



MANYETO-REOLOJİK ETİLEN PROPİLEN DİEN MONOMER VE DOĞAL KAUÇUK TÜRÜ SENTETİK KAUÇUKLARIN İZOTROP VE ANİZOTROP DURUMDA MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

INVESTIGATION OF MECHANICAL PROPERTIES OF MAGNETO-RHEOLOGICAL ETHYLENE PROPYLENE DIENE MONOMER AND NATURAL RUBBER TYPE SYNTHETIC RUBBERS FOR BOTH ISOTROPIC AND ANISOTROPIC SITUATIONS

Uğur MAZLUM^{1*}, Recep GÜMRÜK²

¹Makine Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Gümüşhane Üniversitesi, Gümüşhane, Türkiye.
ugurmazlum@gumushane.edu.tr

²Makine Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, Türkiye.
rgumruk@ktu.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 17.12.2014, Kabul Tarihi/Accepted: 11.05.2015

* Yazışılan yazar/Corresponding author

doi: 10.5505/pajes.2015.49389

Özel Sayı Makalesi/Special Issue Article

Öz

Manyeto-reolojik (MR) malzemeler dış manyetik alan uygulamalarıyla tersinir ve hızlı bir şekilde kontrol edilebilen reolojik özelliklere sahip akıllı (smart) malzeme sınıfındadır. Gelişen teknoloji koşulları göz önüne alındığında kauçuk türü akıllı malzemeler manyeto-reolojik etkilerle beraber daha fonksiyonel bir kullanıma sahip olmuştur. Bu çalışmada, manyeto-reolojik Etilen Propilen Dien Monomer (EPDM) ve Doğal Kauçuk (NR) türü sentetik kauçukların izotrop ve anizotrop durumda tek eksenli yükleme altındaki mekanik özelliklerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu tür kompozit malzemeler geleneksel sıcak kalıp sistemi yardımıyla izotrop (homojen) ve anizotrop (hizalanmış) olarak ferromanyetik toz ilave edilerek ve manyetik alan uygulanarak elde edilmiştir. Elde edilen kompozit malzemelere manyetik alanın etkisi incelenmiştir. Çalışmada EPDM sentetik kauçuk malzemesinin aksine NR kauçuğunun akıllı malzeme özelliğine daha yatkın olduğu gözlemlenmiştir.

Anahtar kelimeler: EPDM ve NR sentetik kauçuk, Manyeto-reolojik malzemeler, Ferromanyetik tozlar, Manyetik alan

Abstract

Magneto-rheological (MR) materials are in a smart material class that has the rheological properties to be quickly and reversibly controlled with the external magnetic field applications. Considering the technological developments the rubber-like smart materials has had a more functional usage area with magneto-rheological effect. This study investigates the axial mechanical properties of magneto-rheological Ethylene Propylene Diene Monomer (EPDM) and Natural Rubber (NR) type synthetic rubbers for isotropic and anisotropic situations. Also, these composite materials were built by means of hot press systems as either isotropic or anisotropic using magnetic field application after addition of ferromagnetic powders. The influence of magnetic field was investigated. In this study, NR rubber was found to be more susceptible in terms of smart material properties unlike EPDM synthetic rubber.

Keywords: EPDM and NR synthetic rubber, Magneto-rheological materials, Ferromagnetic powder, Magnetic field

1 Genel Bilgiler

1.1 Giriş

Manyeto-reolojik (MR) malzemeler dış manyetik alan uygulamalarıyla tersinir ve hızlı bir şekilde kontrol edilebilen reolojik özellikleri sahip akıllı (smart) malzeme sınıfındadır. Manyeto-reolojik (MR) malzemeler Rabinov'un manyeto-reolojik akışkanları (MRF) keşfetmesinden önce yarım yüzyıldan fazla zamandır gelişmekteydi [1]. Fonksiyonel olarak manyetik olmayan malzemeler içine dağıtılan manyetik partiküller arasındaki etkileşime bağlıdır. Geleneksel olarak Manyeto-reolojik elastomerler (MRE) yeni bir kolu olmasına rağmen MR akışkan, köpük ve jel gibi farklı çeşitleri içerir. MR malzemeler tipik olarak manyetik olmayan matris içerisinde asılan mikron boyutlu manyetik partikülleri içerir.

