

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/304624934>

# EXPERIMENTAL DETERMINATION OF MULLINS EFFECT PARAMETERS ON THE MAGNETO-RHEOLOGICAL MATERIALS

Conference Paper · April 2016

CITATIONS

0

READS

54

3 authors, including:



**Uğur Mazlum**

Gümüşhane Üniversitesi kürtün MYO

10 PUBLICATIONS 0 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



**Recep Gümrük**

Karadeniz Technical University

20 PUBLICATIONS 200 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



Investigation of Impact Behavior of Pressurized Energy Absorbing Elements [View project](#)



EXPERIMENTAL AND NUMERICAL INVESTIGATION OF THE WEAR FAILURE OCCURRED IN EROSION SHIELD OF HELICOPTER ROTOR BLADES UNDER LOW-VELOCITY IMPACT EFFECT [View project](#)

# EXPERIMENTAL DETERMINATION OF MULLINS EFFECT PARAMETERS ON THE MAGNETO-RHEOLOGICAL MATERIALS

## MANYETO-REOLOJİK MALZEMELER ÜZERİNDEKİ MULLINS ETKİSİ PARAMETRESİNİN DENEYSEL OLARAK BELİRLENMESİ

Uğur MAZLUM<sup>a</sup>, Recep GÜMRÜK<sup>b</sup>

Gümüşhane Üniversitesi, Gümüşhane, TÜRKİYE, E-posta: [ugurmazlum@gumushane.edu.tr](mailto:ugurmazlum@gumushane.edu.tr)

Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, TÜRKİYE, E-posta: [rgumruk@ktu.edu.tr](mailto:rgumruk@ktu.edu.tr)

### Özet

Manyeto-reolojik (MR) malzemeler manyetik alan oluşturan sistemler yardımıyla kontrol edilebilen smart malzemeler olarak tanımlanabilmektedir. Bu çalışmada özellikle yapısal sistemler göz önüne alındığında deprem analizi ve titreşim sönümlenme elemanları olarak kullanılan malzemeler üzerine araştırmalar yapılmıştır. Bu şekilde MR malzemelerin zamana bağımlı bir davranış olan Mullins etkileri giderilmiş ve mevcut prosedür ile testlerinin gerçekleştirilmesi sağlanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Kompozit Malzemeler, manyetik alan, Mullins etki

### Abstract

Magneto-Rheological Materials are smart materials whose properties can be altered reversibly and almost instantaneously by the application of external magnetic field. In this study, particularly in structural systems used in seismic analysis and vibration damping elements it is made given the research on materials. In this way the time dependent behavior of MR material was removed and the Mullins effect was realized by the existing test procedures.

**Keywords:** Composite materials, Magnetic field, Mullins effect

### 1. Giriş

Manyeto-reolojik(MR) malzemeler dış manyetik alan uygulamalarıyla tersinir ve hızlı bir şekilde kontrol edilebilen reolojik özelliklere sahip akıllı(smart) malzemeler sınıfındadır. MR malzemeler Rabinov'un MR akışkanları keşfetmesinden yaklaşık yarım yüzyıl önce gelişmeye başlamıştır[1]. MR Elastomer, akışkan, köpük ve jel gibi farklı matris çeşitleri bulunmaktadır. Matris malzemesi olarak genelde termoplastik kauçuk, silikon

kauçuk, plastik, doğal ve sentetik kauçuk vb. gibi pek çok malzeme çeşidi kullanılmaktadır[2-6]. Bunlar arasında silikon ve termoplastik kauçuk hazırlanması oldukça kolay olduğu için laboratuvar ortamındaki çalışmalarda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır[2-10]. MR malzemeler tipik olarak manyetik olmayan matris içerisine asılan mikron boyutlu manyetik partikülleri içerir. Manyetik partiküllerin homojen bir şekilde dağılması(izotrop durum) veya çapraz bağ oluşumu süresince manyetik alan uygulanarak partiküllerin hizalanması(anizotrop durum) söz konusu olabilmektedir.

MR kauçuk türü malzemelerin deneysel davranışları literatürde pek çok açıdan incelenmiştir. Bu tür malzemelerin viskoelastik davranışları[11-23], mikroyapıları, deformasyon durumları, matris ve katkı maddelerinin etkisi, sönümlenme davranışları ve matris malzemesine ilave edilen ferromanyetik partiküllerin hangi şekilde yerleşmiş olduğu ve manyetik alanın etkisini belirlemeyi sağlayan MR etki gibi özellikler literatürde geniş bir şekilde incelenmiştir. Ayrıca MR malzemeler üzerinde Mullins etkisinin çok etkili olduğu bilinmektedir. Mullins etkilerini gidermek ve test sonuçlarının optimum değerlere ulaşmasını sağlamak amacıyla test prosedürleri uygulanmaktadır. Mullins etkileri üzerine kapsamlı araştırma Diani tarafından yapılmıştır[24]. En yüksek gerilme ilk yükleme çevriminde elde edilmektedir. Daha sonraki gerilme değerlerinde ise gitgide gerilme düşmektedir. Bu malzemelerde meydana gelen kalıcı deformasyon etkisinden kaynaklanmaktadır. Yükleme prosedürleri belirli bir tekrardan sonra hemen hemen üst üste çakışmaktadır. Böylece testler çakışmanın elde edildiği yükleme sayısı göz önüne alınarak yapılmaktadır.

