



**T.C.
AKSARAY ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**FARKLI ORANLARDA SİSAL ELYAF TAKVİYELİ KAUÇUK
KOMPOZİTLERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN VE MİKRO
YAPILARININ İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Öznur DİNÇ

DANIŞMAN

Prof. Dr. Necmettin ŞAHİN

AKSARAY, 2022

Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 192304005 numaralı Yüksek Lisans öğrencisi Öznur DİNÇ tarafından hazırlanan “**FARKLI ORANLARDA SİSAL ELYAF TAKVİYELİ KAUKUK KOMPOZİTLERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN VE MİKRO YAPILARININ İNCELENMESİ**” adlı tez çalışması aşağıdaki jüritarafından OY BİRLİĞİ ile Makine Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir

Danışman: Prof. Dr. Necmettin ŞAHİN

Aksaray Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Üye: Prof. Dr.

..... Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Üye: Prof. Dr.

..... Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Tez Savunma Tarihi:/...../2022

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

Doç. Dr Mehmet Ali HİNİS
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

DOĞRULUK BEYANI

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum bu çalışmayı, akademik kurallara ve bilimsel etik, ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yol ve yardıma başvurmaksızın yazdığımı, yararlandığım eserlerin kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu, çalışmamda kullandığım verilerin orijinalliğini ve her türlü intihalden uzak olduğunu beyan ederim.

Enstitü tarafından belli bir zamana bağlı olmaksızın, tezimle ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara katlanacağımı bildiririm.

İmza

Öznur DİNÇ

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, NBR kauçuk ile farklı oranlarda sisal elyafı karıştırılarak oluşturulan kompozit malzemenin reolojik, morfolojik ve mekanik özelliklerinin incelenmesine yönelik deneysel bir araştırmadır.

Yüksek lisans eğitimim boyunca her zaman yol gösterici, yardımcı ve destekleyici biri olarak yanımda olan kıymetli danışman hocam Prof. Dr. Necmettin ŞAHİN'e gönülden teşekkürler.

Lisans ve tez çalışmam sürecinde her zaman yanımda olan, yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen, yol gösteren değerli hocam Doç. Dr. Fazlıye KARABÖRK'e çok teşekkür ederim.

Bu çalışmanın test aşamalarında yardımlarını esirgemeyen Brisa Aksaray Lastik Fabrikası'na ve Mercedes-Benz Türk Aksaray Kamyon Fabrikası'na teşekkür ederim.

Babam Mustafa, annem Ayşe, kardeşlerim Sıla ve Özgenur DİNÇ'e eğitim ve öğretim hayatım boyunca maddi, manevi yanımda oldukları ve her koşulda bana güvendikleri için; nişanlım Kazım TOKER'e çalışmalarım boyunca sabır, anlayış gösterdiği için; ayrıca iş arkadaşım, abim Emre KABAOĞLU'na ve ismini sayamadığım yardımları olan herkese teşekkür ederim.

Öznur DİNÇ

AKSARAY, 2022

İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER	iv
ÖZET.....	vi
ABSTRACT	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR	x
1. GİRİŞ.....	1
2. TEORİK ARAŞTIRMALAR.....	3
2.1 Kompozit Malzemeler	3
2.1.1 Doğal elyaf takviyeli kompozitler	7
2.2 Kauçuk ve Kauçuk Türleri	8
2.2.1 Kauçuk nedir?	8
2.2.2 Kauçuk türleri	12
2.2.2.1 Doğal kauçuk (NR)	13
2.2.2.2 Neopren kauçuk (CR)	13
2.2.2.3 Etilen propilen kauçuk (EPDM)	13
2.2.2.4 Butil kauçuk (IIR)	13
2.2.2.5 Nitril kauçuk (NBR).....	13
2.2.2.6 Stiren bütadien kauçuk (SBR).....	14
2.2.2.7 Silikon kauçuk (SI)	14
2.3 Selüloz Esaslı Doğal Elyaf lar	15
2.4 Sisal Elyaf.....	17
2.4.1 Sisal elyafın mikroyapısı	18
2.4.2 Sisal elyafın fiziksel ve mekanik özellikleri.....	20
2.4.3 Sisal Elyafın Uygulaması	21
2.5 Literatür Özeti.....	22
3. MALZEME VE YÖNTEM	28
3.1 Malzeme Temini ve Karakterizasyonu.....	28
3.2 Takviyeli Kauçuk Hamurunun ve Test Plakalarının Hazırlanması	29
3.3 Kauçuk Numunelerine Uygulanan Testler	31
3.3.1 Reometre analizi	31
3.3.2 Yoğunluk testi.....	34
3.3.3 Sertlik ölçümü.....	34
3.3.4 Çekme testi	35
3.3.5 Aşınma testi	37
3.3.6 Üç noktada eğme testi.....	37
3.3.7 İzod darbe testi.....	38
3.3.8 Mikroyapı incelenmesi	39
4. BULGULAR ve TARTIŞMA	42

4.1 Reometre Test Sonucu.....	42
4.2 Yoğunluk Testi Sonuçları.....	48
4.3 Sertlik Testi Sonuçları	48
4.4 Çekme Test Sonucu	49
4.5 Aşınma Testi Sonuçları	50
4.6 Eğilme Dayanım Test Sonucu	52
4.7 İzod Darbe Dayanım Test Sonucu.....	54
4.8 Mikroyapı Analizi.....	55
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	60
5.1 Sonuçlar	60
5.2 Öneriler.....	62
KAYNAKLAR	63
ÖZGEÇMİŞ.....	68



YÜKSEK LİSANS TEZİ

FARKLI ORANLARDA SİSAL ELYAF TAKVİYELİ KAÜÇUK KOMPOZİTLERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN VE MİKRO YAPILARININ İNCELENMESİ

Öznur DİNÇ

**Aksaray Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı**

Danışman: Prof. Dr. Necmettin ŞAHİN

ÖZET

Bu çalışmada, endüstrinin çeşitli alanlarında yaygın olarak kullanılan NBR kauçuk ile sisal elyaf karıştırılarak kompozit oluşturulmuştur. Farklı oranlarda kullanılan sisal elyafın, NBR kauçuk içerisinde etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, NBR kauçuk içerisine dünya genelinde yapılan literatür çalışmalarına paralel olarak %10 , %20 , %30 oranlarında sisal elyafı eklenmiş ve iki silindir arasında haddeleme yöntemi ile homojen olarak karıştırılmıştır. Sisal elyaf ve NBR kauçuk karışımının reolojik, morfolojik ve mekanik özellikleri çeşitli analizlerle değerlendirilmiştir.

Mekanik özelliklerin belirlenmesi amacıyla kompozite; sertlik ölçme, çekme testi, yoğunluk, aşınma testi, üç noktadan eğme testi, izod darbe testleri uygulanmıştır. Karışımın vulkanizasyon davranışının incelenmesi için reometre analizi yapılmıştır. Ayrıca karışımın içerisindeki elyaf dağılımını görmek ve sonuçları yorumlamak amacıyla taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri alınıp incelenmiştir. Sonuçlar NBR kauçuğa eklenen sisal elyafın oran arttıkça mekanik özelliklerin ve reolojik yapısını geliştirdiğini göstermiştir.

Anahtar kelimeler: NBR kauçuk, Doğal elyaf, Sisal elyaf, Kompozit malzeme

Kasım, 2022; 68 sayfa

M.Sc. THESIS

**INVESTIGATION OF MECHANICAL PROPERTIES AND
MICROSTRUCTURES OF SISAL FIBER REINFORCED RUBBER
COMPOSITES IN DIFFERENT PROPORTIONS**

Öznur DİNÇ

**Aksaray University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering**

Supervisor: Prof. Dr. Necmettin ŞAHİN

ABSTRACT

In this study, composite was formed by mixing NBR rubber and sisal fiber, which is widely used in various fields of industry. It is aimed to examine the effect of sisal fiber used in different ratios in NBR rubber. For this purpose, 10%, 20%, 30% sisal fiber was added to NBR rubber in parallel with the literature studies conducted around the world and it was mixed homogeneously between two cylinders by rolling method. Morphological and mechanical properties of sisal fiber and NBR rubber mixture were evaluated by various analyzes.

In order to determine the mechanical properties, composite; hardness measurement, tensile test and abrasion test were applied. Scanning electron microscope (SEM) images were taken and analyzed in order to see the fiber distribution in the mixture and to interpret the results. The results showed that sisal fiber added to NBR rubber improved its mechanical properties as the ratio increased.

Keywords: NBR rubber, Natural fiber, Sisal fiber, Composite material

November, 2022; 68 pages

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Kompozit malzemeleri oluşturan takviye ve matris yapıları.	3
Şekil 2.2. Kompozit bileşenlerin şematik gösterimi.	4
Şekil 2.3. Kompozit malzemelerin sınıflandırılması.	5
Şekil 2.4. Takviye çeşidine göre kompozit malzemeler.	6
Şekil 2.5. Ağaçtan lateks eldesi.	8
Şekil 2.6. Vulkanizasyon öncesi ve sonrasındaki yapısı.	9
Şekil 2.7. Doğal liflerin sınıflandırılması.	15
Şekil 2.8. Sisal Bitkisi.	17
Şekil 2.9. Sisal elyafın mikro yapısı.	18
Şekil 2.10. Sisal lifinin fibro-hücrelerini şematik gösterimi.	19
Şekil 3.1. NBR kauçuk ve sisal elyafın karıştırılması.	29
Şekil 3.2. Sisal elyafın görüntüsü a) uzun hali, b) 4-6 mm boyutlardaki hali.	29
Şekil 3.3. Karışım hazırlama.	30
Şekil 3.4. Numunenin CNC dik işleminde üretimi.	31
Şekil 3.5. Reometri eğrisi ve parametreler.	33
Şekil 3.6. Reometre cihazı.	33
Şekil 3.7. Yoğunluk ölçme cihazı.	34
Şekil 3.8. Sertlik ölçüm cihazı.	35
Şekil 3.9. Çekme test cihazı.	35
Şekil 3.10. Dumb-Bell bıçak kalıbı (JIS K6251-3).	36
Şekil 3.11. İşaretlenmiş çekme numunesi.	36
Şekil 3.12. Çekme deney numunesi.	36
Şekil 3.13. Kauçuk aşındırma cihazı.	37
Şekil 3.14. Üç noktada eğme test cihazı.	38
Şekil 3.15. İzod darbe test cihazı.	39
Şekil 3.16. SEM cihazı.	40
Şekil 3.17. Numunenin kaplama görüntüsü.	40
Şekil 3.18. Kaplama cihazı.	41
Şekil 4.1. NBR kauçuk reometre eğrisi.	42
Şekil 4.2. %10 Sisal elyaf takviyeli NBR kauçuk reometre eğrisi.	44
Şekil 4.3. %20 Sisal elyaf takviyeli NBR kauçuk reometre eğrisi.	45
Şekil 4.4. %30 Sisal elyaf takviyeli NBR kauçuk reometre eğrisi.	47
Şekil 4.5. Kompozitlerin yüzey görüntüleri a) %10 takviyeli b) %20 takviyeli c) %30 takviyeli.	51
Şekil 4.6. NBR kauçuğun gerilme-gerinim grafiği.	52
Şekil 4.7. %10 sisal elyaf takviyeli NBR kauçuk gerilme-gerinim grafiği.	53
Şekil 4.8. %20 sisal elyaf takviyeli NBR kauçuk gerilme-gerinim grafiği.	53
Şekil 4.9. %30 sisal elyaf takviyeli NBR kauçuk gerilme-gerinim grafiği.	54
Şekil 4.10. NBR kauçuk çekme deney numunesinin kopma görüntüleri.	56
Şekil 4.11. %10 Sisal elyaf takviyeli NBR kauçuk SEM görüntüsü.	56
Şekil 4.12. %20 Sisal elyaf takviyeli NBR kauçuk SEM görüntüsü.	57
Şekil 4.13. %30 Sisal elyaf takviyeli NBR kauçuk SEM görüntüsü.	58

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Örnek kauçuk reçetesi.....	11
Çizelge 2.2. Kauçuk türleri.	12
Çizelge 2.3. NBR kauçuk özellikleri.	14
Çizelge 2.4. Sisal liflerinin kimyasal bileşimi ve morfolojisi.....	19
Çizelge 2.5. Sisal liflerinin ana bileşenlerinin işlevleri.	20
Çizelge 2.6. Sisal liflerinin fiziksel ve mekanik özelliklerini.	21
Çizelge 3.1. NBR kauçuk reçetesi.	28
Çizelge 4.1. NBR kauçuk reolojik özellikleri.	43
Çizelge 4.2. %10 Sisal elyaf takviyeli NBR kauçuk reolojik özellikleri.....	45
Çizelge 4.3. %20 Sisal elyaf takviyeli NBR kauçuk reolojik özellikleri.....	46
Çizelge 4.4. %30 Sisal elyaf takviyeli NBR kauçuk reolojik özellikleri.....	47
Çizelge 4.5. Analizi yapılan numunelerin ortalama reolojik özellikleri.....	48
Çizelge 4.6. Yoğunluk test sonucu.	48
Çizelge 4.7. Sertlik test sonucu.....	49
Çizelge 4.8. Çekme test sonucu.	49
Çizelge 4.9. Aşınma test sonucu.....	50
Çizelge 4.10. Üç noktadan eğilme test sonucu.	52
Çizelge 4.11. İzod darbe dayanım test sonucu.....	54

SİMGELER VE KISALTMALAR

CNC	Computer Numeric Control
CR	Neopren Kauçuk
EPDM	Etilen Propilen Kauçuk
IIR	Butil Kauçuk
LDPE	Düşük Yoğunluklu Polietilen
kN	Kilonewton
MDPE	Orta Yoğunluklu Polietilen
MH	Maksimum Tork
ML	Minimum Tork
Mm	Milimetre
MPa	Megapascal
NBR	Nitril Kauçuk
NR	Doğal Kauçuk
Pa	Paskal
Pd	Poladyum
PE	Polietilen
Phr	Parts Per Hundred Of Rubber
PP	Polipropilen
PS	Polistiren
PU	Poliüretan
PVC	Polivinil Klorür
SBR	Stiren Bütadien Kauçuk
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
SI	Silikon Kauçuk
S'@t10	% 10 Pişmedeki Tork Değeri
S'@t90	% 90 Pişmedeki Tork Değeri
ts2	Erken Pişme Süresi
t90	Optimum Pişme Süresi
UHDPE	Ultra Yüksek Yoğunluklu Polietilen
ZnO	Çinko Oksit
µm	Nanometre

1. GİRİŞ

Günümüzde birçok endüstri dalı, sürdürülebilir olmayan hammaddeleri, sürdürülebilir olanlarla değiştirme çabası içerisinde. Birçok sanayi dalı sürdürülebilir olmayan malzemelere alternatif malzeme üretmeleri için zorlanmaktadır. Kompozit malzeme endüstrisi matrisler ve elyaflar için muadil malzeme arayışına yönlendirilmektedir. Cam elyaf ve polimer bazlı fiberler, ürettikleri yüksek karbon ayak izi ve sürdürülebilir olamamaları konusunda sorgulanmaktadır ve özellikle otomotiv endüstrisi, doğal fiber takviyeli kompozitlerin kullanımını yaygınlaştırmak için arayış içindedir. Bu nedenle doğal elyaflar ile kauçuk üzerine birçok araştırmalar yapılmıştır. Muz lifi, kenevir, ananas lifi, jüt gibi elyaflar üzerine pek çok araştırmalar mevcuttur. Sisal elyaf ile yapılan araştırmaların yetersizliği ve doğal lifler arasında en iyi mekanik özelliklere sahip lif olmasından dolayı NBR kauçuğa eklenerek malzemenin özelliklerini iyileştirmesi hedeflenmiştir.

Bu tez çalışmasının temel amacı, endüstrinin çeşitli alanlarında yaygın olarak kullanılan NBR kauçuk içerisinde farklı oranlarda kullanılan sisal elyafın etkisinin incelenmesidir.

Bunun yanında, ana amaca ek olarak; kullanım alanı yaygınlaşan doğal elyaf takviyeli kompozit malzemelerin kullanım alanlarına yenilerinin eklenmesi için sisal elyaf takviyeli NBR kompozitlerin; reolojik, mekanik ve morfolojik yapıların incelenmesi amacıyla gerekli test ve analizlerin uygulanması da çalışmanın amaçları arasındadır.

Son zamanlarda bitkisel liflerin yüksek mekanik özelliklerinden dolayı, otomobil ve inşaat gibi sektörlerde kullanılabilecek kompozitler oluşturulabilmesinin yanı sıra halen çalışmakta olduğum firmada kullanılan NBR kauçuk takozların özellikleri üzerinde iyileştirmeyi hedeflemek bu tez konusunun belirlenmesinde etkili olmuştur. Bu tez çalışması kapsamında yapılabilecek iş birlikleri ile hem akademik hem de sektörel bilgi birikimine katkı sağlanması amaçlanmaktadır.

Bu çalışmada, mekanik özelliklerin belirlenmesi amacıyla kompozite; sertlik ölçme, çekme testi, yoğunluk, aşınma testi, üç noktadan eğme testi, izod darbe testleri uygulanmıştır. Karışımın vulkanizasyon davranışının incelenmesi için reometre analizi yapılmıştır. Ayrıca karışımın içerisindeki elyaf dağılımını görmek ve sonuçları

yorumlamak amacıyla taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri alınıp incelenmiştir.

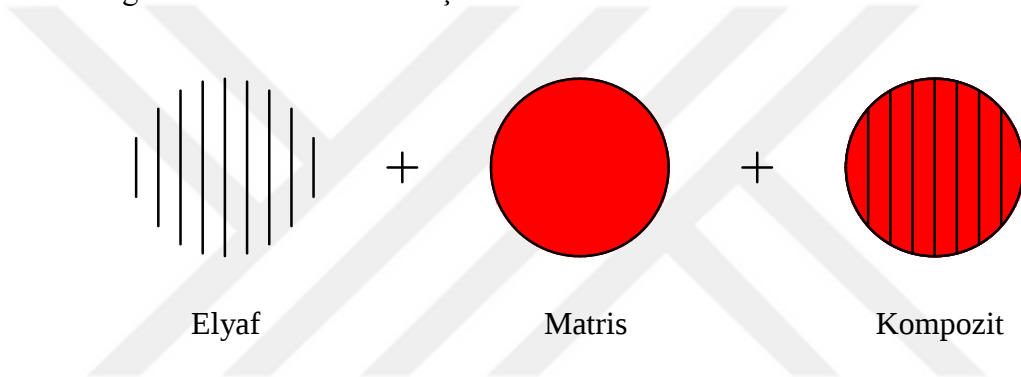
Tez çalışmasının bölümleri oluşturulurken ilk bölüm olan Giriş bölümünde çalışmanın amacı ve içeriği açıklanmıştır. Giriş bölümünden sonra Teorik Araştırmalar bölümü yer almaktadır. Bu bölümde, sisal elyaf takviyeli NBR kauçuk konusunda yapılan uygulamalar ele alınmıştır. Ayrıca bu bölümde; doğal elyaflar, sisal elyaf ve kauçuk hakkında bilgi verilmiş ve bu tez çalışmasının literatürdeki yeri açıklanmıştır. Malzeme ve Yöntem bölümünde kullanılan malzemeler ve yöntemler açıklanmış ve uygulanan test ve analizler detaylı olarak açıklanmıştır. Bulgular ve Tartışma bölümünde deneysel çalışmalardan elde edilen bulgular analiz edilmiştir. Sonuçlar ve Öneriler bölümünde bu çalışmadan elde edilen sonuçlar özetlenmiştir. Bu bölümde ayrıca daha sonra yapılabilecek benzer çalışmalar için önerilere yer verilmiştir.

2. TEORİK ARAŞTIRMALAR

2.1 Kompozit Malzemeler

Malzemeler özelliklerine, kimyasına ve atomik yapılarına bağlı olarak dört kategoriye ayrılabilir: metaller, seramikler, polimerler ve kompozitler. Mikro veya makro düzeyde karıştırılmış ve özünde birbiri içinde ayrılmayan iki veya daha fazla birbirinden farklı özelliklere sahip bileşenlerin oluşturmuş olduğu malzemeler bütünüdür.

Kompozit malzemeler matris ve takviye aşamalarından oluşur. Bu kavramlar Şekil 2.1'de grafiksel olarak sunulmuştur.



Şekil 2.1. Kompozit malzemeleri oluşturan takviye ve matris yapıları.

Kompozitler, kendisini oluşturan her iki fazın özelliklerinin önemli bir bölümünü taşıyan ve böylece daha iyi bir özellik kombinasyonu elde edilen birçok fazlı malzemedir (Callister, 2012). Sürekli ve süreksiz fazın bulunduğu iki veya daha fazla malzemenin matris içine gömülmesiyle oluşan malzemelerdir. Her biri bireysel özelliklerini korurlar (Nwabunma ve Kyu, 2007).

Tarihi binlerce yıl öncesine dayanan kompozit malzemeler, ilk olarak yapısal bütünlüğü oluşturmak amacıyla, evlerin yapımında beton içerisine saman takviye edilerek kerpiç kalıp yapımında yıllar boyunca kullanılmıştır.

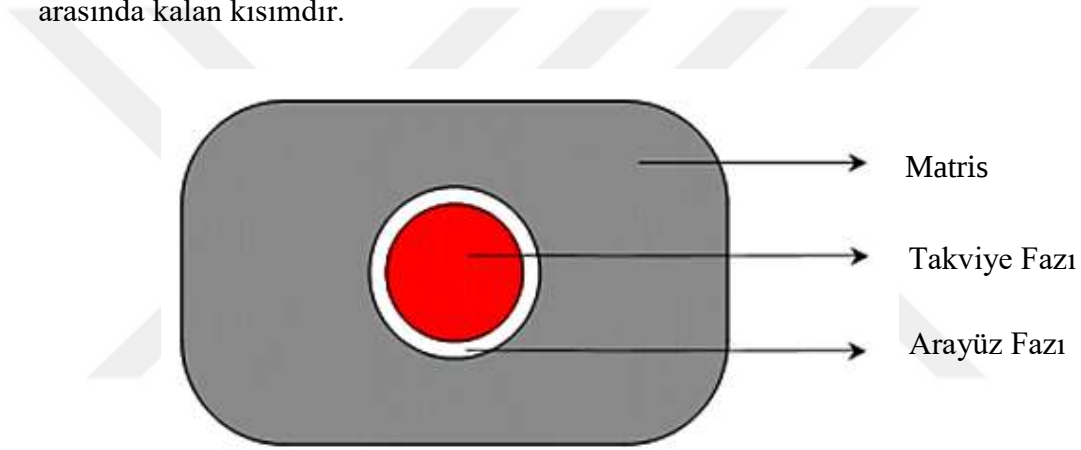
1960'larda polimer esaslı kompozit malzemelerin kullanımı yaygınlaşmasıyla birlikte bu malzemelerin kullanım alanı genişlemiştir (Santos, 2017).

Günümüzdeki çalışmalarda ise teknolojisinde çeşitlilik göstermesiyle beraber geleneksel malzemelerin yetersiz olduğu veya yapılarının geliştirilmesi gerektiği durumlar için güçlendirilmiş malzeme olarak faydalanılmaktadır. O zamandan bu yana

kompozit malzemeler otomotiv parçaları, uçak parçaları, spor malzemeleri gibi birçok farklı alanlarda kullanılmak üzere tasarlanmış ve üretilmiştir.

Bir kompozitin bileşenleri, fiziksel olarak tanımlanabilecekleri ve birbirleri arasında bir arayüz sergileyebilecekleri şekilde kimliklerini korurlar. Bu kavram Şekil 2.2'de grafiksel olarak sunulmuştur. Kompoziti şekillendiren matristir. Görevi takviyeyi korumaktır.