MR elastomerler katıdır. Bu katılıktaki kauçuk türü malzemeler ayarlanabilir montajlar ve süspansiyon araçları elde etmek için kontrol edilebilir. Sürekli, hızlı ve tersinir bir şekilde değişebilen reolojik malzemelerden faydalanılan uygulamalar pek çoktur [2]-[5]. MR elastomerler jel türü matris veya

manyetik olmayan katı içine dağılan manyetik partiküllerin olduğu yerdeki kompozitlerdir. Elastomerdeki partiküller homojen bir şekilde dağılıbilir veya gruplanabilir. (zincir türü sütun halindeki yapılar gibi.) yönlendirilmiş partikül yapısı elde etmek için manyetik alan çapraz bağ boyunca polimer kompozite uygulanır. Böylece sütun halindeki yapılar düzenlenebilir ve son vulkanize üzerine yerleştiğinde kilitlenebilir. Eğer vulkanizasyon esnasında manyetik alan uygulanmaz ise, MR elastomer izotropik olarak düşünülebilir. Bu proses çeşidi viskoelastik malzemeler için özel anizotropik özellikler olarak söylenir. Sadece son zamanlarda bu elastomerlerin viskoelastik özelliklerine cevap veren alan geliştirildi [6]-[10].

MR elastomerler, küçük deformasyonun olduğu lineer viskoelastik ön akma rejiminde normal olarak çalışmaktadır. Yükün dinamik bir tip olduğu uygulamalarda MRE'ler yapısal malzeme olarak kullanılmaya meyllidir. Uygulamalarda MRE'nin görevi, yapının katılığını dengeli bir biçimde kontrol eden doğal frekansı ayarlamaktadır

Manyetoreolojik elastomerlerle ilgili yapılan çalışmalar yeni yeni gelişmektedir. Bu tür malzemelerin uygulama alanları ise

hala daha başlangıç aşamasındadır. Geleneksel olarak titreşim ve ses kontrolü için kullanılmaktadır. Manyetoreolojik etkilerle beraber bu malzemeler daha fonksiyonel bir kullanıma sahip olmuştur. MR Elastomer malzemelerin uygulama alanları içerisinde manyetik olarak kontrol edilebilen damperler, frenler ve kavramalar bulunmaktadır. Ayrıca yarı aktif veya aktif titreşim kontrol kaideleri, süspansiyon burçları, güç aktarma elemanları, rulolu kâğıt yapma makinası tasarımında, şok izolasyonlarında, adaptif titreşim sönümleyicisi olarak kullanılmaktadır.

MR elastomerlerin matrisi için termoplastik kauçuk, silikon kauçuk, plastik, doğal ve sentetik kauçuk vb. gibi pek çok malzeme çeşidi bulunmaktadır. Bunların arasından doğal kauçuk çok iyi mekanik özellikler, hassaslık ve proses performansına sahiptir. Pratik MR elastomerler için kullanımı uygundur [11]-[13]. Butil kauçuk mükemmel kimyasal stabiliteye, yalıtım ve yüksek sönümlenme faktörüne sahiptir. Bu yüzden şok sönümlemede kullanılacak MR elastomerler için uygundur. MR elastomer için uygun polimerik matris seçimi istenen uygulamanın tasarım kriterine ve performansına bağlıdır. Örneğin yüksek sıcaklık dayanımı, sürekli çekme ve yırtılma mukavemetine maruz kalma gibi durumlarda seçilen polimer matrisi

MR malzemeler için en yaygın kullanılan partiküller yüksek saflığa (%99.7) sahip demir partikülleridir. Bu yüksek geçirgenlikleri, düşük kalıcı manyetiklikleri ve yüksek doymuş manyetik özelliklerinden dolayıdır [8].

MR elastomerlerde manyetik partikül olarak yaygın olarak karbon katkılı demir kullanılması yanı sıra son zamanlarda çalışmalarda farklı tipte manyetik partiküller kullanılmaya başlanmıştır. Bu manyetik partiküllere en önemli örnek olarak NdFeB mıknatıs tozu verilebilir. Doğal kauçuk ve farklı NdFeB mıknatıs konsantrasyonu ile elde edilen kompozit malzemenin vulkanizasyonu ve mekanik özellikleri üzerine çalışma yapılmıştır. Yapılan çalışmada manyetik partikül ilavesinin çekme mukavemetini azalttığı görülmüştür. %30-90 arasında mukavemet azalışı hemen hemen aynı olmaktadır [14].

