

Araştırma Makalesi

Doğal Kauçuk (NR)/Akrilonitril Bütadien Kauçuk (NBR) Karışımlarının Yağ Direnci Özelliklerinin İncelenmesi

Çağrı Çokaçar^{1,a,*}, İlker Köprü^{1,b}, Salih Hakan Yetgin^{2,c}

¹Seçil Kauçuk San. ve Tic. A.Ş., Tarsus, Mersin, Türkiye, 33400

²Tarsus Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Tarsus, Mersin, Türkiye, 33400

^acagric@seciltr.com, ^bilker.kopru@seciltr.com, ^cshakanyetgin@tarsus.edu.tr

Geliş: 05.02.2025

Kabul: 16.05.2025

DOI: 10.55581/ejeas.1633775

Öz. Günümüzde endüstride önemli bir yere sahip olan kauçuk esaslı ürünler ayakkabıdan otomobil lastiklerine tekstil ürünlerinden kırtasiye malzemelerine kadar geniş bir alanda kullanılmaktadırlar. Yağ dayanımı kauçuk malzemelerin kullanım alanını etkileyen en önemli faktörlerden birisidir. Bazı kauçuklar yağın içerisinde ve çevresinde çalışabilirken bazıları bozularak ve arızalanarak ekonomik olarak kayba neden olacaktır. Uygun seviyede yağ direncine sahip özellikleri geliştirilmiş doğru malzeme seçimi önem arz etmektedir. Bu çalışmada farklı doğal kauçuk (NR) ve nitril bütadien kauçuk (NBR) oranlarına sahip (100:0, 80:20, 70:30, 60:40, 50:50) NR/NBR karışımları hazırlanarak kürlenme ve şişme özelliklerine NBR kauçuğunun etkisi değerlendirilmiştir. NR kauçuğuna ilave edilen NBR kauçuğunun ilk pişme zamanını (t_{s2}) %22.4 oranında, optimum pişme zamanını (t_{90}) %15.7 oranında artırdığı, maksimum (MH) ve minimum (ML) tork değerlerini ise sırasıyla %5.9 ve %2.7 oranlarında azalttığı gözlenmiştir. NR kauçuğunun IRM901 yağındaki şişme oranı 50phr NBR ilavesi ile %58.4 oranında azalmıştır. NR kauçuğunun IRM903 yağındaki %99 olan şişme oranı 50NR/50NBR kauçuğunda %66.7 oranında azalarak %33 olarak elde edilmiştir. Yağ direnci düşük olan NR kauçuğuna ilave edilen NBR kauçuğunun yağ direncini önemli oranda artırdığı gözlenmiştir.

Anahtar kelimeler: NR, NBR, Şişme özellikleri, IRM901, IRM903.

Investigation of Oil Resistance Properties of Natural Rubber (NR)/Acrylonitrile Butadiene Rubber (NBR) Blends

Abstract: Rubber-based products, which hold a significant place in today's industry, are used in a wide range of areas from shoes to automobile tires and from textile products to stationery supplies. Oil resistance is one of the most crucial factors affecting the application areas of rubber materials. While some rubbers can perform effectively in environments with oil, others may degrade and fail, leading to economic losses. The selection of the correct material with developed properties for suitable oil resistance levels is of great importance. In this study, NR/NBR blends with different natural rubber (NR) and nitrile butadiene rubber (NBR) ratios (100:0, 80:20, 70:30, 60:40, 50:50) were prepared and the effect of NBR rubber on curing and swelling properties was evaluated. The addition of NBR rubber to NR rubber was observed to increase the curing time (t_{s2}) by 22.4%, the scorch time (t_{90}) by 15.7%, and decreased the maximum (MH) and minimum (ML) torque values by 5.9% and 2.7%, respectively. The swelling ratio of NR rubber in IRM901 oil decreased by 58.4% with the addition of 50 phr NBR. The swelling rate of NR rubber in IRM903 oil, which was 99%, was reduced by 66.7% in 50NR/50NBR rubber, resulting in 33%. It was observed that the addition of NBR rubber to NR rubber, which has low oil resistance, significantly increased its oil resistance.

Keywords: NR, NBR, Swelling Properties, IRM901, IRM903

*Sorumlu yazar

E-mail adresi: cagric@seciltr.com (Ç. Çokaçar)

