



**T.C.
HİTİT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**KARBON SİYAHİ ETİLEN-PROPİLEN-DİEN (EPDM)
DOĞAL KAUÇUK (NR) KARIŞIMLARININ
ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Yüksek Lisans Tezi

Filiz ÖZDİN

Çorum 2019

**KARBON SİYAHİ ETİLEN-PROPİLEN-DİEN (EPDM)
DOĞAL KAUÇUK (NR) KARIŞIMLARININ
ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Filiz ÖZDİN

**Fen Bilimleri Enstitüsü
Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı**

Yüksek Lisans Tezi

**TEZ DANIŞMANI
Prof. Dr. Satılmış BASAN**

Çorum 2019

Filiz ÖZDİN tarafından hazırlanan “Karbon siyahı etilen-propilen-dien (EPDM) doğal kauçuk (NR) karışımlarının elektriksel özelliklerinin incelenmesi” adlı tez çalışması 28/08/2019 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Hitit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof Dr Satılmış BASAN

Doç Dr Bengi ÖZKAHRAMAN

Dr. Öğr. Üyesi Gediz UĞUZ

Hitit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunun tarihli ve sayılı kararı ile Filiz ÖZDİN'in Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans derecesi alması onanmıştır

Unvanı Adı Soyadı
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü
Doç. Dr. Cengiz BAYKASOĞLU

TEZ BEYANI

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını beyan ederim.

Filiz Özdin



KARBON SİYAHİ ETİLEN-PROPİLEN-DİEN (EPDM) DOĞAL KAUÇUK (NR) KARIŞIMLARININ ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Filiz ÖZDİN

HİTİT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Ağustos 2019

ÖZET

Polimerler uzun yıllar elektriksel açıdan yalıtkan malzemeler olarak kullanılmıştır. Polimerlerin de iletken karaktere sahip olabileceğinin anlaşılması üzerine bu konudaki bilimsel çalışmalar hız kazanmıştır. Polimerlerde iletkenlik terimi iki farklı mekanizmayı ifade eder. Birinci grup polimerlerin kendisi yalıtkan olup, içerisine karbon siyahı, metal fiberleri, kısa grafit lifleri, metal kaplı cam fiberler gibi iletken dolgu malzemeleri karıştırılarak iletkenlik özelliği kazandırılır. Bu kompozitlerin elektriksel davranışları perkolasyon modeli ile açıklanır. Bu modelde direnç değerinin kompozit içerisindeki dolgu maddesinin (%) hacimsel oranı ile değişimi incelenir. İkinci grup polimerler ise sahip oldukları konjuge çift bağlardan dolayı kendiliğinden iletken karaktere sahiptir. Bu çalışmada farklı oranlarda EPDM/NR karışımı yalıtkan elastomer içine 40 PHR (yüz kısım kauçuk) ve 50 PHR oranında karbon siyahı karıştırılarak iletken elastomer kompozitler elde edilmiştir. Hazırlanan örneklerin dirençleri serbest halde ve farklı basınçlar altında ölçülüp iletkenlik, öz direnç ve öziletkenlik değerleri hesaplanarak kıyaslanmıştır. EPDM ve NR karışımlarında faz uyumsuzluğuna rağmen iyi sonuçlar elde edilmiştir. 40 PHR ve 50 PHR kompozitlerindeki dolgu maddesi oranı ve uygulanan basınç iletkenliği artırıcı etki yapmıştır.

Anahtar Kelimeler: Elastomer kompozitler, EPDM kauçuğu, doğal kauçuk, karbon siyahı, elektriksel iletkenlik

**INVESTIGATION OF THE ELECTRICAL PROPERTIES OF CARBON
BLACK ETHYLENE-PROPYLENE-DIENE (EPDM) NATURAL RUBBER
(NR) MIXTURES**

Filiz ÖZDİN

HİTİT UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

August 2019

ABSTRACT

Polymers have been used as electrically insulating materials for many years. Upon understanding that polymers can have conductive character, scientific studies have accelerated. The term conductivity in polymers refers to two different mechanisms. The first group of polymers itself is an insulator, and the conductivity property is added by mixing carbon black, metal fibers, short graphite fibers, metal coated glass fibers. In this model, the change of the resistance value of the filling material (%) in the composite with the volumetric ratio is examined. The second group of polymers have a self-conducting character due to their conjugated double bonds. In this study, 40 PHR (parts per hundred of rubber) and 50 PHR of carbon black were mixed into an insulating elastomer with different ratios of EPDM/NR mixtures and conductive elastomer composite was obtained. The resistances of the prepared samples were measured under free pressures under different pressures and the conductivity, resistivity and conductivity values were calculated and compared. Good results have been achieved despite phase mismatch in EPDM and NR mixtures. The additive ratio in the 40 PHR and 50 PHR composites affected conductivity. The ratio of fillers in 40 PHR and 50 PHR composites and the applied pressure have increased conductivity.

Keywords: Elastomer composites, EPDM rubber, natural rubber, carbon black, electrical conductivity

TEŞEKKÜR

Tez çalıőmam boyunca beni yönlendirip destekleyen değerli hocam Prof. Dr. Satılmış Basan'a, aileme, özellikle kızım Yasemin zdin'e yardımlarından dolayı teşekkür ederim. Ayrıca çalıőmam boyunca bana anlayıő göstererek yardımcı olan kızım Beyza zdin ve oğlum Melih Eren zdin'e teşekkür ederim.



Bu tez çalışmasına, MUH19004.18.003 numaralı proje kapsamında vermiş oldukları destekten dolayı, Hitit Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'ne teşekkür ederiz.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xvii
1. GİRİŞ	1
2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	3
2.1. Polimerlerin Yapı ve Özellikleri	3
2.2. Polimerlerin Sınıflandırılması	7
2.3. Kauçuk Malzemeler	9
2.3.1. Kauçukların sınıflandırılması	11
2.3.2. Kauçuk hamuru	12
2.3.2.1. Dolgu malzemeleri.....	13
2.3.2.2. Yumuşatıcılar	13
2.3.2.3. Aktivatörler	14
2.3.2.4. Vulkanizasyon ajanları.....	15
2.4. İletken Polimer Kompozitler	15
2.4.1. İletken polimer kompozitlerin elektriği iletme mekanizmaları	18
2.4.1.1. İyonik iletkenlik.....	18
2.4.1.2. Yalıtkan polimer-iletken malzeme	18

Sayfa

2.4.1.3. Elektronik iletkenlik	19
2.4.2. Perkolasyon Modeli	19
2.4.3. İletken Polimer Kompozitlerin Uygulama Alanları.....	24
2.5. Çalışmada Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri	25
2.5.1. Etilen-Propilen-Dien Kauçuğu (EPDM).....	25
2.5.1.1. EPDM'nin kimyasal yapısı ve özellikleri.....	26
2.5.1.2. EPDM'nin kullanım alanları	28
2.5.2. Doğal Kauçuk (NR)	29
2.5.3. Karbon Siyahı (CB)	30
3. MATERYAL VE YÖNTEM	34
3.1. Materyal	34
3.2. Yöntem.....	34
3.2.1. Elektiksel iletken elastomer kompozit örneklerin hazırlanması	34
3.2.2. Direnç ölçümlerinin yapılması.....	37
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	39
4.1. 40 PHR EPDM/NR/CB Kompozitinin Elektriksel Özellikleri.....	40
4.1.1. 40 PHR EPDM/NR kompozitinin elektriksel özelliklerine zamanın etkisi	40
4.1.2. 40 PHR EPDM/NR kompozitinin elektriksel özelliklerine karışım oranının etkisi.....	45
4.1.3. 40 PHR EPDM/NR/CB kompozitinin elektriksel özelliklerine basıncın etkisi	47
4.1.3.1. Farklı miktarlarda EPDM içeren çeşitli basınçlar altındaki 40 PHR EPDM/NR/CB kompozitinin elektriksel özelliklerinin zamanla değişimi	47

Sayfa

4.1.3.2. Farklı miktarlarda EPDM içeren 40 PHR EPDM/NR/CB kompozitinin farklı sürelerdeki elektriksel özelliklerine basıncın etkisi	67
4.2. 50 PHR EPDM/NR Kompozitinin Elektriksel Özellikleri.....	73
4.2.1. 50 PHR EPDM/NR kompozitinin elektriksel özelliklerine zamanın etkisi	73
4.2.2. 50 PHR EPDM/NR/CB kompozitinin elektriksel özelliklerine karışım oranının etkisi.....	78
4.2.3. 50 PHR EPDM/NR/CB kompozitinin elektriksel özelliklerine basıncın etkisi	80
4.2.3.1 Farklı miktarlarda EPDM içeren çeşitli basınçlar altındaki 50 PHR EPDM/NR kompozitinin elektriksel özelliklerine zamanın etkisi.....	80
4.2.3.2. Farklı miktarlarda EPDM içeren 50 PHR EPDM/NR/CB kompozitinin farklı sürelerdeki elektriksel özelliklerine basıncın etkisi	100
4.3. 40 PHR ve 50 PHR EPDM/NR/CB Kompozitlerinin Elektriksel Özelliklerinin Kıyaslanması	105
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	109
KAYNAKLAR	110
ÖZGEÇMİŞ	118

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Polimerlerde özgül hacmin sıcaklık ile değişimi	3
Şekil 2.2. Polimerlere uygulanan işlemlerin a) iç yapıdaki, b) mekanik özelliklerdeki etkisi	4
Şekil 2.3. Monomerler a) iki fonksiyonlu, b) üç fonksiyonlu	6
Şekil 2.4. Polimer zincirlerinin kükürt atomları aracılığı ile çarpaz bağlanarak ağ oluşturması	11
Şekil 2.5. İletkenliğin dolgu maddesi derişimi ile değişimi	20
Şekil 2.6. Köprü oluşum yapısının videodiyagram proses görüntüsü	20
Şekil 2.7. Polimerik malzeme içinde iletken zincir yapı meydana getiren dolgu malzemesi taneciklerinin uzaysal dağılımı	21
Şekil 2.8. Temsili Perkolasyon Kuramı.....	23
Şekil 2.9. Farklı materyallerin direnç aralıkları.....	23
Şekil 2.10. Bazı materyallerin iletkenlik değerleri	24
Şekil 2.11. EPM' nin etilen ve propilenin kopolimerleşmesi ile elde edilişi.....	25
Şekil 2.12. EPDM kauçuğunun elde edilış tepkimesi	26
Şekil 2.13. Doğal kauçuğun kimyasal yapısı	29
Şekil 2.14. Karbon siyahının yapısı.....	31
Şekil 4.1. 40 PHR EPDM/CB, BDR/CB ve NR/CB kompozitlerinin dirençlerinin zamanla değişimi	39
Şekil 4.2. Farklı oranlarda EPDM içeren 40 PHR EPDM/NR/CB kompozitinde direncin zamanla değişimi.....	41
Şekil 4.3. Farklı oranlarda EPDM içeren 40 PHR EPDM/NR/CB kompozitinde iletkenliğin zamanla değişimi.....	42
Şekil 4.4. Farklı oranlarda EPDM içeren 40 PHR EPDM/NR/CB kompozitinde özdirencin zamanla değişimi.....	43

Şekil	Sayfa
Şekil 4.5. Farklı oranlarda EPDM içeren 40 PHR EPDM/NR/CB kompozitinde öziletkenliğin zamanla değişimi.....	44
Şekil 4.6. Farklı oranlarda EPDM içeren 40 PHR EPDM/NR/CB kompozitinin a) direnç, b) iletkenlik, c) öz direnç, d) öziletkenliklerinin EPDM miktarı ile değişimi.....	46
Şekil 4.7. Farklı basınçlar altındaki %40 EPDM içeren 40 PHR EPDM/NR/CB kompozitinin dirençlerinin zamanla değişimi	48
Şekil 4.8. Farklı basınçlar altındaki %40 EPDM içeren 40 PHR EPDM/NR/CB kompozitinin iletkenliklerinin zamanla değişimi	49
Şekil 4.9. Farklı basınçlar altındaki %40 EPDM içeren 40 PHR EPDM/NR/CB kompozitinin öz dirençlerinin zamanla değişimi	50
Şekil 4.10. Farklı basınçlar altındaki %40 EPDM içeren 40 PHR EPDM/NR/CB kompozitinin öziletkenliklerinin zamanla değişimi	51
Şekil 4.11. Farklı basınçlar altındaki %50 EPDM içeren 40 PHR EPDM/NR/CB kompozitinin dirençlerinin zamanla değişimi	53
Şekil 4.12. Farklı basınçlar altındaki %50 EPDM içeren 40 PHR EPDM/NR/CB kompozitinin iletkenliklerinin zamanla değişimi	54
Şekil 4.13. Farklı basınçlar altındaki %50 EPDM içeren 40 PHR EPDM/NR/CB kompozitinin öz dirençlerinin zamanla değişimi	55
Şekil 4.14. Farklı basınçlar altındaki %50 EPDM içeren 40 PHR EPDM/NR/CB kompozitinin öziletkenliklerinin zamanla değişimi	56
Şekil 4.15. Farklı basınçlar altındaki %60 EPDM içeren 40 PHR EPDM/NR/CB kompozitinin dirençlerinin zamanla değişimi	58
Şekil 4.16. Farklı basınçlar altındaki %60 EPDM içeren 40 PHR EPDM/NR/CB kompozitinin iletkenliklerinin zamanla değişimi	59
Şekil 4.17. Farklı basınçlar altındaki %60 EPDM içeren 40 PHR EPDM/NR/CB kompozitinin öz dirençlerinin zamanla değişimi	60
Şekil 4.18. Farklı basınçlar altındaki %60 EPDM içeren 40 PHR EPDM/NR/CB kompozitinin öziletkenliklerinin zamanla değişimi	61
Şekil 4.19. Farklı basınçlar altındaki %70 EPDM içeren 40 PHR EPDM/NR/CB kompozitinin dirençlerinin zamanla değişimi	63

Şekil	Sayfa
Şekil 4.20. Farklı basınçlar altındaki %70 EPDM içeren 40 PHR EPDM/NR/CB kompozitinin iletkenliklerinin zamanla değişimi	64
Şekil 4.21. Farklı basınçlar altındaki %70 EPDM içeren 40 PHR EPDM/NR/CB kompozitinin öz dirençlerinin zamanla değişimi	65
Şekil 4.22. Farklı basınçlar altındaki %70 EPDM içeren 40 PHR EPDM/NR/CB kompozitinin öz iletkenliklerinin zamanla değişimi	66
Şekil 4.23. Belli sürelerde ölçülen %40 EPDM içeren 40 PHR EPDM/NR/CB kompozitlerine ait a) direnç, b) iletkenlik, c) öz direnç, d) öz iletkenliklerinin basınçla değişimi	68
Şekil 4.24. Belli sürelerde ölçülen %50 EPDM içeren 40 PHR EPDM/NR/CB kompozitlerine ait a) direnç, b) iletkenlik, c) öz direnç, d) öz iletkenliklerinin basınçla değişimi	70
Şekil 4.25. Belli sürelerde ölçülen %60 EPDM içeren 40 PHR EPDM/NR/CB kompozitlerine ait a) direnç, b) iletkenlik, c) öz direnç, d) öz iletkenliklerinin basınçla değişimi	72
Şekil 4.26. Belli sürelerde ölçülen %70 EPDM içeren 40 PHR EPDM/NR/CB kompozitlerine ait a) direnç, b) iletkenlik, c) öz direnç, d) öz iletkenliklerinin basınçla değişimi	73
Şekil 4.27. Farklı oranlarda EPDM içeren 50 PHR EPDM/NR/CB kompozitinde direncin zamanla değişimi.....	75
Şekil 4.28. Farklı oranlarda EPDM içeren 50 PHR EPDM/NR/CB kompozitinde iletkenliğin zamanla değişimi.....	76
Şekil 4.29. Farklı oranlarda EPDM içeren 50 PHR EPDM/NR/CB kompozitinde öz direncin zamanla değişimi.....	77
Şekil 4.30. Farklı oranlarda EPDM içeren 50 PHR EPDM/NR/CB kompozitinde öz iletkenliğin zamanla değişimi.....	78
Şekil 4.31. Farklı oranlarda 50 PHR EPDM/NR/CB kompozitinin a) direnç, b) iletkenlik, c) öz direnç, d) öz iletkenliklerinin EPDM oranı ile değişimi	80
Şekil 4.32. Farklı basınçlar altındaki %40 EPDM içeren 50 PHR EPDM/NR/CB kompozitinin dirençlerinin zamanla değişimi	82
Şekil 4.33. Farklı basınçlar altındaki %40 EPDM içeren 50 PHR EPDM/NR/CB kompozitinin iletkenliklerinin zamanla değişimi	83

Şekil	Sayfa
Şekil 4.34. Farklı basınçlar altındaki %40 EPDM içeren 50 PHR EPDM/NR/CB kompozitinin özdirençlerinin zamanla değişimi	84
Şekil 4.35. Farklı basınçlar altındaki %40 EPDM içeren 50 PHR EPDM/NR/CB kompozitinin iletkenliklerinin zamanla değişimi	85
Şekil 4.36. Farklı basınçlar altındaki %50 EPDM içeren 50 PHR EPDM/NR/CB kompozitinin dirençlerinin zamanla değişimi	87
Şekil 4.37. Farklı basınçlar altındaki %50 EPDM içeren 50 PHR EPDM/NR/CB kompozitinin iletkenliklerinin zamanla değişimi	88
Şekil 4.38. Farklı basınçlar altındaki %50 EPDM içeren 50 PHR EPDM/NR/CB kompozitinin özdirençlerinin zamanla değişimi	89
Şekil 4.39. Farklı basınçlar altındaki %50 EPDM içeren 50 PHR EPDM/NR/CB kompozitinin iletkenliklerinin zamanla değişimi	90
Şekil 4.40. Farklı basınçlar altındaki %60 EPDM içeren 50 PHR EPDM/NR/CB kompozitinin dirençlerinin zamanla değişimi	92
Şekil 4.41. Farklı basınçlar altındaki %60 EPDM içeren 50 PHR EPDM/NR/CB kompozitinin iletkenliklerinin zamanla değişimi	93
Şekil 4.42. Farklı basınçlar altındaki %60 EPDM içeren 50 PHR EPDM/NR/CB kompozitinin özdirençlerinin zamanla değişimi	94
Şekil 4.43. Farklı basınçlar altındaki %60 EPDM içeren 50 PHR EPDM/NR/CB kompozitinin iletkenliklerinin zamanla değişimi	95
Şekil 4.44. Farklı basınçlar altındaki %70 EPDM içeren 50 PHR EPDM/NR/CB kompozitinin dirençlerinin zamanla değişimi	97
Şekil 4.45. Farklı basınçlar altındaki %70 EPDM içeren 50 PHR EPDM/NR/CB kompozitinin iletkenliklerinin zamanla değişimi	98
Şekil 4.46. Farklı basınçlar altındaki %70 EPDM içeren 50 PHR EPDM/NR/CB kompozitinin özdirençlerinin zamanla değişimi	99
Şekil 4.47. Farklı basınçlar altındaki %70 EPDM içeren 50 PHR EPDM/NR/CB kompozitinin iletkenliklerinin zamanla değişimi	100
Şekil 4.48. Belli sürelerde ölçülen %40 EPDM içeren 40 PHR EPDM/NR/CB kompozitlerine ait a) direnç, b) iletkenlik, c) özdirenç, d) iletkenliklerinin basınçla değişimi.....	102

Şekil	Sayfa
Şekil 4.49. Belli sürelerde ölçülen %50 EPDM içeren 40 PHR EPDM/NR/CB kompozitlerine ait a) direnç, b) iletkenlik, c) öz direnç, d) öziletkenliklerinin basınçla değişimi.....	103
Şekil 4.50. Belli sürelerde ölçülen %60 EPDM içeren 40 PHR EPDM/NR/CB kompozitlerine ait a) direnç, b) iletkenlik, c) öz direnç, d) öziletkenliklerinin basınçla değişimi.....	104
Şekil 4.51. Belli sürelerde ölçülen %70 EPDM içeren 40 PHR EPDM/NR/CB kompozitlerine ait a) direnç, b) iletkenlik, c) öz direnç, d) öziletkenliklerinin basınçla değişimi.....	105
Şekil 4.52. 40 PHR VE 50 PHR EPDM/NR/CB a) %40 EPDM b) %50 EPDM, c) %60 EPDM, d) %70 EPDM içeren kompozitlerinin 0 kPa basınç altındaki dirençlerinin zamanla değişimi	107
Şekil 4.53. 40 PHR VE 50 PHR EPDM/NR/CB a) %40 EPDM, b) %50 EPDM, c) %60 EPDM, d) %70 EPDM içeren EPDM/NR/CB kompozitlerinin 10 kPa basınç altındaki dirençlerinin kıyaslanması	109
Şekil 4.54. 40 PHR VE 50 PHR EPDM/NR/CB a) %40 EPDM, b) %50 EPDM, c) %60 EPDM, d) %70 EPDM içeren EPDM/NR/CB kompozitlerinin 45 kPa basınç altındaki dirençlerini kıyaslanması.....	110

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1.Farklı oranlarda EPDM içeren 40 PHR EPDM/NR/CB kompozitlerinin karışan miktarları.....	35
Çizelge 3.2.Farklı oranlarda EPDM içeren 50 PHR EPDM/NR/CB kompozitlerinin karışan miktarları.....	36
Çizelge 4.1.40 PHR EPDM, BDR ve NR kompozitlerinin direnç değerleri ($M\Omega$)	39
Çizelge 4.2.Farklı oranlarda EPDM içeren 40 PHR EPDM/NR/CB kompozitlerinin ölçülen direnç değerleri (Ω).....	41
Çizelge 4.3.Farklı oranlarda EPDM içeren 40 PHR EPDM/NR/CB kompozitlerinin hesaplanan iletkenlik değerleri (S)	42
Çizelge 4.4.Farklı oranlarda EPDM içeren 40 PHR EPDM/NR/CB kompozitlerinin hesaplanan öz direnç değerleri (Ωcm).....	43
Çizelge 4.5.Farklı oranlarda EPDM içeren 40 PHR EPDM/NR/CB kompozitlerinin hesaplanan öziletkenlik değerleri (S/cm).....	44
Çizelge 4.6.%40 EPDM içeren 40 PHR EPDM/NR/CB kompozitinin farklı basınçlar altında ölçülen direnç değerleri ($M\Omega$)	48
Çizelge 4.7.%40 EPDM içeren 40 PHR EPDM/NR/CB kompozitinin farklı basınçlar altında hesaplanan iletkenlik değerleri (MS)	49
Çizelge 4.8.%40 EPDM içeren 40 PHR EPDM/NR/CB kompozitinin farklı basınçlar altında hesaplanan öz direnç değerleri ($M\Omega\text{.cm}$).....	50
Çizelge 4.9.%40 EPDM içeren 40 PHR EPDM/NR/CB kompozitinin farklı basınçlar altında hesaplanan öziletkenlik değerleri (MS/cm)	51
Çizelge 4.10.%50 EPDM içeren 40 PHR EPDM/NR/CB kompozitinin farklı basınçlar altında ölçülen direnç değerleri ($M\Omega$)	53
Çizelge 4.11.%50 EPDM içeren 40 PHR EPDM/NR/CB kompozitinin farklı basınçlar altında hesaplanan iletkenlik değerleri (MS)	54
Çizelge 4.12.%50 EPDM içeren 40 PHR EPDM/NR/CB kompozitinin farklı basınçlar altında hesaplanan öz direnç değerleri ($M\Omega\text{.cm}$).....	55

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.13. %50 EPDM içeren 40 PHR EPDM/NR/CB kompozitinin farklı basınçlar altında hesaplanan öziletkenlik değerleri (MS/cm)	56
Çizelge 4.14. %60 EPDM içeren 40 PHR EPDM/NR/CB kompozitinin farklı basınçlar altında ölçülen direnç değerleri (MOhm)).....	58
Çizelge 4.15. %60 EPDM içeren 40 PHR EPDM/NR/CB kompozitinin farklı basınçlar altında hesaplanan iletkenlik değerleri (MS).....	59
Çizelge 4.16. %60 EPDM içeren 40 PHR EPDM/NR/CB kompozitinin farklı basınçlar altında hesaplanan öz direnç değerleri (MOhm.cm).....	60
Çizelge 4.17. %60 EPDM içeren 40 PHR EPDM/NR/CB kompozitinin farklı basınçlar altında hesaplanan öziletkenlik değerleri (MS/cm)	61
Çizelge 4.18. %70 EPDM içeren 40 PHR EPDM/NR/CB kompozitinin farklı basınçlar altında ölçülen direnç değerleri (MOhm)	63
Çizelge 4.19. %70 EPDM içeren 40 PHR EPDM/NR/CB kompozitinin farklı basınçlar altında hesaplanan iletkenlik değerleri (MS).....	64
Çizelge 4.20. %70 EPDM içeren 40 PHR EPDM/NR/CB kompozitinin farklı basınçlar altında hesaplanan öz direnç değerleri (MOhm.cm).....	65
Çizelge 4.21. %70 EPDM içeren 40 PHR EPDM/NR/CB kompozitinin farklı basınçlar altında hesaplanan öziletkenlik değerleri (MS/cm)	66
Çizelge 4.22. Farklı oranlarda EPDM içeren 50 PHR EPDM/NR/CB kompozitlerinin ölçülen direnç değerleri (Ω).....	74
Çizelge 4.23. Farklı oranlarda EPDM içeren 50 PHR EPDM/NR/CB kompozitlerinin hesaplanan iletkenlik değerleri (S)	75
Çizelge 4.24. Farklı oranlarda EPDM içeren 50 PHR EPDM/NR/CB kompozitlerinin hesaplanan öz direnç değerleri (Ω cm).....	76
Çizelge 4.25. Farklı oranlarda EPDM içeren 50 PHR EPDM/NR/CB kompozitlerinin hesaplanan öziletkenlik değerleri (S/cm).....	77
Çizelge 4.26. %40 EPDM içeren 50 PHR EPDM/NR/CB kompozitin ölçülen direnç değerleri ($k\Omega$).....	81
Çizelge 4.27. %40 EPDM içeren 50 PHR EPDM/NR/CB kompozitin hesaplanan iletkenlik değerleri (kS).....	82

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.28. %40 EPDM içeren 50 PHR EPDM/NR/CB kompozitin hesaplanan öz direnç değerleri (MS).....	83
Çizelge 4.29. %40 EPDM içeren 50 PHR EPDM/NR/CB kompozitin hesaplanan öziletkenlik değerleri (kS/cm)	84
Çizelge 4.30. %50 EPDM içeren 50 PHR EPDM/NR/CB kompozitin ölçülen direnç değerleri (k Ω)	86
Çizelge 4.31. %50 EPDM içeren 50 PHR EPDM/NR/CB kompozitin hesaplanan iletkenlik değerleri (kS).....	87
Çizelge 4.32. %50 EPDM içeren 50 PHR EPDM/NR/CB kompozitin hesaplanan öz direnç değerleri (k Ω .cm)	88
Çizelge 4.33. %50 EPDM içeren 50 PHR EPDM/NR/CB kompozitin hesaplanan öziletkenlik değerleri (kS/cm).....	89
Çizelge 4.34. %60 EPDM içeren 50 PHR EPDM/NR/CB kompozitin ölçülen direnç değerleri (k Ω).....	91
Çizelge 4.35. %60 EPDM içeren 50 PHR EPDM/NR/CB kompozitin hesaplanan iletkenlik değerleri (kS).....	92
Çizelge 4.36. %60 EPDM içeren 50 PHR EPDM/NR/CB kompozitin hesaplanan öz direnç değerleri (k Ω .cm)	93
Çizelge 4.37. %60 EPDM içeren 50 PHR EPDM/NR/CB kompozitin hesaplanan öziletkenlik değerleri (kS/cm).....	94
Çizelge 4.38. %70 EPDM içeren 50 PHR EPDM/NR/CB kompozitin ölçülen direnç değerleri (k Ω).....	96
Çizelge 4.39. %70 EPDM içeren 50 PHR EPDM/NR/CB kompozitin hesaplanan iletkenlik değerleri (kS).....	97
Çizelge 4.40. %70 EPDM içeren 50 PHR EPDM/NR/CB kompozitin hesaplanan öz direnç değerleri (k Ω .cm)	98
Çizelge 4.41. %70 EPDM içeren 50 PHR EPDM/NR/CB kompozitin hesaplanan öziletkenlik değerleri (kS/cm).....	99

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

A	Kesit alanı
G	İletkenlik
L_0	Numune ilk kalınlığı
L	Numune son kalınlığı
R	Direnç
t	Zaman
T_a	Akma sıcaklığı
T_g	Camsı geçiş sıcaklığı
T_m	Erime sıcaklığı
σ	Öziletkenlik

Kısaltmalar

ASTM	Amerikan Test ve Malzemeler Derneği
BDR	Polibütadien Kauçuk
CB	Karbon Siyahı
CR	Kloropren Kauçuk
DNA	Deoksiribonükleik Asit
EPDM	Etilen-Propilen-Dien Kauçuğu
IIR	Butil Kauçuk
IR	İsopren Kauçuk
KİP	Kendiliğinden İletken Polimer
LED	Işık Saçan Diyot
OLED	Organik Işık Saçan Diyot
NBR	Akrilonitril-Bütadien Kauçuk
NR	Doğal Kauçuk
PA	Poliasetilen
PHR	Yüz kısım kauçuk

1. GİRİŞ

20. yüzyılın başlarında varlığı bilimsel olarak kabul edilen polimerler hafif olmaları, ısısal ve elektriksel olarak yalıtkan olmaları ve kolay işlenebilmeleri gibi özelliklerinden dolayı kısa sürede metallere sonra en çok kullanılan malzeme haline gelmişlerdir. Kullanım alanları arttıkça polimer bilim ve teknolojisindeki çalışmalar da hız kazanmıştır. Polimerlerin en kullanışlı özelliklerinden birisi de fiziksel veya kimyasal yollarla sahip oldukları özelliklerin istenen yönde değiştirilebilmesidir. Yalıtkan malzeme olarak akla ilk gelen polimerler, yapılan çalışmalarla iletkenlik özelliği kazandırılarak çoğu uygulamalarda metallere önüne geçmiştir. Kolay işlenmeleri, esneklikleri, estetik görüntüleri, hafiflikleri ve kimyasal açıdan inert olmaları onları metallere göre avantajlı hale getirmektedir. Metallerin elektriksel iletkenliği yüksek ve üstün mekaniksel özelliklere sahip olduğu bilinmektedir. Ancak polimerlerden ağırdırlar, pahalıdırlar ve polimerler gibi kolayca şekillendirilemezler. Metaller için bir başka önemli sorun ise korozyondur.

Günümüzde polimer kimyasının önemli ve yeni bir araştırma konusu olan iletken polimer kompozitler, farklı yöntemlerle elde edilebilmektedir.

Elektriksel olarak yalıtkan bir polimer ile, iletken dolgu malzemesinin karıştırılması yoluyla elde edilen iletken polimer kompozitler ilk örneklerdir. İletkenliği sağlayan dolgu malzemesi olarak, iletken karbon siyahı, kısa grafit lifleri, metal kaplı cam fiberler, metal parçaları gibi malzemeler kullanılmaktadır. Son yıllarda, iletken kompozitlerin yapımında iletken polimerler kullanılmasıyla uygulama alanları daha da genişlemiştir. Bu tür kompozitler süperiletken veya yarı iletken özellik sergileyebilmektedirler. İletken polimerler çok farklı alanlarda kullanılabilir. Özellikle sensörler, antistatik kaplama ve ambalaj malzemeleri, bilgisayarlar için elektromanyetik koruyucular, ışık saçan diyotlar (LED, OLED), korozyon inhibitörleri, transistörler, fotovoltajik hücreler, cep telefonları ve mini formattaki elektronik ekranlar, radar algılama sistemleri, kalp pilleri, güneş ışığı paneli gibi malzemelerin yapımında yaygın olarak tercih edilmektedirler. İletken polimer tanımı farklı iki tür polimer içerir. Birinci tür polimerler karbon siyahı, metal tabakaları ve

metal fiberleri gibi iletken dolgu maddeleri ile birleştirilmiş polimerleri içerirler ki; bunlar ticari olarak kullanılan polimerlerin çoğunu oluştururlar. İkinci tür polimerler ise kendiliğinden iletken polimerler (KİP) olup, kimyasal yapıları nedeniyle kendi molekül sel zincirleri boyunca elektriği dağıtabilen veya iletebilen polimerlerdir.

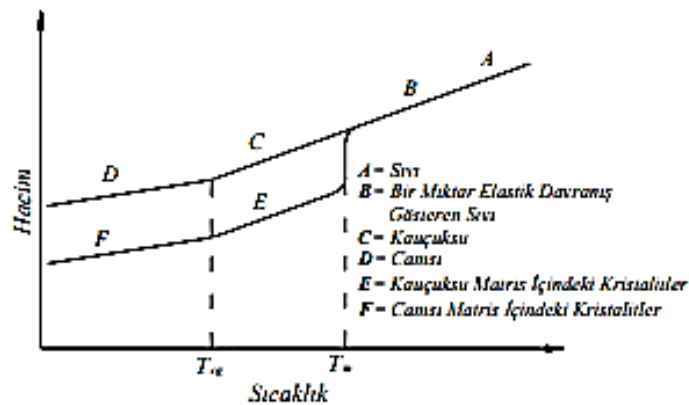
Birinci tür polimerlere Doğal kauçuk (NR), Stiren-Bütadien kauçuğu (SBR), Bütadien kauçuğu (BR), Butil kauçuğu (IIR), Etilen-Propilen kauçuğu (EPM ve EPDM), İso pren kauçuğu (IR), Kloropren kauçuğu (CR), Akrilonitril-Bütadien kauçuğu (NBR) ve Polisülfid (PTR) sentetik kauçukları örnek verilebilir.

Poliasetilen (PA), Polianilin (PANI), Polipirol (PPy), Politiyofen (PTP), Polifuran (PFu), Polifenilen (PP), Poli(para-fenilen) (PPP), Poliinden (PIn) ve Poliindol (PInd) ise ikinci tür polimerlere örnek oluşturmaktadır.

2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI

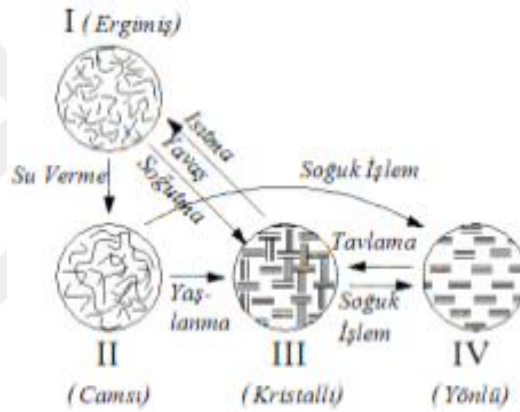
2.1. Polimerlerin Yapı ve Özellikleri

Uygun fonksiyonel grup içeren ve monomer olarak bilinen küçük ve basit moleküllerin birbirleri ile kimyasal olarak bağlanmasıyla oluşan büyük moleküllü maddelere “polimer” denir. Bir polimerin kimyasal yapısı küçük mol kütleli maddelerden farklıdır. Küçük mol kütleli maddeler katı, sıvı ve gaz hallerinde bulunurlar. Ancak polimerler için bu tip bir fiziksel hal ayrımı yapmak kolay değildir. Katı haldeki bir polimer örneği ısıtılacak olursa, belli bir sıcaklık aralığında önce yumuşar sonra eriyik haline geçer. Eğer daha yüksek sıcaklıklara ısıtılırsa hiçbir zaman buharlaşmayıp, ısıl parçalanmaya uğrar. Polimer zincirlerinin kendi aralarında var olan etkileşimleri yenerek gaz faza geçmeleri için gerekli olan enerji miktarı, zincir içi kovalent bağların bozunmasına sebep olacak kadar yüksek olduğu için yüksek sıcaklıklarda polimerler buharlaşmaz, bozunurlar. Katı halde bulunan polimerler tamamen kristal yapıya sahip olmazlar. Kristalleşebilen polimerler, hem kristal hem de amorf bölgelere sahip olarak yarı kristal halde bulunurlar. Düşük sıcaklıklarda ise bütün polimerler camsı davranışa sahiptirler.

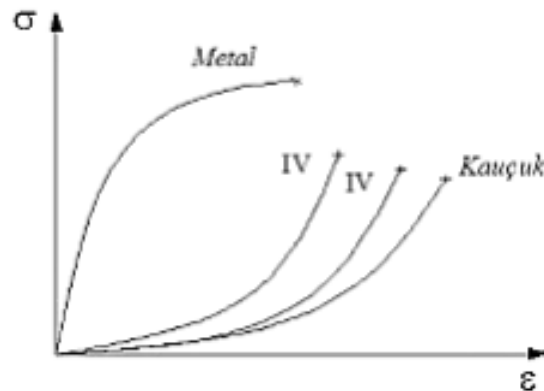


Şekil 2.1. Polimerlerde özgül hacmin sıcaklık ile değişimi (Çimenoglu ve Kayalı, 1991)

Şekil 2.1’de görüldüğü gibi polimer malzeme ısıtıldıkça viskoz bir sıvıya dönüşür. Bu camsı halden viskoz hale geçişin görüldüğü sıcaklığa “camsı geçiş sıcaklığı (T_g)” adı verilir. Camsı geçiş, erime ya da buharlaşma gibi birinci dereceden bir geçiş değil, ikinci dereceden bir faz geçişini ifade eder. Ayrıca camsı geçiş sıcaklığının hangi sıcaklıkta olduğu ve geçişin ne kadar uzun süreceği, malzeme içindeki kristallik oranına, malzemenin ısıtılma hızına, amorf yapının morfolojisine ve malzemenin nasıl bir procesten geçtiğine bağlıdır. Sonuç olarak polimerler katı, yumuşak (elastomer) ve eriyik halinde bulunabilirler. Buna göre polimerler, hem yumuşama yani camsı geçiş sıcaklığına (T_g), hem de kristal polimerler erime sıcaklığına (T_m), amorf polimerler ise akma sıcaklığına (T_a) sahiptir diyebiliriz.



a)



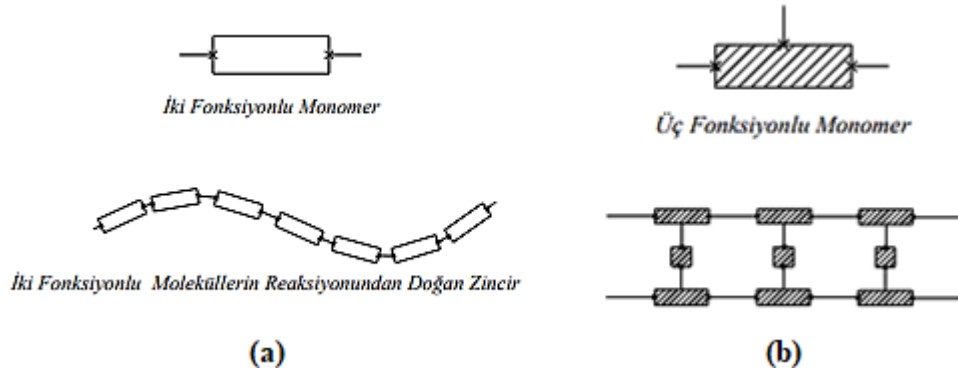
b)

Şekil 2.2. Polimerlere uygulanan işlemlerin a) iç yapıdaki, b) mekanik özelliklerdeki etkisi (Kocataşkın, 1976)

Polimerlerin fiziksel özellikleri ile molekül ağırlıkları arasında ilişki vardır. Dolayısıyla polimerlerden beklenen fiziksel özellikleri gösterebilmeleri için belirli bir molekül ağırlığına sahip olmaları gerekir. Molekül ağırlığı 10 000'den yüksek olan malzemeler polimer özelliği göstermeye başlar. Molekül ağırlığının artması genellikle yapıda moleküller arası çekimin artmasına ve bu da polimerin mekanik, elastik ve plastik özelliklerinin yanısıra yumuşama ve erime olasılıklarının da artmasına sebep olur (Vahapoğlu, 2013).

Doğal kauçuk, selüloz, ipek, odun, hayvansal ve bitkisel lifler, kemik, boynuz gibi bazı polimerler çevrede doğal olarak bulunurken polietilen, polyester, naylon gibi polimerler ise petrol esaslı maddelerden suni olarak üretilmektedir (Çimenoğlu ve Kayalı, 1991). Yine hücre çekirdeğinde bulunan deoksiribonükleik asit (DNA) de, yer kabuğunda bulunan silisyum-4-oksitten meydana gelmiş olan ametist ve saf karbondan oluşmuş elmas da cansız doğada yaygın olan inorganik polimerlerdir. Bu alanda ilk kez çalışan araştırmacılar doğal polimerleri taklit ederek işe başlamışlar ve 1930 yılında Wallace Carothers naylonu sentezlemeyi başarmıştır. İkinci dünya savaşından bu yana birçok polimer laboratuvarlarda üretilmiş ve ayrıca birçok polimer endüstriyel ölçekte üretilmeye başlamıştır.