Yapılan çalışmalar kompozit malzeme üretilirken pek çok katkı maddesinin ilave edildiğini göstermektedir. Bu katkı maddeleri içerisinde karbon katkılı demir tozu yüksek saflığa sahip olmasından dolayı ayrı bir öneme sahiptir. Ancak uzun süreçte düşük termal özellikler ve zayıf korozyon direnci gibi bazı olumsuzluklara sahiptir. Bu olumsuzluklar elde edilen kompozit için kullanılan matris malzemesinin Polimer çeşidi, polimer/manyetik toz oranı, partikül boyutu ve hem manyetik tozun şekli hem de polimer ve proses koşulları gibi özellikleri dikkate alınarak giderilebilir. Bu olumsuzlukları gidermek ve kompozit malzemenin özelliklerini geliştirmek için karıştırma, katkı maddesiyle matris malzemesini ön şekillendirme, presleme, yüzey işlem uygulaması, montaj, vulkanizasyon ve finisaj gibi işlem prosedürleri örnek olarak verilebilir. Ancak matris malzemesi olarak en fazla kullanılan ve de kullanımı gittikçe artan sentetik kauçuklardan bir tanesi olan EPDM sentetik kauçuklarının saf, izotrop (manyetik alan uygulanmamış) ve anizotrop (0-1 Tesla manyetik alan uygulanmış) durumlar altında mekanik özelliklerinin nasıl davranış gösterdiğiyle ilgili çalışma yapılmamıştır. Buda EPDM kompozit malzemesinin izotrop ve anizotrop durumlar altında ne gibi mekanik özellikler gösterdiğini anlamamızı zorlaştırmaktadır. Bütün bu nedenlerden dolayı bu çalışmada manyeto-reolojik EPDM ve NR sentetik kauçukların izotrop ve

anizotrop durumda tek eksenli yükleme altındaki mekanik özellikleri incelenmiştir. Bu şekilde bu kompozit malzemelerin akıllı (smart) malzeme özelliğine hangisinin daha yatkın ve manyetik partikül ilavesinin çekme mukavemetine ne gibi etkisi olduğunun araştırılması amaçlanmıştır.

2 Deneysel Çalışmalar

2.1 Malzeme

Çalışmada iki farklı tür sentetik kauçuk (EPDM ve NR) kullanılmıştır. Aynı zamanda kauçuk malzemelerine Basf firmasından temin edilmiş olan ortalama 3-27 µm boyutlarında Basf CN ferromanyetik karbon katkılı demir tozu ilave edilmiştir. Tablo 1'de EPDM ve NR ile karbon katkılı demir tozundan elde edilen kompozit malzeme hazırlama için karışım formülasyonu verilmiştir.

Tablo 1: EPDM ve NR-karbon katkılı demir kompoziti hazırlama için karışım formülasyonu.

Matris malzemesi	Aktivatör	Aktivatör	Pişirici	Hızlandırıcı	Bozulmayı önleyiciler	Yağ	Karbon Siyahı	Karbon Katkılı Demir(%)
EPDM	ZnO	Stearik Asit	Sülfür	MBT, TMTD	Antioksidant Antiozonant	Parafinik yağ	HAF	Basf CN
100	3	1	1.75	0.5	1.5	35	60	40
NR	ZnO	Stearik Asit	Kükürt	Thiazol	Antioksidant Antiozonant	Parafinik yağ	HAF	Basf CN
100	5	1	3	1	1	30	50	40

2.2 Metot

2.2.1 Numune Üretimi

Kauçuk türü MRE malzemelerin üretilmesi için kullanılan sistemin genel görüntüsü Şekil 1'de verilmiştir. Öncelikli olarak vulkanizasyon için kauçuk malzemeler (EPDM ve Doğal kauçuk) tasarlanmış olan kalıp yardımıyla üretilmiştir.



Şekil 1: MRE numune üretmek için kullanılan sistemin görüntüsü.

