



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



LASTİK VE EPDM KAUÇUĞU ATIKLARININ
KOMPOZİT MALZEMEDE KULLANIMI

MERVE TÜRK BEN

YÜKSEK LİSANS
Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Temmuz-2019
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Merve TÜRKBEN tarafından hazırlanan “Lastik ve EPDM Kauçuğu Atıklarının Kompozit Malzemede Kullanımı” adlı tez çalışması 29/07/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

Doç. Dr. İlkey ÖZAYTEKİN

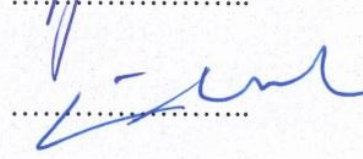
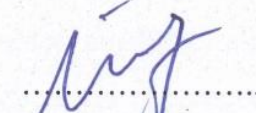
Danışman

Prof. Dr. Gülnare AHMETLİ

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Ülkü SOYDAL

İmza



Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Hakan KARABÖRK
Enstitü Müdürü

Bu tez çalışması BAP tarafından 18201009 nolu proje ile desteklenmiştir.

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Merve TÜRKBEN

Tarih: 05.07.2019



ÖZET

YÜKSEK LİSANSTEZİ

LASTİK VE EPDM KAUCUĞU ATIKLARININ KOMPOZİT MALZEMEDE KULLANIMI

Merve TÜRK BEN

**Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Prof. Dr. Gülnare AHMETLİ

2019, 71 Sayfa

Jüri

**Prof. Dr. Gülnare AHMETLİ
Doç. Dr. İlkey ÖZAYTEKİN
Dr. Öğr. Üyesi Ülkü SOYDAL**

Bu çalışmada 4 farklı atık lastikten (araba, traktör, otobüs, kamyon) elde edilen atık lastik tozu (LA) ve EPDM kauçuğu tozu (EPDM) epoksi reçinede dolgu malzemesi olarak seçilmiştir. Çalışmada 3 tür epoksi reçine: NPER 450 (kauçukla modifiye), NPEK114 (bisfenol-A), NPER 133L (poliüretanla modifiye)'nin 1:1 oranında karışımları matris olarak kullanılmıştır. LA ve EPDM, epoksi reçineye kütlece % 10-50 oranlarında ilave edilmiş, dolgu maddesi miktarının ve epoksi reçine türünün kompozit özelliklerine etkisi incelenmiştir. Kompozitlerin morfolojisi ve yapısı Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ve X-ışını Kırınımı (XRD) ile karakterize edilmiştir. Kompozitlerin mekanik özellikleri(çekme dayanımı, çekme uzaması, elastisite modülü ve sertlikleri) tayin edilmiştir. LA kompozitlerinin mekanik ve termal özellikleri EPDM kompozitlerinden yüksek bulunmuştur. Reçine karışımlarında ise en iyi sonuçlar NPER 133L-NPEK 114 ile elde edilmiştir. Dolgu olarak EPDM için en uygun oran %20, LA için %30 belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: EPDM kauçuk, lastik atığı, epoksi reçine, kompozit

ABSTRACT

MS THESIS

USING OF TIRE AND EPDM RUBBER WASTES IN COMPOSITE MATERIALS

Merve TURKBEN

**Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Chemical Engineering**

**Advisor: Prof. Dr. Gulnare AHMETLI
2019, 71 Pages**

Jury

**Prof. Dr. Gulnare AHMETLI
Assoc. Prof. Dr. Ilkay OZAYTEKIN
Asst. Prof. Dr. Ulku SOYDAL**

In this study, waste rubber powder (LA) and EPDM rubber powder (EPDM) obtained from 4 different waste tires (car, tractor, bus, truck) were selected as filling material in epoxy resin. In this study, 3 types of epoxy resins: NPER 450 (modified with rubber), NPEK 114 (bisphenol-A), NPER 133L (modified with polyurethane) 1: 1 mixtures were used as matrix. LA and EPDM were added to the epoxy resin at a rate of 10-50% by mass, and the effect of the amount of filler and the type of epoxy resin on the composite properties was investigated. The morphology and structure of the composites were characterized by Scanning Electron Microscopy (SEM) and X-ray Diffraction (XRD). Mechanical properties (tensile strength, tensile elongation, modulus of elasticity and hardness) of composites were determined. Mechanical and thermal properties of LA composites were higher than EPDM composites. In resin mixes, the best results were obtained with NPER 133L-NPEK 114. The most suitable filler ratio for EPDM was 20% and for LA 30%.