Yapısal bir bileşen olan diğer bileşen, takviye kompozitin içyapısını belirler. Kompozitin bileşenleri arasındaki bölgeye arayüz denir. Arayüz, matris ve takviye arasında mekanik gerilmelerin aktarıldığı yerdir (Mitchell, 2004). Arayüz, kompozitin nihai özelliklerini belirlemede çok önemli bir rol oynamaktadır. Matris ve takviye arasında kalan kısımdır.

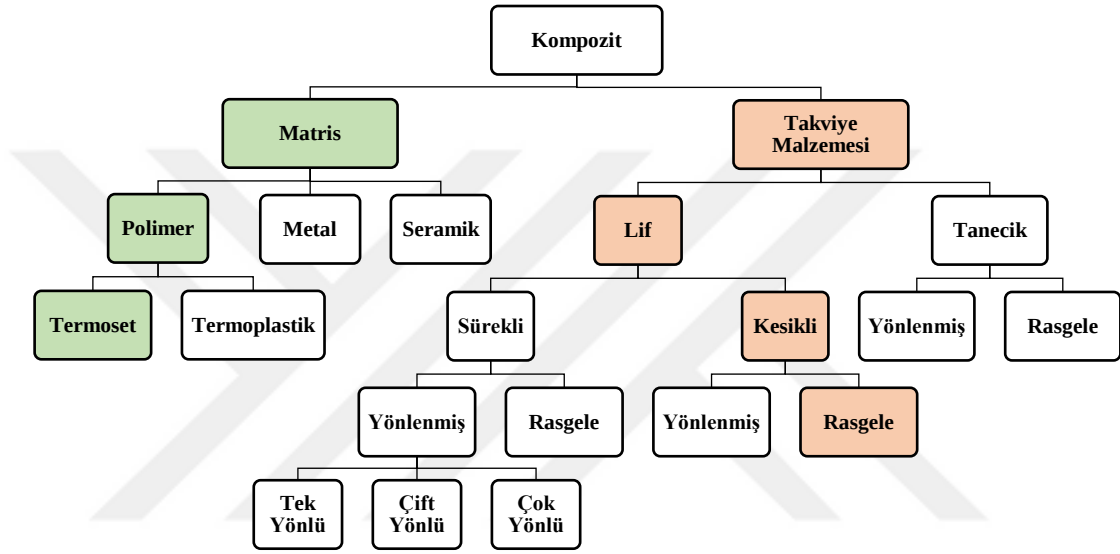


Şekil 2.2. Kompozit bileşenlerin şematik gösterimi.

Kompozitlerin nihai özellikleri, kişisel bileşenlerin özelliğine bağlıdır. Bileşenler birbirleriyle arayüz yapısı sayesinde etkileşim içindedirler. Bu nedenle, kompozitin her bir bileşeninin bireysel özelliklerine ek olarak, ilgili özelliklerin kombinasyonunu optimize etmek için arayüz mümkün olan en iyi olmalıdır.

Kompozit malzemelerin mekanik özellikleri, esas olarak bileşenlerinin özellikleri, takviye miktarı, dağılma derecesi, takviye geometrisi, en boy oranı (uzunluk/çap oranı) ve takviyenin yönü tarafından kontrol edilir. Bu özellikler ürünün homojenliğini kontrol eder. Lifli bir kompozitin anizotropi özellikleri, takviyenin oryantasyonundan büyük ölçüde etkilenir. Boyuna yönlendirilmiş kompozitler doğaları gereği anizotropiktir ve malzeme donatı hizalaması yönünde test edildiğinde maksimum mukavemet elde edilir. Hizalamanın enine doğrultuda, donatı neredeyse yoktur ve bu nedenle malzeme çok yüksek gerilmelerde yenilir (Kaw, 2006).

Kompozit malzemeler, kimyasal ve fiziksel yapılarına göre geleneksel olarak seramik, metalik ve polimerik olarak sınıflandırılmıştır. Şekil 2.3’de grafiksel olarak gösterilmiştir. Seramik malzemeler inorganiktir ve temel özellikleri yüksek ısı direnci ve aşırı kırılganlıktır. Metalik malzemelerin genel özellikleri, süneklik ve mükemmel termal ve elektrik iletkenliğidir. Kompozitlerde metal kullanımının en büyük sınırlaması, yüksek yoğunlukları ve üretim sürecinin maliyetidir. Polimerik malzemeler ise düşük yoğunlukları, kolay konformasyonları ve yüksek elektriksel dirençleri ile öne çıkmaktadır (Ferrante, 2002).



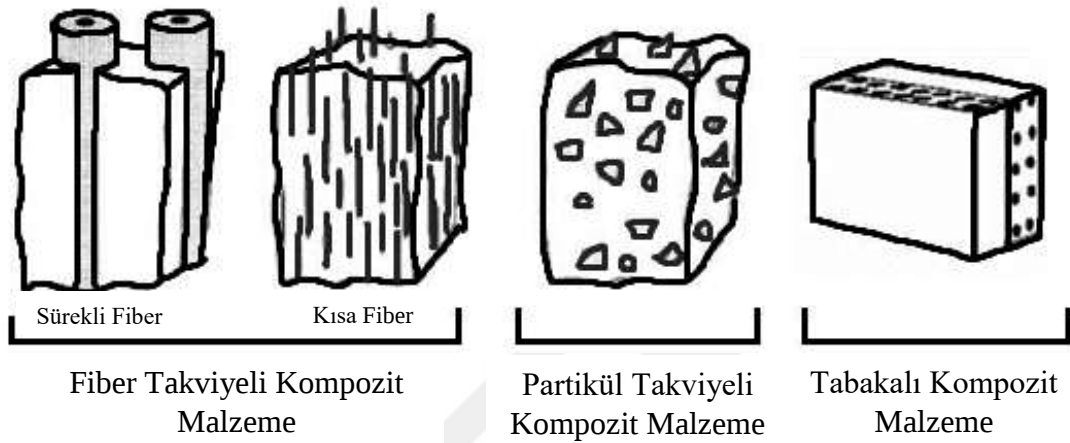
Şekil 2.3. Kompozit malzemelerin sınıflandırılması.

Takviye fazı olarak adlandırılan faz ayrıca polimerik, seramik ve metalik malzemelerden oluşabilir. Bileşenleri parçacıklı veya lifli yapıda olabilir. Takviye rasgele veya düzenli şekilde dizilebilir. Endüstriyel olarak en yaygın lifler, sentetik liflerdir. En yaygın sentetik lif cam elyafıdır. Günümüzde takviye olarak sentetik malzemeleri, doğal lifler ile değiştirme çalışmaları yapılmaktadır. Doğal lifler, mekanik özellikleri ve olası kullanımları açısından onlarca yıldır araştırılmaktadır.

Doğal lifleri sentetik liflere göre takviye malzemesi olarak kullanmanın avantajları şunlardır:

- Biyolojik olarak parçalanabilir,
- Düşük maliyetli,
- Düşük yoğunluklu,
- İyi termal özellik,
- Sağlamlık gibi özellikler sayılabilir.

Takviye, kompozite mukavemet ve rijitlik sağlarken, matris, takviyeye uygulanan yükleri aktarmanın yanı sıra, takviyeyi çevresel saldırılara karşı korur. Takviye olarak kullanılan lifler farklı şekillerde bulunur. Her karışım takviye malzemesinin oranına, yerleşimine göre farklı özelliklerle sonuçlanır. Özellikler, liflerin kompozitlerde düzenlenme şekline büyük ölçüde bağlıdır. Kompozitte bulunan takviye, sürekli veya süreksiz (kısa lifler), parçacıklı, hizalı veya rastgele dağılmış olabilir ve çeşitli şekillerde ve yönlerde elde edilebilir (Kainer, 2006). Şekil 2.4’de gösterilmiştir.



Şekil 2.4. Takviye çeşidine göre kompozit malzemeler (URL-2).

Kompozitleri sınıflandırmanın başka bir yolu da takviye tipidir. Kompozitler şu şekilde sınıflandırılabilir: (George ve Thomas, 1997)

Parçacıklı Kompozitler: Bir matris içinde dağılmış parçacıklardan oluşur. Bu parçacıkların en boy ölçüleri bir birine yakındır. Takviyelerin çoğu mineral kökenlidir. Örneğin; kaolin ve kalsiyum karbonat gibi. Bu durumda genel olarak, kompozitin mukavemetinde herhangi bir gelişme olmadan sertliğinde bir artış olur.

Lifli Kompozitler: Bir matris içine gömülü liflerle takviye edilmiş malzemelerdir. Genellikle yüksek mukavemet ve modüle sahip olan lifler tercih edilir. Lifli kompozitler iki ana alana ayrılır: kısa liflerle (≤ 50 mm uzunluğunda) takviye edilmiş olanlar ve sürekli liflerle (> 570 mm uzunluğunda) takviye edilmiş olanlar. Kısa lifler, kompozitin üretim kolaylığı nedeniyle genellikle takviye olarak kullanılır. Bu çalışmada 4-6 mm boyunda kesilmiş olan kısa lif kategorisinde sisal lifi kullanılmıştır.

Hibrit Kompozitler: Takviyenin farklı kökenli dolgu maddelerinin karışımından oluştuğu kompozitlerdir. Bunlar lifli veya partiküllü olabilir. Mineral veya organik köken lifli ve partikül dolgu maddelerinin bir karışımından oluşabilir.

Lamine Kompozitler: Bireysel reçine ve takviye katmanları üst üste konularak bir araya getirilmesi ile elde edilir. Lamineler, matris içerisine rastgele yönlenmiş elyaflar, tek yönlü elyaflar veya farklı elyaflardan oluşabilir.

2.1.1 Doğal elyaf takviyeli kompozitler

Literatüre göre, polimer matris ve doğal lif kullanılarak hazırlanan birçok çeşit kompozit vardır. Bu kompozitler, yüksek mukavemet modülü, yüksek sertlik, yorulma ve darbeye karşı yüksek direnç gibi özelliklere sahip malzemelerin bir kombinasyonu ile sonuçlanır (Bledzi ve Gassan, 1999).

Eşit ortam koşullarında doğal lifler üzerinde yapılan çok sayıda araştırmaya rağmen, düşük elastisite modülü, yüksek su absorpsiyonu, mantar ve böceklerin saldırılarına karşı duyarlılık, liflerin düşük dayanıklılık gibi yapıları ile ilgili kullanımlarını zorlaştıran problemlere net olarak çözüm bulunamamıştır (Silva, 1999).

Yüzey pürüzlülüğü, doğal liflerin olağan bir özelliğidir. Bu durum sayesinde polimerik matris reçinelerinde yüksek tutunma sağlar. Ancak, doğal life emprenye yani içerisine dolgu yapmak zordur, bu da lifin nemli bir ortamda kullanılmasını zorlaştırır (Fonseca, 1998). Fiber takviyeli kompozitlerin en büyük sınırlamalarından biri, matrise veya takviyeye dolgu maddeleri eklenerek geliştirilebilen düşük darbe mukavemetleridir. Böylece uygulanan gerilim, istenmeyen bölgelerde birikmek yerine, malzemenin çökmesine neden olur. Malzeme daha sünek faza aktarılır ve böylece dağılır. Bu şekilde, yükler darbe değiştiricileri olarak hareket eder (Oliveira, 2007).

Lignoselüloz içeren doğal lifler yüksek oranda hidrofilik olduğundan polimerik matrislere dahil edilmeleri, malzemenin su emme kapasitesinde bir artış oluşturur. Bu durum kompozitlerin nemini de etkiler. Sreekala vd. (2002), doğal liflerde bulunan selüloz ve ligninin serbest hidroksil grupları arasındaki polariteler nedeniyle, suyu tutabilen hidrojen moleküller bağlarının varlığından dolayı oldukça hidrofilik olmasını sağladığını belirtmişlerdir. Ayrıca Paiva vd. (1999), doğal liflerin higroskopiklik olması mekanik özelliğinde sertliğin azalmasına neden olduğunu yazmışlardır. Bununla birlikte, yoğunluk, olumsuz çevre koşullarında dayanıklılık, yüksek mekanik mukavemet, boyutsal kararsızlık, biyolojik olarak parçalanabilirlik, yanıcılık ve ultraviyole ışınları, asitler ve bazların neden olduğu bozunması ile ilgili sorunları çözmek için, bu lignoselülozik gruplar yeni malzemeler üretmek için diğer malzemelerle birleştirilebilir (Rowell, 1996).

2.2 Kauçuk ve Kauçuk Türleri

2.2.1 Kauçuk nedir?

Kauçuk, günümüz endüstrisinde önemli bir yere sahiptir. Polimerik bir malzeme olan kauçuk, kauçuk ağacından üretilir. Kauçuklar çapraz bağlanmamış fakat çapraz bağlanabilme özelliğine sahip yani vulkanize olabilen polimerlerdir.



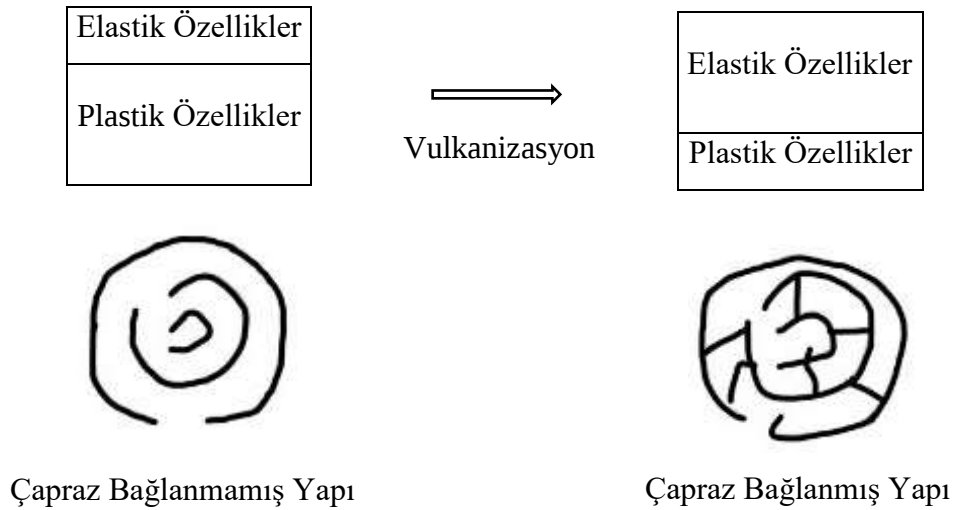
Şekil 2.5. Ağaçtan lateks eldesi (URL-3).

Polimer malzemeler, yüksek sıcaklıkta ve uygulanan kuvvet etkisi ile akışkan kıvam alır. Bu durum polimerlerin uygun şartlar altında kolay işlenebilmelerini ve hafif olmaları gibi çeşitli özelliklere sahip olmasını sağlar. Polimer malzemeler, kimyasal yapı birimlerinin birçok sayıda birbirinin tekrarından oluşan büyük moleküllerdir. Makromolekül olarak da isimlendirilebilirler. Bu yüzden bu malzemelere Latince poli (çok) , meros (parça) anlamlarındaki kelimelerin birleşmesi sonucu oluşan polimer adı verilmiştir. Polimer malzemelerin mekanik özellikleri büyük oranda molekül yapılarına bağlıdır. Polimerler, yapılarında bulunan kovalent bağların düzenlerine göre uzay ağı ve lineer polimerler olarak iki gruba ayrılır. Lineer polimerler, zincir şeklinde dizilime sahiptirler. Molekül zincirlerinde bulunan atomlar arası bağları kuvvetli kovalent bağlardır, zincirler arasındaki bağlar ise zayıf Van der Waals kuvvetleridir. Uzay ağı polimerleri ile lineer polimerleri arasındaki fark, uzay ağı polimerlerinde kovalent bağlar, üç boyutlu uzayda sürekli olarak bulunmalarıdır. Lineer ve uzay ağı polimerleri arasında kalan yapıya ise elastomerler olarak adlandırılır. Elastomerler, uzun molekül zincirlerinin yığın şeklinde toplanmasıyla oluşan yapılardır. Kuvvet etkisiyle bu yığılmaların açılması sonucunda, büyük oranda elastik şekil değişimi göstermeleri nedeniyle, bunlara elastomer adı verilmektedir. Termoplastik elastomer

grubunda bulunan kauçuk türü malzemeler, 1839 yılında vulkanizasyon işleminin bulunmasıyla Termoset Elastomer olarak tanımlanmıştır (Rana vd., 1998).

Ticari olarak ilk üretilen sentetik kauçuk 1929 yılında Thiokol A olmuştur. ABD ve Almanya'daki şirketler 1930 yıllarında kauçuğa benzer bileşikler geliştirmeye başladı. Almanya'da Farben şirketi tarafından üretilen nitril (NBR) ve Standard Oil tarafından üretilen Butil kauçuk (IIR) II. Dünya Savaşı sırasında bu yarışa katıldı. Doğal kauçuk o dönemlerde çoğunlukla Güney Doğu Asya taraflarında üretiliyordu. Lojistik anlamında sıkıntılar yaşanınca sentetik kauçuk malzemelerine ihtiyaç duyuldu. Savaştan sonra, elde edilen tecrübelerden esinlenerek yeni keşifler ve gelişmeler devam etti (Bourmaud, 2008).

Kauçuklarda çapraz bağlanabilme özelliği vulkanizasyon kavramı ile tanımlanabilir. Vulkanizasyon, kauçuğun çapraz bağlanma reaksiyonuna ya da diğer bir deyişle kimyasal yapı değişikliğine uğrayarak ve geri dönüşümsüz olarak elastik özelliklere sahip bir duruma gelmesi ve getirilmesi işlemidir. Vulkanizasyon öncesi yüksek plastik özellikler, vulkanizasyon sonrası yerini yüksek elastik özelliklere bırakır. Şekil 2.6'da bu durum gösterilmiştir.

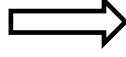


Şekil 2.6. Vulkanizasyon öncesi ve sonrasındaki yapısı (Savran, 2001).

Vulkanize olmuş ve vulkanize olmamış bir kauçuğun özelliklerini anlatırken ham kauçuğun vulkanize olurken kazandığı bazı özellikleri şu şekilde sıralayabiliriz;

Vulkanize olmamış

- * Termoplastik özellikler
- * Yüksek kalıcı deformasyon
- * Düşük mukavemet
- * Yapışkan olan yapı
- * Yumuşak yapı
- * Isıdan etkilenme
- * Çözünme



Vulkanize olmuş

- * Elastik özellikler
- * Düşük kalıcı deformasyon
- * Yüksek mukavemet
- * Yapışkan olmayan yapı
- * Sert yapı
- * Isıdan az etkilenme
- * Çözünmez ya da az çözünür

Kauçuk karışımı, talep edilen gereksinimlerine göre ham maddesi kauçuk olan yapı ile birlikte katkı maddeleri eklenerek elde edilen bir karışımdır. Bir kauçuğun karşılaması gereken özelliklerden bazıları aşağıda sıralanmıştır;

- Hedeflenen özelliklere uygun nihai ürün elde edilmesi
- Üretim yöntemlerine uygun olmalı
- Piyasaya alternatif oluşturmali, rekabetçi maliyetli olmalı

Kauçuğun istenilen özellikleri karşılaması için hesaplanan kütle oranları ile oluşturulmuş malzeme ağacına reçete de denir. Kauçuk dışındaki tüm katkılar phr olarak reçeteye eklenir. Phr “parts per hundred of rubber” yani, “yüz kısım kauçuk” olarak ifade edilir (Semaan vd., 2002). Kauçuğun kükürt ile reaksiyonunu hızlandırmak için katalizör görevini görecektir ek maddeler kullanılabilir. Katalizörler için en uygun metaller çinko veya magnezyum oksit metalleri seçimi yapılabilir. Günümüz sanayisinde vulkanizasyon sistemi için yalnızca oksit metaller değil, hedefe uygun başka partiküllerde eklenebilir.

Oluşturulan her bir karışımın ortak özelliği en az bir kauçuk türünden ve vulkanizasyon sisteminden oluşmasıdır. Bu durumlar olmadan esneklik özelliği sağlanamaz. Karışımda en önemli madde kauçuk ve kauçuk türevleridir. Kauçuk formülü karıştırılan kauçuk veya kauçukların toplamı 100 phr olacak şekilde hesabı yapılır. Karışımın çoğunluk kısmı kauçuktan oluşur. Karışımda ne kadar fazla kauçuk olursa maliyet doğru orantılı olarak artış gösterir. Çizelge 2.1’de örnek bir karışım reçetesi verilmiştir.

Çizelge 2.1. Örnek kauçuk reçetesi (Savran, 2001).

Bileşen	Oran(phr)
Kauçuk	100
Dolgu maddesi	50
Yumuşatıcı	10
Hızlandırıcı	1,2
Aktivatör (çinko oksit)	5
Yağ asidi (stearik asit)	1,5
Pişirici (kükürt)	2
Geciktirici	0,5
Diğer katkılar (antioksidan, antiozonat, boya vs.)	değişen oranlarda

- *Hızlandırıcılar:* Vulkanizasyon işleminin olması gereken sıcaklıktan daha düşük sıcaklıkta ve sürede gerçekleşmesine olanak sağlar. Çapraz bağlanma reaksiyonu, hızlandırıcıların kükürt ile beraber karışımında kullanılması sonucu hızlanır. Bu durum sonucunda kauçuklarda bu işlemin daha hızlı sürede bitirilmesini sağlar.
- *Aktivatörler:* Hızlandırıcıları aktive etmek aktivatörlerin başlıca görevidir. Hızlandırıcı ile kükürtün birlikte kullanılmasını sağlar. Çinko oksit ve stearik asit en yaygın kullanılan aktivatörlerin başında gelmektedir (Hertz, 1984).
- *Proses Kolaylaştırıcılar:* Kauçuk karışımın akışkanlığa karşı direncini düşürerek, üretim aşamalarında kullanım kolaylığı sağlayan katkı malzemeleridir.
- *Yumuşatıcılar:* Yaygın olarak piyasada bulunan yumuşatıcılar parafin ve mineral yağlar olarak söylenebilir. Yumuşatıcıların görevi karışımın kolay karışmasını sağlamaktır.
- *Koruyucular:* Koruyucu maddeler, kauçuğun kullanım proses aşamalarında yaşlanmadan ve ozonun etkilerinden korumayı için karışıma eklenir.

2.2.2 Kauçuk türleri

Kauçuk çeşitlerinden bazıları ve piyasada genel bulunma görselleri Çizelge 2.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 2.2. Kauçuk türleri.

Adı	Örnek Görseli
Doğal Kauçuk (NR)	
Neopren Kauçuk (CR)	
Nitril Kauçuk (NBR)	
Etilen Propilen Kauçuk (EPDM)	
Butil Kauçuk (IIR)	
Stiren Bütadien Kauçuk (SBR)	
Silikon Kauçuk (SI)	

2.2.2.1 Doğal kauçuk (NR)

NR, kauçuk ağacından alınan lateksin işlenmesinden elde edilir, adından da anlaşıldığı gibi doğal bir malzemedir. Kopma, yırtılma, aşınma, elastikiyet, kalıcı deformasyon gibi mekanik özellikleri diğer kauçuklara göre en iyi olan kauçuk türüdür. Çalışma sıcaklığı maksimum 80°C'dir. Kimyasallara karşı dayanımı iyi değildir. Doğal ürün olması nedeniyle fiyat dalgalanmaları olumsuz yönleri arasında sayılabilir.

2.2.2.2 Neopren kauçuk (CR)

CR, kauçuklar arasında ilk sentetik olarak geliştirilen kauçuk türüdür. Aşınma mukavemeti ve yanmaya karşı direnci yüksektir. İklim koşullarına, ozona, birçok kimyasal madde türlerine dayanıklıdır. Çalışma sıcaklığı maksimum 110°C'dir. Aşınma dayanımı, yüksek maliyeti ve yağ dayanımının düşük olması olumsuz özellikleri olarak belirtilebilir.

