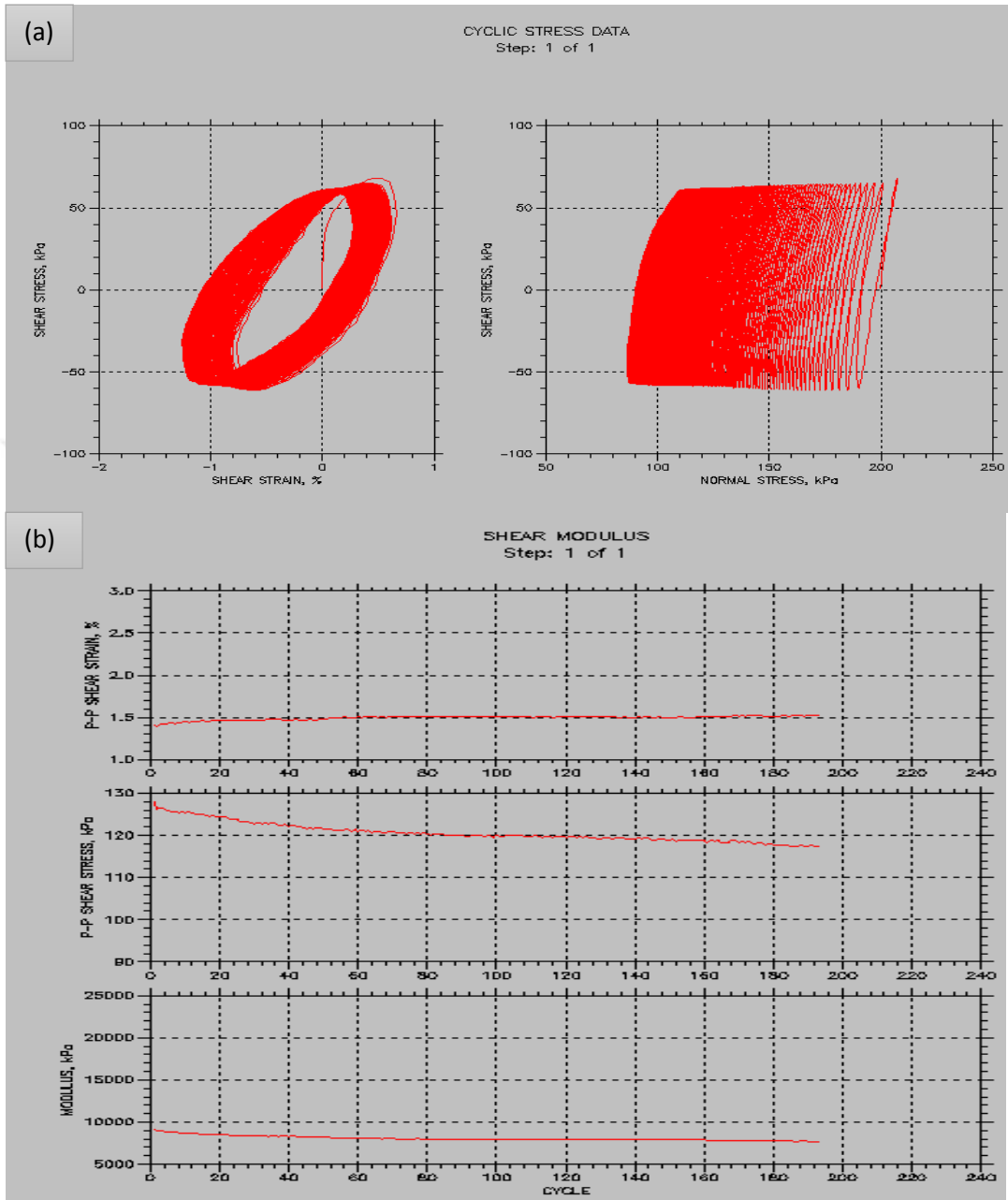


Ek Şekil 51. a) Şekil değiştirme-kayma gerilmesi grafiği
b) Kayma modülü-çevrim sayısı grafiği

Ek Tablo 55. 4 mm uzunluklu bazalt lif sonuçları

(4 mm)	LİF ORANI(%)	BİTÜM ORANI(%)	DAMPİNG(%)	G MODÜLÜS(KPA)
BAZALT	3	10	45,5	11012,4
BAZALT (ORTALAMA)	3	10	46,55	10815,4

Ek 3'ün Devamı

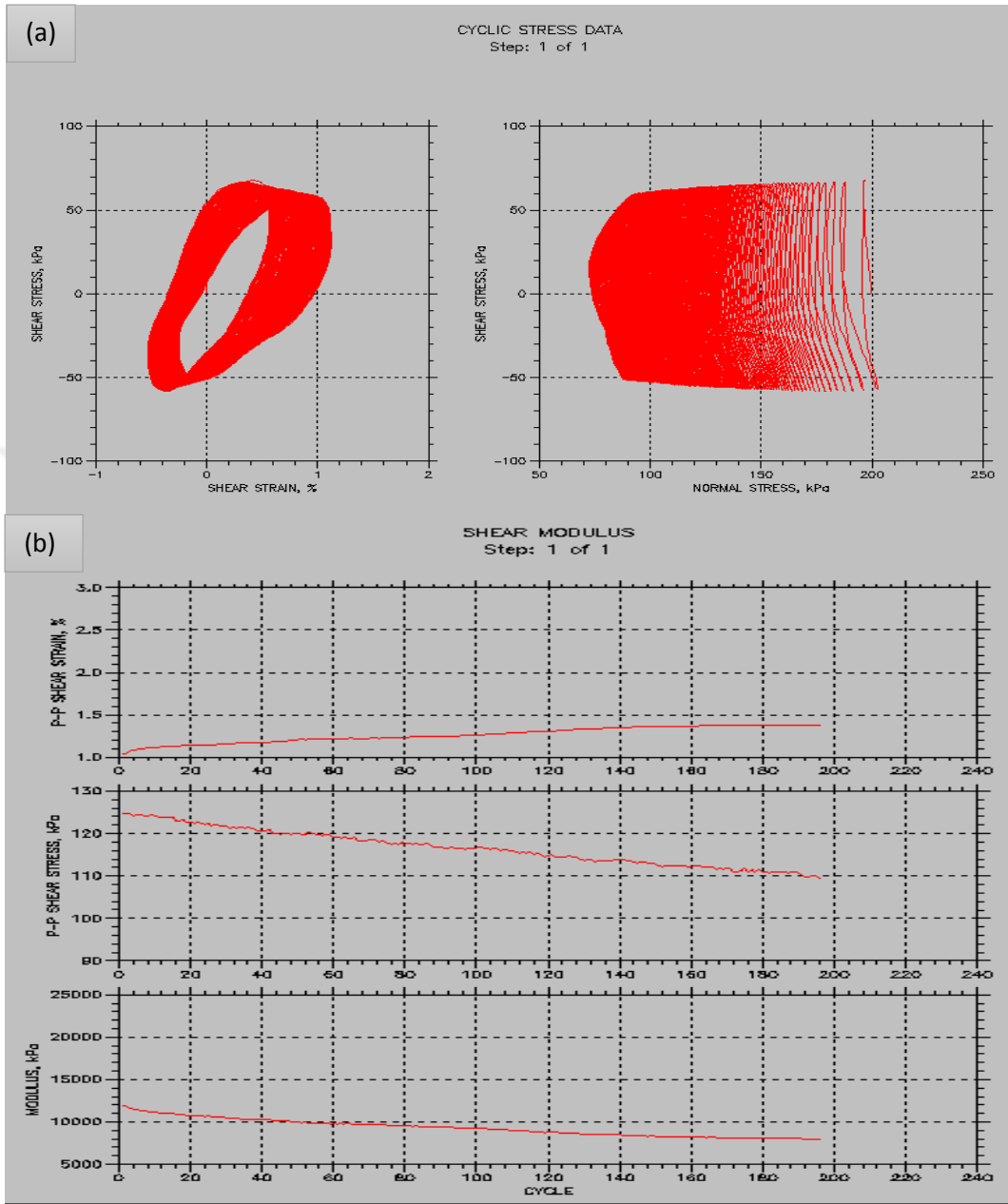


Ek Şekil 52. a) Şekil değiştirme-kayma gerilmesi grafiği
b) Kayma modülü-çevrim sayısı grafiği

Ek Tablo 56. 4 mm uzunluklu bazalt lif sonuçları

BAZALT (4mm) LİF ORANI(%)	BİTÜM ORANI(%)	DAMPİNG(%)	G MODÜLÜS(KPA)
3	12	46,9	10428,1

Ek 3'ün Devamı

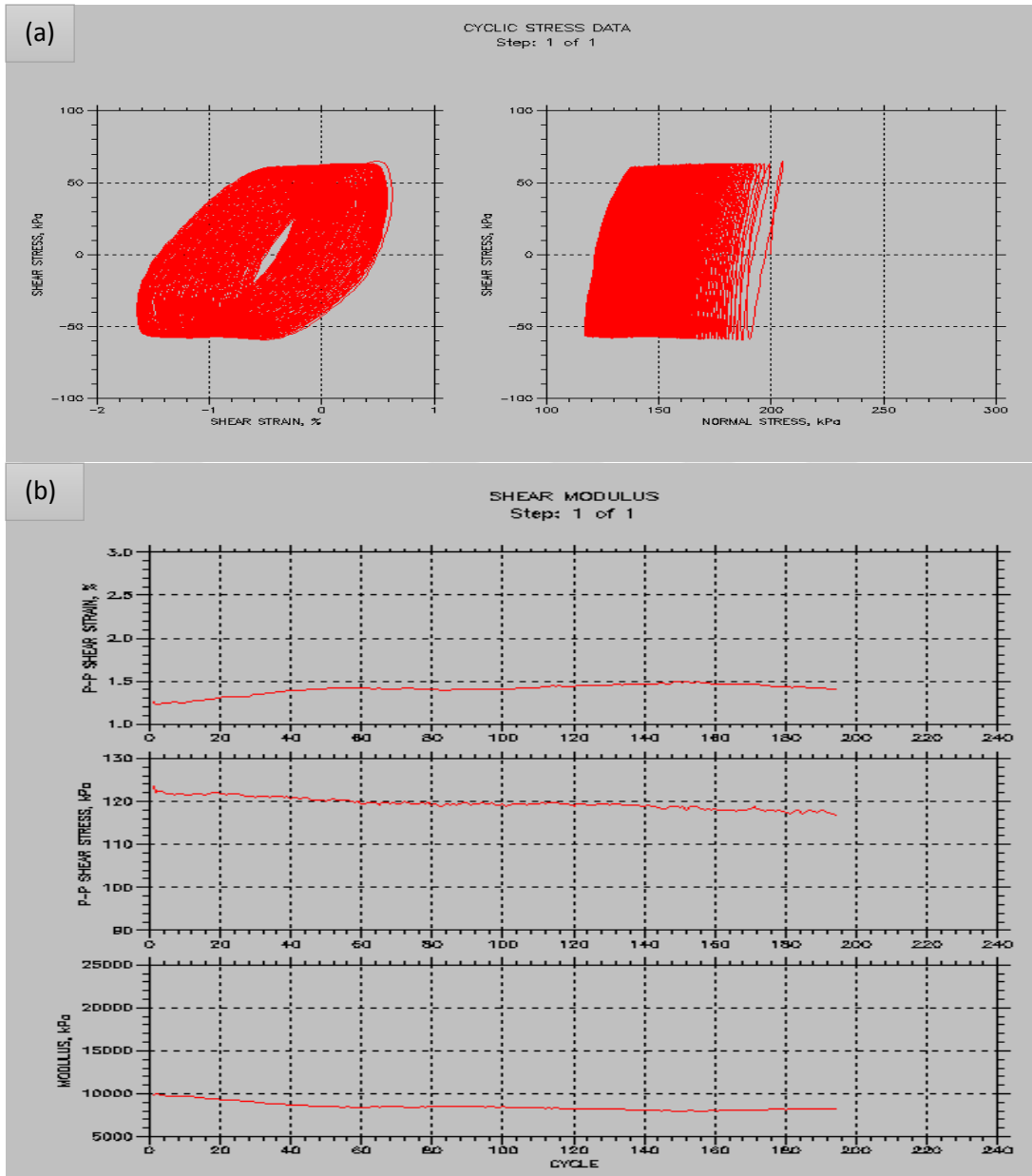


Ek Şekil 53. a) Şekil değiştirme-kayma gerilmesi grafiği
b) Kayma modülü-çevrim sayısı grafiği

Ek Tablo 57. 4 mm uzunluklu bazalt lif sonuçları

(4 mm)	LİF ORANI(%)	BİTÜM ORANI(%)	DAMPİNG(%)	G MODÜLÜS(KPA)
BAZALT	3	12	47,1	10711,2
BAZALT (ORTALAMA)	3	12	47,0	10569,65