1. Giriş

Kauçuk malzemeler endüstriyel bileşenlerde (titreşim izolatörleri, otomotiv kayışları, yakıt hortumları, yağ keçeleri, contalar, vb.) yaygın olarak kullanılmaktadır [1-2]. Dolgu ve katkı maddeleri, kauçuğun mekanik özelliklerini kontrol etmek, kauçuk ürünlerinin maliyetini düşürmek ve üretim proseslerini iyileştirmek için kullanılmaktadırlar [3]. Kauçuk üretiminde karbon siyahı, silika, titanyum dioksit, karbon fiber, karbon nanotüpler, kaolin, nano kaolin, hibrit dolgular vb. gibi farklı dolgu ve katkı maddeleri kullanılmaktadır [4-8]. Günümüzde istenilen ürünü elde etmek için iki veya daha fazla polimerin harmanlanması imalat ve otomotiv endüstrileri başta olmak üzere birçok endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır. Polimer karışımlarının özellikleri farklı formülasyon ve bileşimler kullanılarak ayarlanabilmektedir. Her bir kauçuk bileşeninin bireysel özellikleri, bileşenlerin dağılımı ve diğer bileşenler ile moleküler etkileşimi, karıştırma yöntemi ve işleme koşulları karışımın nihai özellikleri üzerinde önemli etkileri olan temel parametrelerdir [2, 9-12]. Yağ şişmesi kauçuk üzerinde olumsuz etkilere sahiptir. Yağ kauçuktan kimyasallar çıkarabilir veya onunla kimyasal reaksiyona girebilir ve bu da zamanla mekanik özelliklerin bozulmasına yol açabilir [1, 13]. Kauçuğun yağa karşı direnci, özellikle contalarda, hortumlarda ve otomotiv uygulamalarında nihai uygulamasını belirlemede en önemli faktörlerden biridir [14].

Doğal kauçuk (NR) mükemmel mekanik özelliklere, esnekliğe ve işlenebilirliğe sahip polar olmayan bir elastomerdır. Dolayısıyla, lastikler, hortumlar, eldivenler, ayakkabılar, taşıma bantları, toplar ve yastıklar gibi çok sayıda uygulamada yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak yağ direnci zayıftır ve çift bağları nedeniyle ozona, ışığa, neme ve ısıya karşı hassastır [2, 15-18]. NR'nin yağ veya solventlere karşı direncini artırmanın pratik ve ekonomik yolu, NR kauçuğunun polar polimerlerle, özellikle Akrilonitril bütadien kauçukla (NBR) karıştırılmasıdır [16]. Akrilonitril bütadien kauçuğu (NBR) geniş bir sıcaklık aralığında üstün yağ direnci özelliklerinin yanı sıra aşınmaya, suya, alkollere ve ısıya karşı mükemmel dirence sahiptir. Bu nedenle, NBR kauçuğu O-ring, sızdırmazlık contaları, konveyör kayışı, hortumlar, bağlantı elemanları, membranlar, vals kaplamaları ile aşınmaya dayanıklı parçaların imalatında yaygın olarak kullanılmaktadır [2, 19-20]. Ancak NBR kauçuğu NR kauçuğuna göre daha pahalı olmakla birlikte dielektrik özellikleri zayıftır ve ozona karşı direnci vardır [21]. Kauçuk sektörünün, gelişmiş fiziksel özelliklere sahip şişme/yağ bozulmasına dirençli ve iyi mekanik mukavemete sahip bir kauçuk malzeme talebi bulunmaktadır. Bu tür özellikler doğal kauçuk (NR) ve Akrilonitril bütadien kauçuk (NBR) malzemelerin harmanlanması ile elde edilebilir. Doğal kauçuk iyi mekanik mukavemete sahipken, akrilonitril bütadien kauçuk yağ deformasyonuna dirençlidir. En iyi özellikleri elde etmek için her iki elastomer de birleştirilebilir [2, 16, 22]. Omran ve arkadaşları [23] yaptıkları çalışma sonucunda NBR/PVC karışımlarının mükemmel motor ve hidrolik yağ

direncine sahip olduklarını, yakıt ve yağ direnci açısından en iyi kauçuğun 30phr'yi aşmayan PVC konsantrasyonu ile elde edildiğini belirtmişlerdir. Nihmath ve Ramesan [24] klorlu-NBR (Cl-NBR) kauçukların petrol yakıtlarına ve yağlara karşı direncini araştırdıkları çalışma sonucunda, Cl-NBR'nin yağ direnci özelliğinin saf NBR'den önemli ölçüde daha yüksek olduğunu ve Cl-NBR'nin ASTM yağındaki şişmesinin NBR'den üç kat daha düşük olduğunu belirtmişlerdir. Chakrit ve arkadaşları [25] ise 20NR/80NBR karışımındaki yağ direncinin, karışımın faz morfolojisine büyük ölçüde bağlı olduğunu belirtmişlerdir. NR dağılmış faz boyutunu ne kadar küçükse, karışımın yağa karşı direncinin o kadar yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu çalışmada da NR kauçuğuna farklı oranlarda ilave edilen NBR kauçuğunun NR/NBR karışımlarının reolojik ve yağ direnci özelliklerine etkisi incelenmiştir. NR/NBR karışımlarının IRM901 ve IRM 903'e karşı yağ direnci, ISO 1817'de açıklanan yöntem kullanılarak 70 °C sıcaklıkta ve 72 saat süreyle belirlenmiştir.

