

Farklı Oranlarda Sisal Elyaf Takviyeli Kauçuk Kompozitlerin Mekanik ve Mikro Yapılarının İncelenmesi

Investigation of Mechanical and Microstructures of Sisal Fiber Reinforced Rubber Composites at Different Ratios

Öznur DİNÇ*

Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği. Anabilim Dalı, Aksaray / Türkiye.

<https://orcid.org/0000-0002-9518-2219>

Necmettin ŞAHİN

Aksaray Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Aksaray / Türkiye.

<https://orcid.org/0000-0002-5756-4216>

Araştırma Makalesi

Geliş Tarihi

19/10/2022

Kabul Tarihi

27/10/2022

DOI

10.5281/zenodo.7236651

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 morfolojik ve mekanik özellikleri çeşitli analizlerle değerlendirilmiştir. Mekanik özelliklerin belirlenmesi amacıyla kompozite; sertlik ölçme, çekme testi ve aşınma testi, uygulanmıştır. 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 özelliklerini geliştirdiğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: NBR kauçuk, doğal elyaf, sisal elyafı, kompozit malzeme

Research Article

Received

19/10/2022

Accepted

27/10/2022

DOI

10.5281/zenodo.7236651

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, hardness measurement, tensile test and abrasion test were applied to the composite. 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.

1. Giriş

Malzemeler, özelliklerine, kimyasına ve atomik yapılarına bağlı olarak dört kategoriye ayrılabilir: Metaller, seramikler, polimerler ve kompozitler. Kompozitler malzemeler, 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. Kompozitler, kendisini oluşturan her iki fazın özelliklerinin önemli bir bölümünü taşıyan ve böylece daha iyi bir özellik kombinasyonu elde edilen birçok fazlı malzemedir (1). Sürekli ve süreksiz fazın bulunduğu iki veya daha fazla malzemenin matris içine gömülmesiyle oluşan malzemelerdir. Her biri bireysel özelliklerini korurlar (2).

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 (3). 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. Kompoziti şekillendiren matristir. Görevi takviyeyi korumaktır. Yapısal bir bileşen olan diğer bileşen, takviye kompozitin iç yapısını belirler. Kompozitin bileşenleri arasındaki bölgeye arayüz denir. Arayüz, matris ve takviye arasında mekanik gerilmelerin aktarıldığı yerdir (4). Arayüz, kompozitin nihai özelliklerini belirlemede çok önemli bir rol oynamaktadır. Kompozitlerin nihai özellikleri, kişisel bileşenlerin özelliğine bağlıdır. Bileşenler birbirleriyle arayüz yapısı sayesinde etkileşim içindedirler. Bu nedenle, kompozitin her bir bileşeninin

Farklı Oranlarda Sisal Elyaf Takviyeli Kauçuk Kompozitlerin Mekanik ve Mikro Yapılarının İncelenmesi

bireysel özelliklerine ek olarak, ilgili özelliklerin kombinasyonunu optimize etmek için arayüz mümkün olan en iyi özelliklerde, ıslanabilirliği yüksek, yapısal ve kimyasal bağlanmanın üst düzey seviyede birleşmiş olmalıdır.

Kompozit malzemeler, kimyasal ve fiziksel yapılarına göre geleneksel olarak seramik, metalik ve polimerik olarak sınıflandırılmıştır. Seramik malzemeler inorganiktir ve temel özellikleri yüksek ısı direnci ve aşırı kırılabilirlik; 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 (5).

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 yıl araştırılmaktadır. Doğal lifleri sentetik liflere göre takviye malzemesi olarak kullanmanın avantajları şunlardır: biyolojik olarak parçalanabilir, düşük maliyetli, düşük yoğunluklu, iyi 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. Bu çalışmada doğal lif kategorisinde olan sisal elyaf, kısa lifler halinde (4-6 mm) rasgele dağıtılmış olarak NBR kauçuk içerisine eklenerek kompozit malzeme elde edilmiştir. Polimer matris ve doğal lif kullanılarak hazırlanan birçok çeşit kompozit vardır. Bu kompozitler, yüksek mukavemetli, sert, yorulma ve darbeye karşı yüksek direnç gibi özelliklere sahip malzemelerin bir kombinasyonu ile sonuçlanır (6).