Mullins etkisi parametresi zamana bağımlıdır. Bu yüzden malzemeler test edilmeden önce yükleme boşaltma prosedürlerine tabi tutulmalıdırlar.

Bu çalışmada tek eksenli basma testi % 40 şekil değişimi değerine kadar gerçekleştirildi. İzotrop durumda elde edilen numuneler basma testi için basma eksenli yönünde 0,32 tesla manyetik alana maruz bırakılmıştır. Saf ve izotrop malzeme test sonuçları birbirleriyle kıyaslanmıştır.

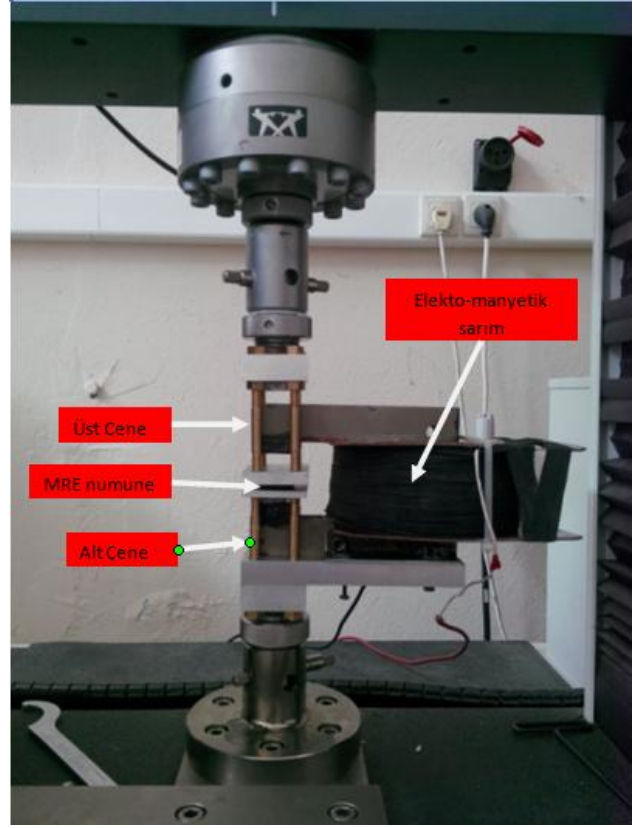
## 2. Malzeme

Vario 40 RTV(Room Temperature Vulkanization) Silikon kauçuk, %10 oranında pişme katkı malzemesi ve viskozitesini azaltmak için % 30 oranında silikon yağı ile matris malzemesi elde edilmiştir. Manyetik partikül olarak BASF firmasından temin edilmiş olan CIP SQ karbon katkılı demir(CIP) tozu kullanılmıştır. Bu manyetik partikülün boyutları ortalama 3,7–4,7 mikro metre arasında değişmektedir. MR elastomer malzemesi saf ve izotrop durumda üretilmiştir. Manyetik partiküller literatürde yaklaşık % 30 hacim oranında ilave edilmiştir. Silikon kauçuk, manyetik partikül ve pişirme malzemesi 10 dakika süreyle iyice karıştırılmıştır. Daha sonra oluşan hava kabarcıklarını gidermek için karışım kalıba dökülmeden önce ve sonra vakum pompasıyla 5 dakika vakum uygulanmıştır. Elde edilen karışım 90\*90 mm pleksi glass plakadan 20 mm çapında ve 10 mm kalınlığında kalıba döküldü ve 70 °C de 20 dakika fırınlanarak vulkanize edilmiş oldu.

## 3. Deney Düzenegi ve Prosedür

Bu çalışmada MR kauçuk türü malzemelerin testleri şekil 1'de gösterilen 100 kN yük hücre kapasiteli Instron test düzeneğinde gerçekleştirilmiştir. Basma testi için 10 mm/dakika hız değeri alınarak numunenin % 50 şekil değişimi değerine kadar yüklenmesi sağlanmıştır. Test düzeneği için manyetik alandan etkilenmeyen alüminyum malzemesinden üretilmiş olan basma çenesi tasarımı yapılmış ve bu düzeneğe elektromanyetik sarım ilave edilerek 0,32 Tesla manyetik alan altında deneyler yapılmıştır. Manyetik alan düzeği için 0,9 mm çapında bakır tel ile C tipi silisyum saç nüvenin etrafına 4000 sarım yapılmıştır. Direnç değeri 40 ohm dur. Ayrıca DC güç

kaynağı ile 5 amper akım değerine kadar beslenmesi sağlanmıştır.