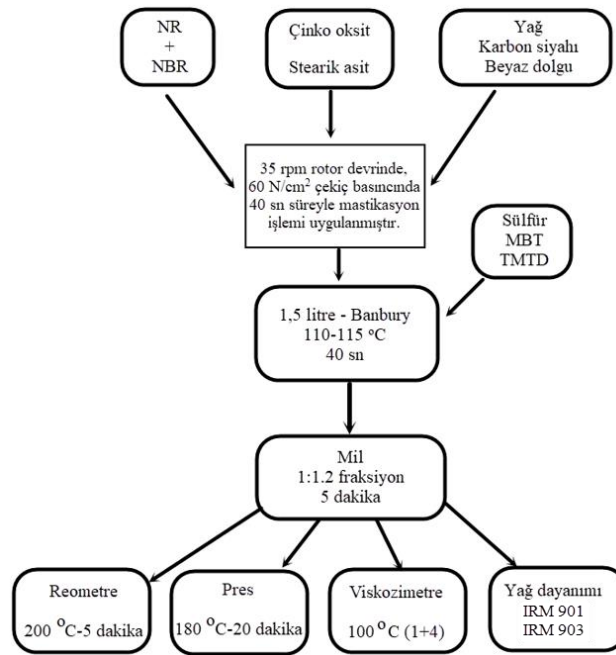
2. Deneysel Çalışmalar

Bu çalışmada, ticari olarak piyasada kullanılan doğal kauçuk (NR) ve Akrilonitril bütadien kauçuğu (NBR) kauçuğu kullanılmıştır. NR kauçuğu ile NR/NBR kauçukların üretiminde 1.5 lt'lik laboratuvar tipi mini banbury kullanılmıştır. NR/NBR kauçuk üretiminde ilk öncelikle aktivatörler ilave edilmiş ve 40 sn süreyle mastikasyon işlemi uygulanmıştır. Daha sonrasında kademeli olarak yağ, karbon siyahı, beyaz dolgu gibi dolgu ve katkı elemanları ilave edilerek 40 sn süreyle sıcaklık değeri 100-105 °C' ye gelene kadar karıştırılmıştır. İstenilen sıcaklığa erişen karışıma sülfür, MBT (2-merkaptobenzotiyazol) ve TMTD (Tetrametil tiuram disülfür) gibi pişirici ve hızlandırıcılar eklenerek karışım 110-115 °C' ye ulaşıncaya kadar 40 sn süreyle karıştırılmaya devam edilmiştir. Üretilen numunelerin reometre testleri, Alpha MDR 2000 marka reometre cihazında ASTM D 5289 standardına uygun olarak 200 °C ve 5 dakikada yapılmıştır. Viskozite testleri, Alpha MV 2000 marka viskozite cihazında ISO 289 standardına uygun olarak yapılmıştır. Testler 100 °C de (1+4) kriterlerine göre yapılmıştır. Pres işlemleri 180 °C ve 20 dakika boyunca uygulanarak test plakaları elde edilmiştir. NR/NBR kauçukların IRM901 ve IRM 903'e karşı direnci, ISO 1817'de açıklanan yöntem kullanılarak 70 °C sıcaklıkta ve 72 saat süreyle belirlenmiştir. Numunelerin ağırlığındaki değişiklik genleşme yüzdesi olarak ifade edilmiş ve (1) no'lu eşitlik ile hesaplanmıştır. Burada, W₁ ve W₂ sırasıyla numunelerin başlangıç ağırlığı ve son ağırlığıdır [9]. Farklı NBR oranlarına sahip NR kauçukların üretiminde kullanılan katkılar ve oranları phr cinsinden Tablo 1'de, deneysel çalışma aşamalarının şematik resmi ise Şekil 1'de verilmiştir.

$$\% \text{ Genleşme} = (W_2 - W_1) / W_1 \quad (1)$$

Tablo 1 NBR/NR kauçukların formülasyonu

	NR	80NR/20NBR	70NR/30NBR	60NR/40NBR	50NR/50NBR
NR	100	80	70	60	50
NBR	0	20	30	40	50
Karbon siyahı	50	50	50	50	50
Beyaz dolgu	20	20	20	20	20
Yağ	40	40	40	40	40
Çinko oksit	4	4	4	4	4
Stearik asit	2	2	2	2	2
Sülfür	1	1	1	1	1
MBT	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
TMTD	1	1	1	1	1

**Şekil 1.** Deneysel çalışma aşamalarının şematik gösterimi

3. Deneysel Sonuçlar

Tablo 2’de reometre kullanılarak elde edilen NR/NBR karışımlarının ilk pişme zamanı (t_{s2}) ve maksimum pişmeye ulaştığı zaman (t_{90}), maksimum tork (MH) ve minimum tork (ML) gibi kürlenme özellikleri ile Shore A sertlik sonuçları verilmiştir. Kauçuk bileşiğinin vulkanizasyon reaksiyonu, reometreden alınan kürlenme özellikleri verileri kullanılarak ortaya çıkarılabilmektedir [26]. t_{90} ve t_{s2} değerleri NR kauçuğuna ilave edilen NBR kauçuğu ile artmıştır. NR/NBR karışımlarında artan t_{s2} değerleri azalan çapraz bağ yoğunluğu ile ilişkilidir. Vulkanize edilmemiş bir kauçuğun rijitliği ile viskozitesini değerlendiren ve tork-zaman çizelgesinde en düşük değeri gösteren minimum torkun (ML) [12], NBR miktarının artması ile birlikte arttığı ve 80NR/20NBR karışımında 0.41 değerine ulaştığı, bu değerden sonra NBR miktarının artmasıyla birlikte tekrar azaldığı görülmektedir.