Keywords: EPDM rubber, tire waste, epoxy resin, composite

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez çalışmalarıml süresince danışmanlığıml yapan, ve bu tez çalışmalarıml kapsamında beni yönlendiren, araştırmalarıml ve çalışmalarıml her aşamasında bilgi, öneri ve yardımlarını esirgemeyen akademik ortamda olduğu kadar beşeri ilişkilerde de engin fikirleriyle yetişme ve gelişmeme katkıda bulunan her anlamda bana çok şey katan danışman hocam Sayın Prof. Dr. Gülnare AHMETLİ'ye en içten teşekkür ve saygılarımlı sunarım.

Yine çalışmalarıml süresince her zaman yanımda olan ve her türlü desteği ve yardımcıml büyük bir öz veri ile bana sunan Sayın hocam Arş. Gör. Dr. Süheyla KOCAMAN' a teşekkür ederim.

Bu süreçte maddi ve manevi desteklerini her an üzerimde hissettiğim annem ve amcalarıml başta olmak üzere aileme ve kıymetli eşim Kemal TÜRK BEN'e teşekkür ederim.

Merve TÜRK BEN
KONYA-2019

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR	xii
1.GİRİŞ	1
1.1.Kompozit Malzemeler	3
1.1.1.Matrisler.....	3
1.1.1.1. Polimer matrisler.....	3
1.1.1.2. Metal matrisler	7
1.1.1.3. Seramik matrisler	7
1.1.2.Kompozitlerde Kullanılan Takviye Malzemeleri	7
1.1.2.1. Lifler.....	7
1.1.2.2. Tanecikli takviye malzemeleri	8
1.2. Kauçuk Ürünleri	9
1.2.1. Atık kauçuklar.....	9
1.2.2. Atık lastikler	11
1.2.2.1. Atık lastiklerin oluşturduğu sorunlar	12
1.2.2.2. Atık lastiklerin geri kazanımı.....	13
1.2.3. Etilen propilen dien kauçuk (EPDM)	16
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	18
3. MATERYAL VE METOT.....	23
3.1. Kullanılan Kimyasal Malzemeler	23
3.1.1. Ticari epoksi reçineler	23
3.1.2. Sertleştirici	24
3.1.3. Hızlandırıcı	24
3.1.4. Lastik atığı tozu (LA)	24
3.1.5. EPDM kauçuğu.....	24
3.2. Kompozit Hazırlama Yöntemi	25
3.3. Deneyleerde Kullanılan Cihaz ve Aletler	27
3.4. Kompozit Malzemelerin Karakterizasyonu	27

3.4.1. Yüzey karakterizasyonu.....	27
3.4.2. X-Işını Kırınım analizi (XRD).....	27
3.4.3. Mekanik karakterizasyon.....	28
3.4.3.1. Çekme testi.....	28
3.4.3.2. Sertlik testi.....	29
3.4.4. Termal analiz.....	29
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	30
4.1. SEM Analizi Sonuçları.....	31
4.2. XRD Sonuçları.....	37
4.3. Mekanik Test Sonuçları.....	40
4.3.1. Çekme uzaması.....	44
4.3.2. Çekme dayanımı.....	46
4.3.3. Elastisite (Young) modülü.....	48
4.3.4. Sertlik testi.....	49
4.4. TGA Sonuçları.....	51
4.4.1. NPER 450-NPEK 114 reçine karışımı ile oluşturulan kompozitlerin TGA sonuçları.....	52
4.4.2. NPER 133L-NPEK 114 reçine karışımı ile oluşturulan kompozitlerin TGA sonuçları.....	55
4.4.3. NPER 450-NPEK 133L reçine karışımı ile oluşturulan kompozitlerin TGA sonuçları.....	59
5. SONUÇLARVE ÖNERİLER.....	63
5.1. Sonuçlar.....	63
5.2. Öneriler.....	64
KAYNAKLAR.....	65
ÖZGEÇMİŞ.....	71