Şekil 1. Basma Test Düzeneği

Manyeto-reolojik malzemelerin Mullins etkilerini gidermek için aşağıda ifade edilen test prosedürleri kullanılmıştır. Mullins etkileri zamana bağımlı olduklarından aynı MRE numuneleriyle yapılan testler arasında yeterince zaman olduğunda kalıcı deformasyon oluşmaktadır. Bu yüzden bu çalışmada Mullins etkisinden kaçınmak için basma testleri dört yükleme-boşaltma çevrimi şeklinde gerçekleştirildi. Elde edilen grafikler irdelendiğinde üçüncü yükleme-boşaltma çevriminden sonra grafiklerin üst üste çakıştığı görülmektedir. MRE malzemelerin manyetik alansız ve manyetik alanlı olarak cevabını karakterize etmek için üç farklı test adımı uygulanmıştır. Her bir test adımı için dört yükleme-boşaltma yapılmıştır[25].

- i. Manyetik alan olmadığı durum için testler (prosedür1)
- ii. Manyetik alan etkidiği durum için testler ( 0,32 T ) (prosedür 2 )

iii. i. Test prosedürünün tekrarlandığı durum için gerçekleştirilen testler ( prosedür 3 )

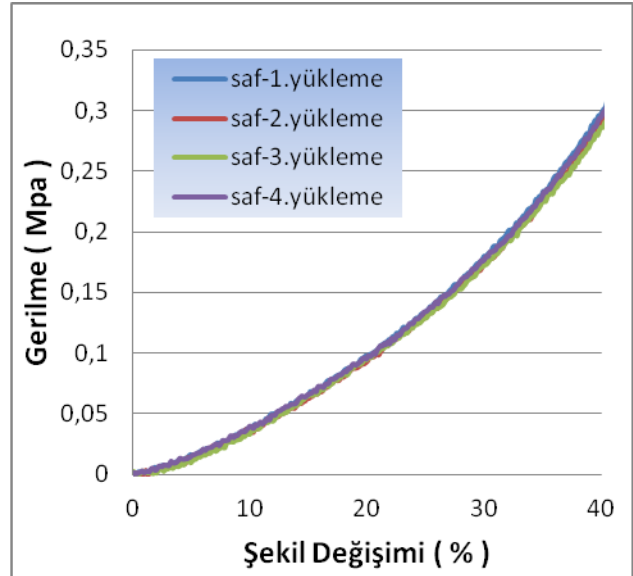
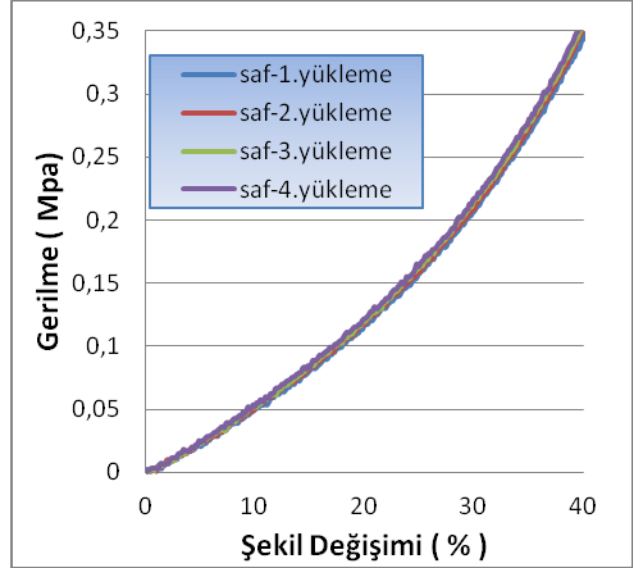
Bu test adımları gerçekleştirilirken i. ve iii. durum arasında farklar oluşmaktadır. Bu çalışmada, MR etki olarak ifade edilen dış manyetik alan etkisiyle tersinir ve hızlı davranış gösteren kompozit malzemelerin Mullins etkilerinden arındırılarak mekanik özelliklerinin doğru bir şekilde belirlenmesi amaçlanmıştır.

#### 4. Sonuçlar ve Tartışma

Manyeto-reolojik malzemeler geleneksel çift komponentli bileşimlerin kimyasal reaksiyonuyla beraber izotrop (homojen) durumda ferromanyetik toz ilave edilerek ve manyetik alan uygulanarak elde edilmiştir. Üretilen MRE numunelerin mekanik özelliklerini belirlemede tek eksenli basma deney cihazı kullanılmıştır. Bu numunelere hacimce % 30 oranında karbon katkılı demir tozu ilave edilmiştir.