Ek 3'ün Devamı

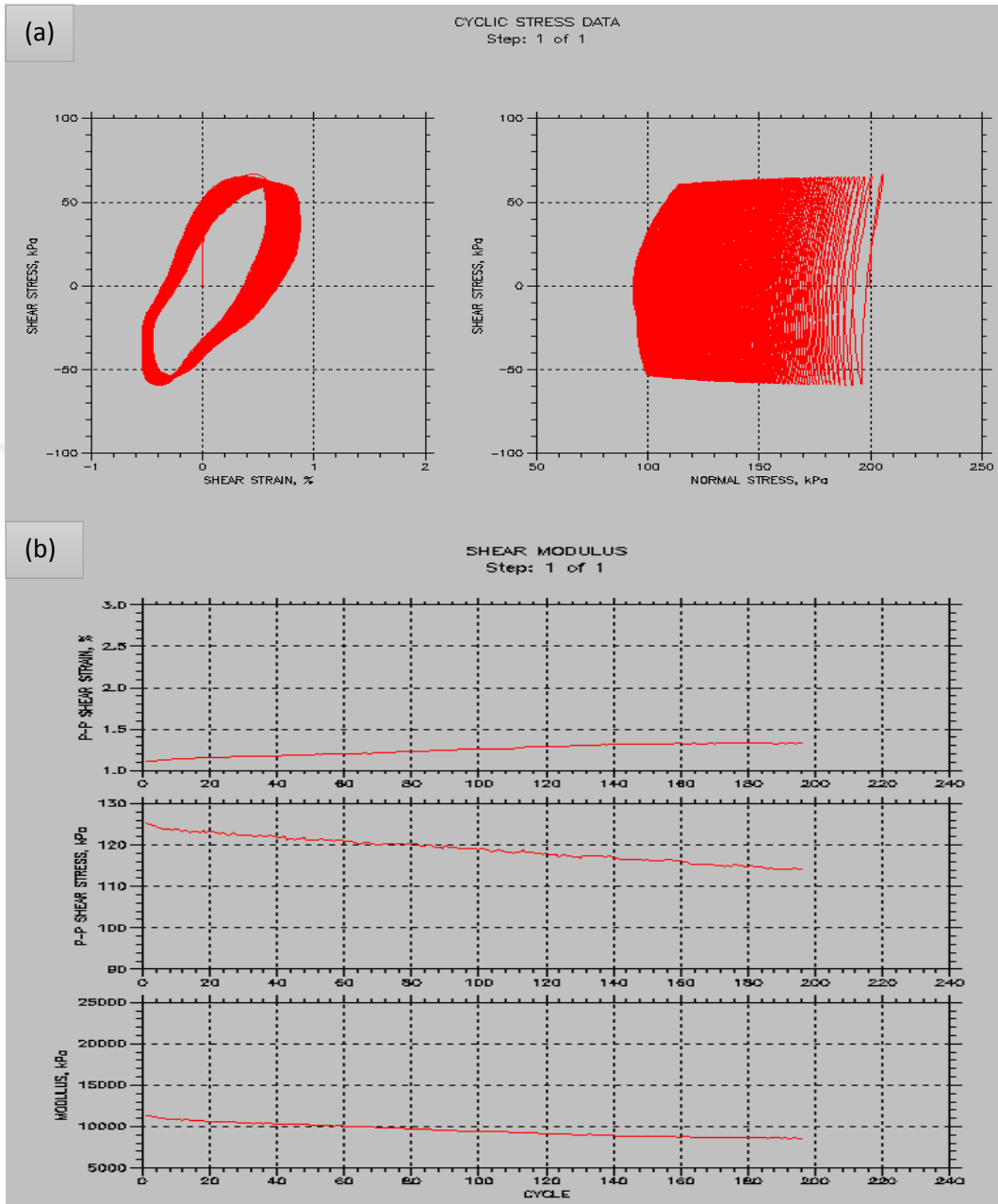


Ek Şekil 54. a) Şekil değiştirme-kayma gerilmesi grafiği
b) Kayma modülü-çevrim sayısı grafiği

Ek Tablo 58. 6 mm uzunluklu bazalt lif sonuçları

BAZALT (6mm)			
LİF ORANI(%)	BİTÜM ORANI(%)	DAMPİNG(%)	G MODÜLÜS(KPA)
3	8	44,9	11860,8

Ek 3'ün Devamı

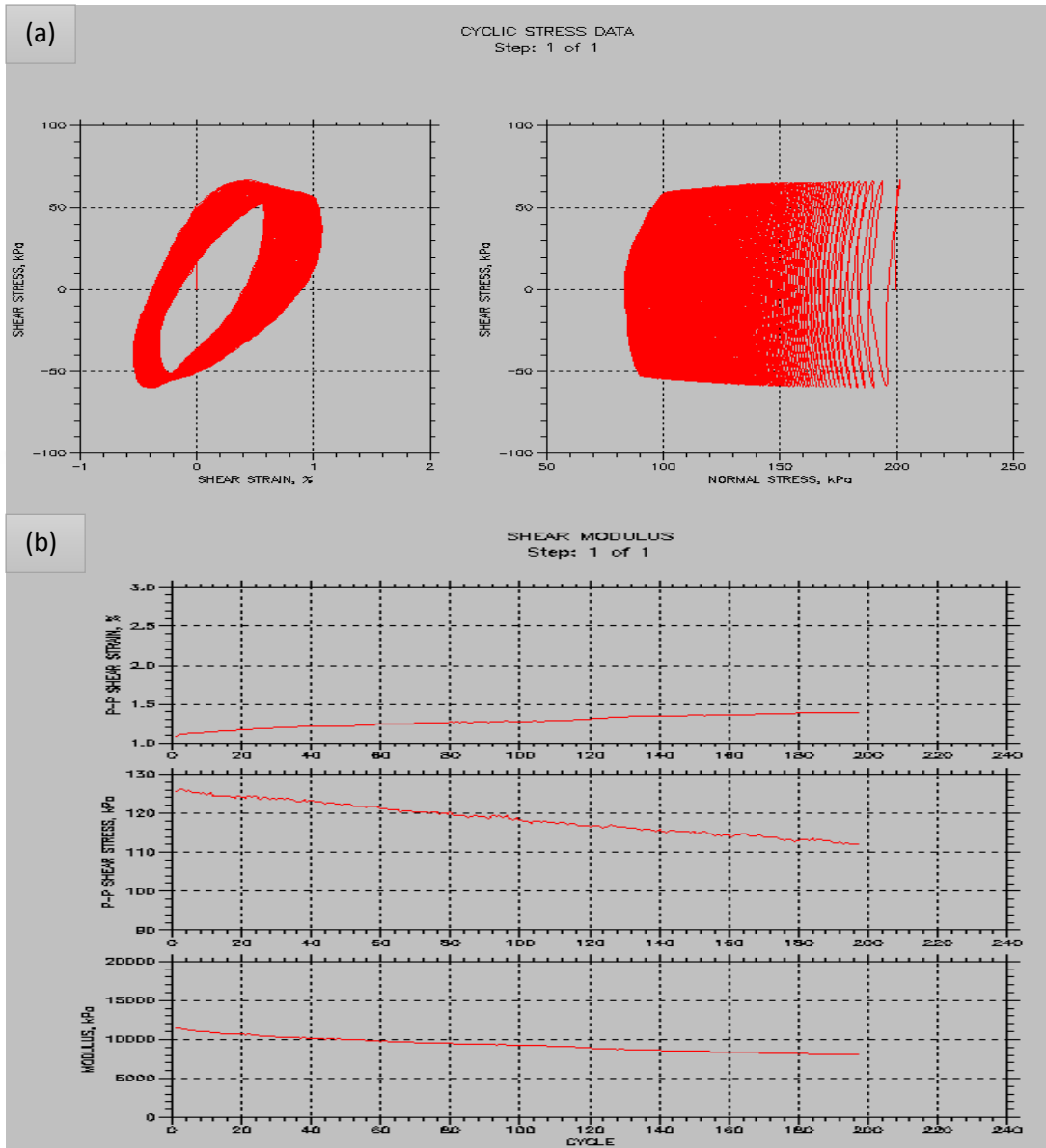


Ek Şekil 55. a) Şekil değiştirme-kayma gerilmesi grafiği
b) Kayma modülü-çevrim sayısı grafiği

Ek Tablo 59. 6 mm uzunluklu bazalt lif sonuçları

(6 mm)	LİF ORANI(%)	BİTÜM ORANI(%)	DAMPİNG(%)	G MODÜLÜS(KPA)
BAZALT	3	8	45	11730,7
BAZALT (ORTALAMA)	3	8	44,95	11795,75

Ek 3'ün Devamı



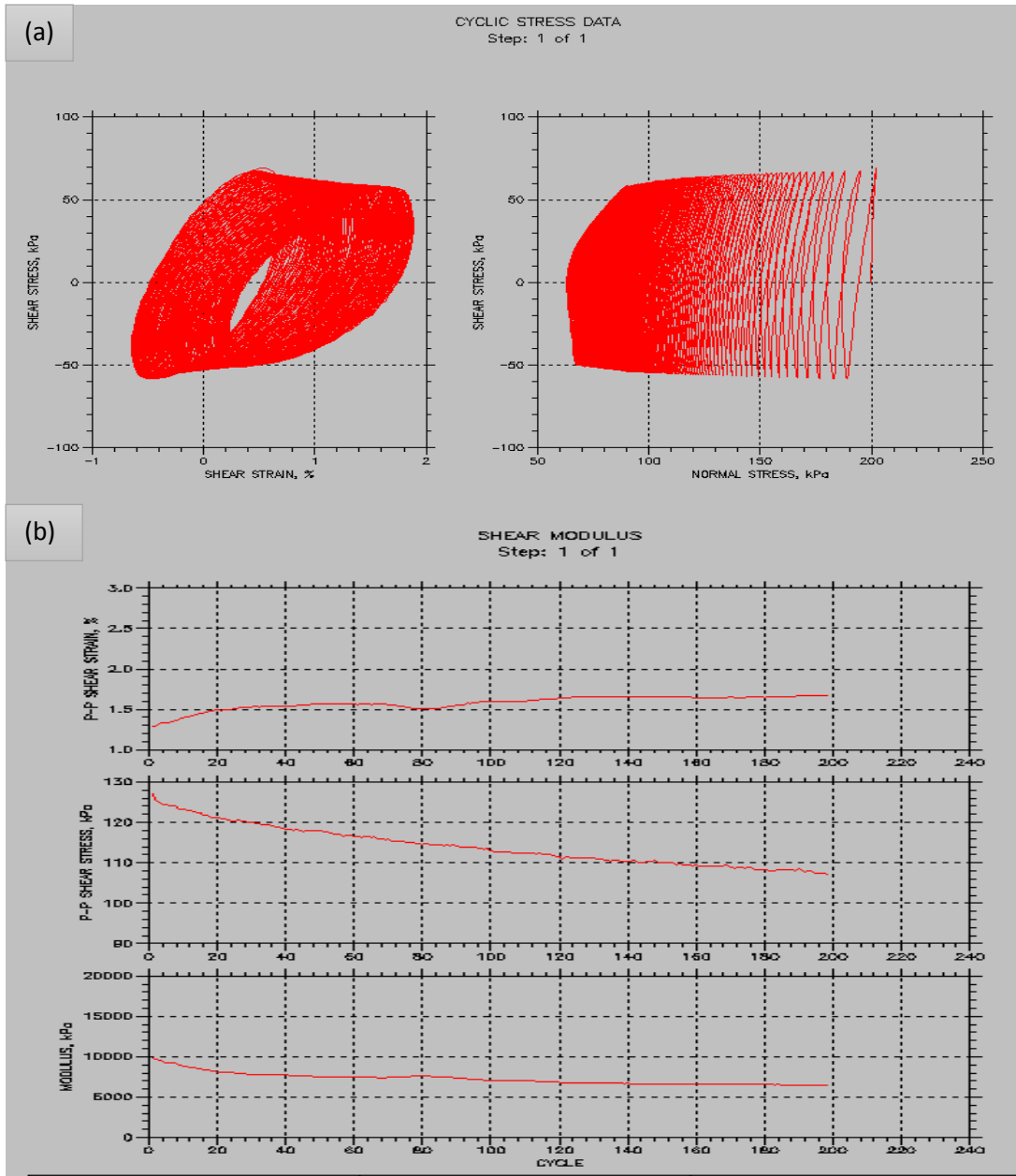
Ek Şekil 56. a) Şekil değiştirme-kayma gerilmesi grafiği