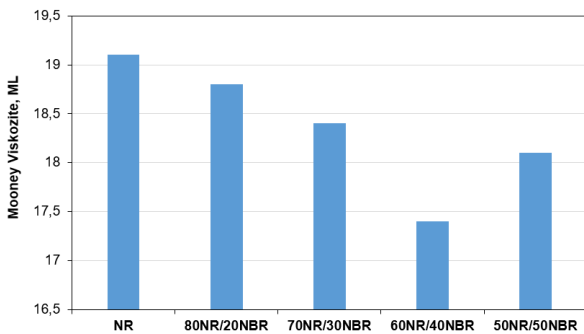
50NR/50NBR karışımı diğer karışımlara göre en düşük ML değerine sahiptir, bu da 50NR/50NBR karışımının diğer ürünlere göre daha kolay işlenebildiği anlamına gelmektedir. Kauçuk bileşiklerin modülü ile doğrudan ilişkili olan ve kürlenme testinde elde edilen en yüksek tork (MH) değerleri incelendiğinde, 20 phr NBR ilavesi ile MH artmış ve maksimum değer 3.14 elde edilmiştir. Daha sonra artan NBR miktarı ile MH tekrar azalmıştır. Azalan MH, kauçuk bileşiklerin yapısında bulunan dolgu maddeleri ile polimer matris arasında daha zayıf bir etkileşim olduğunu göstermektedir. Yapılan bir çalışmada azalan MH değerinin düşük çapraz bağ yoğunluğunun ve aynı zamanda malzemenin kalıplanmasında bazı zorluklara yol açan düşük ham mukavemetin göstergesi olduğu belirtilmiştir [27]. Delta torku (MH-ML) çapraz bağ yoğunluğu ile ilişkilidir. Çapraz bağ yoğunluğu, vulkanize kauçuğun temel özelliklerini etkileyen

önemli özelliklerden birisidir [28]. Tablo 2’de NR kauçuğuna ilave edilen NBR kauçuğu ile delta torku değerlerinin azaldığı görülmektedir. Bunun sebebinin NR ile NBR kauçuğunun iyi bir uyum sağlayamamasıdır. Dağılımın homojen olmaması çapraz bağ yoğunluğunun azalmasına neden olmuştur. Daha düşük çapraz bağ yoğunluğu, daha düşük delta torku ile ilişkilidir. Tablo 2’deki Shore A sertlik sonuçları değerlendirildiğinde NR ve NR/NBR karışımlarının sertlik değerlerinin değişmediği belirlenmiştir.

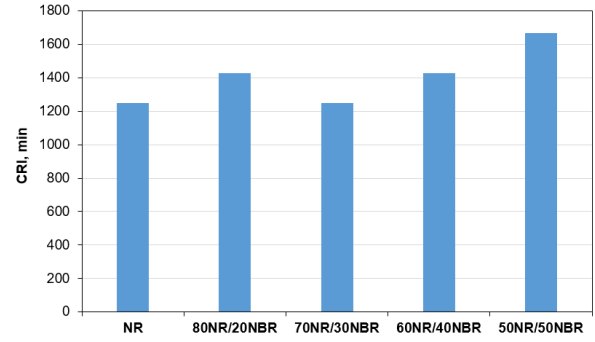
Tablo 2 Reolojik test sonuçları

	NR	80NR/20NBR	70NR/30NBR	60NR/40NBR	50NR/50NBR
ML (dNm)	0,36	0,41	0,39	0,36	0,35
MH (dNm)	3,03	3,14	3,07	2,97	2,85
MH-ML	2,67	2,73	2,68	2,61	2,50
t_{s2} (dk.)	0,49	0,50	0,52	0,57	0,60
t_{90} (dk.)	0,57	0,57	0,60	0,64	0,66
Shore A sertlik	40	41	41	41	41

Mooney viskozite, ham veya vulkanize edilmemiş kauçuğun deformasyona karşı direncinin ölçüsü olarak tanımlanmaktadır. Şekil 2’de NR kauçuğu ile farklı oranlarda NBR ilaveli NR karışımlarının Mooney viskozite sonuçları verilmiştir. NR kauçuğuna ilave edilen NBR kauçuğu Mooney viskozite değerlerini azaltmıştır. Bu azalma 80NR/20NBR, 70NR/30NBR, 60NR/40NBR ve 50NR/50NBR karışımları için sırasıyla %1.57, %3.66, %8.90 ve %5.23 oranlarında elde edilmiştir. Hao ve arkadaşları [29] NR ilaveli SBR karışımlarında, bileşikteki SBR oranının artması ile Mooney viskozitesine ve Mooney kavrulma süresinin (T_5) arttığını belirtmişlerdir. Karışımlarının ilk pışma zamanına (t_{s2}) ve maksimum pışmeye ulaştığı zamana (t_{90}) bağlı olarak hesaplanan ve çapraz bağlama reaksiyonunun hızının bir ölçüsü olan kürlenme oranı indeksi (CRI) sonuçlarını Şekil 3’te verilmiştir. NR kauçuğuna ilave edilen NBR kauçuğu ile CRI değerlerinin hafif bir şekilde arttığı gözlenmiştir. NR kauçuğu ile kıyaslandığında, 80NR/20NBR karışımının CRI değerleri %14.28 oranında, 50NR/50NBR karışımının ise CRI değeri %33.32 oranında artmıştır.