Doğal elyaflar; bitkisel, hayvansal ve madensel lifler olarak 3 gruba ayrılır. Bu kategoriler içerisinde bitkisel lifler kendi içerisinde; tohum, gövde, yaprak ve meyve lifleri olarak sınıflandırılır. Mevcut çalışmada kullanılan sisal lifi yaprak lif kategorisinde yer almaktadır. Selülozdan oluşan bitkisel liflere selülozik lifler denir. Bitki liflerinin sunduğu özellikler bitkinin yaşına, toprak tipine, iklim koşullarına, bulunduğu yere ve işleme koşullarına, ayrıca yapısına ve kimyasal bileşimine bağlıdır (7,8). 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 (9). 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 (10). Takviye olarak doğal lifler arasında sisal elyaf üzerinde çalışma yapılmıştır. 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 lifdir. Zor coğrafi koşulları seven, kenevire benzeyen sert, güçlü ve dayanıklı elyafa sahip bir bitki türüdür. Matris olarak sentetik kauçuk türlerinden NBR kauçuk kullanılmıştır.

Bu çalışmanın amacı, farklı oranlarda kullanılan sisal elyafın, NBR kauçuk içerisinde etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır. 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 karışımın morfolojik ve mekanik özellikleri çeşitli analizlerle değerlendirilmiştir.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Malzeme Temini ve Karakterizasyonu

Bu çalışma da kullanılan NBR kauçuğu Konya Organize Sanayi Bölgesi'nde faaliyet gösteren Lav Kauçuk firmasından temin edilmiştir. Sisal elyafı internet üzerinden 1 kg olarak temin edilmiştir. Sisal elyaf ile NBR kauçuğun karışımı yine NBR kauçuğun temin edildiği Lav Kauçuk firmasında yapılmıştır. Sertlik ve çekme testi Aksaray Organize Sanayi Bölgesi'nde bulunan Brisa Aksaray Lastik Fabrikası'nda yapılmıştır. Aşınma testi İstanbul ilinde faaliyet gösteren Kale Kayış firmasında 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.

2.2. Sisal Elyaf 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. 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 haddeleme yöntemi ile Lav kauçuk firmasında homojen olarak karıştırılmıştır. Sertlik 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. Çekme test numuneleri 2 mm kalınlıkta standartlara uygun papyon kalıp ile kesildi.

Farklı Oranlarda Sisal Elyaf Takviyeli Kauçuk Kompozitlerin Mekanik ve Mikro Yapılarının İncelenmesi

2.3. Karakterizasyon Testleri

Mekanik özelliklerin belirlenmesi amacıyla sisal elyaf takviyeli NBR kauçuğa; sertlik ölçme, çekme testi, aşınma testleri uygulanmıştır. Yapılan testler standart NBR kauçuk, %10 sisal elyaf takviyeli NBR kauçuk, %20 sisal elyaf takviyeli NBR kauçuk ve %30 sisal elyaf takviyeli NBR kauçuk olmak üzere 4 farklı numunelere morfolojik ve mekanik testler yapılmıştır. 4 farklı numunenin her birinden 3'er adet örnek alınarak testler yapılmıştır ve elde edilen verilerin ortalamasına göre testler yorumlanmıştır. Kompozitin sertliğini belirlemek amacıyla, Aksaray Brisa Lastik Fabrikası'nda Zwick Roell marka sertlik ölçme test cihazının ile sertlik testi yapılmıştır. Yine Brisa Lastik Fabrikası'nda Zwick Roell marka çekme test cihazında ise çekme testi yapılmıştır. Takviyeli kauçuğun aşınma direncini görmek amacıyla, İstanbul Kale Kayış firmasında Devotrans marka aşınma cihazında aşınma testi yapılmıştır. Ayrıca karışımın içerisindeki elyaf dağılımını görmek ve sonuçları yorumlamak amacıyla, mikro yapı analizleri Aksaray Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Laboratuvarı'nda bulunan Fei Quanta 250 FEG Taramalı Elektron Mikroskobu kullanılarak yapılmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

Kompozitin aşınma direncini belirlemek için aşınma testi yapılmıştır. Aşınma test cihazı üzerinde dairesel disk bulunmaktadır. Cihaz üzerinde numuneyi tutan aşındırıcı tutucu ve sabit bir yük kolu bulunmaktadır. Numune dönen bir disk üzerine bastırılarak aşınması sağlanmıştır. NBR kauçuk içerisine %10, %20, %30 oranlarında sisal elyafı eklenmiş ve daha sonra oluşturulan kompozitler 16 mm çapında, 4 mm kalınlığında numuneler halinde 2'şer adet test yapılmış ve ortalaması alınmıştır. Tablo 1'de aşınma test sonuçları verilmiştir.