2.2.2.3 Etilen propilen kauçuk (EPDM)

EPDM, 150°C gibi yüksek sıcaklıklarda kullanım alanı sağlar. İklim şartlarına dayanıklı, kolay işlenebilme ve yalıtkan özelliğinin iyi olması olumlu özelliklerinden bazılarıdır. Olumsuz özellikleri olarak düşük esneklik, takviye ve özel pişirici sistem gerekmesi olarak sayabiliriz. EPDM genellikle profil üretiminde tercih edilir.

2.2.2.4 Butil kauçuk (IIR)

IIR, genellikle düşük gaz geçirgenliği ve kimyasallara karşı dirençli olmasından dolayı araç lastiklerinin iç kısımlarında ve balonlarda kullanılır. Yırtılma dayanımı yüksek bir malzemedir.

Vulkanizasyon süresinin uzun olması en önemli olumsuz özelliklerindendir. Ayrı bir hatta imalat gerektiren butil kauçuk, düşük esnekliğe sahiptir.

2.2.2.5 Nitril kauçuk (NBR)

NBR kauçuk ilk kez 1934 yılında Almanya'da üretilmiştir. NBR kauçuk sentetik kauçuk türlerinden birisidir. NBR'nin en önemli özellikleri arasında, yağ ve yakıtlara karşı direnci, gazlara ve bazı kimyasal malzemelere karşı dayanımı sayılabilir. Çalışma sıcaklığı -40°C ve +120°C aralığıdır. Çizelge 2.3'de NBR kauçuğun özellikleri verilmiştir (Erkek, 2007).

Çizelge 2.3. NBR kauçuk özellikleri.

NBR Kauçuk Özellikleri			
Bağıl Yoğunluk (gr/cm ³)	1,00	Kalıcı deformasyon	iyi
Kopma mukavemeti (MPa)	>24	Geçirgenlik dayanımı	çok iyi
Sertlik (Shore A)	20-100	Aleve dayanım	zayıf
Elastikiyet	orta-iyi	Sulu asitlere dayanımı	iyi
Yırtılma dayanımı	orta-iyi	Dielektrik özellikleri	zayıf
Aşınma dayanımı	orta-iyi	Neme dayanım	çok iyi
Atmosferik yaşlanma dayanımı	iyi	Hidrokarbonlara dayanımı	orta
Oksidasyon dayanımı	orta-iyi	Oksijene ve sıvılara dayanım	zayıf
Isı dayanımı	iyi	Yağ ve petrole dayanım	mükemmel
Düşük sıcaklık elastikiyeti	orta-iyi	Hayvansal ve bitkisel yağlara dayanım	mükemmel

2.2.2.6 Stiren bütadien kauçuk (SBR)

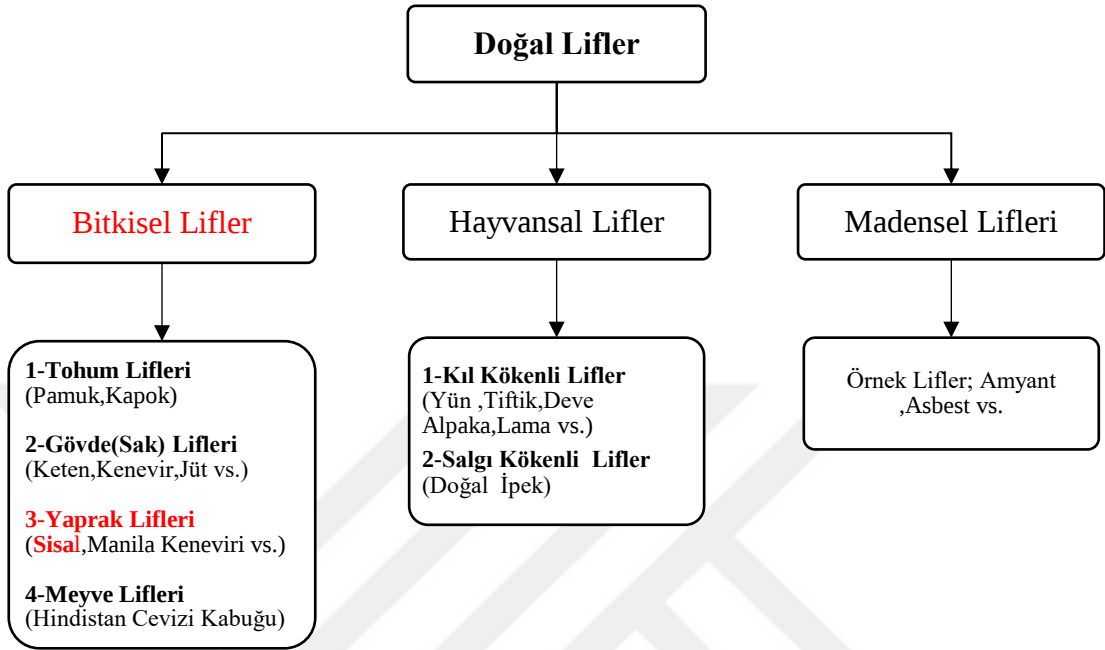
SBR, yapısı ve özellikleri doğal kauçuğa en çok benzeyen kauçuk olması nedeni ile endüstride en çok tercih edilen sentetik kauçuk türü olmuştur. Takviye edildiğinde kopma, yırtılma, aşınma gibi fiziksel özellikleri iyidir. Düşük ısılarda özelliklerinin iyi olması, fiyatının ucuz ve kolay temin edilmesi olumlu yönlerindendir. Aşınma hariç diğer tüm özellikleri doğal kauçuktan düşüktür. Takviye gerektirmesi olumsuz yönlerindedir.

2.2.2.7 Silikon kauçuk (SI)

SI, en önemli özelliği yüksek sıcaklık dayanımıdır. Çalışma sıcaklığı maksimum 250°C'dir. Buna ek olarak ultraviyole ışınlarına, ozona ve iklim koşullarına dayanımı çok iyidir. Esneme dayanımı, geniş kullanım sıcaklığı ve elektrik izolasyon özelliğinin iyi olması olumlu özelliklerinden bir kaçıdır. Maliyetinin yüksek olması olumsuz özelliklerinin başında gelirken buna ek olarak aşınma direnci ve fiziksel özellikleri kötüdür.

2.3 Selüloz Esaslı Doğal Elyafar

Doğal elyafar şu şekilde sınıflandırılır:



Şekil 2.7. Doğal liflerin sınıflandırılması.

Esas olarak selülozdan oluşan bitkisel liflere selülozik lifler de denir. Lignin ikincil fakat temel bir bileşen olmakla birlikte, lignoselülozik terimi de kullanılır. Bitki liflerinin sunduğu özellikler bitkinin yaşına, toprak tipine, iklim koşullarına, bulunduğu yere ve işleme koşullarına, ayrıca yapısına ve kimyasal bileşimine bağlıdır (Carvalho, 1997).

Ayrıca bu bitki lifleri tüm dünyada bol miktarda bulunur ve Brezilya, Hindistan, Mısır ve Afrika kıtası gibi ülkelerde önemli ekonomik öneme sahiptir. Geleneksel olarak bu lifler halatlarda, tekstillerde ve zanaat ürünlerinde yani katma değeri düşük uygulamalarda kullanılmaktadır. Bununla birlikte, bitkisel lifler mekanik özelliklerinden dolayı, otomobil ve inşaat gibi diğer sektörlerde kullanılabilecek kompozitler oluşturmak için polimerik matrislerde bir takviye elemanı olarak kullanılmalarına izin vererek, kullanım kapsamını ve liflerin katma değerini genişletir (Burgueno vd., 2004).

Bitkisel lifler,

- Düşük maliyet,
- Düşük yoğunluk,
- Yenilenebilir ve biyolojik olarak parçalanabilir kaynaklar,
- Düşük aşındırıcılığa sahip olma,
- İşleme sırasında kırılmaya karşı iyi direnç gösterme avantajlarına sahiptir.

Ayrıca, bu liflerin elastik modülü ve direnci, onları polimerik matrislerde takviye için uygun hale getirir.

Bitkisel liflerin polimerik kompozitlerde kullanılmasında gözlenen dezavantajlar,

- Polimerik matrislerin çoğu ile uyumsuzlukları,
- Mantar saldırılarına karşı yüksek hassasiyetleri,
- Alkali ve asit ortamlarda düşük dirençleri,
- Yüksek su absorpsiyonları,
- Nem absorpsiyonun oluşturduğu fiber şişmesi gibi maddeler sayılabilir.

Kompozitte, elyafın polimer tarafından kaplanması nedeniyle nem emilimi en aza indirilir. Liflerin nem emilimi, kimyasal modifikasyonlar yoluyla azaltılabilir, ancak bu ürünün maliyetinde bir artış anlamına gelir. İyi lif-matris yapışması, kompozit tarafından emilen su oranını ve miktarını da azaltabilir.

Bitkisel liflerin polimerik kompozitlerde kullanımıyla ilgili bir diğer ilgili faktör, kompozitlerin özelliklerini de etkileyebilen uçucu emisyonlar üretebilen lignoselülozik liflerin bozunmasını önlemek için gereken düşük işlem sıcaklığı ile ilişkilidir. Bu nedenle polimerik kompozitlerin işlenmesinde 200°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda kısa süre aralığında kullanılır, bu liflerin termal stabilitesi matris olarak kullanılabilecek termoplastik türünü sınırlar. Böylece kompozitlerde en çok kullanılan Lignoselülozik termoplastik matrisler şunlardır: polietilen (PE), polipropilen (PP), polivinil klorür (PVC) ve polistiren (PS) (Rowell vd., 1996).

2.4 Sisal Elyaf

Sisal lifi, dünyada üretilen ana sert lif olarak kabul edilen ve bu tip tüm liflerin ticari üretiminin yarısından fazlasını sağlayan, hafif ve toksik olmayan bir lignoselülozik liftir. Zor coğrafi koşulları seven, kenevire benzeyen sert, güçlü ve dayanıklı elyafa sahip bir bitki türüdür. Şekil 2.8’de sisal bitkisinin görüntüsü verilmiştir.



Şekil 2.8. Sisal Bitkisi (URL-1).

Üretim alanı her iki yarım kürenin tropikal ve subtropikal bölgelerine uzanan sisal elyafı, soğuk ılıman bölgeye ulaşan 1300'den fazla türü içeren Amaryllidaceae familyasının Agavoide alt familyasının bitkilerinden elde edilir. Çoğunlukla süs bitkileridir, ancak asıl kullanım Agave ve Furcraea cinsine ait bitkilerin yapraklarında bulunan yapısal liflerin kullanılmasıdır (URL-1).

Bitki lifleri temel olarak selüloz, hemiselüloz ve ligninden oluşur ve bu nedenle alternatif olarak lignoselülozik yani sert lifler olarak adlandırılır. Bu bileşenler, sentetik plastiklere benzer yapı ve özelliklere sahip, kimyasal modifikasyondan sonra tamamen veya kısmen değiştirilebilen doğal polimerlerdir (Alvarez ve Vazquez, 2006).

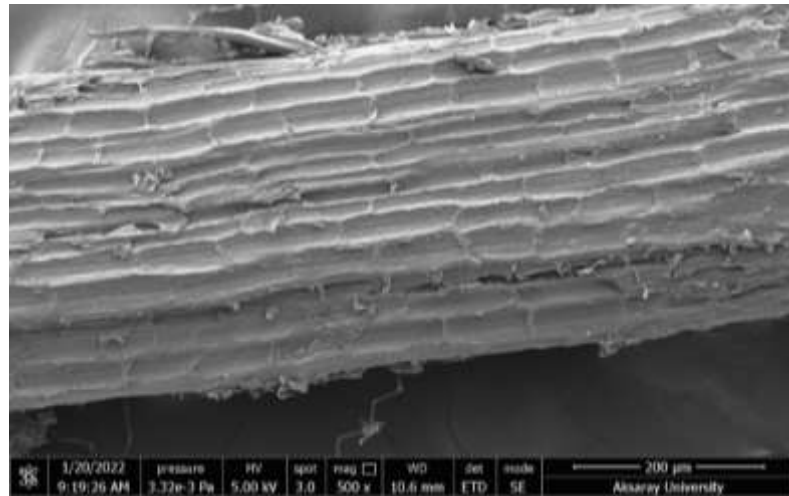
Selüloz makro molekülleri polardır, molekül içi ve moleküller arası hidrojen bağları oluşturur. Moleküller arası bağlar polimer zincirlerine sertlik verirken, büyük moleküller yapıların oluşumundanda sorumludur. Hidrojen bağlarının oluşturduğu

birincil yapıların, hücre duvarının katmanlarını oluşturan mikrofibrilleri oluşturduğunu düşünürler (Silva ve Beltrao, 1999). Selüloz, lifli yapı ve güçlü hidrojen bağları sayesinde yüksek gerilme mukavemetine sahiplerdir. Çoğu çözücünde çözünmediği için selülozları kristal yapıya benzetiyorlar (Silva ve Beltrao, 1999; Rowell vd., 1996).

Ligninler, selülozdan sonra doğada en bol bulunan organik maddedir. Yapısal bir bakış açısından ligninler, esas olarak hücre duvarında ve orta lamelde bulunan amorf maddelerdir. Bileşenlerinden dolayı, bitkisel liflerin erimemesi veya yumuşamaması, bu da geleneksel plastikler için kullanılan hazırlama teknikleriyle işlenmesini imkânsız hale getirir. Bununla birlikte, asıl özelliklerinde önemli bir kayıp olmadan yaklaşık olarak 200°C'ye kadar sıcaklıklara dayanabilirler (Rowell vd., 1996). Bu durumda bitkisel liflerin plastiklerle kompozit yapımında takviye lifi olarak kullanım için avantaj sağlar (Silva ve Beltrao, 1999). Lignin ve selüloz içeriği bitkinin yaşına göre değişir, bu nedenle farklı lif grupları farklı özelliklere sahip olabilir (Mochnac vd., 2002). Bitkisel liflerin özellikleri, lifin kimyasal modifikasyonu yoluyla değiştirilebilir veya geliştirilebilir, bu da teknolojik uygulama potansiyelini artırır.

2.4.1 Sisal elyafın mikroyapısı

Gram (1983)'a göre, sisal lifi enine kesitte yaklaşık 100 fibro-hücreden oluşur. Sisal liflerinin enine kesiti, ne dairesel ne de boyut olarak üniformdur. Lümen boyut olarak değişir, ancak genellikle iyi tanımlanmıştır. Şekil 2.9'de sisal elyafın morfolojisi göstermektedir. Aksaray Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Laboratuvarında bulunan Taramalı Elektron Mikroskobu ile görüntü alınmıştır.



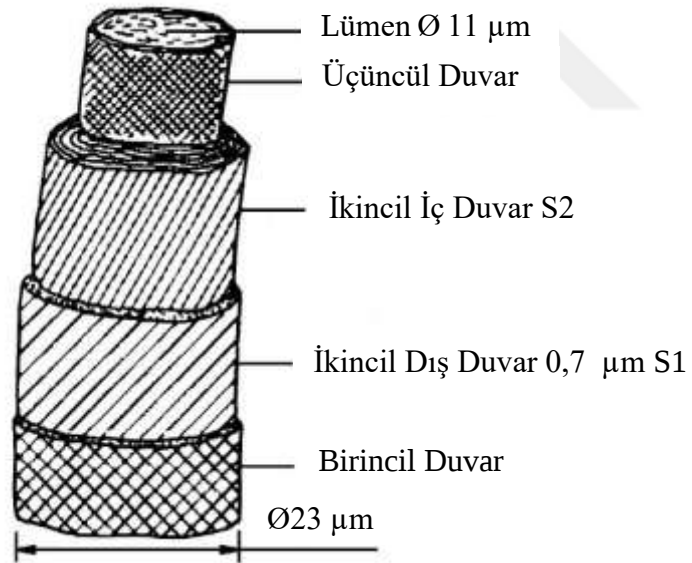
Şekil 2.9. Sisal elyafın mikro yapısı.

Kimyasal olarak bitki lifleri selüloz, hemiselüloz, lignin, pektin ve az miktarda yağlı maddelerden oluşur.

Çizelge 2.4. Sisal liflerinin kimyasal bileşimi ve morfolojisi (Dinwoodie, 1981).

Kompozit	Selüloz	70%
	Hemiselüloz	12%
	Lignin	10%
Morfoloji	Spiral Açısı	20°
	Hücre uzunluğu	2,5 mm
	Hücre genişliği	25 µm
	Duvar kalınlığı	12,5 µm

Fiziksel olarak, her fibro-hücre dört bölümden oluşur: birincil duvar, ikincil duvar, üçüncül duvar ve lümen. Şekil 2.10, sisal lifinin fibro-hücrelerini şematik olarak göstermektedir. Hücre duvarları, fibrillerden oluşan birkaç yapı katmanından oluşur.



Şekil 2.10. Sisal lifinin fibro-hücrelerini şematik gösterimi (Gram, 1983).

Selüloz, fiber hücre duvarının ana bileşenidir, tek tip şeker biriminden oluşan lineer bir polisakkarittir. Doğal liflerin mekanik özellikleri, her bir selüloz tipi belirli bir hücre geometrisi oluşturduğundan ve geometrik koşullar mekanik özellikleri belirlediğinden, selüloz tipine bağlıdır.

Dinwoodie (1981), polimerik durumu, moleküler türevleri ve selüloz, hemiselüloz, lignin ve ekstraktiflerin rolünü şu şekilde özetler:

Çizelge 2.5. Sisal liflerinin ana bileşenlerinin işlevleri (Dinwoodie, 1981).

	Durum	Türevler	İşlevi
Selüloz	kristal	glikoz	lif
Hemiselüloz	yarıkristal	galaktoz, mannoz, ksiloz	matris
Lignin	amorf	fenilpropan	matris
Ekstraktifler	-	polifenol	-

Hemiselülozlar da polisakkaritlerdir, ancak selülozdan farklı şeker birimlerinden oluşmaları bakımından farklıdırlar.

Hemiselüloz terimi, selülozla yakından ilişkili olan dallı zincirli, düşük moleküler ağırlıklı polisakkaritlerin bir karışımını ifade eder. Hemiselüloz, selüloz mikrofibrilleri için bir destek matrisidir, çok hidrofiliktir, alkalide çözünür ve asitlerde kolayca hidrolize olur (John ve Anandjiwala, 2008).

Hemiselüloz, esneklikten sorumludur ve selüloz ile lignin arasında bir bağlayıcı madde görevi görür. Lignin, karmaşık bir bileşime ve tam olarak karakterize edilmemiş bir yapıya sahip amorf bir polimerdir; selüloz lifleri sertlik ve sağlamlık verir; asit hidrolizine karşı direnci ve oksitleyici maddelerle yüksek reaktivitesi ile polisakkaritlerden farklıdır. Pektin, suda veya organik çözücülerde veya her ikisinde kolayca çözünen organik ve inorganik bileşiklerdir (Bledzi ve Gassan, 1999; Oliveira, 2007; John ve Anandjiwala, 2008).

2.4.2 Sisal elyafın fiziksel ve mekanik özellikleri

Çizelge 2.6 sisal liflerinin fiziksel ve mekanik özelliklerini sunmaktadır. Bu tür özellikler bitkinin yaşına, ekim yerine, iklim koşullarına ve lif mikro yapısına bağlı olduğundan, çok çeşitli değerler gözlenir. Ortalama değerler, sisal liflerinin matrislerde takviye olarak kullanılmaya uygun özelliklere sahip olduğunu göstermektedir.

Çizelge 2.6. Sisal liflerinin fiziksel ve mekanik özelliklerini.

Özellik	Sisal Lifi	
	Min-Max	Ortalama
Çap (mm)	0,08-0,3	0,12
Özgül kütle (g/cm ³)	0,75-1,07	0,9
Doğal nem içeriği (%)	10,8-11,4	11,2
Su emme, 5 dk (%)	67-92	82
Su emme, Doygunluk (%)	190-250	230
Elastik modül (GPa)	10,9-26,7	19
Gerilme direnci (Mpa)	278-1002	578
Kopma uzaması (%)	2,1-4,2	3

2.4.3 Sisal Elyafın Uygulaması

60'lı yıllara kadar sisalın en büyük kullanımı, neredeyse sadece halatlar, kalın ipler, hamaklar, şapkalar, kilimler, paspaslar ve el işi eşyaların imalatında kullanılıyordu.

O yıllardan beri sisal gibi bitki lifleri, esas olarak otomobil endüstrisi tarafından kompozitler gibi ileri uygulamalarda kullanımları açısından araştırılmıştır (Quirino, 1997). Sisal, otomotiv endüstrisinde farklı uygulamalarla plastik parçaların güçlendirilmesi için oldukça etkili bir şekilde kullanılabilir. O zamandan beri, otomobil üreticilerine plastik parça tedarik eden birçok endüstri, formülasyonlarında bitkisel lifler kullanıyor. Bu bitki liflerinin uygulamaları şu araba parçalarında öne çıkıyor: kabin iç kaplaması (tavan, arka duvar ve kapılar), koltuk başlığı ve koltuk arkılığı, dış güneşlik, gösterge paneli, alet çantası, kabin muhafazası/motoru ve tampon (Silva ve Beltrao, 1999; Nwabunma ve Kyu, 2007).

Bitkisel lifler geçmişte yaygın olarak kullanılmaktadır. Otomobil döşemesinde kullanım için hindistancevizi lifi ile güçlendirilmiş doğal kauçuk lateks kompozitlerinde olduğu gibi otomobil endüstrisi; ancak 60'lı yıllardan itibaren yavaş yavaş yerini poliüretan köpüklere bırakmaya başladılar. Bu değişim, düşük performansı ve çevresel ve sosyal sorunları hesaba katmadan tamamen köpüğün daha yüksek üretkenliği ve daha düşük maliyetinden kaynaklanmaktadır. Almanya'dan Mercedes Benz gibi bazı otomotiv şirketleri lüks otomobillerin döşemelerinde doğal lifler kullanıyor. Son zamanlarda otomobil üreticisi Ford, kendi hattındaki bazı

otomobillerin iç ve dış kısımlarında sisal liflerinin kullanıldığını duyurdu. Bitki liflerini kullanmanın büyük avantajı toksik olmaması ve nem emme özelliğinin olmasıdır. İzosiyanat bazlı poliüretan köpük, yanma sırasında oldukça zehirli bir gaz (hidrosiyanik asit) yayar. 1970 yılında Paris Orly Havalimanı'nda bir uçak kazasında düzinelerce yolcu poliüretan koltuklardan salınan gazın zehirliliğinden dolayı öldü (Silva ve Beltrao, 1999). Bu nedenle, yeni malzemelerin geliştirilmesi sektörde önemlidir. Otomotiv parçaları pazarında hâlihazırda birçok ürün mevcut olduğundan, bu endüstriyel seğmende uygulama için gelişmiş özelliklere sahip kompozitler büyük ölçüde avantajlı görülebilir.

2.5 Literatür Özeti

Bu bölümde kauçuk içerisine takviye olarak kullanılan doğal elyaflar ve sisal elyaf ile ilgili yapılan çalışmalar özetlenmiştir.

