



SBR, NBR, NR ve EPDM Sentetik Kauçuk Türlerinin Normalize Edilmiş Gerilme Gevşemesi Davranışları **Normalized stress relaxation behaviors of SBR, NBR, NR and EPDM synthetic rubber species**

Uğur Mazlum ^{1*} 

¹ Gümüşhane Üniversitesi Kürtün Meslek Yüksekokulu, Gümüşhane, TÜRKİYE
Sorumlu Yazar / Corresponding Author *: ugurmazlum@gumushane.edu.tr

Geliş Tarihi / Received: 08.04.2019

Kabul Tarihi / Accepted: 20.06.2020

Atıf şekli/ How to cite: MAZLUM, U.,(2020). SBR, NBR, NR ve EPDM Sentetik Kauçuk Türlerinin Normalize Edilmiş Gerilme Gevşemesi Davranışları. DEUFMD 22(66), 965-973.

Araştırma Makalesi/Research Article

DOI:10.21205/deufmd.2020226629

Öz

Kauçuk türü malzemeler gelişen teknoloji göz önüne alındığında farklı uygulama alanlarında kullanılmaktadır. Fakat bu tür malzemelerin mekanik özelliklerinin tam olarak anlaşılmasını engelleyen gerilme gevşemesi gibi inelastik özellikler ortaya çıkmaktadır. Ayrıca farklı uzama oranlarındaki kauçuk türü malzemelerin ömürleri, malzemenin gerilme gevşemesi deneyinden elde edilen gerilme-zaman verilerinin normalize edilerek 0-1 gerilme skalasında çizilmesiyle elde edilebilmektedir. Bu çalışmada dört kauçuk türü, üç sertlik değeri ve iki farklı prosedür kullanılarak normalize edilmiş gerilme gevşemesi testleri yapılmıştır. Sonuç olarak sertliğin artışı gerilme değerini % 9 oranında düşürmesine rağmen prosedürler arasındaki gerilme değerlerinde artış en fazla % 7,3 ile NR kauçuk malzemesinde ve ön prosedürlü durumda olduğu gözlemlenmiştir. Dolayısıyla deneylerden önce ön prosedür uygulanması, malzemelerin ömürlerini malzeme karakteristiğine bağlı olarak belli oranda artırmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Kauçuk, gerilme gevşemesi, uzama oranı

Abstract

Rubber-like materials are used in different application areas considering the developing technology. However, inelastic properties such as stress relaxation, which prevent the mechanical properties of such materials from being fully understood. In addition, the lifetimes of rubber-type materials with different elongation rates can be obtained by normalizing the stress-time data obtained from the stress relaxation test of the material and drawing it on a 0-1 stress scale. In this study, normalized stress relaxation tests were performed using four types of rubber, three hardness values and two different procedures. As a result, although the increase of hardness decreased the tensile value by 9%, it was observed that the increase in tensile values between the procedures was at the maximum of 7.3% in the NR rubber material and in the pre-procedural state. Therefore, applying preliminary procedures before the experiments increases the lifetimes of the materials to a certain extent depending on the material characteristics.

Keywords: Rubber, stress relaxation, elongation rate

1. Giriş

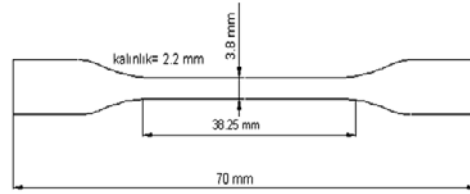
Gerilme gevşemesi deneyi kauçuk türü malzemelerin mekanik ve termal özelliklerinin belirlenmesinde her geçen gün önemi artan bir deneydir. İlk yıllarda sadece üniversitelerin bilimsel araştırma projelerinde çalışma yapılmasına rağmen günümüzde artık, özellikle o-ring, keçe ve conta imalatının yapıldığı kurumlarda ve otomobil endüstrisinde standart bir test metodu olma yolundadır [1]. Kauçuk türü malzemelerde sabit deformasyon altında gerilme zamanla azaldığı gözlenmiş ve kauçuk türü malzemelerin bu davranışı, literatürde, "Gerilme Gevşemesi" olarak adlandırılmıştır [2-3]. Literatürde, kauçuğun bu inelastik davranışını modellemek için ilk bilimsel çalışma 1944 yılında Tobolsky [4] tarafından yapılmıştır. Kauçuk kompozitlerin performansı üzerinde gerilme gevşemesi bu kadar etkili olmasına rağmen günümüzde bu konuda pek fazla çalışma mevcut değildir [5]. Yapılan çalışmalarda farklı dolgu maddeleri ilave edilerek kompozit malzemeler üretilmiş ve gerilme gevşemesi testleri gerçekleştirilmiştir. Silika ve titanyum dioksit katkılı doğal kauçuk (NR) kompozitler [6], silikon kauçuk ve karbon nano tüp kompozitlerin basma gerilme gevşemesi üzerine dolgu malzemelerinin etkisi [7], organik olarak modifiye edilmiş kil malzemesinin iki konsantrasyonu ile güçlendirilmiş doğal / nitril kauçuk nano kompozitler [8] üzerine çalışmalar yapılmıştır. Ayrıca düşük sıcaklıklarda karbon siyahıyla güçlendirilmiş Hidrojen Nitril Kauçuk (HNBR) [9], hibrit karbon siyahı ve metakaolin dolgululu Nitril Kauçuk (NR) [10], gerilme gevşemesine thermo-oksidasyon etkisi [11], yaşlandırma koşulları altında bütadien kauçuk (BR) modeli [12] ve polimerlerin gerilme gevşemesi davranışı için yeni mekanik test [13] gibi örneklerde verilebilir. Gerilme gevşemesi testleri numuneye uygulanan basma ve tek eksenli çekme uygulamalarıyla universal test cihazları vasıtasıyla gerçekleştirilebilmektedir. Bu testler için ISO 3384 [14] ve ISO 6914 [15] gibi bazı standartlar geliştirilmiştir. Ayrıca ASTM E328 [6] genelde malzeme ve yapıların gerilme gevşemesinin metodolojisini ve prosedürleri ifade etmektedir. Gerilme gevşemesi deneyinden elde edilen gerilme-zaman verilerinin farklı uzama oranlarındaki deney sonuçlarını kıyaslayabilmek için deneysel verilerin normalize edilerek grafiklerin çizilmesi gerekmektedir [17]. Literatürde bu tip uygulama ilk olarak Tobolsky ve arkadaşlarının