Tablo 1. Aşınma test sonucu

Numune Adı	Aşınma (mm ³)		
	Numune 1	Numune 2	Ortalama
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

Aşınma test sonuçları incelendiğinde aşınma miktarı (mm³) tabloda verilmiştir. Şekil 1'de aşınma numunesinin görüntüsü verilmiştir. Aşınma esnasında sisal elyafların ortamı kauçuğa göre daha hızlı terk etmesi ve parça bütünlüğünden uzaklaşması nedeniyle malzemenin daha hızlı aşınmasına sebep olmuştur. Sisal parçalarının terk ettiği çukurlar yer yer aşınmadan ziyade koparak uzaklaşma etkisi göstermiştir. NBR kauçuk içerisine takviye edilen sisal oranı arttıkça aşınma miktarının arttığı gözlemlenmiştir.



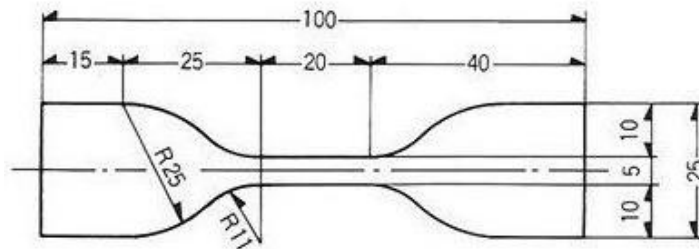
Şekil 1. Aşınma test numunesi

Numunelerin sertlik değerinin belirlenmesinde Shore A sertlik ölçme yöntemi kullanılmıştır. Sertlik ölçümleri ASTM D 2240 standardına göre yapılmıştır. Numuneler üzerine cihazda bulunan batıcı uç malzemeye daldırılır. Dalma ucu malzemede ne kadar az yol almış ise malzeme o kadar sert kabul edilir. Tablo 2’de sertlik test sonuçları verilmiştir. Test sonucuna göre NBR kauçuk içerisine sisal elyaf takviye oranı arttıkça sertlik doğru orantılı artış göstermektedir.

Tablo 2. 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

Sisal elyaf takviyeli NBR kauçuğun, mekanik davranışları ve özelliklerini tespit etmek için çekme testi yapılmıştır. 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 2. Dumb-Bell bıçak kalıbı JIS K6251-3