b) Kayma modülü-çevrim sayısı grafiği

Ek Tablo 60. 6 mm uzunluklu bazalt lif sonuçları

BAZALT (6mm) LİF ORANI(%)	BİTÜM ORANI(%)	DAMPİNG(%)	G MODÜLÜS(KPA)
3	10	46,8	11587,2

Ek 3'ün Devamı

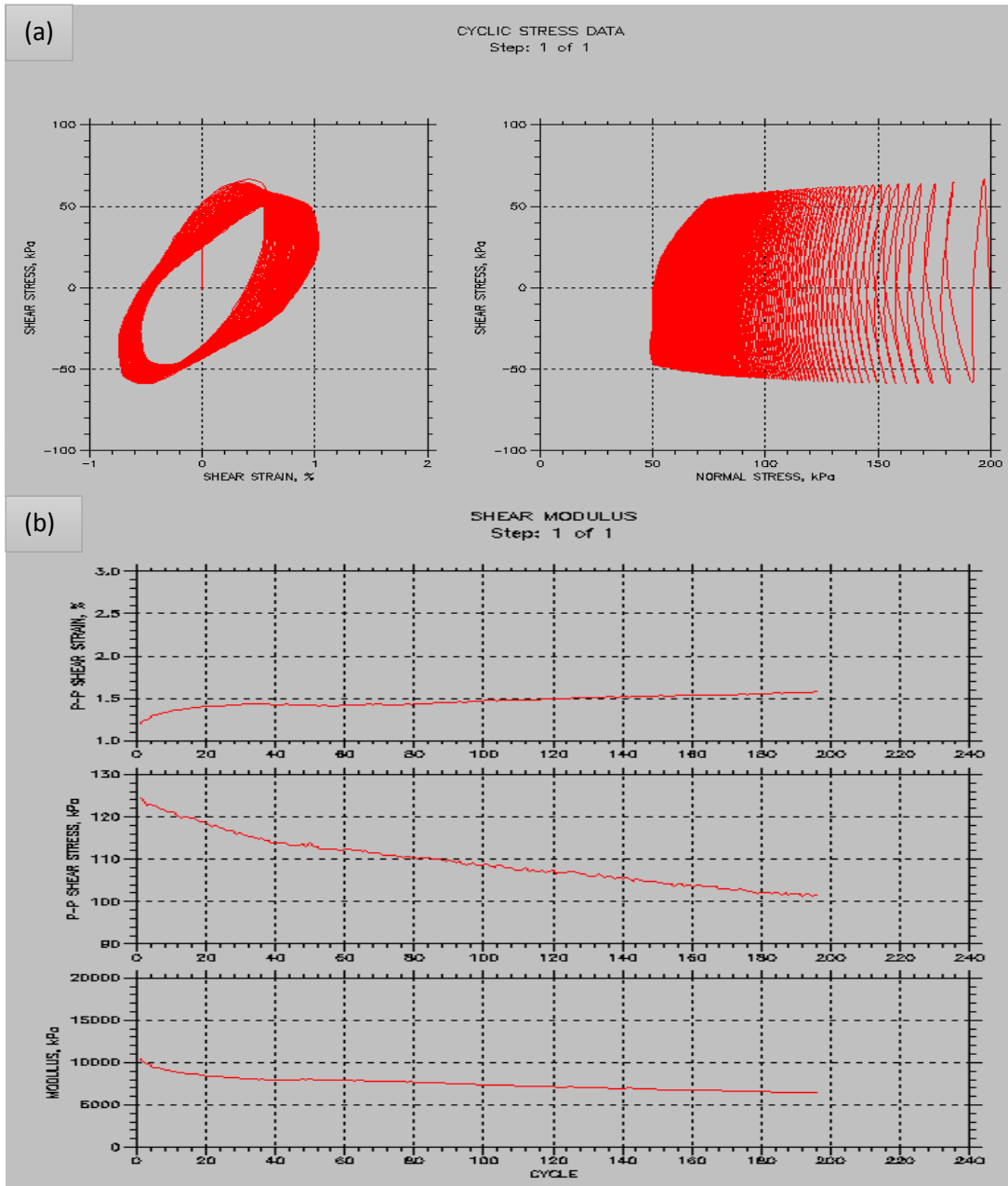


Ek Şekil 57. a) Şekil değiştirme-kayma gerilmesi grafiği
b) Kayma modülü-çevrim sayısı grafiği

Ek Tablo 61. 6 mm uzunluklu bazalt lif sonuçları

BAZALT (6mm)			
LİF ORANI(%)	BİTÜM ORANI(%)	DAMPİNG(%)	G MODÜLÜS(KPA)
3	12	47	10894,3

Ek 3'ün Devamı

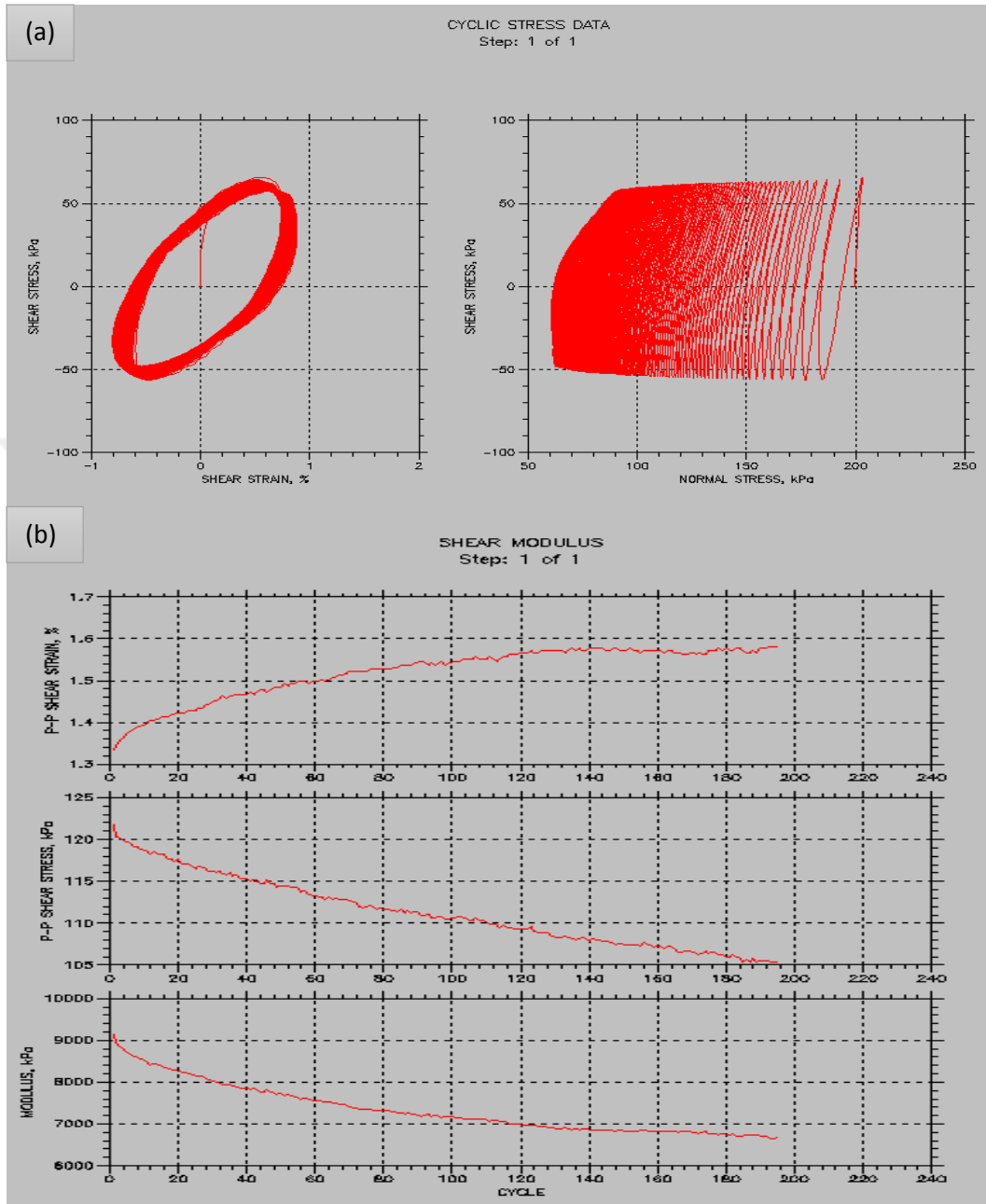


Ek Şekil 58. a) Şekil değiştirme-kayma gerilmesi grafiği
b) Kayma modülü-çevrim sayısı grafiği

Ek Tablo 62. 6 mm uzunluklu bazalt lif sonuçları

(6 mm)	LİF ORANI(%)	BİTÜM ORANI(%)	DAMPİNG(%)	G MODÜLÜS(KPA)
BAZALT	3	12	46,9	11224,2
BAZALT (ORTALAMA)	3	12	46,95	11059,25

Ek 3'ün Devamı

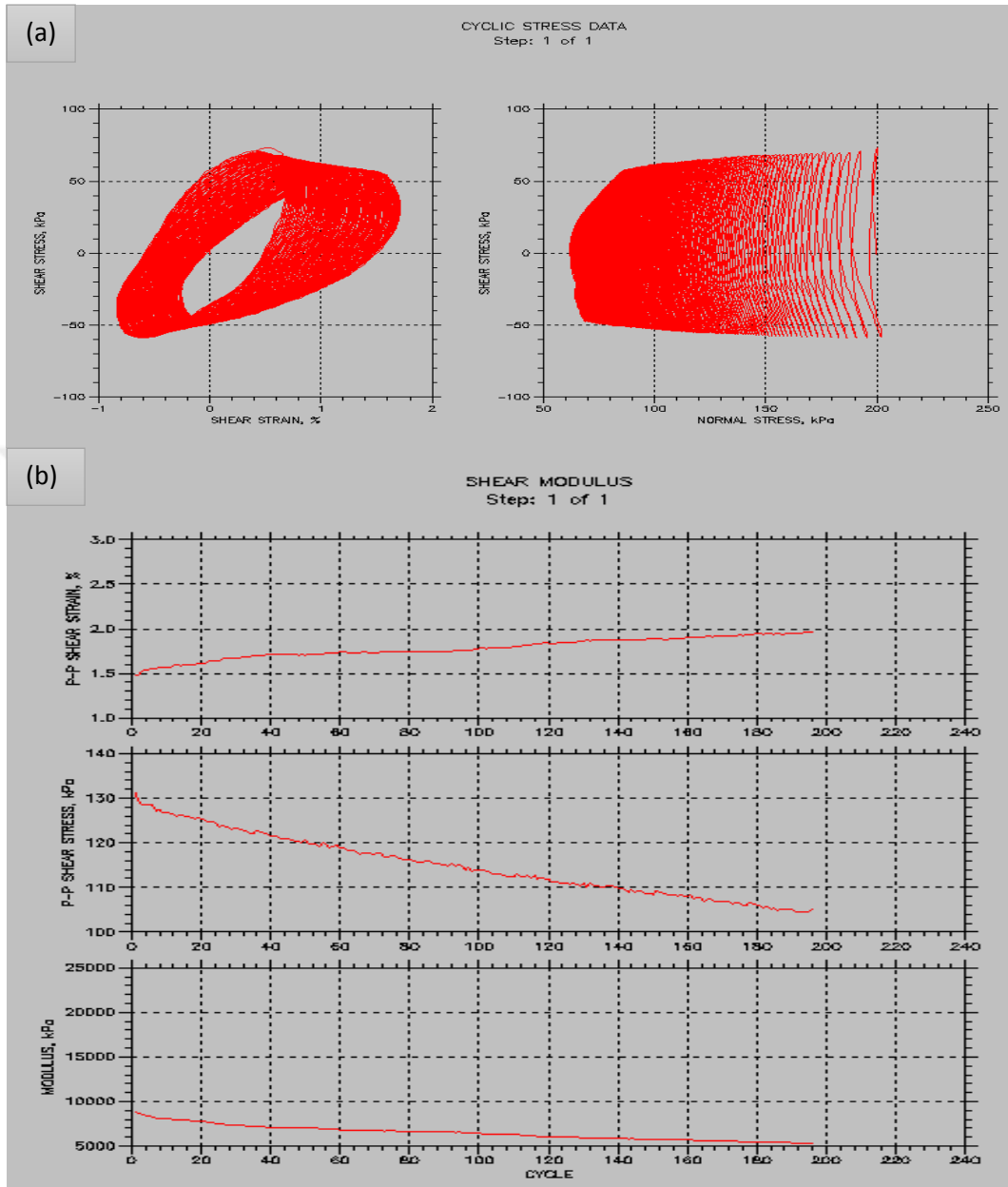


Ek Şekil 59. a) Şekil değiştirme-kayma gerilmesi grafiği
b) Kayma modülü-çevrim sayısı grafiği