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1. Atık lastiklerin geri kazanım süreci şeması (Aydın, 2015).....	15
Şekil 1.2. Etilen -propilen kopolimerinin kimyasal formülü.....	16
Şekil 1.3. EPDM sentezinde kullanılan dien monomerleri (van Duin ve ark., 2019).....	16
Şekil 1.4. EPDM'nin doğal kauçukla aşırı kopolimeri (Nabil ve ark., 2013).....	17
Şekil 3.1. Bisfenol-A tipi epoksi reçine.....	23
Şekil 3.2. Poliüretanın genel kimyasal formülü	23
Şekil 3.3. Hızlandırıcının kimyasal yapısı.....	24
Şekil 3.4. ENB monomeri kullanılarak sentezlenen EPDM'nin kimyasal formülü (Li, 2008).....	25
Şekil 3.5. Dönüştürülmüş EPDM kauçuğunun mikroskop görüntüsü (Li, 2008)	25
Şekil 3.6. Öğütücü cihazı EPDM tozunun elek altı görüntüsü.....	25
Şekil 3.7. Ultrasonik banyo	26
Şekil 3.8. Kompozit numuneler için kullanılan kalıp.....	26
Şekil 3.9. Kullanılan çekme testi cihazı	28
Şekil 3.10. Sertlik tayini için kullanılan cihaz.....	29
Şekil 4.1. Kauçuk tozlarının: oda sıcaklığında parçalanmış SEM görüntüsü (solda); kriyojenik olarak	31
Şekil 4.2. LA atığı tozunun SEM görüntüsü (Karabörk, 2012).....	31
Şekil 4.3. EPDM tozunun SEM görüntüsü (Jacob ve ark., 2001a)	32
Şekil 4.4. Saf epoksi reçine karışımlarının SEM görüntüleri: a) NPER 450-NPEK 114; b) NPER 133L-NPEK 114; c) NPER 450-NPER 133 L (soldan sağa Mag: 10.00 K X, 2 µm; 1.00 K X, 10 µm)	33
Şekil 4.5. Epoksi reçine karışımlarının SEM görüntüleri (Mag: 250 X, 100 µm)	34
Şekil 4.6. (NPER 450-NPEK 114) reçinesi ile hazırlanan LA ve EPDM kompozitlerinin SEM görüntüleri: a) %20 LA; b) % 30 LA; c) %20 EPDM; d) %30 EPDM (Mag: 5.00 K X, 2 µm).....	35
Şekil 4.7. (NPER 133L-NPEK 114) reçinesi ile hazırlanan LA ve EPDM kompozitlerinin SEM görüntüleri: a) %20 LA; b) % 30 LA; c) %20 EPDM; d) %30 EPDM (Mag: 5.00 K X, 2 µm)	35
Şekil 4.8. (NPER 450-NPER 133 L) reçinesi ile hazırlanan LA ve EPDM kompozitlerinin SEM görüntüleri: a) %20 LA; b) % 30 LA; c) %20 EPDM; d) %30 EPDM (Mag: 5.00 K X, 2 µm).....	36

Şekil 4.9. Farklı reçine karışımları ile hazırlanan %30 dolgu oranındaki LA ve EPDM kompozitlerinin farklı büyütmelerdeki SEM görüntüleri (Mag: 100 X, 100 µm).....	37
Şekil 4.10. Saf epoksi matris karışımlarının XRD eğrileri.....	38
Şekil 4.11. %20 LA kompozitlerinin XRD eğrileri.....	38
Şekil 4.12. %30 LA kompozitlerinin XRD eğrileri.....	39
Şekil 4.13. %20 EPDM kompozitlerinin XRD eğrileri	39
Şekil 4.14. %30 EPDM kompozitlerinin XRD eğrileri	40
Şekil 4.15. (NPER 450-NPEK 114) matrisli kompozitlerin çekme uzaması grafiği	44
Şekil 4.16. (NPER 133L-NPEK 114) matrisli kompozitlerin çekme uzaması grafiği ...	44
Şekil 4.17. (NPER 450-NPER 133L) matrisli kompozitlerin çekme uzaması grafiği ...	45
Şekil 4.18. (NPER 450-NPEK 114) matrisli kompozitlerin çekme dayanımı grafiği....	46
Şekil 4.19. (NPER 133L-NPEK 114) matrisli kompozitlerin çekme dayanımı grafiği .	46
Şekil 4.20. (NPER 450-NPER 133L) matrisli kompozitlerin çekme dayanımı grafiği .	47
Şekil 4.21. (NPER 450-NPEK 114) matrisli kompozitlerin elastisite modül grafiği.....	48
Şekil 4.22. (NPER 133L-NPEK 114) matrisli kompozitlerin elastisite modül grafiği .	48
Şekil 4.23. (NPER 450-NPER 133L) matrisli kompozitlerin elastisite modül grafiği....	49
Şekil 4.24. (NPER 450-NPEK 114) matrisli kompozitlerin sertlik değerleri grafiği.....	50
Şekil 4.25. (NPER 133L-NPEK 114) matrisli kompozitlerin sertlik değerleri grafiği ...	50
Şekil 4.26. (NPER 450-NPER 133L) matrisli kompozitlerin sertlik değerleri grafiği....	51
Şekil 4.27. Saf (%50 NPER 450 - %50 NPEK 114) matrisinin TGA eğrisi	52
Şekil 4.28. NPER 450-NPEK 114/ %20 LA kompozitinin TGA eğrisi.....	53
Şekil 4.29. NPER 450-NPEK 114/ %30 LA kompozitinin TGA eğrisi.....	53
Şekil 4.30. NPER 450-NPEK 114/ %20 EPDM kompozitinin TGA eğrisi	54
Şekil 4.31. NPER 450-NPEK 114/ %30 EPDM kompozitinin TGA eğrisi	54
Şekil 4.32. Saf (%50 NPER 133L-%50 NPEK 114) matrisinin TGA eğrisi.....	56
Şekil 4.33. NPER 133L-NPEK 114/%20 LA kompozitinin TGA eğrisi	56
Şekil 4.34. NPER 133L-NPEK 114/%30 LA kompozitinin TGA eğrisi	57
Şekil 4.35. NPER 133L-NPEK 114/%20 EPDM kompozitinin TGA eğrisi.....	57
Şekil 4.36. NPER 133L-NPEK 114/%30 EPDM kompozitinin TGA eğrisi.....	58
Şekil 4.37. Saf (%50 NPER 450-%50 NPER 133L) matrisinin TGA eğrisi.....	59
Şekil 4.38. NPER 450-NPER 133L/%20 LA kompozitinin TGA eğrisi.....	60
Şekil 4.39. NPER 450-NPER 133L/%30 LA kompozitinin TGA eğrisi.....	60
Şekil 4.40. NPER 450-NPER 133L/%20 EPDM kompozitinin TGA eğrisi.....	61
Şekil 4.41. NPER 450-NPER 133L/%30 EPDM kompozitinin TGA eğrisi.....	61