çalışmalarında [4] görülmektedir. Literatürde gerilmenin normalize değeri, deneyden okunan gerilmenin 0.01. saatteki değerine [19], 0.1. saatteki değerine [20] veya 1.0. saatteki değerine [21] bölünmesiyle elde edilmiştir. Bu çalışmada öncelikle EPDM sentetik kauçuğunun farklı sertlik değerlerinde ve uzama oranındaki normalize gerilme zaman ve gerilme uzama oranı grafikleri çizilmiş ve birbirleriyle kıyaslanmıştır. Daha sonra SBR, NBR, NR ve EPDM kauçuk numuneleri dikkate alınarak normal prosedür ve ön presedürlü normalize gerilme verileri elde edilmiştir. Ayrıca deneyden okunan gerilme değerlerinin (σ_t) 0.1. saatteki gerilme değerine ($\sigma_{0.1}$) bölünerek elde edilmiş grafiklerin 2. ve 10. saatteki normalize gerilme uzama oranı grafikleri elde edilmiştir.

2. Deneysel Çalışmalar

2.1. Malzemeler

Yapılan çalışmada kristalize olmayan SBR, NBR, NR ve Shore A60, 70, 80 sertlik değerlerindeki EPDM kauçuğundan hazırlanan numuneler kullanılmıştır. Bu numuneler dumbell şeklinde özel bir kesme makinasında hassas bir şekilde kesilerek hazırlanmıştır. Numune boyutları Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Numune boyutları

2.2. Deneysel Prosedürleri

Bu çalışmada iki farklı deney prosedürü kullanılmıştır. Her bir kauçuk türü, en az üç numune kullanılarak bu deney prosedürlerine tabi tutulmuşlardır. Şekil 2a'da görülen deney prosedüründe numuneler tek eksenli deney düzeneğindeki çeneler arasında bağlandıktan sonra $\lambda=1,5'$ e kadar 100 mm/dak çekme hızıyla deforme edilmiş ve 10 saat gerilme-zaman verileri kaydedilmiştir. Daha sonra uzama oranı $\lambda=2,0'$ a çıkarılarak aynı şekilde 10 saat beklenmiştir. Tüm bu işlemler $\lambda=2,5$ değerine kadar gerçekleştirilmiştir. Böylece toplam olarak 30 saat Şekil 2a'daki deney prosedürüyle deney yapılmış

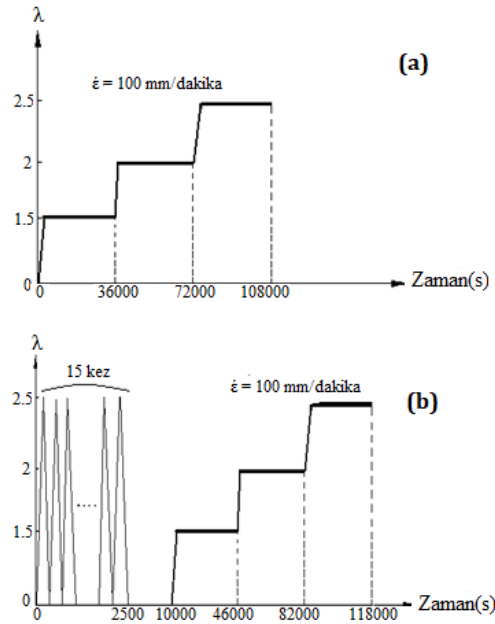
olmaktadır. Bu deney prosedürüne ek olarak başlangıçta 15 kez yükleme boşaltma yapıldıktan sonra 2 saat yüksüz konumda bekletilmiş ve Şekil 2b’de görülen deney prosedürü elde edilmiştir. Bu prosedür kauçuk malzemeleri üzerindeki gerilme yumuşaması (mullins etki) olarak ifade edilen mekanik özelliklerin anlaşılmasını zorlaştıran parametreyi ortadan kaldırmaktadır. Yani malzemede oluşan kalıcı deformasyon etkisini giderdiği için mekanik özellikler üzerinde artış etkisi ortaya koymaktadır. Bu deney prosedürü ile uzama oranının gerilme gevşemesine etkisi araştırılmıştır. Ayrıca bu deney ile malzemenin ömrü tahmin edilebilmektedir.