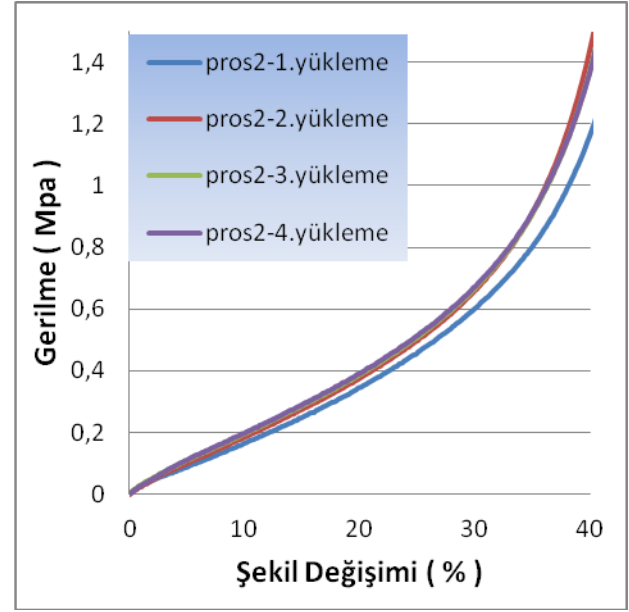
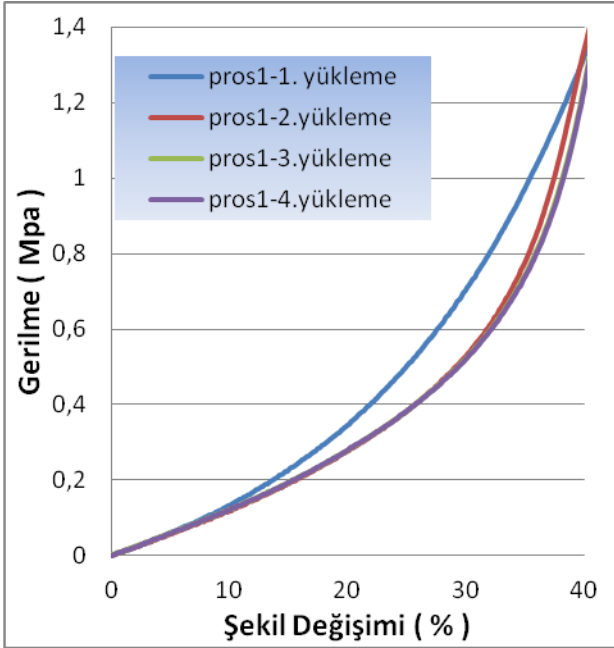
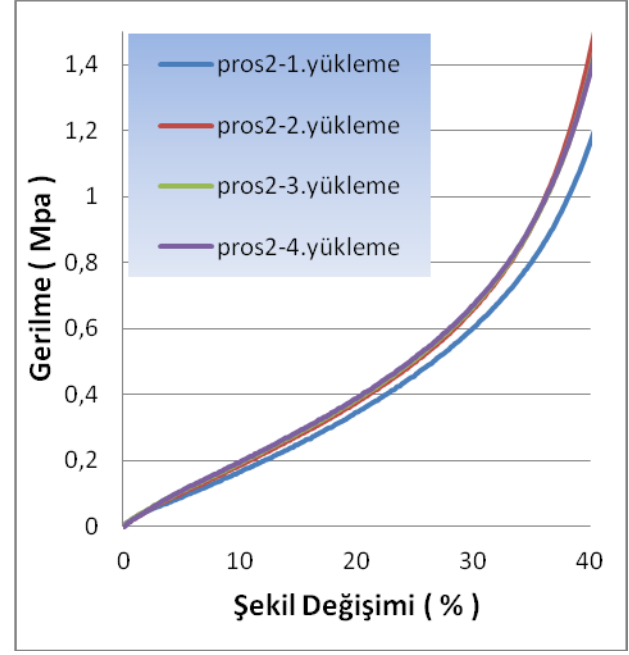
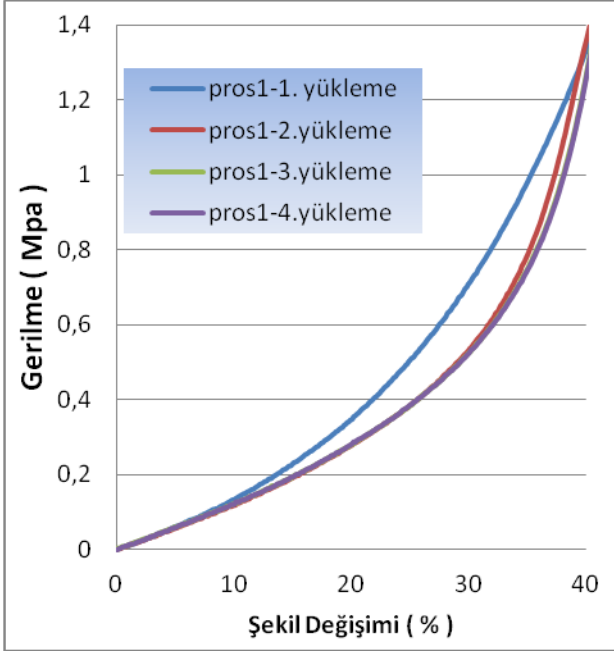
MR malzemeler saf halde ve içerisine ferromanyetik toz ilave edildiği durumda farklı Mullins etkisi davranışı göstermektedir. Bu da ilave edilen tozun kalıcı deformasyon oluşmasına neden olduğunu göstermektedir. Şekil 2'de saf malzemenin 4 defa art arda tekrarlanmış yükleme grafikleri iki ayrı numune için görülmektedir. Burada Mullins etkisinin hemen hemen hiç mevcut olmadığı açıkça görülmektedir. Yani tüm yükleme grafikleri birbirini tekrarlamaktadır. Fakat Şekil 3'te izotrop malzemenin yükleme grafiklerinde bu durum söz konusu değildir. Bu yüzden i. prosedür dışında iii. prosedür yapılarak Mullins etkileri giderilmeye çalışılmıştır. Şekil 3'te ilk yükleme eğrilerinden sonraki yükleme grafikleri dikkate alındığında üçüncü yüklemeden sonraki grafikler üst üste çakışmaktadır.