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 3.1. NPEK 114, NPER133L, NPER450 reçinelerinin özellikleri	23
Çizelge 4.1. LA kompozitlerinin çekme testi sonuçları	42
Çizelge 4.2. EPDM kompozitlerinin çekme testi sonuçları.....	43
Çizelge 4.3. NPER 450-NPEK 114 matrisi ve kompozitlerinin termal bozunma.....	55
Çizelge 4.4. NPER 133L-NPEK 114 matrisi ve kompozitlerinin termal bozunma	58
Çizelge 4.5. NPER 450-NPER 133L matrisi ve kompozitlerinin termal	62



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

- NPEK 114: bisfenol-A tipi epoksi reçine
NPER 450: kauçukla modifiye epoksi reçine
NPER 133L: poliüretanla modifiye epoksi reçine

Kısaltmalar

- SEM: Taramalı Elektron Mikroskobu
TGA: Termogravimetrik Analiz
ASTM: American Society for Testing and Materials
ÖTL: Ömrünü Tamamlamış Lastik
ER: Epoksi reçine
LA: Lastik atık
PTFE: Politetrafloretillen
UNEP: Birleşmiş Milletler Çevre Programı
LASDER: Lastik Sanayicileri Derneği

1. GİRİŞ

Nüfus yoğunluğunun gün geçtikçe artıyor olması kaynaklar açısından değerlendirildiğinde ciddi anlamda yetersizlik söz konusu olmaktadır. Yaşam için gerekli olan herşeyin üretime için bir kaynağın var olması gerekliliği kaynakların azalmasına ve hatta bazılarının yok olmasına sebebiyet vermektedir. Bu esnada devreye girebilecek en güçlü yöntem olan geri dönüşüm faktörü her alanda cankurtaran vazifesi üstlenmektedir. Sınırlı olarak nitelendirilen kaynakları tam ve etkili bir biçimde kullanmak ülke ve hatta dünya ekonomisi içerisinde en önemli unsur haline almıştır (Tosun ve Fırat, 2016). Ülkemizde de hızla artan nüfus artışıyla birlikte atık miktarı ve ayrıca ambalajlı ürün kullanımı da fazlalaşmış, böylece geri kazanım ekonomik açıdan etkili bir değer haline gelmiştir (Gurer ve ark., 2004). Yaşanılabilir bir çevre ve kaynakların korunduğu bir dünya oluşturabilmek için, birçok atık malzemenin yanı sıra atık lastik malzemenin de ülke ekonomisine sağladığı katkıdan dolayı geri kazanımı çok önem taşımaktadır. Günümüzde oldukça fazla sayıda otomobil lastiği üretilmektedir. Bu da eskimiş lastiklerin ne olacağı konusunu düşündürmeye başlatmış ve insan ve doğa için tehlike niteliği taşıyan bu atıkların geri kazanım yöntemlerini araştırmak için bir sebep oluşturmuştur (Tosun ve Fırat, 2016). Uygun ortamda ve tekniklerle, atık lastiklerin yakılarak ısı enerjisi elde edilmesi için gereken yerlerde kullanımı yapılmaktadır (Sugözü ve Mutlu, 2009). Fakat depolanmış lastiklerin kontrolsüz yanması sonucu atmosfere fazlasıyla zararlı bileşikler salınmaktadır. Atmosfere salınan bu bileşenler; karbon siyahı ve oksitleri, uçucu ve yarı uçucu organikler, çok halkalı hidrokarbonlar, yağlar, kükürt oksitleri, nitrosaminler, uçucu küller ve As, Cd, Cr, Pb, Zn, Fe ve diğerleridir. Çeşitli doğal afetler ve yangınlar ile atmosfere salınan bu gazlar ve maddeler su ve toprağın kirlenmesine sebebiyet vererek insan sağlığını olumsuz yönde etkilemektedir (Gönüllü, 2004).