3. Bulgular ve İrdeleme

Kauçuk türü malzemelerin inelastik özelliklerinden bir tanesi de gerilme gevşemesi yani sabit deformasyon altında gerilmenin zamanla azalmasıdır. Gerilme gevşemesi deneyinden amaç; malzemenin zaman içerisindeki gerilmelerdeki azalmasını belirlemesi, dolayısıyla da, malzemenin kullanım ömrünün hesaplanabilmesidir. Kauçuk türü malzemelerin ömürleri belirlenirken ilgili malzemenin gerilme gevşemesi deneyinden elde edilen gerilme-zaman verileri normalize edilerek 0-1 gerilme skalasında çizilir. Gerilmenin normalize edilmiş değeri, ($\sigma_t / \sigma_{0.01}, \sigma_{0.1}, \sigma_{1.0}$) deney sırasında okunan değerin (σ_t), deneyin başlangıcındaki değerlere ($\sigma_{0.01}, \sigma_{0.1}, \sigma_{1.0}$) bölünmesiyle elde edilmektedir. Buradan gerilmenin 1 olması demek, deneyden okunan değerin malzemenin gerilme gevşemesi deneyinin başlangıç değerine eşit olması demektir. Gerilmenin 0 olması demek ise, deneyden okunan değeri sıfır olur ki, malzeme artık tamamen özelliğini kaydetmiş demektir. Yapılan çalışmada SBR, NBR, NR ve Shore A60, 70, 80 sertlik değerlerindeki EPDM kauçuk malzemelerinin sürekli ölçüm yöntemini kullanarak gerilme gevşemesi deneyleri farklı uzama oranlarında hava ortamı için gerçekleştirilmiş ve normalize gerilme-zaman ve uzama oranı grafikleri çizilmiştir. Ayrıca deneyler, deney numunelerine ön prosedür uygulanmış ve uygulanmamış durum içinde yapılarak sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Shore A60 sertlik değerindeki EPDM kauçuk numunesinin normalize edilmiş gerilme- zaman grafikleri Şekil 3a-c’de görülmektedir. Şekil

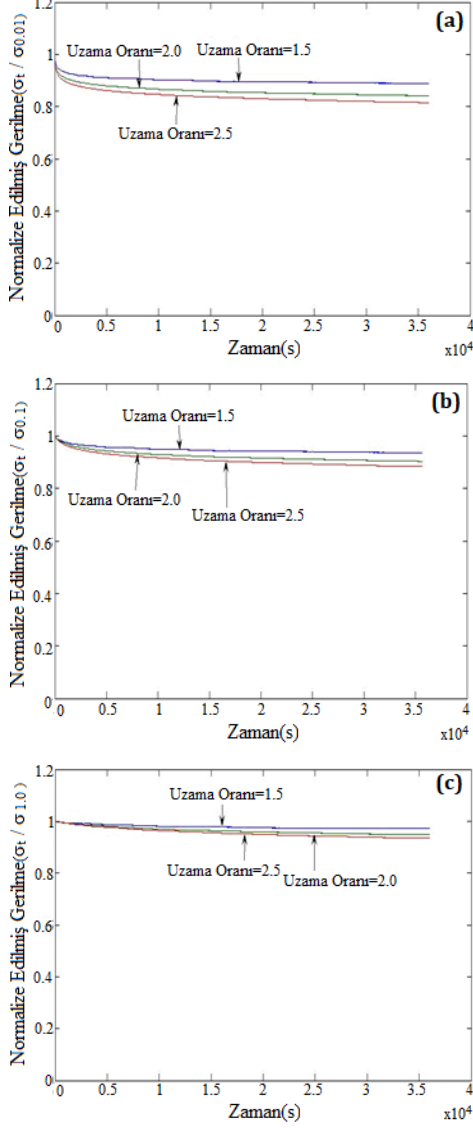
3c’deki grafik göz önüne alındığında farklı uzama oranlarındaki gerilme-zaman grafiklerinin hemen hemen üst üste çıktığı görülmektedir. Bu durum Şekil 4a-c’deki grafikler için de geçerlidir. Dolayısıyla literatürde 0.01, 0.1 ve 1.0. saatteki gerilme değerlerine göre uzama oranlarının kıyası neticesinde 1.0. saatteki normalize gerilme zaman grafiklerini tek bir uzama oranıyla ifade etmenin mümkün olduğu söylenebilir. Fakat SBR, NBR, NR ve Shore A60, 70, 80 sertlik değerlerindeki EPDM kauçuk numuneleri göz önüne alındığında grafiklerden elde edilen gerilme değerlerinin 0.1. saatteki gerilme değerine bölünmesiyle elde edilen grafikler arasında kıyaslama yapılmasının daha uygun olduğu ortaya konulmuştur.