Bu çalışmada numune üretilirken numuneye ilave edilen ferromanyetik tozun rastgele ve hizalanmış olarak matris malzemesi içinde bulunmasına göre farklı koşullar göz önüne alınmıştır. Kauçuk numuneler üretilirken kalıbın belli bir sıcaklık değerine getirilmesi gerekmektedir. Bunun için kalıbın alt ve üst kapakları arasına yaklaşık 70*70 mm ölçülerinde kare ısıtıcı rezistanslar yerleştirilmiştir.

Bu rezistanslar dolayısıyla kalıplar maksimum 30 V DC güç kaynaklarıyla çalışma koşullarına göre ayarlanmış elektronik bir kumanda vasıtasıyla kontrol edilmiştir ve kalıba yerleştirilmiş olan termokupl'dan sıcaklık okuyarak kumandanın sabit sıcaklık değerinde kalması sağlanmıştır. Kontrol paneli 200 °C sıcaklık değerine çıkabilmektedir.

Aynı zamanda kauçuk numunelerin pişirilmesi esnasında kalıplara belli bir basınç uygulanmaktadır. Numunelerin istenen formda üretilmesi için bu işlem gereklidir. Hidrolik

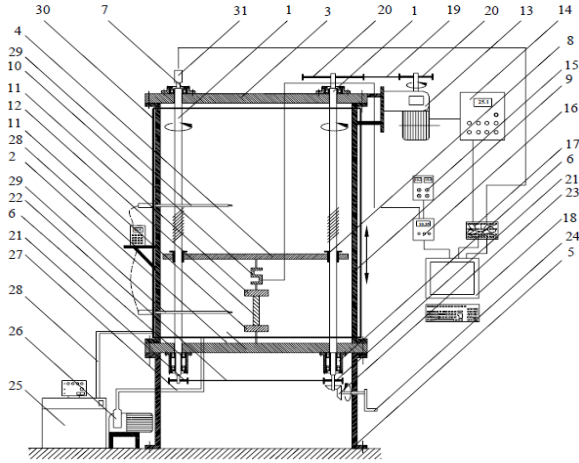
pres yardımıyla kalıplara 200 bardan daha fazla basınç uygulanabilmektedir.

Sistemin genel olarak tanıtılmasından sonra saf haldeki EPDM ve NR matris malzemelerine dolgu malzemesi olarak ağırlıkça %40 oranında karbon katkılı demir tozu ilave edilmiştir. Matris malzemeleri ve ferromanyetik toz homojen bir şekilde hadde cihazında karıştırıldıktan sonra kalıba konulmuştur. Bu kauçuklar saf, izotrop ve anizotrop olarak elde edilmiştir. Her bir kauçuk için farklı çalışma koşulları dikkate alınmıştır. Örneğin saf ve izotrop EPDM kauçukları yaklaşık 100 MPa basınç altında 15 dakika için 105 °C'de vulkanize olurken, NR kauçukların 100 MPa basınç altında 25 dakika ve 112 °C sıcaklıkta vulkanize olduğu tespit edilmiştir. Anizotrop durumda ise EPDM kauçuğuna 15 dakika 105 °C'de 1 Tesla dış homojen manyetik alan uygulanırken, NR kauçuğuna 15 dakika 112 °C'de 1 Tesla dış homojen manyetik alan uygulandı ve daha sonra numune 100 MPa basınç altında 10 dakika daha pişirilmeye devam edilmiştir.

Manyeto-reolojik malzemeler 70x70 mm ölçülerinde plaka halinde elde edilmiştir. Elde edilen numuneler 70x10 mm ölçülerinde dikdörtgen olarak kesilerek tek eksenli deney düzeneğinde testlerinin yapılabilmesi için hazır hale getirilmiştir.

2.2.2 Tek Eksenli Çekme Deney Düzeneği

Kauçuk türü manyeto-reolojik malzemelerin testleri, tasarım ve imalatı [15] tarafından gerçekleştirilen, Şekil 2'de krokisi gösterilen, tek eksenli çekme deney düzeneği yardımıyla gerçekleştirilmiştir.