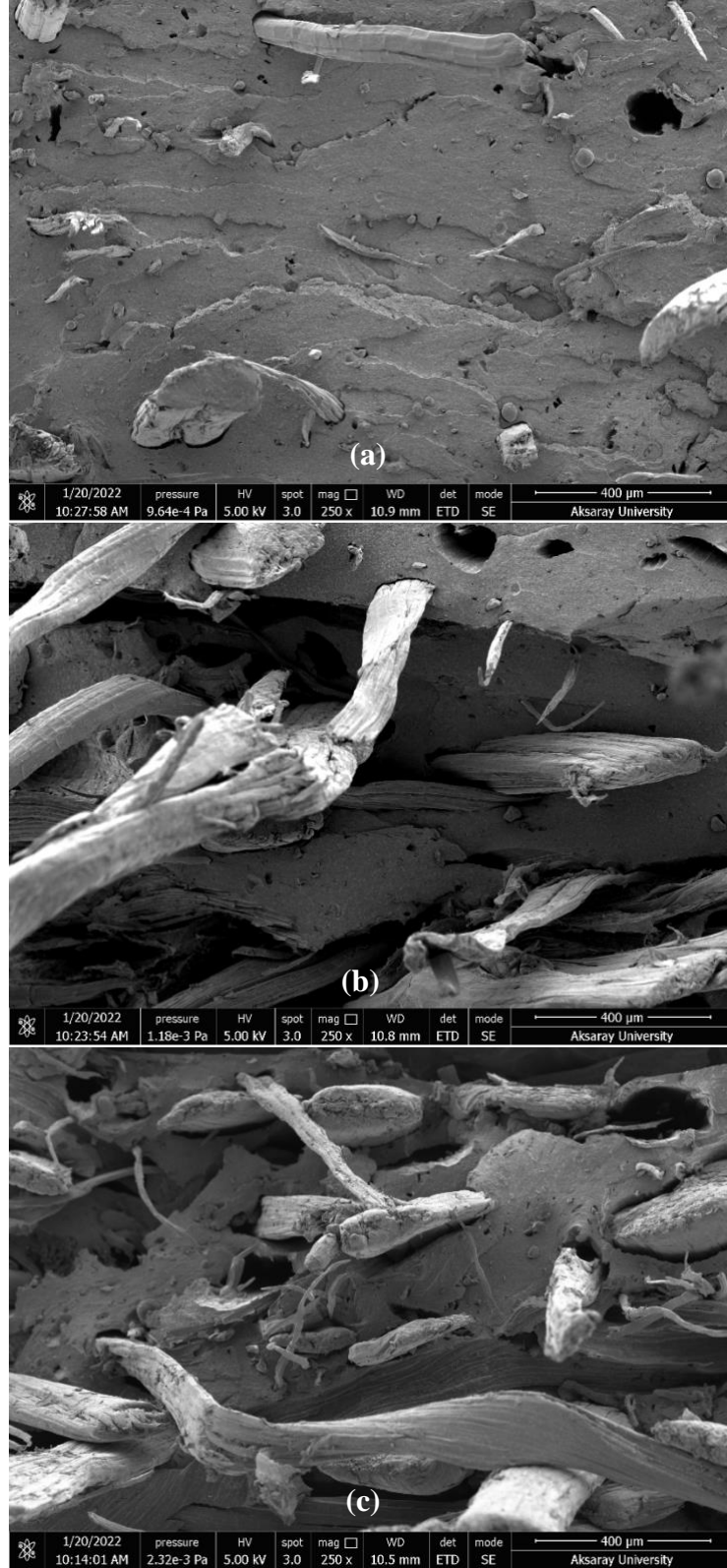
Farklı Oranlarda Sisal Elyaf Takviyeli Kauçuk Kompozitlerin Mekanik ve Mikro Yapılarının İncelenmesi

Çekme numuneleri için Lav kauçuk firmasında daha önceden hazırlanan hamurlar Brissa Lastik Fabrikası'nda bulunan 150 tonluk hidrolik pres makinesinde 185 °C da 30 dakika numuneler pişirilmiştir. Şekil 2'de görüntüsü verilen JIS K6251-3 standartlarına uygun Dumb-Bell bıçak kalıbı kullanılarak köpek kemiği, papyon benzetmesiyle bilinen şekillerde kesilen numuneler test cihazının çenelerine yerleştirilerek tek eksende, 500 ± 50 mm/dak hızda ortam sıcaklığında koparılan kadar teste tabii tutulmuştur. Her bir numuneden 3'er adet test yapılmıştır ve ortalaması alınmıştır. Test sonuçları Tablo 3'de verilmiştir. NBR kauçuk içerisine eklenen sisal elyafın oranı arttıkça, kompozit malzemenin sünekliği azalırken, sertlik ve mukavemeti artmıştır. Tablo 3 incelendiğinde gerilme (stress), gerinim (strain) değerleri verilmiştir. M25% olarak belirtilen değerler malzemenin yüzde 25 uzaması için gerekli olan kuvveti göstermektedir.

Tablo 3. Çekme test sonuçları

Numune Adı	Kalınlık	Pstress (kg/cm ²)	Pstrain	M 25 %	M 50 %	M 100 %	M 200 %	M 300 %
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
NBR N.Ortalama	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
Sisal %10 N.Ortalama	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
Sisal %20 N.Ortalama	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
Sisal %30 N.Ortalama	0.211	51.9	84.3	59	55.1	0.00	0.00	0.00

Çekme test sonucunda kırılma yüzeylerinde elyafların karışım içerisinde nasıl davranış ve tutunma gösterdiğini incelemek amacıyla kırılmış çekme numuneleri SEM'de incelenmiştir. Şekil 3'de SEM görüntüleri verilmiştir. Elyaf oranlarına göre kırık yüzeylerin SEM görüntüleri incelendiğinde klasik problem olan sıyrıлма işlemi gözlemlenmiştir. Şekil 3'de verilen 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. Genel olarak bakıldığında karışım içerisinde az miktarda elyaflar yapıştıkları yüzeylerden kurtularak buldukları yuvaları deforme edip genişletmişlerdir.