Pavithran vd. (1988), tek yönlü olarak yönlendirilmiş sisal elyaf takviyeli polyester kompozitlerin darbe özelliklerini, ultra yüksek yoğunluklu polietilen (UHDPE) ve cam elyaflara sahip takviyeli polyester kompozitler ile karşılaştırmışlardır. Sisal kompozitlerin, ultra yüksek modüllü polietilen kompozitleriyle yakın kırılma mukavemeti gösterdiği ve sisal elyaf kompozitlerin tokluğunun, cam elyaf takviyeli kompozitlerin yoğunluğuna göre sadece %25 daha az olduğunu gözlemlemişlerdir. Sisal elyaf takviyeli kompozitleri için yapılan darbe dayanım çalışmasında, elyafın tek başına düşük mukavemet ve modüle sahip olmasına rağmen yapısı gereği takviye olarak kullanılan kompozitlerde mukavemetin ve darbe dayanımını yükselttiğini tespit etmişlerdir. Bir elyafın kompozitin tokluğunun genel olarak elyafın stress-gerinim davranışına bağlı olduğunu belirtmişlerdir. Sisal elyaf gibi yüksek kırılma mukavemetine sahip güçlü elyaflar, kompozitlerin kırılma mukavemetinin artmasını sağlar.

Belaadi vd. (2013), çekme ve yorulma deneyi yaptı sisal liflerinin davranışı ve kompozitleri. Çapı, genç 15 farklı numunede modül, kuvvet ve gerilme gücü ölçülmüş ve açık literatürdeki verilerle karşılaştırılmıştır.

Bisanda ve Ansell (1991), sisal-epoksi kompozitlerin silan ile alkali işlemi yapılmasının mekanik ve fiziksel özellikleri üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Sisal elyafın epoksi reçinesine dahil edilmesi sonucunda sert ve güçlü kompozit malzemeler elde edildiğini bildirmişlerdir. Sisal elyafların karışım öncesinde silan ile işlenmesi sonucunda üzerindeki partiküllerden arındırıldığında daha iyi karışım elde edildiği için mekanik özelliklerinde iyileşme olduğundan bahsetmişlerdir.

Silva vd. (2006), doğal elyaf / hint yağı poliüretan kompozitleri geliştirmiş ve kırılma tokluğunu test etmiştir. Sisal elyaf kompozitler için en iyi kırılma tokluğu performansını elde etmişlerdir.

Coran vd. (1974), selülozik elyaf takviyeli elastomer kompozitlerin özelliklerini incelemiş ve elyafın en-boy oranının kompozit özellikler üzerinde önemli bir rolü olduğunu bulmuşlardır. Partikül dolgu maddelerinin bu kompozitler üzerindeki etkileri de rapor edilmiştir. Elyaf ve kauçuk matris arasında iyi bir yapışmanın olması için belli oranlarda yapıştırıcının eklenmesi gerektiğini belirtmişlerdir.

Naik vd. (2015), doğal liflerin polimer kompozitlerde iyi etkilere sahip olması, yüksek belirgin özellikler ve düşük yoğunluklara sahip olması nedeniyle sektörde kullanım alanı bulmuştur. Aşınmaların az olması ve bunu izleyen takım değiştirmenin azaltılması önemli etkilerdir. Polimer endüstrisinde hammadde olarak kullanımı nedeniyle yenilenebilir özelliği yanında kırsal bölgeler için ekonomik gelişim kaynağı olmuştur.

Singh vd. (1996), zirkonat, titanat, silan ve N-ikameli metakrilamid gibi çeşitli kimyasal işlemlerin sisal elyaf takviyeli polyester reçine kompozitlerin fiziksel ve mekanik özelliklerinde iyileşme olduğu gözlemlenmiştir. Nemli koşullar altında sisal elyaf takviyeli polyester kompozitin çekme mukavemetinde yaklaşık olarak %30-44, eğilme mukavemetinde ise %50-70 azalma olduğunu bildirmişlerdir. Yüzey işlem görmüş kompozitlerin mukavemet tutması, işlem görmemiş kompozitlere kıyasla daha yüksektir. N-sübsitüe metakrilamid ile ön işleme tabii tutulmuş sisal elyaf kompozitlerin hem kuru hem de ıslak koşullarda daha iyi özellikler sergilediğini gözlemlenmiştir.

O'Connor (1977), beş çeşit elyafla takviye edilmiş kompozitlerin mekanik özelliklerini karşılaştırmış ve mekanik özelliklerinin elyaf tipine, hacim yüklemesine, en-boy

oranına, oryantasyonuna ve elyafın dağılımına ve elyaf matris yapışmasına bağlı olduğunu bulmuştur.

Varghese vd. (1994), asetil ile ön işleme tabii tutulmuş kısa sisal elyaf takviyeli doğal kauçuk kompozitlerin gerilme gevşeme davranışını, gerinim seviyesi, elyaf yüklemesi, bağlayıcı dolgu maddeleri ve sıcaklığın etkilerine çalışma yapmışlardır. Bağlayıcı dolgunun olmadığı kompozitlerde, gevşeme hızının gerinim seviyesi ile arttığı, ancak bağlayıcı dolgunun varlığında, güçlü elyaf matris nedeniyle gevşeme hızının gerinim seviyesinden bağımsız olduğu gözlemlenmiştir.

Caldos (2014), sisal elyaf ile cam elyafı kıyaslamak adına bu çalışma yapılmıştır. Önce sisal elyaf daha sonra cam elyaf olarak iki ayrı kompozit yapı elde edilip SEM analizi ve mekanik analizleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara bakıldığında sisal elyafın cam elyafa alternatif malzeme olabileceğini çalışmada belirtmiştir.

Raj ve Kokta (1989), odun elyafı dolgulu orta yoğunluklu polietilen (MDPE) kompozitlerin mekanik özelliklerini inceledi. Dolgu içeriğindeki artışla birlikte modül de önemli bir artış gözlemlenmiştir. Odun lifinin termoplastiklerde takviye olarak iyi bir potansiyel sahip olduğunu, aşındırıcı lif olmadıkları için karışım esnasında makineye zarar vermediğini belirtmişlerdir. Bununla birlikte, literatür de sisal lifinin termoplastik matrislerde takviye malzemesi olarak kullanımına ilişkin sınırlı çalışmalar olduğunu bildirmişlerdir.

Venkateswaran vd. (2011), muz -sisal elyaf takviyeli kompozitlerin mekanik ve su emme özelliklerini inceleyerek elyafın uzunluğunu ve ağırlık yüzdesini almaktadır. Araştırma sonucunda sisal fiberin muz-epoksi kompozitlere dahil edilmesinin ağırlıkça % 50'ye varan oranda mekanik özellikler arttırdığını ve su emme özelliklerini azalttığını buldular.

Paul ve Thomas (1997), uzunlamasına yönlendirilmiş kompozitlerin maksimum depolama modülü gösterdiğini ve maksimum dinamik modülü elde etmek için kritik uzunluğun 6 mm olduğunu bildirmişleridir.

Joseph vd. (1992, 1993ab, 1994), kısa sisal elyaf takviyeli LDPE kompozitlerin mekanik, reolojik ve viskoelastik özelliklerinin işleme yöntemine, lif içeriğine, lif uzunluğuna ve lif yönüne göre değişimini incelemişlerdir. Lif hasarının normalde ekstrüzyon karıştırma yöntemiyle karıştırılması esnasında meydana geldiğini, çözelti

karıştırma prosedürüne uygun karıştırma yönteminin benimsenmesini bildirmişlerdir. Bir ekstrüzyon işlemiyle elde edilen kısa liflerin tek yönlü hizalanmasının, kompozitlerin gerilme mukavemetini ve modülünü, rasgele yönlendirilmiş lif kompozitlere kıyasla lif hizalama eksenine boyunca iki kattan fazla arttığını bildirmişlerdir.

Kalaprasad vd. (1997a, 1997b), kısa elyaf takviyeli elyafların çekme özelliklerini araştırmışlardır. Kompozitler, fiber uzunluğuna, fiber yüklemesine, fiber dağılımına, fiber oryantasyonuna ve fiber matris ara yüzey bağ kuvvetlerine bağlı olduğu sonucuna varmışlardır.

Carvalho ve Marcovich (1997), hidrofobik termoplastiklerle hidrofilik selüloz elyaflardan iyileştirilmiş mekanik özelliklere ve boyutsal stabiliteye sahip kompozit malzeme elde etmek için, termoplastik matriste takviye olarak doğal liflerin kullanılmasıyla ilgili en büyük dezavantajlar, dağılabilirliğinin yanı sıra doğal olarak zayıf uyumlulukları nedeniyle polimerle zayıf ara yüzey bağları sağladılar. Bu nedenle, elyaf matris yapışmasını iyileştirmek için, elyaf yüzeyinin bir ön muamelesi yapılması gerektiğini bildirmişlerdir.

Li vd. (2011), sisal lif takviyeli polilaktik kompozitler enjeksiyon kalıplama ile hazırlanmış ve kompozitlerin özellikleri statik-dinamik mekanik analizlerle incelenmiştir. Mekanik test sonuçlarına göre yüzeyi işlenmiş sisal lif takviyeli kompozitlerin işlenmemiş lif takviyeli polilaktik kompozitlere göre üstün mekanik özellikleri kıyaslandığında sisal lif ve PLA matris arasında daha iyi bağlanma gerçekleştiği görülmektedir. Bunun yanında taramalı elektron mikroskobu (SEM) verileri yüzey değişimi geliştirilmiş sisal-polilaktik matris yapışmasını göstermiştir. Yapılan çalışmada kompozitlerin gerilme mukavemetinde biraz artış olduğu, darbe dayanımında azalma olduğu görülmüştür.

Manikandan Nair vd. (1996), kısa sisal elyaf takviyeli polistiren kompozitlerin çekme özellikleri hakkında rapor vermişlerdir. Fiber uzunluğu, elyaf içeriği, elyaf oryantasyonu ve benzoilasyonun kompozitlerin çekme özellikleri üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir. Fiber üzerindeki benzoilasyonun yapışmayı iyileştirdiği ve dolayısıyla mukavemeti önemli ölçüde artırdığı bildirilmiştir.

Lethi vd. (1996), reaktif ekstrüzyonla hazırlanan sisal elyaf takviyeli polipropilen kompozitlerin mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Fiberlerin PP-graft-MA ile

aşılmasının, kompozitlerin hem darbe mukavemetini hem de kopma stresini arttırdığı bildirildi.

Joseph vd. (1999), sisal elyaf takviyeli polipropilen (PP), düşük yoğunluklu polietilen ve polistiren kompozitlerin gerilme özelliklerini incelemiştir. PP-sisal ile LDPE-sisal kompozitlerin, lif içeriği yüzdesi 0'dan yüzde 30'a yükseldikçe çekme mukavemeti ve modülü artmaya devam ederken, sisal-polistiren kompozitlerde düzensiz bir şekilde değiştiğini tespit etmişlerdir. PP, LDPE'den daha kristalli olduğundan, sisal elyafın eklenmesiyle çekme mukavemetindeki artış, LDPE'ye kıyasla PP durumunda daha azdır. Ancak fiber ilavesiyle oluşan kompozitin mukavemeti PP durumunda LDPE'ye göre daha fazladır. %10 elyaf yüklemesinde polistiren durumunda, çekme mukavemeti %40 azalırken, PP durumda %3 artar. Yüksek elyaf yüklemesinde çekme mukavemeti değerleri incelendiğinde PP'nin sisal elyaf takviyeli kompozitlerde iyi matris olduğu belirlenmiştir.

Gopakumar (2016), çalışmada doğal elyaf olan muz lifi 6 mm boyutlarında kesilerek kauçuk içerisine %30 oranında takviye edilmiştir. Mekanik testler sonucunda özelliklerde %5 ile %41,7 oranında artış olduğunu tespit etmişlerdir. Matris içerisinde liflerin yüzeyde yırtılmalara neden olduğunu belirtmişlerdir. Elde edilen kompozitin yırtılma mukavemetinin %16,9'dan %77,9'a yükseldiğini kayıt altına almışlardır.

Arrohman vd. (2020), gözenekli doğal kompozitin optimum özelliklerini bulmak için hindistancevizi lifi ve kauçuğun farklı bileşimi ile mekanik özelliklerin araştırılması yapılmıştır. Numuneler, hindistancevizi lifi ve kauçuk (30:70; 50:50; 70:30) arasında ağırlık fraksiyonu bakımından değiştirilmiştir. Tüm numuneler, çekme özelliklerini elde etmek için boyuna ve enine yönde çekme testi ile test edilmiş ve makro fotoğraf ile gözlemlenmiştir. Sonuç, lifin artmasının mukavemeti ve gerilmeyi azalttığını ve %50 lif için optimum modüle sahip olduğunu göstermektedir.

Antich vd. (2006), takviye fazının kütlece farklı yüzdelерinde (0, 5, 10, 15, 20 ve 25) polyester matrisindeki sisal kısa liflerinin kompozitlerinin davranışını analiz etmiştir. Kompozitler sıcak presleme ile üretilmiştir. Young'ın modül değerleri %20 sisal lif kütle fraksiyonu kullanılarak 2,35 GPa'ya ulaştı. Çekme mukavemeti, sisal liflerinin eklenmesiyle, lif eklenmeden 21,66 MPa'dan %25 sisal lif kullanılarak 11,52 MPa'ya düşerek azalmıştır.

Rosario vd. (2011), kısa sisal liflerle güçlendirilmiş polipropilen kompozitlerin mekanik özellikleri araştırılmıştır. Kütlece %30 sisal lifleri ile güçlendirilmiş kompozitler analiz edildi. Elastiklik modülü ve darbeye karşı direnç için 3,03 GPa ve 59,48 J/m değerleri elde edilirken değerlerde ortalama %20 artış olduğu tespit edildi.

Jacob vd. (2004), farklı uzunluklarda sisal lifi ve kauçuk kompozitleri analiz etmiştir. Hibrit kompozitin mekanik özellikleri, farklı konsantrasyon seviyelerinin bir fonksiyonu olarak değerlendirildi. Düşük seviyeler ve matris için yükü üniform olarak aktaramamış, belirli bölgelerde gerilimi biriktirerek çekme mukavemetinin azalmasına neden olmuştur. Uzunlamasına yönde yönlendirilmiş liflere sahip kompozitlerin mekanik özellikleri, enlemesine yönlendirilmiş liflere sahip kompozitlere göre %30'luk hacimsel fraksiyon, iç gerilimlerin transferinde aktif bir katılım göstererek en iyi çekme mukavemeti değerini gösterdi.

Uddin ve Sun (2010)'a göre, kompozit mukavemetinin iyileştirilmesi, polimer matrisinde parçacıkların düzgün dağılımı ve serbest aglomerasyonu, yeterli orantı ve mevcut fazlar arasındaki etkileşim gibi bazı faktörlere bağlıdır.

3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1 Malzeme Temini ve Karakterizasyonu

Bu tez çalışmasında kullanılan NBR kauçuğu Konya Organize Sanayi Bölgesi'nde faaliyet gösteren Lav Kauçuk firmasından temin edilmiştir. Kullanılan NBR kauçuğa ait reçete Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. NBR kauçuk reçetesi.

HAMMADDE	PHR	%	YOĞUNLUK
NBR 6240	100,0	51,49%	0,99
FEF N550 (Karbon Siyahı)	61,0	31,41%	1,8
DOP (Dioktil ftalat / Yağ)	16,0	8,24%	0,98
AKTİF ZnO (Çinko oksit)	5,0	2,57%	3,5
STEARİK ASİT	1,0	0,51%	0,89
VULKANOX HS (TMQ)	2,0	0,51%	1,07
IPPD (Nizopropil- Nfenil)	2,0	1,03%	1,07
ANTILUX 111 (Antlozonat)	3,0	1,54%	0,92
DTDM (Vulkanizasyon maddesi)	2,0	1,03%	1,35
MBTS (Granül)	1,5	0,77%	1,51
TMTD (Hızlandırıcı)	1,2	0,62%	1,4
S-80 (Kükürt)	0,5	0,26%	2,1

*Phr: Parts per hundred of rubber “yüz kısım kauçuk”.

Tez çalışmasında kullanılan, yoğunluğu 0,9 gr/cm³ olan sisal elyaf ticari olarak uzun elyaf formunda (2-3 metre) temin edilmiştir. Sisal elyaf ile NBR kauçuğun karışımı yine NBR kauçuğun temin edildiği Lav Kauçuk firmasında yapılmıştır. Şekil 3.1'de NBR kauçuk ve sisal elyafın haddeleme makinesinde karıştırılma görüntüsü verilmiştir. Reometre, yoğunluk, sertlik ve çekme testi Aksaray Organize Sanayi Bölgesi'nde bulunan Brisa Aksaray Lastik Fabrikası'nda yapılmıştır. İzod darbe testi ve üç noktada eğme testi Aksaray ilinde faaliyet gösteren Mercedes-Benz Türk Kamyon Fabrikası'nda yapılmıştır. Ayrıca, aşındırma testi İstanbul ilinde faaliyet gösteren Kale Kayış Fabrikası'nda yapılmıştır. Son olarak, NBR kauçuğun ve sisal elyaf takviyeli kauçuğun mikro yapı analizleri Aksaray Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Laboratuvarında bulunan Taramalı Elektron Mikroskobu kullanılarak yapılmıştır.



Şekil 3.1. NBR kauçuk ve sisal elyafın karıştırılması.

3.2 Takviyeli Kauçuk Hamurunun ve Test Plakalarının Hazırlanması

Öncelikle yaklaşık 2-3 metre uzunluğunda olan sisal elyaf 4-6 mm ölçülerinde manuel olarak budama makası ile kesilmiş ve boyutların eşit olması için elekten geçirilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 3.2. Sisal elyafın görüntüsü a) uzun hali, b) 4-6 mm boyutlardaki hali.

Daha sonra NBR kauçuk içerisine %10 , %20 , %30 oranlarında sisal elyafı eklenmiş ve kauçuğun karışım esnasında yanmasını engellemek için 5'er gram geciktirici toz ürünü eklenerek, iki silindir arasında 10 dk boyunca hamur haddeleme yöntemi ile Lav Kauçuk firmasında homojen olarak karıştırılmıştır.



Şekil 3.3. Karışım hazırlama.

Sertlik, yoğunluk ve çekme testlerine ait numuneler için, Aksaray Brisa Lastik fabrikasında 185°C sıcaklıkta 30 dakika 150 tonluk pres altında vulkanizasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Sertlik testi için 2 mm kalınlıktaki numuneler kullanılmıştır. Yoğunluk testi için 40 mm çap ve 6 mm kalınlığa sahip dairesel plakalar kullanıldı. Çekme test numuneleri 2 mm kalınlıkta standartlara uygun papyon kalıp ile numuneler kesildi. Reometre analizi için numuneler 5-6 gram gelecek şekilde 35 mm punch ile vulkanize edilmemiş kompozitten dairesel parçalar kesilmiştir. İzod darbe ve üç noktada eğme testlerine ait numuneler için Aksaray Mysilo Tahıl Depolama Sistemleri fabrikasında CNC dik işlem tezgâhında öncelikle numunelerin ölçülerine uygun kalıp üretilmiştir. 4 x 40 x 130 mm ölçülerinde dikdörtgen yuvalar açıldı. Şekil 3.4'de işlem anının görüntüsü verilmiştir.

150 tonluk pres makinesi altında 185°C sıcaklıkta 30 dakika süresince sisal elyaf takviyeli NBR kauçuk karışım vulkanizasyon işlemine tabii tutuldu. Pişirilen karışım soğutma işleminden sonra üç noktada eğme testi için 10 x 80 mm ölçülerde dikdörtgen numune çubuklar kesildi. Aşınma testi için yoğunluk testinde kullanılan 40 mm çap ve 6 mm kalınlığa sahip dairesel numuneler kullanıldı.



Şekil 3.4. Numunenin CNC dik işlemde üretimi.

3.3 Kauçuk Numunelerine Uygulanan Testler

3.3.1 Reometre analizi

Kauçuk sektöründe reometre analizi oldukça önemli bir yere sahiptir. Bu analiz kauçuğun vulkanizasyon davranışı hakkında bilgi verir. Vulkanizasyon değişkenlerini kontrol altına alma ve karışıma ait vulkanizasyon koşullarını belirleme açısından son derece önemlidir. Cihaz tarafından elde edilen reometre eğrisinden; minimum tork (ML), erken pişme süresi (ts2), maksimum tork (MH) ve optimum pişme süresi (t90) kauçuk sektöründe en yaygın kullanılan parametrelerdir.

ML: Testin yapıldığı sıcaklıktaki numunenin viskozitesi hakkında bilgi verir. Çapraz bağlanmanın başladığı noktadır. Bu noktadan itibaren çapraz bağlanmanın başlamasıyla karışımın sertliği artar dolayısıyla viskozite değeri sertliğe bağlantılı olarak yükselir. Bu değer proses esnasında hamurun sertliği ve yoğunluğu hakkında bilgi vermesi bakımından önemlidir. Bu değer düşük olması malzemenin işlenebilirliğinin iyi olduğunu gösterir.

MH: Pişmenin %100 tamamlandığı andaki viskozitedir. Diğer bir değişle vulkanizasyon işleminin tamamlandığı andaki tork değeridir. Bu değer dolgu maddesinin miktarının artmasıyla birlikte bağ sayısı ve bağ türünden etkilenir. Toplam

bağ sayısının (monosülfidik + disülfidik + polisülfidik) artmasıyla maksimum tork değeri artar.

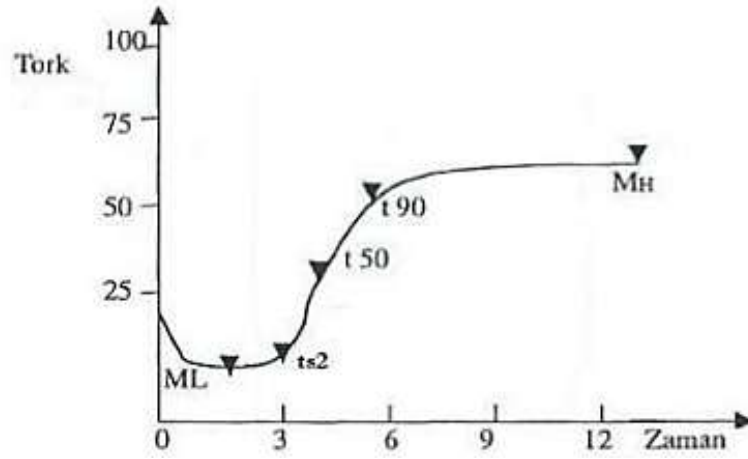
ts2: Erken pişme yada scorch süresi olarak ifade edilir. Pişirmenin ilk aşaması olarak da adlandırılabilir. Kauçuk hamurunun ekstrüderden pişme hattına girene kadar geçen süreyi ifade eder. Scorch zamanı pişmeye başlama zamanıdır. Kauçuk sektöründe sıklıkla kullanılan önemli bir parametredir. Pişmeye başlama süresi hakkında fikir verir. ts2 süresinin işletme şartlarına göre belirli bir aralıkta olması istenir. Bunun nedeni scorch süresinin kısa olması erken pişme problemine yol açar. Bu durumda ürünün şekil stabilitesinin bozulmasına ve yüzeyinde pürüzlülüklerin meydana gelmesine neden olur. Scorch süresinin olması gerekenden uzun olması ise, pişmenin belirlenen süreden daha uzun süreceğini ifade eder. Bu da yetersiz pişmeye neden olur. Ürün vulkanizasyonun sonrasında şeklinin koruyamaz ve fiziksel özelliklerinde düşme gözlemlenir. Bunun yanında vulkanizasyonda istenen durum kontrollü hızlı pişmedir. Yani scorch süresinin uzun olması, optimum pişme süresinin yeterince kısa olduğu durumlarda problem oluşturmaz aksine pişme esnasında istenen bir durumdur. Lakin genel olarak ts2 süresi uzun olan hamurların aynı anda t90 süreleri de uzun olmaktadır. ts2 genel olarak MH'a ulaşmak geçen sürenin %10-15'dir. Yani t10 ile t15 arasındır.

t10: MH' a ulaşmak için geçen sürenin %10'udur.

t50: Maksimum torka ulaşmak için geçen sürenin %50'si anlamına gelir.

t90: MH'a ulaşmak için geçen sürenin % 90'ıdır. Optimum pişme süresidir. Bu analiz hamurun pişme hattında ne kadar kalacağını belirlemek açısından önemlidir. Eğer hamur pişme hattından t90'dan daha kısa bir sürede çıkarsa pişme tamamlanmamış olur. Bu durum üründe şekil bozukluklarına ve fiziksel özelliklerde düşmeye neden olur. Eğer ürün pişme hattından t90'dan daha fazla kalırsa bu sefer fazla pişme olur. Bu durum ise ürünün sert, kırılgan olmasına neden olur ve fiziksel özelliklerde düşmeye yol açar. Ürünün %100 oranında pişmesi istenmezken % 90 oranında pişmesi istenir. Geriye kalan %10'luk pişme zamana yayılır. Böylece ürün fiziksel özelliklerini korur. Bu yüzden %90'lık pişme optimum pişme süresi olarak adlandırılır (Karabörk, 2012).