Şekil 2. NR/NBR karışımlarının Mooney viskozite



Şekil 3. NR/NBR karışımlarının kürlenme oranı indeksi (CRI)

Tablo 3 ve Şekil 4’te NR kauçuğu ile farklı oranlarda NBR ilaveli NR karışımlarının dispersiyon test sonuçları ve dispersiyon görüntüleri verilmiştir. Tablo 3’te gösterildiği gibi NR/NBR karışımlarının yapısında bulunan dolgu malzemelerinin %80-88 oranlarında yapıda dağıldığı belirlenmiştir. Dağılan dolgu malzemelerinin ortalama boyutunun 2.83 ile 3.35 μ m arasında, beyaz alanın ise %11-20 arasında olduğu belirlenmiştir. Beyza alan, dağılım oranı ve ortalama dolgu boyutu değerlendirildiğinde en iyi sonuç 60NR/40NBR karışımında elde edilmiştir. "x" ve "y" parametreleri ayrıca dağıtımın kalitesini belirlemek için kullanılmaktadır. "x" parametresi, aglomerasyonun boyutunu tanımlarken, "y" parametresi, aglomerasyon boyutlarının nasıl dağıldığını tanımlamaktadır. Dolgulu karışımlar için, $x \geq 2.5$ ve $y \geq 5$, karışımdaki dolguların homojen olarak dağıldığı anlamına gelmektedir. Bu açıklamalar ile NR kauçuğuna ilave edilen farklı oranlardaki NBR kauçuğunun homojen bir şekilde dağıldığı söylenebilir.

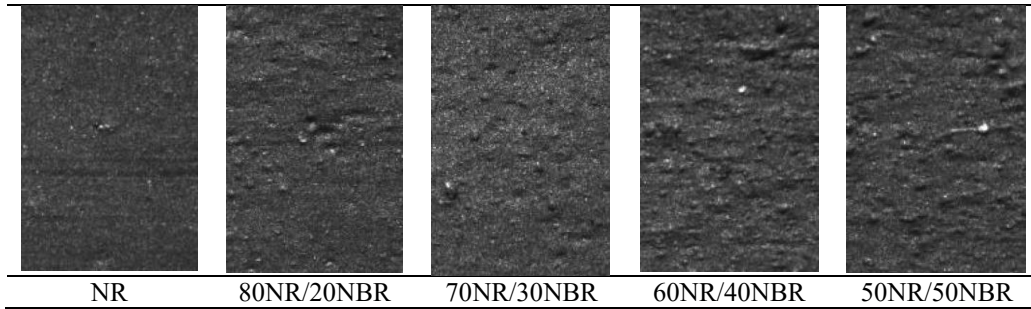
Polimer malzemeler ve yağ arasındaki etkileşim bazı elastomer malzemeler için sorun oluşturabilmektedir. NR kauçuğu yağda veya polar olmayan çözücülerde kolaylıkla çözünen (polar olmayan yani yağa ve çözücülere dayanıklı olmayan) bir kauçuk türüdür. NBR kauçuğu ise (yağa dayanıklı polar kauçuk) üstün yağ direncine sahip bir kauçuktur. NR kauçuğunun yağ direncini artırmak için ilave edilen NBR kauçuğunun IRM 901 ve IRM903 yağlarına 70 °C ve 72 saat daldırıldıktan sonra elde edilen şişme (genleşme) oranları Şekil 5 a-b’de verilmiştir. NR kauçuğunun IRM901 yağındaki şişme oranı %206 iken NR/NBR karışımlarının şişme oranları %161, %135, %126 ve %85 olarak elde edilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi polar olmayan NR kauçuğuna ilave edilen polar NBR kauçuğu şişme oranını önemli miktarda azaltmıştır. Bu azalma 50NR/50NBR karışımı için %58.4 oranında elde edilmiştir. Angnanon ve arkadaşları [16] tarafından yapılan çalışmada yağ direncinin kauçuğun polaritesi ile ilişkili olduğu ve polarite miktarının artması ile yağ direncinin de artacağı belirtilmiştir. Benzer şekilde IRM903 yağına karşı şişme özellikleri değerlendirildiğinde NR/NBR karışımlarının yağ dirençlerinin geliştiği gözlenmiştir. NR kauçuğunun IRM903 yağına karşı %99 olan şişme oranı 50NR/50NBR kauçuğunda %66.7 oranında azalarak %33 olarak elde edilmiştir. Yağ direnci düşük olan NR kauçuğuna ilave edilen NBR kauçuğunun yağ direncini önemli oranda artırdığı gözlenmiştir. Benzer bir sonuç İsmail ve arkadaşları [17] tarafından yapılan çalışma da

elde edilmiştir. Doğal kauçuk/Geri dönüştürülmüş Akrilonitril-Bütadien-Kauçuk (NBR) karışımının şişme ve toulen solüsyonundaki çapraz bağ yoğunluğunun incelendiği çalışmada, artan çapraz bağlanma derecesi ile şişme direncinin artacağı, geri dönüştürülmüş NBR'deki polar grubun varlığı ile toluen gibi polar olmayan petrol yağlarına karşı mükemmel