Ek Tablo 63. 2 mm uzunluklu bazalt lif sonuçları

BAZALT (2mm)			
LİF ORANI(%)	BİTÜM ORANI(%)	DAMPİNG(%)	G MODÜLÜS(KPA)
5	8	43,3	9278,4

Ek 3'ün Devamı

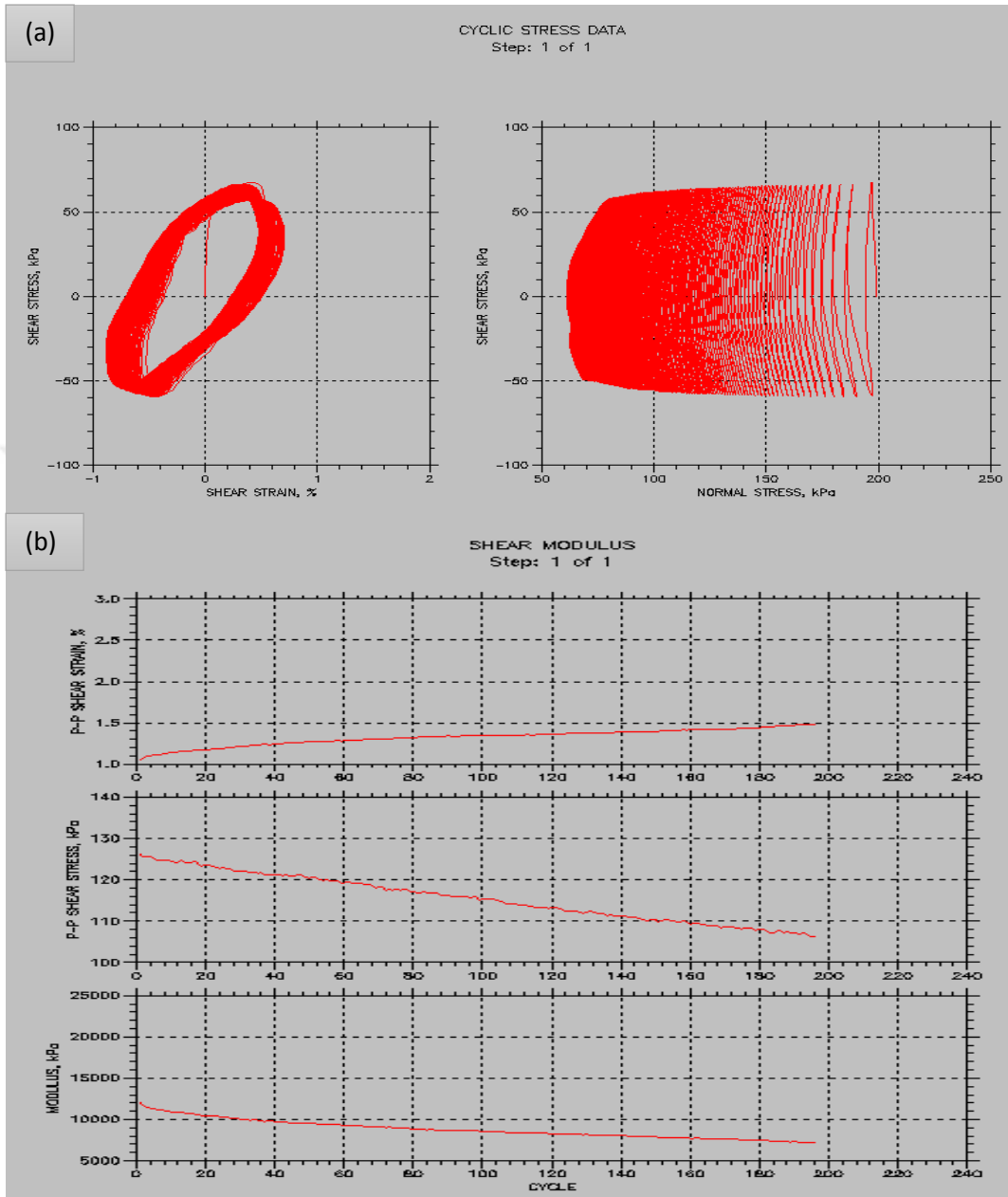


Ek Şekil 60. a) Şekil değiştirme-kayma gerilmesi grafiği
b) Kayma modülü-çevrim sayısı grafiği

Ek Tablo 64. 2 mm uzunluklu bazalt lif sonuçları

BAZALT (2mm)			
LİF ORANI(%)	BITÜM ORANI(%)	DAMPİNG(%)	G MODÜLÜS(KPA)
5	10	43,4	8965

Ek 3'ün Devamı

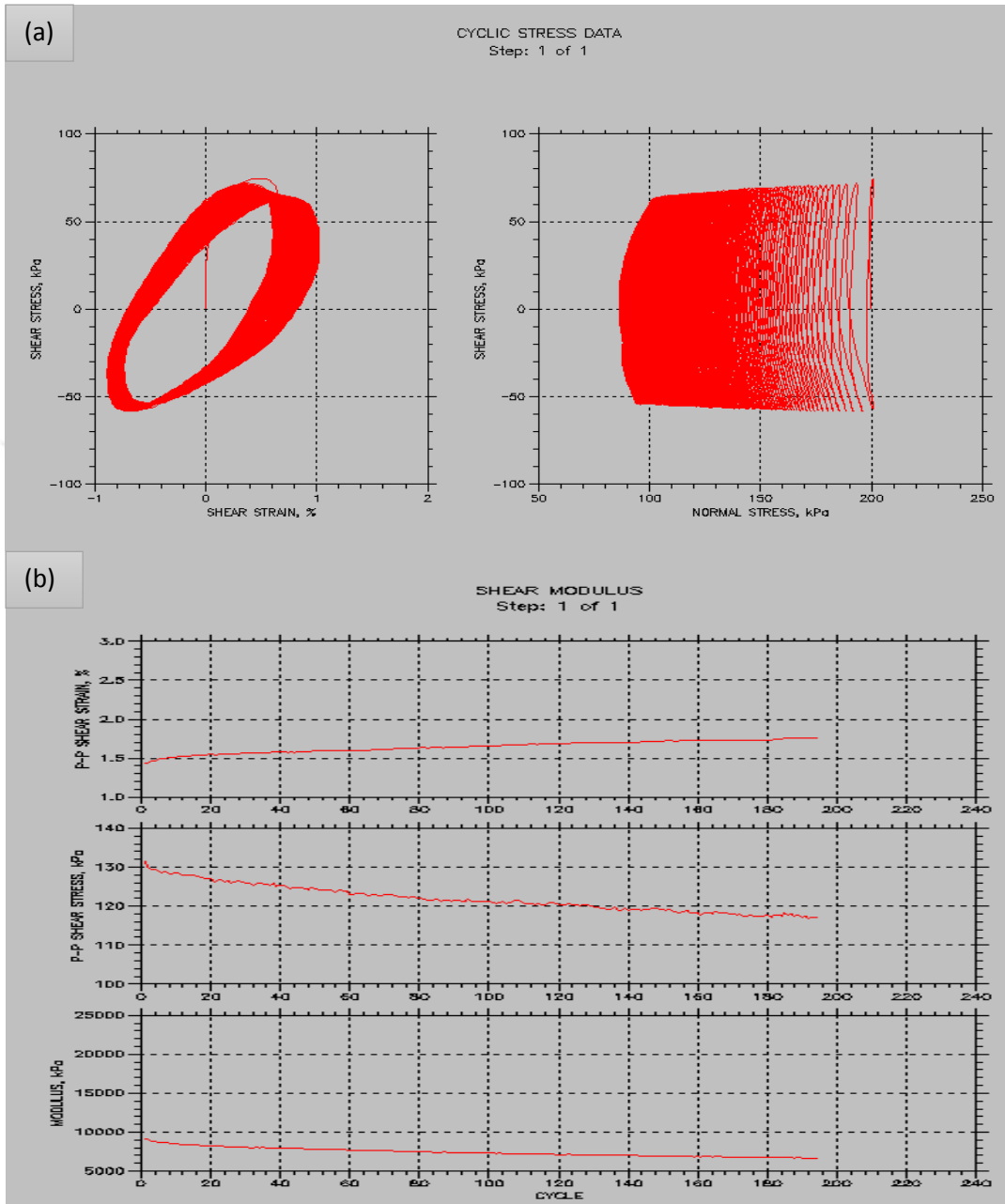


Ek Şekil 61. a) Şekil değiştirme-kayma gerilmesi grafiği
b) Kayma modülü-çevrim sayısı grafiği

Ek Tablo 65. 2 mm uzunluklu bazalt lif sonuçları

(2 mm)	LİF ORANI(%)	BİTÜM ORANI(%)	DAMPİNG(%)	G MODÜLÜS(KPA)
BAZALT	5	10	43,7	9246,5
BAZALT (ORTALAMA)	5	10	43,55	9105,75

Ek 3'ün Devamı



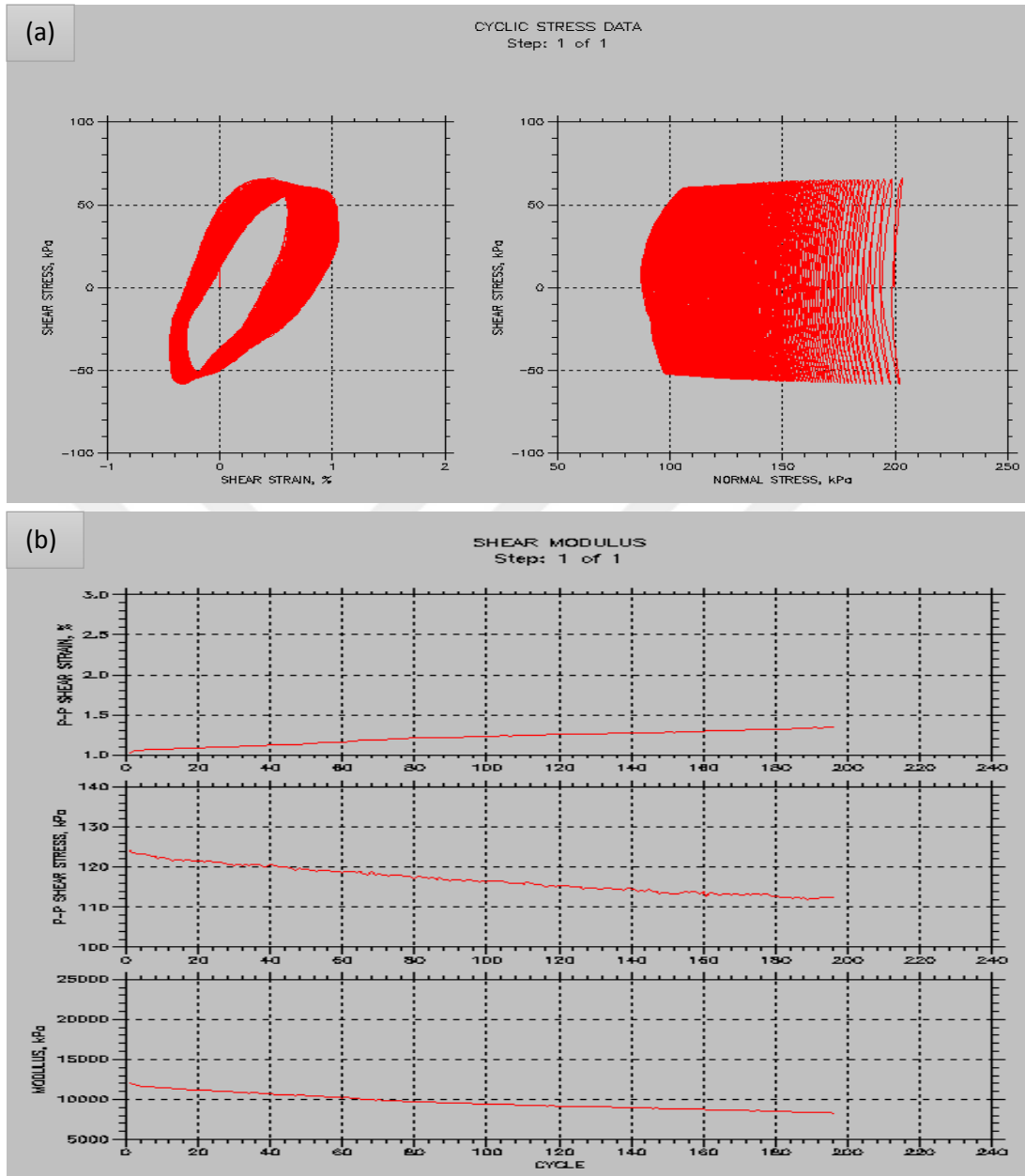
Ek Şekil 62. a) Şekil değiştirme-kayma gerilmesi grafiği