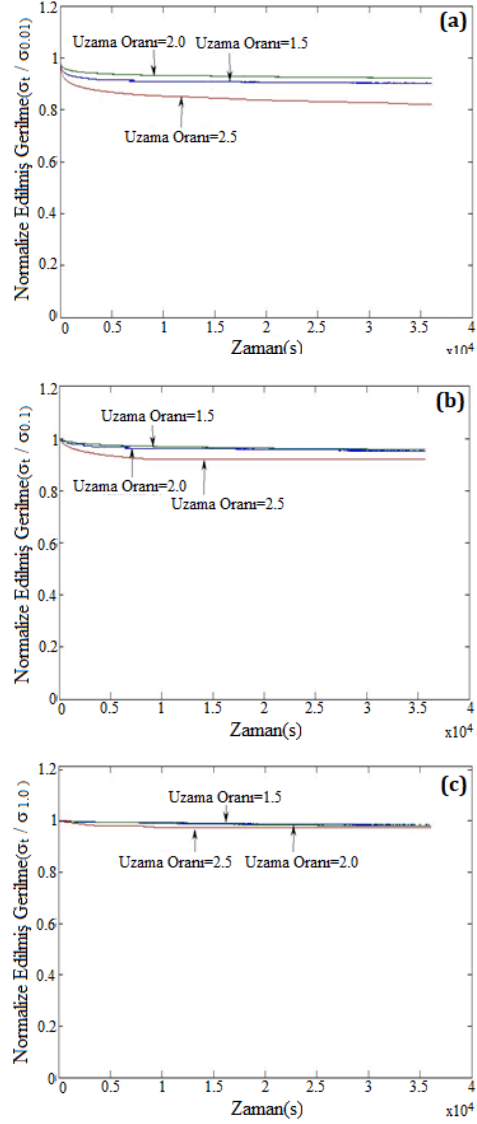
Şekil 2. Malzemeye a) normal b) ön prosedür uygulanmış gerilme gevşemesi deney prosedürleri

Şekil 5’te, Şekil 3 ve 4’deki normalize edilmiş gerilme-zaman verileri kullanarak her bir uzama oranı için 2. ve 10. saatlerdeki normalize edilmiş gerilme değerlerinin uzama oranı ile değişimi görülmektedir. Bu grafikten normalize edilmiş gerilme artan uzama oranıyla yaklaşık lineer olarak azalmaktadır. Ayrıca ön prosedür uygulanması gerilme değerini her bir uzama oranı için artırmaktadır. Buradan Shore A60 sertlik değerinde $\lambda = 1.5$ uzama oranında normalize gerilme değeri 0.976 olurken, en

büyük gerilme artışı $\lambda = 2.0$ uzama oranında ve 10 saat sonraki normalize gerilme-uzama oranı grafiğinde % 6 olarak bulunmuştur.



Şekil 3. EPDM kauçuk numunesinin shore A60 sertlik değerinde $\lambda = 1.5, \lambda = 2.0, \lambda = 2.5$ 'da a) 0.01, b) 0.1 ve c) 1.saatteki gerilme değeri ile normalize edilmiş gerilme-zaman grafikleri

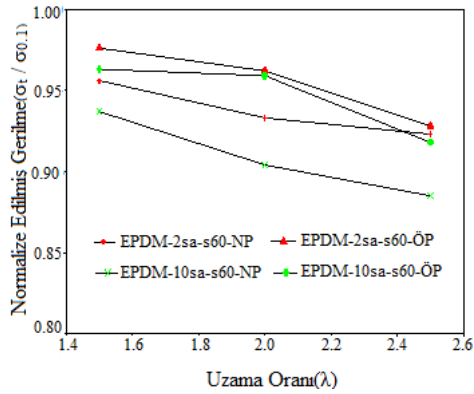


Şekil 4. EPDM kauçuk numunesinin shore A60 sertlik değerinde $\lambda = 1.5, \lambda = 2.0, \lambda = 2.5$ 'da a) 0.01, b) 0.1 ve c) 1. saatteki gerilme değeri ile ön prosedür uygulanmış ve normalize edilmiş gerilme-zaman grafikleri