1	Tahrik Mili	18	Bilgisayar
2	Alt Tabla	19	Kayış
3	Üst Tabla	20	Kasnak
4	Hareketli Tabla	21	Zincir Dişlisi
5	Sabitleme Ayağı	22	Zincir
6	Yataklama Elemanları	23	Konik Dişli
7	Yataklama Elemanları	24	Elle Tahrik Kolu
8	Hareket Somunu	25	Sabit Sıcaklık Ünitesi
9	Taşıyıcı Ayaklar	26	Pompa
10	Yük Hücresi	27	Yağ Basma Hattı
11	Tutma Çenesi	28	Yağ Dönüş Hattı
12	Numune	29	Sıcaklık Probu
13	Redüktörlü Motor	30	Yalıtım Odası
14	Hız Kontrol Ünitesi	31	Enkoder
15	Güç Ünitesi		Elektrik Bağlantı Kablosu
16	Yük Hücresi Amplifikatörü		Yalıtım Odası
17	Bağlantı Kartı		

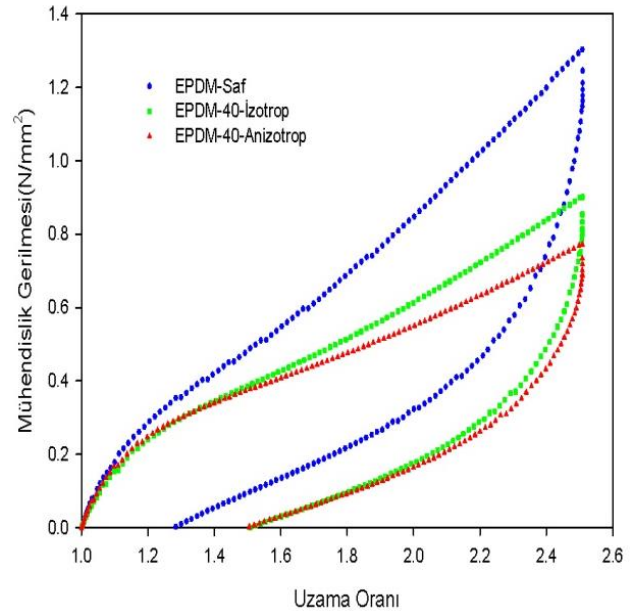
Şekil 2: Tek eksenli çekme deney düzeneği krokisi [15].

Bu deney düzeneği kauçuk türü malzemelerin mekanik özelliklerini belirleyebilmek ve deney düzeneğine istenilen komutları daha hassas ve güvenilir bir şekilde verebilmek için bilgisayar kontrollü yapılmıştır. Aynı zamanda elle de kontrolü sağlanmıştır. Bilgisayara adapte edilen NI-LABVIEW ortamında hazırlanmış paket programı vasıtasıyla da verilerin istenilen formda alınması sağlanmıştır.

3 Sonuçlar ve Tartışma

Manyeto-reolojik malzemeler geleneksel sıcak kalıp sistemi yardımıyla izotrop (homojen) ve anizotrop (hizalanmış) durumda ferromanyetik toz ilave edilerek ve manyetik alan uygulanarak elde edilmiştir. Üretilen MRE numunelerin (EPDM ve NR) mekanik özelliklerini belirlemede tek eksenli çekme deney cihazı kullanılmıştır. Bu numunelere ağırlıkça %40 oranında karbon katkılı demir tozu ilave edilmiştir.

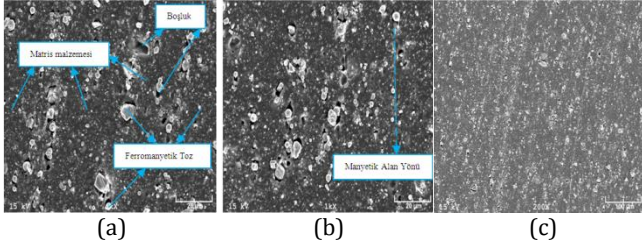
Şekil 3'teki grafikte EPDM numunesinin saf, izotrop ve anizotrop durumdaki yükleme-boşaltma eğrileri verilmiştir. Bu grafikten görülmektedir ki, numunenin mukavemet değeri saf halinin aksine içerisine katılan dolgu malzemesiyle birlikte azalmaktadır. Örneğin, 2.5 uzama oranında saf numunenin mukavemet değeri 1.3030 MPa iken, izotrop durumda 0.8990 MPa ve anizotrop durumda ise 0.7720 MPa olduğu görülmektedir. Maksimum uzama oranı değerinde ($\lambda=2.5$) saf numuneyle izotrop numune arasında %31'lik bir gerilme düşüşü olurken, anizotrop numuneyle bu fark %40'a çıkmaktadır.