b) Kayma modülü-çevrim sayısı grafiği

Ek Tablo 66. 2 mm uzunluklu bazalt lif sonuçları

BAZALT (2mm)			
LİF ORANI(%)	BİTÜM ORANI(%)	DAMPİNG(%)	G MODÜLÜS(KPA)
5	12	44,8	8770

Ek 3'ün Devamı

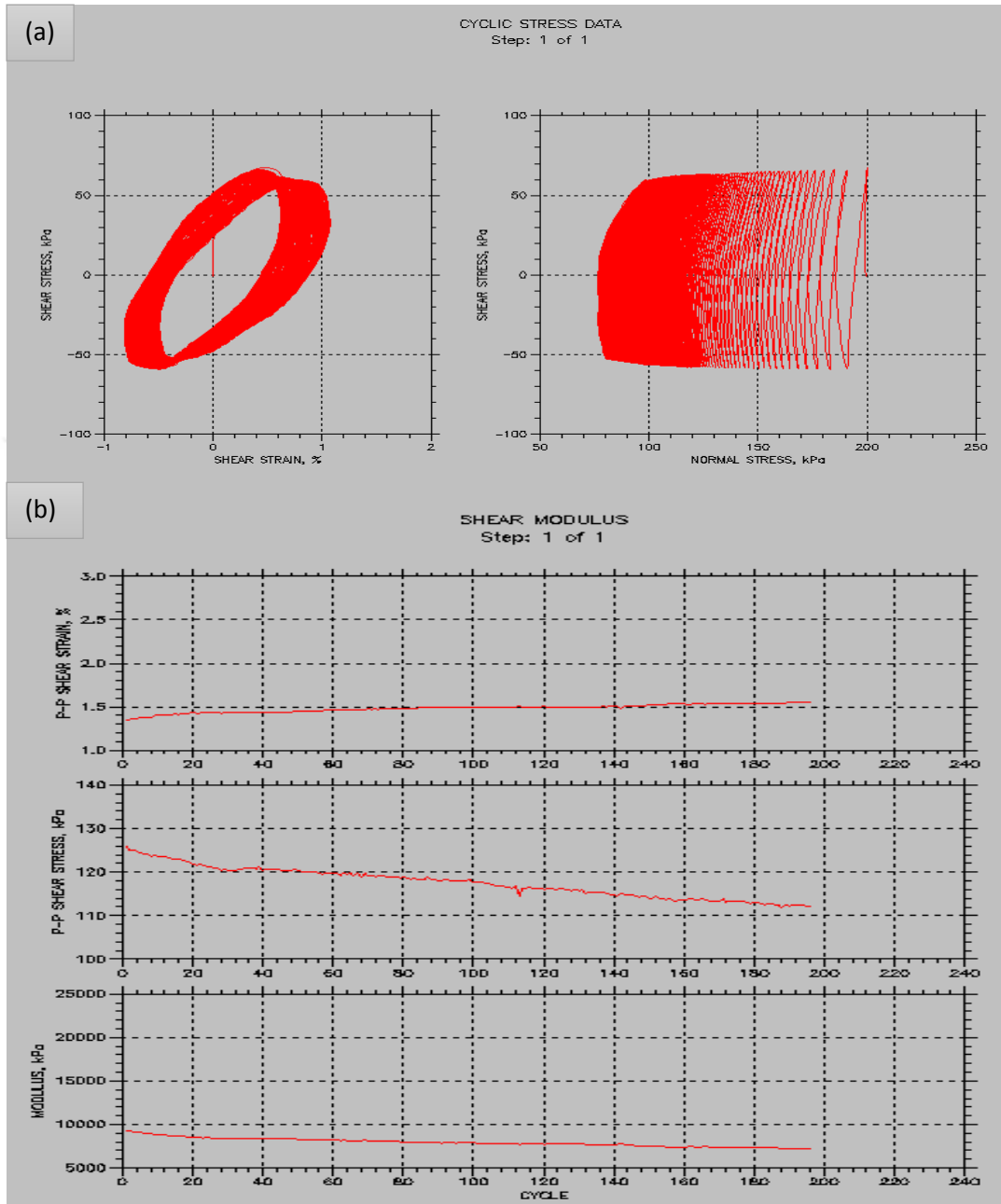


Ek Şekil 63. a) Şekil değiştirme-kayma gerilmesi grafiği
b) Kayma modülü-çevrim sayısı grafiği

Ek Tablo 67. 2 mm uzunluklu bazalt lif sonuçları

(2 mm)	LİF ORANI(%)	BİTÜM ORANI(%)	DAMPİNG(%)	G MODÜLÜS(KPA)
BAZALT	5	12	43,6	9195,7
BAZALT (ORTALAMA)	5	12	44,2	8982,85

Ek 3'ün Devamı

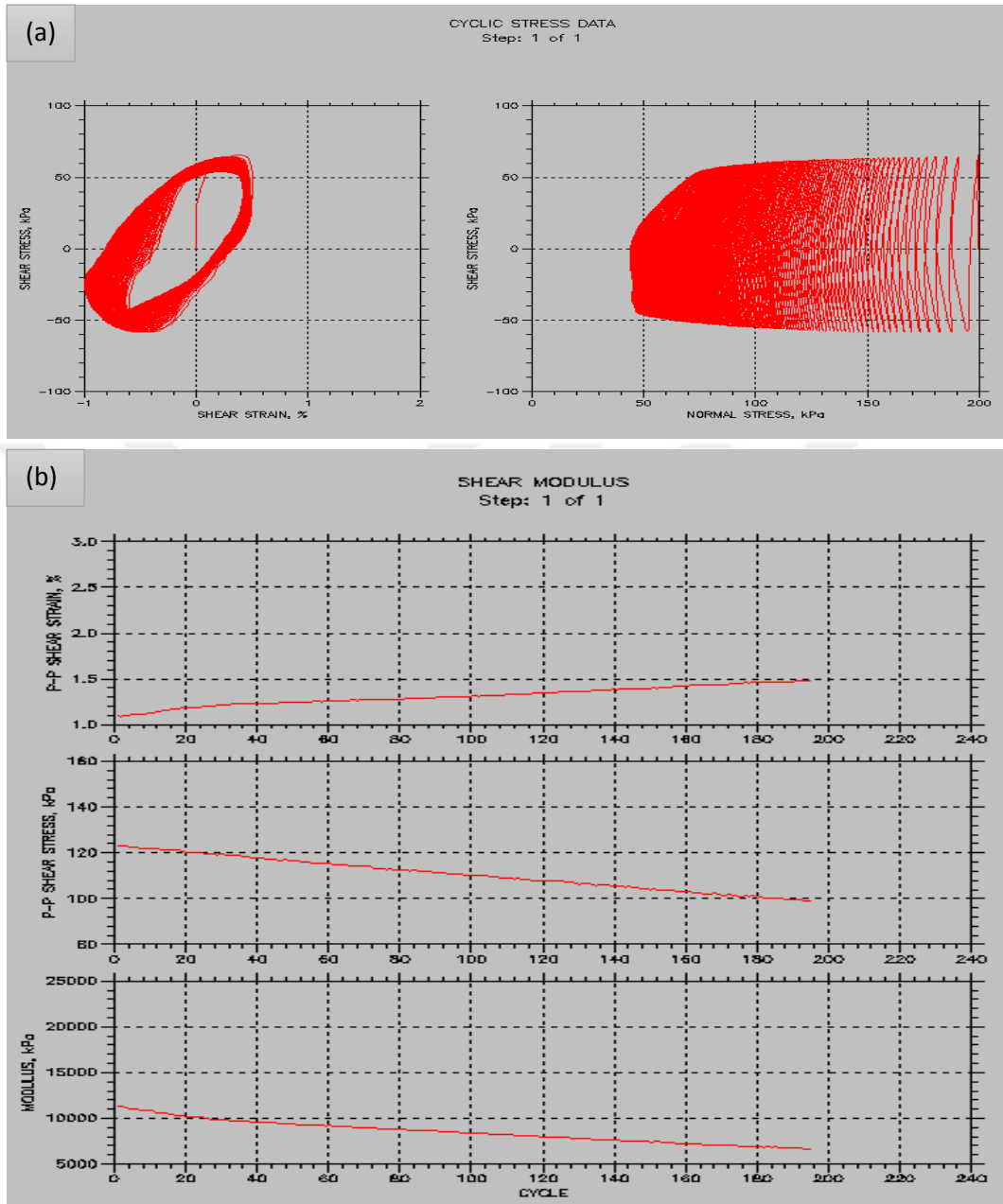


Ek Şekil 64. a) Şekil değiştirme-kayma gerilmesi grafiği
b) Kayma modülü-çevrim sayısı grafiği

Ek Tablo 68. 4 mm uzunluklu bazalt lif sonuçları

BAZALT (4mm)			
LİF ORANI(%)	BİTÜM ORANI(%)	DAMPING(%)	G MODÜLÜS(KPA)
5	8	44,5	10715,6

Ek 3'ün Devamı

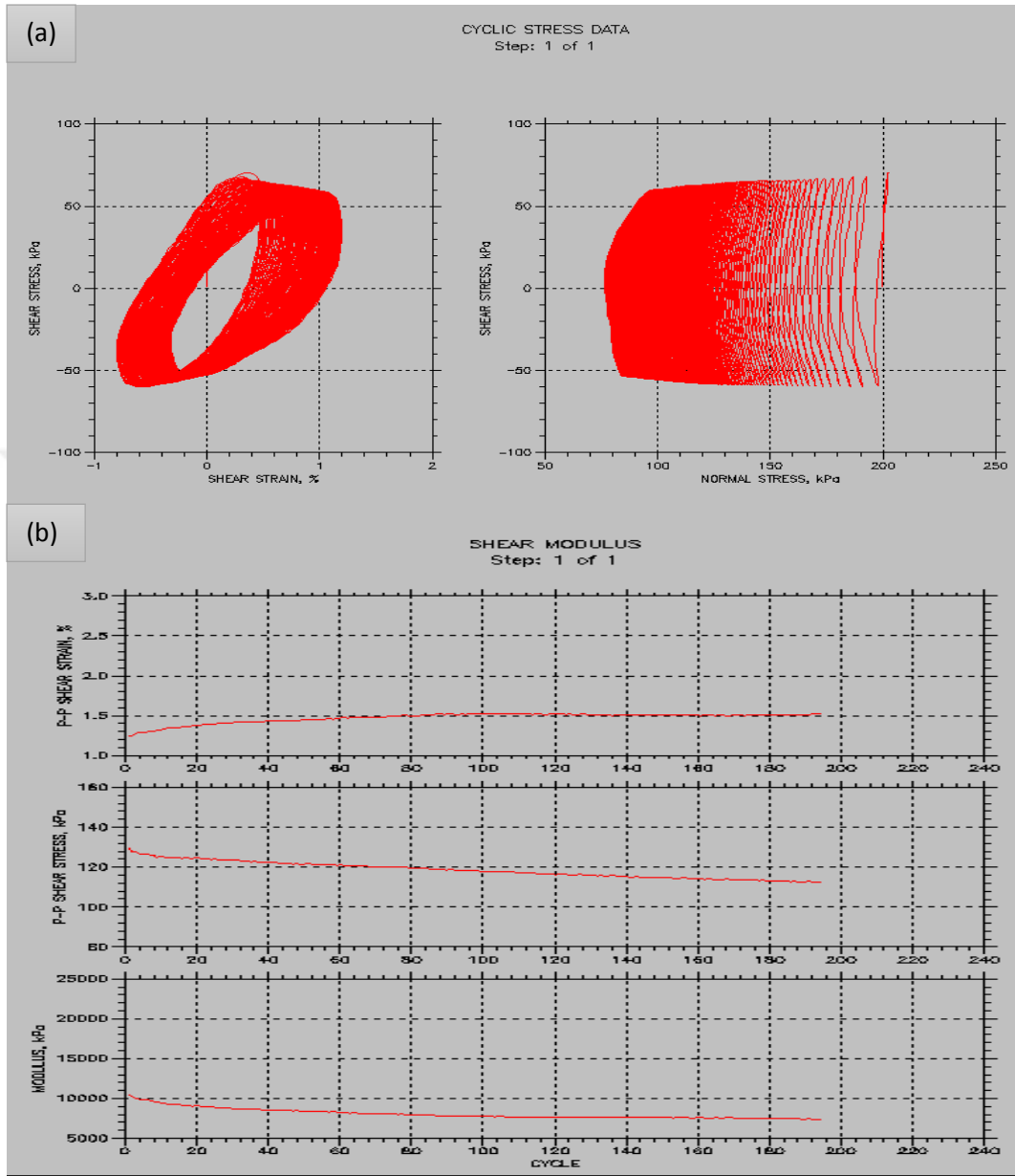


Ek Şekil 65. a) Şekil değiştirme-kayma gerilmesi grafiği
b) Kayma modülü-çevrim sayısı grafiği

Ek Tablo 69. 4 mm uzunluklu bazalt lif sonuçları

(4 mm)	LİF ORANI(%)	BİTÜM ORANI(%)	DAMPİNG(%)	G MODÜLÜS(KPA)
BAZALT	5	8	44,6	11802,7
BAZALT (ORTALAMA)	5	8	44,55	11259,15