Polimer kelimesi çok parçalı anlamına gelir. Latince çok sayıda anlamına gelen poli ve parça anlamındaki meros kelimelerinin birleşmesi ile türetilmiştir. Monomer uzun polimer zincirlerini oluşturan birim moleküllere verilen addır. Polimer içinde tekrarlayan bu küçük birim, tek bir atom olabileceği gibi atom grubu da olabilir (Treloar, 1970). Monomer birimlerinden başlayarak büyük polimer moleküllerinin oluştuğu tepkimelere “polimerleşme tepkimesi” denir. Herhangi bir küçük molekül kütleli bileşiğin monomer olabilmesi ve polimer zincirini oluşturmak üzere birbirleri ile tepkimeye girebilmesi için o bileşiğin iki veya daha fazla fonksiyonelliğe sahip olması gerekir. Genel anlamıyla monomerin yapabileceği bağ sayısı olan fonksiyonellik, molekülde bulunan aktif merkez (hidroksil, amino asidi, di veya poli-alkol, di-amino asidi gibi gruplar) sayısına göre birfonksiyonlu, ikifonksiyonlu, üçfonksiyonlu vs. şeklinde isimler alır.



Şekil 2.3. Monomerler a) iki fonksiyonlu, b) üç fonksiyonlu (Kocataşkın, 1976)

Küçük mol kütleli maddelere oranla son derece büyük boyutlu olan polimerler çoğu zaman “makromolekül” olarak isimlendirilir. Küçük molekül ağırlıklı maddelerle makromoleküller karşılaştırılırsa aralarında çok büyük farklar olduğu görülür. Küçük molekül maddeler homojen bir madde yapısına sahip, bütün molekülleri aynı özellikte ve aynı molekül ağırlığına sahiptir. Makromoleküller ise homojen madde yapısına sahip olmayıp, tüm polimer molekülleri aynı molekül ağırlığında olmayıp farklı molekül ağırlığındadır. Bunlarda kesin bir molekül ağırlığı yerine ortalama bir molekül ağırlığından söz etmek gerekir. Küçük mol kütleli maddelerin erimiş hali düşük viskoziteye sahip iken polimerlerin erimiş hali yüksek viskoziteye sahiptir. Doğrusal polimerler erimiş halde iken normal soğumaya bırakıldığında yumuşama sıcaklığı diyebileceğimiz bir camsı geçiş sıcaklığından sonra katılaşır ve camsılaşır. Polimer camsı geçiş sıcaklığının yukarısında kauçuksu özellik gösterir. Küçük molekül ağırlıklı bir madde eritildikten sonra normal hızla soğutmaya bırakılırsa belli bir sıcaklıkta doğrudan doğruya donma noktasına eriştiği görülür (Hazer, 1991).

2.2. Polimerlerin sınıflandırılması

Polimerler farklı şekillerde sınıflandırılabilir. Termoplastik olarak adlandırılan ısıl plastikler, termoset olarak adlandırılan ısıl dengeli plastikler ve kauçuk olarak adlandırılan elastomerler olmak üzere polimerler üç genel kategoriye ayrılabilir. (Schweitzer, 2006). Termoplastik malzemeler ısıtıldıklarında kalıcı değişime girmeyip, akıcı hale gelir. Soğutulduklarında da, içinde buldukları kaba göre şekil alırlar. Termoplastikler, camsı geçiş sıcaklığı olarak adlandırılan kritik sıcaklık

üzerindeki sıcaklıklarda, ısı ve basınç etkisi ile kolayca şekillendirilebilen uzun zincirli doğrusal moleküllerdir. Çoğu polimer için camsı geçiş sıcaklığı oda sıcaklığı üzerindedir, bu nedenle, bu polimerler oda sıcaklığında kırılmandır. Bununla birlikte, yeniden ısıtılabilir ve yeniden şekillendirilebilirler ve geri dönüştürülebilirler (Schweitzer, 2006). Kullanılmış termoplastikler ısı ve basınç altında tekrar işlenebilirler. Bunlara en iyi örnek polistirendir. Diğer bir örnek de poliolefin denilen polietilen ve polipropilendir. Termoplastikler, buharlaşma ile bileşimlerinin değişmemeleri şartı ile tekrar tekrar şekillendirilip, kaynak yapılabilir malzemelerdir (Kurtman ve Göktaş, 2006). Termoset malzemeler ise, ısı işlemiyle yalnız bir defa şekillendirilebilirler. Polimerizasyonları yani üretilmeleri sırasında zincirleri arasında kovalent bağlar meydana gelir. Genellikle çapraz bağlı bir yapıya sahiptirler. Bu çapraz bağlar bir kere oluşturulduklarında ısı ve solventlere dayanıklı hale gelirler ve tekrar işlenemezler. Ayrıca bu maddeler boyutsal bir kararlılığa sahiptirler ve darbe dirençleri fazladır. Tekrar kalıplama ile şekillendirilemezler. Bu yüzden de çapraz bağlanma sırasında şekillendirilmesi gerekir. Termosetlerin genel özellikleri sağlam olmaları, darbe dayanımlarının yüksek olması, yüzeylerinin çok düzgün olması, çoğunun renklendirilebilmesi, sıcak ve soğuk dayanımlarının iyi olması, tekrar şekillendirilememesi, solvent dayanımlarının çok iyi olmaması, sert olmaları, kırılma olmalarıdır (Tepebağ, 2007). Bunlara en iyi örnek epoksi ve fenol formaldehit reçineleridir. Elastomer; oda sıcaklığında orijinal uzunluğunun en az iki katına uzatılabilen ve kuvvet kaldırıldığında hızla orijinal uzunluğuna dönen polimer malzemeler olarak teknik tanımı ASTM'de verilmiştir (Schweitzer, 2006). Elastomerler, yüksek kopma uzamaları, kabul edilebilir düzeyde kopma mukavemetleri, aşınma dirençleri, solvent ve dış hava şartlarına dayanım gibi diğer polimer gruplarından ayıran önemli özelliklere sahiptir. Bir polimer; yüksek molekül ağırlığına, düşük zincirler arası kuvvete, gelişigüzel zincir yapısına ve çapraz bağlanabilme özelliğine sahip olursa ancak elastomer olarak nitelendirilebilir (Tepebağ, 2007).

Polimerler, organik ve inorganik olarak da sınıflandırılabilirler. Organik polimerler, yapılarında öncelikle karbon olmak üzere hidrojen, oksijen, azot ve halojen atomlarını içerirler. İnorganik polimerlerde ise, ana zincirlerinde karbon atomu

yoktur (Gürü, 2002). Polimer ana zincirinde karbon atomu yerine periyodik cetvelde yer alan 4. ve 6. grup elementleri bulunur, Si, B, Ge gibi. Polimer zinciri üzerinde dizili atomların hepsi aynı türden ise bu polimerlere “homo zincir”, farklı atomlar ise “hetero zincir” polimer olarak adlandırılır.

Polimerler elde edilişlerine göre doğal, sentetik ve yarı sentetik olmak üzere üçe ayrılır. Doğal polimerler, canlı ve cansız bünyelerde kendiliğinden bulunurlar. Proteinler, nükleik asitler, polisakkaritler, nişasta, doğal kauçuk, selüloz, elmas, grafit, silikonlar doğal polimerlerdir. Polietilen, poli(vinil klorür), EPDM gibi sentetik polimerler monomerlerden polimerizasyon yoluyla üretilir. Kimyasal tepkimeler yardımı ile doğal polimerlerden yarı sentetik polimerler elde edilir.

Yapılarına göre, tek bir monomer biriminin tekrarlanması ile oluşan polimerler homopolimer, farklı kimyasal yapıdaki tekrarlayan birimlerden oluşan polimerler kopolimer olarak adlandırılır. Kopolimerler kendi içinde ardışık (alternatif), blok (düzenli), gelişiğüzel ve graft (aşı) polimer olarak sınıflandırılır.

Bağ yapılarına göre, doğrusal (lineer), dallanmış ve çapraz bağlı polimerler, fiziksel durumlarına göre amorf ve kristalin olarak değerlendirilebilirler. Molekül zincirlerinin birbirlerine göre dizilme şekilleri polimerlerin fiziksel yapısını meydana getirir. Amorf yapıdaki polimerlerde, uzun zincir şeklindeki moleküller kendi aralarında rasgele bağlanmış olup, kristalleşme veya çapraz bağlar görülmez. Molekül zincirleri birbirlerine göre gelişiğüzel şekilde birbiri içine girmiş yün yumakları şeklindedir. Böyle polimerler cama benzerler ve saydamdırlar. Buna tipik örnek polimetilmetakrilattır. Kristalin yapıdaki polimerlerde, polimer zincirlerinin tamamı belli bir düzene girmiş veya kristalleşmiştir. Başka bir ifade ile, molekül zincirleri birbirlerine göre üç boyutlu bir düzeni andıran düzenli bir yapıdadır. Kristal, tanım olarak atomların büyük bir bölgede düzgün sıralanması olarak tanımlanır. Bu sıralanma polimerlerde üç ana kaynaktan oluşabilir. Bunların en basiti komşu zincirlerde bazı kısımların uyuşması, diğer bir yol aynı zincirin bazı kısımlarının kendi üzerine katlanmasıdır. Üçüncü yol helisel molekül zincirlerinde sarımların yan yana gelmesi şeklindedir. Polimerlerin hiçbiri tam olarak kristal

değildir. Amorf veya kristal olmayan bölgelerle ayrılmış kristal bölgeler vardır. Kristal olan bölgeler katılığı oluştururken, amorf bölgeler ise dayanıklılığı artırır (Marşoğlu, 1986).

Sentez yöntemlerine göre de polimerleri sınıflarsak, kondenzasyon polimerleşmesinde, monomer birimleri veya zincir sonu grupları arasındaki reaksiyonlar sonucunda küçük bir molekül açığa çıkar ki; bu genellikle su olur. Bu, yan ürün uzaklaştırılmadığı takdirde duran bir denge reaksiyonudur. Böyle bir prosesle üretilen polimerler suya ve yüksek sıcaklıklara maruz kaldıklarında bozunurlar. Adisyon polimerleşmesinde ise, zincir reaksiyonu ile gelişen moleküle yeni monomer birimleri eklenir. Böylece her yeni birim, bir sonraki parça için aktif bölge oluşturur. Buna örnek olarak etilen gazının polimerleşmesi verilebilir (Schweitzer, 2006).

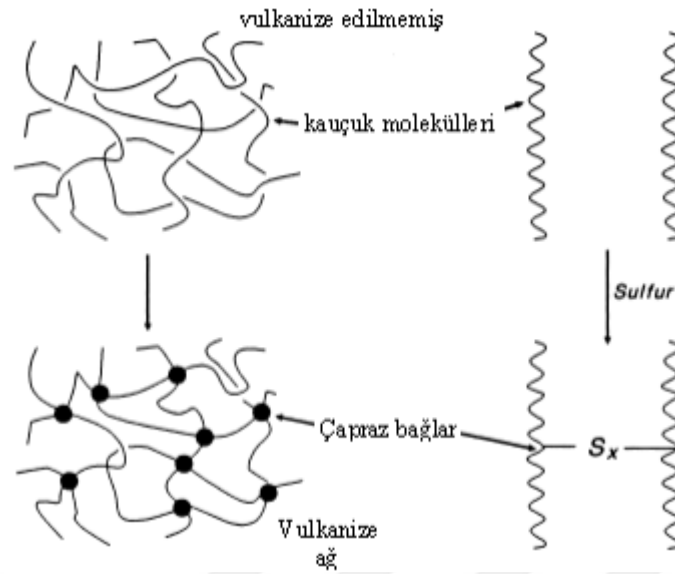
2.3. Kauçuk Malzemeler

Önemli bir mühendislik malzemesi olan kauçuk çok amaçlı ve geniş kullanım potansiyeline sahiptir. Yaşamın her alanında kauçuk bizimle iç içedir (Savran, 2001). Kauçuk; bazı bitkilerin sütümsü öz suyundan doğal halde ya da petrol ve alkolün bileşimlerinden suni olarak elde edilen bir malzemedir. Kauçuklar birçok endüstriyel uygulamada yaygın olarak kullanılırlar. Örnek olarak, otomotiv endüstrisinde; tekerleklerin, alçak basınç hortumlarının ve araba gövde bağlantılarının ana bileşenini kauçuk oluşturur (Le Bideau, 2008). Bunun gibi akaryakıt ve fren hortumları, cam silecekleri, transmisyon kayışları, contalar, aks körükleri, radyatör ve hava hortumları, kapı ve cam profilleri, salınım ve titreşim takozları, izolasyon elemanları otomotiv sektöründe kauçuk malzemenin kullanıldığı diğer örneklerdir.

Beyaz eşya sektöründe de sıkça kullanılan kauçuk körükler, contalar, sıcak ve soğuk su hortumları, otoyol ve viyadüklerde kullanılan elastomer yataklar, genişleme contaları, içme suyu borularında sızdırmazlık contaları, plastik ve alüminyum doğramaların profil ve contaları, tıpta ve cerrahide kullanılan ince borular, şişme bot ve balonlar, iş ve ameliyat eldivenleri, havaalanı, terminal binaları ve otellerdeki yer

kaplamaları, yürüyen merdivenler ve taşıyıcı bantlar, tenis ya da golf toplarında kullanılan kauçuğun geniş kullanım alanlarına örnek oluşturur (Savran, 2001). Konveyör bant imalatı, gıda, sağlık ve elektronik sanayindeki uygulamalar, ayakkabı üretiminde ökçe, pençe ve taban imalatı kauçuğun her sektör için vazgeçilmez bir ürün olduğunu göstermekte yeterlidir (Savran, 2001).

Kauçuklar diğer polimerik malzemelerden kendine özgü karakterleri nedeniyle ayrılırlar. Gerilmemiş durumda kauçuklar amorf yapıda olup camsı geçiş sıcaklıkları üzerinde elastik iken, plastikler kristal yapıda olup, kararlılıklarını korumak için camsı geçiş sıcaklıkları altında kullanılırlar (Çavdar, 2007). Kauçuklar oda sıcaklığında amorf halde bulunurken, ortam sıcaklığından daha düşük camsı geçiş sıcaklığına (T_g) sahip olan çapraz bağlanmamış olmakla birlikte çapraz bağlanabilme özelliğine sahip, yani vulkanize edilebilen ve seyrek çapraz bağlanabilerek elastomer haline dönüşebilen polimer türleridir. Kauçuklar yumak halde duran molekül zincirlerinin uzatılabilme özellikleri nedeniyle, oda sıcaklığında önemli bir elastikiyet kazanırlar. Yüksek sıcaklıkta ve deforme edici kuvvetlerin etkisi altında, viskoz akış özelliği gösterir. Uygun şartlar altında şekillendirilebilirler. Sıcaklık arttırılacak olursa, malzemenin akışkanlığı artar ve giderek termoplastik bir davranış sergilerler (Soyubol, 2006). Kauçuğun günlük yaşantımıza girmesi Charles Goodyear'ın (1800-1860), 1843 yılında, vulkanizasyon işlemini keşfetmesi ile olmuştur. Goodyear (1843) ve Hancock (1844) kauçuğun sıcakta yumuşaması ve soğukta gevrekleşmesi gibi kullanımdaki zorlukları gidermek amacıyla kauçuğa kükürt katmışlar ve şekillendirmeden sonra 130-140°C sıcaklığa kadar ısıtmışlardır. Yapmış oldukları bu işlem ise literatürde vulkanizasyon olarak adlandırılmıştır. Kükürt oranı düşükse (%0.5-5) yumuşak kauçuk, yüksek ise (%30), çapraz bağ sayısı çok yüksek olan, sert kauçuk elde edilir. Kısaca vulkanizasyon işlemi, kauçuğun kükürtle ısıtma işlemi olarak kabul edebilir. Bu işlemde polimer zincirleri kükürt atomları aracılığı ile birbirlerine çapraz bağlanırlar. Bu sayede kauçuk direnç kazanır ve elastik davranış sergiler (Güleç, 1990).



Şekil 2.4. Polimer zincirlerinin kükürt atomları aracılığı ile çapraz bağlanarak ağ oluşturması (Mark vd., 2005)

Elastomer ve kauçuk kelimeleri günlük kullanımda aynı anlamları ifade etse de bu iki terim ASTM standartlarında birbirinden ayrılmıştır. ASTM D1566 (ASTM-D 1566, 1993) standartlarında elastomerler, uygulanan kuvvetin serbest bırakılmasıyla orijinal boylarına hemen geri dönen makromoleküler bir malzeme olarak tanımlanmaktadır. Kauçuk ise uygulanan kuvvetin kaldırılması sonucunda belli bir zaman dilimi içinde orijinal boyuna dönebilen makromoleküler malzeme olarak tanımlanmaktadır. Böylece, tüm kauçuk malzemeler elastomer iken tüm elastomerler kauçuk malzeme değildir. Çünkü elastomerlerin tanımında geri dönüş zamanı tanımlanmamıştır (ASTM-D 1566, 1993).

2.3.1. Kauçukların sınıflandırılması

Kauçuk türü malzemeler, katı bir malzeme olan polimerler sınıfındandır. Polimerler içinde ise hem moleküllerin dizilişleri hem de göstermiş olduğu mekanik davranış açısından elastomerler grubunda ele alınmaktadır. Charles Goodyear'ın 1839 yılında vulkanizasyon işlemini bulmasına kadar termoplastik elastomer olan kauçuk türü malzemeler vulkanizasyon işleminden sonra termoset elastomer grubunda yerini almıştır (Rosen, 1993). Kauçuklar genel olarak doğal ve sentetik kauçuklar olarak sınıflandırılabilir. Avrupa'da tarım toplumundan sanayi toplumuna geçişte önemli bir

mühendislik malzemesi olan doğal kauçuk, büyük doğal kauçuk çiftliklerinin kurulmasına, bununla birlikte de kauçuk makinaları sektörünün gelişmesine yol açmış, özellikle otomobil lastiklerinin icadı bu sektörün önemini ortaya çıkarmıştır. I. ve II. Dünya Savaşlarındaki aşırı talep sentetik kauçuk kullanımına yöneltmiş ise bu sektördeki çalışmalara büyük bir ivme kazandırarak bugün kullandığımız birçok sentetik kauçuk malzemesinin keşfine aracı olmuştur. Özellikle II. Dünya savaşından sonra farklı kullanım yerleri için birçok sentetik kauçuk malzemesi üretilmiş ve bunlar günlük yaşamda da kullanılır olmuştur (Vahapoğlu, 2007). Günümüze kadar bütadien kauçuk (BR), stiren-bütadien kauçuk (SBR), kloropren kauçuk (CR), akrilonitril bütadien kauçuk (NBR), etilen-propilen-dien kauçuğu (EPDM) vb. birçok sentetik kauçuk üretilmiştir.

2.3.2. Kauçuk hamuru

Kullanım amacına uygun olarak seçilmiş ve birbirleriyle oransal bir bütünlük sağlamış maddeler topluluğu reçete veya formül olarak tanımlanır (Soyubol, 2006). Elastomer veya elastomerlerin toplamı 100 olacak şekilde reçete hazırlanır. Elastomer dışı tüm katkıları phr olarak reçeteye konur. PHR " parts per hundred of rubber " yani, "yüz kısım kauçuk" olarak adlandırılır (Öztürk, 2008).

Kauçuk hamuru, istenilen özelliklere göre ayarlanmış, kauçuk ve diğer hammaddeler ile katkı maddelerinden oluşan, vulkanize edilebilen bir karışımdan ibarettir. Kauçuk ürünlerin hayatın hemen her alanında çok önemli yerleri vardır. Doğru polimerlerin, kauçuk kimyasallarının ve dolgu maddelerinin uygun oranlarda karışmaları bu ürünlerin başarılarını sağlayan parametrelerdir (Öztürk, 2008). Performansı iyileştirmek amacıyla kauçuklara katkı maddelerinin katılması günümüzde hala birinci derecede önem taşımaktadır. Katkı yapmadan çok az sayıda kauçuk ticari değerinde yararlı olabilmektedir (Nichetti, 2004). Bir kauçuk karışımından; bitmiş mamulün çalışacağı ortama uygun özellikler taşıması, karışımın uygulanacağı proses metot ve makinelere uygun olması ve rekabet edilebilmesi için düşük maliyet gibi özellikler beklenir (Soyubol, 2006).

Kauçuk karışımında; elastomerler (doğal ya da sentetik), proses yardımcıları, plastikleştiriciler, yumuşatıcılar, yapıştırıcılar, aktivatörler, vulkanizasyon ajanları (kükürt, kükürt verici akseleratörler, organik peroksitler, ikincil vulkanizasyon ajanları ve metalik oksitler), yaşlanmaya karşı koruyucular (antioksidant ve antiozonatlar), güçlendirici pigmentler ve reçineler, özel amaçlı kullanılan maddeler (aşındırıcı, şişirici ajanlar, renklendiriciler ve kokular) ile inert dolgu maddeleri ve maliyet düşürücüler amaca uygun olarak seçilerek uygun oranlarda yer alırlar (Annicelli , 1990).

2.3.2.1. Dolgu malzemeleri

Elastomerlerin ticari uygulamalarında genellikle istenilen özellikleri sağlayabilmek için dolgu maddelerinin kullanılır (Park ve Cho, 2003). Bundaki ana sebep; bileşimin belirli özelliklerini iyileştirmek ve maliyeti düşürmektir (Arroyo vd., 2003). Kauçuk hamuruna, kuru toz halinde katılan çok küçük tane boyutlu maddeler, güçlendirici ya da dolgu maddeleri olarak adlandırılır (Soyubol, 2006). Dolgu maddeleri rengine ve yaptıkları etkiye göre iki ayrı şekilde sınıflandırılabilirler. Rengine göre siyah ve beyaz dolgu maddeleri olarak ikiye ve yapmış oldukları etkiye göre de aktif dolgu maddeleri (güçlendirici), yarı aktif dolgu maddeleri (kısmen güçlendirici) ve inaktif dolgu maddeleri (güçlendirici etkisi olmayan) olarak üçe ayırmak mümkündür (Soyubol, 2006). Siyah dolgu maddeleri karbon siyahları olup, beyaz dolgu maddeleri ise kalsiyum karbonat, silika, kil, talk, çinko oksit gibi dolgulardan oluşur (Öztürk, 2008).

2.3.2.2. Yumuşatıcılar

Dolgu maddeleri kadar önemli rol oynarlar. Hem karbon siyahı ile birlikte yüksek oranda kullanıldığından karışımın maliyetini düşürür hem de işleme esnasında karışımın akıcılığını iyileştirirerek enerji tasarrufu sağlanmasında rol oynar. Ayrıca dolgu maddelerinin karışım içinde kolayca dağılmasını sağlar, kauçuk karışımının işlenmesini kolaylaştırır ve yapışkanlığı iyileştirir. Düşük sıcaklıklarda kauçuğun

fiziksel özelliklerinden özellikle uzama ve elastikiyetini iyileştirir, elektrik iletkenliğini yükseltir, aleve karşı direncinin artmasını sağlar (Öztürk, 2008).

Yumuşatıcılar, kauçuğa etkileri bakımından iki grupta incelenebilir. Birinci grup peptizörler olarak tanımlanırlar. Bunlar kimyasal aktiviteye sahip olup, karışım sırasında kauçuğa kimyasal olarak etki eden maddelerdir. Kauçuk karışımının viskozitesinin düşmesine sebep olurlar. Kauçuk içinde çok az veya hiç çözünmeyen yumuşatıcılar ise ikinci grubu oluştururlar. Bunlar, kauçuk molekülleri arasında kaydırıcı görevi görürler. Karışımın viskozitesini bozmadan, işlenmesini kolaylaştırırlar. Mineral yağlar, parafin bu gruptan bileşiklerdir. Bunlar fiziksel yumuşatıcılar olarak da tanımlanır (Öztürk, 2008).

2.3.2.3. Aktivatörler

Doğal kauçuğa takviye etmek amacıyla CaO, MgO, PbO, ZnO gibi metal oksitler ilave etmek veya boyamak isteği tesadüfen aktivatörlerin bulunmasına yol açmıştır. Aktivatörler karışım içindeki pişiricileri aktif hale getirmek için kullanılır. Günümüzde en çok kullanılan çinko oksittir. Metal oksitlerin yanısıra stearik asit de aktivatör olarak kullanılmaktadır (Soyubol, 2006). Aktivatörler vulkanizasyon ajanları ile birlikte vulkanizasyon hızını arttırarak çapraz bağlanma süresini azaltır (EPA, 2005).

Aynı zamanda aktivatörler, polisülfid iyonları oluşturmak için element halindeki kükürt halkasının açılmasına yardım etmektedir ki bu da vulkanizasyon oranını arttırmakta ama vulkanizasyon etkinliği üzerine etkisi az olmaktadır. Aktivatörler çinko-hızlandırıcı-yağ asidi kompleksleri oluştururlar. Oluşan bu kompleks kauçuk sülfirizasyonunda, polisülfür çapraz bağlarından di ve monosülfid bağlarının oluşmasında ve vulkanizasyon veriminin artmasında etkilidirler (Öztürk, 2008).

2.3.2.4. Vulkanizasyon Ajanları

Kauçuğun kükürt veya diğer eşdeğer çapraz bağlayıcıların ilavesiyle daha dayanıklı malzemelere dönüştürülmesi için kullanılan kimyasal sürece vulkanizasyon denir. Vulkanizasyon uygulandıktan sonra artık geri dönüşümü olmayan ya da çok zor olan bir kimyasal işlemdir. Kauçuğun uzun polimer zincirleri vulkanizasyon esnasında kükürt köprüleri yardımı ile birbirlerine çapraz bağlarla bağlanırlar (Öztürk, 2008).

2.4. İletken Polimer Kompozitler

Polimer matrisli kompozit malzemelerin geliştirilmesine 1940'lı yıllarda havacılık sektörüne hizmet vermek amacıyla başlanmıştır. Çelik ve alüminyum alaşımları gibi geleneksel malzemelerin yerine daha düşük ağırlıklı ancak daha mukavemetli, sertlik değeri, aşınma dayanımı ve kırılma tokluğu yüksek malzemelerin geliştirilmesi amaçlanmıştır (Kayrak, 1999).

Kompozit malzemeler üç ana elemandan oluşmaktadır; matris elemanı, takviye elemanı ve katkı maddeleri. Sürekli fazı oluşturan matris elemanı, termoset ve termoplastik polimer malzemelerdir. Kompozit yapının temel mukavemet elemanları takviye elemanıdır. Takviye (fiber) malzemesi genellikle karbon, cam veya aramididir (Mazumdar, 2002). Kompozit malzemedeki fiberlerin ve matris malzemelerin görevlerinin bilinmesi kompozit malzemenin davranışını anlamak için gereklidir. Kompozit malzemeye uygulanan kuvvetin yükünün çoğunu fiberler taşır. Bu yükün neredeyse %90'ını fiberler taşır. Fiberler, sertlik, yüksek elastik modül, yüksek sıcaklıktaki dayanımları ve diğer yapısal özellikleriyle kompozit malzemeyi kararlı hale getirir. Kullanılan fiber malzemelerin özelliğine göre kompozit malzemenin elektrik iletkenliği ya da yalıtım özellikleri değişir. Matris malzeme ise fiberleri bir arada tutarak fiberlerin bireysel hareket etmesine engel olur. Kompozit malzemeye yüklenen yükü fiberlere transfer eder. Malzemeye şekil verdiği gibi malzemenin katı durmasını sağlar. Çevresel faktörlerin vermiş olduğu kimyasal ve fiziksel zararlara karşı kompozit malzemeyi korur. Katkı maddeleri ise, matrise niteliklerine göre özelliklerin geliştirilmesi amacıyla ilave edilirler. Kompozit malzemelerin %90'ı

polimer esaslı matrislerle üretilmektedir. Kompozit malzemeler; hafiflik, yüksek mukavemet, korozyon dayanımı, tasarım esnekliği, yüksek dielektrik direnimi, şeffaflık özelliği, yüzey uygulamaları, yanmazlık özelliği, sıcaklıktan etkilenmemesi, içerisine farklı malzemelerin gömülebilmesi ve kesilip delinebilme gibi birçok özelliğe sahip olduklarından, uçak-uzay, savunma, yapı-inşaat, elektrik- elektronik, korozyon dayanımı gerektiren uygulamalar, denizcilik, kara taşıtları ve özel amaçlı uygulamalarda kullanımı yaygındır (Kalaycı, 2008).

İletken polimer kompozit elde etmek için uygulanan farklı yöntemler vardır. Herhangi bir yalıtkan polimerin istenilen fiziksel özellikleri ile iletken polimerlerin elektriksel iletkenliğini birleştirmek bu yöntemlerdendir. Bu yöntem sayesinde, geleneksel polimerlerin iletken polimerlerle birleştirilmesi sağlanarak üstün elektriksel özelliklere sahip yeni malzemelerin tasarlanabilmektedir (Honey, Hakansson, 2006).

Elektriği dağıtabilen veya iletebilen özel polimerler “iletken polimerler” olarak tanımlansa da, gerçek anlamda iletken polimerler terimi tamamıyla farklı iki tür polimerleri ifade eder. Birinci tür polimerler karbon siyahı, metal tabakaları ve metal fiberleri gibi iletken dolgu maddeleri ile birleştirilmiş polimerlerdir ki, bunlar ticari olarak kullanılan polimerlerin çoğunu oluştururlar. İkinci tür polimerler ise kimyasal yapıları nedeniyle kendi molekül zincirleri boyunca elektriği dağıtabilen veya iletebilen, kendiliğinden iletken polimerler (KİP) polimerlerdir (Kalaycı,2008).

Bu tür polimerler sırayla değişen tek ve çift bağlardan oluşan bir zincir yapısına (konjugasyon) sahiptirler. Bu özellikleri onları diğer polimerlerden ayırır. Bu yapıya sahip polimerlerde konjugasyon etkisi ile polimerler iletken özellik kazanmış olur (Feast,1996).

İlk kullanımlarından bu yana polimerler elektriksel yalıtkanlığı iyi maddeler olarak bilinirler. Bu özelliklerinden dolayı elektriksel yalıtkanlığın arandığı, kabloların kılıflanması gibi alanlarda önemli kullanım yerleri bulmuşlardır. Kolay işlenmeleri,

esneklikleri, estetik görüntüleri, hafiflikleri ve kimyasal açıdan inert olmaları diğer bazı üstün özellikleridir.

Metaller ise; elektriksel iletkenliği yüksek, üstün mekaniksel özelliklere sahip bir başka madde grubunu oluşturur. Ancak, metaller polimerlerden ağırdırlar, pahalıdırlar ve polimerler gibi kolayca şekillendirilemezler. Korozyon, metaller için önemli bir başka sorundur. Metallerin elektriksel iletkenlik ve mekaniksel özelliklerini, polimerlerin özellikleriyle birleştirerek bir tek malzemede toplayabilmek her zaman ilgi çeken bir araştırma konusu olmuştur.

İletken polimer kompozitler metalik iletkenlere göre birçok avantaja sahiptirler. Düşük bir maliyet ile kolayca şekillendirilebilmeleri, hafif olmaları, korozyon dirençlerinin yüksek olması ve geniş bir yelpazede elektriksel iletkenlik sunmaları önemli taşır (Tsotra ve Friedrich, 2002). İletken ve yarı iletken kompozitler farklı geçişlere sahip olmaları ve sıcaklığa karşı dayanıklılık gibi özelliklerinden dolayı güneş pili, optoelektronik devre elemanları, lazer diyotları yapımı gibi çok çeşitli alanlarda kullanılır. Son zamanlarda gelişen teknoloji ile birlikte elektrokimyasal uygulamalar için de yarı iletkenler kullanılmaktadır. Ayrıca tüm bu özelliklerinin yanında ekonomik olmalarından dolayı da üretim aşamasında kompozitler uygulamalarda daha önem taşır hale gelmişlerdir (Canbay, 2005).

İletken polimerlerin fiziksel, kimyasal, mekanik, ısıl, işlenebilme ve çözünürlük gibi bazı özellikleri iyi olmadığı için onların bu kusurlarını iyileştirmek veya yeni iletken polimerik sistemler elde etmek için çeşitli iyileştirme yöntemleri uygulanmaktadır. Bu işlemler daha çok kimyasal veya elektrokimyasal yöntemlerle yapılmaktadır. Bunun için bir iletken polimeri, bir yalıtkan matris veya başka bir iletken polimer ile karıştırılarak gerçekleştirilen yöntemler uygulanmaktadır. Yalıtkan polimer matrisi kullanılarak iletken kompozit hazırlanmasındaki temel amaç hem yalıtkan polimer matrisinin mekanik özelliklerini taşıyan hem de iletken polimerlere yakın iletkenlik gösteren kompozitler oluşturmaktır (Gul, 1996).

Bu amaçla yapılan ilk yaklaşımlar, polimerlerin uygun iletken maddelerle karışımlarının hazırlanmasına yöneliktir. Denenen yollardan birisi, polimerlere metal tozları gibi parçacıkların katılması ve iletkenliğin polimer örgüsüne sokulan metal faz üzerinden sağlanması olmuştur. Polimer içerisinde uygun bir tuz çözünmüş iyonik iletkenlikten yararlanmak bir başka yaklaşımdır. Her iki yöntemde de polimer, iletkenliği sağlayan parçacıklar için bir bağlayıcı faz olarak işlev yapar ve kendisi elektrik iletimine katılmaz.

2.4.1. İletken polimer kompozitlerin elektriği iletme mekanizmaları

İletken polimerler, hazırlanış ve elektriği iletme mekanizmalarına göre; iyon-polimer katı elektrolit sistemleri, elektronik iletken materyallerin iletken olmayan polimerlerle filmleri ve elektronik taşınma ile elektriği iletme şeklinde farklı türlere ayrılırlar.

2.4.1.1. İyonik iletkenlik

Bazı polimer molekülleri tuzlar için katı çözücü özelliğindedir. Bu özellikten yararlanarak elektriği iyonik mekanizma üzerinden ileten polimerler hazırlanabilmektedir. Genellikle iyonik iletkenlik gösteren polimerlerin yapısında elektron verici bir grup bulunur ve polimerin yapısında yer alan bu gruplar tuzun katyonik bileşiği ile zayıf bağlar oluştururlar. Ve bu gruplar polimerin ısı etkisi ile yapacağı eğilip bükülme hareketleri ile zincirler arasında taşınırlar. Bu taşınma polimer üzerindeki bir grubun bir başka polimer zincirindeki benzer gruba iyon transferi şeklinde olmaktadır (Erdemci, 2009).

2.4.1.2. Yalıtkan polimer-iletken malzeme

Yalıtkan polimerlerden iletken polimerler elde edilmesi grafit veya metal parçacıkları gibi iletken özellikteki materyallerin polimerlere katılması yöntemi ile gerçekleştirilebilmektedir. Hatta polimer zincirine metal parçacıkların katılması ile bazen oldukça yüksek iletkenliğe sahip kompozitler elde edilebilmektedir ki, bu

kompozitlerin elektronik iletkenlik değeri iletken parçacıklar arasındaki temasın derecesine oldukça bağlıdır (Şahmetlioğlu, 2004).

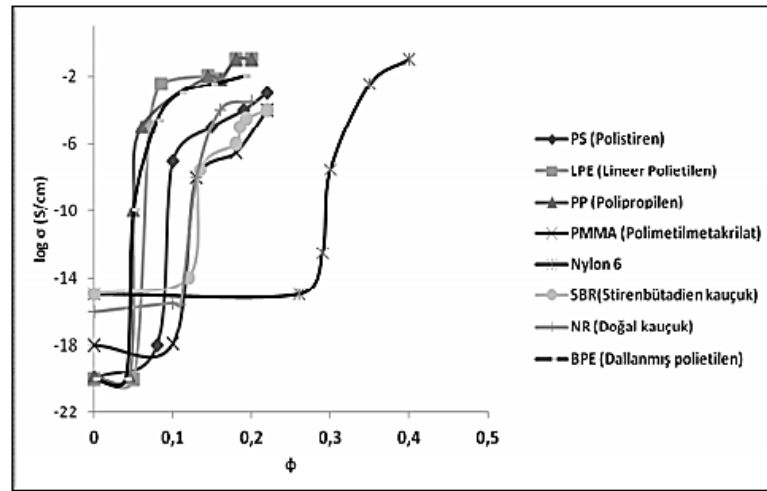
2.4.1.3. Elektronik iletkenlik

Katı hallerinde elektriği elektronik iletkenlik mekanizmasıyla ileten makromoleküller bu grubu oluşturmaktadır. Elektronik iletkenlik gösteren polimerlerin, elektronların polimer zinciri boyunca göç etmesine ve zincirden zincire atlamasına fırsat sağlayabildiği anlaşılmıştır. Bu tür polimerlerdeki elektronik iletkenlik, metaller veya metalik yarı iletkenlerdeki elektronik iletkenliğe benzer davranış sergilerler. Bu tür iletkenlik, poliasetilen gibi yapısında düzenli konjügasyon ve delokalize olmuş çift bağları bulunduran polimerlerde görölmektedir (Şahmetlioğlu, 2004).

2.4.2. Perkolasyon modeli

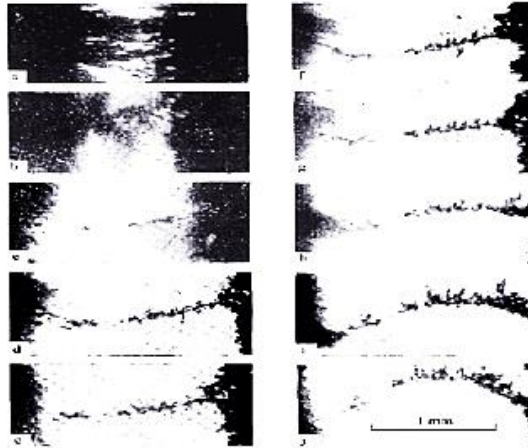
Polimer matrisli, iletken dolgu maddesi katkılı kompozitlerin elektriksel davranışları perkolasyon modeli ile açıklanır. Perkolasyon modelinde direnç değerinin kompozit içerisindeki dolgu maddesinin (%) hacimsel oranı ile değişimi incelenir. Bu kompozit sistemlerde dolgu maddesi deşişimi arttıkça partiküllerin birbirlerine olan uzaklıkları azalır ve hatta birbirleriyle temas ederek uzaysal zincirler kurmaya başlarlar. Bu olay dolgu maddelerinin birbirleri arasında kurdukları iletken köprüler ile açıklanabilir (Moffatt ve ark., 1986). Dolgu maddesinin miktarı arttıkça kompozit içerisinde daha fazla iletken köprü oluşacak ve bu aşamada kompozit yapının elektriksel özellikleri çok hızlı bir şekilde değişim gösterecek, elektriksel iletkenlik artacaktır. Ancak düşük deşişimlerde iletken dolgu maddeleri arasında bir etkileşim söz konusu olmaz. Bu durumda kompozit yalıtıcıdır. Dolgu maddeleri deşişimin artması ile birbirlerine daha çok yaklaşırlar ve elektronlar iletken partiküller arasında hareket ederek, atlama veya tünelleşme ile elektriksel akımın oluşmasını sağlarlar. Deşişim daha da arttırılacak olursa partiküller fiziksel olarak birbirlerine daha çok yaklaşırlar. Bu sayede bir ağ yapı oluştururlar. İşte bu ağ yapının oluşmaya başladığı yani elektriksel iletkenlik zincirinin oluştuğu minimum dolgu malzemesi deşişimine “perkolasyon deşişimi” şeklinde tanımlanır (Çelebi, 2010; Kalyon ve ark., 2002;

Moulart ve ark., 2004). Perkolasyon eşik derişimi ise kullanılan matris malzeme çeşidine, iletken tozu tane büyüklüğü ve biçimine ayrıca bu parçacıkların matris malzeme içindeki dağılımına bağlıdır. Kullanılan toz tane boyutu küçüldükçe perkolasyon eşik değerinin azaldığı görülmüştür (Yaman, 2007). Aynı zamanda kompozit yapı içinde kür sırasında oluşması muhtemel iletken zincir sayısı, kullanılan matris malzemenin viskozitesinin azalması ile artmaktadır (Gul, 1996). Şekil 2.5'te aynı iletken karbon tozu takviyesi ile farklı termoset/termoplastik matris malzemelerden elde edilen kompozit malzemelerin iletkenliğinin dolgu maddesi derişimine göre değişimi görülmektedir. Bundan anlaşılacağı üzere dolgu maddesi partikülleri, belli bir kritik hacimsel oran üzerine çıkıldığında kompozit yapının iletkenliğinde ani artış meydana getirmektedir. Bu artış ise dolgu maddesi oranı arttıkça giderek sabit bir iletkenlik değerine doğru eğilim göstermekte yani doymuşluk seviyesine ulaşmaktadır (Yaman, 2007).



Şekil 2.5. İletkenliğin dolgu maddesi derişimi ile değişimi (Gul, 1996)

Kuantum fiziğine göre atomik boyutta, yüklü bir yüzeye, çok yaklaşabilen ancak değmeyen bir atomik nokta ile yüzey arasında tünel akımı adı verilen bir elektron akışı gözlenir (Evcin, 2008). Şekil 2.6'da görüldüğü gibi, bu durumda iletken partiküller birbirlerine yakınlaşırsa elektronlar partiküller arasından atlayarak ki; 10 nm'ye kadar olan aralıklar atlanabilir, elektriksel iletimi sağlayabilirler.