Şekil 3: Saf, izotrop ve anizotrop EPDM numunesinin yükleme-boşaltma eğrileri

Literatürde yapılan çalışmalar neticesinde uygulanan manyetik alanla beraber malzemenin iç yapısındaki tozların manyetik alan yönünde hizalandığı vurgulanmış ve bunun da mukavemetini artırıcı bir etkiye sahip olduğu belirtilmiştir. Ancak Şekil 3'ten görüldüğü gibi literatürde kullanılan kauçukların aksine EPDM kauçuk için mukavemet değerinin azaldığı görülmektedir. Burada EPDM malzemesinin iç yapısındaki bağlar ile ilave edilen dolgu malzemesinin uyumsuzluk gösterdiği sonucuna varılabilir.

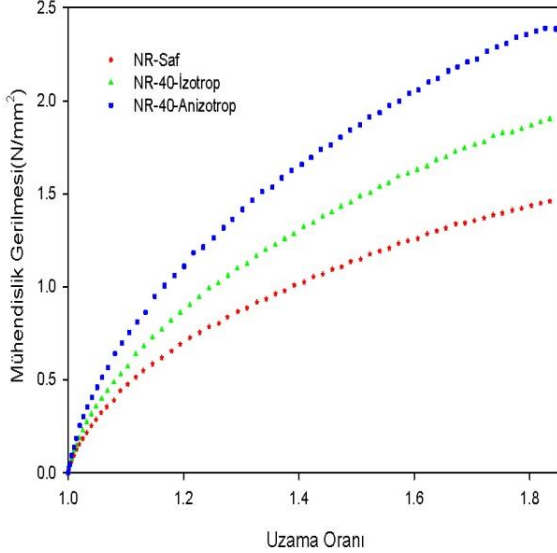
Şekil 4'te ise bu numuneye ait SEM görüntüsü üç farklı durum için verilmektedir. Şekil 4-a,b'de matris malzemesi ve ferromanyetik tozların belli bölgelerde tam olarak etkileşim göstermedikleri ve aralarında boşluklar olduğu görülmektedir. Bu da malzemenin mekanik özelliklerinin iyileşmesini engelleyici bir faktör olarak göze çarpmaktadır. Aynı zamanda Şekil 4-b'de 1 Tesla manyetik alan uygulandığında tozların manyetik alan yönünde yönelmesi bekleniyordu fakat görüldüğü gibi herhangi bir yönelme söz konusu değildir.



Şekil 4: EPDM kauçuk numunesinin

(a) izotrop (b) anizotrop (c) anizotrop(200x) SEM görüntüleri

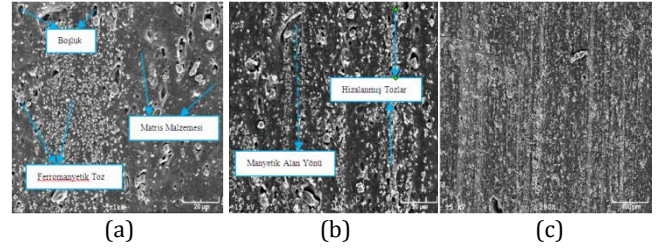
Diğer bir malzeme olan NR(doğal) kauçuk numunesinde mukavemet artışı noktasında pozitif sonuçlar elde edilmiştir. Şekil 5'te bu numuneye ait yüklem grafikleri verilmiştir. Grafikten 1.8 uzama oranında saf numunenin mukavemet değeri 1.437 MPa iken, izotrop durumda 1.867 MPa ve anizotrop durumda ise 2.357 MPa olduğu görülmektedir. Bu da saf haline göre anizotrop durumda %64'lük bir artışın olduğunu ifade etmektedir.



Şekil 5: Saf, izotrop ve anizotrop NR numunesinin yüklem eğrileri.