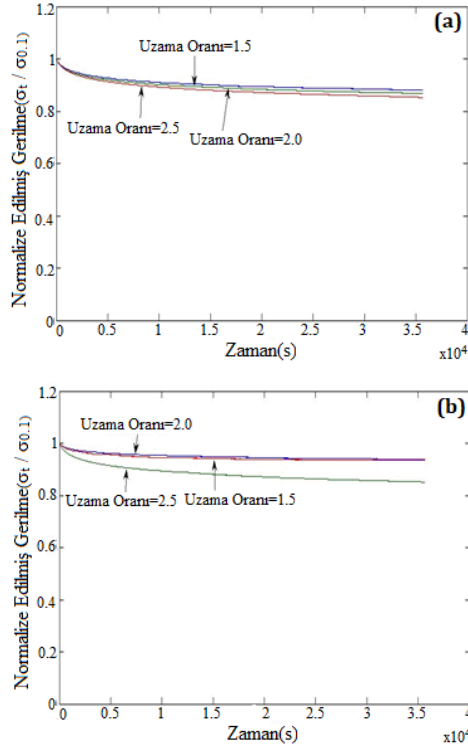
Shore A70 sertlik değerinde ise normal ve ön deformasyon prosedürü 0.1. saatteki gerilme değeri ile normalize gerilme-zaman eğrileri göz önüne alınarak kıyaslandığında Shore A60 sertlik değerindeki numuneden elde edilen sonuçlara benzemediği görülmektedir. Normal prosedürde grafiklerde çakışma görülürken ön deformasyon prosedüründe $\lambda = 2.5$ uzama

oranından elde edilen grafik farklılık göstermektedir. Bu durum şekil 6'da açık bir şekilde görülmektedir. Aynı zamanda şekil 7'deki grafiklerinin kıyası neticesinde normal prosedürlerde lineer düşüş görülürken, ön prosedür uygulanmış numunelerden elde edilen grafiklerde $\lambda = 2.0$ uzama oranından sonra önemli bir gerilme düşüşü gerçekleşmektedir. Normal ve ön prosedürlü grafikler $\lambda = 2.5$ uzama oranında çakışmaktadır. Ayrıca en büyük gerilme artışı $\lambda = 2.0$ uzama oranında ve 10 saat sonraki normalize edilmiş gerilme-uzama oranı grafiğinde % 7 olarak bulunmuştur.

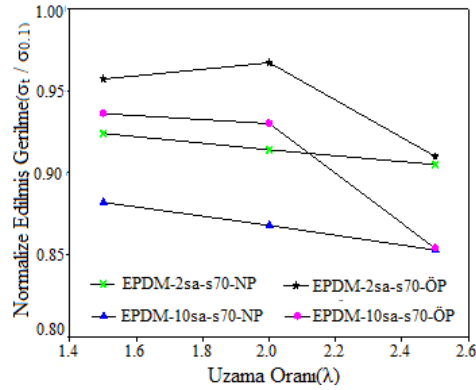
Shore A80 sertlik değerindeki numunede elde edilen veriler shore A70 değerleriyle her açıdan benzerlik göstermektedir. Bu durum şekil 8 ve şekil 9'da görülmektedir. Dolayısıyla normalize edilmiş gerilme uzama oranı grafiklerinde normal prosedürler göz önüne alındığında uzama oranının artışıyla gerilmede düşüş söz konusu iken ön prosedürlü durumda $\lambda = 2.0$ uzama oranına kadar lineer bir gerilme artışı görülmektedir. Deneyde kullanılan numunelerin mullins etkilerinin giderilmesi gerilme artışında önemli bir etkiye sahiptir.



Şekil 5. EPDM kauçuk numunesinin shore A60 sertlik değerinde her bir uzama oranı için 2 ve 10 saat sonraki normalize edilmiş ve ön prosedür uygulanmış gerilme-uzama oranı grafiklerinin kıyası



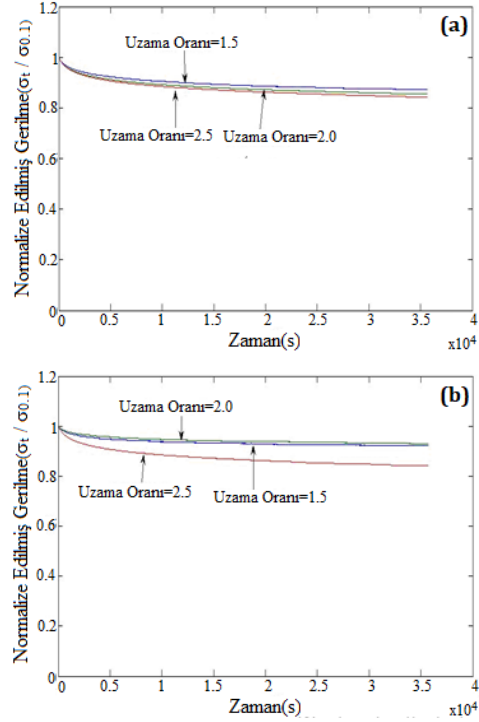
Şekil 6. EPDM kauçuk numunesinin Shore A70 sertlik değerinde $\lambda = 1.5$, $\lambda = 2.0$, $\lambda = 2.5$ 'de 0,1. saatteki gerilme değeri ile a) normal prosedür b) ön prosedür uygulanmış gerilme-zaman grafikleri