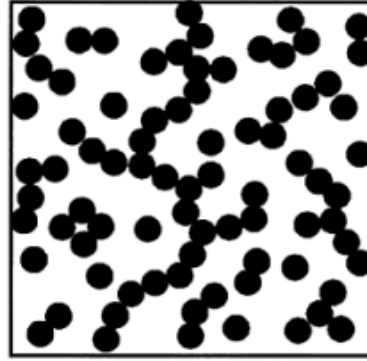


Şekil 2.6. Köprü oluşum yapısının videodiyagram proses görüntüsü (Gul, 1996)

Bu olaya atlama veya tünelleşme denilir. Atlamanın tünelleşmeden farklı ve özel bir durumu vardır. Atlama modelinde elektronların başka bir enerji düzeyine atlamaları için belli bir aktivasyon enerjisine sahip olmaları gerekir. Tünelleşmede ise elektronların bir iyon veya molekülün değerlik (valans) düzeyinden diğer iyon veya molekülün boş enerji düzeyine atlamalarında bir enerji değişimi gözlenmez (Bigg, 1986).

İletken polimer kompozitlerin elektriksel iletkenliğinin tünelleşme mekanizması yalnızca metal dolgu maddelerini açıklamada değil aynı zamanda deneysel sonuçları açıklamada da kullanılmaktadır. Karbon siyahının dolgu maddesi olarak kullanıldığı bir kompozit ele alınacak olunursa, kompozitin elektriksel özelliklerinde oksidasyonun etkisiyle oluşmuş tünelleşme, gerekli atomlar arası mesafeyi azaltan karbon siyahı partikülleri arasında oluşmuş polar grupların (karbonil grupları) varlığı ile açıklanmıştır. Dolayısıyla bu polar grupların artması iletkenliği arttıracaktır. Yüzeyde yerleşmiş karbon siyahı partiküllerin polar grupları ve elektrik akımı elektronları ile etkileşen serbest elektron çiftleri iletkenliğin artmasını sağlamıştır. Buna göre iletkenlik hem akımın doğrudan iletken partikül zincirler üzerinden yürümesiyle, hem de polimer ile doldurulmuş partiküllerin arasından diğer akım taşıyıcıları ile gerçekleşir (Şekil 2.7). Ayrıca polimer matris içinde dağılmış olan iletken partiküller, kümesel olarak değil zincirler halinde iletken bir özellik kazanır (Kulshreshtha ve Vasile, 2002). Bu nedenle polimer matris içinde dolgu maddesi

partikülünün dağılıma karakteri ve derişimi ayrıca matris ile etkileşimi elektriksel iletkenliği etkileyecektir.

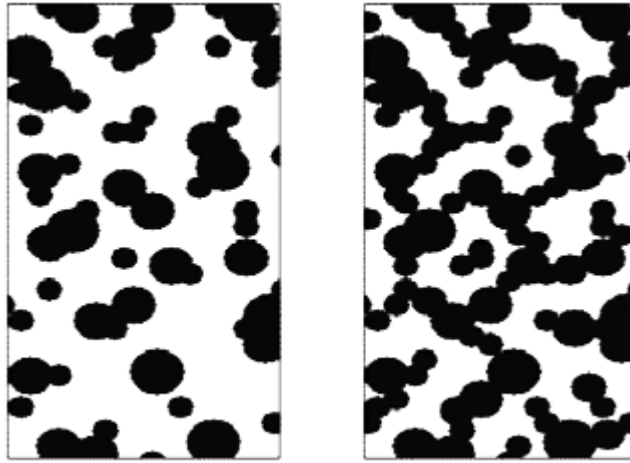


Şekil 2.7. Polimerik malzeme içinde iletken zincir yapı meydana getiren dolgu malzemesi taneciklerinin uzaysal dağılımı (Kulshreshtha ve Vasile, 2002)

Polimer ile metal kombinasyonlu kompozit sistemlerde perkolasyon eşik konsantrasyonu altındaki derişimlerde iletkenliğin oluşmasıyla ilgili iki farklı atlama modeli önerilmektedir. Mott (1987) tarafından önerilen VRH (değişken aralıkta atlama) ve Dyre (1998) tarafından önerilen serbest-enerji bariyer modeli. Önerilen iletkenlik mekanizması üç farklı durum için incelenebilir: Düşük sıcaklıklarda, iletkenlik; Fermi seviyesindeki durumlar arasında tünelleşmeyle oluşur (Fermi enerjisi (EF) mobilite boşluğunun ortasında bulunur (Şekil 2.7), orta sıcaklıklarda, yük taşıyıcıları band kuyruklarının tuzak durumlarına uyarılırlar ve bu tuzak durumlarındaki taşıyıcılar, sıçrayışla iletim bandına geçerek iletkenliğe katkı sağlarlar, yüksek sıcaklıklarda, taşıyıcılar serbest veya genişlemiş durumlardaki hareketlilik aralığını geçerek iletkenliği sağlarlar.

İlk olarak Flory ve Stockmayer tarafından, küçük moleküllerin nasıl çok daha büyük molekülleri oluşturabildiklerini açıklayabilmek için perkolasyon (percolation veya sızma) teorisi öne sürülmüştür (Sahimi, 1993). Daha sonra Broadbent ve Hammersley tarafından 1957’de rasgele gözenekli bir ortama sıvı akışının matematiksel modellenmesi için ele alınmıştır (Grimmett, 1999). Günümüzde düzensiz ve rasgele sistemlerin faz geçişlerinin modellenmesinde de yaygın olarak kullanılmaktadır. Fizikte faz geçişi, dengedeki bir sisteme dışarıdan uygulanan bir etki sonucunda bir veya daha fazla fiziksel özelliğinde değişimlerin ortaya çıkması

olayı şeklinde tanımlanır. Örneğin, monomerlerin oluşturduğu bir karmaşık sistemin sıcaklık etkisiyle geçirdiği faz geçişi sonrasında, sarmal ya da çapraz bağlı polimer jel yapısının oluşması veya farklı malzemelerin birbirine karıştırılmasıyla elde edilen kompozit yapının, iletkenlik ve fiziksel elastisitesi gibi özelliklerinde, belirli bir kritik noktadan sonra ani değişimlerin ortaya çıkması gibi süreçlerin temsili, istatistiksel olarak perkolasyon teorisi ile başarılı (deneyle uyumlu) bir şekilde yapılabilmektedir. Perkolasyon teorisi oldukça karmaşıktır ve tüm sistemler için tam olarak çözülebilmemiş değildir. Genel yapı itibarıyla şöyle özetlenebilir: Örneğin, kuru bir yüzey üzerine düşmeye başlayan su damlacıkları göz önüne alınacak olursa başlangıçta ıslak bölgeler izoledir ve bir uçtan diğerine ancak kuru olan bir yol takip edilebilir. Belirli bir noktadan sonra, ıslak bölgeler birbirlerine bağlanır ve artık ıslak bir yol da takip edilebilir. Böyle bir ani değişimin yaşandığı kritik bir oran ya da eşik değeri vardır. Bu yapı bir uçtan diğerine “sızmanın” başladığı kritik değer yani perkolasyon eşiği olarak adlandırılabilir (Şekil 2.8).

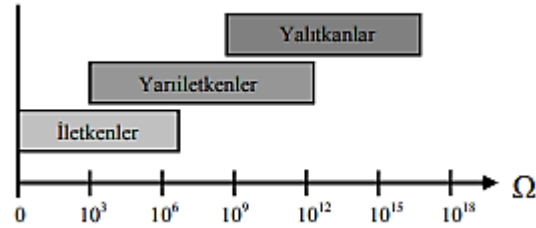


Şekil 2.6. Temsili Perkolasyon Kuramı

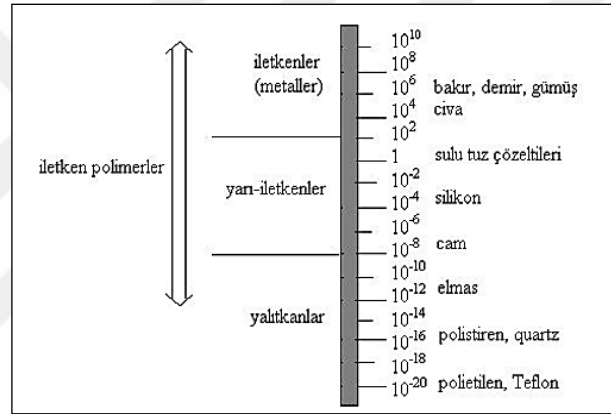
İletken kompozitlerin oluşturulmasında iletken ağ yapısının oluşumunun düşük miktarlardaki katkılarla sağlanması ve perkolasyon limit değeri düşürülmesi önemlidir.

İletkenlik, elektrik iletiminin bir ölçüsüdür. Başka bir deyişle malzemenin içinden akım geçirebilme yetisinin bir göstergesidir. Genel olarak, iletkenlikleri 10^{-8} S/cm'den daha düşük malzemeler yalıtkan, 10^{-8} ile 10^3 S/cm arasında iletkenlik

gösteren malzemeler yarıiletken, 103 S/cm'den daha büyük iletkenlik gösteren malzemeler ise iletken olarak nitelendirilir.



Şekil 2.7. Farklı materyallerin direnç aralıkları



Şekil 2.8. Bazı materyallerin iletkenlik değerleri (Saçak, 2004)

İletkenlik (G) direncin (R) tersidir ve bu nedenle birimi Ω^{-1} 'dir. SI sisteminde birim Siemensdir (S) $1 S = 1 \Omega^{-1}$ 'dir. Öziletkenlik (σ) de öz direnç (ρ) in tersidir. Öziletkenlik (S/cm), genellikle santimetre ile verilen uzaklık birimi başına Siemens (S) olarak bilinir. Öz direnç ise malzemenin elektrik akımına karşı gösterdiği dirençten (R) belirlenir (Selçuk, 2010).

2.4.3. İletken polimer kompozitlerin uygulama alanları

İletken polimer kompozitlerin uygulama alanları çok geniştir ve giderek de genişlemektedir. Elektronik cihazlarda yer alan rezistansların %50-60 yapısını iletken polimer kompozitler oluşturur. İletken polimer kompozit bazlı yapıştırıcılar hibrit integral ve basım plakalarında sıklıkla kullanılmaktadır (Bridge ve Tee, 1990).

Güneş pillerinin kullanılması, metal kabloların yerine iletken polimer kompozitlerin kullanılması, ekolojinin gelişmesine katkı sağlar (MacDiarmid ve ark., 1987a). Ayrıca galvanoplastik alanında (özellikle PP ve PE bazlı iletken polimer kompozitler), döküm uygulamalarında (Novak ve Krupa, 2004), elektromembranlarda, biyomateryallerin ayrışımı, hidrojen kaplamalı sistemlerde, fuel (yakıt) hücreleri, kirlilik kontrol ve ilaç kontrol sistemlerinde (Loh ve ark., 1990), fotoyöndeğiştiricilerde, güneş panellerinde, litografide; antistatik uygulamalarda (Gul ve ark., 1990; Ohnishy ve Osada, 1991), taşbaskı uygulamalarında (Angelopoulos ve ark., 1992), ince film elektroniklerinin üretilmesinde (Kimura ve ark., 1990), optoelektronik devre elemanlarının yapımında, lazer diyotlar, ışık yayıcı diyotlarda (LED) kullanım alanı bulmuştur (Canbay, 2005).

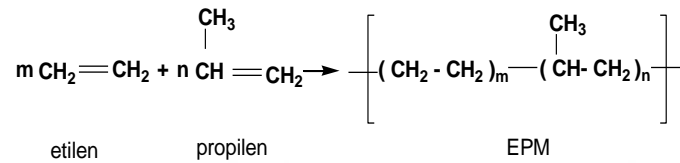
İletken dolgu malzemesinin, yalıtkan polimer matrisi ile birleştirilerek elde edilen iletken polimer kompozitler birçok ilginç özelliğe sahip olduklarından çok sayıda uygulama alanında kullanılabilir. Araç ağırlık azaltma çalışmaları sonucunda metal parçaların yerini alan mühendislik plastiklerinin ürüne dönüştürülmesi aşamalarının iyileştirilmesi konusunda çalışmalar yapılmaktadır. Parça kalitesi ile direkt ilgili üretim aşaması olan boyama operasyonunda son teknolojik gelişme olan elektrostatik boyama sisteminin metal malzemelerde olduğu gibi mühendislik plastiklerine de uygulanabilir hale getirilebilmesi birçok avantaj sağlayacaktır (Nasri, 2015).

2.5. Çalışmada Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri

2.5.1. Etilen-Propilen-Dien Kauçuğu (EPDM)

Bu kauçuk türünden, peroksit ile vulkanize edilen (Etilen-Propilen, EPM) ve hem peroksit hem de sülfür ile vulkanize edilen (Etilenpropilen-dien-monomer, EPDM) olarak iki farklı malzemedenden bahsetmek gerekir.

EPM etilen ile propilenin kopolimerizasyonu ile üretilmektedir (Şekil 2.11.). Kopolimer EPM amorf ve tamamen doymuş bir yapıda olup koordinasyon katalizörlerinin varlığında, etilen ve propilenin kopolimerizasyonu sonucu elde edilir. Kopolimer EPM organik peroksitlerle vulkanizasyonunda çapraz bağlar oluşturur. Diğer polimerlerle karışabilme imkanına sahip değildir. Bu şekilde vulkanize edilmiş kopolimer ısı, oksidasyon ve ozona karşı mükemmel derecede dayanıklıdır.



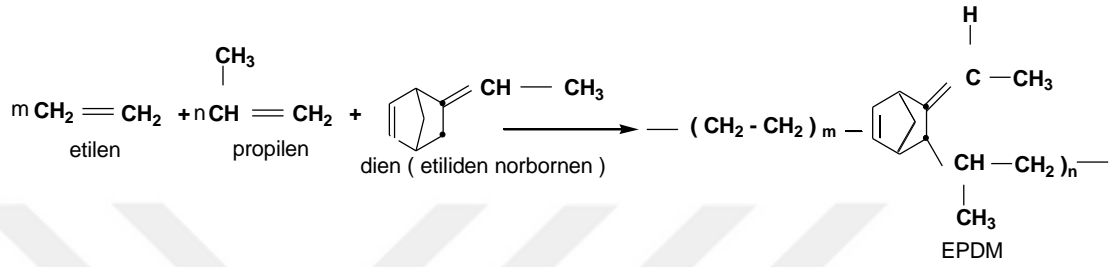
Şekil 2.11. EPM' nin etilen ve propilenin kopolimerleşmesi ile elde edilişi

1961 yıllarının sonlarına doğru EPM sentetik kauçuklarının küçük parçacıklar halinde üretilmesine başlanılmıştır. 1961 yıllarında birçok bilimadamı kauçuk üzerine çalışma yapmaktaydı. Ancak peroksit ile vulkanizasyon işleminin henüz farkında değildiler. Üretilen EPM kauçukları, yalnızca peroksit ile vulkanize edilebilmekteydi. Çünkü yapısında doymamış bağ yoktu ve sülfür ile vulkanize edilememekteydi. Bu ise EPM kauçukları için çok büyük bir eksiklik olarak görülmekteydi. 1962'li yıllarda bilim adamları etilen-propilen-dien terpolimerlerini, yani EPDM sentetik kauçuklarını geliştirmeyi başarmışlardır. EPM'nin aksine bu polimer vulkanize olmaktadır. Bu kauçukların ticari olarak üretimine ilk kez 1963 yılında başlanılmıştır. Uniroyal firması tarafından Royalane, Du Pont firması tarafından Nordel, Copolymer Rubber Chemical Corp. Firması tarafından Epsyn, Eni Chem firması tarafından Dutral N, DSM firması tarafından Kelton, B.F. Goodrich Co. Firması tarafından Epcar, Exxon Chemicals Co. firması tarafından Vistalon, Bayer firması tarafından EP ve Chemische Werke Hüls AG firması tarafından AP ticari isimleri altında ticari olarak üretimi yapılmaktadır (Vahapoğlu,2006).

2.5.1.1. EPDM'nin kimyasal yapısı ve özellikleri

EPM kauçuğunda etilen ve propilenin kopolimerizasyonu sonucu tamamen doymuş bir yapı oluşmakta yani zincirde çift bağ bulunmamaktadır. Terpolimer EPDM

(genellikle Etilen Propilen Dien Monomer olarak adlandırılır), etilen ve propilenin yanı sıra üçüncü bir dienin reaksiyona katılması ile meydana gelmektedir. Dien'in reaksiyona katılması sonucu zincirde çift bağ yani doymamışlık oluşmaktadır. Bu durum peroksitlerin yanı sıra kükürtle vulkanizasyonu ve diğer polimerlerle karıştırılabilme imkanını sağlamaktadır.



Şekil 2.12. EPDM kauçuğunun elde edilmiş tepkimesi

EPDM dien monomeri olarak;

- Ethylidene norbornene – ENB,
- 1.4 hexadiene – 1,4 HD ,
- Dicyclopentadiene – DCPD

kullanılmaktadır. Bu üç durumda da polimerize edilmiş çift bağ molekülün sol tarafında gösterilir. Bunların arasından Ethylidene norbornene en hızlı pişme ve çapraz bağlanma yoğunluğu vermektedir. Her 1000 karbon atomu için 4-16 arası çift bağ bulunur. Yüksek ENB içeren EPDM kullanımı, en iyi mekanik özellikler ve en düşük kalıcı deformasyon değerleri sağlar. Bundan dolayı hazırlanan reçetelerde yaygın olarak termonomer tipi ENB kullanılması tercih edilmektedir. Bunun yanısıra birleşmeyi kolaylaştırması ve sülfür vulkanizasyonuna karşı oldukça büyük reaktivitesi söz konusu olmasından dolayı tercih edilir (Kaya, 2005). EPDM'nin işlenmesi, vulkanizasyonu ve özellikleri polimerin etilen içeriğine, dien içeriğine, molekül ağırlığı ve molekül ağırlığı dağılımına bağlı olarak değişmektedir.

EPDM'nin vulkanizasyon yapıldıktan sonraki özellikleri işleme şartlarına ve karışıma bağlı olarak değişmektedir. Buna göre etilen ve propilen oranının eşit olması amorf yapıda bir polimerin meydana gelmesini sağlar. Etilenin polimerdeki

oranının artması (%75 etilen , %25 propilen gibi) ile polimer kısmen kristal bir yapı gösterir. Bu ise yüksek sıcaklıkta ekstrüzyonla kolay işlenmesini ve boyutsal kararlılığının artmasını sağlar. EPDM’de etilen oranının düşürülecek olursa polimerin kristal yapısı azalır. ve Buna bağlı olarak da sertlik ve elastisite modülü azalır. EPDM genel olarak ısıya, oksidasyona ve yaşlanmaya karşı üstün direnci olan bir polimerdir. Etilen miktarının düşük olması EPDM ‘in katkı maddeleriyle kolay ve hızlı karışmasını sağlamaktadır. Polimer düşük sıcaklıklarda daha kararludur. Yumuşak olan polimerin merdalenmesi ve yoğrulması kolay olmaktadır (Kaya, 2005).

Dien miktarının yüksek olması halinde, EPDM kısa sürede kür olmaktadır ve elde edilen vulkanizat üstün özelliklere sahip olmaktadır. Dien içeriği düşük olursa EPDM ısıya karşı daha fazla direnç gösterir ancak yumuşaktır ve elastisite modülü düşüktür. EPDM’nin fiziksel özelliklerini geliştirmek amacıyla ilave edilen viskozitesi yüksek olan yağlar, polimerin ısı direncini artırır ve büzülmesini azaltır.

Bu yağlar elastomerin esnekliğini geliştirir ve düşük sıcaklıklardaki fleksibilitelerini artırır. EPDM oldukça fazla yağ emebilir. Bu durum maliyeti azaltır. EPM ve EPDM’nin viskozitesi mooney viskozitesi cinsinden belirtilir ve bu iki elastomerin mooney viskozitesi genel olarak 125 °C sıcaklıkta bir dakikalık ısıtmadan sonra dört dakikada bir ölçülür ve ML (1+4) 125 °C olarak ifade edilir. Money viskozitesi ve molekül ağırlığı arasında bir orantı bulunmaktadır. Money viskozitesi düşük olan etilen-propilen elastomerlerin molekül ağırlığı düşüktür. Gerek EPM ve gerekse EPDM ısıya, kimyasallara, oksijene ve ozona karşı oldukça dayanıklıdırlar. EPDM’nin elektriksel özellikleri vulkanizasyon sonucunda aynı kalmaktadır. EPM ve EPDM’nin dezavantajları arasında zayıf yapışkanlık özelliğine sahip olmaları yer almaktadır. Bu özellik katkı maddeleriyle giderilmektedir (Kaya, 2005).

2.5.1.2. EPDM’nin kullanım alanları

Etilen ve propilen monomerlerinin bol miktarda bulunması, ucuz olması, mekanik ve fiziksel özelliklerindeki farklılıklar günümüzde EPM ve EPDM kauçuklarını önemli

bir ticaret malzemesi haline getirmiştir. Sürekli tip malzemelerin üretiminde ekstrüzyon yöntemi ile üretim yapılırken tek parçalı malzemeler ise baskı veya transfer kalıplama yöntemi ile üretim gerçekleştirilir. Halka-tipi conta ve sızdırmalık elemanları baskı kalıplama veya kabuk sünger kalıplama yöntemi ile yapılabilir. EPDM günlük yaşamda kapı ve otomotiv camları için profil, sünger fitili, radyatör ve ısıtma hortumları, beyaz eşya körük ve contaları, konveyör kayışları, kablo kaplama, yapıştırıcı, mastik, çatı membranları, tekerlek, ses absorblama malzemesi, tampon, tank kaplama ve silindir kaplamada kullanılmakla birlikte hayatımıza çokça girdiği uygulamalar ve buralarda EPDM kauçuğu kullanılma sebepleri aşağıda belirtilmiştir. Profil ve boru: EPDM'in havaya ve ozona karşı direncinin yüksek olması bu malzemelerin otomobil ve motorlarında, bina pencerelerinde sızdırmazlık elemanı olarak kullanımında ilk aranan malzeme yapmıştır.

Çatı Kaplama: EPDM'in havaya ve suya karşı direncinden dolayı tercih edilmektedir.

Motor Kayışı: Soğuk ve sıcak dayanımı ve dinamik esneklik özelliğinden dolayı tercih edilmektedir.

Kablo yapımında: EPDM'in elektrik yalıtımı, su ve ısıya karşı olan direncinden dolayı tercih edilmektedir.

Plastik Modifikasyonlarında: Soğuk darbe mukavemetinin yüksek olması, plastiğe esneklik verdiği için plastik modifikasyonlarında kullanılmaktadır (Vahapoğlu ve Yüksel, 2006).

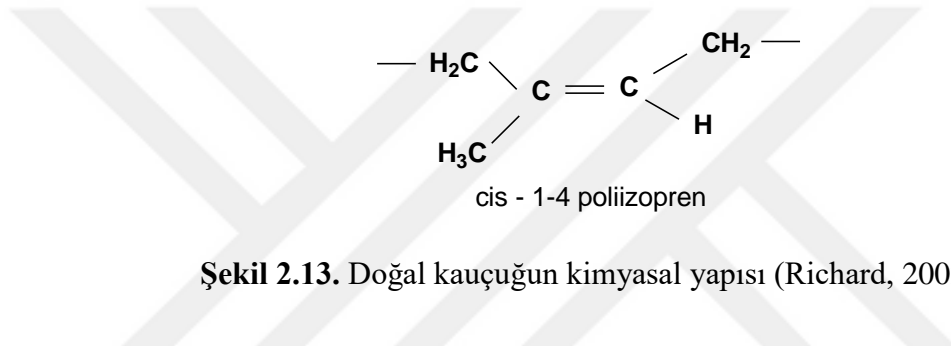
Kullanılacak EPDM seçiminde etkili olan iki ana faktör vardır. Bunlar bileşim ve yapısal faktörlerdir. Molekül ağırlığı, Mooney Viskozitesi, etilen/propilen oranı, termonomerin cinsi ve miktarı bileşim faktörlerini belirleyen parametrelerdir. Yapısal faktörleri belirleyen parametreler ise molekül ağırlığı dağılımı, dallanma ve kristallenmedir.

2.5.2. Doğal kauçuk (NR)

Doğada bulunan bazı bitkilerin sütlü özütüne lateks denir. Lateks üreten ağaçlar, çoğunlukla tropik iklimlerde bulunurlar. Başlıca ağaç türleri Ficus elastica, Funtumia, de Castilloa ve Hevea Brasiliensis'dir. Hevea Brasiliensis diğer türlere göre daha

fazla lateks miktarına sahiptir. Doğal kauçuk, Hevea Brasiliensis ağacının lateksinden elde edilmektedir. Lateksi kurutarak veya topaklaştırma işleminden sonra doğal kauçuk elde edilir. Malezya, ardından Endonezya ve Tayland kauçuğun en büyük üreticisidirler. TSR (Technically Specified Rubber) sınıflandırmasına göre SMR (Standard Malaysian Rubber), SIR (Standard Indonesian Rubber), değişik ülkelerde üretilen doğal kauçuklardır (Hofmann, 1989).

1829'da Faraday doğal kauçuğun ampirik formülünün C_5H_8 olduğunu açıklamıştır. Molekül yapısı %99 cis-1,4-poliizoprendir.



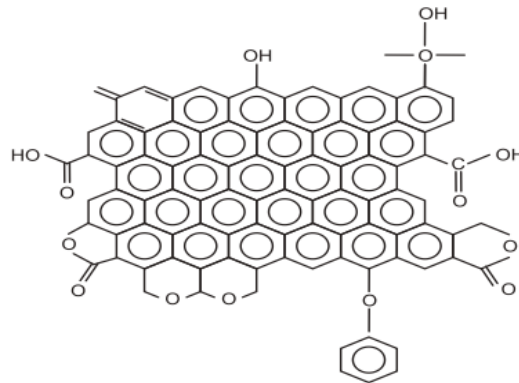
Şekil 2.13. Doğal kauçuğun kimyasal yapısı (Richard, 2002)

Doğal kauçuğun ortalama molekül ağırlığı 200000-400000 g/mol arasındadır. Bu molekül ağırlığı polimer zincirleri içinde yaklaşık 3000-5000 izopren birimi olduğunu gösterir. Doğal kauçukta her birim izopren bir çift bağa sahiptir. Çift bağlar doğal kauçuğun kükürt ile çapraz bağlamasını sağlar, ancak aynı zamanda ozon ve oksijene karşı dirençsiz olmasına yol açarlar. Doğal kauçuk; kükürt, kükürt verici sistemler, peroksitler, izosiyanatlar gibi çeşitli sistemlerle vulkanize edilebilirler. Kullanma sıcaklık aralığı $-60^{\circ}C$ ile $90^{\circ}C$ 'dir. Doğal kauçuğun camsı geçiş sıcaklığının (T_g) $-70^{\circ}C$ civarında olmasından dolayı düşük sıcaklıklardaki performansı yüksektir (Richard, 2002). Doğal kauçuk yüksek derecede kristallenme göstermektedir ki, bu özellik ona yüksek elastiklik özelliği, yüksek yırtılma dayanımı, yüksek çekme dayanımı, iyi dinamik özellikler, düşük kalıcı deformasyon gibi birçok üstün özellik katmaktadır. Doğal kauçuk ısı, ozon, hidrokarbonlar ve yağlara karşı düşük dayanım gösterir. Fakat polar sıvılara karşı dayanıklıdır. Doğal kauçuğun eksik yönleri vulkanizasyon sistem seçimi ve koruyucular ile iyileştirilebilmektedir.

2.5.3. Karbon Siyahı (CB)

Karbon siyahı yarı grafit yapıdadır. Kauçuklarla karıştırıldığında kauçuğun kopma dayanımı, aşınma dayanımı, modül ve yırtılma dayanımını arttıran amorf yapıda bir karbondur (Bureau of Mines, 1969).

Karbon siyahları, metan gazı, ağır ve hafif petrol yağları ve aromatik hidrokarbonların kısmi yanması (az ve kontrollü oksijen ortamında) veya ısı bozunması sonucu elde edilir. Küre şekline benzer parçacıkların (100-800 Å büyüklüğünde) koloidal olarak birbirine yapışması sonucu elde edilen kümelerdir. Karbon siyahı taneleri, birbirlerine zincir şeklinde bağlanarak, üzüm salkımı gibi yığınlar oluştururlar. Karbon siyahının olabilecek yapısı Şekil 2.14'te gösterilmiştir (Edge, 1999).



Şekil 2.14. Karbon siyahının yapısı.

Karbon siyahının tane büyüklükleri elektron mikroskobu ile ölçülmektedir. Kauçuklarda kullanılan dolgu maddelerini tanımlayan başlıca özellikler; spesifik gravite, tanecik büyüklüğü, yüzey alanı ve yapısal özellikleridir. Spesifik gravite, kauçuktan elde edilen mamülün son ağırlığının belirlenmesi bakımından önemlidir. Spesifik gravitesi yüksek olan dolgu maddesinden yapılan bir ürünün, daha düşük spesifik graviteye sahip dolgu maddesinden yapılmış ürüne göre daha fazla dolgu maddesi harcaması gerektirdiğinden ağırlığı fazla olacaktır. Kauçuğu güçlendirmesi için kullanılacak karbon siyahının tanecik büyüklüğü ve dağılımının bilinmesi gerekmektedir. Karbon siyahlarında tane büyüklüğü arttıkça karışımın işlenmesi

kolaylaşır. Kauçuk hamurunun fiziksel özelliklerini arttırmak için tane boyutu küçük olan karbon siyahı kullanılır (Auchter, 2005).

Tane büyüklüğü ve dağılımı, dolgu maddelerinin kauçuğu güçlendirmesi yönünden en önemli parametrelerden biridir. Dolgu maddelerinin tane büyüklüğü, nanometre cinsinden ifade edilmektedir. Bir nanometre, milimetrenin milyonda biridir. Dolgu maddelerinin tane büyüklüğü 1-5000 nanometre arasında değişmektedir. Kauçuğu güçlendirme özelliğine sahip olanlar 1-100 nanometre arasında tane büyüklüğüne sahiptir. Karbon siyahı taneleri ufaldıkça, birim hacimdeki yüzey artacağı için daha kolay ve daha fazla adsorbe edileceğinden, renk koyulaşır. Bu nedenle küçük taneli karbon siyahları, daha koyu siyah renkte olurlar. Dolgu maddelerinin kauçuğu güçlendirme özelliklerinden bir diğeri, yüzey alanıdır. Yüzey alanı, tanecik büyüklüğü ve gözenekliliğin bir fonksiyonudur. Yüzey alanı, kaç gram dolgu maddesinin yüzeyinin bir metrekare olduğunun ifadesidir. Literatürde STSA (Statistical Thickness Surface Area) olarak tanımlanır ve ASTM D6556 standardı ile belirlenir (ASTM). Bunun dışında, birim hacimdeki dolgu maddesinin yüzey alanını ifade eden hacimsel spesifik alanda kullanılmaktadır (m^2/cm^3). Dolgu maddelerini oluşturan taneciklerin birbirlerine eklenerek uzun zincirler halinde üç boyutlu kümeler oluşturması sonucunda dolgu maddesi bir yapı kazanmaktadır. Karbon siyahındaki yapı özelliği literatürde Structure olarak tanımlanır ve OAN (Oil Absorbption Number) ile sayısal olarak nitelendirilir. Karbon siyahının yapısı ASTM D2414 standardı ile belirlenir (ASTM). Karbon siyahları için bu yapı üretim sırasında gaz fazda oluşmakta ve üretim şartlarına göre değişmektedir. Karbon siyahı dışındaki dolgu maddelerinde bu yapı, taneciklerin küresel şekillerini kaybederek, deforme olmasıyla ve yeni kümeler meydana getirmesi ile oluşmaktadır. Deformasyon ve küme oluşumu ne kadar fazla ise yapı da o kadar fazla olmaktadır. Karbon siyahlarının kuvvetlendirici dolgu maddesi olarak keşfi, 1904 yılında İngiltere’de S.C.Mote tarafından gerçekleştirilmiştir. 1910 yılında lastik üretiminde çinko oksit yerine kullanılmıştır. Günümüzde üretilen karbon siyahın %70’i araç lastiği sanayinde tüketilmektedir, %20’si diğeri lastik ürünler için kullanılır ve %10’u ise kauçuk olmayan çeşitli uygulamalar için kullanılmaktadır.

Karbon siyahları, üretim şekillerine göre de aşağıdaki gibi sınıflandırılırlar:

- Fırın siyahları (F)
- Kanal siyahları (C)
- Termal siyahlar (T)
- Lampblack
- Asetilen (decomposition)

Yeni karbon siyahı tipleri gelişmesi için çalışmalara devam edilmektedir (Voll, 2002 Lewis, 1993). Fırın siyahları yaygın ve önemli karbon siyahı türleridir. Hidrokarbonların eksik oksijen ortamında 1200-1600 °C'de kısmi yakılması ile elde edilir. Karbon siyahları önceleri kullanım alanlarına göre tanımlanırdı. HAF (High Abrasion Furnace), SAF (Super Abrasion Furnace) vs. Günümüzde ise belirsizliklerin azalması için ASTM D-1765 (ASTM D, 2013) standardına göre tanımlanmıştır. Standarda uygun kodlama 4 haneden oluşur. İlk hanede S , N ve F harfi bulunur. S (slow) harfi vulkanizasyon hızını yavaşlatan asidik kanal siyahını, N (neutral) harfi vulkanizasyon hızında etkisi olmayan bazik siyahları ve F (fast), vulkanizasyon hızını arttıran siyahları gösterir. 2. hane tane büyüklüğü ile ilgilidir. Rakam büyüdükçe tanecik çapı büyür. 3. hane karbon siyahının yapısı ile ilgilidir. 4. hane aynı gruptaki karbon siyahının ikincil bir özelliği olduğu halinde, bu özelliği belirtmede kullanılır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmanın amacı elektriksel iletken iki farklı elastomere karbon siyahı katarak kompozitler elde etmek ve elastomerlerin birbirlerine sinerjik etkisini araştırmaktır. Bu amaçla yalıtkan elastomer EPDM (Etilen Polipropilen Dien terpolimer) ve NR (Doğal Kauçuk), iletken bileşen olarak CB (Karbon Siyahı) çeşitli oranlarda karıştırılarak elektriksel özelliklerin zaman ve bileşim oranı ile değişimi incelenmiştir.

3.1. Materyal

Çalışmada yalıtkan bileşen olarak EPDM ve SVR 10 doğal kauçuk (NR) ile iletken bileşen olarak karbon siyahı N330 CB kullanılmıştır. EPDM,NR ve CB'in karıştırma işlemi Brabender Marka W50 EHT model bir karıştırıcıda yapılmıştır.

3.2. Yöntem

3.2.1. Elektiksel iletken elastomer kompozit örneklerin hazırlanması

Blok halindeki EPDM ve NR, laboratuvarında merdaneden geçirilerek levha halinde açılmıştır.



Resim 3.1. EPDM'in merdanede levha haline getirilmesi

Elde edilen levhalar ufak parçalar halinde doğranarak brabender karıştırıcıda karıştırma işlemine uygun boyutlara getirilmiştir.



Resim 3.2. Karıştırılmaya uygun boyutlarda kesilmiş NR ve EPDM

Kompozitin bileşenleri Çizelge 3.1 ve 3.2’de gösterildiği gibi çeşitli oranlarda, Brabender karıştırıcı haznesinin kapasitesi gözönüne alınarak karışımın toplam ağırlığı 40 g olacak şekilde hazırlanmıştır.

Çizelge 3.1. Farklı oranlarda EPDM içeren 40 PHR EPDM/NR/CB kompozitlerinin karışım miktarları

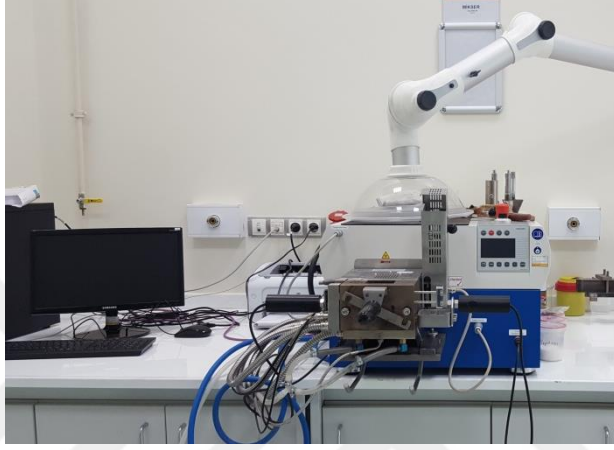
	EPDM (g)	NR (g)	CB (g)
E 1	11,428	17,142	11,430
E 2	14,280	14,280	11,430
E 3	17,142	11,428	11,430
E 4	19,999	8,571	11,430

E 1 (%40 EPDM/%60 NR), E2 (%50 EPDM/%50 NR), E 3 (%60 EPDM/%40 NR) ve E 4 (%70 EPDM/%30 NR) karışımlarına 40 PHR ve 50 PHR olacak şekilde CB ilave edilmiştir.

Çizelge 3.2. Farklı oranlarda EPDM içeren 50 PHR EPDM/NR/CB kompozitlerinin karışım miktarları

	EPDM (g)	NR (g)	CB (g)
E 1	10,668	16,002	13,330
E 2	13,335	13,335	13,330
E 3	16,002	10,668	13,330
E 4	18,669	8,001	13,330

Karıştırılmaya hazır hale gelen bileşenler laboratuvar tipi brabender karıştırıcıda 30 dk süre ve 160 °C sıcaklıkta homojen olacak şekilde karıştırılmıştır. İyi bir karışım sağlamak amacıyla karıştırıcı haznesine küçük parçalar halinde kesilmiş kauçuk karışımının bir kısmı konulduktan bir süre sonra CB, sonrasında ise kalan kauçuk karışımı eklenmiştir.



Resim 3.3. Brabender karıştırıcı

Elde edilen karışım laboratuvarında çift silindirli merdaneden geçirilerek 2 mm kalınlığında açılmıştır.



Resim 3.4. 2 mm kalınlığında açılmış kompozit

Bu kompozit levhadan kalıp kullanılarak 2 cm çapında dairesel örnekler kesilmiştir. Örneklerin her iki yüzeyi alüminyum folyo ile kaplanarak direnç ölçümü öncesi ve sonrasında kalınlık ölçümleri kumpas yardımı ile yapılarak kaydedilmiştir.

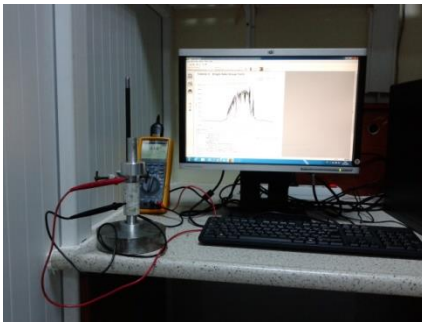


Resim 3.5. Alüminyum folyo ile kaplanmış dairesel örnekler

3.2.2. Direnç ölçümlerinin yapılması

Hazırlanmış olan 40 PHR EPDM/CB, 40 PHR NR/CB ve değişik oranlarda EPDM içeren 40 PHR ve 50 PHR EPDM/NR/CB kompozit örneklerinin direnç ölçümleri Fluke 289 Multimetre ile yapılmıştır.

Dairesel örnekler multimetrenin probaları arasına yerleştirilip, direnç ölçümleri 60 dk süre ve 2 dk zaman aralığı ile $k\Omega$ cinsinden ölçülerek multimetre kayıtlarından excele aktarılmıştır.



Resim 3.6. Multimetre ile direnç ölçümü

Ayrıca her bir örneğin direnç ölçümleri 0, 10, 15, 25, 30 ve 45 kPa basınçlar altında tekrarlanmıştır.

Elde edilen direnç ölçüm sonuçlarından iletkenlik, öz direnç ve öziletkenlik değerleri ilgili formüllerden hesaplanmış (Basan ve Sancaktar, 2016) ve bu değerler ile grafikler çizilerek sonuçlar yorumlanmıştır.