Birçok araştırmada atık malzemelerin geri dönüşümünde, özellikle de yeni ve sürdürülebilir bir kompozitler olan plastik ve kauçuk gibi polimer bazlı malzemelerin elde edilmesine dikkat edilmektedir. Kompozitler farklı maddelerin istenilen amaca yönelik bir biçimde belli düzende bir araya getirilmesi ile hazırlanan malzemelerdir. Kompozit malzemeleri hazırlamadaki temel amaç, değişik maddelerin iyi özelliklerini tek bir madde altında birleştirebilmektir. En basit kompozit malzeme, “takviye edici” ve “matris” adları verilen iki bileşenden oluşur. Takviye edici, kompozitin mekanik dayanıklılığından sorumludur ve dayanıklılığı artırıcı etkisi çoğu kez kompozit

içerisindeki hacmi %10'u geçtiğinde gözlemlenmeye başlar. Matris malzeme kompozit boyunca sürekli faz halindedir, takviye edici genellikle kompozitin kesikli fazıdır.

Polimerik kompozitler uzay araçlarındaki metal parçaları, daha hafif ve dayanıklı başka malzemelerle değiştirmek amacıyla geliştirilmişleridir. Kompozitlerin metallere üstün oldukları noktalar:

- spesifik dayanıklılık: cam lif takviyeli çoğu kompozitin birim kütle başına vurma dayanımları, çelik ve titanyum gibi malzemelerle karşılaştırılabilir düzeydedir;
- fiyat: kompozitler, yerlerini aldıkları metallere genellikle daha ucuzdur;
- kullanım yeri: kompozit bileşenlerin oranları ayarlanarak farklı özelliklerde ve değişik yerlerde kullanılacak ürünler hazırlanabilir;
- işlenebilirlik: metallere işlenmesinde fazlaca ısı enerjisi kullanılır;
- polimer kompozitlerinin işlenmeleri veya şekillendirilmeleri daha ekonomiktir şeklinde sıralanabilir.

Atık lastiklerin geri dönüşümü teknolojileri genişlemeye devam etmiş ve atık kauçuk, beton, lateks, termoplastik ve termoset malzemeler gibi çeşitli tipte matrislere dahil edilmiştir. Araştırmalar, kauçuk atığı ilavesinin kompozitlerin geliştirilmiş kopma mukavemeti, modül ve kopma uzaması, ısı yalıtımı, esneklik ve darbe dayanımı gibi özelliklerini artırdığı kanıtlamıştır (Ismail ve ark., 2009; Zanchet ve ark., 2012; Riyajan ve ark., 2012; Abu-Jdayil ve ark., 2016; Esmizadeh ve ark., 2017). Bu keşiflerden yola çıkarak, kauçuk atıklarının birçok potansiyel uygulamada kullanılmasının başarılı olduğu kanıtlanmış, çeşitlendirilmiş ve çalışmalar devam etmektedir. Önemli olarak, kauçuk esaslı dolgu kompozitlerinin geliştirilmesi, çevrenin daha iyi bir hale getirilmesi için faydalı olmuştur.

Atık kauçuk olarak lastik atıklarının epoksi reçinede değerlendirilmesi konusunda da ilk çalışmalar Ahmetli ve grubu tarafından yapılmıştır (Ahmetli ve ark., 2014; Aydın ve ark., 2014). Yapılan bu çalışmada da lastik ve EPDM atığı gibi kauçuk atıklarının geri dönüşümüne önem verilmiş, grup tarafından gerçekleştirilen önceki çalışmaların devamı olarak bu atıkların ilk kez farklı epoksi matris karışımlarında dolgu olarak kullanımı yapılmış ve yeni kompozit malzemeler oluşturulmuştur. Kompozitlerin mekanik ve termal özelliklerine hem reçine türü, hem de dolgu oranının etkisi karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

1.1. Kompozit Malzemeler

1.1.1. Matrisler

Kompozitlerde polimerler, metaller ve seramikler matris olarak kullanılan maddelerdir. Bu maddeler içinde polimerlerin özel bir yeri vardır ve kompozitlerin çoğu polimer matrislerden hazırlanır. Matris malzeme seçimi sırasında,

- mekanik özellikler
- geniş bir sıcaklık aralığında boyutsal kararlılık
- sıvılardan etkilenmeme

değerlendirilmesi gereken en önemli noktalardandır (Saçak, 2005).