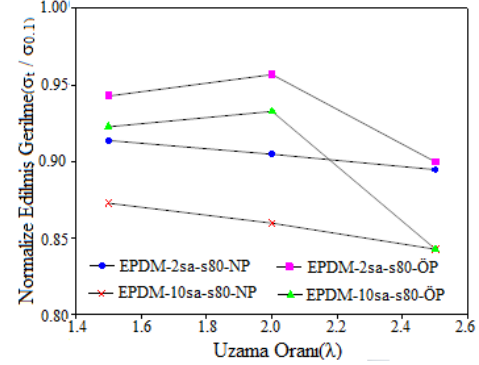
Şekil 7. EPDM kauçuk numunesinin shore A70 sertlik değerinde her bir uzama oranı için 2 ve 10 saat sonraki normalize edilmiş ve ön prosedür uygulanmış gerilme-uzama oranı grafiklerinin kıyası

EPDM kauçuk numunesinin üç farklı sertlik ve uzama oranı değerlerinde şekil 5, şekil 7 ve şekil 9 grafiklerinden elde edilen normalize gerilme uzama oranı değerleri 2 saat ve 10 saat sonraki normalize edilmiş ve ön prosedür uygulanmış gerilme-uzama oranı grafikleriyle kıyası şekil 10'da toplu olarak verilmiştir. Bu grafiklere ait sayısal veriler tablo 1'de görülmektedir. Burada sertliğin ve uzama oranının artışıyla gerilmede önemli düşüş olmakta ve normal prosedür ile ön prosedürlü grafikler üst üste çakışmaktadır. Ayrıca gerilme artışındaki en büyük değer $\lambda = 2.0$ uzama oranında ve Shore A80 sertlik değerinde % 8,5 olarak elde edilmiştir.

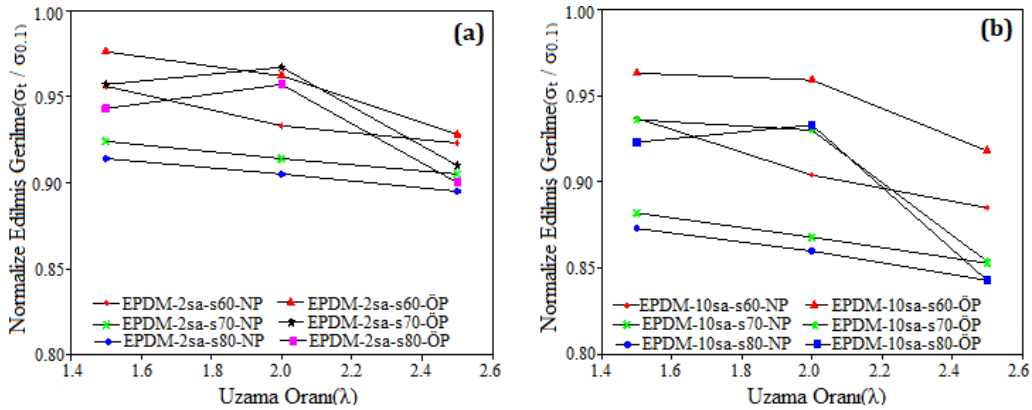
EPDM kauçuk numunesinin üç farklı sertlik ve uzama oranı değerlerinde kıyası yapıldıktan sonra SBR, NBR, NR ve EPDM sentetik kauçuk numunelerinin aynı şekilde kıyası yapılarak şekil 11'de verilen grafikler elde edilmiştir. Grafiklere ait ayrıntılı gerilme-uzama oranı verileri tablo 2'de verilmiştir. Tüm kauçuk türlerinde normal prosedür ve ön prosedür arasındaki kıyas neticesinde 2 saat normalize değerine göre 10 saat normalize değerinde gerilme artışı daha fazla olmaktadır. Farklı sertlikteki EPDM kauçuk numunelerinin aksine $\lambda = 2.5$ uzama oranında gerilme değerlerinde hiçbir koşulda çakışma olmamaktadır. Ayrıca normal prosedür ve ön prosedürdeki gerilme değerleri göz önüne alındığında en büyük gerilme artışı % 7 ile 11-b grafiğindeki NR kauçuk numunede elde edilmiştir.



Şekil 8. EPDM kauçuk numunesinin Shore A80 sertlik değerinde $\lambda = 1.5$, $\lambda = 2.0$, $\lambda = 2.5$ 'de 0,1. saattaki gerilme değeri ile a) normal prosedür b) ön prosedür uygulanmış gerilme-zaman grafikleri