İletkenlik Eşitlik 3.1’de gösterildiği gibi direncin tersidir ve birimi $1/\Omega = S$ dir.

$$G = 1/R \quad (3.1)$$

Direnç dolayısıyla iletkenlik örneğin şekil özelliklerine bağlıdır. Eşitlik 3.2’de görüldüğü gibi, elektrik uygulanan iki elektrot arasındaki uzaklığa, yani örneğin kalınlığına ve yüzey alanına bağlıdır.

$$\rho = \frac{R}{L \circ - \alpha t} \quad (3.2)$$

Burada, ρ öz direnç ($k\Omega \cdot cm$), A örneğin yüzey alanı (cm^2) R direnç ($k\Omega$) ve t zaman (dk)’dır. α ise örneğin birim zamanda kalınlığındaki değişimdir ve Eşitlik 3.3 ile tanımlanmaktadır.

$$\alpha = \frac{L \circ - L}{t \circ - t} \quad (3.3)$$

Burada, L_0 ve L sırasıyla örneğin ilk kalınlığı ve son kalınlığı (cm) dir. Öz direnç değerlerinden Eşitlik 3.4’e göre öz iletkenlik değerleri elde edilir.

$$\sigma = 1/\rho \quad (3.4)$$

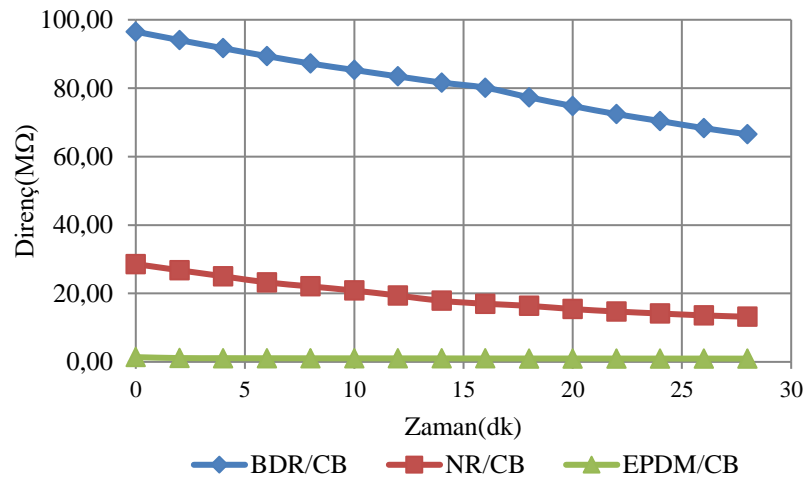
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, EPDM/CB kompoziti ile kıyaslamak için 40 PHR EPDM/BDR ve EPDM/NR kompozitlerinin direnç ölçümleri serbest halde yapılmıştır (Çizelge 4.1).

Çizelge 4.1 40 PHR EPDM, BDR ve NR kompozitlerinin direnç değerleri ($M\Omega$)

t(dk)	BDR/CB	NR/CB	EPDM/CB
0	96,51	28,59	1,38
2	94,06	26,78	1,11
4	91,67	25,02	1,08
6	89,39	23,24	1,06
8	87,20	22,06	1,04
10	85,32	20,83	1,03
12	83,44	19,39	1,02
14	81,65	17,84	1,01
16	80,14	16,99	0,99
18	77,34	16,38	0,98
20	74,78	15,44	0,98
22	72,43	14,72	0,97
24	70,40	14,14	0,96
26	68,32	13,58	0,96
28	66,52	13,18	0,95
30	65,08	12,83	0,95

Çizelge 4.1 deki direnç değerleri zamana karşı grafiğe geçirilmiş ve Şekil 4.1 de verilmiştir.



Şekil 4.1. 40 PHR EPDM/CB, BDR/CB ve NR/CB kompozitlerinin dirençlerinin zamanla değişimi

Şekil 4.1’de görüldüğü gibi EPDM/CB kompozitinin direnci en düşük BDR/CB en büyük direnç değerlerine sahiptir. NR/CB kompozitinin direnci de diğer ikisine göre orta değerlerdedir.

Bu nedenle, EPDM ile NR ve BDR karışımlarının CB ile kompozitleri hazırlanmaya çalışılmış ancak EPDM ile BDR her oranda birbiri ile iyi karışmadığı ve sağlıklı direnç ölçümlerinin elde edilemediği görülmüştür. Bu yüzden, BDR’a göre EPDM ile daha iyi karışan ve nispeten daha iyi iletken bir kompozit veren NR karışımının CB ile kompozitleri hazırlanmış ve elektriksel özellikleri incelenerek sinerjik bir etki olup olmadığı araştırılmıştır.

EPDM ve NR ye iletken dolgu maddesi olarak kullanılan CB etkisini incelemek amacıyla EPDM/NR/CB kompoziti 40 PHR ve 50 PHR olarak farklı bileşimlerde hazırlanmıştır. Ayrıca, elde edilen örneklerin elektriksel özelliklerine basıncın etkisini incelemek amacıyla, örnekler üzerine 0, 10, 15, 25, 30 ve 45 kPa olmak üzere farklı basınçlar uygulanarak direncin zamanla değişimi ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlar aşağıda yorumlanmıştır.

4.1. 40 PHR EPDM/NR/CB Kompozitinin Elektriksel Özellikleri

Bu çalışmada 40 PHR EPDM/NR/CB karışımının elektriksel özelliklerinin sırasıyla zamanla değişimi, karışım oranı ile değişimi ve basınçla değişimi incelenmiştir.

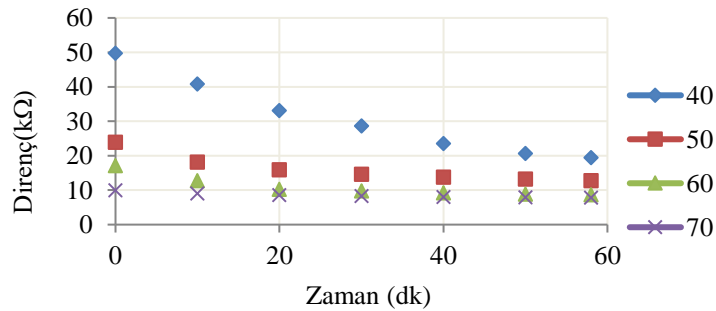
4.1.1. 40 PHR EPDM/NR kompozitinin elektriksel özelliklerine zamanın etkisi

Önce %40, %50, %60 ve %70 EPDM içeren 40 PHR EPDM/NR kompozitinin serbest halde direncinin zamanla değişimi ölçülmüş ve ölçülen direnç değerleri Çizelge 4.2’de, hesaplanan iletkenlik, öz direnç ve öziletkenlik değerleri de sırasıyla Çizelge 4.3, Çizelge 4.4 ve Çizelge 4.5’de verilmiştir. Değerler Ω cinsinden verilmiş, grafiğe ise $k\Omega$ olarak çevrilerek geçirilmiştir.

Çizelge 4.2. Farklı oranlarda EPDM içeren 40 PHR EPDM/NR/CB kompozitlerinin ölçülen direnç değerleri (Ω) (0kPa)

t(dk)	%40 EPDM	%50 EPDM	%60 EPDM	%70 EPDM
0	49741135	23885299	17126557	9979316
2	47798667	22454211	15875540	9751718
4	45829670	21067617	14689836	9496503
6	44192254	19769165	13907168	9391504
8	42447381	18841623	13173040	9308898
10	40795685	18111197	12706223	9011339
14	38027628	16996978	11238415	8869165
16	36251197	16567097	10763440	8786157
18	34589831	16195160	10695435	8669724
20	33081333	15869509	10184542	8597589
24	30817361	15305254	10181331	8468584
26	29852698	15072515	10044301	8397243
28	28900000	14838601	9911800	8374617
30	28593869	14631955	9782627	8261357
34	25950994	14257192	9508722	8169732
36	24996899	14099827	9371662	8123239
38	24186874	13949785	9340363	8046690
40	23476744	13800519	9210881	8026252
42	22715730	13657254	9167442	7959440
44	22024180	13540568	9162921	7904633
48	20991530	13302584	8903972	7901347
50	20650474	13185492	8877029	7889154
54	19910336	12966839	8736528	7835739
56	19521521	12874157	8597330	7809776
58	19399827	12779845	8610026	7774965

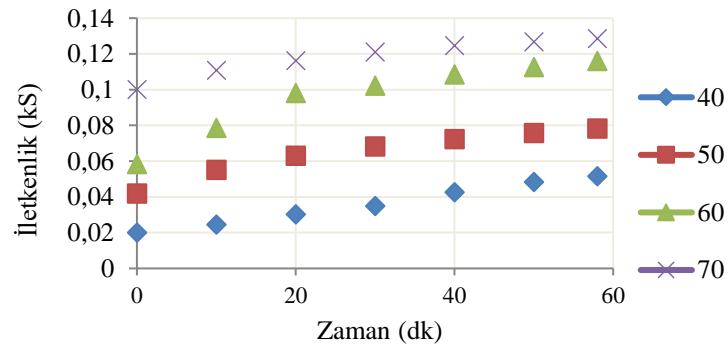
Çizelge 4.2’de görülen direnç değerlerinin zamana karşı grafiği çizilmiş Şekil 4.2’ de gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Farklı oranlarda EPDM içeren 40 PHR EPDM/NR/CB kompozitinde direncin zamanla değişimi

Çizelge 4.3. Farklı oranlarda EPDM içeren 40 PHR EPDM/NR/CBkompozitlerinin hesaplanan iletkenlik değerleri (S)

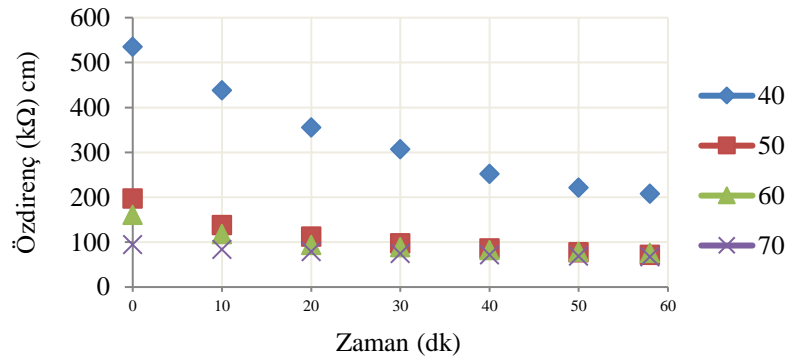
t(dk)	%40 EPDM	%50 EPDM	%60 EPDM	%70 EPDM
0	0,02010408	0,041867	0,058389	0,100207
2	0,02092109	0,044535	0,062990	0,102546
4	0,02181993	0,047466	0,068074	0,105302
8	0,02355858	0,053074	0,075913	0,107424
10	0,02451240	0,055214	0,078702	0,110971
12	0,02550053	0,057122	0,083377	0,112009
14	0,02629667	0,058834	0,088981	0,11275
16	0,02758530	0,060361	0,092907	0,113815
20	0,03022853	0,063014	0,098188	0,116312
22	0,03146026	0,064197	0,098228	0,117954
24	0,03244924	0,065337	0,098219	0,118083
26	0,03349781	0,066346	0,099559	0,119087
30	0,03497253	0,068344	0,102222	0,121045
32	0,03704035	0,069237	0,103589	0,122084
34	0,03853417	0,07014	0,105167	0,122403
38	0,04134474	0,071686	0,107062	0,124275
40	0,04259534	0,072461	0,108567	0,124591
42	0,04402236	0,073221	0,109082	0,125637
44	0,04540464	0,073852	0,109135	0,126508
48	0,04763826	0,075173	0,112309	0,126561
50	0,04842504	0,075841	0,11265	0,126756
52	0,04907154	0,076509	0,112879	0,127036
54	0,05022517	0,07712	0,114462	0,12762
56	0,05122552	0,077675	0,116315	0,128045
58	0,05154685	0,078248	0,116144	0,128618



Şekil 4.3. Farklı oranlarda EPDM içeren 40 PHR EPDM/NR/CB kompozitinde iletkenliğin zamanla değişimi

Çizelge 4.4. Farklı oranlarda EPDM içeren 40 PHR EPDM/NR/CB kompozitlerinin hesaplanan öz direnç değerleri (Ωcm)

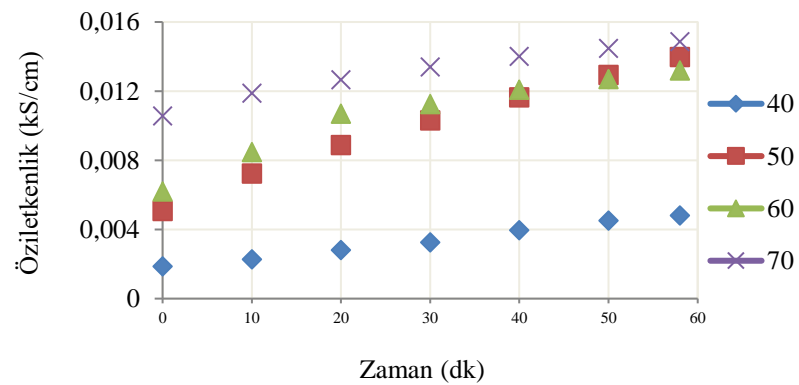
t(dk)	%40 EPDM	%50 EPDM	%60 EPDM	%70 EPDM
0	534,8875	197,368	161,0101	94,66783
2	513,9387	182,5445	148,8955	92,20138
4	492,7095	168,5483	137,4493	89,49100
6	475,0498	155,6845	129,8192	88,20942
10	438,4345	138,2982	118,0521	84,08366
12	421,3956	131,6818	111,1712	83,03228
14	408,5895	125,966	103,9271	82,21787
16	389,4566	120,9977	99,30282	81,18391
18	371,5642	116,5888	98,44600	79,84880
20	355,3180	112,6327	93,52606	78,92897
24	330,9232	105,6471	93,06485	77,24624
26	320,5267	102,6324	91,60080	76,35077
28	310,2610	99,69035	90,18470	75,90252
30	306,9383	97,00661	88,80531	74,63827
32	289,7690	94,50873	87,43253	73,76942
36	268,2321	89,92368	84,49342	72,69800
38	259,5095	87,85306	84,01990	71,78716
40	251,8605	85,83847	82,66734	71,38105
42	243,6676	83,90996	82,09138	70,56631
46	231,5395	80,47532	80,09855	69,64196
50	221,4096	77,2384	78,77812	69,08226
52	218,4669	75,68287	78,44275	68,71869
54	213,4238	74,22898	77,18524	68,19482
58	207,9026	71,53068	75,72964	67,25452



Şekil 4.4. Farklı oranlarda EPDM içeren 40 PHR EPDM/NR/CB kompozitinde öz direncin zamanla değişimi

Çizelge 4.5.Farklı oranlarda EPDM içeren 40 PHR EPDM/NR/CB kompozitlerinin hesaplanan öziletkenlik değerleri (S/cm)

t(dk)	%40 EPDM	%50 EPDM	%60 EPDM	%70 EPDM
0	0,00187	0,005067	0,006211	0,010563
2	0,001946	0,005478	0,006716	0,010846
6	0,002105	0,006423	0,007703	0,011337
8	0,002192	0,006845	0,008151	0,011475
10	0,002281	0,007231	0,008471	0,011893
12	0,002373	0,007594	0,008995	0,012044
14	0,002447	0,007939	0,009622	0,012163
18	0,002691	0,008577	0,010158	0,012524
20	0,002814	0,008878	0,010692	0,01267
22	0,002929	0,009173	0,010721	0,01289
26	0,00312	0,009744	0,010917	0,013097
28	0,003223	0,010031	0,011088	0,013175
30	0,003258	0,010309	0,011261	0,013398
32	0,003451	0,010581	0,011437	0,013556
34	0,003591	0,010858	0,011638	0,013634
36	0,003728	0,011121	0,011835	0,013756
40	0,00397	0,01165	0,012097	0,014009
42	0,004104	0,011918	0,012182	0,014171
44	0,004233	0,012167	0,012215	0,014314
46	0,004319	0,012426	0,012485	0,014359
50	0,004517	0,012947	0,012694	0,014475
54	0,004686	0,013472	0,012956	0,014664
56	0,004779	0,013723	0,013195	0,014758
58	0,00481	0,01398	0,013205	0,014869



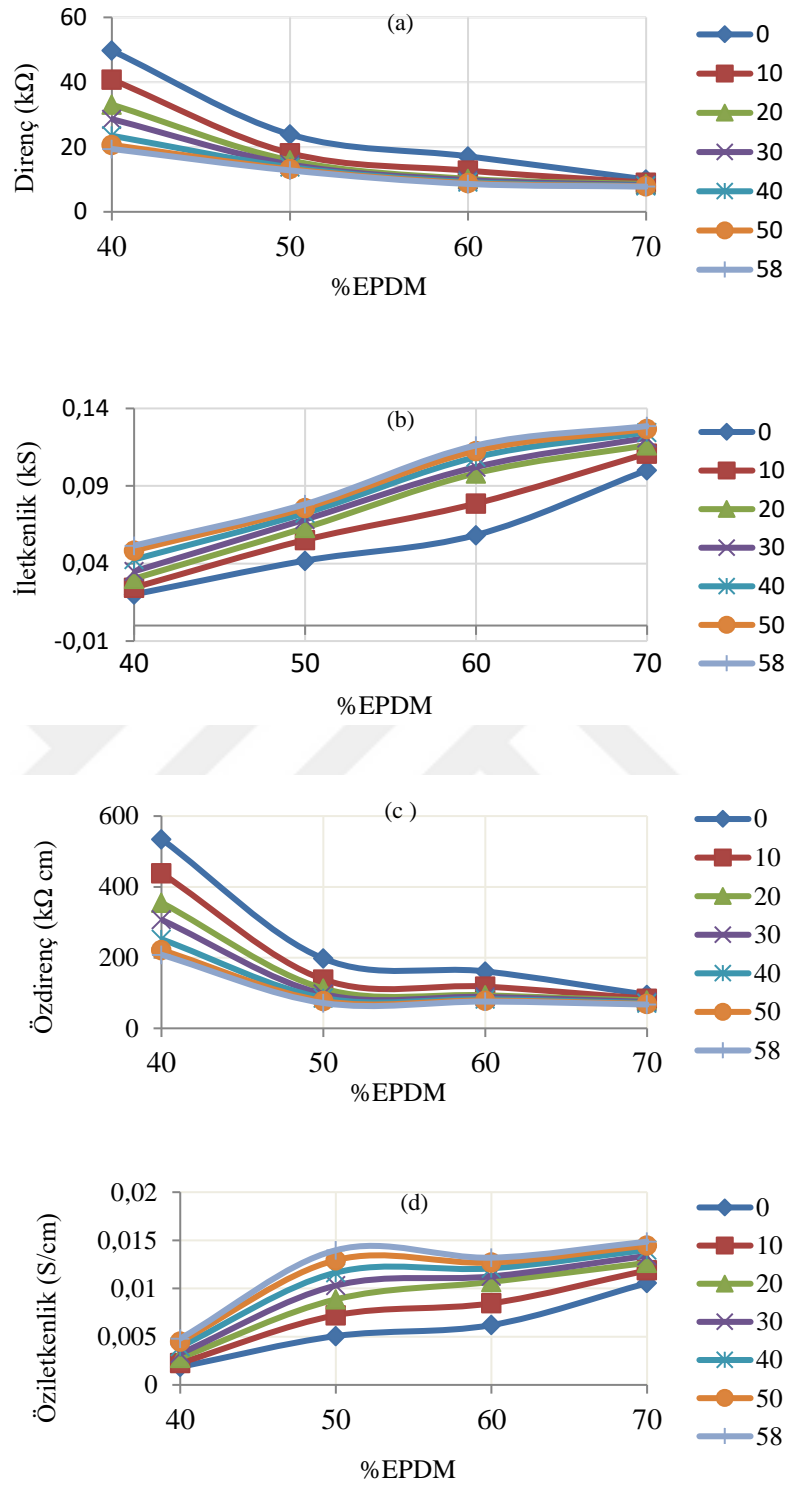
Şekil 4.5. Farklı oranlarda EPDM içeren 40 PHR EPDM/NR/CB kompozitinde öziletkenliğin zamanla değişimi

%10 - %90 arasında değişen oranlarda EPDM içeren kompozit örnekleri hazırlanmış ancak %40, %50, %60 ve %70 oranlarındaki örneklerde başarılı bir şekilde direnç ölçümü yapılabilmektedir. %40'tan daha düşük %70'ten daha fazla EPDM içeren karışımlarda karışanlardan birisinin diğerine göre aşırı miktarda bulunması her iki kauçuğun hem faz olarak uyum sağlayamaması hem de karıştırma işleminin tam olarak gerçekleştirilememesi nedeniyle direnç ölçümü yapılamamıştır.

Şekil 4.2, 4.3, 4.4 ve 4.5' te direnç ve öz direncin EPDM oranının artması ile birlikte hem zamanla hem de karışımdaki EPDM miktarı ile düştüğü, iletkenliğin ve öziletkenliğin ise arttığı görülmektedir. EPDM ile CB karıştırma işlemi yapıp dairesel örnekler haline getirildikten sonra, elde edilen örnek şişerek yaklaşık bir gün sonra şeklini kaybettiği gözlenmiştir. EPDM/CB kompozitine NR katılması ile meydana gelen EPDM/NR/CB kompozit örneklerinde bu şişme ile şekil değiştirme olayı gözlenmemiştir. Bu durumda, EPDM içindeki karbon taneleri EPDM zincirlerinin hareketliliği nedeniyle birbirinden uzaklaşması önlenmiş olmaktadır. Böylece, Şekil 4.2 de 40 PHR EPDM/NR kompozitinde direncin zamanla ve EPDM miktarı ile düşmesi yani iletkenliğin artması sağlanmaktadır.

4.1.2. 40 PHR EPDM/NR kompozitinin elektriksel özelliklerine karışım oranının etkisi

Şekil 4.2'de ölçülen ve hesaplanan elektriksel özelliklerin zamanla değişimi açıkça görülmeye rağmen, EPDM miktarı ile değişimi dolaylı olarak görülmektedir. Bu nedenle, farklı miktarlarda EPDM içeren 40 PHR EPDM/NR kompozitinin farklı zamanlarda ölçülen ve Çizelge 4.2 - Çizelge 4.5'te verilen direnç, iletkenlik, öz direnç ve öziletkenlik değerlerinin EPDM miktarı ile değişimleri de grafiğe geçirilmiş ve Şekil 4.6'da verilmiştir.



Şekil 4.6. Farklı oranlarda EPDM içeren 40 PHR EPDM/NR/CB kompozitinin a) direnç, b) iletkenlik, c) özdirenç, d) öziletkenliklerinin EPDM miktarı ile değişimi

%40, %50, %60, %70 EPDM içeren 40 PHR EPDM/NR kompozit örneklerinin farklı zamanlarda ölçülen direnç ve iletkenlikleri Şekil 4.6 a) ve b)'de görüldüğü gibi, kompozitte bulunan EPDM miktarının artması ile direnci ve öz direnci düşmekte, iletkenliği ve öziletkenliği ise artmaktadır.

4.1.3. 40 PHR EPDM/NR /CB kompozitinin elektriksel özelliklerine basıncın etkisi

Yalıtkan kauçuk karışımına iletken CB karıştırılması ile kompozite iletkenlik özelliği kazandırılmıştır. Örneklere çeşitli basınçlar uygulandığında uzun polimer zincirlerinin arasındaki boşlukların azalması ve CB taneciklerinin birbirine daha çok yaklaşması sonucu kompozitlerin iletkenliklerinde artış gözlenmiştir. Sancaktar, Basan ve Wei NR/CB kompozitlerinde basınç ile iletkenlik arasındaki ilişkiyi açıklayan çalışmalar yapmıştır. Buna göre tozların elektrik direncinin üzerlerine uygulanan dış basınca bağlı olduğu sonucuna varmışlardır. Bu nedenle, bu çalışmada da EPDM/NR/CB kompozitine farklı basınçlar uygulanarak elektriksel özelliklere etkisi incelenmiştir.

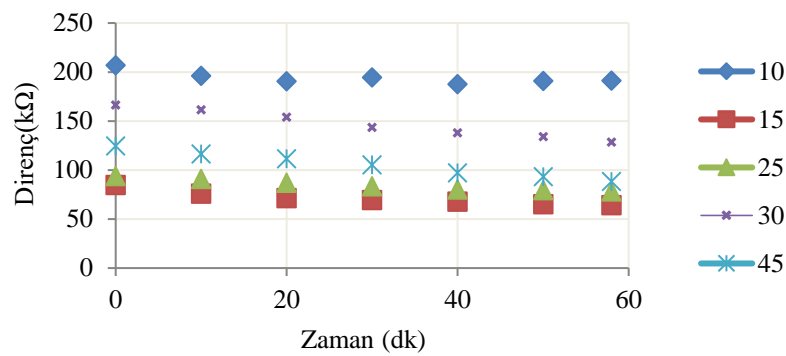
4.1.3.1. Farklı miktarlarda EPDM içeren farklı basınçlar altındaki 40 PHR EPDM/NR/CB kompozitinin elektriksel özelliklerinin zamanla değişimi

%40 EPDM içeren 40 PHR EPDM/NR/CB kompozitinin direnci farklı basınçlar altında ölçülmüş ve Çizelge 4.5'te verilmiştir. Bu değerlerden hesaplanan iletkenlik, öz direnç ve öziletkenlik değerleri de sırasıyla Çizelge 4.6, Çizelge 4.7 ve Çizelge 4.8'de verilmiştir.

Çizelge 4.6'da verilen ve farklı basınçlar altında ölçülen %40 EPDM içeren 40 PHR EPDM/NR/CB kompozitine ait direnç değerleri ve sırasıyla Çizelge 4.7, Çizelge 4.8 ve Çizelge 4.9'da verilen iletkenlik, öz direnç ve öziletkenlik değerleri zamana karşı grafiğe geçirilmiş ve Şekil 4.7, 4.8, 4.9 ve 4.10'da gösterilmiştir.

Çizelge 4.6. %40 EPDM içeren 40 PHR EPDM/NR/CB kompozitinin farklı basınçlar altında ölçülen direnç değerleri (M Ω)

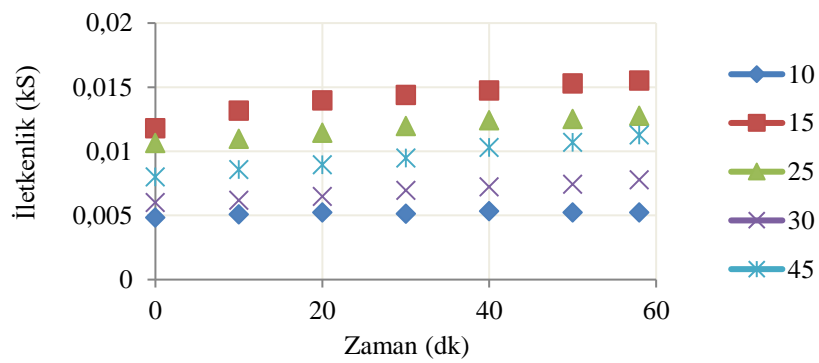
t(dk)	10 kPa	15 kPa	25 kPa	30 kPa	45 kPa
0	206,924	84,805	93,967	166,612	124,826
2	203,296	82,696	94,491	166,601	123,234
4	200,998	80,268	93,190	165,850	121,479
8	198,731	76,915	91,875	163,855	117,541
10	196,166	75,971	91,048	161,701	116,516
12	194,230	74,602	88,605	157,778	115,443
14	191,134	73,581	89,146	157,834	114,476
18	190,700	71,595	88,586	155,785	112,763
20	190,743	71,557	87,369	154,060	111,705
22	192,725	71,530	86,311	152,743	109,880
26	193,507	69,863	83,113	149,892	107,148
28	195,458	69,412	83,709	144,757	106,505
30	194,732	69,422	83,466	143,667	105,623
32	192,032	69,035	82,152	143,966	104,845
34	192,402	68,438	81,790	141,173	103,695
36	191,352	67,945	80,702	140,602	102,873
38	190,224	67,878	79,650	142,109	100,305
40	187,831	67,798	80,428	138,258	97,178
44	185,572	67,000	79,728	138,534	96,997
46	186,126	66,700	79,172	134,930	95,818
50	190,960	65,384	79,825	134,405	93,461
52	191,028	64,970	79,288	132,134	92,282
54	190,791	64,611	79,483	131,040	90,998
58	191,325	64,476	78,352	128,685	88,653



Şekil 4.7. Farklı basınçlar altındaki %40 EPDM içeren 40 PHR EPDM/NR/CB kompozitinin dirençlerinin zamanla değişimi

Çizelge 4.7. %40 EPDM içeren 40 PHR EPDM/NR/CB kompozitinin farklı basınçlar altında hesaplanan iletkenlik değerleri (MS)

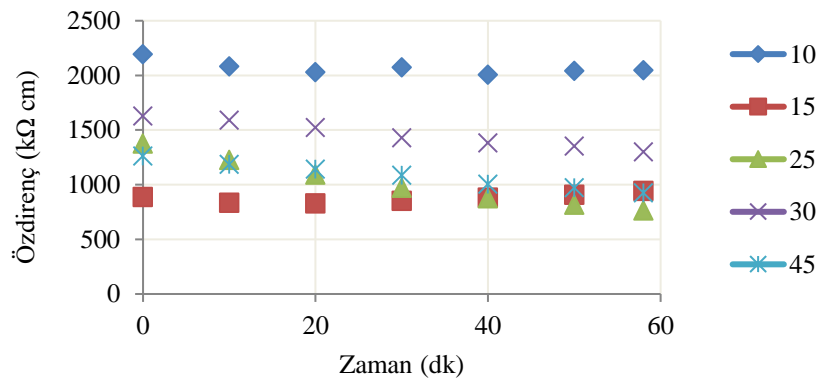
t(dk)	10 kPa	15 kPa	25 kPa	30 kPa	45 kPa
0	0,0048	0,0118	0,0106	0,0060	0,0080
2	0,0049	0,0121	0,0106	0,0060	0,0081
6	0,0050	0,0128	0,0108	0,0061	0,0084
8	0,0050	0,0130	0,0109	0,0061	0,0085
10	0,0051	0,0132	0,0110	0,0062	0,0086
12	0,0051	0,0134	0,0113	0,0063	0,0087
16	0,0052	0,0138	0,0112	0,0065	0,0088
18	0,0052	0,0140	0,0113	0,0064	0,0089
20	0,0052	0,0140	0,0114	0,0065	0,0090
24	0,0052	0,0142	0,0119	0,0066	0,0092
26	0,0052	0,0143	0,0120	0,0067	0,0093
28	0,0051	0,0144	0,0119	0,0069	0,0094
30	0,0051	0,0144	0,0120	0,0070	0,0095
32	0,0052	0,0145	0,0122	0,0069	0,0095
34	0,0052	0,0146	0,0122	0,0071	0,0096
38	0,0053	0,0147	0,0126	0,0070	0,0100
40	0,0053	0,0147	0,0124	0,0072	0,0103
44	0,0054	0,0149	0,0125	0,0072	0,0103
46	0,0054	0,0150	0,0126	0,0074	0,0104
48	0,0054	0,0151	0,0127	0,0075	0,0106
50	0,0052	0,0153	0,0125	0,0074	0,0107
54	0,0052	0,0155	0,0126	0,0076	0,0110
56	0,0052	0,0155	0,0127	0,0076	0,0111
58	0,0052	0,0155	0,0128	0,0078	0,0113



Şekil 4.8. Farklı basınçlar altındaki %40 EPDM içeren 40 PHR EPDM/NR/CB kompozitinin iletkenliklerinin zamanla değişimi

Çizelge 4.8. %40 EPDM içeren 40 PHR EPDM/NR/CB kompozitinin farklı basınçlar altında hesaplanan öz direnç değerleri (MΩ.cm)

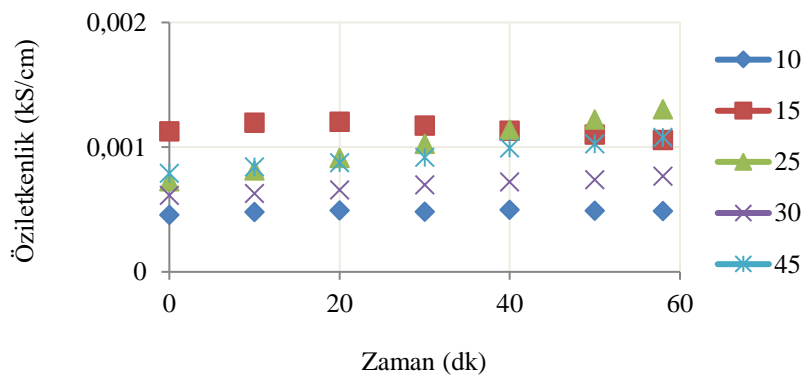
t(dk)	10 kPa	15 kPa	25 kPa	30 kPa	45 kPa
0	2195,075	887,6208	1378,773	1629,791	1264,367
2	2157,345	874,1958	1362,963	1631,605	1249,629
6	2129,783	840,8719	1294,709	1605,731	1209,611
8	2111,108	838,1871	1261,105	1610,435	1195,893
10	2084,59	836,5103	1229,908	1591,147	1186,799
12	2064,743	830,0675	1178,204	1554,390	1177,180
14	2032,538	827,4048	1167,168	1556,800	1168,626
18	2029,352	822,5414	1125,218	1540,255	1153,729
20	2030,523	831,1212	1093,436	1525,02	1144,186
22	2052,338	840,0184	1064,543	1513,801	1126,765
24	2061,342	836,9261	1023,196	1503,827	1113,716
26	2062,11	839,0512	996,2199	1489,107	1101,232
30	2076,626	853,1126	973,0405	1430,702	1088,008
32	2048,556	858,3167	944,7844	1435,407	1081,226
34	2053,225	861,0008	928,0722	1409,253	1070,577
38	2031,406	874,7442	880,3128	1422,024	1037,934
40	2006,557	884,4801	877,5191	1385,162	1006,713
44	1983,819	896,1488	848,1334	1391,302	1007,128
46	1990,442	903,5546	831,8258	1356,752	996,0253
48	1995,962	909,0132	818,2926	1346,842	984,8975
50	2043,576	908,9865	818,4703	1354,762	973,7441
52	2045,026	915,2505	803,2887	1333,498	962,5652
56	2046,223	931,5542	780,2053	1324,075	939,0929
58	2050,382	946,0531	766,4372	1303,459	927,9031



Şekil 4.9. Farklı basınçlar altındaki %40 EPDM içeren 40 PHR EPDM/NR/CB kompozitinin öz dirençlerinin zamanla değişimi

Çizelge 4.9. %40 EPDM içeren 40 PHR EPDM/NR/CB kompozitinin farklı basınçlar altında hesaplanan öziletkenlik değerleri (MS/cm)

t(dk)	10 kPa	15 kPa	25 kPa	30 kPa	45 kPa
0	0,000456	0,001127	0,000725	0,000614	0,000791
2	0,000464	0,001144	0,000734	0,000613	0,000800
4	0,000469	0,001167	0,000757	0,000615	0,000811
6	0,000470	0,001189	0,000772	0,000623	0,000827
10	0,000480	0,001195	0,000813	0,000628	0,000843
12	0,000484	0,001205	0,000849	0,000643	0,000849
14	0,000492	0,001209	0,000857	0,000642	0,000856
16	0,000493	0,001216	0,000868	0,000656	0,000861
18	0,000493	0,001216	0,000889	0,000649	0,000867
20	0,000492	0,001203	0,000915	0,000656	0,000874
24	0,000485	0,001195	0,000977	0,000665	0,000898
26	0,000485	0,001192	0,001004	0,000672	0,000908
28	0,00048	0,001186	0,001011	0,000695	0,000913
30	0,000482	0,001172	0,001028	0,000699	0,000919
36	0,00049	0,001156	0,001107	0,000712	0,000940
38	0,000492	0,001143	0,001136	0,000703	0,000963
40	0,000498	0,001131	0,00114	0,000722	0,000993
42	0,000501	0,00113	0,001151	0,000717	0,000982
46	0,000502	0,001107	0,001202	0,000737	0,001004
48	0,000501	0,001100	0,001222	0,000742	0,001015
50	0,000489	0,001100	0,001222	0,000738	0,001027
54	0,000489	0,001084	0,001257	0,000755	0,001052
56	0,000489	0,001073	0,001282	0,000755	0,001065
58	0,000488	0,001057	0,001305	0,000767	0,001078



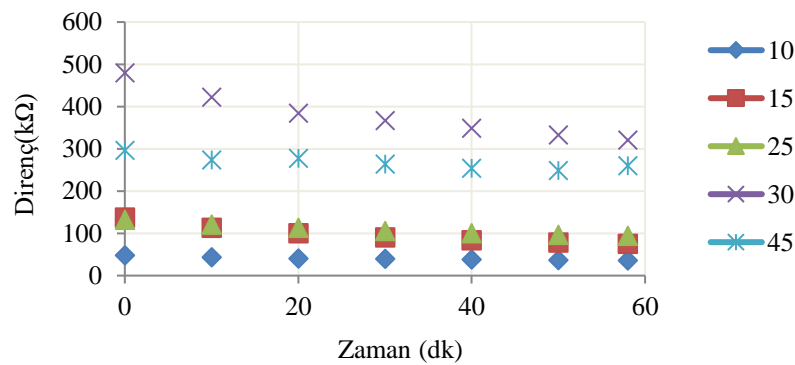
Şekil 4.10. Farklı basınçlar altındaki %40 EPDM içeren 40 PHR EPDM/NR/CB kompozitinin öziletkenliklerinin zamanla değişimi

Şekil 4.7, 4.8, 4.9 ve 4.10’da görüldüğü gibi basıncın artmasıyla direnç değerlerinde düşüş gözlenmiştir. İletkenlik değerleri ise artmıştır. Örnekler üzerine basınç uygulanmasıyla dolgu tanecikleri birbirine yaklaşmış dolayısıyla iletkenlik artmıştır. %50 EPDM içeren 40 PHR EPDM/NR/CB kompozitinin direnci farklı basınçlar altında ölçülmüş ve Çizelge 4.10’da verilmiştir. Bu değerlerden hesaplanan iletkenlik, öz direnç ve öziletkenlik değerleri de sırasıyla Çizelge 4.11, Çizelge 4.12 ve Çizelge 4.13’te verilmiştir.

Çizelge 4.10’da verilen ve değişik basınçlar altında ölçülen %50 EPDM içeren 40 PHR EPDM/NR/CB kompozitine ait direnç değerleri ve sırasıyla Çizelge 4.11, Çizelge 4.12 ve Çizelge 4.13’te verilen iletkenlik, öz direnç ve öziletkenlik değerleri zamana karşı grafiğe geçirilmiş ve Şekil 4.11, 4.12, 4.13 ve 4.14’te gösterilmiştir.