1.1.1.1. Polimer matrisler

Mekanik özellikler açısından matrisden yüksek germe modülü, yüksek kopma dayanımı gibi özellikler beklenir. Bu özellikleri belli uygulamalarda standart polimerler olarak bilinen polietilen, polistiren vb. termoplastikler bir dereceye kadar karşılarlar, ancak yetersizlerdir. Termosetlerin, bazı yüksek performanslı termoplastiklerin ve mühendislik plastiklerinin mekanik özellikleri daha iyidir. Termoplastikler yapıları gereği belli sıcaklıklara kadar yapılarını (şekillerini) korurlar ve camsı geçiş sıcaklığına yakın sıcaklıklarda yumuşamaya başlarlar. Bu nedenle matris malzeme açısından yetersizlerdir. Naylonlar ve polikarbonatlar, ticari kompozitlerin hazırlanmasında kullanılan az sayıdaki termoplastikten ikisidir. Yüksek performanslı termoplastikler ve bazı mühendislik plastikleri yüksek sıcaklıklara dayanabilirler ve geniş bir sıcaklık aralığında kararlıdır. Termoset polimerler ise boyutsal kararlılık açısından üstündürler (Saçak, 2005).

Hava ve kara taşıtlarında kullanılan kompozitler jet yakıtı, benzin, motorin, antifriz vb. sıvılarla karşılaşılır. Benzer şekilde kompozitlerden yapılmış otomobil, makine parçaları sıvılarla temas edebilecek diğer ürünlerdir. Kompozitin temas ettiği sıvıların, kompozitin sürekli fazı olan matrisi çözmemesi, şişirmemesi ve ya herhangi bir özelliğinde zayıflatıcı etki yapmaması gereklidir. Termoset grubu polimerler sıvılara direnç açısından çözünebilir karakterdeki termoplastiklerden daha üstündürler (Saçak, 2005).

Termoset polimer matrisler (reçineler)

Kompozit üretiminde kullanılacak termoset polimerler, genelde içerisine sertleştirici, katkı ve dolgu malzemeleri karıştırılmış düşük viskoziteli ve düşük mol kütleli sıvı halindedirler. Bu karışıma uygulamada “termoset reçine” adı verilir. Kompozit yapımının ilk aşamasında takviye amacıyla kullanılacak lifler reçine ile ıslatılır. Liflerin ıslatılması, reçinenin doğrudan lif üzerine sürülmesi veya liflerin reçine banyosundan geçirilmesi gibi tekniklerle yapılır. İkinci aşamada, çapraz bağlanma tepkimeleri gerçekleştirilir ve reçine sert ağ yapılı termoset polimere dönüşerek bir kompozit ürün elde edilir.

Termoset reçinelerin kimyasal dirençleri yüksektir, sürtünmeleri ve gerilim gevşemeleri düşüktür. Bu açılarından termoplastiklerden iyidirler, ancak;

- sıvı hallerinde oda sıcaklığında uzun süre depolanamamaları,
- kalıplama süresinin polimerizasyon tepkimeleri nedeniyle uzun olması
- düşük vurma dayanımları

termosetlerin istenmeyen özellikleridir.

Termoplastikler çözeltilerinin ve eriyiklerinin yüksek viskozitesinden dolayı lifleri ıslatma düzeyleri yeterli değildir. Ayrıca yüksek viskozite, sürekli liflerin termoplastikler içine yerleştirilmesinde sorun yaratır. Bu iki özellik, termoplastiklerin matris malzemesi olarak kullanımlarını sınırlar. Termoplastik matrisler, sözü edilen olumsuzlukların yanı sıra aşağıda sıralanan noktalarda termosetlerden üstündürler:

- oda sıcaklığında sonsuz süre depolanabilme
- işlenme süresinin kısalığı
- yeniden şekillendirilebilme
- onarım kolaylığı

Termoset matrisli kompozitlerin üretiminde epoksitler, doymamış polyesterler, fenolikler, vinil esterler, termoset poliimitler, polibenzimidzoller kullanılabilir. En önemli ticari matris termosetler ise doymamış polyesterler, epoksi reçineler ve fenolik reçinelerdir (Forsdyke ve Starr, 2002).

Epoksi reçineler (ER)

Epoksi reçineler (ER) önemli termoset matrislerdir. Genelde, bazik ortamda epiklorhidrin ve bisfenol-A'dan iki aşamalı polimerizasyonla üretilirler. Epoksiler çapraz bağlanma sırasında uçucu madde oluşturmaması, çapraz bağlanma sonrası çekme ve büzülme oranının düşüklüğü (%1-5), kolay işlenmeleri, ucuzlukları ve lifleri iyi ıslatmaları nedeniyle kompozitlerde matris amaçlı kullanıma yatkındırlar. Ancak kırılğandır ve su adsorbsiyonları yüksektir. Adsorblanan su, takviye edici-polimer etkileşimlerini zayıflatır (Takeichi ve Furukawa, 2012).