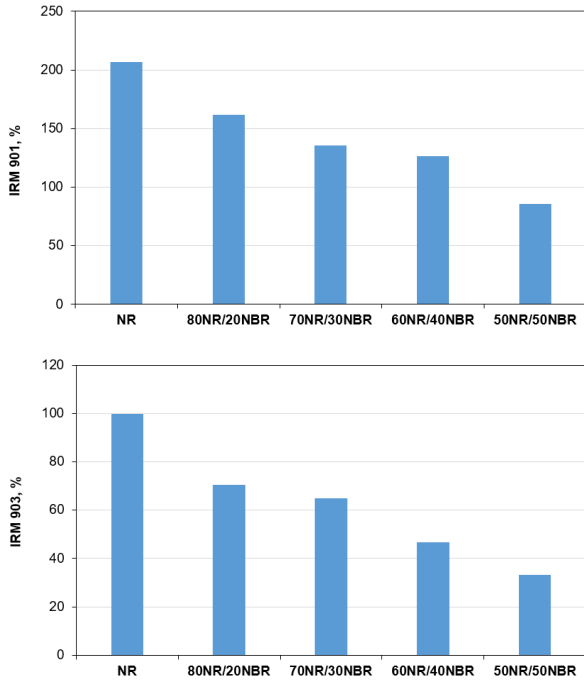
bir dirence sahip olacağı belirtilmiştir. Farklı sülfür miktarına bağlı olarak NBR kauçuğun şişme özelliklerinin incelendiği çalışmada da çapraz bağların kauçuk zincirin esnekliğini kısıtlayacağı ve yağın kauçuk molekülleri arasındaki boşluklara yayılmasını engelleyerek şişme yüzdesini düşüreceği belirtilmiştir [1-2].

Tablo 3 Dispersiyon test sonuçları

	X	Y	Beyaz alan,	Dağılım	Ortalama dolgu
NR	2.1	9.84	6.12	93.88	2.47
80NR/20NBR	1.0	9.10	11.94	88.06	3.08
70NR/30NBR	1.0	8.12	20.07	79.93	3.35
60NR/40NBR	1.1	8.44	12.62	87.38	2.83
50NR/50NBR	1.1	8.36	14.56	85.42	2.94



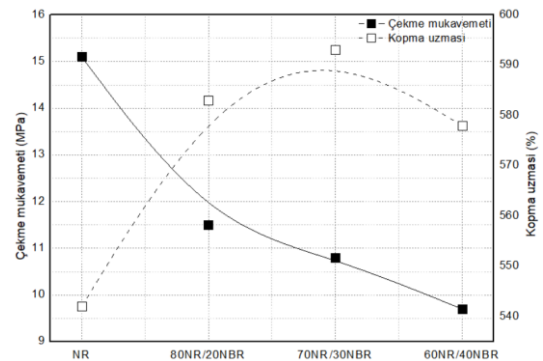
Şekil 4. Dispersiyon görüntüleri

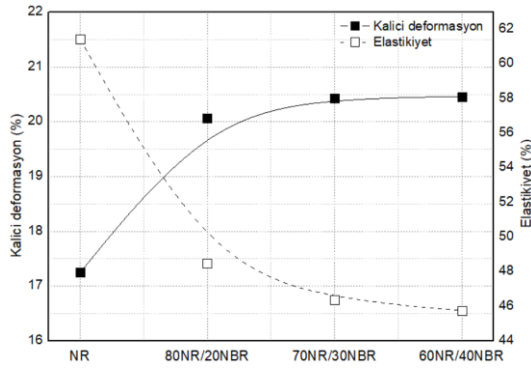


Şekil 5. NR/NBR karışımlarının şişme yüzdeleri, a) İRM901 yağı, b) İRM903 yağı

Şekil 6 a'da NR/NBR karışımlarının çekme mukavemeti ve kopma uzaması sonuçları verilirken Şekil 5 b'de kalıcı deformasyon ve elastikiyet sonuçları verilmiştir. Nr kauçuğuna ilave edilen NBR kauçuğu ile çekme mukavemeti

azalırken kopma uzaması artmıştır. NR kauçuğunun 15.1 MPa olan çekme mukavemeti 50phr NBR ilave edilmesi ile %35.7 oranında azalmış ve 9.7 MPa elde edilmiştir. NR ve NR/NBR karışımlarının kopma uzaması değerleri %540-%593 arasında elde edilmiştir. NR kauçuğuna NBR ilavesi ile kopma uzamasının arttığı ve 80NR/20NBR, 70NR/30NBR ve 60NR/40NBR karışımları için %583, %593 ve %578 elde edildiği belirlenmiştir. Şekil 5 b'de verilen kalıcı deformasyon ve elastikiyet oranları değerlendirildiğinde NR kauçuğuna ilave edilen NBR ile birlikte kalıcı deformasyonun arttığı elastikiyetin ise azaldığı belirlenmiştir. Kalıcı deformasyondaki artış %18.6 oranında elde edilmiştir. Genel olarak değerlendirildiğinde NR/NBR karışımlarının kalıcı deformasyon değerlerinin %20 oranında olduğu belirlenmiştir. NR kauçuğunun %61.45 olan elastikiyet değeri NBR ilavesi ile azalmıştır. Bu azalma 60NR/40NBR karışımı için %25.5 oranında elde edilmiştir.