Çizelge 4.10. %50 EPDM içeren 40 PHR EPDM/NR/CB kompozitinin farklı basınçlar altında ölçülen direnç değerleri (M Ω)

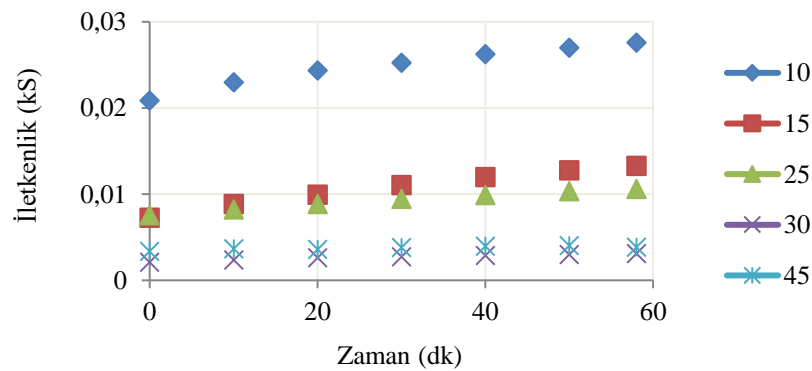
t(dk)	10 kPa	15 kPa	25kPa	30 kPa	45 kPa
0	47,9388	137,5497	132,3846	480,3695	296,5891
2	47,1705	132,0634	127,2000	465,8022	294,7049
4	46,0944	127,0613	130,9472	451,8829	292,4115
8	44,2448	118,0951	124,4377	432,7413	288,5563
10	43,5450	113,1501	121,3206	422,5606	274,1000
12	43,0600	110,9571	119,7626	413,0509	288,5265
14	42,8963	108,7492	118,3251	407,5844	285,8811
18	41,7966	104,1167	115,1711	392,6994	279,7124
20	41,0967	100,8535	113,0865	384,6498	278,1850
22	40,7095	98,0624	111,7022	378,8699	275,3402
24	40,3833	95,8759	110,0391	374,7245	270,7411
26	40,0630	93,6520	107,3762	365,8444	268,4137
30	39,6018	90,6080	105,6670	367,4282	263,8081
32	39,3787	88,7393	104,0741	363,4948	261,3264
34	39,0131	87,0318	103,0417	358,8925	258,7380
38	38,3837	84,5127	100,7979	352,8924	255,8470
40	38,0940	83,6094	100,8810	348,8724	253,9978
42	37,7457	82,5897	100,0326	346,8353	253,0098
46	37,3508	80,4947	98,3840	339,8326	251,1933
48	37,1824	79,6322	97,4281	335,3167	249,9227
50	37,0463	78,4125	96,5593	333,1306	249,2024
52	36,8574	77,5381	96,2539	329,2551	248,9256
56	36,4587	75,9479	94,4408	324,0611	248,4014
58	36,2705	75,2209	94,1623	321,2659	260,6000



Şekil 4.11. Farklı basınçlar altındaki %50 EPDM içeren 40 PHR EPDM/NR/CB kompozitinin dirençlerinin zamanla değişimi

Çizelge 4.11. %50 EPDM içeren 40 PHR EPDM/NR/CB kompozitinin farklı basınçlar altında hesaplanan iletkenlik değerleri (MS)

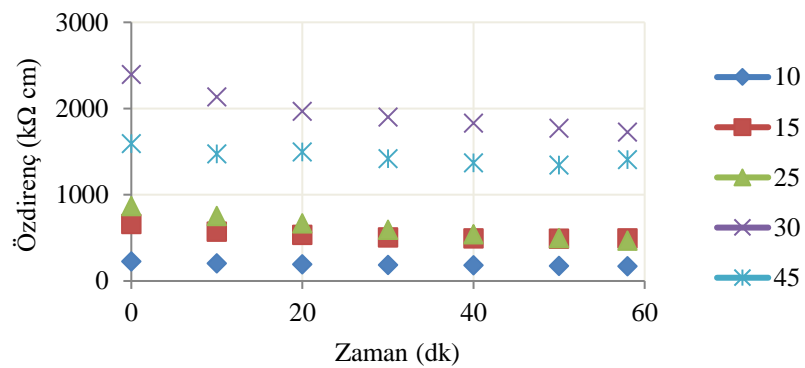
t(dk)	10 kPa	15 kPa	25 kPa	30 kPa	45 kPa
0	0,02086	0,00727	0,00755	0,00208	0,00337
2	0,02120	0,00757	0,00786	0,00215	0,00339
4	0,02169	0,00787	0,00764	0,00221	0,00342
8	0,02260	0,00847	0,00804	0,00231	0,00347
10	0,02296	0,00884	0,00824	0,00237	0,00365
12	0,02322	0,00901	0,00835	0,00242	0,00347
14	0,02331	0,00920	0,00845	0,00245	0,00350
16	0,02362	0,00944	0,00855	0,00250	0,00354
20	0,02433	0,00992	0,00884	0,00260	0,00359
22	0,02456	0,01020	0,00895	0,00264	0,00363
24	0,02476	0,01043	0,00909	0,00267	0,00369
28	0,02502	0,01088	0,00938	0,00269	0,00374
30	0,02525	0,01104	0,00946	0,00272	0,00379
32	0,02539	0,01127	0,00961	0,00275	0,00383
34	0,02563	0,01149	0,00970	0,00279	0,00386
38	0,02605	0,01183	0,00992	0,00283	0,00391
40	0,02625	0,01196	0,00991	0,00287	0,00394
42	0,02649	0,01211	0,01000	0,00288	0,00395
46	0,02677	0,01242	0,01016	0,00294	0,00398
48	0,02689	0,01256	0,01026	0,00298	0,00400
50	0,02699	0,01275	0,01036	0,00300	0,00401
54	0,02728	0,01306	0,01047	0,00307	0,00392
56	0,02743	0,01317	0,01059	0,00309	0,00403
58	0,02757	0,01329	0,01062	0,00311	0,00384



Şekil 4.12. Farklı basınçlar altındaki %50 EPDM içeren 40 PHR EPDM/NR/CB kompozitinin iletkenliklerinin zamanla değişimi

Çizelge 4.12. %50 EPDM içeren 40 PHR EPDM/NR/CB kompozitinin farklı basınçlar altında hesaplanan öz direnç değerleri (MΩ.cm)

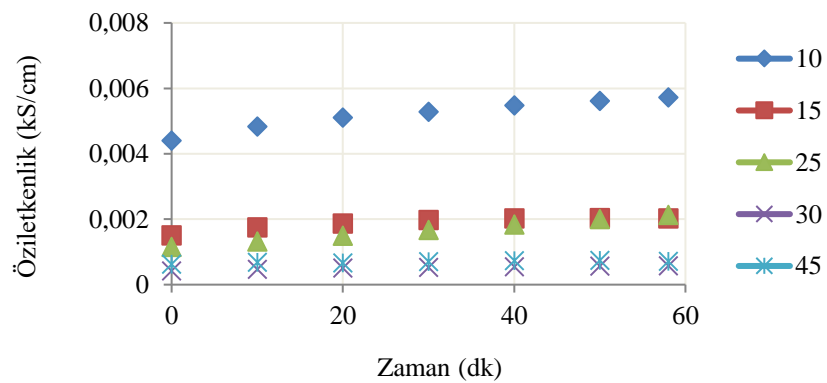
t(dk)	10 kPa	15 kPa	25 kPa	30 kPa	45 kPa
0	227,3836	664,4709	871,4627	2398,029	1594,674
2	223,856	643,8771	828,2325	2331,059	1584,824
6	214,2134	608,8508	809,8646	2226,143	1576,17
8	210,3002	592,2314	784,6614	2181,797	1552,584
10	207,0822	572,8911	757,0382	2135,789	1475,063
12	204,8827	567,2444	739,6123	2092,951	1552,975
14	204,2104	561,4096	723,2789	2070,436	1539,009
18	199,1833	548,2489	689,9206	2004,889	1506,335
20	195,9507	536,4324	670,7262	1968,76	1498,375
22	194,206	526,9111	656,0205	1944,094	1483,315
24	192,7511	520,4756	639,9794	1927,711	1458,798
28	191,0017	509,5255	608,2978	1919,115	1440,231
30	189,3186	507,5829	597,1599	1904,703	1422,199
32	188,3510	502,4623	582,6612	1889,152	1409,07
34	186,7004	498,1529	571,5404	1870,036	1395,362
38	183,8813	494,4883	548,93	1848,291	1380,261
40	182,5895	494,7027	544,4332	1831,977	1370,529
42	181,0153	494,2245	535,0346	1826,019	1365,44
44	179,8719	494,617	525,0943	1812,41	1363,509
48	178,5963	493,3536	507,511	1779,263	1349,5
50	178,0365	491,5831	498,6499	1772,311	1345,85
52	177,2221	491,9605	492,8245	1756,31	1344,594
56	175,4903	493,7752	475,4151	1737,766	1342,24
58	174,6771	495,1648	470,0628	1727,355	1408,406



Şekil 4.13. Farklı basınçlar altındaki %50 EPDM içeren 40 PHR EPDM/NR/CB kompozitinin öz dirençlerinin zamanla değişimi

Çizelge 4.13. %50 EPDM içeren 40 PHR EPDM/NR/CB kompozitinin farklı basınçlar altında hesaplanan öziletkenlik değerleri (MS/cm)

t(dk)	10 kPa	15 kPa	25 kPa	30 kPa	45 kPa
0	0,00440	0,00150	0,00115	0,00042	0,00063
2	0,00447	0,00155	0,00121	0,00043	0,00063
6	0,00467	0,00164	0,00123	0,00045	0,00063
8	0,00476	0,00169	0,00127	0,00046	0,00064
10	0,00483	0,00175	0,00132	0,00047	0,00068
12	0,00488	0,00176	0,00135	0,00048	0,00064
16	0,00496	0,00181	0,00141	0,00049	0,00066
18	0,00502	0,00182	0,00145	0,00050	0,00066
20	0,00510	0,00186	0,00149	0,00051	0,00067
22	0,00515	0,00190	0,00152	0,00051	0,00067
26	0,00523	0,00195	0,00162	0,00053	0,00069
28	0,00524	0,00196	0,00164	0,00052	0,00069
30	0,00528	0,00197	0,00167	0,00053	0,00070
32	0,00531	0,00199	0,00172	0,00053	0,00071
36	0,00540	0,00202	0,00179	0,00054	0,00072
38	0,00544	0,00202	0,00182	0,00054	0,00072
40	0,00548	0,00202	0,00184	0,00055	0,00073
44	0,00556	0,00202	0,00190	0,00055	0,00073
46	0,00558	0,00203	0,00193	0,00056	0,00074
48	0,00560	0,00203	0,00197	0,00056	0,00074
50	0,00562	0,00203	0,00201	0,00056	0,00074
54	0,00567	0,00203	0,00206	0,00057	0,00073
56	0,00570	0,00203	0,00210	0,00058	0,00075
58	0,00572	0,00202	0,00213	0,00058	0,00071



Şekil 4.14. Farklı basınçlar altındaki %50 EPDM içeren 40 PHR EPDM/NR/CB kompozitinin öziletkenliklerinin zamanla değişimi

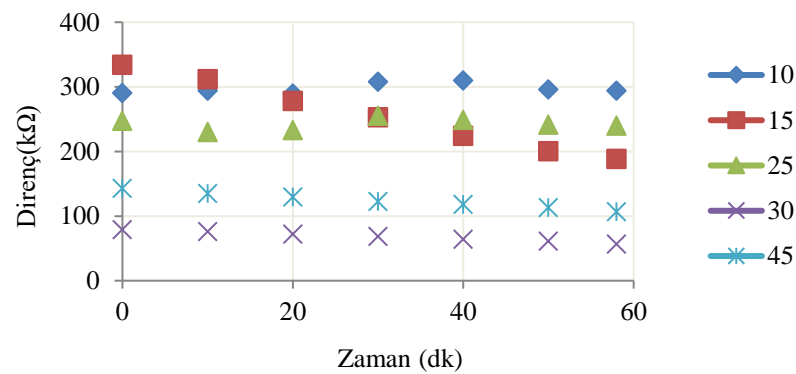
%60 EPDM içeren 40 PHR EPDM/NR/CB kompozitinin direnci değişik basınçlar altında ölçülmüş ve Çizelge 4.14'te verilmiştir. Bu değerlerden hesaplanan iletkenlik, özdirenç ve öziletkenlik değerleri de sırasıyla Çizelge 4.15, Çizelge 4.16 ve Çizelge 4.17'de verilmiştir.

Çizelge 4.14'te verilen ve farklı basınçlar altında ölçülen %60 EPDM içeren 40 PHR EPDM/NR/CB kompozitine ait direnç değerleri ve sırasıyla Çizelge 4.15, Çizelge 4.16 ve Çizelge 4.17'de verilen iletkenlik, özdirenç ve öziletkenlik değerleri zamana karşı grafiğe geçirilmiş ve Şekil 4.15, 4.16, 4.17 ve 4.18'de gösterilmiştir.



Çizelge 4.14. %60 EPDM içeren 40 PHR EPDM/NR/CB kompozitinin farklı basınçlar altında ölçülen direnç değerleri (M Ω m)

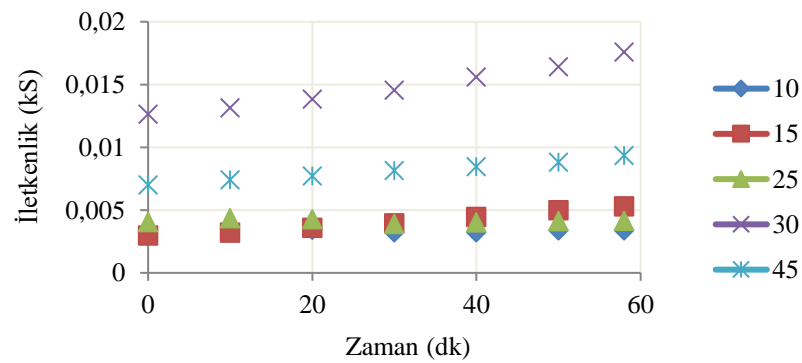
t(dk)	10 kPa	15 kPa	25 kPa	30 kPa	45 kPa
0	290,5601	334,3091	247,3000	79,0538	142,7172
2	305,1718	322,6344	239,0000	78,6647	138,2291
6	316,5850	314,6658	257,4000	77,7106	136,7333
8	297,2338	313,0830	243,8000	76,4048	135,6956
10	294,0266	311,7229	230,0000	76,0155	134,9171
12	297,6474	301,6837	227,8000	74,3868	133,2378
14	289,4634	296,9061	235,4000	73,8780	132,4610
16	290,9492	295,2764	240,3000	73,0250	131,7248
20	289,6113	277,9667	233,0000	72,2567	129,3837
22	297,1143	275,8644	236,9000	71,2141	128,7000
24	313,2839	264,2294	229,1000	71,0750	126,1362
28	315,8944	259,4162	250,4000	68,8958	123,9478
30	307,7684	252,7480	255,5000	68,6500	122,5753
32	297,1385	250,2190	250,5000	68,4068	121,3462
34	309,2500	249,3945	254,8000	68,3400	119,9676
38	313,1012	227,7784	255,6000	65,8410	118,9574
40	309,7126	223,9553	248,8000	64,0906	118,2297
42	305,7892	216,9018	238,0000	63,9443	117,4903
44	309,9764	216,2783	226,8000	62,1921	116,9911
48	308,2000	210,0829	232,5000	61,7660	114,3280
50	295,9000	200,1672	241,4000	60,9061	113,2096
52	314,9683	197,5357	231,0000	60,4769	112,5672
56	318,5091	190,1590	248,1000	58,4087	107,4895
58	294,0286	188,7000	240,2000	56,8485	106,9672



Şekil 4.15. Farklı basınçlar altındaki %60 EPDM içeren 40 PHR EPDM/NR/CB kompozitinin dirençlerinin zamanla değişimi

Çizelge 4.15. %60 EPDM içeren 40 PHR EPDM/NR/CB kompozitinin farklı basınçlar altında hesaplanan iletkenlik değerleri (MS)

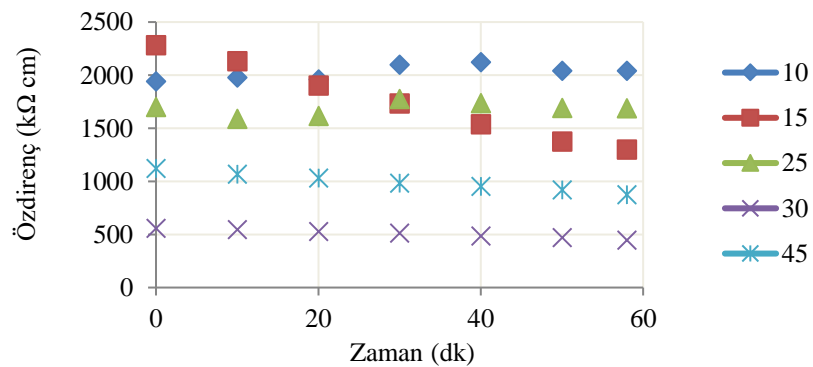
t(dk)	10 kPa	15 kPa	25 kPa	30 kPa	45 kPa
0	0,00344	0,00299	0,00404	0,01265	0,00701
2	0,00328	0,00310	0,00418	0,01271	0,00723
4	0,00313	0,00311	0,00404	0,01273	0,00729
8	0,00336	0,00319	0,00410	0,01309	0,00737
10	0,00340	0,00321	0,00435	0,01316	0,00741
12	0,00336	0,00331	0,00439	0,01344	0,00751
14	0,00345	0,00337	0,00425	0,01354	0,00755
18	0,00339	0,00351	0,00428	0,01374	0,00769
20	0,00345	0,00360	0,00429	0,01384	0,00773
22	0,00337	0,00362	0,00422	0,01404	0,00777
24	0,00319	0,00378	0,00436	0,01407	0,00793
26	0,00317	0,00384	0,00411	0,01412	0,00798
30	0,00325	0,00396	0,00391	0,01457	0,00816
32	0,00337	0,00400	0,00399	0,01462	0,00824
34	0,00323	0,00401	0,00392	0,01463	0,00834
38	0,00319	0,00439	0,00391	0,01519	0,00841
40	0,00323	0,00447	0,00402	0,01560	0,00846
42	0,00327	0,00461	0,00420	0,01564	0,00851
44	0,00323	0,00462	0,00441	0,01608	0,00855
48	0,00324	0,00476	0,00430	0,01619	0,00875
50	0,00338	0,00500	0,00414	0,01642	0,00883
52	0,00317	0,00506	0,00433	0,01654	0,00888
56	0,00314	0,00526	0,00403	0,01712	0,00930
58	0,00340	0,00530	0,00416	0,01759	0,00935



Şekil 4.16. Farklı basınçlar altındaki %60 EPDM içeren 40 PHR EPDM/NR/CB kompozitinin iletkenliklerinin zamanla değişimi

Çizelge 4.16. %60 EPDM içeren 40 PHR EPDM/NR/CB kompozitinin değişik basınçlar altında hesaplanan öz direnç değerleri (MOhm.cm)

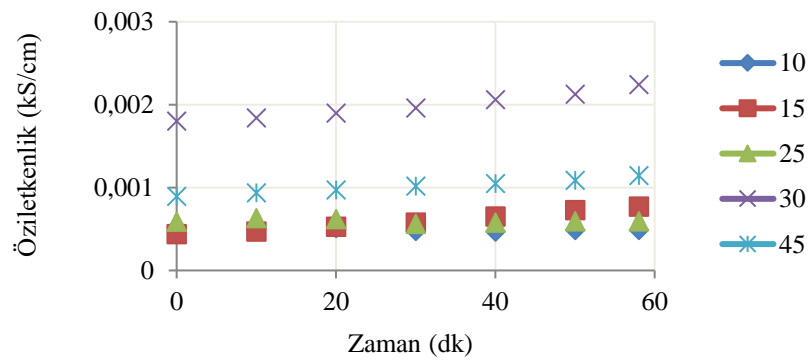
t(dk)	10 kPa	15 kPa	25 kPa	30 kPa	45 kPa
0	1941,189	2282,023	1699,173	555,3223	1120,33
2	2041,353	2202,826	1643,384	554,5996	1086,504
6	2123,001	2149,386	1772,581	551,8894	1077,537
8	1995,731	2139,056	1680,196	544,6119	1070,749
10	1976,675	2130,243	1586,291	543,8382	1065,991
12	2003,532	2062,102	1572,309	534,1581	1054,095
16	1963,379	2019,215	1661,104	528,2956	1044,849
18	1990,626	1950,596	1616,016	528,6109	1032,532
20	1959,287	1901,701	1613,091	526,6703	1028,967
24	2124,805	1808,534	1588,506	521,9848	1005,776
26	2140,221	1782,594	1686,862	522,0038	1000,094
28	2147,95	1776,39	1738,841	509,846	990,9297
30	2095,356	1731,119	1775,611	509,9746	981,2487
34	2110,809	1708,922	1773,453	511,5951	962,9128
36	2049,664	1623,11	1726,051	502,621	960,9816
38	2142,556	1561,507	1781,745	496,726	957,3362
40	2122,079	1535,646	1735,672	485,4103	952,7434
42	2097,88	1487,616	1661,602	486,2032	948,0433
46	2085,02	1475,38	1562,067	473,6619	936,5647
48	2122,575	1441,826	1626,946	475,2357	926,2194
50	2040,489	1374,084	1690,524	470,488	918,3841
54	2078,311	1339,853	1712,767	463,6542	875,9426
56	2204,914	1306,267	1741,462	456,6577	875,4912
58	2038,079	1296,538	1687,311	446,2606	872,4078



Şekil 4.17. Farklı basınçlar altındaki %60 EPDM içeren 40 PHR EPDM/NR/CB kompozitinin öz dirençlerinin zamanla değişimi

Çizelge 4.17. %60 EPDM içeren 40 PHR EPDM/NR/CB kompozitinin farklı basınçlar altında hesaplanan öziletkenlik değerleri (MS/cm)

t(dk)	10 kPa	15 kPa	25 kPa	30 kPa	45 kPa
0	0,000515	0,000438	0,000589	0,001801	0,000893
2	0,000490	0,000454	0,000609	0,001803	0,000920
4	0,000468	0,000455	0,000587	0,001800	0,000926
8	0,000501	0,000467	0,000595	0,001836	0,000934
10	0,000506	0,000469	0,000630	0,001839	0,000938
12	0,000499	0,000485	0,000636	0,001872	0,000949
14	0,000513	0,000493	0,000615	0,001878	0,000953
18	0,000502	0,000513	0,000619	0,001892	0,000968
20	0,000510	0,000526	0,000620	0,001899	0,000972
22	0,000497	0,000530	0,000609	0,001919	0,000976
24	0,000471	0,000553	0,000630	0,001916	0,000994
28	0,000466	0,000563	0,000575	0,001961	0,001009
30	0,000477	0,000578	0,000563	0,001961	0,001019
32	0,000494	0,000583	0,000574	0,001960	0,001028
34	0,000474	0,000585	0,000564	0,001955	0,001039
38	0,000467	0,000640	0,000561	0,002013	0,001045
40	0,000471	0,000651	0,000576	0,002060	0,001050
42	0,000477	0,000672	0,000602	0,002057	0,001055
44	0,000470	0,000674	0,000631	0,002106	0,001058
48	0,000471	0,000694	0,000615	0,002104	0,001080
50	0,000490	0,000728	0,000592	0,002125	0,001089
52	0,000460	0,000737	0,000618	0,002132	0,001094
56	0,000454	0,000766	0,000574	0,00219	0,001142
58	0,000491	0,000771	0,000593	0,002241	0,001146



Şekil 4.18. Farklı basınçlar altındaki %60 EPDM içeren 40 PHR EPDM/NR/CB kompozitinin özdirençlerinin zamanla değişimi

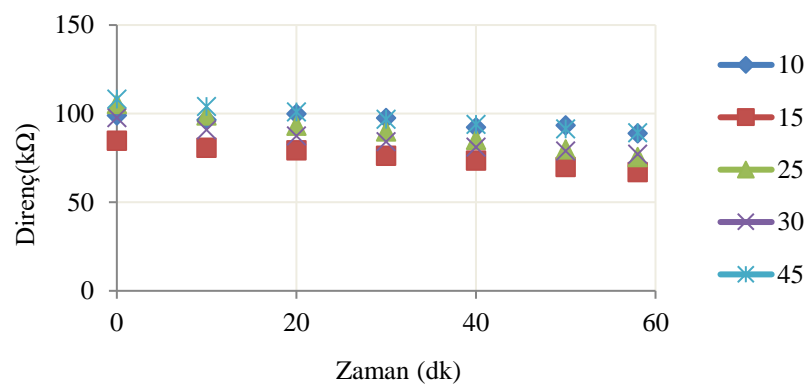
%70 EPDM içeren 40 PHR EPDM/NR/CB kompozitinin direnci farklı basınçlar altında ölçülmüş ve Çizelge 4.18’de verilmiştir. Bu değerlerden hesaplanan iletkenlik, öz direnç ve öz iletkenlik değerleri de sırasıyla Çizelge 4.19, Çizelge 4.20 ve Çizelge 4.21’de verilmiştir.

Çizelge 4.18’de verilen ve farklı basınçlar altında ölçülen %60 EPDM içeren 40 PHR EPDM/NR/CB kompozitine ait direnç değerleri ve sırasıyla Çizelge 4.19, Çizelge 4.20 ve Çizelge 4.21’de verilen iletkenlik, öz direnç ve öz iletkenlik değerleri zamana karşı grafiğe geçirilmiş ve Şekil 4.19, 4.20, 4.21 ve 4.22’de gösterilmiştir



Çizelge 4.18. %70 EPDM içeren 40 PHR EPDM/NR/CB kompozitinin değişik basınçlar altında ölçülen direnç değerleri (M Ω m)

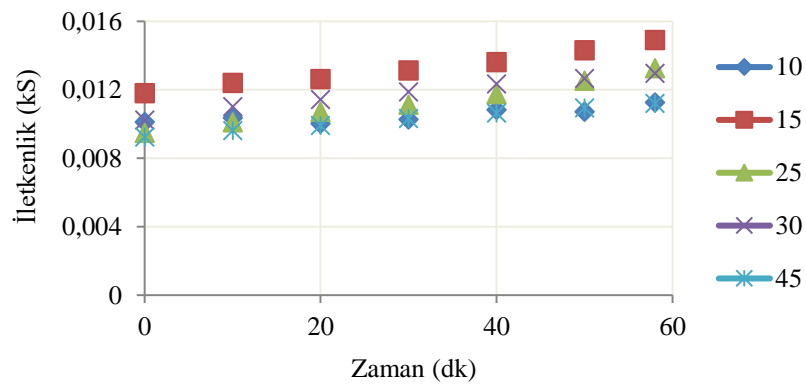
t(dk)	10 kPa	15 kPa	25 kPa	30 kPa	45 kPa
0	98,9235	84,6910	105,4927	97,7396	108,2510
2	99,9651	83,6556	105,4935	97,0285	107,9851
6	100,2241	82,6423	100,9556	93,3083	106,6889
8	100,9690	81,1931	100,6056	90,9250	105,5757
10	96,5145	80,7056	98,9968	90,7742	104,0275
12	96,8914	80,5548	97,0989	90,4590	101,4717
16	98,1376	79,6066	95,4275	88,7817	101,1717
18	96,1800	79,2602	94,0078	88,4920	101,0017
20	99,8002	79,2467	93,2735	87,4559	100,9060
24	97,2226	76,7983	93,2299	85,5292	99,1181
26	100,2604	76,3860	93,0113	84,3177	97,4650
28	97,5472	76,1916	92,8699	84,3824	97,0517
30	97,4929	76,1404	89,9216	84,2220	96,8581
34	92,5991	75,7921	88,4271	82,6193	95,8369
36	92,4925	74,6902	87,3436	82,3607	94,8088
38	96,0971	74,1536	86,2600	81,7240	94,2617
40	92,3000	73,4290	85,1764	81,0587	93,9906
42	92,5824	72,7232	84,0928	81,1213	93,9543
46	91,0898	71,3114	81,9256	79,9189	92,4206
48	93,9364	70,6055	80,8421	79,4808	91,8868
50	93,3339	69,8996	79,7585	79,0076	91,3531
52	91,9007	69,1937	78,6749	78,5431	90,8193
54	89,5105	68,4878	77,5913	78,0787	90,2856
58	88,8947	67,0760	75,4241	77,1498	89,2181



Şekil 4.19. Farklı basınçlar altındaki %70 EPDM içeren 40 PHR EPDM/NR/CB kompozitinin dirençlerinin zamanla değişimi

Çizelge 4.19. %70 EPDM içeren 40 PHR EPDM/NR/CB kompozitinin farklı basınçlar altında hesaplanan iletkenlik değerleri (MS)

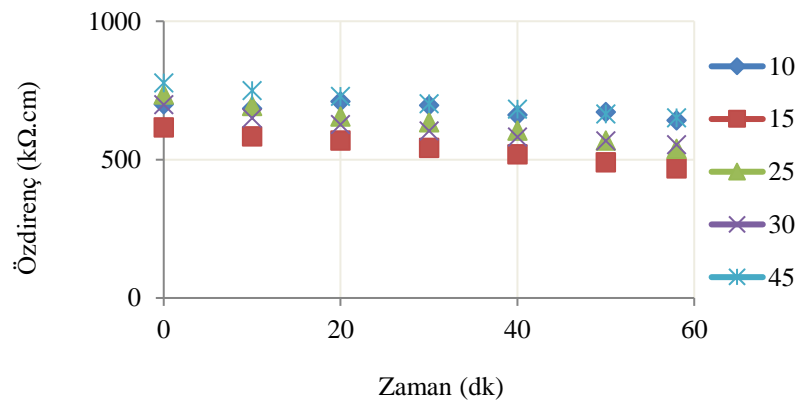
t(dk)	10 kPa	15 kPa	25 kPa	30 kPa	45 kPa
0	0,01011	0,01181	0,00948	0,01023	0,00924
2	0,01000	0,01195	0,00948	0,01031	0,00926
6	0,00998	0,01210	0,00991	0,01072	0,00937
8	0,00990	0,01232	0,00994	0,01100	0,00947
10	0,01036	0,01239	0,01010	0,01102	0,00961
12	0,01032	0,01241	0,01030	0,01105	0,00985
16	0,01019	0,01256	0,01048	0,01126	0,00988
18	0,01040	0,01262	0,01064	0,01130	0,00990
20	0,01002	0,01262	0,01072	0,01143	0,00991
24	0,01029	0,01302	0,01073	0,01169	0,01009
26	0,00997	0,01309	0,01075	0,01186	0,01026
28	0,01025	0,01312	0,01077	0,01185	0,01030
30	0,01026	0,01313	0,01112	0,01187	0,01032
32	0,01067	0,01313	0,01119	0,01200	0,01041
36	0,01081	0,01339	0,01145	0,01214	0,01055
38	0,01041	0,01349	0,01159	0,01224	0,01061
40	0,01083	0,01362	0,01174	0,01234	0,01064
42	0,01080	0,01375	0,01189	0,01233	0,01064
46	0,01098	0,01402	0,01221	0,01251	0,01082
48	0,01065	0,01416	0,01237	0,01258	0,01088
50	0,01071	0,01431	0,01254	0,01266	0,01095
52	0,01088	0,01445	0,01271	0,01273	0,01101
54	0,01117	0,01460	0,01289	0,01281	0,01108
58	0,01125	0,01491	0,01326	0,01296	0,01121



Şekil 4.20. Farklı basınçlar altındaki %70 EPDM içeren 40 PHR EPDM/NR/CB kompozitinin iletkenliklerinin zamanla değişimi

Çizelge 4.20. %70 EPDM içeren 40 PHR EPDM/NR/CB kompozitinin farklı basınçlar altında hesaplanan öz direnç değerleri (M Ω .cm)

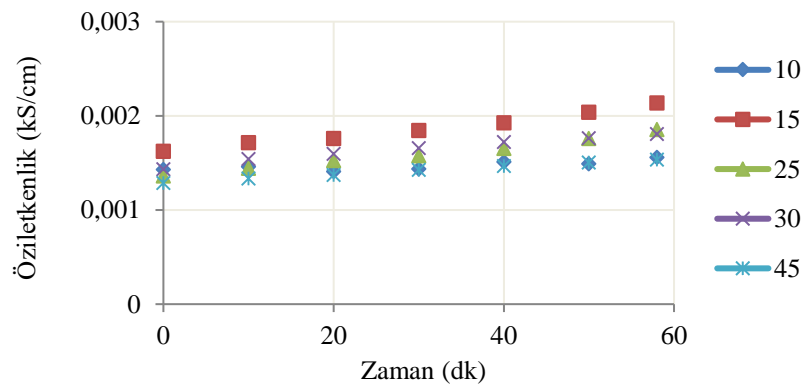
t(dk)	10 kPa	15 kPa	25 kPa	30 kPa	45 kPa
0	699,5945	617,0063	736,1048	699,0943	777,8221
2	707,4545	608,5378	736,7314	694,1172	776,3404
4	719,7893	607,1344	716,2066	672,0952	771,4289
8	716,0619	587,9479	704,3784	650,7609	760,2784
10	684,9511	583,5361	693,7014	649,7834	749,5445
12	688,1087	581,5682	680,9784	647,6293	731,5343
14	679,9906	577,6162	670,6861	632,749	730,3254
18	684,4979	569,6475	660,9795	633,8461	729,359
20	710,7626	568,6975	656,3743	626,5228	729,0722
22	676,6249	551,6916	655,6904	618,6241	721,0463
24	693,3812	549,4815	657,1846	612,9134	716,9508
28	696,6785	543,5181	655,7638	604,8854	702,7854
30	696,7824	542,3455	635,4878	603,8312	701,7743
32	669,9883	541,5328	632,036	597,6499	696,3067
34	662,7429	538,2643	625,9951	592,5265	695,1494
38	688,7523	525,0719	611,6995	586,2909	684,4876
40	662,0068	519,1746	604,5333	581,6094	682,8997
42	664,5034	513,4261	597,3548	582,1501	683,0173
44	681,2578	507,6946	590,1639	577,1344	675,1448
46	654,719	501,9799	582,9607	573,7023	672,6198
50	671,8037	490,6008	568,5171	567,3393	665,5954
52	661,9583	484,9362	561,2766	564,0932	662,0774
54	645,2012	479,2881	554,0237	560,8461	658,5554
58	641,6769	468,0413	539,4801	554,3487	651,4995



Şekil 4.21 Farklı basınçlar altındaki %70 EPDM içeren 40 PHR EPDM/NR/CB kompozitinin öz dirençlerinin zamanla değişimi

Çizelge 4.21. %70 EPDM içeren 40 PHR EPDM/NR/CB kompozitinin farklı basınçlar altında hesaplanan öziletkenlik değerleri (MS/cm)

t(dk)	10 kPa	15 kPa	25 kPa	30 kPa	45 kPa
0	0,001429	0,001621	0,001359	0,001430	0,001286
2	0,001414	0,001643	0,001357	0,001441	0,001288
4	0,001389	0,001647	0,001396	0,001488	0,001296
8	0,001397	0,001701	0,00142	0,001537	0,001315
10	0,00146	0,001714	0,001442	0,001539	0,001334
12	0,001453	0,001719	0,001468	0,001544	0,001367
14	0,001471	0,001731	0,001491	0,00158	0,001369
18	0,001461	0,001755	0,001513	0,001578	0,001371
20	0,001407	0,001758	0,001524	0,001596	0,001372
22	0,001478	0,001813	0,001525	0,001616	0,001387
24	0,001442	0,001820	0,001522	0,001632	0,001395
26	0,001398	0,001832	0,001524	0,001655	0,001418
30	0,001435	0,001844	0,001574	0,001656	0,001425
32	0,001493	0,001847	0,001582	0,001673	0,001436
34	0,001509	0,001858	0,001597	0,001688	0,001439
38	0,001452	0,001905	0,001635	0,001706	0,001461
40	0,001511	0,001926	0,001654	0,001719	0,001464
44	0,001468	0,001970	0,001694	0,001733	0,001481
46	0,001527	0,001992	0,001715	0,001743	0,001487
48	0,001480	0,002015	0,001737	0,001752	0,001495
50	0,001489	0,002038	0,001759	0,001763	0,001502
52	0,001511	0,002062	0,001782	0,001773	0,001510
56	0,001538	0,002111	0,001829	0,001793	0,001527
58	0,001558	0,002137	0,001854	0,001804	0,001535

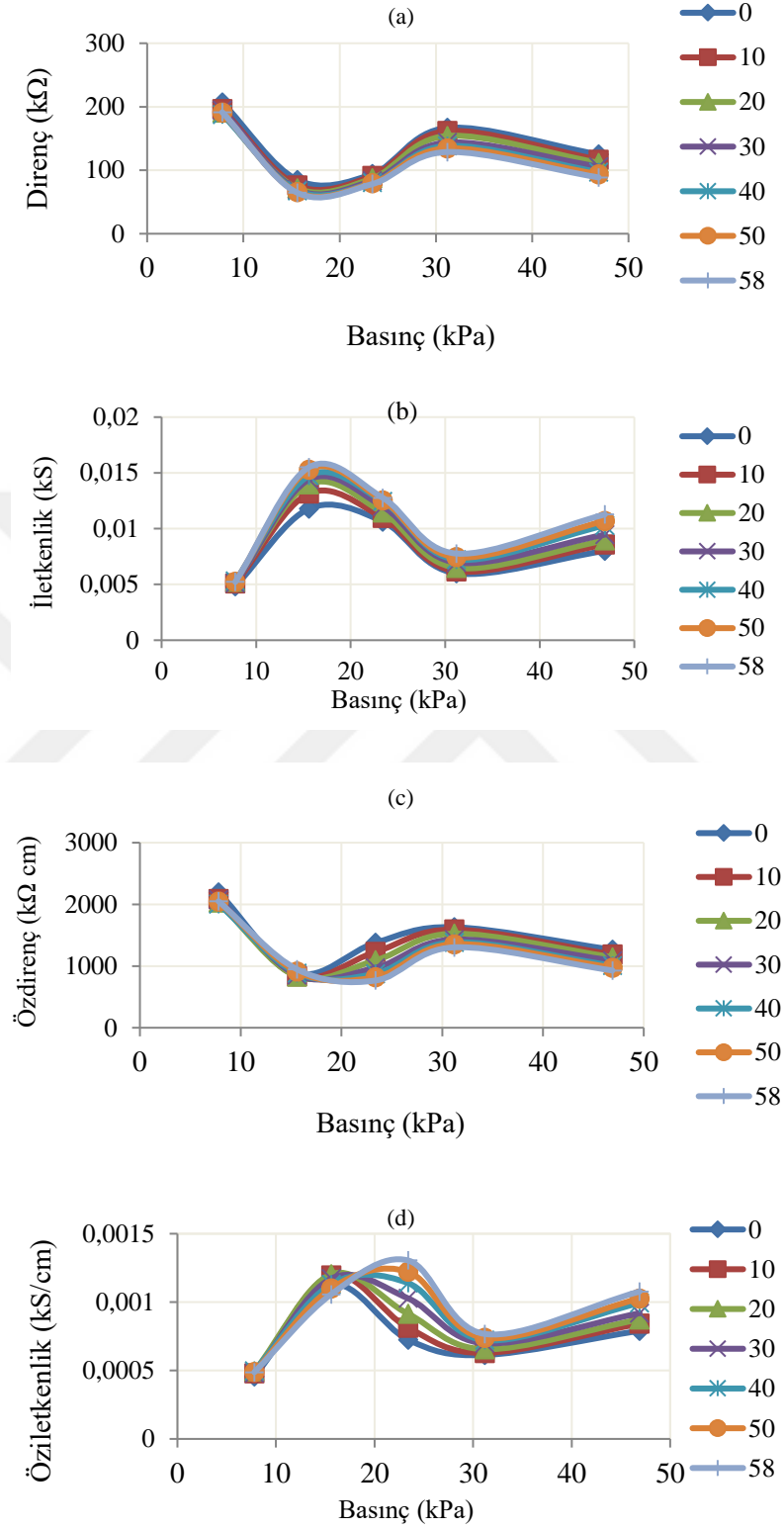


Şekil 4.22. Farklı basınçlar altındaki %70 EPDM içeren 40 PHR EPDM/NR/CB kompozitinin öziletkenliklerinin zamanla değişimi

EPDM oranının artması NR oranının düşmesi ile direnç değerlerinde düşüş görülmektedir. Daha önce de bahsedildiği üzere kauçuk hamuruna NR ilavesi karışabilirlik bakımından olumlu bir etki gösteriyor fakat iletkenliği biraz daha artırıyor. Basınç uygulanan örneklerde de bu etkiyi açıkça görebilmek için, ölçülen ve hesaplanan elektriksel özelliklerin basınçla değişimi Şekil 4.23 - Şekil 4.26 arasındaki şekillerde gösterilmiştir.

4.1.3.2. Farklı miktarlarda EPDM içeren 40 PHR EPDM/NR/CB kompozitinin değişik sürelerdeki elektriksel özelliklerine basıncın etkisi

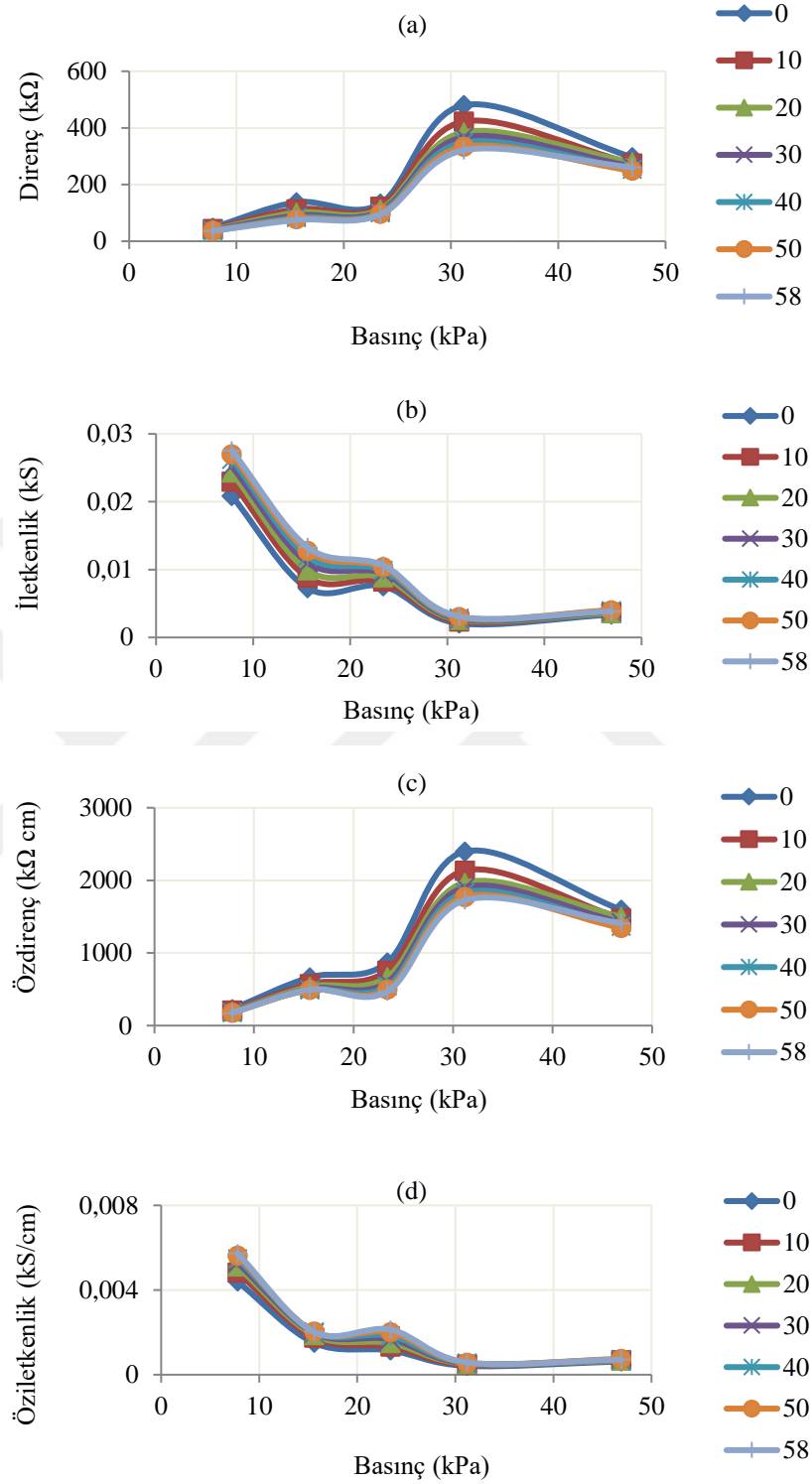
Çizelge 4. 6 - Çizelge 4.9'da görülen %40 EPDM içeren PHR EPDM/NR/CB kompozitinin direnç, iletkenlik, öz direnç ve öz iletkenlik değerleri ölçüm sırasında örnek üzerine uygulanan basınca karşı grafiğe geçirilmiş ve Şekil 4.23'de verilmiştir.