Liflerle takviye edilen ER'nın mekanik dayanımı, kimyasal direnci, elektrik yalıtımı ve atmosfer koşullarına dayanımı doymamış polyesterlerden daha iyidir. Genelde uzay ve hava araçlarında kullanılırlar. Aramit liflerle takviye edilen ER'ler geniş bir sıcaklık aralığında dayanıklılıklarını koruyabilirler ve uçak kanat ve gövdelerinin ön kısımlarının yapımında veya kaplanmasında, elektronik devrelerde, ayrıca boru, tank, depolama kapları, basınç kapları ve çeşitli aletlerin yapımında bu polimerden yapılmış kompozitlerden yararlanır. Cam, asbest, pamuk, kâğıt, metal folyeler ve sentetik lifler ER'lerin takviyesinde kullanılan bazı maddelerdir (Saçak, 2005).

Fenolik reçineler

Ticari üretimi en fazla yapılan fenolik reçine, fenol ve formaldehitden hazırlanandır. Fenolik reçineler, diğer termosetler gibi kırılğandır. Cam liflerle yapılan takviye, polimerin kırılğanlığını azaltırken diğer bazı mekanik özelliklerini geliştirir. Cam lifler ayrıca, kimyasal yapıları gereği ısı ve aleve karşı dayanıklı olan polimerin ısıya dayanımını daha da artırır. Bu nedenle fenolik kompozitler daha çok aleve ve ısıya dayanımın arandığı yerlerde kullanılırlar (Takeichi ve Furukawa, 2012).

Doymamış polyesterler (UPE)

Polyester yapısındaki termoset matrisler, ana zincirinde karbon çift bağları bulunan UPE'den hazırlanırlar. UPE, maleik anhidrit gibi anhidritler ve etilen glikol ya da propilen glikol gibi glikollerden sentezlenir. UPE reçinelerinin kür zamanları oldukça hızlıdır, ayrıca diğer girdiler ve polimerizasyon koşulları ayarlanarak sert,

kırılğan, esnek ve ya yumuşak özelliklerde polyester kompozitler hazırlanabilir. Ancak kür işlemindeki hacim büzülmesi epoksilerden yüksektir (Jones, 2017).

Vinil ester reçineleri

Vinil ester reçineleri doymamış polyesterlerinin kolay uygulama ve düşük fiyat özellikleri ile epoksilerin iyi ısıl ve mekanik özelliklerini birleştirebilmek amacı ile geliştirilmişlerdir. Vinil ester reçinesi, epoksi reçinesi ve doymamış karboksilik asitten (genellikle metakrilik asit) sentezlenir. Vinil esterler, epoksilerin iyi kimyasal direnç yüksek kopma dayanımı ile doymamış polyesterlerin düşük viskozite ve hızlı pişme özelliklerini birlikte taşırlar ve kimyasal maddelere karşı polyesterlerden daha dirençlidirler. Buna karşın pişirilme sırasındaki büzülme oranları epoksilerden yüksektir (Goodman, 1998).

Termoset poliimitler (TSPI)

TSPI'ler kompozitlerin hazırlanmasında daha çok kullanılırlar. TSPI'ler, zincir uçlarında fonksiyonel gruplar bulunan tam imitleşmiş polimerin ileri derecelerde ısıtılması ile elde edilirler. Lif takviyeli kompozitler hazırlanırken lifler sıvı halde ki polimer ile ıslatılırlar ve daha sonra pişirme ile zincir uçlarında ki fonksiyonel gruplar üzerinden çapraz bağlanma gerçekleştirilir.

TSPI'ler; kimyasal açıdan inert, ısıya ve çevre koşullarına oldukça dayanıklı polimerlerdir. Bu üstün özellikleri nedeni ile elektronik ve otomobil endüstrisinde cam ve metal türü malzemeler yerine kullanılırlar. Yiyecek saklama kapları, yapıştırıcı, otomobil şasesi, elektronik devreler mikrodalga fırınlar için pişirme kapları ise diğer bazı kullanım yerleridir (Kirby, 1992).

Termoplastik polimer matrisler

Termoplastiklerin vurma dayanımları termosetlerden iyidir. Ancak sıvılardan etkilenmeleri ve uzun süreli yüklemelerde boyutlarının değişmesi polimerik kompozitlerde kullanımı sınırlar. Aşağıda polimerik kompozitlerde matris olarak kullanılan yüksek performanslı kompozitlerden bazıları incelenecektir.