Aynı zamanda malzemelere manyetik alan uygulanması gerilme-şekil değişimi grafiklerini artırıcı etki oluşturmaktadır. Bu özellik MR malzemelerin manyetik olarak hassasiyetlerinden kaynaklanmaktadır. Şekil 4'te bu artış görülebilmektedir. Şekil 5 ise başlangıçta malzemeler üzerinde görülen Mullins etkilerinin hemen hemen ortadan kalktığı grafiklerin birbirlerini tekrar ettiği durumları göstermektedir.



Şekil 2. Vario 40 malzemesinin saf haldeki yükleme eğrileri

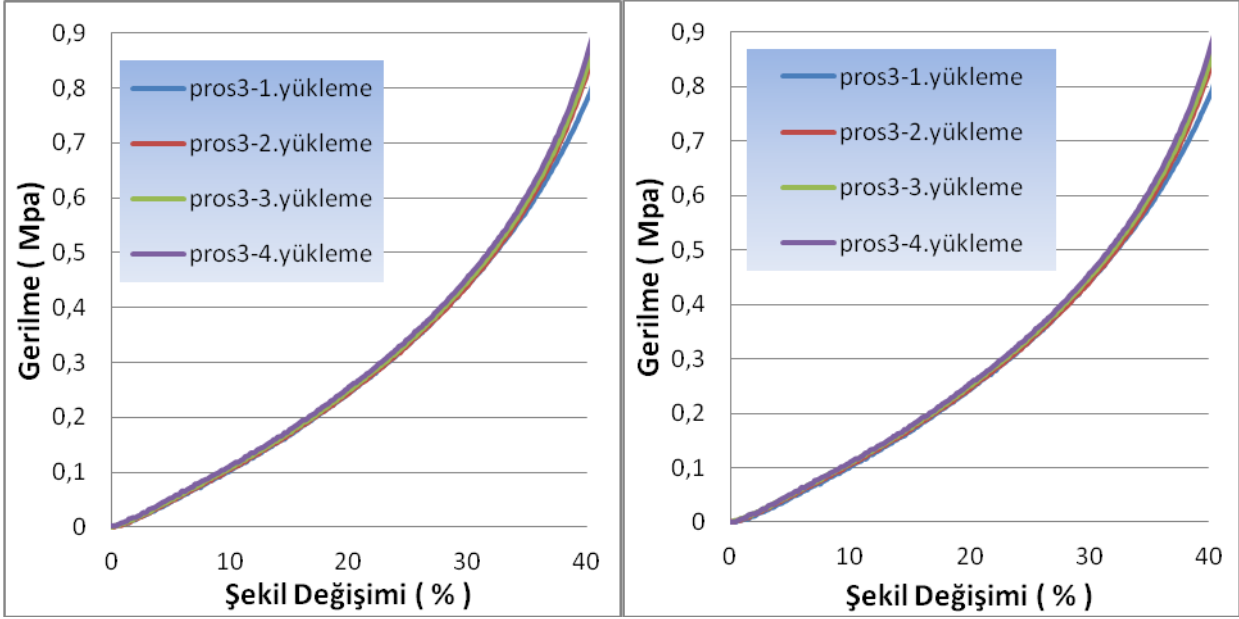
MR malzemelerin izotrop durumda Mullins etkileri giderildikten sonra ii. ve iii. prosedür durumları yukarıda ifade edilen iki ayrı numune için kıyaslanmıştır. Birinci numune göz önüne alındığında % 40 şekil değişimi değeri için gerilme değerinin yaklaşık % 79 oranında arttığı görülmektedir. Bu durum şekil 6'da açıkça görülmektedir. Ayrıca ikinci numunede bu duruma benzer sonuç bulunmuştur. Şöyle ki Şekil 7'de bakıldığında hemen hemen % 80 gibi bir gerilme artışı burada da söz konusu olmaktadır.