Ek 3'ün Devamı

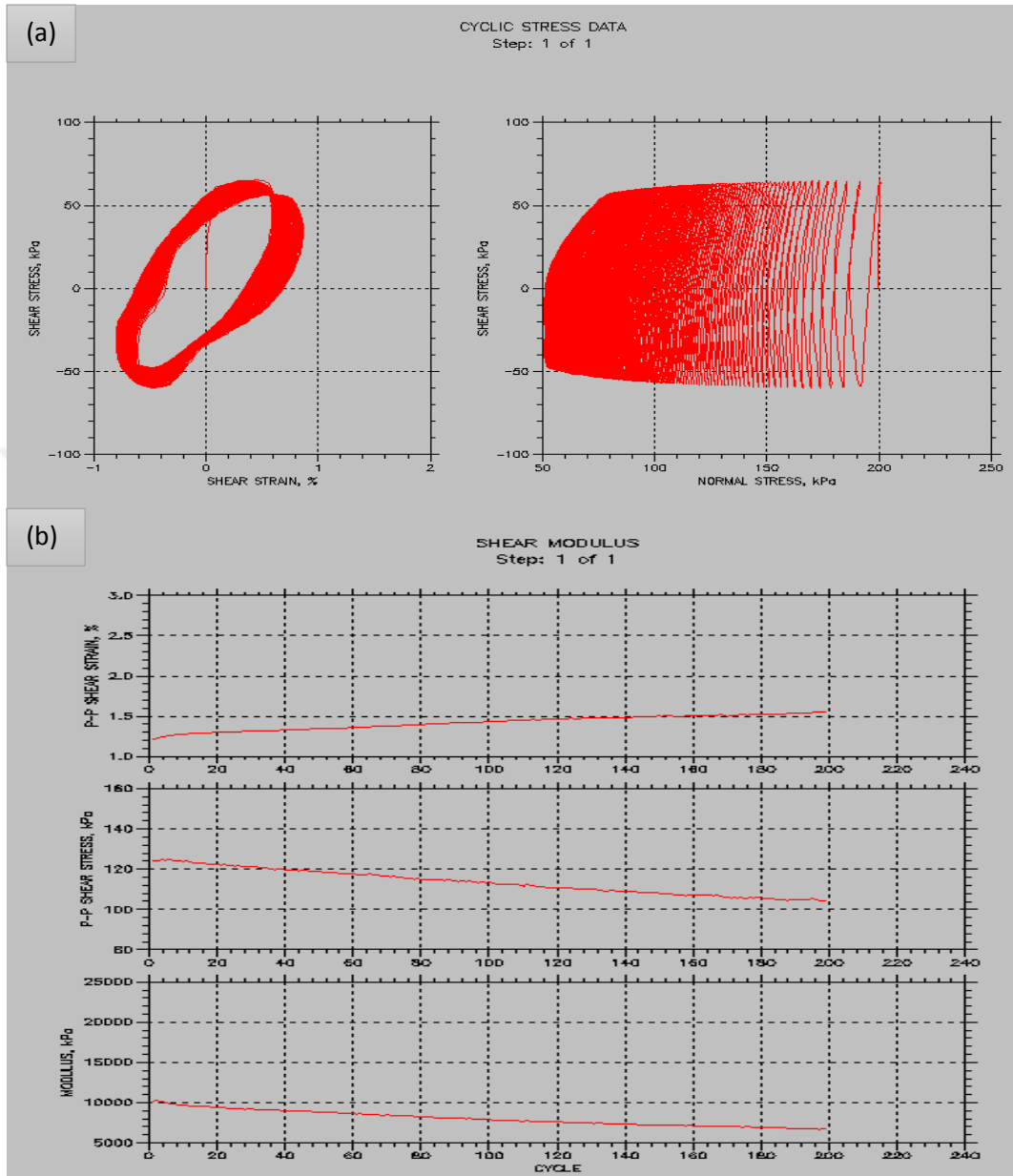


Ek Şekil 66. a) Şekil değiştirme-kayma gerilmesi grafiği
b) Kayma modülü-çevrim sayısı grafiği

Ek Tablo 70. 4 mm uzunluklu bazalt lif sonuçları

BAZALT (4mm)			
LİF ORANI(%)	BITÜM ORANI(%)	DAMPİNG(%)	G MODÜLÜS(KPA)
5	10	44,3	11426,4

Ek 3'ün Devamı



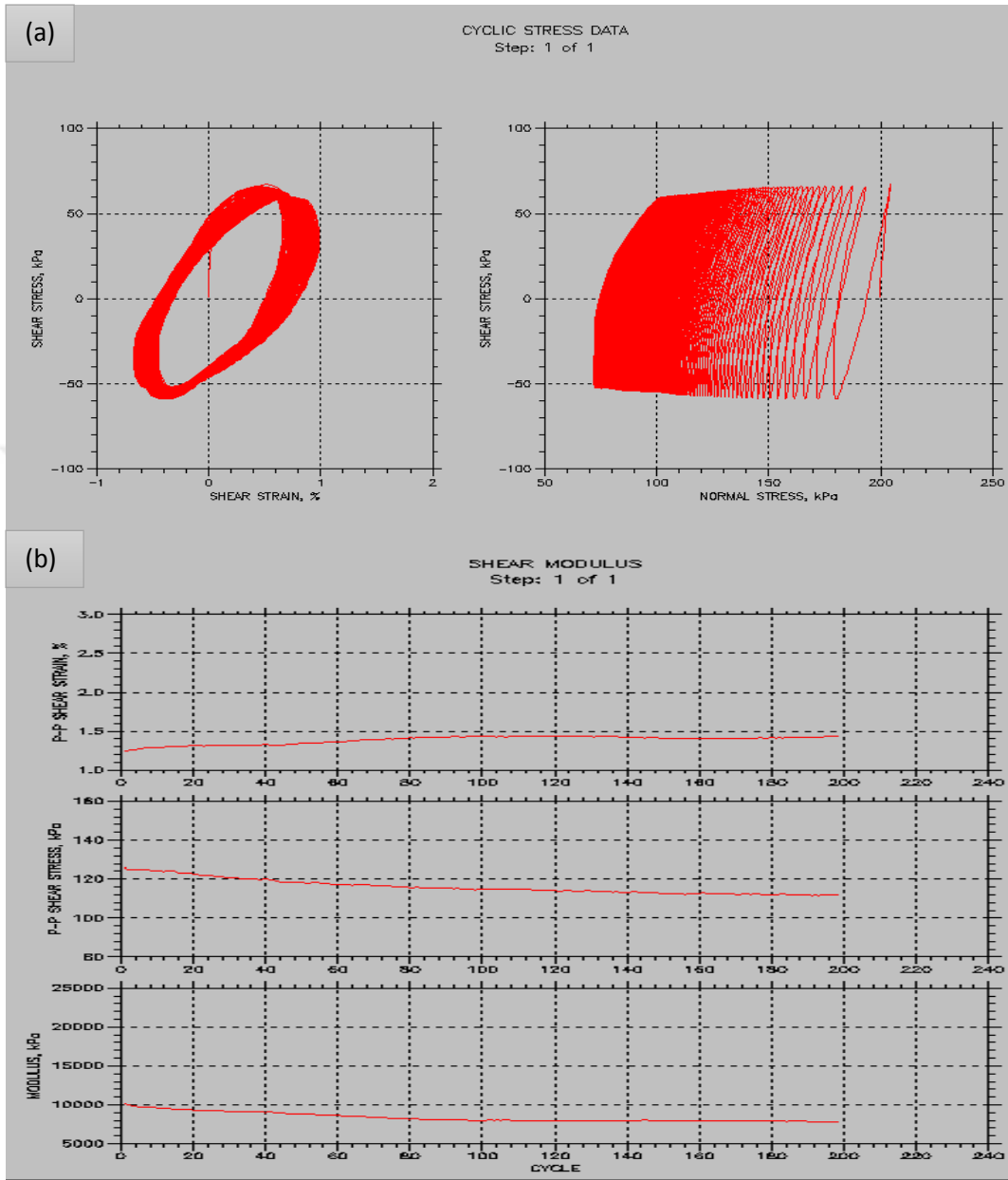
Ek Şekil 67. a) Şekil değiştirme-kayma gerilmesi grafiği

b) Kayma modülü-çevrim sayısı grafiği

Ek Tablo 71. 4 mm uzunluklu bazalt lif sonuçları

(4 mm)	LİF ORANI(%)	BİTÜM ORANI(%)	DAMPİNG(%)	G MODÜLÜS(KPA)
BAZALT	5	10	45,1	10953,6
BAZALT (ORTALAMA)	5	10	44,7	11190

Ek 3'ün Devamı

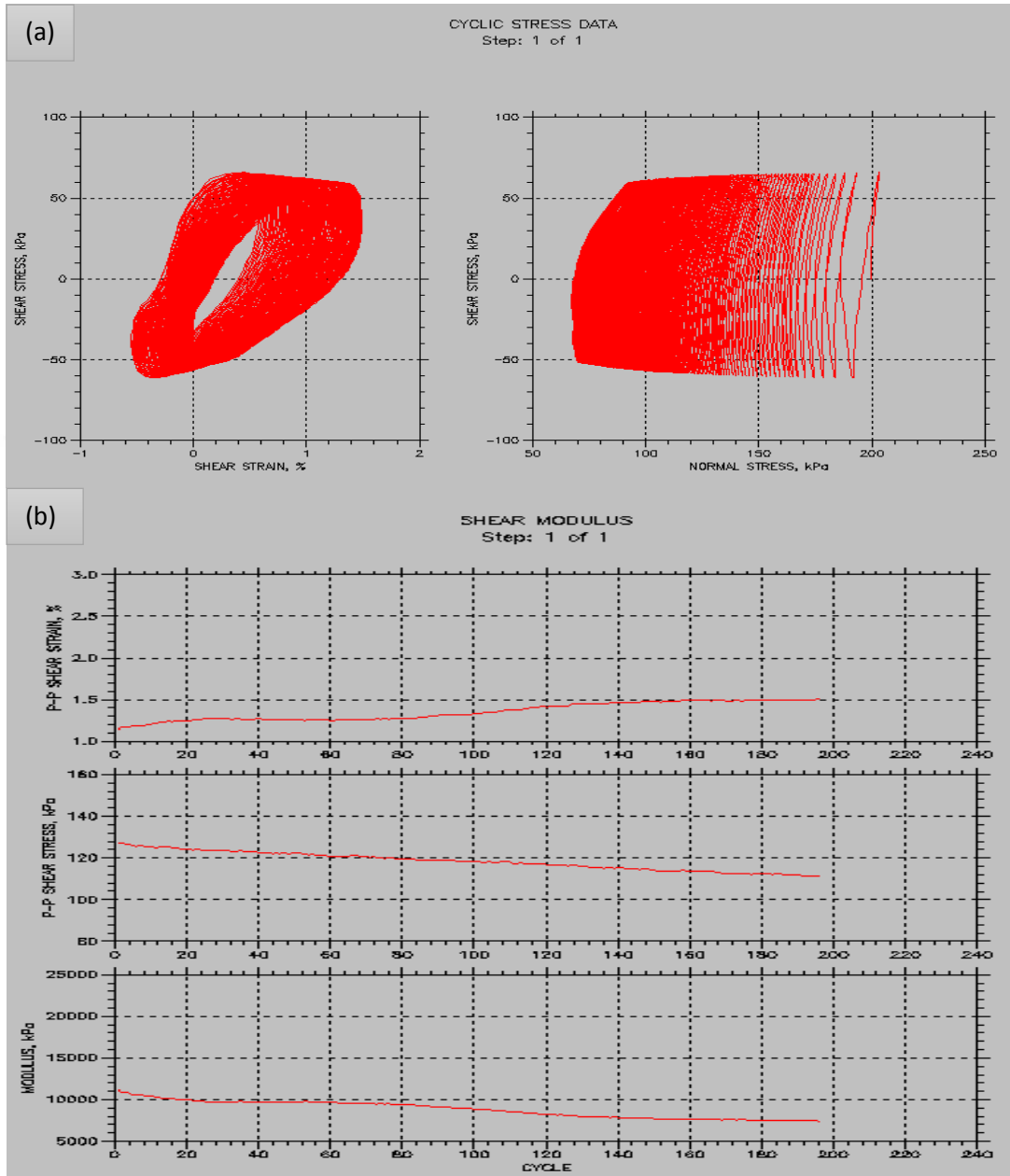


Ek Şekil 68. a) Şekil değiştirme-kayma gerilmesi grafiği
b) Kayma modülü-çevrim sayısı grafiği

Ek Tablo 72. 4 mm uzunluklu bazalt lif sonuçları

BAZALT (4mm)			
LİF ORANI(%)	BITÜM ORANI(%)	DAMPİNG(%)	G MODÜLÜS(KPA)
5	12	44,8	11481,7

Ek 3'ün Devamı

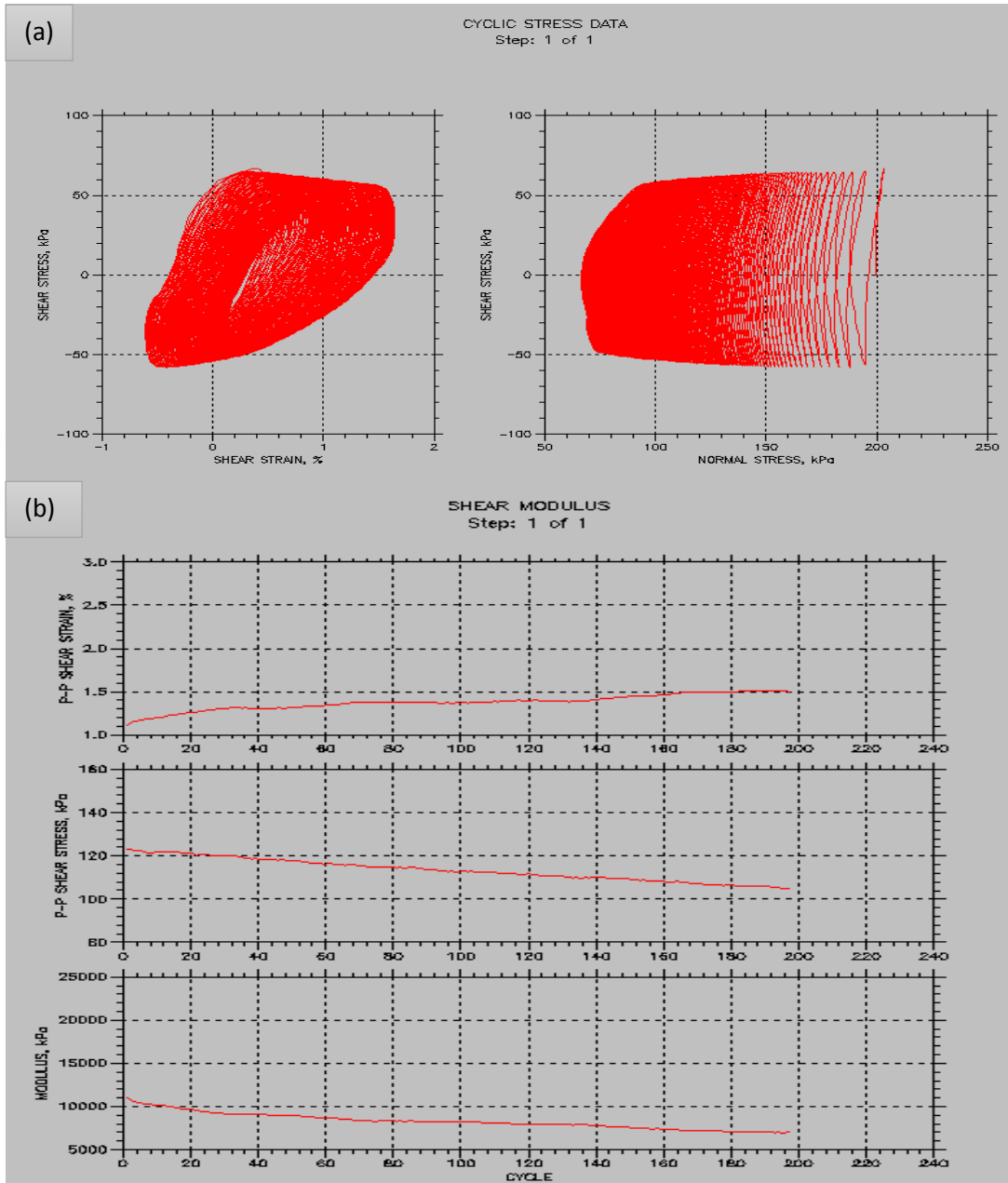


Ek Şekil 69. a) Şekil değiştirme-kayma gerilmesi grafiği
b) Kayma modülü-çevrim sayısı grafiği