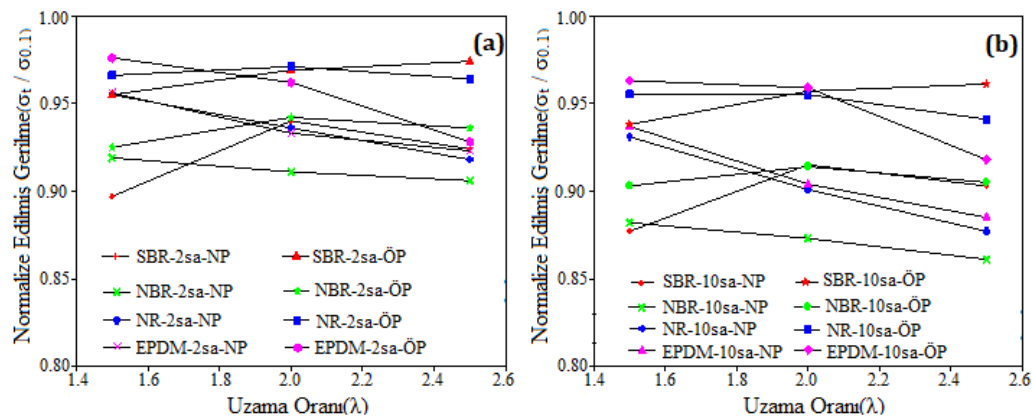
Şekil 9. EPDM kauçuk numunesinin shore A80 sertlik değerinde her bir uzama oranı için 2 ve 10 saat sonraki normalize edilmiş ve ön prosedür uygulanmış gerilme-uzama oranı grafiklerinin kıyası



Şekil 10. EPDM kauçuk numunesinin üç farklı sertlik değerinde her bir uzama oranı için a) 2 saat, b) 10 saat sonraki normalize edilmiş ve ön prosedür uygulanmış gerilme- uzama oranı grafiklerinin kıyası

Tablo 1. EPDM kauçuk numunesinin üç farklı sertlik değeri ve uzama oranında 2 saat ve 10 saat sonraki gerilme değerlerinin normal ve ön prosedürlü olarak kıyası

Uzama Oranı(λ)	Normal Prosedürlü Gerilme(σ)						Ön Prosedürlü Gerilme(σ)					
	Shore A60		Shore A70		Shore A80		Shore A60		Shore A70		Shore A80	
	2 saat	10 saat	2 saat	10 saat	2 saat	10 saat	2 saat	10 saat	2 saat	10 saat	2 saat	10 saat
$\lambda = 1.5$	0,956	0,937	0,924	0,882	0,914	0,873	0,976	0,963	0,957	0,936	0,943	0,923
$\lambda = 2.0$	0,933	0,904	0,914	0,868	0,905	0,860	0,962	0,959	0,967	0,930	0,957	0,933
$\lambda = 2.5$	0,923	0,885	0,905	0,853	0,895	0,843	0,928	0,918	0,910	0,854	0,900	0,843



Şekil 11. SBR, NBR, NR, EPDM kauçuk numunelerinin üç farklı uzama oranı için a) 2 saat, b) 10 saat

sonraki normalize edilmiş ve ön prosedür uygulanmış gerilme-uzama oranı grafiklerinin kıyası

Tablo 2. SBR, NBR, NR, EPDM kauçuk numunelerinin üç farklı uzama oranında 2 saat ve 10 saat sonraki gerilme değerlerinin normal ve ön prosedürlü olarak kıyası

Uzama Oranı (λ)	Normal Prosedürlü Gerilme(σ)								Ön Prosedürlü Gerilme(σ)							
	SBR		NBR		NR		EPDM		SBR		NBR		NR		EPDM	
	2 saat	10 saat	2 saat	10 saat	2 saat	10 saat	2 saat	10 saat	2 saat	10 saat	2 saat	10 saat	2 saat	10 saat	2 saat	10 saat
$\lambda=1.5$	0,897	0,877	0,919	0,882	0,955	0,931	0,956	0,937	0,955	0,938	0,925	0,903	0,966	0,955	0,976	0,963
$\lambda=2.0$	0,940	0,915	0,911	0,873	0,936	0,901	0,933	0,904	0,969	0,957	0,942	0,914	0,971	0,955	0,962	0,959
$\lambda=2.5$	0,924	0,903	0,906	0,861	0,918	0,877	0,923	0,885	0,974	0,961	0,936	0,905	0,964	0,941	0,928	0,918

4. Sonuçlar

Mühendislik gerilmesi-zaman grafiklerini farklı uzama oranlarında kıyaslayabilmek için normalize edilmiş gerilme-zaman grafikleri çizilmiştir. Ön prosedürlü numunelerde oluşan gerilme değerlerinin normal prosedürlü numunelerde ölçülen değerlere göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu durum ise aynı malzemeler için ön prosedür uygulanmış malzemelerin daha uzun ömürlüymüş gibi anlaşılmasına sebep olabilmektedir. Fakat bu sonuç mantıken yanlıştır. Aynı kullanım şartlarındaki malzemenin sadece tek ömrü vardır. Buradan da görüleceği üzere ön prosedür uygulamak malzemenin özelliklerini etkilemesi yanında malzemenin ömür değerini de etkilemektedir. Ayrıca EPDM Shore A60 sertlik değerinde $\lambda=1.5$ uzama oranında normalize gerilme değeri 0.976 olurken, en büyük gerilme artışı $\lambda=2.0$ uzama oranında ve 10 saat sonraki normalize gerilme-uzama oranı grafiğinde % 6 olarak bulunmuştur. Bu değer Shore A70 ve Shore A80 sertlik değerlerinde sırasıyla % 7 ve % 8,5 olarak elde edilmiştir. Bu durumun aksine sertliğin artışı gerilme değerini % 9 oranında azaltmıştır. Aynı zamanda dört farklı kauçuk türünün prosedürleri arasındaki gerilme artışı değerleri kıyaslandığında en fazla gerilme artışı % 7,3 ile NR kauçuk numunesinde olduğu gözlemlenmiştir. Sonuç olarak Kauçuk türü malzemelerin birbirinden farklı pek çok özellikleri vardır. Dolayısıyla yapılan bu çalışmanın daha farklı kauçuk malzemelerine uygulanması sağlanabilir.