Şekil 3.5’de bu değerler bir reometre eğrisi üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Reometre eğrisi ve parametreleri.

Reometre analizi, ASTM D5289 / ISO 6502 standartına uygun olarak, Aksaray Brisa Lastik Fabrikası laboratuvarında bulunan Alpha Technologies Reometer MDR 2000 marka reometre cihazında yapılmıştır. Şekil 3.6’da cihazın görüntüsü verilmiştir. Hazırlanan yarı mamülden çap 35 mm punch ile numuneler kesilerek, $5,8 \pm 0,1$ gr tartılarak reometre cihazına yerleştirilmiştir. 200°C’de teste tabi tutulmuş ve vükanizasyon değişkenleri kaydedilmiştir.



Şekil 3.6. Reometre cihazı.

3.3.2 Yoğunluk testi

Yoğunluk, malzemenin belirli bir sıcaklıkta birim hacminin kütlesidir. Yoğunluk testi ASTM D792 standartlarına uygun yüzeyleri düzgün, toz bulunmayan 3 gr ağırlığındaki deney parçaları önce havada sonra su içerisinde tartılmıştır. Her bir numune için 3 kez yoğunluk ölçümü yapılarak ölçümlerin ortalaması alınmıştır. Şekil 3.7’de yoğunluk ölçme cihazının görüntüsü verilmiştir.



Şekil 3.7. Yoğunluk ölçme cihazı.

3.3.3 Sertlik ölçümü

Sertlik testi, malzemelerde üzerinde yapılan en genel testtir. Numunelerin sertlik değerinin belirlenmesinde Shore A sertlik ölçme yöntemi kullanılmıştır. Sertlik ölçümleri ASTM D 2240 standardına göre gerçekleştirilir. Testlerin yapımında Şekil 3.8’de gösterilen Zwick Roell (Shore A) sertlik ölçüm cihazı kullanılmıştır. Çekme kalıbında çekme testi için pişirilerek elde edilen tabakalardan, Dumb-bell kesiciler kullanılarak papyon numuneler elde edilmiştir. Kesilen papyon örneklerden üçü üst üste konulur ve cihaz yaklaşık 6 mm yüksekliğe göre ayarlanır. Kol bırakıldığında cihazda bulunan batıcı uç malzeme yüzeyine daldırılır ve uç numune yüzeyinde 15 saniye basılı bırakılır. Bu şekilde geniş yüzey alana sahip karşılıklı iki kenardan birer ölçüm yapılır ve elde edilen bu iki ölçümün ortalaması alınarak sertlik değeri raporlanır.



Şekil 3.8. Sertlik ölçüm cihazı.

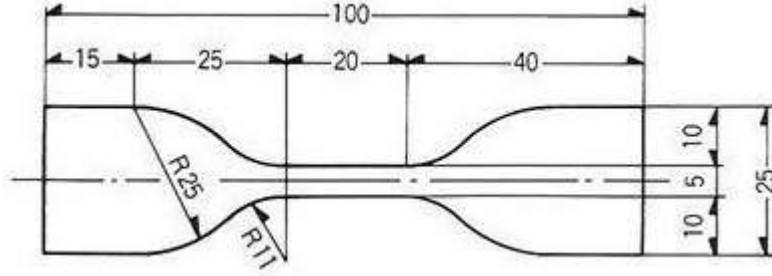
3.3.4 Çekme testi

Çekme deneyi, malzemelerin mekanik davranışları ve özelliklerinin tespitinde kullanılan mekanik test yöntemidir. Çekme testi, Aksaray Brissa Lastik firmasında bulunan Zwick/Roell Z010 marka 10 kN'luk çekme cihazı kullanılarak, oda sıcaklığında ASTM D412 standardına uygun olarak yapılmıştır. Şekil 3.9'da cihazın görüntüsü verilmiştir.

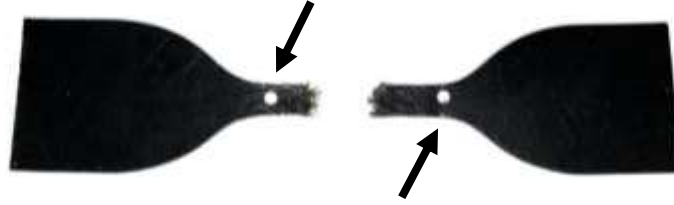


Şekil 3.9. Çekme test cihazı.

Çekme numuneleri için Lav kauçuk firmasında daha önceden hazırlanan hamurlar Brissa Lastik Fabrikası'nda bulunan 150 tonluk hidrolik pres makinesinde 185°C'de 30 dakika numuneler pişirilmiştir. JIS K6251-3 standartlarına uygun Dumb-Bell bıçak kalıbı (Şekil 3.10) kullanılarak köpek kemiği, papyon benzetmesiyle bilinen şekillerde kesilen numuneler Şekil 3.11'deki gibi işaretlenmiştir.

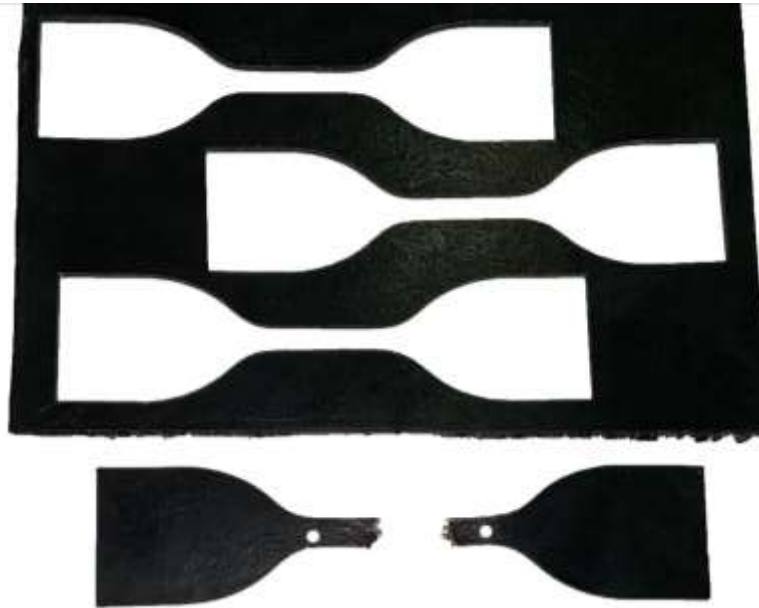


Şekil 3.10. Dumb-Bell bıçak kalıbı (JIS K6251-3).



Şekil 3.11. İşaretlenmiş çekme numunesi.

İşaretlenen numuneler sırasıyla test cihazının çenelerine yerleştirilerek tek eksenli, belirlenen hızda ortam sıcaklığında koparılanaya kadar teste tabii tutulmuştur. Şekil 3.12'de deney öncesi ve sonrası numunelerin görüntüleri verilmiştir.



Şekil 3.12. Çekme deney numunesi.

Çekme dayanımı ve kopma uzama deneyleri için standartlara uygun olarak gerekli çekme hızı 500 ± 50 mm/dak belirlenmiş ve uygulanmıştır. Numunelere ait kopma uzama ve çekme dayanım değerleri tespit edilmiştir.

3.3.5 Aşınma testi

Kompozitin aşınma direncini belirlemek için aşınma testi yapılmıştır. Aşınma deneyi, elastomerlerin aşınma miktarının belirlenmesinde kullanılır. DVT DA 6 marka kauçuk aşındırma test cihazı kullanılmıştır. Cihazın fotoğrafı Şekil 3.13’de verilmiştir. ISO23337:2007 standardına uygun yapılan aşınma testinde ilk olarak numune kesme zımbası ile yoğunluk testi için hazırlanmış olan Ø40 mm çap ve 6 mm kalınlığa sahip dairesel plakalardan aşınma testi için Ø16 mm dairesel plakalar kesilmiştir.

Cihaz 150 mm sindir çapı ve 500 mm silindir boyuna sahiptir. Cihaz üzerinde hareket eden numune tutucu pens bulunmaktadır. Ø16 mm çapında hazırlanan numuneler tutucu pense yerleştirilip, cihaza 40 ± 1 devir/dak ile devir verilmiştir. Numune cihaz üzerine 10 N basınç ile bastırılmıştır. Her bir karışımdan 2’şer adet numune 3600 saniye aşınma diskine maruz bırakılıp elde edilen verilerin ortalaması alınmıştır.



Şekil 3.13. Kauçuk aşındırma cihazı.

3.3.6 Üç noktada eğme testi

Sisal elyaf takviyeli NBR kauçuğun eğilme özelliklerini belirlemek için yapılan üç noktadan eğme testi, ISO 178 standardına uygun olarak Mercedes-Benz Türk Kamyon Fabrikası’nda bulunan Zwick Roell 30 kN marka çekme cihazında yapılmıştır. Cihazın görüntüsü Şekil 3.14’de verilmiştir.



Şekil 3.14. Üç noktada eğme test cihazı.

Test yapılırken her bir numune 2 noktadan sabitlenmiş ve ortasından numuneye kuvvet uygulanmıştır. Vulkanize edilmiş NBR kauçuk malzemesinden 3 adet %10, %20, %30 oranlarında sisal elyafı eklenmiş NBR kauçuk kompozit malzemeden 3'er adet 80 x 10 x 4 mm ebadında çubuk şeklinde numuneler hazırlanmıştır. Her bir kompozit karışımından 3'er adet numune teste tabii tutulmuş ve sonuçların ortalaması alınmıştır. Numunede kalıcı deformasyon başladığı kuvvet, eğilmeye karşı gösterdiği direnci gösterir. Bu test sonucu malzemenin eğilme modülü de hesaplanır. Malzemenin esnekliği eğilme modülüne bağlıdır. Malzeme ne kadar esnek olursa bu değer doğru orantılı düşer. Hazırlanan numunelere çekme test cihazında, eğme testi uygulanmıştır. Elde edilen verilerin ortalaması alınmıştır.

3.3.7 İzod darbe testi

İzod darbe testi, TS EN ISO 180 standartlarına göre Aksaray Mercedes-Benz Kamyon Fabrika'sı laboratuvarında bulunan Zwick marka darbe dayanımı test cihazında gerçekleştirilmiştir. Cihazın görüntüsü Şekil 3.15'de verilmiştir. İzod darbe dayanımı testinde yine standartlara uygun olarak numune 80 x 10 x 4 mm boyutlarında olacak şekilde kesilmiştir. Dayanımın azalmasına neden olan çatlakların oluşumunu önlemek

maksatıyla numune kenarları test öncesinde zımparalanmıştır. Her bir karışımdan 3'er örnek numune test edilmiş ve ortalamaları alınmıştır. İzod darbe test cihazı termoplastik malzemelerin, esneklik davranışlarını standart gerilme durumlarında, darbe kırılmalıklarına bakılarak değerlendirmektedir.

İzod darbe dayanım testi diğler bir darbe dayanımı test metodu olan Charpy'e göre numune cihaza dik yerleştirilir ve 5,4 J'lük çekicinin numuneye çarparak kırılması gerçekleştirilir.



Şekil 3.15. İzod darbe test cihazı.

3.3.8 Mikroyapı incelenmesi

Sisal elyaf takviyeli NBR kauçuk karışımının içerisindeki elyaf dağılımını görmek ve çekme testi sonucunda kırılma yüzeylerini yorumlamak amacıyla Aksaray Üniversitesi Merkezi Araştırma ve Uygulama Laboratuvarı'nda bulunan Fei Quanta 250 FEG taramalı elektron mikroskopu kullanarak NBR kauçuğun ve farklı oranlarda sisal elyaf eklenen karışımın mikroyapısı incelenmiştir. Şekil 3.16'da cihazın görüntüsü verilmiştir.



Şekil 3.16. SEM cihazı.

Karışımlardan numuneler hazırlandı ve Sem analizinde daha net görüntü alınabilmesi için Cressington Sputter Coater 108 Auto marka kaplama cihazında numunelere kaplama yapıldı. Şekil 3.18’de cihazın görüntüsü verilmiştir. Kaplama malzemesi olarak poladyum (Pd) kullanıldı. İletken olmayan kauçuk yüzeyler bu sayede iletken hale getirildi. 10 Pa basınç değerinde yaklaşık 2 dakika boyunca vakum altına alındı. Şekil 3.17’de Paladyum kaplama yapılmış kauçuk numuneleri verilmiştir.



Şekil 3.17. Numunenin kaplama görüntüsü.



Şekil 3.18. Kaplama cihazı.

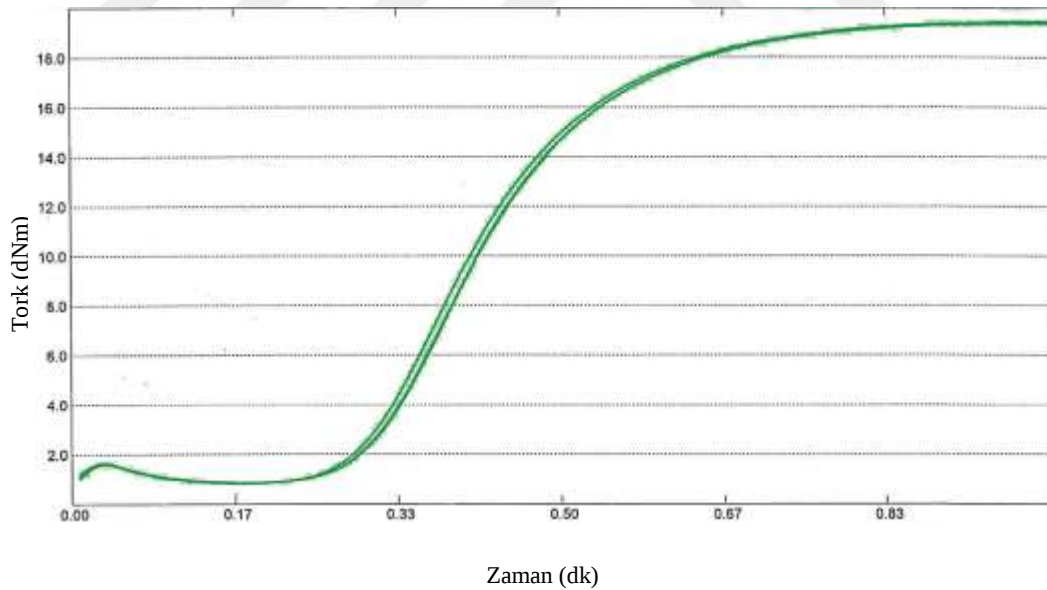
Yüksek çözünürlükte ve yüksek büyütme oranlarında görüntü sağlayan SEM analizi ile sisal elyafın kauçuk içindeki dağılımı belirlenmiştir. Analiz sonuçları Bulgular ve Tartışma Bölümü'nde verilmiştir.

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

4.1 Reometre Test Sonucu

Hazırlanan hamurların reolojik özelliklerini belirlemek için 200°C’de reometre (MDR) ile testler yapılmış ve sonuçların tabloları ve grafikleri NBR kauçuk ve farklı oranlara göre sisal elyaf takviyeli NBR kauçuk kompozitler için ayrı ayrı verilmiştir. Elde edilen sonuç tablosunda tüm değerler için standart sapma ve üç numunenin ortalama değerleri kayıt edilmiştir.

Şekil 4.1’deki reometre eğrileri NBR kauçuk malzemesine aittir. Üç farklı numune üzerinden reometre analiz ölçümleri yapılmış ve elde edilen sonuçlar Çizelge 4.1’de verilmiştir. NBR kauçuk içerisine %10, %20, %30 oranında sisal elyaf eklenerek, yeni kompozit hamurlar elde edilmiştir. NBR kauçuk hamurunun reometre analizi kontrol numunesi olarak yapılmıştır. Kontrol numunesinden elde edilen reometre sonuçlarına göre sisal elyaf takviyeli hamurların reometre analiz sonuçlarının değerlendirilmesi yapılacaktır.



Şekil 4.1. NBR kauçuk reometre eğrisi.

Şekil 4.1’de NBR kontrol numunesi için üç farklı numunenin ölçümü yapılmış ve reometre eğrileri birbirlerine yakın çıkmıştır. Reometre eğrisi standartlarına uygun eğri elde edilmiştir. Grafiğin sayısal değerleri Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1’de verilen değerler incelendiğinde dikkat edilmesi gereken; t90, MH ve ML değerleridir.

Çizelge 4.1. NBR kauçuk reolojik özellikleri.

	Time	ML	MH	t10	t50	t90	S’@t90	S’@t10
	min	dNm	dNm	min	min	min	dNm	dNm
Kontrol Numune 1	1,00	0,83	19,47	0,30	0,41	0,61	17,61	2,69
Kontrol Numune 2	1,00	0,85	19,39	0,31	0,42	0,61	17,54	2,70
Kontrol Numune 3	1,00	0,84	19,40	0,31	0,42	0,61	17,54	2,70
Number of measurements (Ölçüm sayısı)	3	3	3	3	3	3	3	3
Minimum (Minimum)	1,00	0,83	19,39	0,30	0,41	0,61	17,54	2,69
Maximum (Maksimum)	1,00	0,85	19,47	0,31	0,42	0,61	17,61	2,70
Mean value (Ortalama değer)	1,00	0,84	19,42	0,31	0,42	0,61	17,56	2,70
Range (Aralık)	0,00	0,02	0,08	0,01	0,01	0,00	0,07	0,01
Standard deviation (Standart sapma)	0,00	0,010	0,044	0,006	0,006	0,00	0,040	0,006

Genel olarak sisal elyaf takviyeli NBR kompozitlerin MDR sonuçları incelendiğinde, erken pişme yani scorch süresi, kontrol karışıma göre az miktarda azaldığı tespit edilmiştir. Scorch, vulkanizasyonun ilk başladığı noktadır. Scorch süresinin (ts2) gerekenden kısa olması erken pişme problemine yol açacağı, böylece malzemenin formunu koruyamama ve yüzey pürüzlülüğü gibi problemlere neden olacağı gibi; gereğinden kısa olması, ürünün pişme tamamlanmadan pişme hattından çıkması ve böylece şekil stabilitesinin korunamamasından kaynaklı ölçü bozuklukları gibi problemlere neden olur. ts2 genel olarak MH’a ulaşmak geçen sürenin %10-15’dir. Sonuçlar incelendiğinde t10 değeri erken pişme süresi (ts2) olarak kabul edebilir.

Kauçuk sektöründe istenilen durum hızlı ve güvenli pişmedir. Yani erken pişme süresinin (ts2) uzun, optimum pişme süresinin (t90) kısa olması istenir. Test sonuçları incelendiğinde sisal elyafın NBR kauçuk malzemesinin ts2 ve t90 süresini genel olarak azalttığı gözükmemektedir.

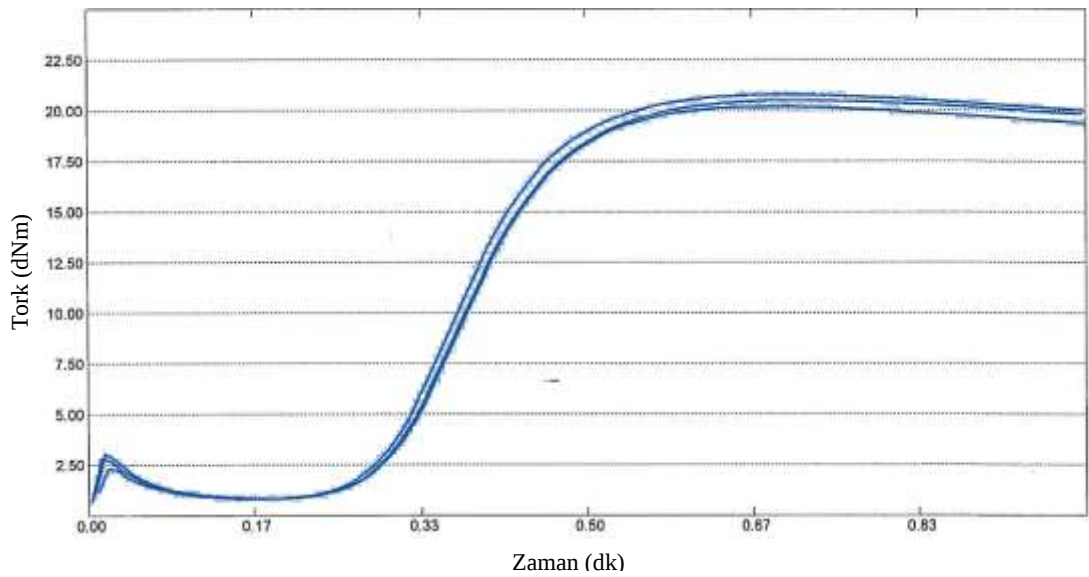
Kontrol karışımına kıyasla, sisal elyaf takviyesi içeren karışımların birinci bölgede bulunan ML değerleri yükselmekte ve karışımın proses edilebilirliğinin zorlaştığını göstermektedir. Minumum tork (ML), testin yapıldığı sıcaklıktaki minumum viskozitedir. Burada vulkanizasyon henüz başlamamıştır. Bu noktadan itibaren çapraz bağlanmanın başlamasıyla karışımın sertliği artacak dolayısıyla viskozite değeri yükselecektir. Proses esnasında hamur sertliği ve yoğunluğu hakkında bilgi vermesi

bakımından önemlidir. Karışımda kullanılan sisal elyafın oranına bağlı olarak değişiklik gösterir. ML yani minumum tork değeri fiziksel bir özelliktir.

İkinci bölge pişme reaksiyonlarının olduğu bölgedir. Optimum pişme süresi (t_{90}), uygun fiziksel özelliklere sahip bir ürün elde etmek için gerekli pişme zamanıdır, MH'a ulaşmak için geçen sürenin %90'ı olarak tanımlanır. Sisal elyaf takviyesi ile NBR kauçuk kompozitlerin optimum pişme süresi kontrol karışıma kıyasla artış göstermektedir.

Vulkanizasyon eğrisinin son bölgesi ise maksimum tork değerinin olduğu MH bölgesidir. Eğri yatay olarak devam eder veya düşme gösterir. Bu bölge eğrisinin formu çaprazbağ ağının kararlılığına bağlıdır. %100 pişmenin gerçekleştiği andaki viskozite hakkında bilgi verir. Elastisite modülünün bir ölçüsüdür. Bu noktada vulkanizasyon işlemi tamamlanmıştır. Kontrol karışımın reometre analiz sonucuna kıyasla, maksimum tork (MH) ve %90 pişmedeki tork değeri ($S'@t_{90}$) sisal elyaf takviyesi ile artmakta ve bu durum NBR kauçuğun mekanik özelliklerini geliştiğine işaret etmektedir.