Ek Tablo 73. 4 mm uzunluklu bazalt lif sonuçları

(4 mm)	LİF ORANI(%)	BİTÜM ORANI(%)	DAMPİNG(%)	G MODÜLÜS(KPA)
BAZALT	5	12	45,8	10570,1
BAZALT (ORTALAMA)	5	12	45,3	11025,9

Ek 3'ün Devamı

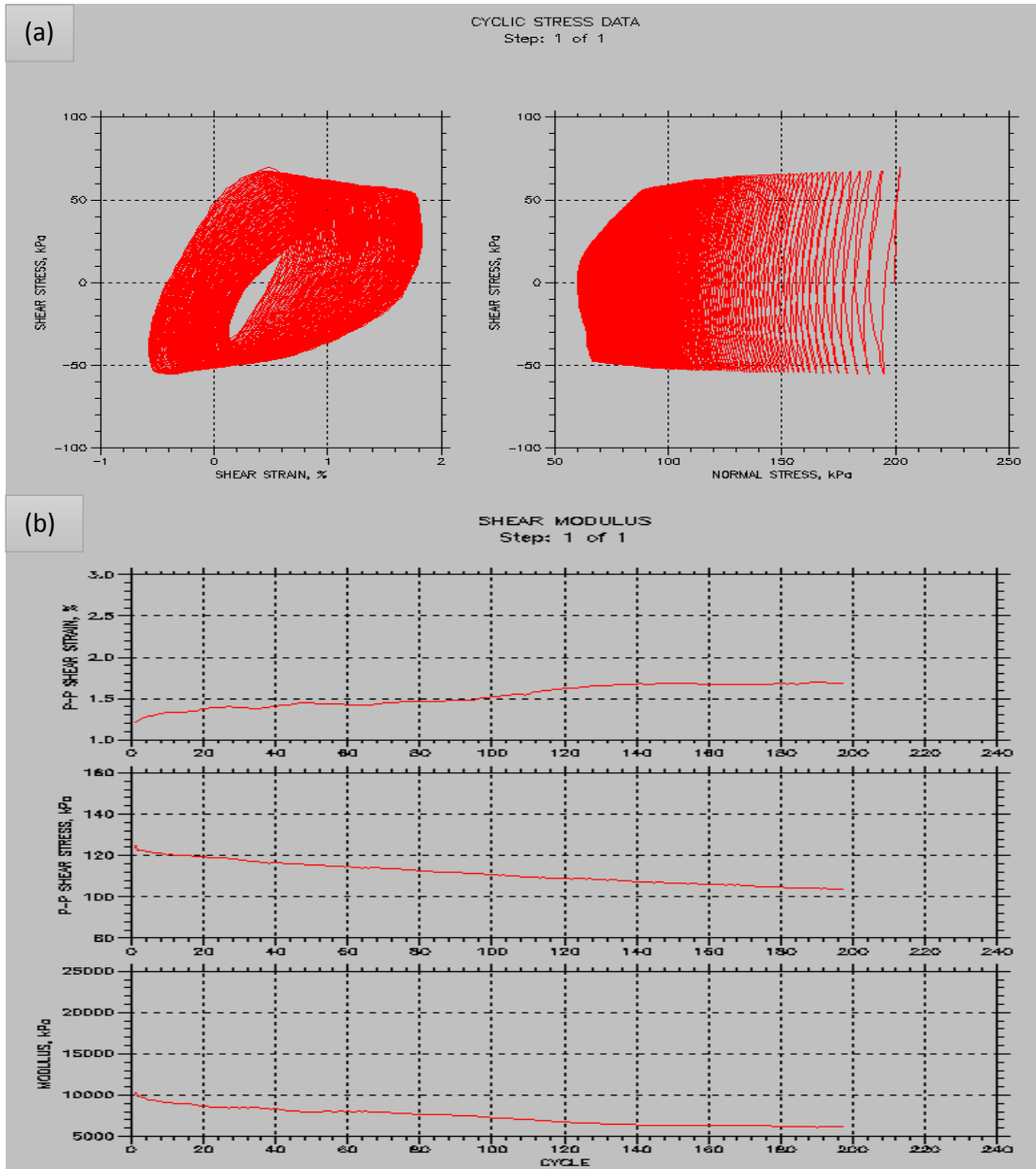


Ek Şekil 70. a) Şekil değiştirme-kayma gerilmesi grafiği
b) Kayma modülü-çevrim sayısı grafiği

Ek Tablo 74. 6 mm uzunluklu bazalt lif sonuçları

BAZALT (6mm)			
LİF ORANI(%)	BİTÜM ORANI(%)	DAMPİNG(%)	G MODÜLÜS(KPA)
5	8	44,9	11435,1

Ek 3'ün Devamı

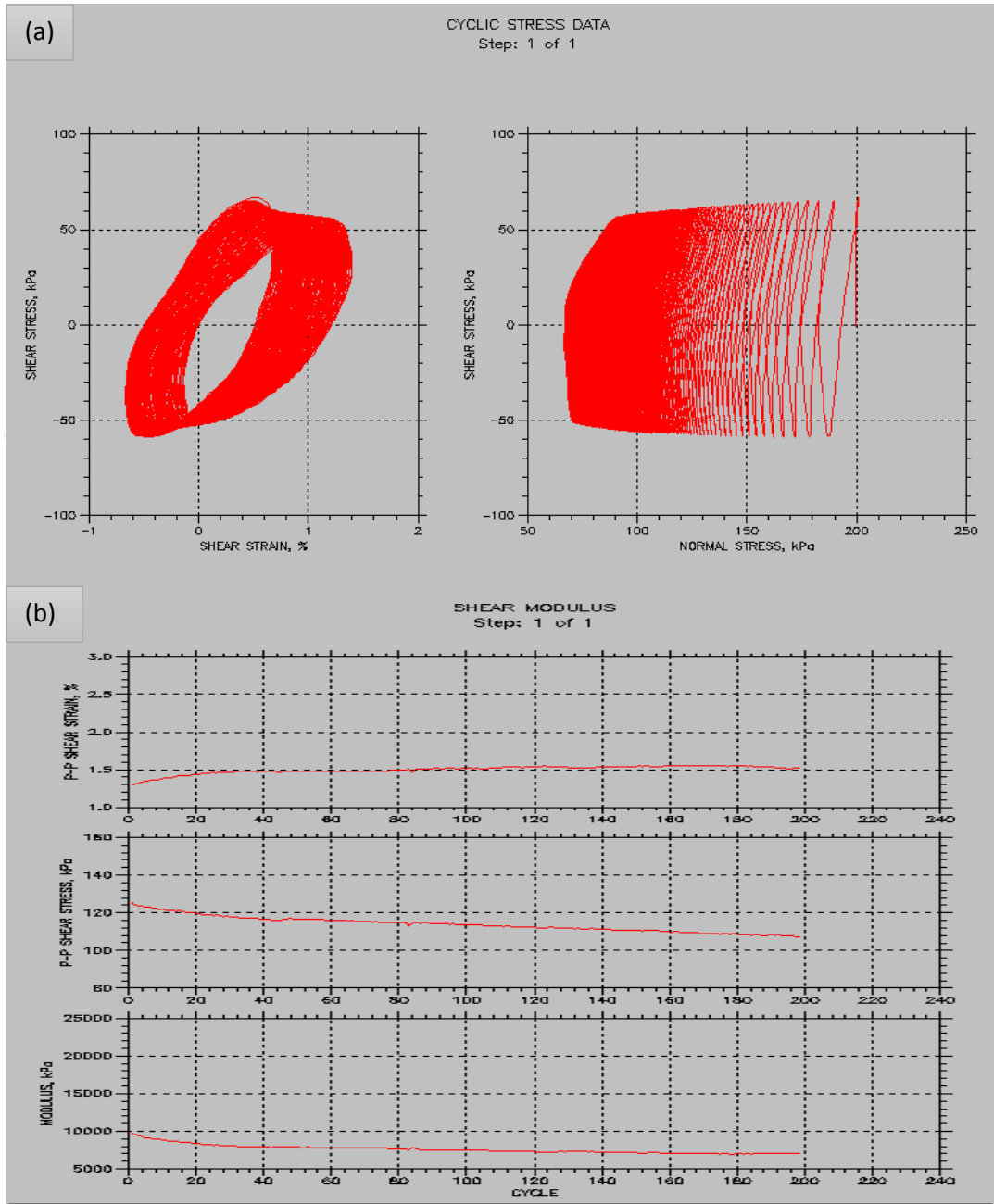


Ek Şekil 71. a) Şekil değiştirme-kayma gerilmesi grafiği
b) Kayma modülü-çevrim sayısı grafiği

Ek Tablo 75. 6 mm uzunluklu bazalt lif sonuçları

(6 mm)	LİF ORANI(%)	BİTÜM ORANI(%)	DAMPİNG(%)	G MODÜLÜS(KPA)
BAZALT	5	8	44,5	11439,6
BAZALT (ORTALAMA)	5	8	44,7	11437,35

Ek 3'ün Devamı

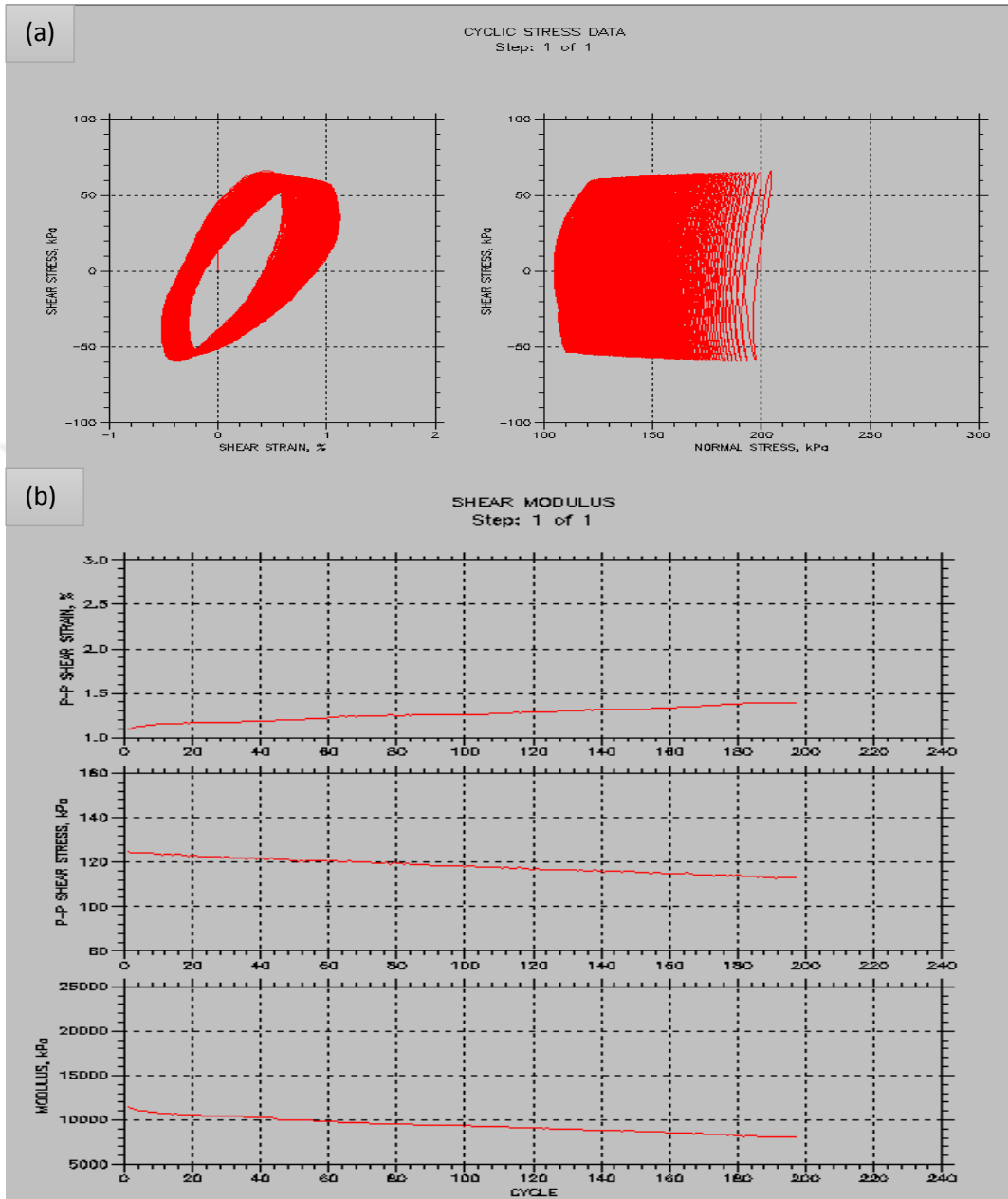


Ek Şekil 72. a) Şekil değiştirme-kayma gerilmesi grafiği
b) Kayma modülü-çevrim sayısı grafiği