Bunun yanında yeni test prosedürleri kullanılarak

çalışmanın hangi noktalara gittiği konusunda bir değerlendirme yapılabilir.

Kaynakça

- [1] Anonim, 1989. Elastomers and Rubbers. Machine Design, 61, 294-327.
- [2] Schidrowitz, P., Dawson, T.R. 1952. History of the Rubber Industry, W. Heffer & Sons Ltd., Cambridge.
- [3] Morawetz, H. 2000. History of Rubber Research. Rubber Chemistry and Technology, Cilt. 73 (3), s. 405-426.
- [4] Tobolsky, A.V., Prettyman, I.B., Dillon, J.H. 1944. Stress Relaxation of Natural and Synthetic Rubber Stocks. Journal of Applied Physics, Cilt. 15, s. 380-395.
- [5] Fernandes, V.A., De Focatiis, D.S.A. 2014. The role of deformation history on stress relaxation and stress memory of filled rubber. Polymer Testing, cilt 40, s. 124-132.
- [6] Meera, A.P., Said, S., Grohens, Y., Luyt, A.S., Thomas, S. 2009. Tensile stress relaxation studies of TiO2 and Nanosilica filled natural rubber composites. Industrial & Engineering Chemistry Research, cilt 48, s. 3410-3416.
- [7] Wang, L., Han, Y. 2013. Compressive relaxation of the stress and resistance for carbon nanotube filled silicone rubber composite. Composite Part A Cilt. 47, s. 63-71.
- [8] Maria, H.J., Lyczko, N., Nzihou, A. 2014. Josepha K., Mathew C., Thomas S., Stress relaxation behavior of organically modified montmorillonite filled natural rubber/ nitrile rubber nanocomposites. Applied clay science, Cilt 87, s. 120-128.
- [9] Akulichev, A.G., Alcock, B., Echtermeyer, A.T. 2017. Stress relaxation in carbon black

- reinforced HNBR at low temperatures. *Polymer Testing*, Cilt 63, s. 226-235.
- [10] Da Rocha, E. B. D., Linhares, F. N., Gabriel, C. F. S., De Sousa, A. M. F., Guimarães, Furtado, C. R. 2018. Stress relaxation of nitrile rubber composites filled with a hybrid metakaolin/carbon black filler under tensile and compressive forces. *Applied Lay Science*, Cilt 151, s. 181-188.
- [11] Zhao, J.H., Yang, R., Lervolino, R., Vorst, B., Barbera, S. 2015. The effect of thermo-oxidation on the continuous stress relaxation behavior of nitrile rubber. *Polymer Degradation and Stability*, Cilt 115, s. 32-37.
- [12] Zheng, W., Zhao, X.Y., Li, Q.G., Chan, T.W., Zhang, L.Q., Wu, S.Z. 2017. Compressive stress relaxation modeling of butadiene rubber under thermo-oxidative aging. *Journal Applied Polymer Science*, Cilt. 134 (12).
- [13] De Melo, C.C., Macêdo, S., Sciuti, V.F., Canto, R.B. 2019. A novel mechanical test for the stress relaxation analysis of polymers. *Polymer Testing*, Cilt 73, s. 276-283.
- [14] ISO, RUBBER. 1991. Vulcanized or Thermoplastic - Determination of Stress Relaxation in Compression at Ambient and at Elevated Temperatures.
- [15] ISO, RUBBER. 2008. Vulcanized or Thermoplastic - Determination of Aging Characteristics by Measurement of Stress Relaxation in Tension.
- [16] ASTM. 1996. Standart Test Methods for Stress Relaxation Tests for Materials and Structures, West Conshohocken.
- [17] Vahapoğlu, V. 2006. Kauçuk Türü Malzemelerin İnelastik Özelliklerinin Deneysel Olarak İncelenmesi. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 224s, Trabzon.
- [18] Spetz, G. 2000. Stress Relaxation. Test Methods, Instruments and Lifetime Estimation. Technical Report.
- [19] Çalık, A. 1993. Soğuk Çekilmiş Karbonlu Çelik Tellerin Gevşeme Özelliğine Termomekanik Isıl İşlemin Etkisi. YTÜ.
- [20] Ataç, S. 1999. Değişik Yükleme Durumlarında Polipropilenin Gerilme Gevşemesine Bağlı Olarak Viskoelastik Davranışının İncelenmesi. İTÜ.
- [21] Berry, J. 1957. Helical Spring Stress Relaxometer. *Rubber Chemistry and Technology*, Cilt. 30, s. 889-894.