%10 sisal elyaf takviyeli NBR kompozitin reometre eğrisi Şekil 4.2'de verilmiştir. %10 sisal elyaf takviyeli üç farklı numunenin reometre analizi incelendiğinde, değerlerin bir birine yakın çıktığı tespit edilmiştir. Bu durumda takviye olarak eklenen sisal elyafın matris içerisinde homojen karıştığını göstermektedir.



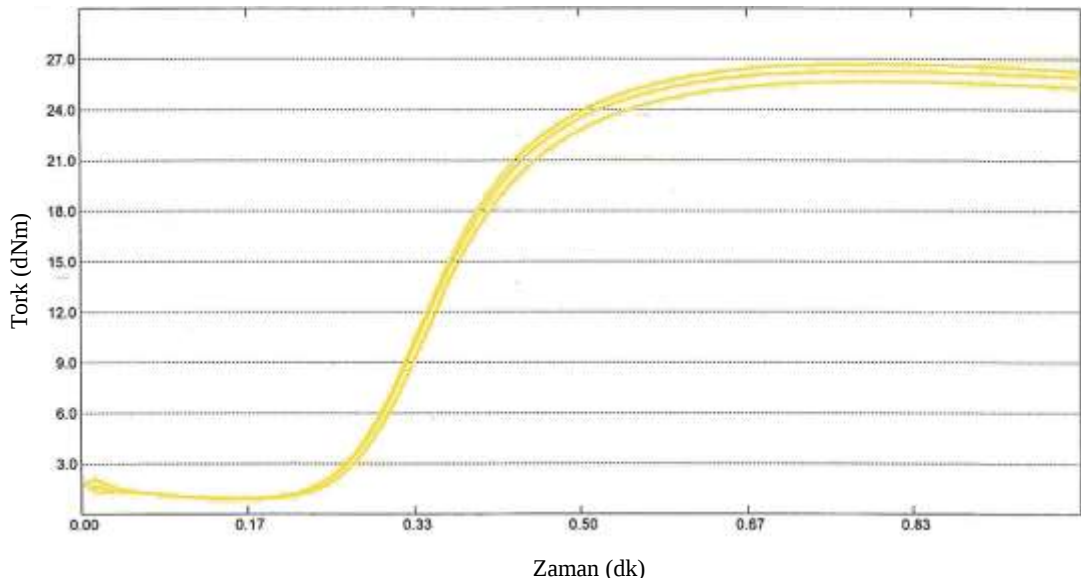
Şekil 4.2. %10 Sisal elyaf takviyeli NBR kauçuk reometre eğrisi.

Reometre analiz sonuçları incelendiğinde kontrol karışıma göre ML değerinde fazla değişiklik olmadığı gözükmemektedir. MH değeri kontrol karışımında ortalama 19,42 dNm değerinde iken %10 oranında elyaf takviyesinden sonra ortalama 20,49 dNm değerine yükselmiştir. Genel olarak değerler incelendiğinde kontrol karışıma göre; ts2 ve t90 değeri azalırken, MH, ML, (S'@t90) değerleri artış göstermiştir.

Çizelge 4.2. %10 Sisal elyaf takviyeli NBR kauçuk reolojik özellikleri.

	Time	ML	MH	t10	t50	t90	S'@t90	S'@t10
	min	dNm	dNm	min	min	min	dNm	dNm
Sisal %10 Numune 1	1,00	0,81	20,78	0,29	0,38	0,49	18,78	2,81
Sisal %10 Numune 2	1,00	0,83	20,49	0,30	0,38	0,50	18,52	2,80
Sisal %10 Numune 3	1,00	0,82	20,20	0,30	0,38	0,50	18,26	2,76
Number of measurements (Ölçüm sayısı)	3	3	3	3	3	3	3	3
Minimum (Minimum)	1,00	0,81	20,20	0,29	0,38	0,49	18,26	2,76
Maximum (Maksimum)	1,00	0,83	20,78	0,30	0,38	0,50	18,78	2,81
Mean value (Ortalama değer)	1,00	0,82	20,49	0,30	0,38	0,50	18,52	2,79
Range (Aralık)	0,00	0,02	0,58	0,01	0,01	0,01	0,52	0,05
Standard deviation (Standart sapma)	0,00	0,01	0,29	0,006	0,006	0,006	0,26	0,026

%20 sisal elyaf takviyeli NBR kompozitin reometre eğrisi Şekil 4.3'de verilmiştir. %20 sisal elyaf takviyeli üç farklı numunenin reometre analizi incelendiğinde, değerlerin bir birine yakın çıktığı tespit edilmiştir. %20 sisal elyaf takviyeli NBR kauçuk kompozit reometre eğrisinin formunun birbirine yakın çıkması matris içerisinde elyafın homojen karıştığını göstermektedir.



Şekil 4.3. %20 Sisal elyaf takviyeli NBR kauçuk reometre eğrisi.

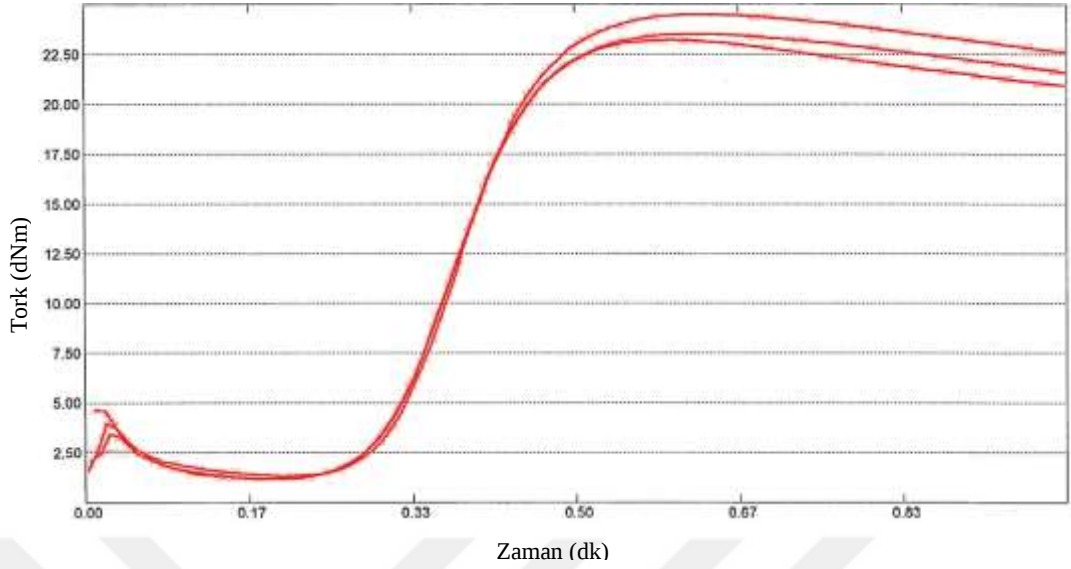
%20 sisal elyaf takviyeli NBR kompozitin reometre analiz sonuçları Çizelge 4.3’de verilmiştir. Reometre analiz sonuçları incelendiğinde kontrol karışıma göre ML değerinde artış olduğu gözükmemektedir. ML fiziksel bir değer olduğu için içerisine eklenen elyafdan dolayı artış göstermektedir. MH değeri kontrol karışımındaki değere göre yaklaşık % 35 oranında artış göstermiştir. Oluşturulan malzemeler içerisinde MH değeri en yüksek olan malzeme %20 sisal elyaf takviyeli NBR kauçuk kompozittir.

Genel olarak değerler incelendiğinde kontrol karışıma göre; ts2 ve t90 değeri azalırken, MH, ML, (S’@t90) değerleri artış göstermiştir. %10 sisal elyaf takviyeli kompozit ile kıyasladığımızda t90 değerinde az da olsa artış olmuştur. ts2 değeri az miktarda azalmıştır. MH, ML, (S’@t90) değerleri beklenildiği gibi artış göstermiştir.

Çizelge 4.3. %20 Sisal elyaf takviyeli NBR kauçuk reolojik özellikleri.

	Time	ML	MH	t10	t50	t90	S’@t90	S’@t10
	min	dNm	dNm	min	min	min	dNm	dNm
Sisal %20 Numune 1	1,00	1,58	26,27	0,27	0,36	0,51	23,74	3,46
Sisal %20 Numune 2	1,00	1,43	26,70	0,27	0,36	0,51	24,13	3,53
Sisal %20 Numune 3	1,00	1,46	25,66	0,28	0,36	0,51	23,18	3,38
Number of measurements (Ölçüm sayısı)	3	3	3	3	3	3	3	3
Minimum (Minimum)	1,00	0,90	25,66	0,27	0,36	0,51	23,18	3,38
Maximum (Maksimum)	1,00	0,95	26,70	0,28	0,36	0,51	24,13	3,53
Mean value (Ortalama değer)	1,00	0,93	26,21	0,27	0,36	0,51	23,68	3,46
Range (Aralık)	0,00	0,05	1,04	0,01	0,00	0,00	0,95	0,15
Standard deviation (Standart sapma)	0,00	0,025	0,523	0,006	0,00	0,00	0,478	0,075

%30 sisal elyaf takviyeli NBR kompozitin reometre eğrisi Şekil 4.4’de verilmiştir. %30 sisal elyaf takviyeli üç farklı numunenin reometre analizi incelendiğinde, değerlerin bir birine yakın çıktığı tespit edilmiştir. Diğer malzemelerde olduğu gibi %30 oranında sisal elyaf eklendiğinde NBR kauçuk içerisinde malzemenin homojen karıştığı reometre eğrisinde gözükmemektedir.



Şekil 4.4. %30 Sisal elyaf takviyeli NBR kauçuk reometre eğrisi.

%30 sisal elyaf takviyeli NBR kompozitin reometre analiz sonuçları Çizelge 4.4’de verilmiştir. Reometre analiz sonuçları incelendiğinde kontrol karışıma göre ML değerinde artış olduğu gözükmemektedir. ML değeri en yüksek bu karışımda elde edilmiştir. ML değerinin yüksek çıkmasına dayanarak en sert malzeme %30 sisal elyaf takviyeli karışımın olduğu hakkında yorum yapılabilir. Bu yorumu desteklemek amacı ile sertlik analizi yapılmış ve en sert malzeme olduğu tespit edilmiştir. MH değeri kontrol karışımındaki değere göre artış göstermiştir.

Çizelge 4.4. %30 Sisal elyaf takviyeli NBR kauçuk reolojik özellikleri.

	Time	ML	MH	t10	t50	t90	S’@t90	S’@t10
	min	dNm	dNm	min	min	min	dNm	dNm
Sisal %30 Numune 1	1,00	1,33	24,48	0,31	0,39	0,48	22,17	3,65
Sisal %30 Numune 2	1,00	1,19	23,51	0,30	0,38	0,47	21,28	3,42
Sisal %30 Numune 3	1,00	1,19	23,23	0,30	0,38	0,47	21,03	3,39
Number of measurements (Ölçüm sayısı)	3	3	3	3	3	3	3	3
Minimum (Minimum)	1,00	1,19	23,23	0,30	0,38	0,47	21,03	3,39
Maximum (Maksimum)	1,00	1,33	24,42	0,31	0,39	0,48	22,17	3,65
Mean value (Ortalama değer)	1,00	1,24	23,74	0,30	0,38	0,47	21,49	3,49
Range (Aralık)	0,00	0,14	1,25	0,01	0,01	0,01	1,14	0,26
Standard deviation (Standart sapma)	0,00	0,081	0,656	0,006	0,006	0,006	0,599	0,142

Genel olarak ortalama değerler Çizelge 4.5’de verilmiştir. Değerler incelendiğinde kontrol karışıma göre; ts2 ve t90 değeri azalırken, MH, ML, (S’@t90) değerleri artış

göstermiştir. Diğer karışımlara göre (S'@t90) yani %90 pişmedeki tork değeri en yüksek bu karışımda elde edilmiştir. (S'@t90) ve MH değerine dayanarak karışımlar içerisinde mekanik özelliklerin en iyi olduğu malzeme %30 sisal elyaf takviyeli NBR kauçuk karışımı olduğu söylenebilir. Kauçuk sektöründe malzemenin hızlı ve güvenli pişmesi beklenir. Bu durumda kısaca erken pişme süresinin (ts2) uzun, optimum pişme süresinin (t90) kısa olması olarak yorum yapılır. %30 elyaf takviyeli malzemenin t90 değeri testi yapılan diğer malzemelere göre en düşük, ts2 değeri ise en yüksek değer elde edilmiştir.

Çizelge 4.5. Analizi yapılan numunelerin ortalama reolojik özellikleri.

	Test	ML	MH	t10	t50	t90	S'@t90	S'@t10
	min	dNm	dNm	min	min	min	dNm	dNm
Kontrol Numune Ort.	1,00	0,84	19,42	0,31	0,42	0,61	17,56	2,70
Sisal %10 Numune Ort.	1,00	0,82	20,49	0,30	0,38	0,50	18,52	2,79
Sisal %20 Numune Ort.	1,00	0,93	26,21	0,27	0,36	0,51	23,68	3,46
Sisal %30 Numune Ort.	1,00	1,24	23,74	0,30	0,38	0,47	21,49	3,49

4.2 Yoğunluk Testi Sonuçları

NBR kauçuk ve farklı oranlarda sisal elyaf takviyeli kauçuk karışımlarının yoğunluk test sonuçları incelendiğinde NBR kauçuk içerisine eklenen takviye oranı arttıkça yoğunluk değerinde artış olduğu tespit edilmiştir. NBR kauçuğun yoğunluk değeri 1,1969 gr/cm³ iken, %30 sisal elyaf takviyeli NBR kauçuğun yoğunluk değeri 1,2459 gr/cm³ değerine yükselmiştir. Yoğunluk test sonuçları Çizelge 4.6'da verilmiştir.

Çizelge 4.6. Yoğunluk test sonucu.

Numune Adı	Yoğunluk (gr/cm ³)			
	Numune 1	Numune 2	Numune 3	Ortalama
NBR Kauçuk	1,1992	1,1951	1,1965	1,1969
%10 Sisal Elyaf Takviyeli NBR Kauçuk	1,2078	1,2047	1,2113	1,2079
%20 Sisal Elyaf Takviyeli NBR Kauçuk	1,2280	1,2306	1,2249	1,2278
%30 Sisal Elyaf Takviyeli NBR Kauçuk	1,2483	1,2415	1,2481	1,2459

4.3 Sertlik Testi Sonuçları

Çekme testi için hazırlanan numunelerden ölçümler alınarak malzemelerin sertlik değerleri belirlenmiştir. Çizelge 4.7'de sertlik test sonuçları verilmiştir. Test sonucuna göre NBR kauçuk içerisine eklenen sisal elyafın takviye oranı arttıkça sertlik doğru

orantılı artış göstermektedir. Malzemeler arasında karşılaşma yapıldığında %30 sisal elyaf takviyeli NBR kauçuk en sert malzeme olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 4.7. Sertlik test sonucu.

Numune Adı	Sertlik (Shore A)			
	Numune 1	Numune 2	Numune 3	Ortalama
NBR Kauçuk	71	75	73	73
%10 Sisal Elyaf Takviyeli NBR Kauçuk	80	84	83	82
%20 Sisal Elyaf Takviyeli NBR Kauçuk	83	88	85	85
%30 Sisal Elyaf Takviyeli NBR Kauçuk	90	92	91	91

4.4 Çekme Test Sonucu

Çekme testi için hazırlanan her bir numuneden 3'er adet test yapılmıştır ve ortalaması alınmıştır. Test sonuçları Çizelge 4.8'de verilmiştir. Çizelge 4.8 incelendiğinde gerilme (stress), gerinim (strain) değerleri verilmiştir. M25% olarak belirtilen değerler malzemenin yüzde 25 uzaması için gerekli olan kuvveti göstermektedir. Malzemelerin çekme test değerleri detaylı incelendiğinde NBR kauçuğun %25 uzaması için gereken kuvvet 17 kN iken , %30 sisal elyaf takviyeli NBR kauçuğun %25 uzaması için gereken kuvvet 59 kN olmuştur. Bu duruma baktığımızda NBR kauçuk içerisine eklenen sisal elyafın oranı arttıkça, kompozit malzemenin sünekliği azalırken, sertliği artmıştır.

Çizelge 4.8. Çekme test sonucu.

Numune Adı	Kalınlık	σ stress (kg/cm ²)	ϵ strain (%)	M 25 (N/mm ²)	M 50 (N/mm ²)	M 100 (N/mm ²)	M 200 (N/mm ²)	M 300 (N/mm ²)
NBR Numune 1	0,189	105	162	17,10	27,20	58,30	0,00	0,00
NBR Numune 2	0,186	114	178	16,80	26,80	57,90	0,00	0,00
NBR Numune 3	0,191	120	181	17,10	27,10	58,40	0,00	0,00
<u>NBR N.Ortalama</u>	0,188	113	173	17,00	27,00	58,20	0,00	0,00
Sisal %10 Numune 1	0,208	113	170	40,60	45,40	68,7	0,00	0,00
Sisal %10 Numune 2	0,211	110	165	41,10	45,20	68,6	0,00	0,00
Sisal %10 Numune 3	0,212	107	162	41,10	45,10	68,5	0,00	0,00
<u>Sisal %10 N.Ortalama</u>	0,21	110	165,5	40,90	45,20	68,6	0,00	0,00
Sisal %20 Numune 1	0,202	80,80	140	46,90	49,00	65,30	0,00	0,00
Sisal %20 Numune 2	0,196	76,60	133	44,10	46,30	63,70	0,00	0,00
Sisal %20 Numune 3	0,191	73,60	136	37,10	45,40	60,50	0,00	0,00
<u>Sisal %20 N.Ortalama</u>	0,196	77,00	136,3	42,70	46,90	63,10	0,00	0,00
Sisal %30 Numune 1	0,208	51,9	91	53,1	55	0,00	0,00	0,00
Sisal %30 Numune 2	0,209	52,9	83	63,3	58,5	0,00	0,00	0,00
Sisal %30 Numune 3	0,216	51	79	60,7	52	0,00	0,00	0,00
<u>Sisal %30 N.Ortalama</u>	0,211	51,9	84,3	59	55,1	0,00	0,00	0,00

4.5 Aşınma Testi Sonuçları

NBR kauçuk ve farklı oranlarda sisal elyaf takviyeli kauçuk karışımları için hazırlanan test plakalarından alınan ikişer adet aşınma numunelerinin testi yapılmıştır ve sonuçların ortalamaları Çizelge 4.9’da verilmiştir.

Çizelge 4.9. Aşınma test sonucu.

Numune Adı	Aşınma (mm ³)		Ortalama
	Numune 1	Numune 2	
NBR Kauçuk	128,8	123,1	125,9
%10 Sisal Elyaf Takviyeli NBR Kauçuk	176,5	186,5	181,5
%20 Sisal Elyaf Takviyeli NBR Kauçuk	237,2	229,7	233,5
%30 Sisal Elyaf Takviyeli NBR Kauçuk	336,7	362,5	349,6

Numunelere uygulanan aşınma test sonuçları incelendiğinde aşınma miktarı (mm³) tabloda verilmiştir. Aşınma mukavemeti en düşük olan malzeme %30 sisal elyaf takviyeli NBR kauçuk olduğu belirlenmiştir. Aşınma esnasında sisal elyafların ortamı kauçuğa göre daha hızlı terk etmesi ve parça bütünlüğünden uzaklaşması nedeniyle malzemenin daha hızlı aşınmasına sebep olmuştur.

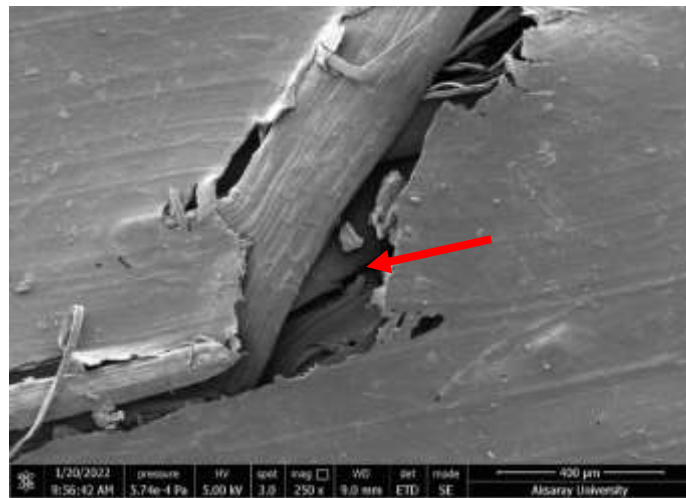
Bu durumu desteklemek amacıyla farklı oranlarda hazırlanan kompozitlerin yüzeylerinden SEM analizi yapılmıştır. Şekil 4.5’de SEM analizine ait görüntüler verilmiştir. Görüntüler incelendiğinde NBR kauçuk içerisine eklenen sisal elyafın karışım içerisindeki elyaf oranı arttıkça yüzeyde oluşan deformelerin arttığı gözlemlenmektedir. %30 sisal elyaf takviyeli NBR kauçuk kompozitin, aşınma mukavemetinin düşük olmasının en önemli sebebi bu durumdur. Sisal parçalarının terk ettiği çukurlar yer yer aşınmadan ziyade koparak uzaklaşma etkisi göstermiştir. NBR kauçuk içerisine takviye edilen sisal oranı arttıkça aşınma miktarının arttığı, aşınma mukavemetinin azaldığı gözlemlenmiştir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 4.5. Kompozitlerin yüzey görüntüleri a) %10 takviyeli b) %20 takviyeli c) %30 takviyeli.

4.6 Eğilme Dayanım Test Sonucu

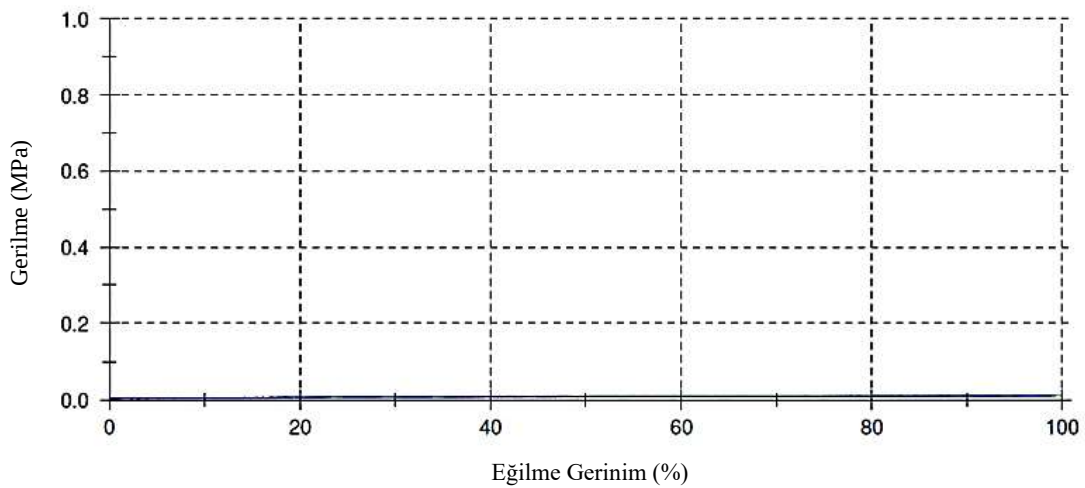
Eğilme dayanım testi için hazırlanan her bir numuneden 3'er adet test yapılmış ve ortalaması alınmıştır. Test sonuçları Çizelge 4.10'da verilmiştir.

Çizelge 4.10. Üç noktadan eğilme test sonucu.