Ek Tablo 76. 6 mm uzunluklu bazalt lif sonuçları

BAZALT (6mm)			
LİF ORANI(%)	BİTÜM ORANI(%)	DAMPİNG(%)	G MODÜLÜS(KPA)
5	10	44,7	11314,7

Ek 3'ün Devamı

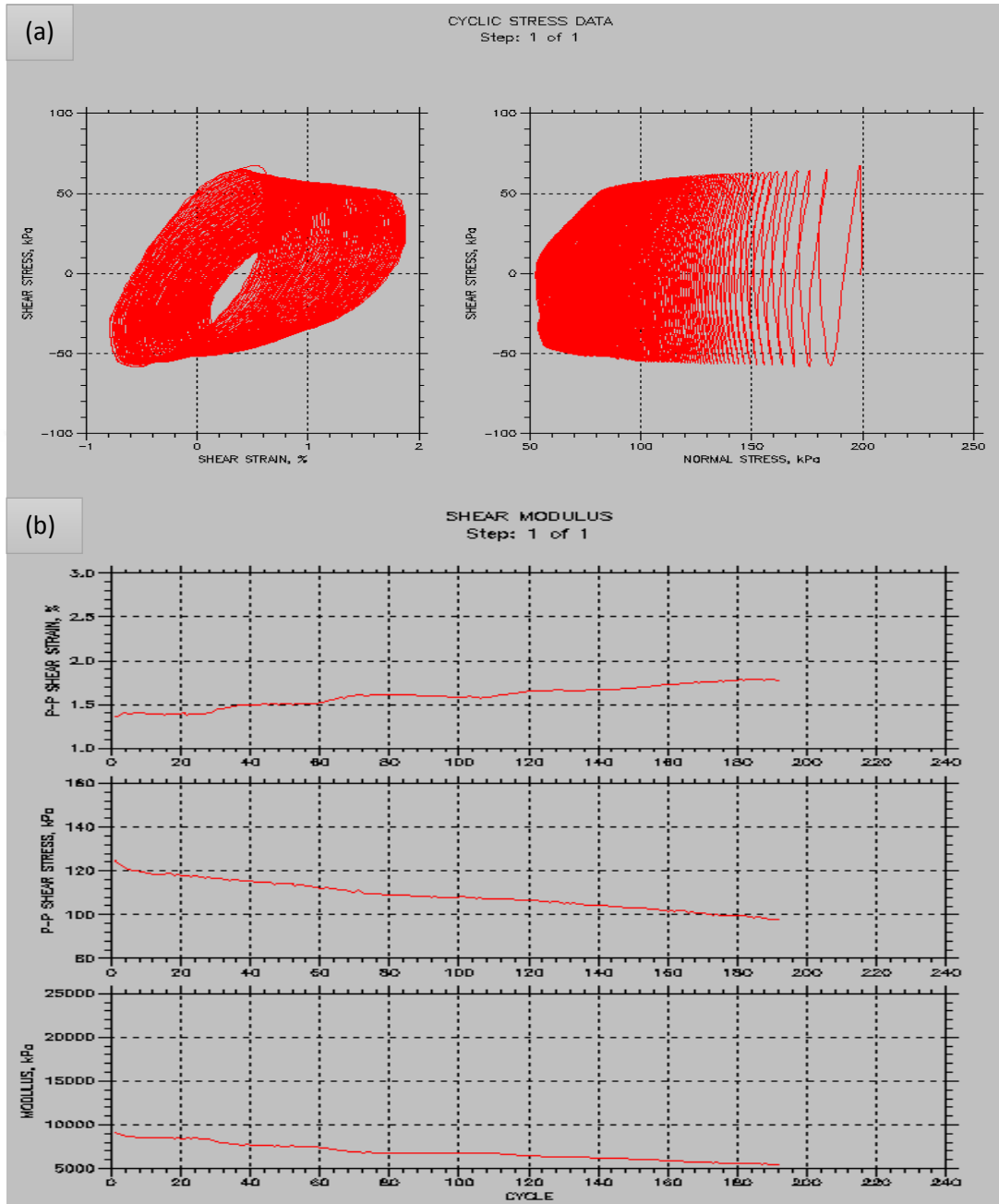


Ek Şekil 73. a) Şekil değiştirme-kayma gerilmesi grafiği
b) Kayma modülü-çevrim sayısı grafiği

Ek Tablo 77. 6 mm uzunluklu bazalt lif sonuçları

(6 mm)	LİF ORANI(%)	BİTÜM ORANI(%)	DAMPİNG(%)	G MODÜLÜS(KPA)
BAZALT	5	10	44,9	11226,2
BAZALT (ORTALAMA)	5	10	44,85	11270,45

Ek 3'ün Devamı

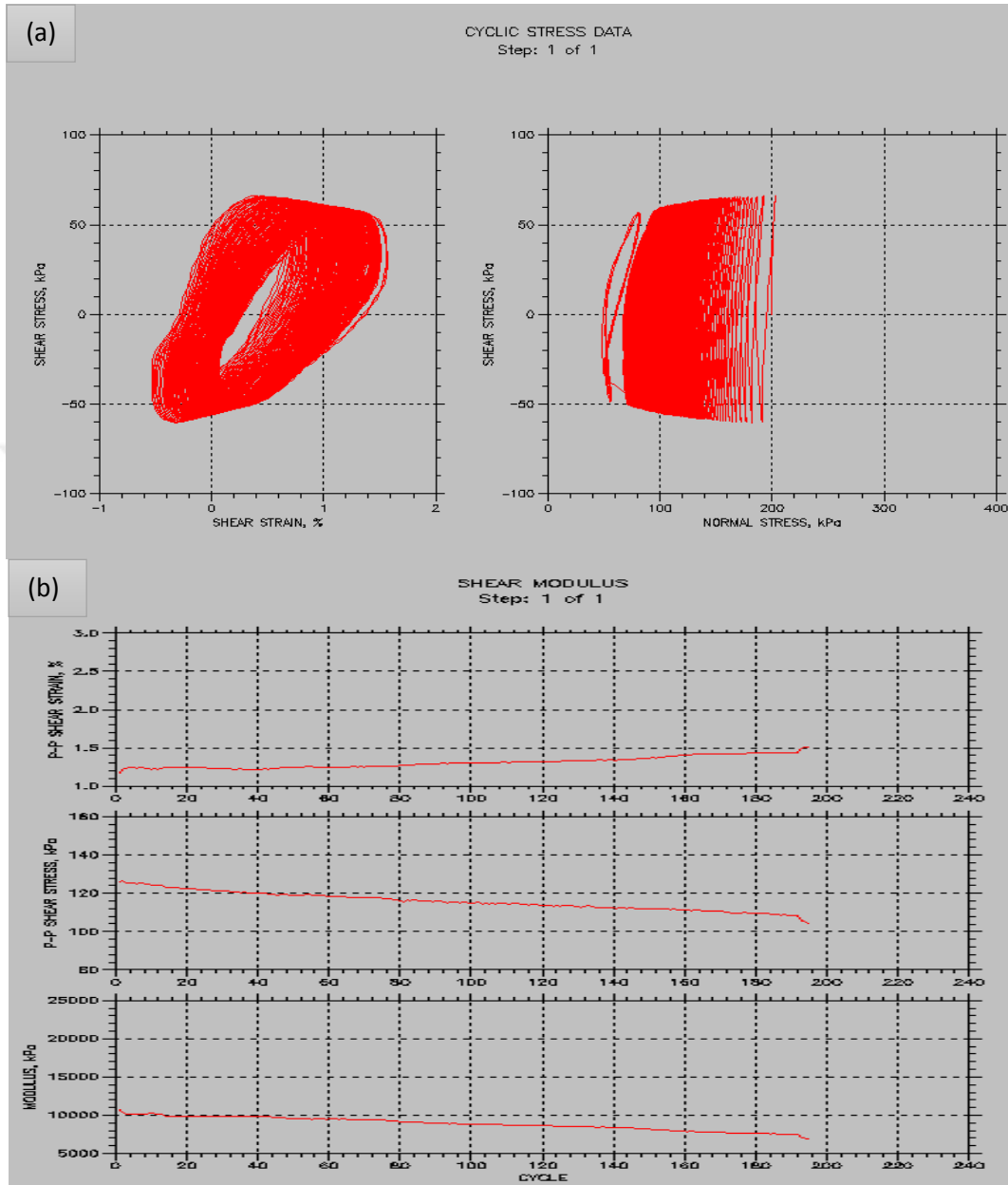


Ek Şekil 74. a) Şekil değiştirme-kayma gerilmesi grafiği
b) Kayma modülü-çevrim sayısı grafiği

Ek Tablo 78. 6 mm uzunluklu bazalt lif sonuçları

BAZALT (6mm)			
LİF ORANI(%)	BİTÜM ORANI(%)	DAMPİNG(%)	G MODÜLÜS(KPA)
5	12	46,1	10949,9

Ek 3'ün Devamı



Ek Şekil 75. a) Şekil değiştirme-kayma gerilmesi grafiği
b) Kayma modülü-çevrim sayısı grafiği

Ek Tablo 79. 6 mm uzunluklu bazalt lif sonuçları

(6 mm)	LİF ORANI(%)	BİTÜM ORANI(%)	DAMPİNG(%)	G MODÜLÜS(KPA)
BAZALT	5	12	46,4	11131
BAZALT (ORTALAMA)	5	12	46,25	11040,45

Ek 3'ün Devamı

Ek Tablo 80. 2 mm uzunluklu bazalt lifli numuneler için sönüm oranı sonuçları

DAMPING (%)	BAZALT ORANLARI (2 MM)		
BİTÜM ORANLARI	%1	%3	%5
%8	43,65	43	43,3
%10	44,3	43,65	43,55
%12	45,2	44,3	44,2

Ek Tablo 81. 2 mm uzunluklu bazalt lifli numuneler için kayma modülü sonuçları

G MODÜLÜS(KPA)	BAZALT ORANLARI (2 MM)		
BİTÜM ORANLARI	%1	%3	%5
%8	9875,45	10866,85	9278,4
%10	9523,7	9960,8	9105,75
%12	9478,2	9953,1	8982,85

Ek Tablo 82. 4 mm uzunluklu bazalt lifli numuneler için sönüm oranı sonuçları

DAMPING (%)	BAZALT ORANLARI (4 MM)		
BİTÜM ORANLARI	%1	%3	%5
%8	45,75	44,7	44,55
%10	45,9	46,55	44,7
%12	46	47,0	45,3

Ek Tablo 83. 4 mm uzunluklu bazalt lifli numuneler için kayma modülü sonuçları

G MODÜLÜS(KPA)	BAZALT ORANLARI (4 MM)		
BİTÜM ORANLARI	%1	%3	%5
%8	10758,8	11425,95	11259,15
%10	10697,45	10815,4	11190
%12	10665,5	10569,65	11025,9

Ek 3'ün Devamı

Ek Tablo 84. 6 mm uzunluklu bazalt lifli numuneler için sönüm oranı sonuçları

DAMPING (%)	BAZALT ORANLARI (6 MM)		
BİTÜM ORANLARI	%1	%3	%5
%8	45,6	44,95	44,7
%10	46,1	46,8	44,85
%12	47	46,95	46,25

Ek Tablo 85. 6 mm uzunluklu bazalt lifli numuneler için kayma modülü sonuçları

G MODÜLÜS (KPA)	BAZALT ORANLARI (6 MM)		
BİTÜM ORANLARI	%1	%3	%5
%8	11810,3	11795,75	11437,35
%10	11699,1	11587,2	11270,45
%12	10457,4	11059,25	11040,45

ÖZGEÇMİŞ

Karadeniz Teknik Üniversitesinde İnşaat Mühendisliği Bölümünde lisans eğitimine başladı. Karadeniz Teknik Üniversitesinde Fen Bilimleri Enstitüsünde İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans yapmaya hak kazandı.