Şekil 4.23. Belli sürelerde ölçülen %40 EPDM içeren 40 PHR EPDM/NR/CB kompozitlerine ait a) direnç, b) iletkenlik, c) öz direnç, d) öziletkenliklerinin basınçla değişimi

Şekil 4.23'te görülen %40 EPDM içeren 40 PHR EPDM/NR/CB kompozitlerine ait belli sürelerde ölçülen direnç değerleri basıncın artmasıyla yaklaşık 20 kPa basınca kadar azalmış ondan sonra artmaya başlamıştır. Ölçülen dirençlerden hesaplanan iletkenlik, öz direnç ve öz iletkenlik değerleri de buna paralel bir davranış sergilemiştir.

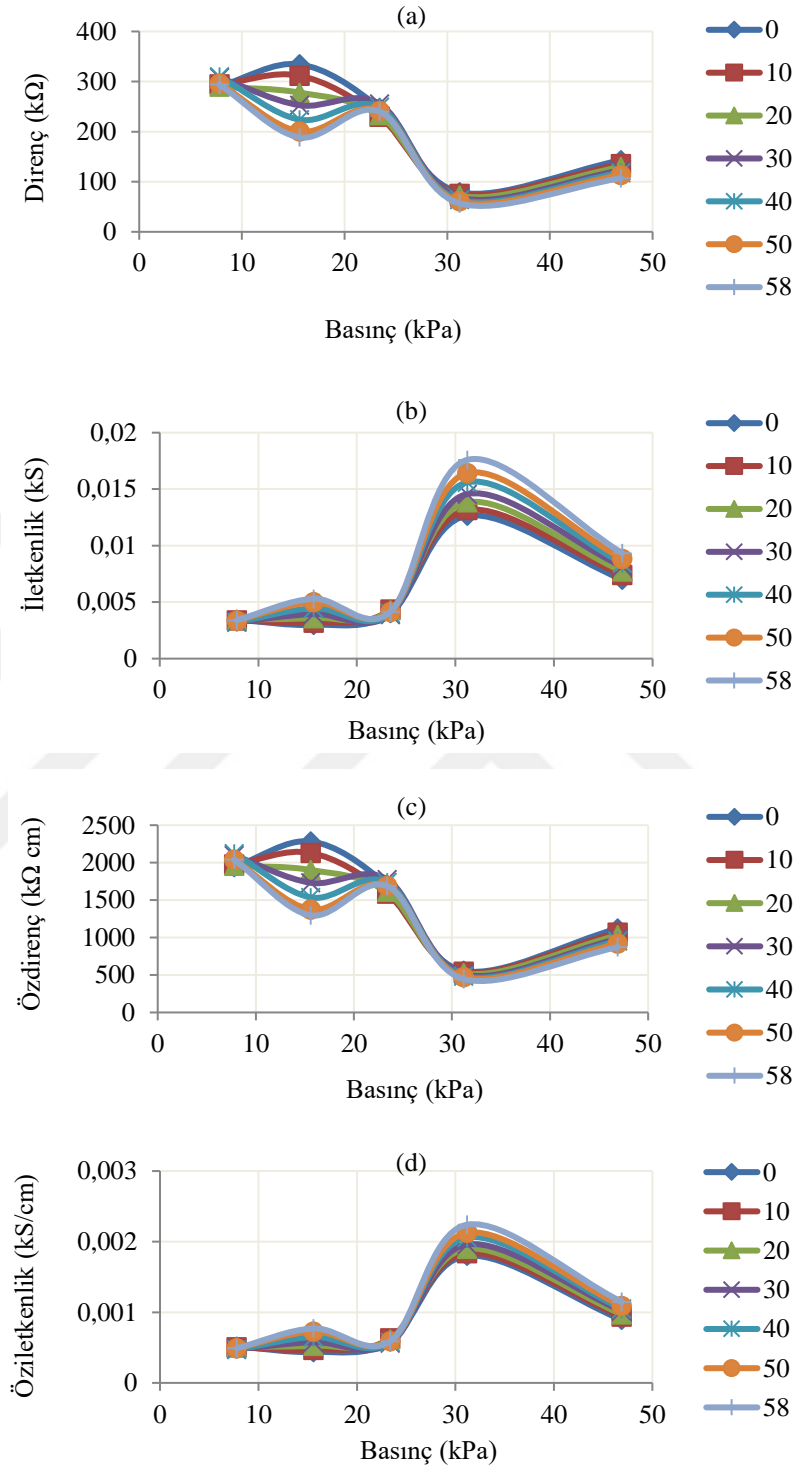
Çizelge 4. 10 - Çizelge 4.13'te görülen %50 EPDM içeren PHR EPDM/NR/CB kompozitinin direnç, iletkenlik, öz direnç ve öz iletkenlik değerleri ölçüm sırasında örnek üzerine uygulanan basınca karşı grafiğe geçirilmiş ve Şekil 4.24'te verilmiştir.



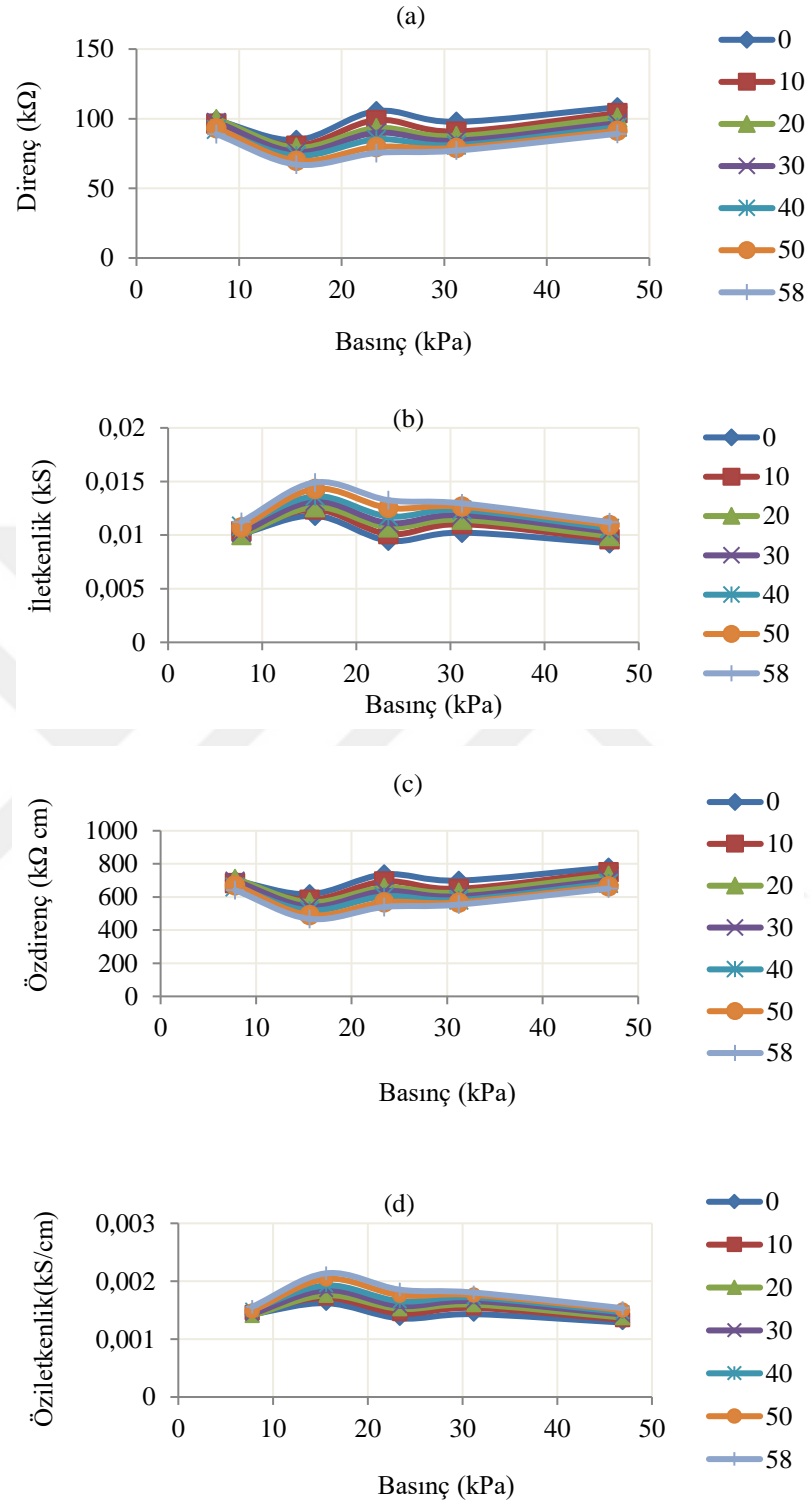
Şekil 4.24. Belli sürelerde ölçülen %50 EPDM içeren 40 PHR EPDM/NR/CB kompozitlerine ait a) direnç, b) iletkenlik, c) özdirenç, d) öziletkenliklerinin basınçla değişimi

Şekil 4.24’de görülen %50 EPDM içeren 40 PHR EPDM/NR/CB kompozitlerine ait belli sürelerde ölçülen direnç değerleri basıncın artmasıyla yaklaşık 20 kPa basınca kadar yavaş bir şekilde artmış ondan sonra daha hızlı bir şekilde artmaya başlamıştır. Ölçülen dirençlerden hesaplanan iletkenlik, öz direnç ve öz iletkenlik değerleri de buna paralel bir davranış sergilemiştir. Bu sonuçlar kompozit içindeki EPDM miktarı %40 dan %50’ye çıktığında, basıncın direnç ve öz dirençte daha fazla düşmeye iletkenlik ve öz iletkenlikte ise daha fazla artmaya neden olduğu görülmektedir.

Çizelge 4. 14 - Çizelge 4.17’de görülen %60 EPDM içeren PHR EPDM/NR/CB kompozitinin direnç, iletkenlik, öz direnç ve öz iletkenlik değerleri ölçüm sırasında örnek üzerine uygulanan basınca karşı grafiğe geçirilmiş ve Şekil 4.25’de verilmiştir.



Şekil 4.25. Belli sürelerde ölçülen %60 EPDM içeren 40 PHR EPDM/NR/CB kompozitlerine ait a) direnç, b) iletkenlik, c) özdirenç, d) öziletkenliklerinin basınçla değişimi



Şekil 4.26. Belli sürelerde ölçülen %70 EPDM içeren 40 PHR EPDM/NR/CB kompozitlerine ait a) direnç, b) iletkenlik, c) özdirenç, d) öziletkenliklerinin basınçla değişimi

Çizelge 4. 18 - Çizelge 4.21’de görülen %70 EPDM içeren PHR EPDM/NR/CB kompozitinin direnç, iletkenlik, özdirenç ve öziletkenlik değerleri ölçüm sırasında örnek üzerine uygulanan basınca karşı grafiğe geçirilmiş ve Şekil 4.26’da verilmiştir.

Yukarıdaki grafikler incelendiğinde, %60 ve %70 EPDM içeren kompozit örneklerinde EPDM oranının artması ve basıncın etkisi ile direnç ve iletkenlik değerleri daha düzenli bir eğri vermektedir. Bu da EPDM oranı ve basıncın olumlu etkilerini göstermektedir.

4.2. 50 PHR EPDM/NR Kompozitinin Elektriksel Özellikleri

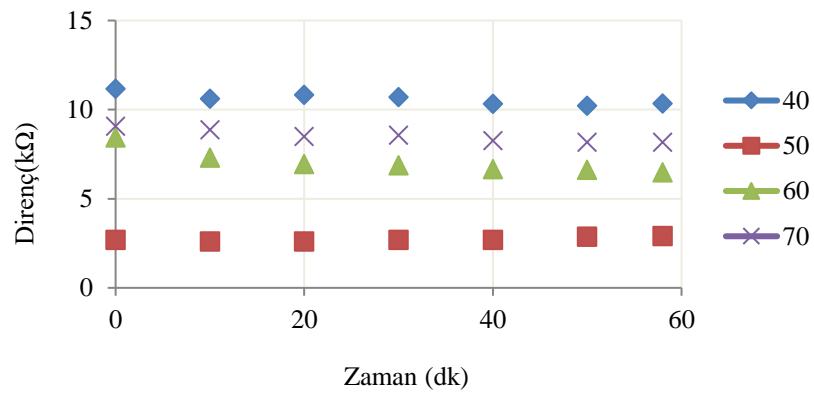
EPDM ve NR ye iletken dolgu maddesi olarak kullanılan CB etkisini incelemek amacıyla 50 PHR EPDM/NR/CB kompoziti hazırlanmıştır ve aynı şekilde ölçülen direnç değerleri ve onlardan hesaplanan sırasıyla iletkenlik, özdirenç ve öziletkenlik değerlerinin grafiği çizilmive sonra 40 PHR EPDM/NR/CB kompozitinin elektriksel özellikleri ile kıyaslanmıştır.

4.2.1. 50 PHR EPDM/NR kompozitinin elektriksel özelliklerine zamanın etkisi

Şekil 4.5 ve Şekil 4.6’da değişik oranlarda EPDM içeren 40 PHR EPDM/NR/CB kompozit örneklerinde dirençlerin EPDM miktarı ile azaldığı iletkenlikleri ise arttığı görülmüştür. EPDM/NR/CB karışımlarında bulunan CB miktarının kompozit örneklerinin elektriksel özelliklerine etkisini incelemek için aynı oranlarda EPDM içeren ama 50 PHR EPDM/NR/CB kompozit örnekleri hazırlanmış ve zamanla dirençleri ölçülerek Çizelge 4.22’de verilmiştir. Bu direnç değerlerinden hesaplanan iletkenlik, özdirenç ve öziletkenlik değerleride sırasıyla Çizelge 4.23, Çizelge 4.24 ve Çizelge 4.25’de verilmiştir.

Çizelge 4.22. Değişik oranlarda EPDM içeren 50 PHR EPDM/NR/CB kompozitlerinin ölçülen direnç değerleri (Ω)

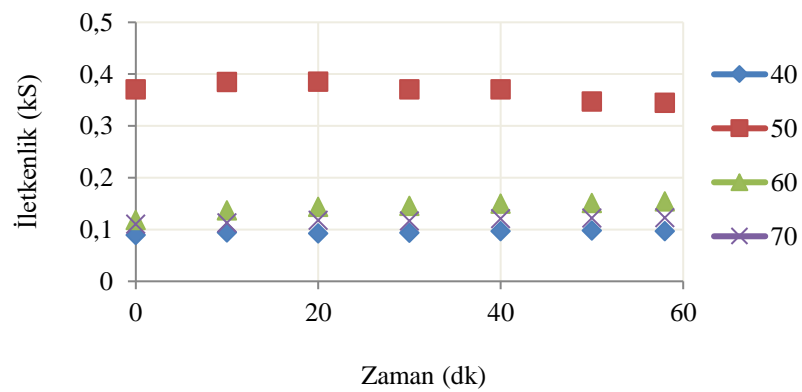
t(dk)	%40 EPDM	%50 EPDM	%60 EPDM	%70 EPDM
0	11,174	2,699	8,432	9,067
2	11,086	2,698	7,978	8,980
6	10,908	2,661	7,694	8,927
8	10,764	2,600	7,603	8,868
10	10,619	2,601	7,302	8,863
12	10,691	2,609	7,274	8,830
14	10,794	2,577	7,163	8,633
18	10,680	2,619	6,919	8,614
20	10,826	2,595	6,952	8,501
22	10,799	2,663	6,963	8,481
24	10,806	2,634	6,919	8,467
26	10,779	2,660	6,976	8,525
28	10,743	2,700	6,967	8,533
30	10,695	2,700	6,878	8,575
34	10,537	2,701	6,797	8,655
36	10,624	2,700	6,589	8,590
38	10,431	2,700	6,602	8,293
40	10,330	2,700	6,665	8,262
44	10,427	2,773	6,685	8,287
46	10,337	2,800	6,648	8,218
50	10,222	2,880	6,618	8,172
52	10,184	2,829	6,605	8,191
54	10,331	2,837	6,586	8,178
58	11,174	2,699	8,432	9,067



Şekil 4.27. Farklı oranlarda EPDM içeren 50 PHR EPDM/NR/CB kompozitinde direncin zamanla değişimi

Çizelge 4.23. Değişik oranlarda EPDM içeren 50 PHR EPDM/NR/CB kompozitlerinin hesaplanan iletkenlik değerleri (S)

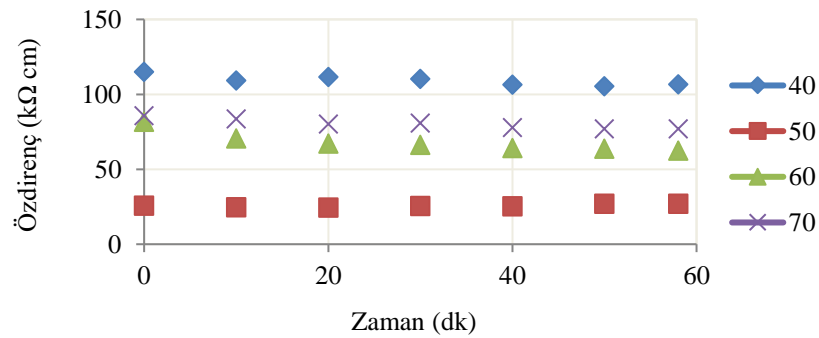
t(dk)	%40 EPDM	%50 EPDM	%60 EPDM	%70 EPDM
0	0,0895	0,3705	0,1186	0,1103
2	0,0902	0,3706	0,1253	0,1114
6	0,0917	0,3759	0,1300	0,1120
8	0,0929	0,3846	0,1315	0,1128
10	0,0942	0,3845	0,1369	0,1128
12	0,0935	0,3832	0,1375	0,1132
16	0,0924	0,3736	0,1400	0,1161
18	0,0936	0,3818	0,1445	0,1161
20	0,0924	0,3853	0,1439	0,1176
22	0,0926	0,3754	0,1436	0,1179
26	0,0928	0,3759	0,1433	0,1173
28	0,0931	0,3704	0,1435	0,1172
30	0,0935	0,3704	0,1454	0,1166
34	0,0949	0,3702	0,1471	0,1155
36	0,0941	0,3704	0,1518	0,1164
38	0,0959	0,3704	0,1515	0,1206
40	0,0968	0,3704	0,1500	0,1210
44	0,0959	0,3606	0,1496	0,1207
46	0,0967	0,3571	0,1504	0,1217
48	0,0973	0,3552	0,1517	0,1220
50	0,0978	0,3472	0,1511	0,1224
52	0,0982	0,3535	0,1514	0,1221
56	0,0968	0,3448	0,1527	0,1224
58	0,0967	0,3448	0,1542	0,1225



Şekil 4.28. Farklı oranlarda EPDM içeren 50 PHR EPDM/NR/CB kompozitinde iletkenliğin zamanla değişimi

Çizelge 4.24. Farklı oranlarda EPDM içeren 50 PHR EPDM/NR/CB kompozitlerinin hesaplanan öz direnç değerleri (Ωcm)

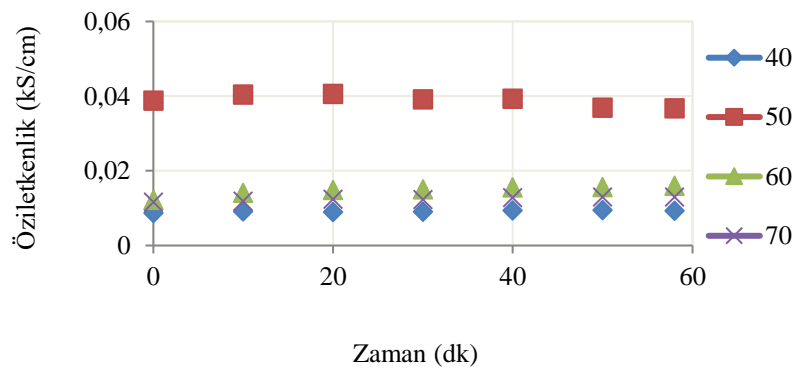
t(dk)	%40 EPDM	%50 EPDM	%60 EPDM	%70 EPDM
0	115,0335	25,7591	81,7195	85,7559
2	114,1433	25,7338	77,3060	84,9189
4	113,9332	25,7366	75,5588	84,6288
8	110,8708	24,7523	73,6192	83,8344
10	109,3810	24,7417	70,6909	83,7767
12	110,1353	24,8108	70,4024	83,4630
16	111,5725	25,4161	69,1178	81,3801
18	110,0592	24,8572	66,9216	81,3973
20	111,5824	24,6152	67,2265	80,3188
22	111,3120	25,2458	67,3204	80,1249
26	111,1324	25,1840	67,4209	80,5148
28	110,7796	25,5441	67,3167	80,5888
30	110,2901	25,5282	66,4465	80,9709
34	108,6869	25,5103	65,6378	81,7101
36	109,6019	25,4806	63,6149	81,0904
38	107,6186	25,4639	63,7237	78,2834
40	106,5862	25,4489	64,3207	77,9787
42	107,8356	25,4331	64,3282	78,0333
44	107,6168	26,1043	64,4837	78,2003
48	106,1032	26,4715	63,5570	77,3410
50	105,5378	27,0613	63,7999	77,0894
52	105,1508	26,5631	63,6608	77,2608
56	106,7444	27,1989	63,0986	77,0207
58	106,8502	27,1821	62,4818	77,0013



Şekil 4.29. Farklı oranlarda EPDM içeren 50 PHR EPDM/NR/CB kompozitinin öz dirençlerinin zamanla değişimi

Çizelge 4.25. Farklı oranlarda EPDM içeren 50 PHR EPDM/NR/CB kompozitlerinin hesaplanan öziletkenlik değerleri (S/cm)

t(dk)	%40 EPDM	%50 EPDM	%60 EPDM	%70 EPDM
0	0,0087	0,0388	0,0122	0,0117
2	0,0088	0,0389	0,0129	0,0118
6	0,0089	0,0395	0,0134	0,0118
8	0,0090	0,0404	0,0136	0,0119
10	0,0091	0,0404	0,0141	0,0119
12	0,0091	0,0403	0,0142	0,0120
14	0,0090	0,0408	0,0144	0,0123
16	0,0090	0,0393	0,0145	0,0123
20	0,0090	0,0406	0,0149	0,0125
22	0,0090	0,0396	0,0149	0,0125
24	0,0090	0,0401	0,0150	0,0125
26	0,0090	0,0397	0,0148	0,0124
30	0,0091	0,0392	0,0150	0,0124
32	0,0092	0,0392	0,0151	0,0123
34	0,0092	0,0392	0,0152	0,0122
38	0,0093	0,0393	0,0157	0,0128
40	0,0094	0,0393	0,0155	0,0128
42	0,0093	0,0393	0,0155	0,0128
46	0,0094	0,0380	0,0156	0,0129
48	0,0094	0,0378	0,0157	0,0129
50	0,0095	0,0370	0,0157	0,0130
52	0,0095	0,0376	0,0157	0,0129
56	0,0094	0,0368	0,0158	0,0130
58	0,0094	0,0368	0,0160	0,0130

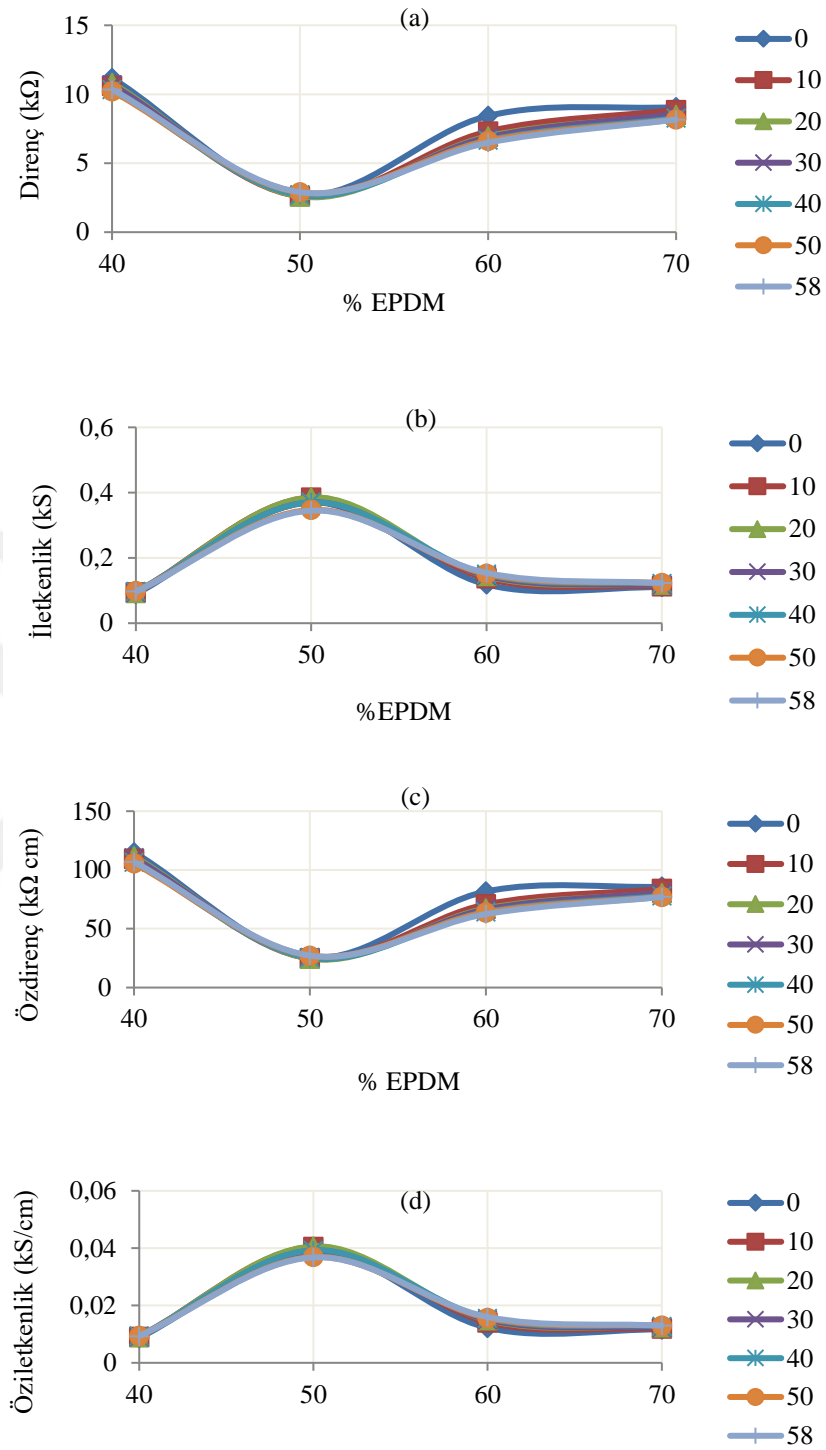


Şekil 4.30. Farklı oranlarda EPDM içeren 50 PHR EPDM/NR/CB kompozitinin öziletkenliklerinin zamanla değişimi

Şekil 4.30'da, 50 PHR olarak hazırlanan örneklerin direnç ve özdirenç değerlerinde düşüş, iletkenlik ve öziletkenliklerinde zamanla artış görülmektedir. Ancak Şekil 4.5 ve Şekil 4.30 kıyaslandığında 40 PHR kompozitlerindeki iletkenlik artışı ve direnç düşüşü zamanla daha hızlı olmakta, buna karşılık 50 PHR kompozitlerinde daha monoton bir etki görülmektedir. CB, elde edilen kompozitlerde iletken dolgu maddesi olarak kullanıldığı için, 40 PHR'a göre PHR EPDM/NR/CB kompozitinde CB miktarının artması ile iletkenliğin artırması beklenir ama bazen kompoziti oluşturan EPDM ve NR zincirlerinin arasında kalan boşluklar nedeniyle bu etki tam olarak görülemeyebilir. 50 PHR EPDM/NR/CB kompozitinde 40 PHR EPDM/NR/CB kompozitine göre bu boşlukları dolduracak daha fazla karbon tanecikleri bulunduğu için elektriksel özelliklerin zamanla daha az değiştiği söylenebilir.

4.2.2. 50 PHR EPDM/NR/CB kompozitinin elektriksel özelliklerine karışım oranının etkisi

50 PHR EPDM/NR/CB kompozitinin ölçülen ve hesaplanan elektriksel özelliklerin zamanla değişimi açıkça Şekil 4.30'da görülmektedir. Ancak, EPDM miktarı ile değişimi doğrudan görebilmek çok da kolay değildir. Bu nedenle, farklı miktarlarda EPDM içeren 50 PHR EPDM/NR/CB kompozitinin değişik zamanlarda ölçülen ve hesaplanan ve Çizelge 4.22 - Çizelge 4.25 de verilen direnç, iletkenlik, özdirenç ve öziletkenlik değerlerinin EPDM miktarı ile değişimleri de grafiğe geçirilmiş ve Şekil 4.31'de verilmiştir.



Şekil 4.31. Farklı oranlarda 50 PHR EPDM/NR/CB kompozitinin a) direnç, b) iletkenlik, c) özdirenç, d) öziletkenliklerinin EPDM oranı ile değişimi

40 PHR oranındaki kompozit örneklerinde görülen EPDM oranının artması ile direncin düşmesi, iletkenliğin artması Şekil 4.30'da görüldüğü gibi 50 PHR kompozitlerinde de görülmektedir. Ancak, burada bir çeşit perkolasyon eşliğine, bileşimin %50-%50 olduğu karışımda ulaşıldığı çok açık bir şekilde görülmektedir.

4.2.3. 50 PHR EPDM/NR/CB kompozitinin elektriksel özelliklerine basıncın etkisi

İletken dolgu maddesi olarak kullanılan CB miktarının basınç altındaki etkisini incelemek amacıyla 40 PHR EPDM/NR/CB kompozit örneklerinde olduğu gibi değişik basınçlar altında 50 PHR EPDM/NR/CB kompozitlerinin elektriksel iletkenlikleri de incelenmiştir.

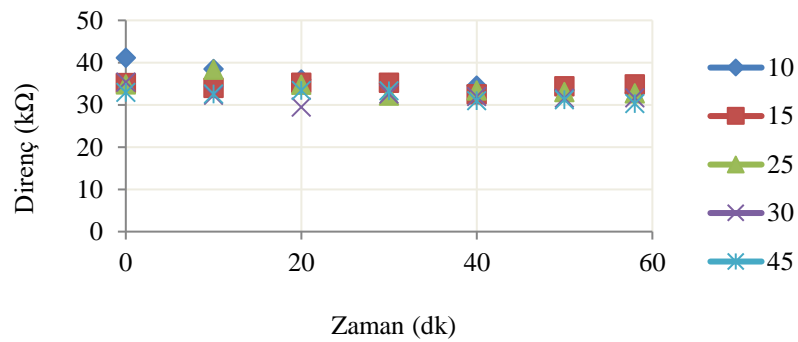
4.2.3.1 Farklı miktarlarda EPDM içeren çeşitli basınçlar altındaki 50 PHR EPDM/NR kompozitinin elektriksel özelliklerine zamanın etkisi

Farklı basınçlar altında ölçülen %40 EPDM içeren 50 PHR EPDM/NR/CB kompozitin değerleri Çizelge 4.26'da, hesaplanan iletkenlik, özdirenç ve öziletkenlik değerleri de Çizelge 4.27, Çizelge 4.28 ve Çizelge 4.29 da verilmiştir.

Çizelge 4.26 –Çizelge 4.29'da verilen %40 EPDM içeren 50 PHR EPDM/NR/CB kompozitinin direnç, iletkenlik, özdirenç ve öziletkenlik değerleri zamana karşı grafiğe geçirilmiş ve Şekil 4.32, 4.33, 4.34 ve 4.35'te verilmiştir.

Çizelge 4.26. %40 EPDM içeren 50 PHR EPDM/NR/CB kompozitin farklı basınçlar altında ölçülen direnç değerleri ($k\Omega$)

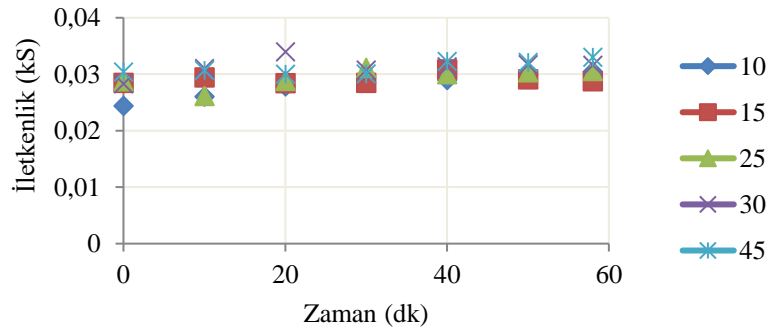
t(dk)	10 kPa	15 kPa	25 kPa	30 kPa	45 kPa
0	41,0991	35,1727	34,8371	35,3494	32,9520
2	40,1749	34,0532	36,0820	35,7914	31,8231
6	39,2869	32,8299	38,9662	35,4251	31,0559
8	38,6131	33,4853	38,1581	34,4584	32,7451
10	38,4535	34,0205	38,3239	32,2895	32,5972
12	37,3921	33,3624	37,8593	30,7113	33,0093
16	36,9576	35,0890	37,0811	29,9345	32,0063
18	36,4675	35,5164	35,8572	29,4667	32,8173
20	35,9749	35,2479	34,7724	29,4876	33,3576
24	35,4047	35,2991	34,7840	32,5550	32,8924
26	35,3413	34,2591	33,1680	32,9041	32,6388
28	34,9917	35,4528	32,8500	32,6363	32,8977
30	35,1674	35,1927	32,1649	32,5896	33,2887
32	34,7297	33,9553	32,9489	31,9387	31,8190
36	34,6935	33,6196	32,4873	32,6625	33,1683
38	34,6631	33,9031	30,8471	32,3559	31,9782
40	34,5264	32,4641	33,3688	31,9718	30,9932
44	33,9541	32,2979	34,4372	32,4400	32,1291
46	33,6703	31,4259	33,5803	32,3382	31,8379
48	33,7172	34,4807	33,1389	32,1007	32,6874
50	33,4996	34,3747	32,9927	31,5990	31,1823
54	33,2647	31,9917	32,9111	31,5000	32,4682
56	33,1292	32,9219	32,8902	31,6761	32,4439
58	32,8615	34,8164	32,7309	31,6632	30,3120



Şekil 4.32. Farklı basınçlar altındaki %40 EPDM içeren 50 PHR EPDM/NR/CB kompozitinin dirençlerinin zamanla değişimi

Çizelge 4.27. %40 EPDM içeren 50 PHR EPDM/NR/CB kompozitin hesaplanan iletkenlik değerleri (kS)

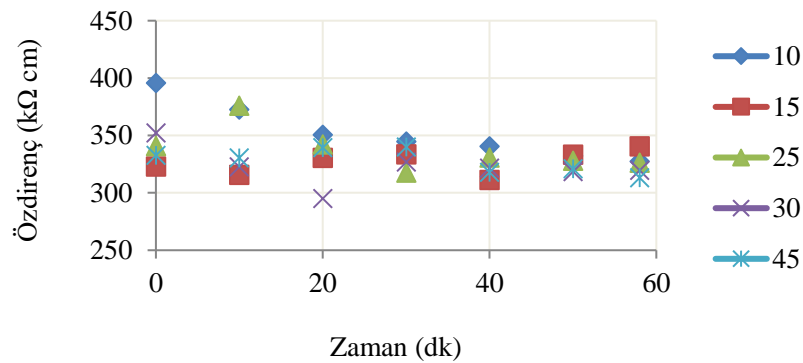
t(dk)	10 kPa	15 kPa	25 kPa	30 kPa	45 kPa
0	0,02433	0,02843	0,02871	0,02829	0,03035
4	0,02513	0,02930	0,02676	0,02801	0,03206
6	0,02545	0,03046	0,02566	0,02823	0,03220
8	0,02590	0,02986	0,02621	0,02902	0,03054
10	0,02601	0,02939	0,02609	0,03097	0,03068
12	0,02674	0,02997	0,02641	0,03256	0,03029
16	0,02706	0,02850	0,02697	0,03341	0,03124
18	0,02742	0,02816	0,02789	0,03394	0,03047
20	0,02780	0,02837	0,02876	0,03391	0,02998
22	0,02793	0,02793	0,02862	0,03445	0,02939
26	0,02830	0,02919	0,03015	0,03039	0,03064
28	0,02858	0,02821	0,03044	0,03064	0,03040
30	0,02844	0,02841	0,03109	0,03068	0,03004
34	0,02846	0,02895	0,03165	0,03238	0,03065
36	0,02882	0,02974	0,03078	0,03062	0,03015
38	0,02885	0,02950	0,03242	0,03091	0,03127
40	0,02896	0,03080	0,02997	0,03128	0,03227
44	0,02945	0,03096	0,02904	0,03083	0,03112
46	0,02970	0,03182	0,02978	0,03092	0,03141
48	0,02966	0,02900	0,03018	0,03115	0,03059
50	0,02985	0,02909	0,03031	0,03165	0,03207
54	0,03006	0,03126	0,03038	0,03175	0,03080
56	0,03018	0,03037	0,03040	0,03157	0,03082



Şekil 4.33. Farklı basınçlar altındaki %40 EPDM içeren 50 PHR EPDM/NR/CB kompozitinin iletkenliklerinin zamanla değişimi

Çizelge 4.28. %40 EPDM içeren 50 PHR EPDM/NR/CB kompozitin hesaplanan öz direnç değerleri (MS)

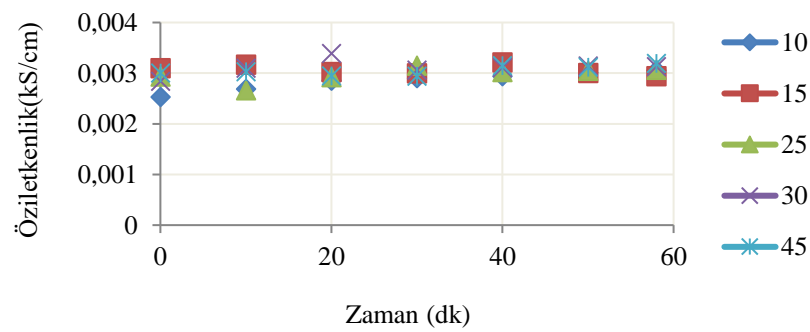
t(dk)	10 kPa	15 kPa	25 kPa	30 kPa	45 kPa
0	395,8628	322,9302	340,7737	352,3717	332,6990
2	387,4118	313,3155	353,1795	356,9336	321,5499
6	379,7328	303,3479	381,9029	353,5912	314,2866
8	373,6566	310,0646	374,2249	344,0928	331,6397
10	372,5477	315,694	376,0934	322,5759	330,3990
12	362,6886	310,2515	371,7747	306,944	334,8367
14	361,0583	326,7706	369,9894	303,8862	324,4332
18	354,9688	332,4205	352,7989	294,8934	333,6691
20	350,5856	330,6214	342,3473	295,2322	339,4282
22	349,2724	336,5241	344,2614	290,7613	346,4752
26	345,6317	323,446	327,1882	329,8738	332,8958
28	342,6180	335,4456	324,2624	327,3341	335,7989
30	344,7454	333,7133	317,7063	327,0095	340,0573
32	340,8588	322,6849	325,6624	320,6192	325,2986
36	341,3122	320,9020	321,5191	328,1747	339,6274
38	341,4196	324,3210	305,485	325,2374	327,6993
40	340,4785	311,2420	330,6735	321,5191	317,8555
44	335,6344	311,0247	341,7073	326,5156	330,0256
46	333,2264	303,3010	333,4227	325,6353	327,2923
48	334,0901	333,5263	329,2553	323,3863	336,2913
50	332,3315	333,2437	328,0182	318,4736	321,0611
52	332,6900	338,3353	328,6105	313,6323	337,1151
54	330,7947	311,5347	327,6362	317,7567	334,8308
58	327,5716	340,5720	326,2703	319,6861	313,0916



Şekil 4.34. Farklı basınçlar altındaki %40 EPDM içeren 50 PHR EPDM/NR/CB kompozitinin öz dirençlerinin zamanla değişimi

Çizelge 4.29. %40 EPDM içeren 50 PHR EPDM/NR/CB kompozitin hesaplanan öziletkenlik değerleri (kS/cm)

t(dk)	10 kPa	15 kPa	25 kPa	30 kPa	45 kPa
0	0,002526	0,003097	0,002934	0,002838	0,003006
2	0,002581	0,003192	0,002831	0,002802	0,00311
4	0,002603	0,003178	0,002732	0,002807	0,003171
6	0,002633	0,003297	0,002618	0,002828	0,003182
10	0,002684	0,003168	0,002659	0,003100	0,003027
12	0,002757	0,003223	0,002690	0,003258	0,002987
14	0,002770	0,00306	0,002703	0,003291	0,003082
16	0,002783	0,003051	0,002743	0,00334	0,003075
20	0,002852	0,003025	0,002921	0,003387	0,002946
22	0,002863	0,002972	0,002905	0,003439	0,002886
24	0,002891	0,003007	0,002916	0,003065	0,002983
28	0,002919	0,002981	0,003084	0,003055	0,002978
30	0,002901	0,002997	0,003148	0,003058	0,002941
32	0,002934	0,003099	0,003071	0,003119	0,003074
34	0,002896	0,003040	0,003200	0,003224	0,002996
36	0,002930	0,003116	0,003110	0,003047	0,002944
40	0,002937	0,003213	0,003024	0,003110	0,003146
42	0,002975	0,003109	0,003036	0,003132	0,003071
44	0,002979	0,003215	0,002926	0,003063	0,003030
48	0,002993	0,002998	0,003037	0,003092	0,002974
50	0,003009	0,003001	0,003049	0,003140	0,003115
52	0,003006	0,002956	0,003043	0,003188	0,002966
56	0,003032	0,003112	0,003052	0,003128	0,002986
58	0,003053	0,002936	0,003065	0,003128	0,003194



Şekil 4.35. Farklı basınçlar altındaki %40 EPDM içeren 50 PHR EPDM/NR/CB kompozitinin öziletkenliklerinin zamanla değişimi

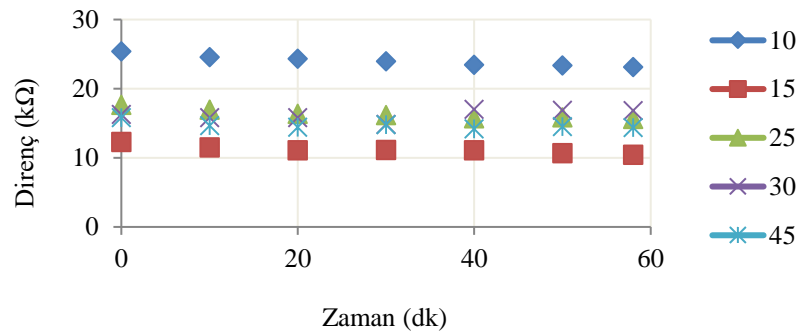
Farklı basınçlar altında ölçülen %50 EPDM içeren 50 PHR EPDM/NR/CB kompozitin değerleri Çizelge 4.30'da ve hesaplanan iletkenlik, öz direnç ve öz iletkenlik değerleri de Çizelge 4.31, Çizelge 4.32 ve Çizelge 4.33'te verilmiştir.