Şekil 6. NR/NBR karışımlarının a) çekme mukavemeti-kopma uzaması, b) kalıcı deformasyon-elastikiyet sonuçları

4. Sonuç

NR kauçuğuna ilave edilen NBR kauçuğun kürlenme ve şişme özellikleri üzerine etkisinin incelendiği çalışma sonucunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir;

t_{90} ve t_{s2} değerleri NR kauçuğuna ilave edilen NBR kauçuğu ile artmıştır. Maksimum tork (MH), NR/NBR karışımında artan NBR miktarına bağlı olarak azalma eğilimindedir. NR kauçuğuna ilave edilen NBR kauçuğu Mooney viskozite değerlerini azaltmıştır. Bu azalma 50NR/50NBR karışımı için %5.23 oranında elde edilmiştir. NR kauçuğu ile kıyaslandığında, 80NR/20NBR karışımının CRI değerleri %14.28 oranında, 50NR/50NBR karışımının ise CRI değeri %33.32 oranında artmıştır. NR kauçuğunun IRM901 yağındaki şişme oranı %206 iken NR/NBR karışımlarının şişme oranları %161, %135, %126 ve %85 olarak elde edilmiştir. NR kauçuğunun IRM903 yağına karşı %99 olan şişme oranı 50NR/50NBR kauçuğunda %66.7 oranında azalarak %33 olarak elde edilmiştir. Yağ direnci düşük olan NR kauçuğuna ilave edilen NBR kauçuğunun yağ direncini önemli oranda artırdığı gözlenmiştir. NR kauçuğuna ilave edilen NBR kauçuğu çekme mukavemetini azaltırken kopma uzamasını artırmıştır. Aynı zamanda NBR miktarına bağlı olarak kalıcı deformasyon oranı artarken elastikiyet oranı azalmıştır.

Yazar Katkısı

Bu çalışmada, Çağrı ÇOKAÇAR (ÇÇ); İlker KÖPRÜ (İK); Salih Hakan YETGİN (SHY); araştırma, deneysel performans – ÇÇ; veri toplama – ÇÇ; veri işleme – ÇÇ; veri iyileştirme – İK; biçimsel analiz – İK; literatür taraması – SHY; inceleme ve düzenleme – SHY.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar, bu makalenin araştırılması, yazarlığı ve/veya yayınlanması ile ilgili olarak herhangi bir çıkar çatışması beyan etmemiştir.

Kaynaklar

[1] Alshabat, N., & Abouel-Kasem, A. (2021). The effects of sulfur content on the mechanical properties of nitrile butadiene rubber with different aging conditions. *Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering*, 15(4), 387-393.

[2] Abdelsalam, A. A., Araby, S., El-Sabbagh S. H., Abdelmoneim, A., & Hassan, M. A. (2021). A comparative study on mechanical and rheological properties of ternary rubber blends. *Polymers and Polymer Composites*, 29(1), 15-28.

[3] Salim, Z. A., Hassan, A., & Ismail, H. (2018). A review on hybrid fillers in rubber composites. *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 57(6), 523-539.

[4] Hailong, C., Nan, C., Qingqing, M., & Yan, H. (2023). Experimental study on preparation and properties of carbon nanotubes-, graphene-natural rubber composites. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 37(6), 2013-2034.

[5] Christopher, G. R., & Hardman, N. J. (2021). Nature of Carbon Black Reinforcement of Rubber: Perspective on the Original Polymer Nanocomposite. *Polymers*, 13, 538.

[6] Husnan, M. A., Ismail, H., & Shuib, R. K. (2018). The effect of carbon black (CB) loading on curing characteristics and mechanical properties of virgin acrylonitrile butadiene rubber (NBRv)/recycled acrylonitrile butadiene rubber (NBRr) blends. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 309, 012028

[7] Benjak, P., Tomas, M., Pticek, Sirocic, A., Brnardic, I., Florijanac, F., & Grcic, I. (2024). The role of TiO₂ during the accelerated aging of recycled rubber tiles. *Chemistry*, 6, 1111–1132.

[8] Alireza, T. F., Amin, K., Gholamhossein L., Xue-Feng, Y., & Mohammad, A. Z. M. (2022). Mechanical properties and energy absorption capacity of chopped fiber reinforced natural rubber. *Composites Part C: Open Access*, 7, 100237.

[9] Yuniari, A., Mayasari, H. E., & Setyorini, I. (2017). Curing characteristics, swelling, and mechanical properties of natural rubber/nitrile butadiene rubber blends with and without compatibilizer. *Majalah Kulit, Karet dan Plastik*, 33(2) 65-72.