Buradan EPDM kauçuk malzemesinin aksine NR malzemesinin iç yapısındaki bağlar ile ilave edilen dolgu malzemesinin bağlar arasında yerel boşluklar olmasına rağmen herhangi bir uyumsuzluk göstermediği sonucuna varılabilir. Bu da dolayısıyla mukavemet artışını destekleyen bir sonuç olarak karşımıza çıkmaktadır. Şekil 6'da ise bu numuneye ait SEM görüntüsü üç farklı durum için verilmektedir. Şekil 6-b'de EPDM numunesi için söylenenlerin aksine uygulanan 1 Tesla dış manyetik alan ile tozların hizalanmış görüntüleri apaçık

görülmektedir. Bu hizalanma kauçuk numunelerin mekanik özellikleri üzerinde olumlu bir etkisi olmaktadır.



Şekil 6: NR kauçuk numunesinin (a) izotrop (b) anizotrop (c) anizotrop(200x) SEM görüntüleri.

Sonuç olarak çalışmada EPDM sentetik kauçuk malzemesinin aksine NR kauçuğunun akıllı (smart) malzeme özelliğine daha yakın olduğu elde edilmiştir. Mekanik özelliklerin geliştirilmesine yönelik olan literatür çalışmaları da bu durumu desteklemektedir.

- EPDM kauçuk malzemesinde toz ilavesi gerilme düşüşüne neden olurken NR kauçuk numunelerinde ise gerilme artışı söz konusudur.
- Dış manyetik alan uygulandığında NR manyetoreolojik numunelerinin EPDM numunelerine göre daha duyarlı olduğu belirlenmiştir.

4 Kaynaklar

- [1] Rabinow J. "The Magnetic Fluid Clutch". *AIEE Transactions*, 67(2), 1308-1315, 1948.
- [2] Shiga T, Okada A, Kurauchi T. "Magnetroviscoelastic Behavior of Composite Gels". *Journal of Applied Polymer Science*, 58(4), 787-792, 1995.
- [3] Ginder JM, Nichols ME, Elie LD, Tardiff JL. "Magnetorheological Elastomers: Properties and Applications". *The International Society for Optical Engineering. Proceedings of the 1999 Smart Structures and Materials on Smart Materials Technologies*, March 3-4, California, USA, 1999.
- [4] Watson JR. "Method and Apparatus for Varying the Stiffness of a Suspension Bushing". U.S. Patent 5609353, EP0784163 Ford Motor Co, GB, 1997.
- [5] Jolly MR, Carlson JD, Muñoz BC, Bullions TA. "The Magnetoviscoelastic Response of Elastomer Composites Consisting of Ferrous Particles Embedded in a Polymer Matrix". *Journal of Intelligent Material Systems and Structures*, 7(6), 613-622, 1996.
- [6] Zhou GY, Li JR. "Dynamic Behavior of a Magnetorheological Elastomer under Uniaxial Deformation: I. Experiment". *Smart Materials and Structures*, 12(6), 859-872, 2003.
- [7] Zhou GY. "Shear Properties of a Magnetorheological Elastomer". *Smart Materials and Structures*, 12, 139-146, 2003.
- [8] Lokander M, Stenberg B. "Improving the Magnetorheological Effect in Isotropic Magnetorheological Rubber Materials". *Polymer Testing*, 22(6), 677-680, 2003.
- [9] Lokander M, Stenberg B. "Performance of Isotropic Magnetorheological Rubber Materials". *Polymer Testing*, 22(3), 245-251, 2002.
- [10] Davis LC. "Model of Magnetorheological Elastomers". *Journal Applied Physics*, 85, 3348-3351, 1999.

- [11] Wilson MJ, Fuchs A, Gordannejad F. "Development and Characterization of Magnetorheological Polymer Gels". *Journal of Applied Polymer Science*, 84(14), 2733-2742, 2002.
- [12] Shen Y, Golnaraghi MF, Heppler GR. "Experimental Research and Modeling of Magnetorheological Elastomers". *Journal of Intelligent Material Systems and Structures*, 15(1), 27-35, 2004.
- [13] Zhou GY. "Complex Shear Modulus of a Magnetorheological Elastomer". *Smart Materials and Structures*, 13(5), 1203-1210, 2004.
- [14] Saramolee P, Lertsuriwat P, Hunyek A, Sirisathitkul C. "Cure and Mechanical Properties of Recycled NdFeB-NR Composites". *Bulletin of Materials Science* 33(5), 597-601, 2010.
- [15] Vahapoğlu V. Kauçuk Türü Malzemelerin İnelastik Özelliklerinin Deneysel olarak İncelenmesi. Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, Türkiye, 2006.