Çizelge 4.30 –Çizelge 4.33'te verilen %50 EPDM içeren 50 PHR EPDM/NR/CB kompozitinin direnç, iletkenlik, öz direnç ve öz iletkenlik değerleri zamana karşı grafiğe geçirilmiş ve Şekil 4.36, 4.37, 4.38 ve 4.39'da verilmiştir.



Çizelge 4.30. %50 EPDM içeren 50 PHR EPDM/NR/CB kompozitin farklı basınçlar altında ölçülen direnç değerleri (k Ω)

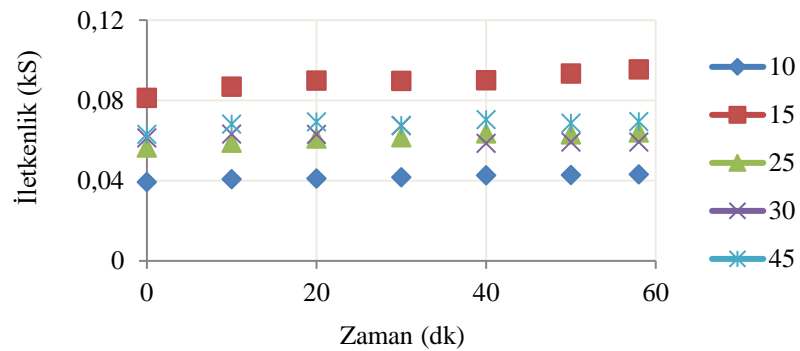
t(dk)	10 kPa	15 kPa	25 kPa	30 kPa	45 kPa
0	25,3935	12,3035	17,6712	16,2928	15,8454
2	25,1738	12,0421	17,5669	16,4282	15,5748
6	25,0228	11,8247	17,0550	15,7767	15,3196
8	24,7536	11,5503	17,0529	15,8139	15,3428
10	24,5825	11,5168	16,9790	15,8174	14,6699
14	24,5500	11,3175	16,7655	15,8873	14,5009
16	24,3634	11,1703	16,5701	15,4027	14,8882
18	24,3306	11,2058	16,4011	15,6266	14,6835
20	24,3429	11,1232	16,3923	15,8514	14,4303
22	24,2651	11,0124	16,5183	15,7715	14,7689
24	24,2500	11,1594	16,5446	15,2769	14,3426
28	24,1316	11,1195	16,1557	15,0291	14,4846
30	23,9598	11,1495	16,2206	14,8427	14,7905
32	23,8124	11,0732	16,2061	15,6426	14,3706
36	23,7151	11,1653	16,0553	16,8563	14,1778
38	23,7266	11,1561	15,7990	17,1162	14,2941
40	23,4668	11,1054	15,7253	17,0475	14,2025
42	23,4795	11,0939	15,5627	16,9740	14,1990
46	23,4477	10,9176	15,9267	16,7755	14,2969
48	23,3832	10,7269	15,9066	16,9190	14,3896
50	23,3684	10,7004	15,8601	16,8813	14,5485
52	23,4330	10,4876	15,7772	16,7242	14,5199
56	23,3001	10,4054	15,7016	16,8176	14,4852
58	23,1554	10,4670	15,6351	16,8661	14,3922



Şekil 4.36. Farklı basınçlar altındaki %50 EPDM içeren 50 PHR EPDM/NR/CB kompozitinin dirençlerinin zamanla değişimi

Çizelge 4.31 %50 EPDM içeren 50 PHR EPDM/NR/CB kompozitin hesaplanan iletkenlik değerleri (kS)

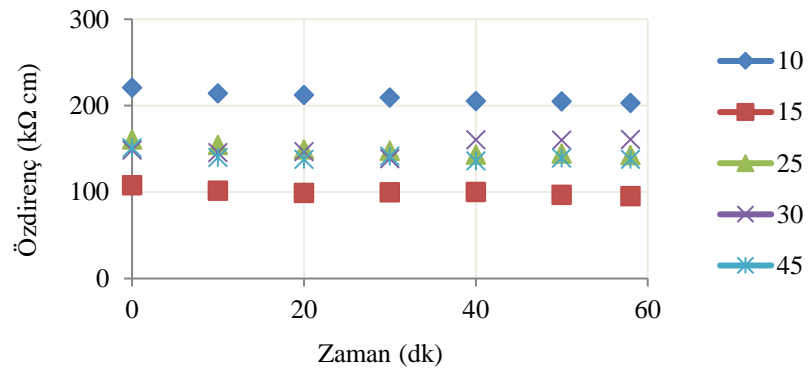
t(dk)	10 kPa	15 kPa	25 kPa	30 kPa	45 kPa
0	0,0394	0,0813	0,0566	0,0614	0,0631
2	0,0397	0,0830	0,0569	0,0609	0,0642
4	0,0400	0,0835	0,0575	0,0612	0,0656
6	0,0400	0,0846	0,0586	0,0634	0,0653
10	0,0407	0,0868	0,0589	0,0632	0,0682
12	0,0405	0,0876	0,0595	0,0632	0,0683
14	0,0407	0,0884	0,0596	0,0629	0,0690
16	0,0410	0,0895	0,0603	0,0649	0,0672
18	0,0411	0,0892	0,0610	0,0640	0,0681
20	0,0411	0,0899	0,0610	0,0631	0,0693
24	0,0412	0,0896	0,0604	0,0655	0,0697
26	0,0412	0,0895	0,0609	0,0655	0,0699
28	0,0414	0,0899	0,0619	0,0665	0,0690
30	0,0417	0,0897	0,0617	0,0674	0,0676
32	0,0420	0,0903	0,0617	0,0639	0,0696
36	0,0422	0,0896	0,0623	0,0593	0,0705
38	0,0421	0,0896	0,0633	0,0584	0,0700
40	0,0426	0,0900	0,0636	0,0587	0,0704
44	0,0430	0,0905	0,0642	0,0596	0,0697
46	0,0426	0,0916	0,0628	0,0596	0,0699
48	0,0428	0,0932	0,0629	0,0591	0,0695
50	0,0428	0,0935	0,0631	0,0592	0,0687
52	0,0427	0,0954	0,0634	0,0598	0,0689
54	0,0428	0,0965	0,0637	0,0592	0,0691



Şekil 4.37. Farklı basınçlar altındaki %50 EPDM içeren 50 PHR EPDM/NR/CB kompozitinin iletkenliklerinin zamanla değişimi

Çizelge 4.32. %50 EPDM içeren 50 PHR EPDM/NR/CB kompozitin hesaplanan öz direnç değerleri (kΩ.cm)

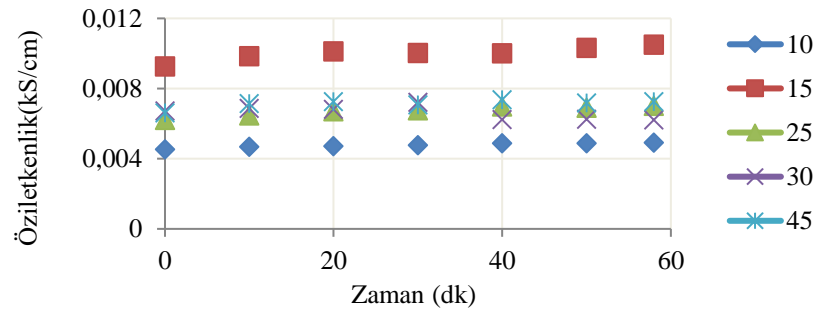
t(dk)	10 kPa	15 kPa	25 kPa	30 kPa	45 kPa
0	220,8743	107,9138	160,8332	148,7193	151,2293
2	219,0261	105,7534	159,9005	150,1812	148,6625
6	217,8371	104,1051	155,2715	144,6605	146,2576
8	215,5552	101,8171	155,2680	145,2209	146,4943
10	214,1272	101,65	154,6109	145,4738	140,0845
12	215,2099	100,9283	153,1197	145,7257	139,7621
14	213,9662	100,1429	152,6976	146,5599	138,4989
16	212,4009	98,96545	150,9328	142,3060	142,2130
20	212,3447	98,79782	149,3430	146,8991	137,8687
22	211,7269	97,93822	150,5062	146,3818	141,1185
24	211,6554	99,37181	150,7606	142,0080	137,0593
26	211,8592	99,57120	149,5272	142,1130	136,6293
28	210,7437	99,26849	147,2466	140,1342	138,4451
30	209,3036	99,66347	147,8524	138,6086	141,3838
34	207,7940	100,0075	147,1008	153,3379	133,1405
36	207,3447	100,1883	146,3898	158,1427	135,5695
38	207,5054	100,2342	144,0670	160,8294	136,6964
40	205,2918	99,90649	143,4097	160,4321	135,8345
44	203,6828	99,61268	142,1836	158,4425	137,262
46	205,3028	98,59705	145,2901	158,6108	136,7804
50	204,7266	96,88588	144,7115	160,1099	139,2170
52	205,3520	95,0816	143,9691	158,8679	138,9578
54	205,0240	94,10008	143,1620	160,6898	138,5322
58	203,0949	95,26472	142,7159	160,9712	137,7792



Şekil 4.38. Farklı basınçlar altındaki %50 EPDM içeren 50 PHR EPDM/NR/CB kompozitinin öz dirençlerinin zamanla değişimi

Çizelge 4.33. %50 EPDM içeren 50 PHR EPDM/NR/CB kompozitin hesaplanan iletkenlik değerleri (kS/cm)

t(dk)	10 kPa	15 kPa	25 kPa	30 kPa	45 kPa
0	0,004527	0,009267	0,006218	0,006724	0,006612
2	0,004566	0,009456	0,006254	0,006659	0,006727
4	0,004595	0,009496	0,006313	0,00668	0,006873
8	0,004639	0,009822	0,006440	0,006886	0,006826
10	0,004670	0,009838	0,006468	0,006874	0,007139
12	0,004647	0,009908	0,006531	0,006862	0,007155
14	0,004674	0,009986	0,006549	0,006823	0,007220
16	0,004708	0,010105	0,006625	0,007027	0,007032
20	0,004709	0,010122	0,006696	0,006807	0,007253
22	0,004723	0,010211	0,006644	0,006831	0,007086
24	0,004725	0,010063	0,006633	0,007042	0,007296
26	0,004720	0,010043	0,006688	0,007037	0,007319
30	0,004778	0,010034	0,006764	0,007215	0,007073
32	0,004806	0,010090	0,006769	0,006835	0,007279
36	0,004823	0,009981	0,006831	0,006323	0,007376
38	0,004819	0,009977	0,006941	0,006218	0,007315
40	0,004871	0,010009	0,006973	0,006233	0,007362
42	0,004867	0,010007	0,007045	0,006250	0,007363
44	0,00491	0,010039	0,007033	0,006311	0,007285
48	0,004883	0,010309	0,006891	0,006242	0,007263
50	0,004885	0,010321	0,006910	0,006246	0,007183
52	0,004870	0,010517	0,006946	0,006295	0,007196
56	0,004895	0,010573	0,006978	0,006240	0,007212
58	0,004924	0,010497	0,007007	0,006212	0,007258



Şekil 4.39. Farklı basınçlar altındaki %50 EPDM içeren 50 PHR EPDM/NR/CB kompozitinin iletkenliklerinin zamanla değişimi

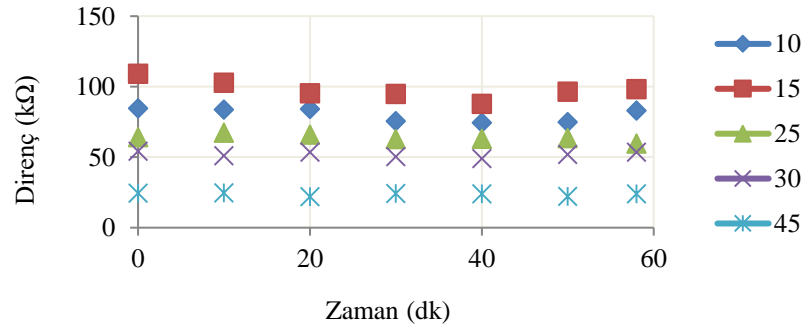
Farklı basınçlar altında ölçülen %60 EPDM içeren 50 PHR EPDM/NR/CB kompozitin değerleri Çizelge 4.34'te ve hesaplanan iletkenlik, öz direnç ve öziletkenlik değerleri de Çizelge 4.35, Çizelge 4.36 ve Çizelge 4.37'de verilmiştir.

Çizelge 4.34 –Çizelge 4.37'de verilen %50 EPDM içeren 50 PHR EPDM/NR/CB kompozitinin direnç, iletkenlik, öz direnç ve öziletkenlik değerleri zamana karşı grafiğe geçirilmiş ve Şekil 4.40, 4.41, 4.42 ve 4.43'te verilmiştir.



Çizelge 4.34. %60 EPDM içeren 50 PHR EPDM/NR/CB kompozitin ölçülen direnç değerleri (kΩ)

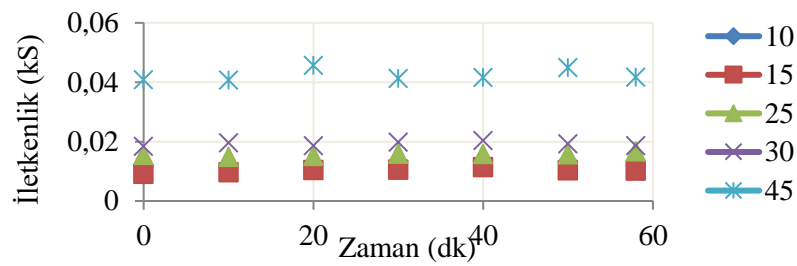
t(dk)	10 kPa	15 kPa	25 kPa	30 kPa	45 kPa
0	84,5093	109,1033	64,2254	54,2232	24,4577
2	83,4967	102,0667	61,9402	49,3574	18,2000
6	82,9346	101,1077	62,6788	52,8286	24,5940
8	84,7784	100,6500	66,7270	53,5140	24,4959
10	83,7315	102,6571	67,3583	51,0743	24,5387
12	81,4465	106,3800	65,1682	50,4755	24,7386
16	81,5061	107,0267	69,5576	51,1109	23,8736
18	83,0077	100,1375	68,4076	53,4016	24,2264
20	84,0281	95,3680	65,9680	53,5259	21,8600
24	76,4167	104,6576	66,2400	52,6420	24,3896
26	79,0316	99,9570	63,5333	50,2865	24,4607
28	77,7500	96,8905	64,0375	50,1126	24,0358
30	75,5176	94,7000	62,8167	50,3848	24,2220
32	73,2500	98,7351	61,1091	53,0515	23,8691
36	79,7071	96,1640	59,4418	49,5948	24,1320
38	72,5143	89,6167	58,2643	48,1000	24,0556
40	74,4492	87,7947	62,9286	48,9658	24,0070
44	75,1480	99,9513	63,4000	48,7380	24,0378
46	73,9167	96,8500	69,1617	53,3314	23,9308
48	75,2368	101,3053	65,9336	53,6143	23,8699
50	74,9250	96,3874	63,3656	51,8547	22,2667
54	78,8600	91,0143	62,4560	54,2405	23,9135
56	86,1583	95,0602	59,9245	52,6083	23,8064
58	83,0611	98,1361	59,6449	53,5319	23,9578



Şekil 4.40. Farklı basınçlar altındaki %60 EPDM içeren 50 PHR EPDM/NR/CB kompozitinin dirençlerinin zamanla değişimi

Çizelge 4.35. %60 EPDM içeren 50 PHR EPDM/NR/CB kompozitin hesaplanan iletkenlik değerleri (kS)

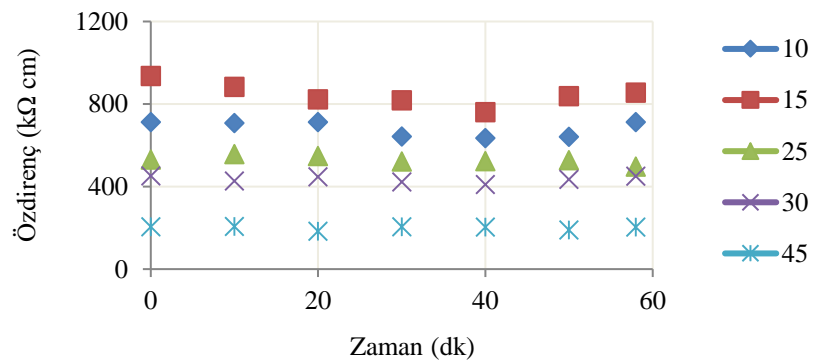
t(dk)	10 kPa	15 kPa	25 kPa	30 kPa	45 kPa
0	0,01183	0,00917	0,01557	0,01844	0,04089
2	0,01198	0,00980	0,01614	0,02026	0,05495
6	0,01206	0,00989	0,01595	0,01893	0,04066
8	0,01180	0,00994	0,01499	0,01869	0,04082
10	0,01194	0,00974	0,01485	0,01958	0,04075
12	0,01228	0,00940	0,01534	0,01981	0,04042
16	0,01227	0,00934	0,01438	0,01957	0,04189
18	0,01205	0,00999	0,01462	0,01873	0,04128
20	0,01190	0,01049	0,01516	0,01868	0,04575
24	0,01309	0,00955	0,01510	0,01900	0,04100
26	0,01265	0,01000	0,01574	0,01989	0,04088
28	0,01286	0,01032	0,01562	0,01996	0,04160
30	0,01324	0,01056	0,01592	0,01985	0,04128
34	0,01264	0,00983	0,01599	0,01939	0,04184
36	0,01255	0,01040	0,01682	0,02016	0,04144
38	0,01379	0,01116	0,01716	0,02079	0,04157
40	0,01343	0,01139	0,01589	0,02042	0,04165
44	0,01331	0,01000	0,01577	0,02052	0,04160
46	0,01353	0,01033	0,01446	0,01875	0,04179
48	0,01329	0,00987	0,01517	0,01865	0,04189
50	0,01335	0,01037	0,01578	0,01928	0,04491
52	0,01287	0,01038	0,01580	0,01945	0,04208
56	0,01161	0,01052	0,01669	0,01901	0,04201
58	0,01204	0,01019	0,01677	0,01868	0,04174



Şekil 4.41. Farklı basınçlar altındaki %60 EPDM içeren 50 PHR EPDM/NR/CB kompozitinin iletkenliklerinin zamanla değişimi

Çizelge 4.36. %60 EPDM içeren 50 PHR EPDM/NR/CB kompozitin hesaplanan öz direnç değerleri ($k\Omega.cm$)

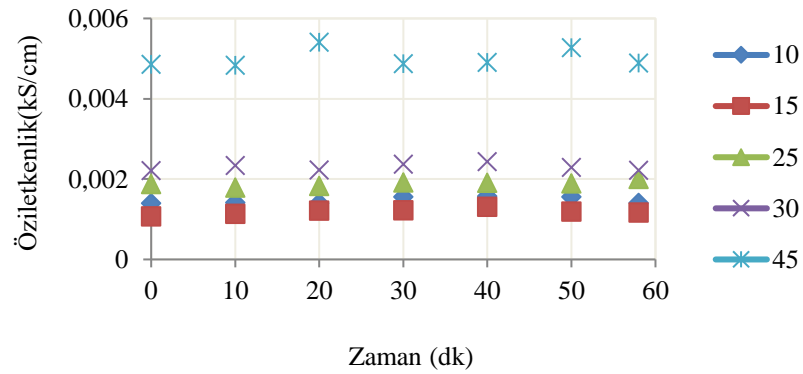
t(dk)	10 kPa	15 kPa	25 kPa	30 kPa	45 kPa
0	713,3315	936,0227	532,1049	452,8218	205,8905
2	705,1759	876,1492	513,3119	412,3002	153,2826
4	713,7873	864,8407	537,3181	412,4239	206,267
8	717,198	865,4569	553,435	447,391	206,5938
10	708,737	883,2161	558,8238	427,1126	207,0511
12	689,7803	915,7651	540,8015	422,2207	208,8343
14	701,4374	878,6897	564,5137	426,4234	207,1787
18	704,1814	863,4963	568,1503	447,0674	204,7950
20	713,2362	822,8359	548,0381	448,2316	184,8771
22	667,3878	906,8315	572,5626	444,3959	205,5476
26	671,9529	863,9031	528,2456	421,453	207,1609
28	661,427	837,8772	532,5833	420,1114	203,6567
30	642,7965	819,4016	522,5731	422,5102	205,3305
34	674,1019	880,9825	520,6401	432,6441	202,8061
36	679,6004	833,4946	494,9046	416,231	204,8535
38	618,6201	777,1899	485,2338	403,797	204,3000
40	635,4837	761,8247	524,2225	411,1791	203,9820
42	626,8809	846,9587	563,8397	406,9495	203,3324
46	632,0049	841,8443	576,6223	448,2104	203,6200
48	643,6553	881,0752	549,8594	450,7127	203,1968
50	641,349	838,7839	528,5887	436,0409	189,6374
54	675,7944	792,9354	521,287	456,356	203,8537
56	738,755	828,6602	500,2955	442,7463	203,0355
58	712,6008	855,9647	498,0981	450,6437	204,4225



Şekil 4.42. Farklı basınçlar altındaki %60 EPDM içeren 50 PHR EPDM/NR/CB kompozitinin öz dirençlerinin zamanla değişimi

Çizelge 4.37. %60 EPDM içeren 50 PHR EPDM/NR/CB kompozitin hesaplanan öziletkenlik değerleri (kS/cm)

t(dk)	10 kPa	15 kPa	25 kPa	30 kPa	45 kPa
0	0,001402	0,001068	0,001879	0,002208	0,004857
2	0,001418	0,001141	0,001948	0,002425	0,006524
4	0,001401	0,001156	0,001861	0,002425	0,004848
8	0,001394	0,001155	0,001807	0,002235	0,004840
10	0,001411	0,001132	0,001789	0,002341	0,004830
12	0,001450	0,001092	0,001849	0,002368	0,004788
14	0,001426	0,001138	0,001771	0,002345	0,004827
18	0,001420	0,001158	0,001760	0,002237	0,004883
20	0,001402	0,001215	0,001825	0,002231	0,005409
22	0,001498	0,001103	0,001747	0,002250	0,004865
26	0,001488	0,001158	0,001893	0,002373	0,004827
28	0,001512	0,001193	0,001878	0,002380	0,004910
30	0,001556	0,001220	0,001914	0,002367	0,004870
34	0,001483	0,001135	0,001921	0,002311	0,004931
36	0,001471	0,001200	0,002021	0,002403	0,004882
38	0,001617	0,001287	0,002061	0,002476	0,004895
40	0,001574	0,001313	0,001908	0,002432	0,004902
44	0,001557	0,001152	0,001892	0,002442	0,004892
46	0,001582	0,001188	0,001734	0,002231	0,004911
48	0,001554	0,001135	0,001819	0,002219	0,004921
50	0,001559	0,001192	0,001892	0,002293	0,005273
52	0,001503	0,001193	0,001893	0,002313	0,004939
56	0,001354	0,001207	0,001999	0,002259	0,004925
58	0,001403	0,001168	0,002008	0,002219	0,004892



Şekil 4.43. Farklı basınçlar altındaki %60 EPDM içeren 50 PHR EPDM/NR/CB kompozitinin öziletkenliklerinin zamanla değişimi

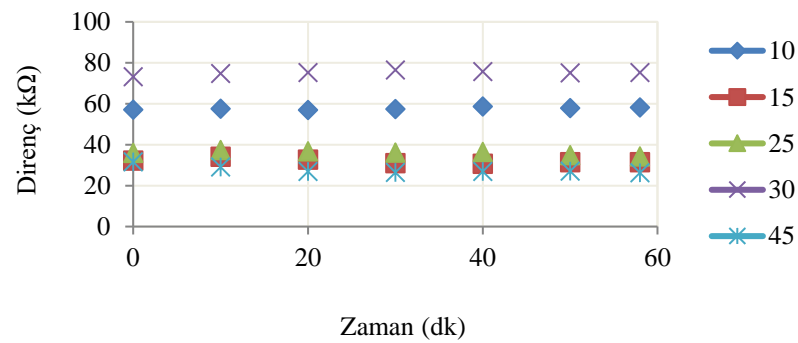
Farklı basınçlar altında ölçülen %70 EPDM içeren 50 PHR EPDM/NR/CB kompozitin değerleri Çizelge 4.38’de ve hesaplanan iletkenlik, öz direnç ve öziletkenlik değerleri de Çizelge 4.39, Çizelge 4.40 ve Çizelge 4.41’de verilmiştir.

Çizelge 4.38 –Çizelge 4.41’de verilen %70 EPDM içeren 50 PHR EPDM/NR/CB kompozitinin direnç, iletkenlik, öz direnç ve öziletkenlik değerleri zamana karşı grafiğe geçirilmiş ve Şekil 4.44, 4.45, 4.46 ve 4.47’de verilmiştir.



Çizelge 4.38. %70 EPDM içeren 50 PHR EPDM/NR/CB kompozitin ölçülen direnç değerleri (k Ω)

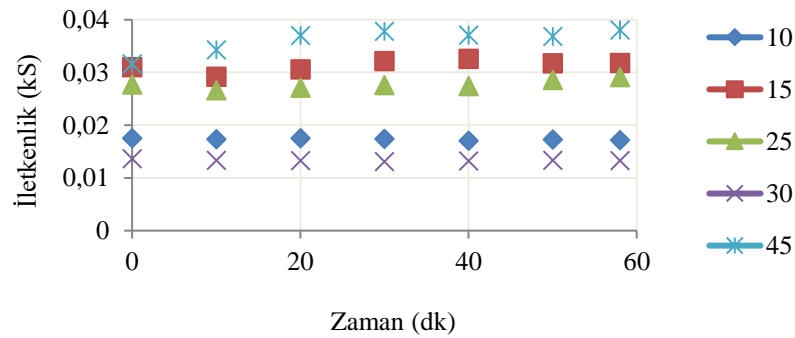
t(dk)	10 kPa	15 kPa	25 kPa	30 kPa	45 kPa
0	57,1455	32,2427	36,0767	73,2928	31,6367
4	57,2307	34,5489	36,1251	73,9359	30,6849
6	57,6682	34,5187	35,8035	74,8338	30,2812
8	57,0143	33,7207	36,7339	71,9758	28,5693
10	57,5863	34,2635	37,5471	74,9014	29,1908
12	57,6873	31,4472	37,6605	74,8950	28,4474
16	56,3666	31,7217	36,0672	74,5384	27,8168
18	57,0693	32,6990	37,7582	74,5363	26,7173
20	56,9959	32,7108	36,9169	75,2701	27,0384
24	57,1073	31,4244	36,6213	76,2667	27,1135
26	57,1855	31,5798	36,5889	74,5437	26,8245
28	57,5037	31,0837	36,2794	76,4021	26,6788
30	57,4738	31,1058	36,2424	76,5544	26,4717
32	58,1711	31,6340	36,1444	76,4828	26,4001
36	58,5519	30,9266	35,9661	75,7640	27,0523
38	58,6711	30,6183	36,0620	75,8022	27,5403
40	58,7184	30,6831	36,4682	75,7076	26,9747
42	58,7955	30,7737	35,7472	75,2208	26,5205
44	58,6613	30,5653	35,8831	75,7735	26,6185
48	58,2879	32,4150	34,8818	75,1733	26,7978
50	57,9710	31,5141	34,9908	75,1971	27,1696
52	58,0135	32,4960	35,0003	75,4995	27,2652
54	57,9985	31,7197	34,2893	75,0457	26,9499
58	58,3016	31,4858	34,3714	75,3667	26,3016



Şekil 4.44. Farklı basınçlar altındaki %70 EPDM içeren 50 PHR EPDM/NR/CB kompozitinin dirençlerinin zamanla değişimi

Çizelge 4.39. %70 EPDM içeren 50 PHR EPDM/NR/CB kompozitin ölçülen iletkenlik değerleri (kS)

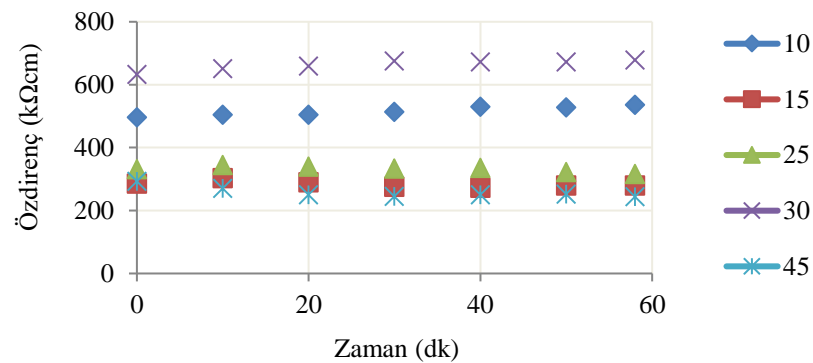
t(dk)	10 kPa	15 kPa	25 kPa	30 kPa	45 kPa
0	0,01750	0,03101	0,02772	0,01364	0,03161
2	0,01751	0,03105	0,02753	0,01360	0,03171
6	0,01734	0,02897	0,02793	0,01336	0,03302
8	0,01754	0,02966	0,02722	0,01389	0,03500
10	0,01737	0,02919	0,02663	0,01335	0,03426
12	0,01733	0,03180	0,02655	0,01335	0,03515
14	0,01765	0,03212	0,02651	0,01335	0,03527
18	0,01752	0,03058	0,02648	0,01342	0,03743
20	0,01755	0,03057	0,02709	0,01329	0,03698
22	0,01751	0,03094	0,02785	0,01338	0,03770
26	0,01749	0,03167	0,02733	0,01341	0,03728
28	0,01739	0,03217	0,02756	0,01309	0,03748
30	0,01740	0,03215	0,02759	0,01306	0,03778
32	0,01719	0,03161	0,02767	0,01307	0,03788
36	0,01708	0,03233	0,02780	0,01320	0,03697
38	0,01704	0,03266	0,02773	0,01319	0,03631
40	0,01703	0,03259	0,02742	0,01321	0,03707
42	0,01701	0,03250	0,02797	0,01329	0,03771
46	0,01707	0,03257	0,02859	0,01326	0,03710
48	0,01716	0,03085	0,02867	0,01330	0,03732
50	0,01725	0,03173	0,02858	0,01330	0,03681
52	0,01724	0,03077	0,02857	0,01325	0,03668
54	0,01724	0,03153	0,02916	0,01333	0,03711
58	0,01715	0,03176	0,02909	0,01327	0,03802



Şekil 4.45. Farklı basınçlar altındaki %70 EPDM içeren 50 PHR EPDM/NR/CB kompozitinin iletkenliklerinin zamanla değişimi

Çizelge 4.40. %70 EPDM içeren 50 PHR EPDM/NR/CB kompozitin hesaplanan öz direnç değerleri ($k\Omega.cm$)

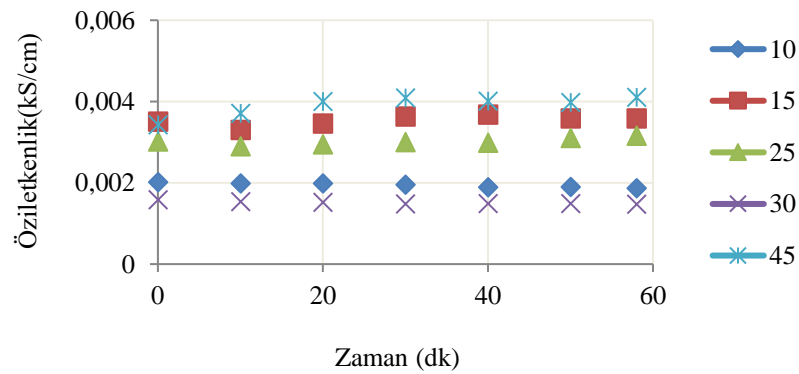
t(dk)	10 kPa	15 kPa	25 kPa	30 kPa	45 kPa
0	495,6823	285,1888	331,2306	632,2512	292,1743
2	496,2514	284,8499	333,4967	635,3682	291,2882
6	503,0912	305,4095	328,8213	648,308	279,7405
8	498,3415	298,3775	337,4003	624,4393	263,9525
10	504,3091	303,2101	344,9042	650,751	269,7228
12	506,1674	278,3146	345,9812	651,628	262,8797
14	498,1047	275,5244	346,5638	652,506	262,0349
18	503,6563	289,4777	346,984	651,3076	246,9675
20	503,9855	289,6106	339,2864	658,6676	249,9612
22	506,0697	286,2134	330,0549	654,7208	245,2651
24	506,9404	278,2752	336,6377	669,3179	250,7065
28	512,4571	275,3117	333,5625	672,4506	246,7371
30	513,1953	275,5342	333,2562	674,7695	244,8461
32	520,4426	280,2402	332,3887	675,1184	244,2088
36	525,9163	274,0272	330,8151	670,7242	250,2928
38	528,0286	271,322	331,7312	672,0421	254,8339
40	529,5006	271,9226	335,5015	672,1855	249,6256
42	531,2483	272,7523	328,9017	668,8419	245,4472
46	531,3821	272,2062	321,916	672,6182	249,5179
48	529,816	287,3825	321,0363	671,3692	248,0899
50	527,9894	279,4228	322,0728	672,5709	251,5569
52	529,436	288,1575	322,192	676,2722	252,4681
54	530,3622	281,3008	315,6791	673,201	249,5738
58	535,2841	279,2809	316,4993	678,084	243,6199



Şekil 4.46. Farklı basınçlar altındaki %70 EPDM içeren 50 PHR EPDM/NR/CB kompozitinin öz dirençlerinin zamanla değişimi

Çizelge 4.41. %70 EPDM içeren 50 PHR EPDM/NR/CB kompozitin hesaplanan öziletkenlik değerleri (kS/cm)

t(dk)	10 kPa	15 kPa	25 kPa	30 kPa	45 kPa
0	0,002017	0,003506	0,003019	0,001582	0,003423
2	0,002015	0,003511	0,002999	0,001574	0,003433
4	0,002007	0,003272	0,003014	0,001563	0,003528
8	0,002007	0,003351	0,002964	0,001601	0,003789
10	0,001983	0,003298	0,002899	0,001537	0,003708
12	0,001976	0,003593	0,00289	0,001535	0,003804
14	0,002008	0,003629	0,002885	0,001533	0,003816
16	0,002014	0,003561	0,003017	0,001538	0,003889
20	0,001984	0,003453	0,002947	0,001518	0,004001
22	0,001976	0,003494	0,00303	0,001527	0,004077
24	0,001973	0,003594	0,002971	0,001494	0,003989
28	0,001951	0,003632	0,002998	0,001487	0,004053
30	0,001949	0,003629	0,003001	0,001482	0,004084
32	0,001921	0,003568	0,003009	0,001481	0,004095
36	0,001901	0,003649	0,003023	0,001491	0,003995
38	0,001894	0,003686	0,003014	0,001488	0,003924
40	0,001889	0,003678	0,002981	0,001488	0,004006
44	0,001883	0,003691	0,003029	0,001482	0,004059
46	0,001882	0,003674	0,003106	0,001487	0,004008
48	0,001887	0,00348	0,003115	0,001489	0,004031
50	0,001894	0,003579	0,003105	0,001487	0,003975
52	0,001889	0,00347	0,003104	0,001479	0,003961
56	0,001887	0,003518	0,003143	0,001483	0,004001
58	0,001868	0,003581	0,00316	0,001475	0,004105

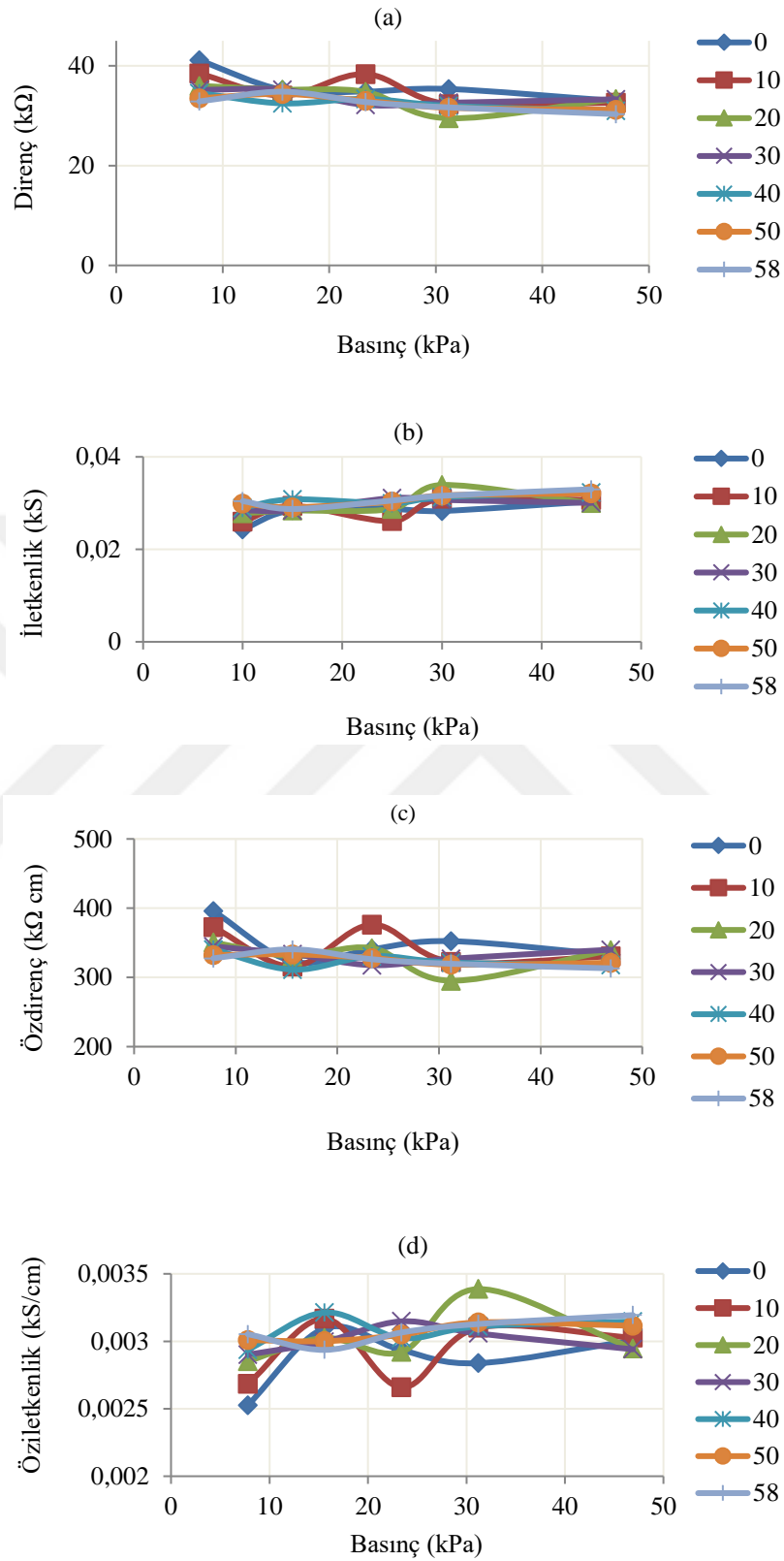


Şekil 4.47. Farklı basınçlar altındaki %70 EPDM içeren 50 PHR EPDM/NR/CB kompozitinin öziletkenliklerinin zamanla değişimi

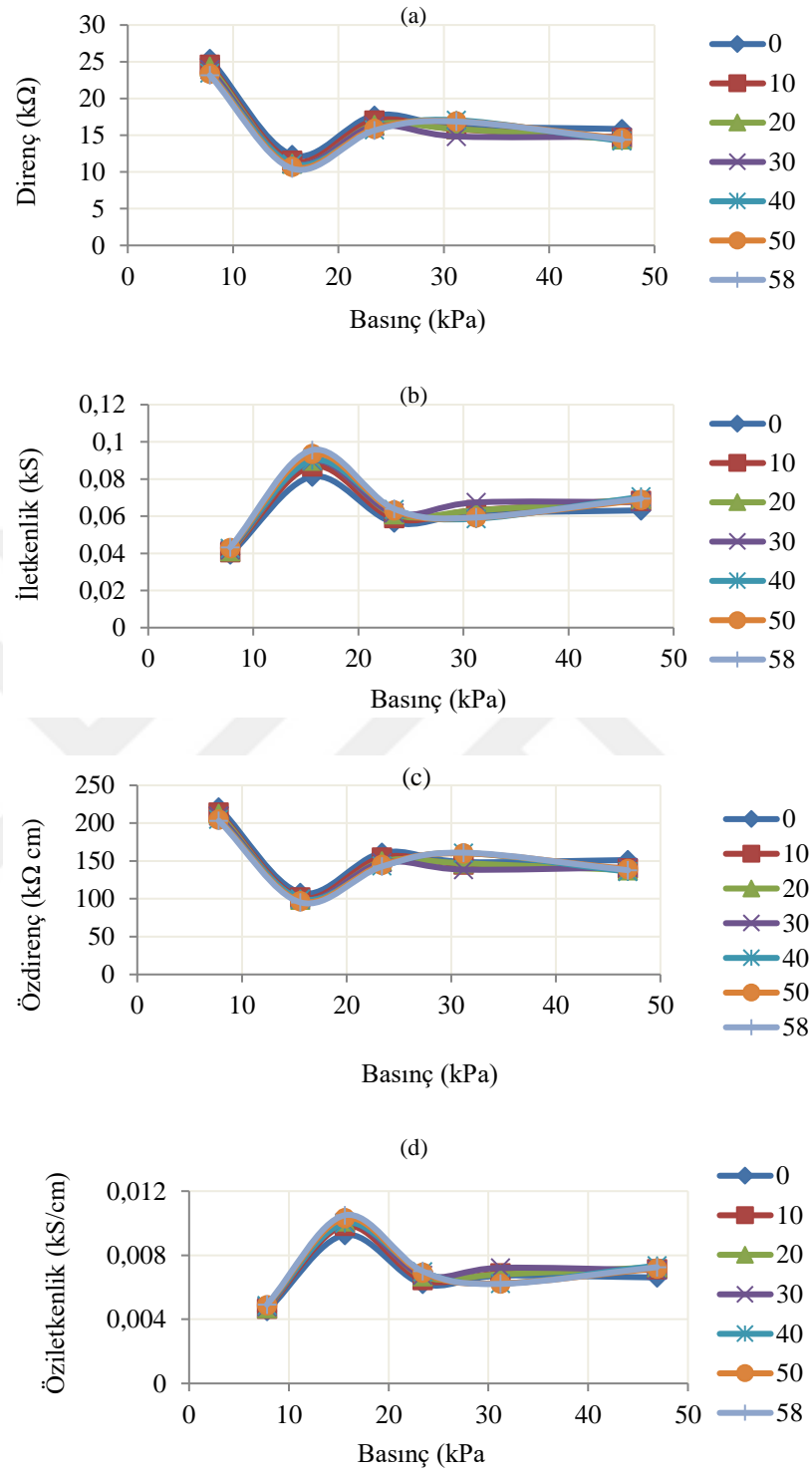
Şekil 4.27 –Şekil 4.47 arasında görülen şekillerde 50 PHR EPDM/NR/CB kompozit örneklerine ait direnç ve öz direncin, iletkenlik ve öziletkenliğin zamanla değişiminin 40 PHR EPDM/NR/CB kompozit örneklerinin davranışları ile genel olarak uyumlu olduğu görülmektedir.