[10] Ahmad, H., Ismail, H., & Rashid, A., (2015). ENR50 compatibilized natural rubber/recycled acrylonitrile-butadiene rubber blends. *Sains Malaysiana*, 44(6), 835–842.

[11] Ahmad, H. S., Ismail, H., & Rashid, A. A., (2016). Tensile properties and morphology of epoxidized natural rubber/recycled acrylonitrile-butadiene rubber (ENR 50/NBRr) blends. *Procedia Chemistry*, 19, 359-365.

[12] Abdelsalam, A. A., El-Sabbagh, S. H., Mohamed, W. S., Li, J., Wang, L., Ismail, H., Abdelmoneim, A., & Khozami, M. A., (2023). Effect of compatibilisers on the cure characteristics and mechanical properties of ternary rubber blend composites. *Pigment & Resin Technology*, 52:2 246-256.

[13] Mostafa, A., Abouel-Kasem, A., Bayoumi, M. R., & El-Sebaie, M. G. (2009). Effect of carbon black loading on the swelling and compression set behavior of SBR and NBR rubber compounds. *Materials and Design*, 30, 1561-1568.

[14] Abdelsalam, A. A., & Khozami, M. A., (2023). Studies on

swelling behavior, mechanical and thermal properties of ternary rubber blend composites in the presence of compatibilizers. *Pigment & Resin Technology*, 52(5), 614-623.

[15] Alipour, A., Naderi, G., Bakhshandeh, G. R., Vali, H., & Shokoohi, S., (2011). Elastomer nanocomposites based on NR/EPDM/organoclay: morphology and properties. *Polymer Processing*, 26, 48-55.

[16] Angnanon, S., Prasassarakich, P., & Hinchiranan, N., (2011). Styrene/Acrylonitrile graft natural rubber as compatibilizer in rubber blends. *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 50, 1170-1178.

[17] Ismail, H. H., Syaza Ahmad, A., & Rashid, A., (2015). Fatigue, resilience, hardness, and swelling behaviour of natural rubber/recycled acrylonitrile-butadiene rubber (NR/NBRr) blends. *Polymers & Polymer Composites*, 23(8), 583-588.

[18] Lee, S., H., Park, G., W., Kim, H., J., Chung, K., & Jang, K. S., (2022). Effects of filler functionalization on filler-embedded natural rubber/ethylene-propylene-diene monomer composites. *Polymers*, 14, 3502.

[19] Liu, G., Wang, H., Ren, T., Chen, Y., & Liu, S., (2024). Systematic investigation of the degradation properties of nitrile-butadiene rubber/polyamide elastomer/single-walled carbon nanotube composites in thermo-oxidative and hot oil environments. *Polymers*, 16(2), 226.

[20] Akyüz, S. (2020). Tabii kauçuk (NR)/stiren bütadien kauçuk (SBR) esaslı burçların üretimi ve test yöntemleri. Bursa Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.

[21] Ismail, H., Galpaya, D., & Ahmad, Z., (2009). Comparison of properties of polypropylene (PP)/virgin acrylonitrile butadiene rubber (NBRv) and polypropylene (PP)/recycled acrylonitrile butadiene rubber (NBRr) blends. *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 48, 440-445.

[22] Saputra, A. H., Juneva, S., Sari, T. I., & Cifriadi, A., (2018). Degradation of blending vulcanized natural rubber and nitril rubber (NR/NBR) by dimethyl ether through variation of elastomer ratio. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 345, 012035.

[23] Omran, A. M., Youssef, A. M., Ahmed, M. M., & Abdel-Bary, E. M., (2010). Mechanical and oil resistance characteristics of rubber blends based on nitrile butadiene rubber. *Elastomere Und Kunststoffelastomers And Plastics*, 197-202.

[24] Nihmath, A., & Ramesan, M. T., (2021). Comparative evaluation of oil resistance, dielectric properties, AC conductivity, and transport properties of nitrile rubber and chlorinated nitrile rubber. *Progress in Rubber Plastics and Recycling Technology*, 37(2), 131-147.

[25] Chakrit, S., Sauvarop, L., & Jarunee, T., (2003). Oil resistance controlled by phase morphology in natural rubber/nitrile rubber blends. *Journal of Applied Polymer Science*, 8, 83-89.

[26] Maspanger, M. I. D. R., & Sutrisno, S., (2015). Vulcanization kinetics and mechanical properties of ethylene propylene diene monomer thermal insulation. *Bulletin of Chemical Reaction Engineering & Catalysis*, 10(2), 104-110.

[27] Karaagac, B., Turan, O., & Oral, D. D., (2015). Use of ground EPDM wastes in EPDM-based rubber compounds: with and without compatibilization. *Journal of Elastomers & Plastics*, 47(2), 117-135.

[28] Pornprasit R. P., Boonma, P., & Natwichai, J., (2016). Determination of the mechanical properties of rubber by FT-NIR. *Journal of Spectroscopy*, 024783.

[29] Hao, P. T., Ismail, H., & Hasim, A. S., (2001). Study of two types of styrene butadiene rubber in tire tread compounds. *Polymer Testing*, 20(5), 539-544.