Numune Adı	Eğilme Dayanımı (MPa)			
	Numune 1	Numune 2	Numune 3	Ortalama
NBR Kauçuk	0,00943	0,0109	0,00921	0,00984
%10 Sisal Elyaf Takviyeli NBR Kauçuk	2,27	1,28	0,0167	1,19
%20 Sisal Elyaf Takviyeli NBR Kauçuk	3,31	2,00	3,59	2,96
%30 Sisal Elyaf Takviyeli NBR Kauçuk	2,31	4,87	2,05	3,07

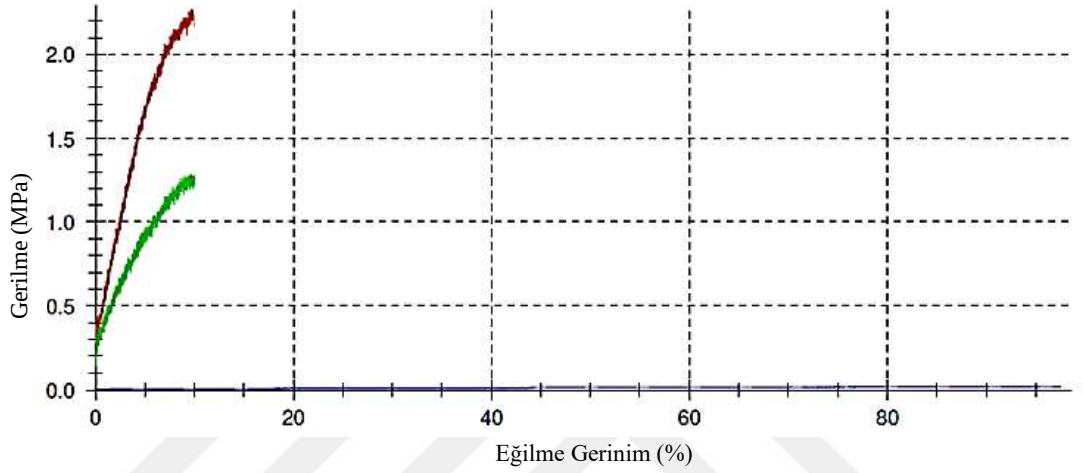
Test sonucuna göre NBR kauçuk içerine eklenen sisal elyafın takviye oranı arttıkça eğilme dayanımı doğru orantılı artış göstermektedir. Kompozitler arasında karşılaşma yapıldığında %30 sisal elyaf takviyeli NBR kauçuğun eğilme dayanımı 3,07 MPa ortalama değeri ile en yüksek eğilme dayanıma sahip olduğu tespit edilmiştir.

Sisal elyaf takviyesiz NBR kauçuğun gerilme-gerinim grafiği Şekil 4.6'da verilmiştir. Çıkan sonuçlar incelendiğinde 3 farklı bölgeden alınan NBR kauçuk numunelerinin eğilme gerinim yüzdeleri bir birine yakın çıkmıştır.



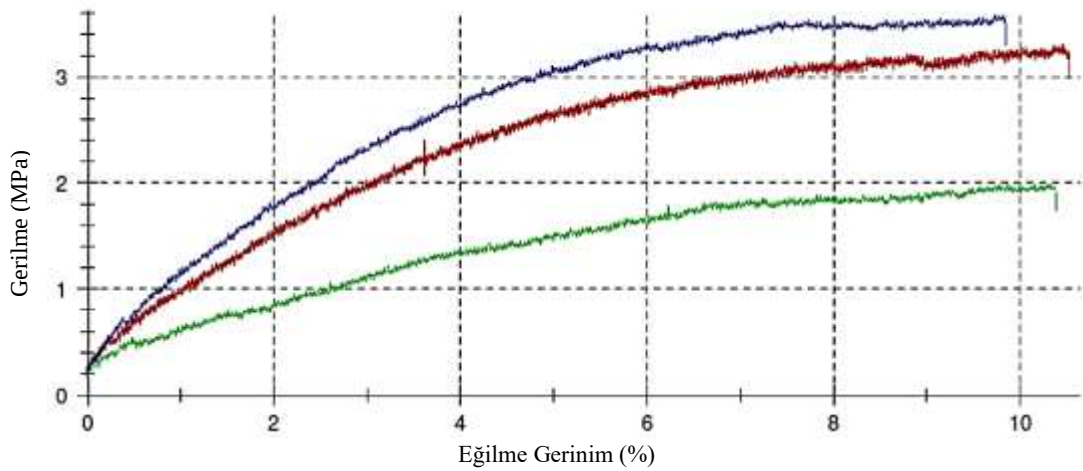
Şekil 4.6. NBR kauçuğun gerilme-gerinim grafiği.

%10 sisal elyaf takviyeli NBR kauçuğun gerilme-gerinim grafiğı Şekil 4.7’de verilmiştir. Çıkan sonuçlar incelendiğinde 3 farklı bölgeden alınan sisal elyaf takviyeli NBR kauçuk kompozit numunelerinin eğilme gerinim yüzdeleri arasında değır farklılıkları tespit edilmiştir. NBR kauçuk içerisine eklenen %10 sisal elyaf takviyesi iki numunede eğilme gerinim yüzdesini artırırken, bir numunede değır değışmemiştir. Bu durumda malzemenin homojen karışmadığını göstermektedir.



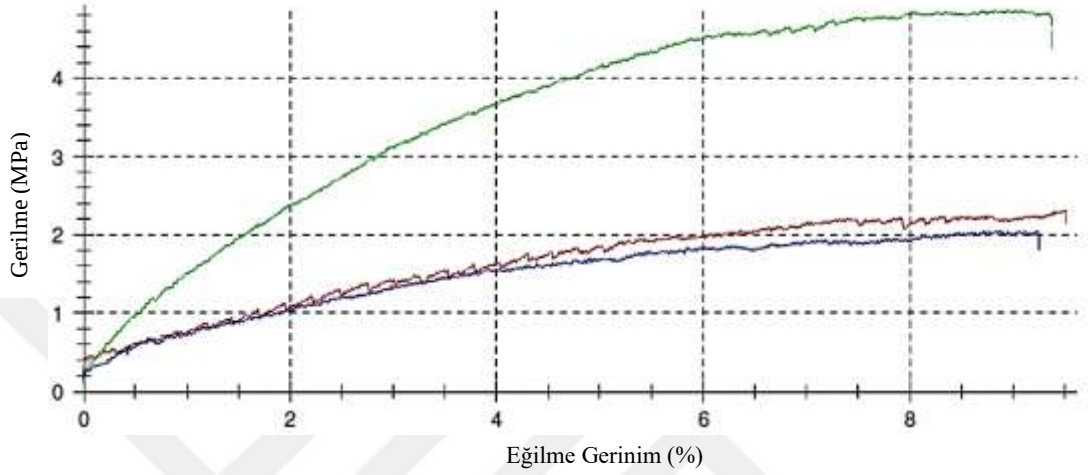
Şekil 4.7. %10 sisal elyaf takviyeli NBR kauçuk gerilme-gerinim grafiğı.

%20 sisal elyaf takviyeli NBR kauçuğun gerilme-gerinim grafiğı Şekil 4.8’de verilmiştir. Çıkan sonuçlar incelendiğinde 3 farklı bölgeden alınan sisal elyaf takviyeli NBR kauçuk kompozit numunelerinin eğilme gerinim yüzdeleri arasındaki değırler bir birine yakın elde edilmiştir. NBR kauçuk içerisine eklenen %20 sisal elyaf takviyesi üç numunede eğilme gerinim yüzdesini artırmıştır.



Şekil 4.8. %20 sisal elyaf takviyeli NBR kauçuk gerilme-gerinim grafiğı.

%30 sisal elyaf takviyeli NBR kauçuğun gerilme-gerinim grafiği Şekil 4.9’da verilmiştir. Çıkan sonuçlar incelendiğinde 3 farklı bölgeden alınan sisal elyaf takviyeli NBR kauçuk kompozit numunelerinin eğilme gerinim yüzdeleri arasındaki değerler bir birine yakın elde edilmiştir. NBR kauçuk içerisine eklenen %30 sisal elyaf takviyesi üç numunede eğilme gerinim yüzdesini artırmıştır.



Şekil 4.9. %30 sisal elyaf takviyeli NBR kauçuk gerilme-gerinim grafiği.

4.7 İzod Darbe Dayanım Test Sonucu

İzod darbe testi için hazırlanan her bir numuneden 3’er adet test yapılmış ve ortalaması alınmıştır. Test sonuçları Çizelge 4.11’de verilmiştir.

Çizelge 4.11. İzod darbe dayanım test sonucu.

Numune Adı	Darbe Dayanımı (kJ/m ²)			
	Numune 1	Numune 2	Numune 3	Ortalama
NBR Kauçuk	362,0	359,6	384,0	368,5
%10 Sisal Elyaf Takviyeli NBR Kauçuk	314,7	312,9	322,6	316,7
%20 Sisal Elyaf Takviyeli NBR Kauçuk	331,9	296,9	301,5	310,1
%30 Sisal Elyaf Takviyeli NBR Kauçuk	380,0	375,8	383,2	379

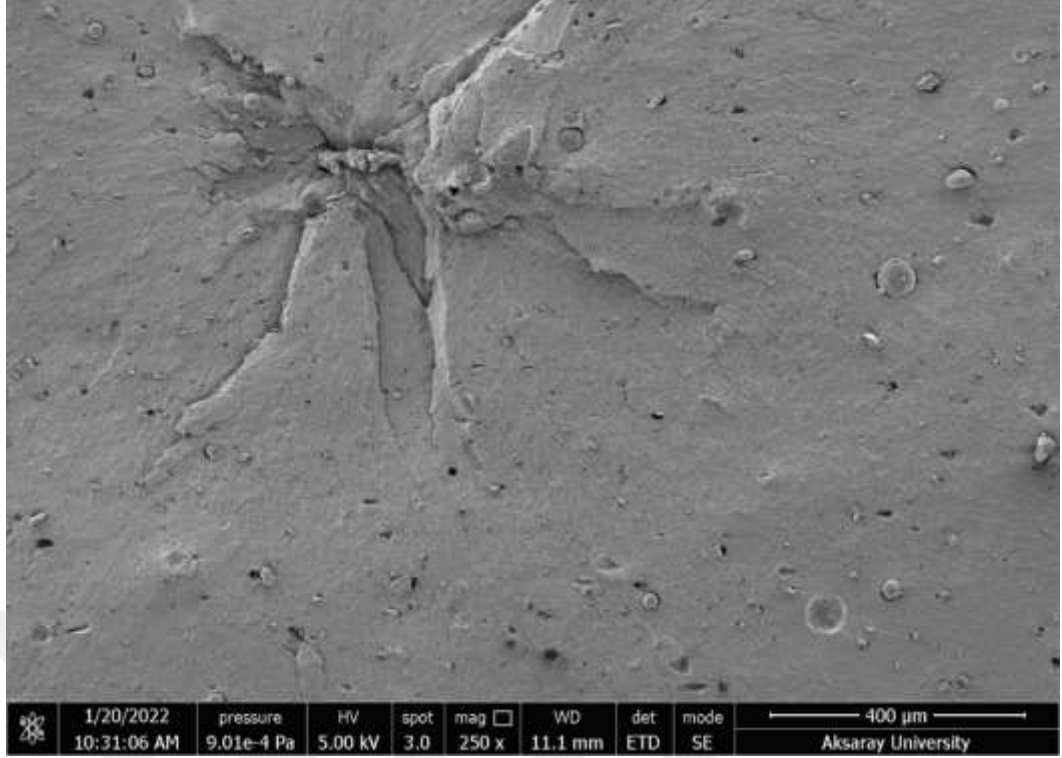
Tabloda verilen değerler incelendiğinde NBR kauçuk malzemeye takviye edilen sisal elyafın oranı artıkça lineer bir azalma ya da artış gözlemlenmemiştir. En yüksek ortalama darbe dayanım değerı %30 sisal elyaf takviyeli NBR kauçuk malzemesine ait iken, en düşük ortalama darbe dayanım değerı ise %20 sisal elyaf takviyeli NBR kauçuk malzemesine aittir.

Doğal elyaf takviyeli ürünlerin izod darbe özellikleri, elyafların arasındaki hidrojen bağlarından doğrudan etkilenir ve bu bağlar daima elyafların kendilerinden daha zayıftır. Elyaflar arasındaki bağlanmış alan, elyafların uzunluğuna, elyafların kalınlığına bağlı olarak değişkenlik gösterebilir. Mekanik bir özellik olarak, doğal elyaf takviyeli kauçuk kompozitlerin darbe enerjisi absorbe etmesi, ham elyaf maddelerinden ve ayrıca bu elyafların bağ yapma özelliklerinden direkt olarak etkilenir (Sarikaya, 2019). NBR kauçuğa eklenen %10 ve %20 oranında sisal elyaf takviyeli karışımların izod darbe test sonuçları incelendiğinde %30 oranındaki sisal elyaf takviyeli karışım ile katkısız NBR kauçuğa göre düşük çıkmıştır. %30 oranında sisal elyaf takviyesi NBR kauçuğun izod darbe dayanımını artırmasına bakıldığında %10 ve %20 oranındaki sisal elyaf takviyeli karışımların izod darbe değerlerinde lineer olarak artış göstermesi beklenirken, bu oranlar NBR kauçuğun izod darbe dayanımını aksine azaltmıştır. Bu duruma bakıldığında sonuç olarak, %10 ve %20 oranında eklenen takviye malzemelerin oranları, NBR kauçuk içerisindeki bağlar ile bağ yapma miktarının yetersiz olduğu ve bu oranların izod darbe dayanımında düşük kaldığı incelenmiştir. Sarıkaya tarafından 2019 yılında yazılan doktora tezine göre, doğal elyaf takviyeli epoksi kompozitlere izod darbe dayanım testi yapılmış ve test sonuçları incelenmiştir. Elyaf takviyeli epoksi kompozitlerin dayanım test sonuçlarına bakıldığında elyafların epoksinin izod dayanım değerlerini yükselttiği tespit edilirken düşürdüğü de dikkat çekmiştir.

4.8 Mikroyapı Analizi

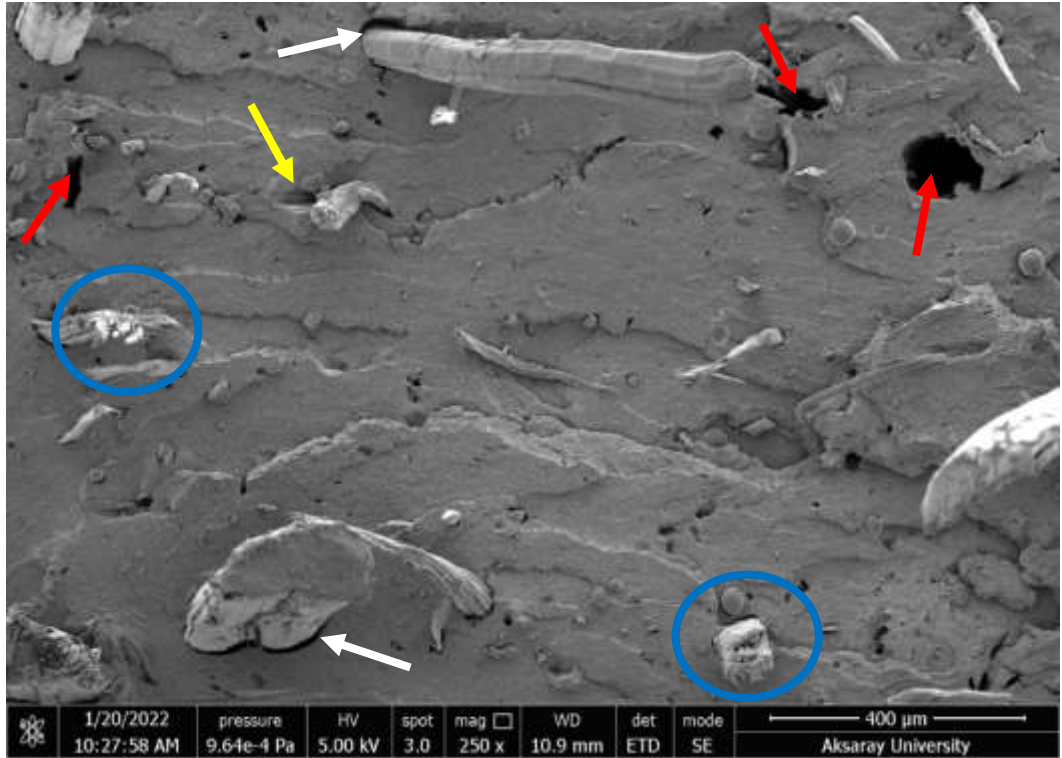
Çekme test sonucunda kırılma yüzeylerinde elyafların karışım içerisinde nasıl davranış ve tutunma gösterdiğini incelemek amacıyla kırılmış çekme numuneleri SEM’de incelenmiştir. Elyaf oranlarına göre kırık yüzeylerin SEM görüntüleri incelendiğinde klasik problem olan sıyrılma işlemi gözlemlenmiştir. Genel görüntülere bakıldığında sisal elyaf takviyesinin her yöne homojen olarak tek tek dağıldığını ortaya çıkarmaktadır. Ancak kırılma sırasında bazı elyafların kolayca yerinden çıktığı ve yapışmanın zayıf olduğu görülmektedir.

Farklı oranlarda hazırlanan numunelerin ve NBR kauçuğun SEM görüntüleri detaylı incelenmiş ve resimler üzerinden tespit edilen durumlar gösterilmiştir. Şekil 4.10’da NBR kauçuğun çekme deney numunesinin kopma görüntüleri verilmiştir.



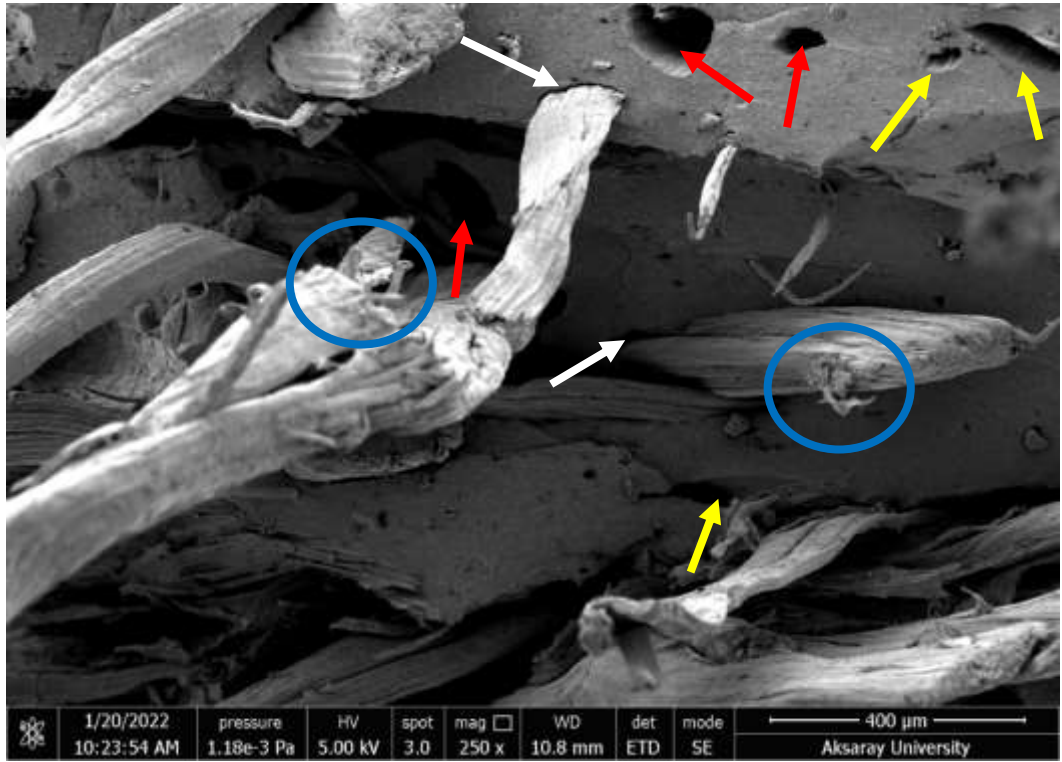
Şekil 4.10. NBR kauçuk çekme deney numunesinin kopma görüntüleri.

NBR kauçuğun SEM görüntüleri incelendiğinde yapının gözenekli olduğu, kısım kısım boşlukların olduğu tespit edilmiştir. Diğer karışımların SEM görüntüleri incelendiğinde aynı boşluklar ve gözenekler dikkat çekmiştir.



Şekil 4.11. %10 Sisal elyaf takviyeli NBR kauçuk SEM görüntüsü.

%10 sisal elyaf takviyeli NBR kauçuk kompozitin SEM görüntüleri incelendiğinde sisal elyaf takviyesinin her yöne homojen olarak tek tek dağıldığını ortaya çıkarmaktadır. Ancak çekme test sonucunda kopan elyafların bazıları matristen dışarı çıktığı ve fiber çekme durumunun (kırmızı oklar) gerçekleştiği Şekil 4.11’de gözükmemektedir. Ele alınan kompozit numunenin kırılma yüzeylerin bazı bölgelerinde, liflerin kırıldığı (mavi daireler) ancak matrise tutunduğu, bazı bölgelerde ise lifin sıyrılarak (sarı ok) matrinden kurtulduğu tespit edilmiştir. Görüntü detaylı incelendiğinde liflerin yan kısımlarında karaltılar (beyaz oklar) gözükmemektedir. Bu durum takviyenin matrise tamamen yapışmadığını göstermektedir.



Şekil 4.12. %20 Sisal elyaf takviyeli NBR kauçuk SEM görüntüsü.

%20 sisal elyaf takviyeli NBR kauçuk kompozitin SEM görüntüleri incelendiğinde sisal elyaf takviyesinin %10 takviye oranında olduğu gibi takviyenin her yöne homojen olarak tek tek dağıldığını ortaya çıkarmaktadır. %10 sisal elyaf takviyeli kompozitte olduğu gibi çekme test sonucunda kopan elyafların bazıları matrinden dışarı çıktığı ve fiber çekme durumunun (kırmızı oklar) gerçekleştiği Şekil 4.12’de gözükmemektedir. Kompozit numunenin kırılma yüzeylerinde, liflerin kırıldığı (mavi daire) ancak matrise tutunduğu, bazı bölgelerde ise lifin sıyrılarak (sarı ok) matrinden kurtulduğu tespit edilmiştir. SEM görüntüsü incelendiğinde liflerin yan kısımlarında %10 sisal elyaf takviyeli kompozit SEM görüntüsünde olduğu gibi karaltılar (beyaz

oklar) gözükmemekte ancak %10 oranlı kompozite göre daha az olduğu tespit edilmiştir. Bu duruma bakıldığında takviyenin karışım içerisinde az miktarda elyafların yapıştıkları yüzeylerden kurtularak bulundukları yuvaları deforme edip genişletmişler olarak yorum yapılabilir.



Şekil 4.13. %30 Sisal elyaf takviyeli NBR kauçuk SEM görüntüsü.

%30 sisal elyaf takviyeli NBR kauçuk kompozitin SEM görüntüleri incelendiğinde sisal elyaf takviyesinin %10 ve %20 takviye oranında olduğu gibi takviyenin her yöne homojen olarak tek tek dağıldığını ortaya çıkarmaktadır. %10 ve %20 sisal elyaf takviyeli kompozitte olduğu gibi çekme test sonucunda kopan elyafların bazıları matristen dışarı çıktığı ve fiber çekme durumunun (kırmızı oklar) diğer kompozitlere göre daha yoğun gerçekleştiği Şekil 4.13’de gözükmemektedir. Kompozit numunenin kırılma yüzeylerinde, liflerin kırıldığı (mavi daire) fakat yuvadan çıkmadan matrise tutunduğu gözlemlenmektedir. Diğer oranlarda ara ara bölgelerde lifin sıyrılarak matristen kurtulduğu tespit edilmişti fakat %30 elyaf takviyeli kompozitte lifin sıyrılması bu incelenen görüntüde dikkat çekmemiştir. SEM görüntüsü incelendiğinde liflerin yan kısımlarında %10 ve %20 sisal elyaf takviyeli kompozitlerin SEM görüntüsünde olduğu gibi karaltılar (beyaz oklar) gözükmemekte ancak diğer kompozitlere göre bu karaltılar daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Bu durum da

kompozit kauçuk içinde bulunan takviye oranı ile alakalı olduğu düşölmüştür. Diğer oranlarda olduğu gibi takviyenin kompozit içerisinde ara ara elyafların yapıştıkları yüzeylerden kurtularak bulundukları yuvaları deforme edip genişletmişlerdir. Bu neden dolayı mekanik testler üçer numune olarak çalışılmış ve sonuçların ortalamaları alınmıştır.