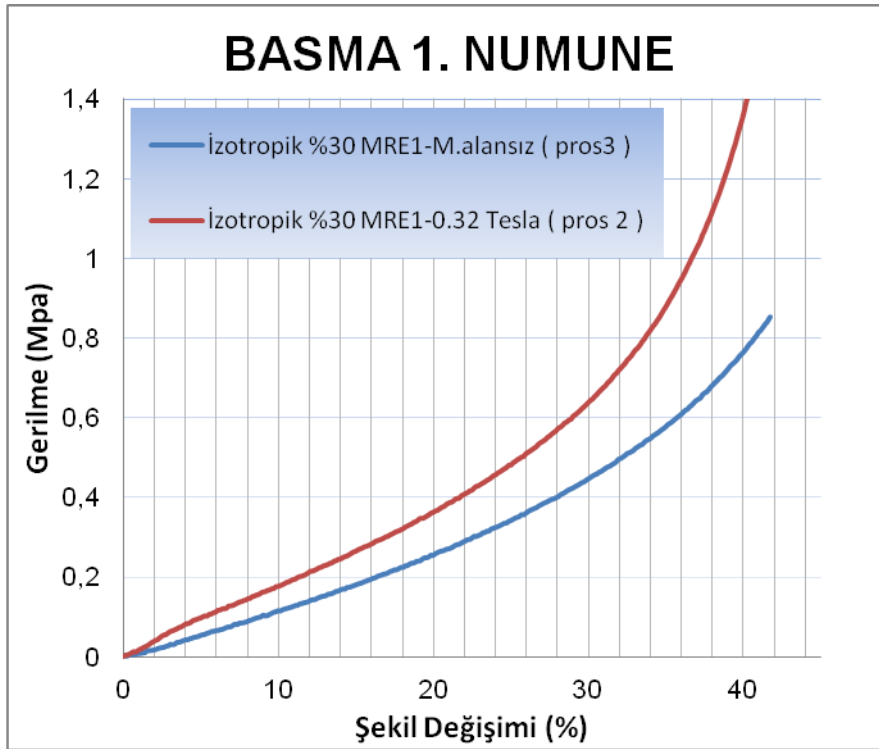
Şekil 3. Vario 40 malzemesinin izotrop durumda i. prosedür kullanılarak iki ayrı numune için yüklem eğrileri

Şekil 4. Vario 40 malzemesinin izotrop durumda ii. prosedür kullanılarak iki ayrı numune için yüklem eğrileri

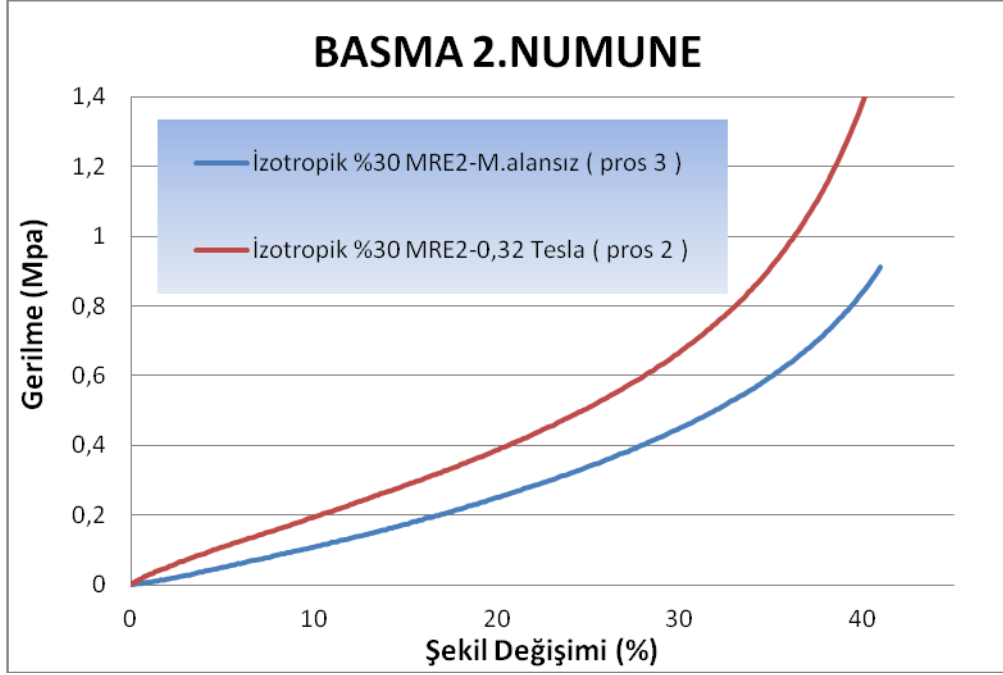
Saf ve izotrop numuneleri birbirleriyle kıyasladığımızda Şekil 8'de görülen grafik elde edilmektedir. Burada saf duruma göre ii. prosedürden elde edilen % 40 şekil değişiminde elde edilen gerilme değeri yaklaşık % 122 iken iii. prosedür uygulandığında elde edilen değer % 300 artış olarak gözükmektedir.