4.2.3.2. Farklı miktarlarda EPDM içeren 50 PHR EPDM/NR/CB kompozitinin farklı sürelerdeki elektriksel özelliklerine basıncın etkisi

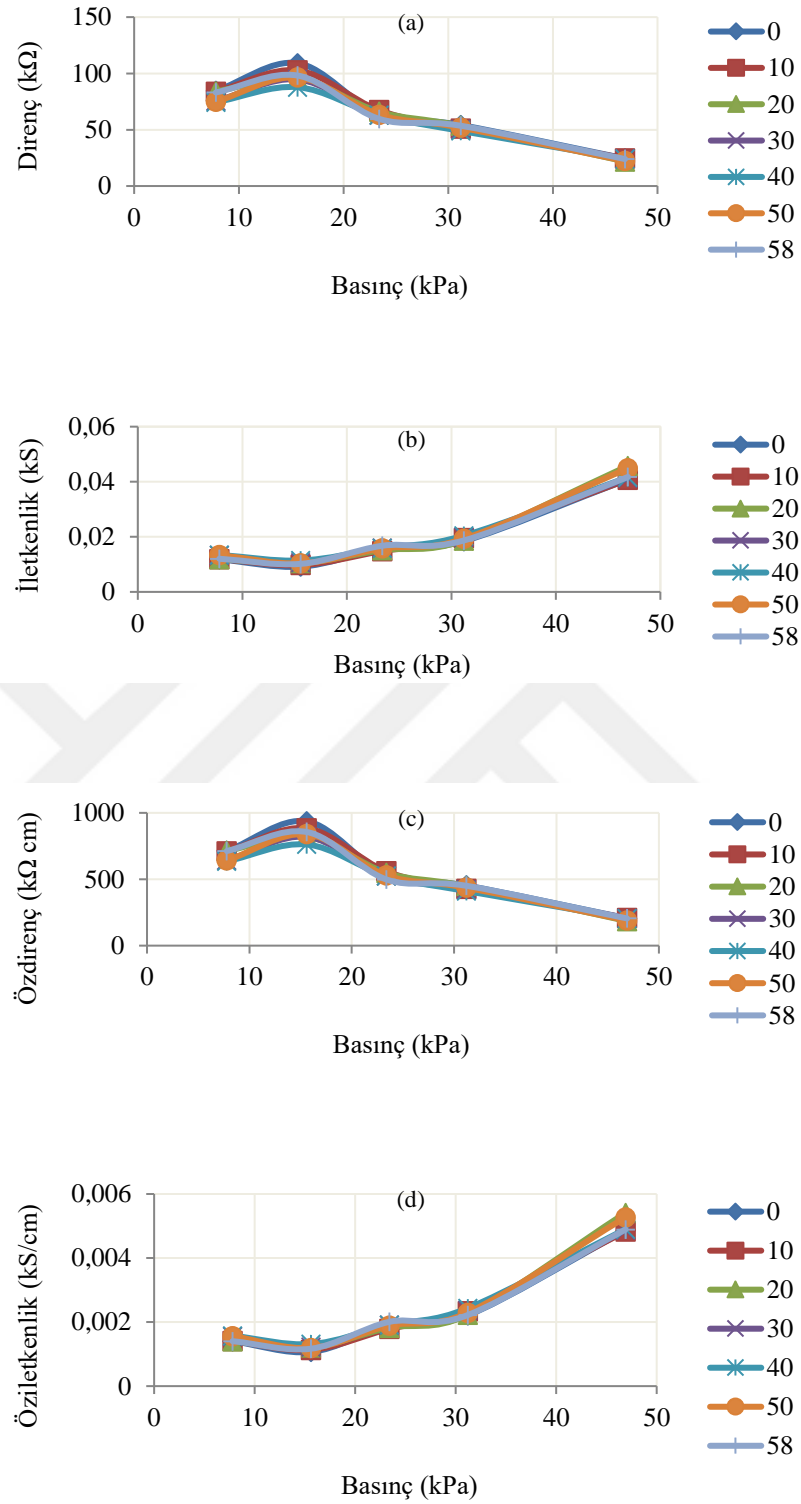
Belli sürelerde ölçülen 50 PHR EPDM/NR/CB kompozitlerinin elektriksel özelliklerine basıncın etkisini görmek amacıyla Çizelge 4.26-Çizelge 4.41’de verilen sırasıyla direnç, iletkenlik, öz direnç ve öz iletkenlik değerleri uygulanan basınca karşı grafiğe geçirilmiş ve Şekil 4.48’de verilmiştir.



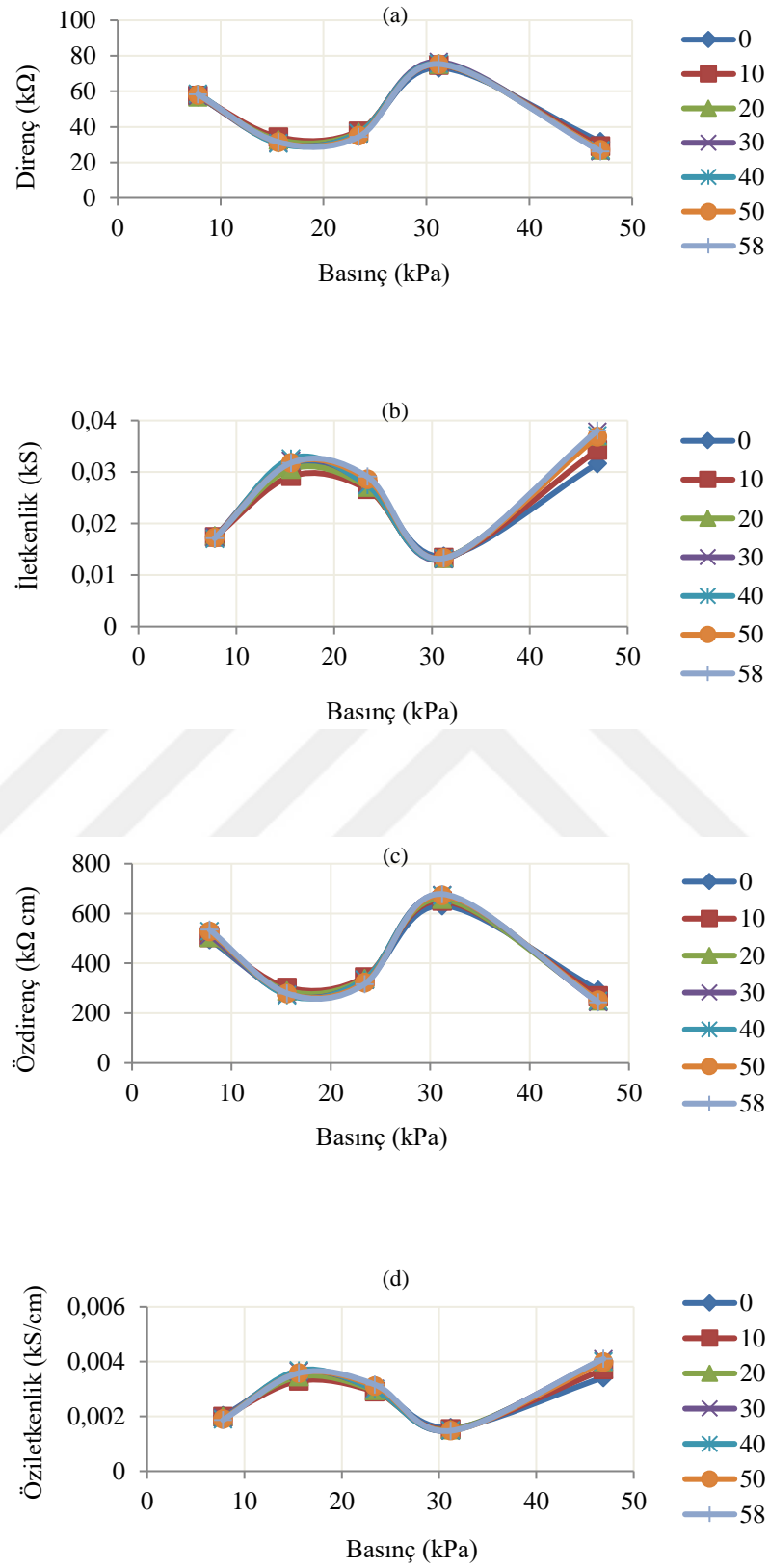
Şekil 4.48. Belli sürelerde ölçülen %40 EPDM içeren 50 PHR EPDM/NR/CB kompozitlerine ait a) direnç, b) iletkenlik, c) özdirenç, d) öziletkenliklerinin basınçla değişimi



Şekil 4.49. Belli sürelerde ölçülen %50 EPDM içeren 50 PHR EPDM/NR/CB kompozitlerine ait a) direnç, b) iletkenlik, c) özdirenç, d) öziletkenliklerinin basınçla değişimi



Şekil 4.50. Belli sürelerde ölçülen %60 EPDM içeren 50 PHR EPDM/NR/CB kompozitlerine ait a) direnç, b) iletkenlik, c) öz direnç, d) öz iletkenliklerinin basınçla değişimi

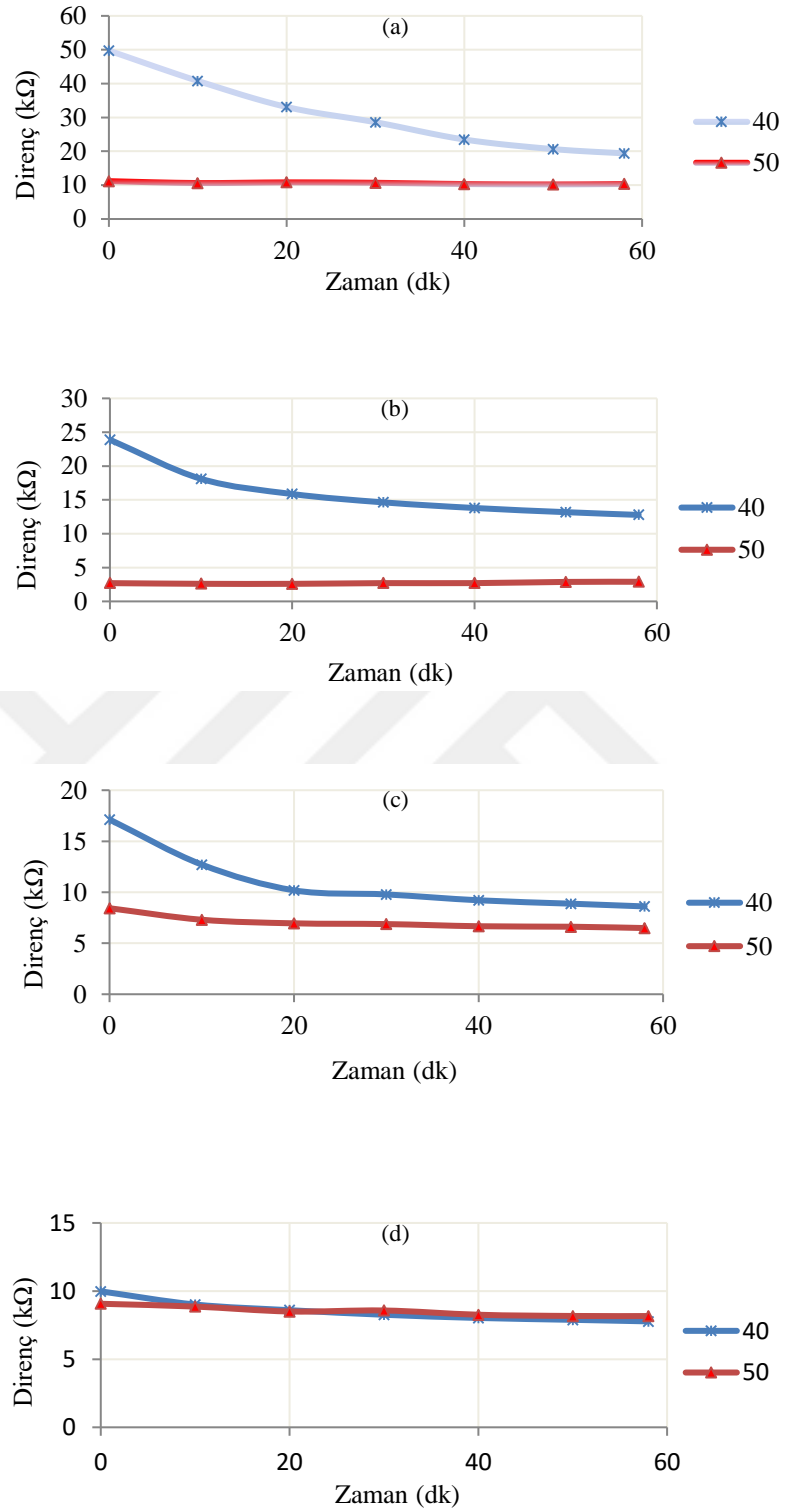


Şekil 4.51. Belli sürelerde ölçülen %70 EPDM içeren 50 PHR EPDM/NR/CB kompozitlerine ait a) direnç, b) iletkenlik, c) öz direnç, d) öz iletkenliklerinin basınçla değişimi

4.3. 40 PHR ve 50 PHR EPDM/NR/CB Kompozitlerinin Elektriksel Özelliklerinin Kıyaslanması

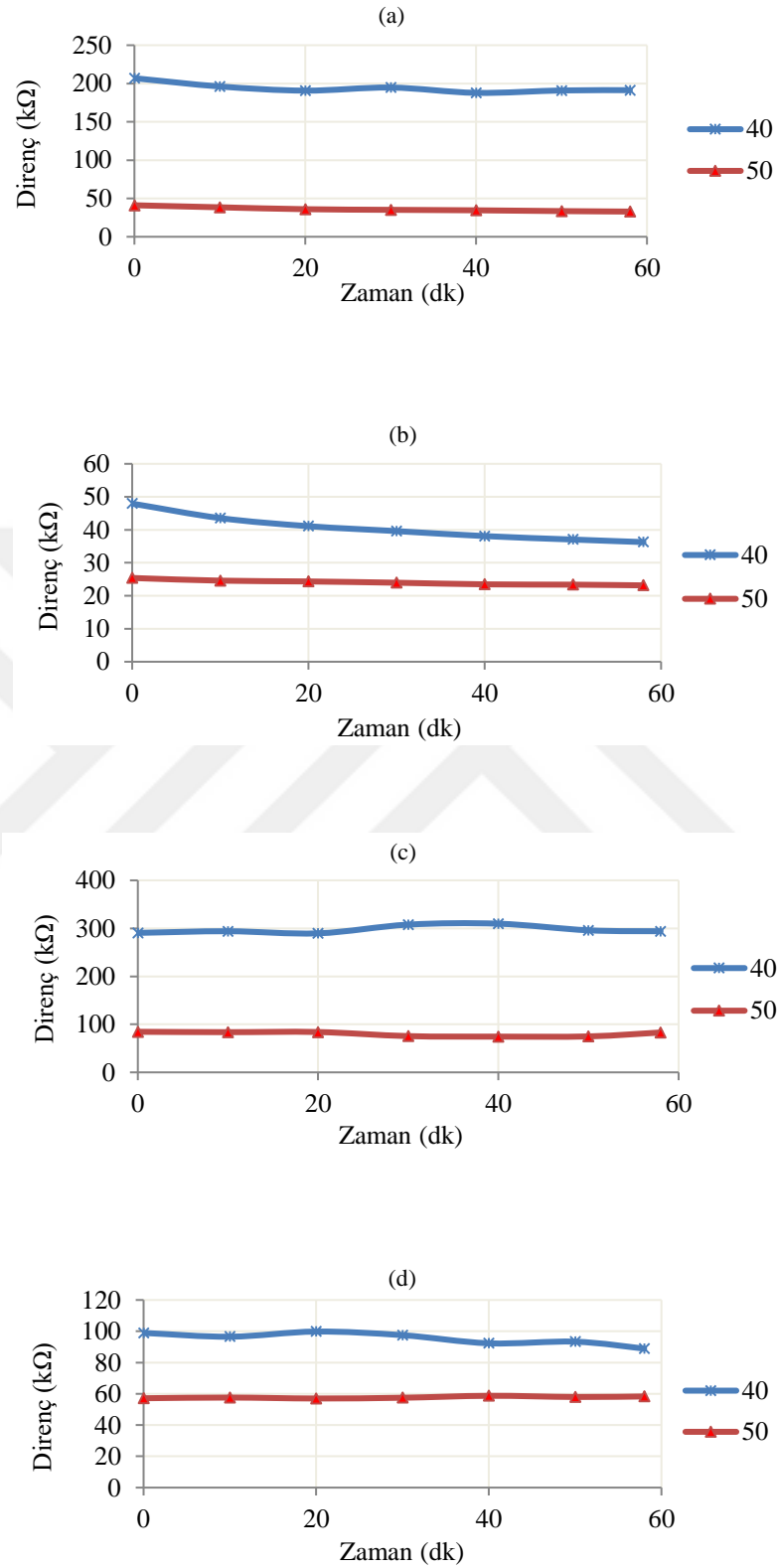
EPDM/NR/CB kompozitindeki CB miktarının elektriksel özelliklere etkisini incelemek amacıyla aynı miktarlarda EPDM içeren 40 PHR ve 50 PHR EPDM/NR/CB kompozitinin farklı basınçlar altındaki elektriksel özelliklerinden direncin zamanla değişimi Şekil 4.52 de gösterilmiştir.



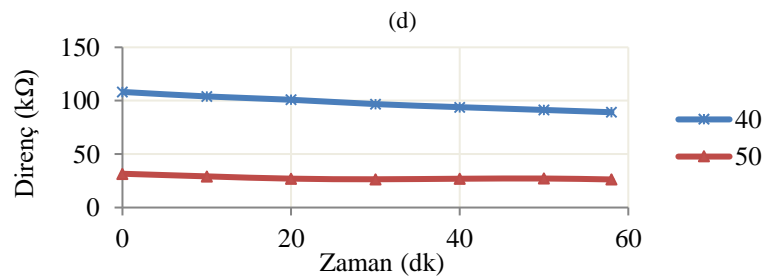
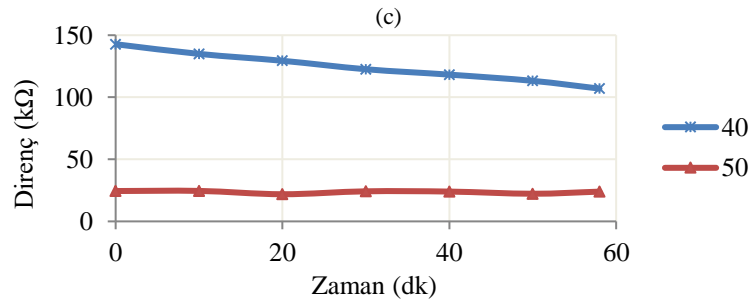
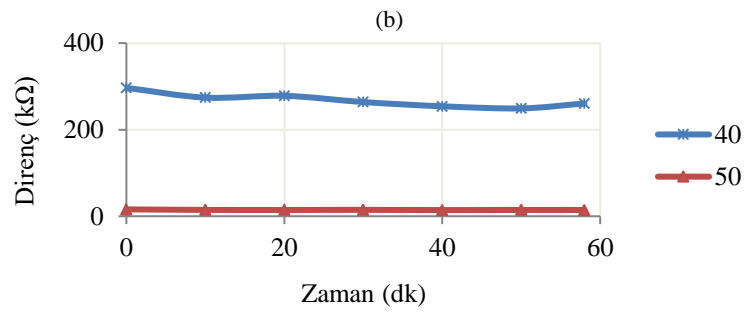
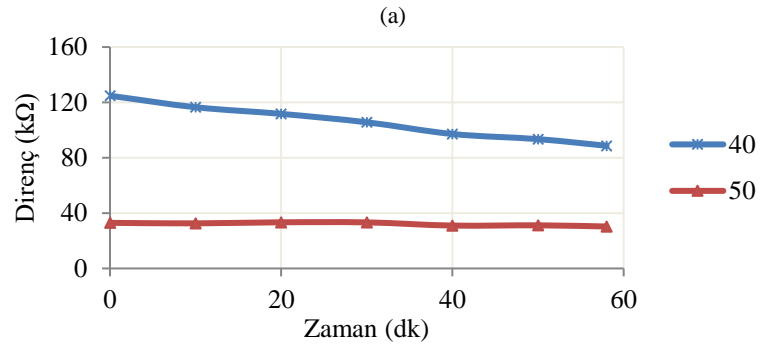


Şekil 4.52. 40 PHR VE 50 PHR EPDM/NR/CB a) %40 EPDM b) %50 EPDM, c) %60 EPDM, d) %70 EPDM içeren kompozitlerinin 0 kPa basınç altındaki dirençlerinin zamanla değişimi

Şekil 4.52’de açıkça görüldüğü üzere belli bir zamandaki 40 PHR kompozitinin direnci 50 PHR kompozitinden daha yüksektir. Ayrıca 40 PHR daki direncin zamanla azalma hızı da 50 PHR dan daha yüksektir. İletken bir dolgu maddesi olan CB artmasıyla direncin düşmesi beklenen bir sonuçtur. EPDM oranının artmasına paralel olarak direnç değerlerinin zamanla düşme eğrisi giderek birbirine örtüşecek kadar yaklaşmaktadır. Bunun kaynağı, nispeten daha iletken olan EPDM miktarı arttıkça kompozitin direncindeki düşmedir denilebilir. Farklı oranlarda EPDM içeren 40 PHR EPDM/NR/CB kompozitine ait direnç değerlerinin zamanla daha hızlı düşmesinin nedeni de perokolasyon kuramına göre hacimsel boşlukların 40 PHR’da 50 PHR’a göre daha fazla olmasıdır. Bu sonuçlar kompozite katılan EPDM miktarının elektriksel özelliğın değişmesinde çok önemli olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.53. 40 PHR VE 50 PHR EPDM/NR/CB a) %40 EPDM, b) %50 EPDM, c) %60 EPDM, d) %70 EPDM içeren EPDM/NR/CB kompozitlerinin 10 kPa basınç altındaki dirençlerinin kıyaslanması



Şekil 4.54. 40 PHR VE 50 PHR EPDM/NR/CB a) %40 EPDM, b) %50 EPDM, c) %60 EPDM, d) %70 EPDM içeren EPDM/NR/CB kompozitlerinin 45 kPa basınç altındaki dirençlerinin kıyaslanması

Şekil 4.53'te 10 kPa ve Şekil 4.54'te 45 kPa basınç uygulandığında, hem 40 PHR hem de 50 PHR EPDM/NR/CB kompozitlerine ait direnç değerlerinin zamanla değişim hızı 0 kPa basınç altında olduğu gibi hızlı değildir. Kompozitte bulunan uzun polimer zincirleri arasında dağılmış olan CB tanecikleri basınç altında daha sık istifleneceği için boş hacimler zamanla değişmez, dolayısı ile de dirençte önemli bir değişim gözlenemez.



5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Hazırlanan kompozitlerin elektriksel iletkenlikleri farklı bileşimlerde ve farklı basınçlar altında incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, 40 PHR ve 50 PHR kompozitlerindeki iletken dolgu maddesi olan CB oranının artmasının iletkenliği artırdığını göstermiştir. Perkolasyon eşiği olarak tanımlanan dolgu maddesinin belli bir değere ulaştığı ve iletkenliğin birden hızla artmaya başladığı an yalıtkan kompozit, iletken bir malzemeye dönüşmektedir. Örnekler üzerine çeşitli basınçlar uygulanması da iletkenliği artırıcı bir etki yapmıştır. Bu da tanecikler arası mesafenin azalması ile iletken zincirinin daha uygun bir yapıya dönüşmesi şeklinde açıklanabilir. Perkolasyon eşiği %50 EPDM içeren kompozitte gözlenmiştir. Kauçuk hamurunda EPDM oranın %40'tan %70'e kadar artırılması olumlu sonuçlar vermiştir. EPDM ve NR karışımlarında faz uyuşmazlığına rağmen iyi sonuçlar elde edilmiştir. Karışıma bir takım uyumlaştırıcılar eklenerek bu uyuşmazlık giderilebilir. Literatürde bu yönde çalışmalar yapılmıştır.

Bu çalışmada, daha önce yapılan çalışmalarda (Basan ve Ark., 2016) 40 PHR NR/CB kompozitinden direnç ölçümleri alınamadığı halde kompozite değişik oranlarda EPDM katıldığı zaman 40 PHR EPDM/NR/CB kompozit örneklerini direnç değerlerinin gayet sağlıklı bir şekilde ölçülebildiği görülmüştür. Bu da EPDM 'in NR/CB kompozitinin daha az CB ile iletken hale getirilebildiğini göstermektedir. Böylece, daha az miktarda iletkenlik sağlamakla CB miktarından tasarruf yapılabileceği ve ekonomik bir fayda sağlanabileceği söylenebilir.

Farklı bir çalışma olarak maliyet analizi yapılabilir. Böylece CB miktarını düşürmekle ekonomik bir fayda sağlanıp sağlanamayacağı anlaşılabilir.

KAYNAKLAR

- Auchter, J.F., 2005. Chemical Economics Handbook: Carbon Black, Menlo Park, CA, SRI Consulting,
- Angelopoulos, M., Shaw J. M., Lee K. L., Huang, W. S., Lecorre, M. A. and Tissier, M., 1992, Conducting polymers as lithographic materials, Polymer Engineering and Science, 32 (20), 1535-1540.
- Annicelli, R., Balodis, R., Boyce, W., Coreau, A., Davis, C., Dvornek, J., Dvornek, L., Gibbs, I., Gorman, D., Hogan, J., Pr Ce, R., Supp, G., Taylor, W., Waters, G., Wilson, W., 1990 . Vanderbilt Associates, Vanderbilt World Trade Corporation, Canada, 832s
- Arroyo, M., Lopez-Manchado, M. A. ve Herrero, B., (2003), “Organomontmorillonite as Substitute of Carbon Black in Natural Rubber Compounds”, Polymer, 44:2447-2453.
- ASTM-D 1566 (1993). Terminology relating to rubber. In Annual Book of ASTM Standards, Volume: 09.01, Philadelphia: ASTM International.
- ASTM D-1765, 10 Standard Classification System for Carbon Blacks Used in Rubber Products 2013.
- ASTM D- 6556 Standard Test Method for Carbon Black-Total and External Surface Area by Nitrogen Adsorption
- ASTM D-2414 Standard Test Method for Carbon Black-Oil Absorption Number (OAN)
- Basan,S., Sancaktar, E. 2016. Electrical Conductivity of Carbon Black-Silicon Rubber Nanocomposites: Effects of Strain, Load and Loading Rate, Current Nanomaterials, Volume 1, Issue 3,195-200
- Bigg, D. M., 1986. Electrical properties of metal-filled polymer composites, in: Metal Filled Polymer Composites (Ed: Bhattacharya S.K.), Marcel-Dekker, New-York, 165-226.
- Bridge, B. and Tee, H., 1990. Large-scale simulation of the critical volume fraction for the percolation threshold in metal-fibre-loaded polymer composites International Journal of Electronics, 69 (6), 785-792.
- Canbay, C. A., 2005. Kompozit yarı iletkenlerin termal, elektrik ve optic özelliklerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Çavdar, S., 2007. Effect of Different Compositions on Rheological and Mechanical

Properties of EPDM Rubber, M.Sc., Department of Polymer Science and Technology.

Çelebi, H., 2010. Poli(eter ester)/çinko oksit kompozitleri: sentezi, prosesi ve karakterizasyonu, Doktora Tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.

Çimenoğlu, H., Kayalı, S. 1991. Malzemelerin Mekanik Davranışları. İstanbul: İ.T.Ü. Matbaası.

Dyre, J. C., 1998. The random free-energy barrier model for AC conduction in disordered solids, *Journal of Applied Physics*, 64(5), 2456–2468.

Edge, M., Norman, S.A., Gonzalez, R.S., Christopher, M.L., Simon, J., Robert, B., Whitehouse, 1999. The influence of cure and carbon black on the hightemperature oxidation of natural rubber I. Correlation of physicochemicalchanges, *Polymer Degradation and Stability*.

EPA, 2005. Profile of the Rubber and Plastics Industry, 2nd Edition, EPA Office of Compliance Sector Notebook Project, Washington.

Erdemci, G., 2009, Pozitron teknikleriyle polimer elektrolitlerin iletkenlik-serbest hacim ilişkisinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Evcin, A., 2008, Nanomalzemelerin karakterizasyonu, Ders notları.

Feast W. J., Tsibouklis, J., Pouwer, K. L., Groneendaal, L., and Meijer, E. W., 1996. Synthesis, Processing and Material Properties of Conjugated Polymers, *Polymer*, 37, 5017- 5047.

Grimmett G., 1999. “Percolation”, Springer-Verlag, Berlin

Gul, V. E., 1996. Structure and properties of conducting polymer composites, 1st ed., VSP BV, The Netherlands, Japan, 160-185.

Güleç, Ş., 1990. Malzeme Ders Notları. İstanbul: İTÜ Makine Fakültesi Ofset Atölyesi.

Hakansson, E., Amiet A., Kaynak A., 2006. Electromagnetic Shielding Properties of Polypyrrole/Polyester Composites in The 1-18 GHz Frequency Range, *Synthetic Metals*, 156, 917-25.

Hazer, B., 1991. Genel Kimya. Trabzon: K.T.Ü. Basımevi

Hofmann, W., 1989. Rubber Technology Handbook, Hanser Publishers, Munich, Germany.

- Honey J., Rinku M.T., Joe J., Rani J., Mathew K.T., 2006. Studies on The Dielectric Behaviour of Polypyrrole and Its Composites with Poly(vinyl chloride), *Microwave and Optical Technology Letters*, 48, 1324-6.
- Kalaycı, G., 2008. “Polianilin / Aktif Karbon Kompozit Maddesinin Sentezi, Karakterizasyonu ve İletken Film Yapımı”, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş, 21 - 32.
- Kaya, F., 2005. *Ana Hatlarıyla Pastikler ve Katkı Maddeleri*, Birsen Yayınevi,
- Kayrak, M.A., 1999. *Havacılık Kompozitleri ve Mukavemet-Maliyet Analizleri*. 1. 39s Eskişehir.
- Kimura, K., Suzuki, T. and Yokoyama, M., 1990. Photo-induced ionic conductivity switching in polymer composite film with azobenzene derivative, *Solid State Ionics*, 40-41, 666-668.
- Kulshreshtha, A. K. and Vasile, C., 2002. *Handbook of polymer blends and composites*, 1st ed., Rapra Technology Limited, Shrewsbury, UK.,1.
- Kurtman, Ş. ve Göktaş, G., 2006. *Termoplastik Elastomerler*, Lisans Bitirme Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi.
- Le Bideau, P., Ploteau, J. P., Dutournié, P. ve Glouannec, P., 2008, “Experimental and Modelling Study of Superficial Elastomer Vulcanization by Short Wave Infrared Radiation”, *International Journal of Thermal Sciences*, 48:573-582.
- Lewis, R.J.Sr., 1993. *Hawley’s Condensed Chemical Dictionary*, 12th Ed., New York, Van Nostrand Reinhold Co., p. 160.
- Loh, I. H., Moody, R. A. and Huang, J. C., 1990. Electrically conductive membranes: Synthesis and applications, *Journal of Membrane Science*, 1990, 50 (1), 31-49.
- MacDiarmid, A. G., Chiang, J. C., Richter, A. F. and Epstein, A. J., 1987. Polyaniline: a new concept in conducting polymers, *Synthetic Metals*, 18, 285- 290.
- MacDiarmid, A. G., Yang, L. S., Huang, W. S. and Humphrey, 1987. Polyaniline: electrochemistry and application on rechargeable batteries, *Synthetic Metals*, 18, 393-398.
- Marşoğlu, M., 1986. *Plastik Malzemeler*, Arpaz Matbaacılık Tesisleri, İstanbul.
- Mazumdar, S.K., 2002. *Composites Manufacturing, Materials, Product, and Process Engineering*. 4-5s New York.

- Moffatt, D., Runt, J., Safari, A. and Newnham R.E., 1986. V2O3 composite thermistors, 6 th IEEE International Symposium on Applications of Ferroelectrics, 673-676.
- Mott, N. F., 1987. Conduction in non-crystalline materials, Oxford Clarendon Press, UK.
- Moulart, A., Marrett, C. and Coltan, J., 2004, Polymeric composites for use in electronic and microwave devices, Polymer Engineering and Science, 44, 588- 597.
- Nasrı, Amirhossein, 2015. Elektrostatik boyamaya uygun iletken poliamid/ karbon siyahı, karbon lif ve karbon nano tüp kompozitleri, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Nichetti, D., 2004. “Determination of Mechanical Properties of Silica Compounds Using a Curing Kinetic Model”, European Polymer Journal, 40:2401-2405.
- Novak, I. and Krupa, I., 2004. Electro-conductive resins filled with graphite for casting applications, European Polymer Journal, 40, 1417-1422.
- Ohnishi S. and Osada Y, 1991, Electroconductive organogel. 5. Organic solar cells based on polymeric charge-transfer complex gel, Macromolecules, 24 (25), 6588-6590.
- Öztürk, E., 2008. Farklı Kauçuk Karışımlarının Vulkanizasyonuna Hızlandırıcıların Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Park, S., Seo, M. ve Nah, C., 2005, “Influence of Surface Characteristics of Carbon Blacks on Cure and Mechanical Behaviours of Rubber Matrix Compoundings”, Journal of Colloid and Interface Science, 291:229-235.
- Richard, B., Simpson, 2002. Rapra Technology Limited, Rubber Basics, United Kingdom, 30, 77-89.
- Rosen, S.L., 1993. Fundamental Principles of Polymeric Materials. New York: John Wiley and Sons Inc.
- Sahimi M., 1993, “Applications of Percolation Theory”, Taylor&Francis, London.
- Savran, H.Ö., 2001. Elastomer Teknolojisi I., İstanbul: Kauçuk Derneği Yayınları
- Selçuk, S., 2010 İletken Zeolit/Polipirol Kompozitinin Hazırlanması, Karakterizasyonu ve Nem ile Sıcaklığa Karşı Sensör Özelliğinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi.
- Schweitzer, P. A., 2006. Corrosion of Polymers and Elastomers, Corrosion Engineering Handbook, CRC Press, New York.

- Şahmetlioğlu, E., 2004. İletken aşırı kopolimerlerinin ve bunların enzim tutuklama matrisleri olarak kullanımları, Doktora Tezi, Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde.
- Tepebağ, B., 2007. Akselatörlerin Vulkanizasyon Üzerine Etkisi, Lisans Bitirme Tezi, İnönü Üniversitesi Mühendislik Fakültesi.
- Trelaor, L.R.G. 1970. Introduction to Polymer Science. London: Wykeham Publications Ltd.
- Tsotra, P. and Friedrich, K., 2004. Short carbon fiber reinforced epoxy resin/polyaniline blends: their electrical and mechanical properties, Composites Science and Technology, 64, 2385–2391.
- US Bureau of Mines., Carbon Black Annual, Mineral Industry Survey , 1969
- Vahapoğlu, V., 2013. Kauçuk Türü Malzemeler: Sınıflandırma. Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 4 (1): 25-34
- Vahapoğlu, V. ve Yüksel H.T., 2006. EPDM (Etilen-Propilen Dien Monomer) Sentetik Kauçuğu, 11th International Materials Symposium, Denizli, Bildiriler Kitabı, 333–338.
- Voll, M., Kleinschmit, P., 2002. Carbon. In: Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, New York, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co.
- Yalçın, H., Gürü, M., 2002 . “Malzeme Bilgisi”, Palme Yayıncılık, Ankara, 279 - 333.
- Yaman, K., 2007. Elektroerozyon ile işlemede polimer matrisli iletken toz takviyeli Kompozit elektrot işleminin deneysel ve teorik olarak incelenmesi, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

SOYADI, Adı : ÖZDİN, Filiz
Uyruğu : T.C.
Doğum yeri ve tarihi : 15.04.1971- Kayseri
Medeni hali : Evli
Telefon : 0 (546) 435 90 78
E-posta : filizozdin@gmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Hitit Üniversitesi	2019
Lisans	Hitit Üniversitesi	2016
Lise	Kayseri Lisesi	1988

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2017-	Çorum Şeker Fab. A.Ş.	Kalite Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

1. Basan, S, Işık, B., Özdin F., Stearik asitin CB/SR karışımlarının elektriksel iletkenliklerine etkisi , 3. Ulusal Kauçuk Kongresi, 25-26 Kasım 2016, TÜYAP, İstanbul.