5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Bu tez çalışmasında, NBR kauçuk ile sisal elyaf karıştırılarak kompozit oluşturulmuştur. Farklı oranlarda kullanılan sisal elyafın, NBR kauçuk içerisinde etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, NBR kauçuk içerisine %10 , %20 , %30 oranlarında sisal elyafı eklenmiş ve numunelerin reometre analizleri yapılarak reometre eğrileri çizilmiş ve ML, MH, ts2, t90 değerleri belirlenmiştir. Hazırlanan kauçuk hamurundan mekanik testler için basma presin de test plakaları hazırlanmış ve sertlik ölçümü, çekme deneyi, izod darbe testi, aşınma testi, yoğunluk analizi, üç noktada eğme testi için test plakaları basılmış ve testler yapılmıştır. Ayrıca çekme deneyi numunelerinin kopma yüzeyleri ve aşınma deneyi numunelerinin yüzeyleri de SEM cihazında incelenmiştir. Yapılan deneysel çalışmalarla elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır:

- Genel olarak hazırlanan kauçuk hamurlarının reometre analiz değerleri incelendiğinde kontrol karışıma göre; ts2 ve t90 değeri azalırken, MH, ML, (S'@t90) değerleri artış göstermiştir. Reometre eğrisi standartlarına uygun eğri elde edilmiştir. Reometre eğrisi ve değerleri olumlu sonuçlanmıştır.
- NBR kauçuk içerisine eklenen takviye oranı arttıkça yoğunluk değerinde artış olduğu tespit edilmiştir. Sisal elyafın özgül ağırlığının, NBR kauçuğun özgül ağırlığından düşük olmasına rağmen hazırlanan kompozitlerin yoğunluğu artmıştır. Bu durumda elyafın nem tuttuğu ve bu nedenle yoğunluk değerinin yüksek çıktığı tespit edilmiştir. Yoğunluk analizi olumlu sonuçlanmıştır.
- Çekme testi için hazırlanan numunelerden ölçümler alınarak malzemelerin sertlik değerleri belirlenmiştir. Test sonucuna göre NBR kauçuk içerisine eklenen sisal elyafın takviye oranı arttıkça sertlik doğru orantılı artış göstermektedir. Malzemeler arasında karşılaştırma yapıldığında %30 sisal elyaf takviyeli NBR kauçuk, takviyesiz NBR kauçuğa göre %25 sertliği artmış ve en sert malzeme olduğu tespit edilmiştir. Sertlik analizi olumlu sonuçlanmıştır.
- Çekme test analiz sonucunda NBR kauçuk içerisine eklenen sisal elyafın oranı arttıkça, kompozit malzemenin sünekliği azalırken, sertliği artmıştır. Çekme

mukavemeti sisal liflerin eklenmesiyle, lif eklenmeden 113 kg/cm²'den, %30 sisal lif eklenerek 52 kg/cm²'ye düşerek azalmıştır. Çekme mukavemeti olumsuz sonuçlanmıştır.

- Numunelere uygulanan aşınma test sonuçları incelendiğinde, aşınma mukavemeti en düşük olan malzeme %30 sisal elyaf takviyeli NBR kauçuk olduğu belirlenmiştir. Aşınma esnasında sisal elyafların ortamı kauçuğa göre daha hızlı terk etmesi ve parça bütünlüğünden uzaklaşması nedeniyle malzemenin daha hızlı aşınmasına sebep olmuştur. NBR kauçuk içerisine takviye edilen sisal oranı artıkça aşınma miktarının arttığı, aşınma mukavemetinin azaldığı gözlemlenmiştir. Elyaf çapı ve uzunluğu aşınma analizini olumsuz etkilediği, elyafın nano boyutlarında eklendiğinde yüzeyde yırtılmalar olmayacağı öngörülmüştür. Aşınma analizi olumsuz sonuçlanmıştır.
- Üç noktada eğme analiz test sonucuna göre NBR kauçuk içerisine eklenen sisal elyafın takviye oranı artıkça eğilme dayanımı doğru orantılı artış göstermektedir. Eğilme dayanımı NBR kauçuğa sisal elyafı eklenmeden önce 0,009 Mpa iken, %30 sisal elyaf takviyesi ile eğilme dayanım değeri 3,07 Mpa'a yükselmiştir. Üç noktada eğme analizi olumlu sonuçlanmıştır.
- İzod darbe test sonuçları incelendiğinde NBR kauçuk malzemeye takviye edilen sisal elyafın oranı artıkça lineer bir azalma ya da artış gözlemlenmemiştir. En yüksek ortalama darbe dayanım değeri %30 sisal elyaf takviyeli NBR kauçuk malzemesine ait iken, en düşük ortalama darbe dayanım değeri ise %20 sisal elyaf takviyeli NBR kauçuk malzemesine aittir. İzod darbe dayanımı NBR kauçuğa sisal elyafı eklenmeden önce 368 kJ/m² iken, %30 sisal elyaf takviyesi ile darbeye karşı direnci 379 kJ/m² yükselmiştir. İzod darbe dayanım analizi olumlu sonuçlanmıştır.
- Çekme test sonucunda kırılma yüzeylerinde elyafların karışım içerisinde nasıl davranış ve tutunma gösterdiğini incelemek amacıyla kırılmış çekme numuneleri SEM'de incelenmiştir. Elyaf oranlarına göre kırık yüzeylerin SEM görüntüleri incelendiğinde klasik problem olan sıyrılma işlemi gözlemlenmiştir. Genel görüntülere bakıldığında sisal elyaf takviyesinin her yöne homojen olarak tek tek dağıldığını ortaya çıkarmaktadır. Ancak kırılma sırasında bazı elyafların kolayca yerinden çıktığı ve yapışmanın zayıf olduğu

görülmektedir. Kompozit malzeme yapılmadan önce elyafın modifiye edilmemesi takviyenin matrise yapışmasını olumsuz etkilediği düşünülmüştür.

- Genel olarak kompozitlerin mekanik, mikro ve reolojik özelliklerinin sonucunu incelendiğinde; Yapılan mekanik analizler incelendiğinde 7 adet analizden 5 adet analiz olumlu sonuçlanırken 2 adet analiz olumsuz sonuçlanmıştır. Bu durumda elyaf çapı-uzunluğu, elyaf-matris arayüzeyinin ara ara iyi olmadığı, üretim koşulları, vulkanizasyon sıcaklığı, haddeme esnasında yaşanabilecek topaklanmalar, takviye elyafa yıkama işlemi yapılmaması gibi nedenlerden dolayı olabileceği öngörülmüştür.
- Analizlerin sonucunda; Sisal elyaf takviyeli NBR kauçuk kompozitlerin, dayanımın ve sertliğin istendiği endüstriyel uygulamalarda kullanılabileceği tespit edilmiştir.

5.2 Öneriler

Yapılan tez çalışması sonucunda konu ile ilgili yapılacak çalışmalar için aşağıdaki öneriler sıralanmıştır:

- İzod darbe test numunelerinde karışımın homojen karışmadığı test yapılan üç numunenin birinde fark edilmiştir. Bu sorundan dolayı başka çalışmalarda izod darbe test sonucunu iyileştirmek adına NBR kauçuk içerisine eklenen sisal elyafın karışıma parça parça eklemesi yapılabilir.
- Kauçuk malzeme ile sisal elyaf karışımı yapılırken yanmayı engellemek amacı ile %5 oranında geciktirici malzeme eklendi. Bu malzemenin oranı artırılarak malzeme daha uzun süre haddelenebilir.
- Sisal elyaf ile yapılan literatür araştırmalarına bakıldığında malzemenin önceden yıkama işlemi yapıldığında mekanik özelliklerinin iyileştiğini belirtmişler, aynı ölçü ve oranlarda aynı testler yapılarak kıyaslama yapılabilir.
- Sisal elyaf ve NBR kauçuk ile tabakalı kompozit oluşturularak aynı testler yapılarak rasgele dağılmış kompozit ile yönlendirilmiş kompozitlerin mekanik özellikleri kıyaslanabilir.

KAYNAKLAR

- Antich, P., Vazquez, A., Mondragon, I. ve Bernal, C., 2006. Mechanical behavior of high impact polystyrene reinforced with short sisal fibres, *Composites: Part A*, 37, 39-50.
- Arbelaiz, A., Fernandez, B., Valea, A. ve Mondragon, I., 2006. Mechanical properties of short flax fibre bundle/poly(e-caprolactone) composites: Influence of matrix modification and fibre content, *Carbohydrate Polymers*, 64, 224-232.
- Arrohman, S., Mustofa, A., Ariawan, D. ve Diharjo, K., 2019. Characteristics of mechanical properties of coir-fibre/rubber composite, *International Conference on Science Education and Technology, Journal of Physics: Conference Series*, 1511, 1-7.
- Belaadi, A., Bezazi, A., Bouchak, M. ve Scarpa, F., 2013. Tensile static and fatigue behaviour of sisal fibres, *Materials & Design*, 46, 76-83.
- Bisanda, E. ve Ansell, M., 1991. The effect of silane treatment on the mechanical and physical properties of sisal-epoxy composites, *Composites Science and Technology*, Oxford, 41, 165-178.
- Bledzki, A. K. ve Gassan, J., 1999. Composites reinforced with cellulose based fibres, *Progress In Polymer Science*, 24, 221-274.
- Bos, H. L., Müssig, J. ve Oever, M. J., 2006. Mechanical properties of short-flax-fibre reinforced compounds, *Composites: Part A*, 37, 1591-1604.
- Bourmaud, A. ve Baley, C., 2007. Investigations on the recycling of hemp and sisal fibre reinforced polypropylene composites, *Polymer Degradation and Stability*, 92, 1034 -1045.
- Burgueno, R., Quagliata, M. J., Mohanty, A., Mehta, G., Drzal, L. ve Misra, M., 2004. Load-bearing natural Fiber composite cellular beams and panels, *Composites: Part A*, 35, 645-656.
- Caldos, B., 2014. Estrutura sanduiche de matriz poliester reforçado com tecido de sisal conformado por infusao a vacuo, *Universidade Federal da Bahia. Escola Politecnica, Salvador*, p. 121.
- Callister, W., 2012. *Ciencia e engenhria de materiais - Uma Introdução*, 8.ed. Brasil.
- Carvalho, L., 1997. Chemical modification of fibers for plastics reinforcement in composites, *Sao Paulo*, 197-222.
- Coran, A. Y., Boustany, K. ve Hamed, P., 1974. *Rubber Chemistry and Technology*, Akron, 47, 396.
- Dinwoodie, J. M., 1981. *Its nature and behaviour*, Van Nostrand Reinhold Company, 2. ed., 217, New York, USA.

- Erkek, S., 2007. Karbon siyahı/yağ ve karbon siyahı/dolgu maddesi oranının farklı vulkanizasyon sistemlerinde EPDM, NBR ve SBR elastomerlerinin fiziko-mekaniksel özellikleri üzerine etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Ferrante, M., 2002. Seleção de materiais, 2. ed., Sao Paulo, Edufscar, p. 286.
- Fonseca, V. M., 1998. Estudo comparativo das propriedades mecanicas em compositos poliester/sisal quimicamente tratado, p. 81., Tese de mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Brasil.
- Ganster, J., Fink, H. ve Pinnow, M., 2006. High-tenacity man-made cellulose fibre reinforced thermoplastics - Injection moulding compounds with polypropylene and alternative matrices, Composites: Part A, 37, 1796-1807.
- George, J., Bhagawan, S. ve Thomas, S., 1998. Effects of environment on the properties of low-density polyethylene composites reinforced with pineapple-leaf fibre, Composites Science and Technology, 58, 1471-1485.
- George, J. ve Thomas, S., 1997. Short fiber reinforce plastic composites, In: N. P. Cheremisinoff, Handbook of Engineering Polymeric Materials, 811-838, New York: Marcel Dekker, Inc.
- Gopakumar, R. ve Rajesh, R., 2016. Development, processing and characterisation of natural rubber-banana fibre composite, International Journal of Scientific & Engineering Research, Noorul Islam University, Kanyakumari, Tamil Nadu, India, 7, 6, 1-8.
- Gram, H. E., 1983. Durability of natural fibres in concrete, Swedish cement and concrete research institute, Research Forum, 1, 83, 225.
- John, M. J. ve Anandjiwala, R. D., 2008. Recent developments in chemical modification and characterization of natural fiber-reinforced composites, Polymer Composites, 29, 2, 119-237.
- Joseph, K., Pavithran, C., Thomas, S., Baby, K. ve Premalatha, C. K., 1994. Melt rheological behaviour of short sisal fibre reinforced polyethylene composites, Plastics, rubber and composites processing and applications, Oxford, 21, 237.
- Joseph, K., Thomas, S. ve Pavithran, C., 1993b. Dynamic mechanical properties of short sisal fibre reinforced lowdensity polyethylene composites, Journal of Reinforced Plastics and Composites, Lancaster, 12, 139.
- Joseph, K., Thomas, S. ve Pavithran, C., 1996. Effect of chemical treatment on the tensile properties of short sisal fibre-reinforced polyethylene composites, Polymer, 37, 23, 5139-5149.
- Joseph, K., Thomas, S. ve Pavithran, C., 1993a. Tensile properties of short sisal fibre reinforced polyethylene composites, Journal of Applied Polymer Science, New York, 47, 1731.
- Joseph, K., Thomas, S. ve Pavithran, C., 1992. Viscoelastic properties of short sisal fibre filled low density polyethylene composites: Effect of fibre length and orientation, Material Letters, North-Holland, 15, 224.

- Joseph, P. V., Joseph, K. ve Thomas, S., 1999. The effect of processing variables on the physical and mechanical properties of short sisal fibre reinforced polypropylene composites, *Composites Science and Technology*, Oxford, 59, 11, 1625-1640.
- Kalaprasad, G., Joseph, K. ve Thomas, S., 1997a. Theoretical modelling of tensile properties of short sisal fibre reinforced low - density polyethylene composites, *Journal of Materials Science*, London, 32, 4261.
- Kalaprasad, G., Joseph, K. ve Thomas, S., 1997b. Influence of short glass fibre addition on the mechanical properties of sisal reinforced low density polyethylene composites, *Journal of Composite Materials*, Lancaster, 31, 5.
- Kalaprasad, G., Pradeep, P., Mathew, G., Pavithran, C. ve Thomas, S., 2000. Thermal conductivity and thermal diffusivity analyses of low-density polyethylene composites reinforced with sisal, glass and intimately mixed sisal/glass fibres, *Composites Science and Technology*, 60, 2967-2977.
- Karabörk, F., 2012. Atık araç tekerlek lastiklerinde mikrodalga devulkanizasyon parametrelerinin lastiğin mekanik özelliklerine etkileri, Doktora tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Kaw, A. K., 2006. *Mechanics composite materials*, 2^a ed. Taylor ve Francis Group, LLC, New York.
- Lethi, T. T., Gauthier, H., Gauthier, R., Chabert, B., Guillet, J., Louong, B. V. ve Nguyen, V. T., 1996. Realisation of polypropylene/sisal fibre composites by reactive extrusion, *Journal of Materials Science-Pure and Applied Chemistry*, London, Part A, 33, 1997-2004.
- Li, Z., Zhou, X. ve Pei, C., 2011. Effect of sisal fiber surface treatment on properties of sisal fiber reinforced polylactide composites, *Hindawi Publishing Corporation International Journal of Polymer Science*, 1-7.
- Manikandan Nair, K. C., Diwan, S. M. ve Thomas, S., 1996. Tensile properties of short sisal fibre reinforced polystyrene composites, *Journal of Applied Polymer Science*, New York, 60, 1483-1497.
- Marcovich, N., Reboredo, M. M. ve Aranguren, M. I., 1997. Chemical modification of Lignocellulosic materials: The utilization of natural fibers as polymer reinforcement, *Lignocellulosic-plastics composites*, Sao Paulo, 223-240.
- Mitchell, B. S., 2004. *An introduction to materials engineering and science*, 1. ed., Usa: John Wiley & Sons, Inc., 954.
- Mochnacz, S., Amico, S. C. ve Sydenstricker, T. H. D., 2002. Caracterização e modificação superficial de fibras de sisal para utilização em compostos poliméricos, p. 1959-1964. In: 72nd ABM Annual Congress, Sao Paulo.
- Naik, L. L., Gopalakrishna, K. ve Yogesha, B., 2015. Review on mechanical properties of sisal and banana reinforced composites, *International Journal of Engineering Research and General Science*, 5, 3, 176-179.
- Nwabunma, D. ve Kyu, T., 2007. *Polyolefin composites*, Wiley Series on Polymer Engineering and Technology, 1. ed., 624.

- O'Conner, J. K., 1977. Fiber reinforced natural rubber composites: Physical and mechanical properties, *Rubber Chemistry and Technology*, Akron, 50, 945.
- Oliveira, D. M., Cioffi M., Carvalho B. ve Voorwald H. J., 2017. Effects of plasma treatment on the sorption properties of coconut fibers, *Procedia Engineering*, 64, 200-357.
- Oliveira, J. F., 2007. Estudos da Influencia da configuração em compositos polimericos hibridos, 118, Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal-RN.
- Paiva, J. M. F. ve Frollini, E., 1999. Matriz termofixa fenolica em compositos reforçados com fibras de bagaço de cana-de-açúcar, *Polimeros Ciencia e Tecnologia*, 78-87.
- Paul, A. ve Thomas, S., 1997. Electrical properties of natural fibre reinforced low density polyethylene composites: A comparison with carbon black and glass fibre filled low density polyethylene composites, *Journal of Applied Polymer Science*, New York, 63, 247-266.
- Pavithran, C., Mukherjee, P. S., Brahmakumar, M. ve Damodaran, A. D., 1988. Impact performance of sisal-polyester composites, *Journal of Materials Science Letters*, London, 7, 825-826.
- Pinto, M., 2004. Desenvolvimento de compositos a base de poliuretano derivado do oleo de mamona, sisal e bentonita 165f, Tese (Doutorado em Engenharia de Processos), Universidade Federal de Campina Grande-PB.
- Quirino, A. P., 1997. Cordoes de sisal como reforço em compositos de matriz poliester, Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica), Centro de Ciencias e Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande-PB.
- Raj, R. G. ve Kokta, B. V., 1989. Compounding of cellulosic fibres with polypropylene: Effect of fibre treatment on dispersion in the polymer matrix, *Journal of Applied Polymer Science*, New York, 38, 1987-1996.
- Raj, R. G., Kokta, B. V., Groleau, G. ve Daneault, G., 1989. Use of wood fibres as a filler in polyethylene: Studies on mechanical properties, *Plastics and Rubber Processing and Applications*, Oxford, 11, 205-221.
- Rana, A. K., Mandal, B. C., Jacobson, R. ve Banerjee, A. N., 1998. Short jute fiber-reinforced polypropylene composites: effect of compatibilizer, *Journal of Applied Polymer Science*, 6, 2, 329-338.
- Rosario, F., Pachekoski, W., Silveira, A., Santos, S., Junior, H. ve Casarin, S., 2011. Residuos de sisal como reforço em compositos de polipropileno virgem e reciclado, *Polimeros*, 21, 90- 97.
- Rowell, R. M., Sanadi, A., Caulfield, D. F. ve Jacobson, R. E., 1996. Utilization of natural fibers in plastic composites problems an opportunities, *First international lignocellulosics plastics composites*, Sao Paulo.

- Santos, D., 2017. Estudo termo-hidrico e caracterizaco mecanica de compositos de matriz polimerica reforçados com fibra vegetal: Simulaao 3d e experimentaao, Tese De Doutorado, Universidade Federal De Campina Grande Centro De Ciencias E Tecnologia Programa De Pos-Graduaao Em Engenharia De Processos, Brasil.
- Sarikaya, E., 2019. Doğal fiber takviyeli kompozit üretimi ve mekanik zelliklerinin tespiti, Doktora Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
- Savran, H., 2001. Elastomer Teknolojisi-1, Acar Matbaacılık, İstanbul, 136 s.
- Semaan, M. E., Quarles, C. A. ve Nikiel, L., 2002. Carbon black and silica as reinforcers of rubber polymers: Doppler broadening spectroscopy results, Polymer Degradation and Stability, 75, 2, 259-266.
- Silva, O. ve Beltrao, N., 1999. Agronegocio do sisal no Brasil. Campina Grande-PB: Embrapa CNPa/Embrapa SPI, 205.
- Silva, R., Spinelli, D., Filho, W., Neto, S. ve Chierice, G., 2006. Fracture toughness of natural fibres/castor oil polyurethane composites, Compos Sci Technol, 66, 1328-35.
- Singh, B., Gupta, M. ve Verma, A., 1996. Influence of fibre surface treatment on the properties of sisal-polyester composites, Polymer Composites, Brookfield, 17, 6, 910-918.
- Sreekala, M. S., George, J., Kumaran, M. G. ve Thomas, S., 2002. The mechanical performance of hybrid phenol-formaldehyde-based composites reinforced with glass and oil palm fibres, Composites Science and Technology, 62, 3, 339-353.
- Uddin, M. F. ve Sun, C. T., 2010. Improved dispersion and mechanical properties of hybrid nanocomposites, Composites Science and Technology, 70, 223-230.
- Varghese, S., Kuriakose, B. ve Thomas, S., 1994. Stress relaxation in short sisal fibre reinforced natural rubber composites, Journal of Applied Polymer Science, New York, 53, 1051-1060.
- Vazquez, A., 2006. Influence of fiber chemical modification procedure on the mechanical properties and water absorption of MaterBi-Y/Sisal fiber composites, Composites: Part A, 37, 1672-1680.
- Venkateshwaran, N., Elayaperumal, A., Alavudeen, A. ve Thiruchitrambalam, M., 2011. Mechanical and water absorption behaviour of banana-sisal reinforced hybrid composites, Materials & Design, 32, 4017-21.
- URL-1 <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br>>, Eriřim Tarihi: 17.06.2022.
- URL-2 <<https://cdn.bartın.edu.tr/metalurji/d7ee7cd9-f063-4669-8e1c-393503ed6ffb/kompozitmalzemelersunu1giris.pdf/>>, Eriřim Tarihi: 27.06.2020.
- URL-3 <<https://tekstilsayfasi.blogspot.com/2012/11/kaucuk-nedir-kaucuk-tarihcesi.html>>, Eriřim Tarihi: 27.07.2022.

ÖZGEÇMİŞ

Adı ve Soyadı : Öznur DİNÇ

EĞİTİM BİLGİLERİ (Kurum ve Yıl)

Lisans : Aksaray Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 2013-2017

Yüksek Lisans : Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, 2019-

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLERİ

1. Mysilo Tahıl Depolama Sistemleri (Aksaray)/ 2017 -

TEZDEN ÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER

1. Dinç Ö. ve Şahin N., 2022. Farklı oranlarda sisal elyaf takviyeli kauçuk kompozitlerin mekanik, termal ve mikro yapılarının incelenmesi, Türkiye Teknoloji ve Uygulamalı Bilimler Dergisi, 3, 46-54.