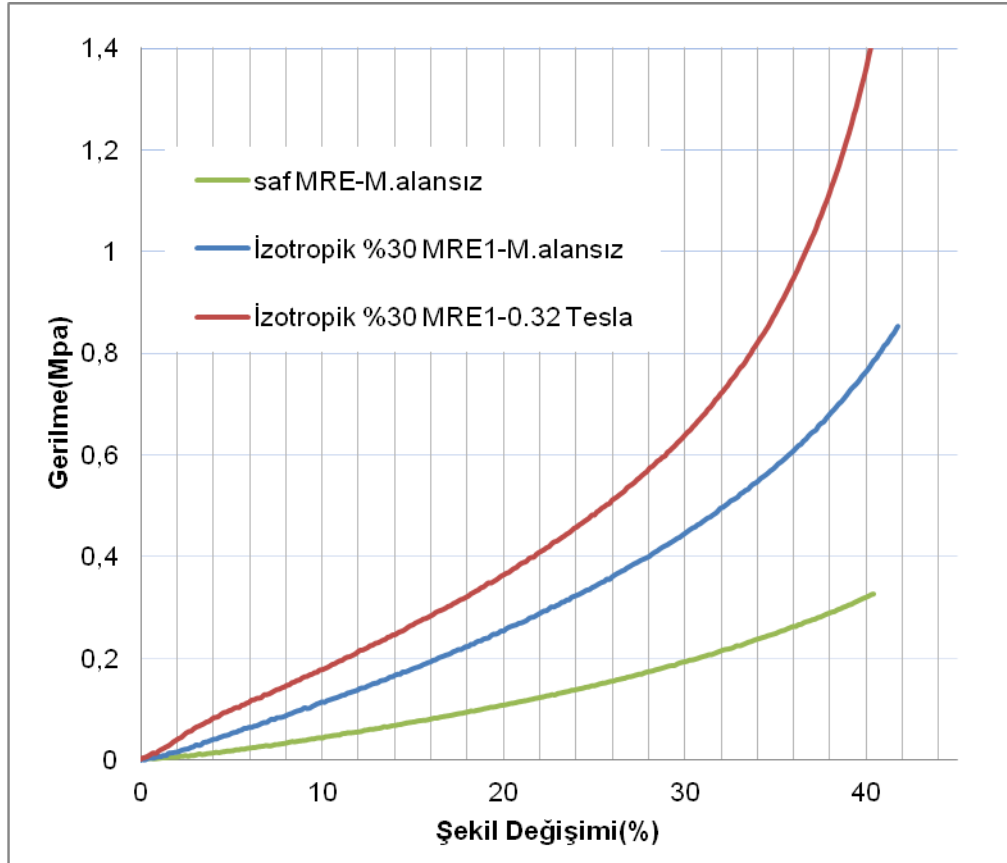
Şekil 5. Vario 40 malzemesinin izotrop durumda iii. prosedür kullanılarak iki ayrı numune için yüklem eğrileri



Şekil 6. Vario 40 malzemesinin birinci numuneler için izotrop durumda ii. ve iii. prosedür kıyası



Şekil 7. Vario 40 malzemesinin ikinci numuneler için izotrop durumda ii. ve iii. prosedür kıyası



Şekil 8. Vario 40 malzemesinin birinci numune için izotrop durumda genel kıyası

Sonuçta MR malzemeler için saf durumda Mullins etkileri Vario 40 malzeme kullanıldığında herhangi bir şekilde görülmemektedir İzotrop olarak malzeme üretildiğinde ise bu etkiyi ortadan kaldırmak için üç ayrı prosedür uygulanması gerektiği ortaya konulmuştur. Aynı zamanda prosedürlerin birbirleriyle kıyası neticesinde % 80'lere varan gerilme artışı bulunmuştur. Saf ve izotrop numunelerin kıyasıyla ise % 300 değerlerine varan artışlar söz konusu olmaktadır.