Şekil 3. (a) %10 Sisal elyaf takviyeli SEM görüntüsü (b) %20 Sisal elyaf takviyeli SEM görüntüsü (c) %30 Sisal elyaf takviyeli SEM görüntüsü

Farklı Oranlarda Sisal Elyaf Takviyeli Kauçuk Kompozitlerin Mekanik ve Mikro Yapılarının İncelenmesi

4. Sonuçlar

Bu çalışmada, NBR kauçuk içerisine eklenen sisal elyafın malzemenin morfolojik ve mekanik özelliklerini nasıl etkilediği ele alınmıştır. Kompozitin sertliğinin belirlenmesi için yapılan sertlik test sonucunda, NBR kauçuğa katılan sisal elyafın karışımın sertliğini artırdığı gözlemlenmiştir. Aşınma test sonucu incelendiğinde oluşturulan NBR kauçuğa eklenen sisal elyafın aşınma miktarını artırdığı gözlemlenmiştir. Çekme test sonuçları incelendiğinde malzemenin içerisine eklenen sisal elyaf oranı arttıkça malzemenin sünekliği azalırken, sertlik ve mukavemetin arttığı gözlemlenmiştir. SEM görüntüleri incelendiğinde sisal elyafın NBR kauçuk içerisine tamamen yapışmadığı gözlemlenmiştir. Sonuç olarak, takviye olarak kullanılan sisal elyafın NBR kauçuğun mekanik özelliklerinde iyileşme sağladığı testler sonucu görülmüştür.

Yazar(lar)ın Katkısı

Bu çalışma, Öznur DİNÇ tarafından Prof. Dr. Necmettin ŞAHİN danışmanlığında hazırlanan yüksek lisans tezinin bir parçasıdır.

Kaynaklar

1. Callister J, William D, Ciência E. Engenharia De Materiais - Uma Introdução. 8ª Ed. Brasil, Ltc, 2012.
2. Nwabunma D, Kyu T. Polyolefin Composites. Wiley Interscience, 2007.
3. Campina Grande - Pb, Março De Estudo Termo-Hídrico E Caracterização Mecânica De Compósitos De Matriz Polimérica Reforçados Com Fibra Vegetal: Simulação 3d E Experimentação, Tese De Doutorado, Universidade Federal De Campina Grande Centro De Ciências E Tecnologia Programa De Pós-Graduação Em Engenharia De Processos, 2017.
4. Mitchell BS. An Introduction To Materials Engineering And Science. 1th Ed, Usa: John Wiley & Sons, Inc., 2004, 954p
5. Ferrante M. Seleção De Materiais. São Paulo, Edufscar, 2002.
6. Bledzki AK, Gassan J. Composites Reinforced with Cellulose Based Fibres. Progress In Polymer Science V, 1999; 24, P. 221-274.
7. Carvalho LH. Chemical Modification of Fibers for Plastics Reinforcement In Composites. In: Leão AL, Carvalho FX, Frollini E, Lignocellulosic. Plastics Composites, P. 197-222, São Paulo, 1997.
8. Carvalho LH, Cavalcanti WS. Propriedades Mecânicas De Tração De Compósitos Poliéster/Tecidos Híbridos Sisal/Vidro. Polímeros. Vol. 16, N. 1, P. 33-37, 2006.
9. Carvalho LH, Joseph K, Nóbrega MM S. Reforços Híbridos Em Compósitos Poliéster/Fibras Vegetais. In: Simposio Argentino De Polímeros, Cordoba. Anais. Argentina, P. 67-71, 1999.
10. Burgueño R, Quagliata MJ, Mohanty A, Mehta G, Drzal L, Misra M. Load-Bearing Natural Fiber Composite Cellular Beams and Panels. Composites: Parte A, V. 35, P. 645-656, 2004.