### Referanslar

- [1] J. Rabinow, The magnetic fluid clutch, AIEE Trans. vol. 67, 1308–1315, 1948.
- [2] Wilson MJ, Fuchs A, Gordannejad F. Development and characterization of magnetorheological polymer gels. J Appl Polym Sci. vol. 84, 2733–2742, 2002.
- [3] Albanese AM., Cunefare KA. Properties of magnetorheological semiactive vibration absorber, smart structures and materials : Damping and isolation. Proc SPIE: vol. 5052 36–43, 2003.
- [4] Shen Y, Golnaraghi MF, Heppler GR. Experimental research and modeling of magnetorheological elastomers. J Intell Mater Syst Struct. vol. 15, 27–35, 2004.
- [5] Mitsumata T. Furukawa K, Juliac E, Iwakura K, Koyama K. Compressive modulus of ferrite containing polymer gels. Int J Modern Phys B. vol. 16,17–18, 2419–2425, 2002.
- [6] Zhou GY, Complex shear modulus of a magnetorheological elastomer. Smart Mater Struct. vol. 13, 1203–1210, 2004.
- [7] Chen L, Gong XL, Li WH. Effect of carbon black on the mechanical performances of magnetorheological elastomers. Polym Test. vol. 27, 3, 340–345, 2008.
- [8] Watson JR. US Patent 5.609.353 1997.
- [9] Dorfmann A, Ogden RW. Magnetoelastic modeling of elastomers. Eur J Mech A Solids. vol. 22, 497–507, 2003.
- [10] Zhang XZ, Li WH, Gong XL. An effective permeability model to predict field-dependent modulus of magnetorheological elastomers. Commun Nonlinear Sci Numer Simul. vol. 13, 9, 1910–1916, 2008.
- [11] Carlson JD, Jolly MR. MR fluid, foam and elastomer devices. Mechatronics. vol. 10: 555–569, 2000.
- [12] Ginder JM, Schlotter WF, Nichols ME, Inman DJ, Eds. Magnetorheological elastomers in tunable vibration absorbers. Smart structures and materials. vol. 4331, 103–110, 2001.
- [13] Ginder JM, Clark SM, Schlotter WF, Nichols ME. Magnetostrictive phenomena in magnetorheological elastomers. Int J Modern Phys B. vol. 16, 17–18, 2412–2418, 2002.
- [14] Bellan C, Bossis G. Field dependence of viscoelastic properties of MR elastomers. Int J Modern Phys B. vol. 16, 17–18, 2447–2453, 2002.
- [15] Horvath AT, Klingenberg DJ, Shkel YM. Determination of rheological and magnetic properties for magnetorheological composites via shear magnetization measurements. Int J Modern Phys B. vol. 16, 17–18, 2690–2696, 2002.
- [16] Demchuk SA, Kuzmin VA. Viscoelastic properties of magnetorheological elastomers in the regime of dynamic deformation. J Eng Phys Thermophys. vol. 75, 2, 396–400, 2002.
- [17] Watson, J.R. 1997. U.S. Patent 5609353, EP0784163 Ford Motor Co, GB.
- [18] Jolly, M.R., Carlson, J.D. & Munoz, B.C. A model of the behaviour of magnetorheological materials. Smart Mater. Struct. vol. 5, 607–614, 1996.
- [19] Davis, L.C. Model of magnetorheological elastomers. J. Applied Phys. vol. 85, 6, 3348–3351, 1999.
- [20] Lokander, M. & Stenberg, B. Performance of isotropic magnetorheological rubber materials. Polymer Testing. vol. 22, 245–251, 2002.
- [21] Lokander, M. & Stenberg, B. Improving the magnetorheological effect in isotropic magnetorheological rubber materials. Polymer Testing. vol. 22, 677–680, 2003.
- [22] Zhou, G.Y. Shear properties of a magnetorheological elastomer. Smart Mater. Struct. vol. 12, 139.146, 2003.
- [23] Zhou, G.Y & Li, J.R. Dynamic behavior of a magnetorheological elastomer under uniaxial deformation: I. Experiment. Smart Mater. Struct. vol. 12, 859–872, 2003.
- [24] Diani J., Fayolle P., Gilormini P. A Review on the Mullins effect. Polymer testing. vol. 45, 601–612, 2009.
- [25] Schuber G., Harrison P. Large-strain behavior of Magneto-rheological Elastomers tested under uniaxial compression and tension, and pure shear deformations. Polymer testing. vol. 42, 122–134, 2015.