1.1.1.2. Metal matrisler

Metal kompozitler polimerik kompozitlere göre:

- dış etkilere ve yüksek sıcaklıklara daha uzun süre dayanırlar
- modülleri ve akma dayanımları daha yüksektir.
- dayanıklılıkları çeşitli kimyasal ve mekaniksel yöntemlerle daha da arttırılabilir.

Uzay mekiklerinin, uçakların, elektronik aletlerin ve otomobillerin bazı parçalarının yapımında metal matrisli kompozitlerden faydalanılır. Metalik kompozitlerin dezavantajları; yüksek işleme sıcaklığı, yoğunluklarının yüksekliği, lif-metal arayüzeylerinde korozyona eğilimdir.

En önemli metal matrisler alüminyum ve alaşımlarıdır. Saf alüminyum korozyona karşı direncin arandığı alanlarda, alüminyum alaşımları ise birim kütle başına yüksek dayanım özelliğinin arandığı alanlarda kullanılırlar.

Alüminyum dışında titanyum, bakır, magnezyum vb. metaller kompozitlerin hazırlanmasında kullanılırlar (Onat, 2015).

1.1.1.3. Seramik matrisler

Seramik kompozitler $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-Li}_2\text{O}_2$, SiO_2 ve $\text{BaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-Si}_3\text{N}_4$ gibi seramik matrislerden hazırlanır. Takviye edici olarak ise Al_2O_3 , SiC , Si_3N_4 vb. maddeler kullanılır.

Seramik kompozitlerin içerisinde boşlukların bulunma olasılığı yüksektir. Bu boşluklardan geçen takviye lifleri, matris ile çevrilmemiş haldedirler, bu yüzden de kompozite uygulanacak yüklemelerde eğilebilir ve ya kırılabilirler. Bu problem seramik kompozitin içine bağlayıcı maddeler katılarak giderilebilir. Bağlayıcılar, kompozitteki boşlukları doldurur ve matris ile takviye lifleri ara yüzeyinde esnek bir tabaka oluşturarak matris-takviye edici yapışma düzeyini yükseltirler (Onat, 2015).

1.1.2. Kompozitlerde Kullanılan Takviye Malzemeleri

1.1.2.1. Lifler

Lif takviyeli kompozitler, özellikle uzay ve havacılık alanlarında kullanılmak üzere geliştirilmiş malzemelerdir. Uzay ve havacılık alanlarında kullanılan ilk

kompozitler alüminyum alaşımlarından hazırlanmıştır. Uçakların bazı parçaları hafiflikleri ve yüksek mekanik dayanımlarından dolayı alüminyum kompozitlerden yapılmıştır. Fakat alüminyum alaşımları korozyona ve metal yorulmasına uğrayabilen maddelerdir ve bu zayıf özelliklerinin iyileştirilmesi oldukça maliyetlidir. Lif takviyeli polimerik kompozitlerde korozyon gözlemlenmez ve malzeme yorulması metallerdeki kadar hızlı değildir.

Lifler demet haline getirildiklerinde yapımlarında kullanılan polimerin yığın haline göre daha dayanıklıdır. Lif demeti üzerine dışarıdan bir etki yapıldığında, liflerin yüzeylerinde çatlama, çizilme vb. kusurlar oluşabilir veya liflerden bazıları kopabilir. Dış kuvvetler karşısında alınan bu zararlar yalnız etkilenen liflerle sınırlı kalır ve demet içerisindeki başka liflere aktarılmaz. Yığın halindeki bir maddenin herhangi bir bölgesinde oluşan kusur malzeme içine ilerler ve sonuçta malzemeyi kullanılmaz hale getirebilir. Bu özellik lif takviyeli kompozitlerin üstün özelliklerinden birisidir.

Termoset polimerler yoğun çapraz bağları ve yüksek mol kütlesi nedeniyle kısa liflerle takviyeden fazla etkilenmezler. Aynı zamanda uzun liflerle takviyeye de uygundur. Genel olarak baktığımızda kompozitlerin mekanik dayanımları, içerisindeki lif miktarı arttıkça yükselir, lif oranı belli bir değere ulaştıktan sonra azalmaya başlar. Bunun sebebi ise, lif artışına bağlı olarak kompozit içerisindeki polimer miktarının azalmasıdır. Polimer, kompozit içerisindeki oranı belli bir değer altına düştüğünde matris işlevini kaybeder ve lifleri bir arada tutamaz.

Lif takviyeli polimerik kompozitler hazırlanırken lifler açısından bazı temel noktalara dikkat edilmesi gerekir. Bu noktalar:

- lif miktarı,
- lifin mekanik özellikleri,
- lif kalınlığı,
- lifin yönelme biçimidir (Onat, 2015).

1.1.2.2. Tanecikli takviye malzemeleri

Polimerik kompozitlerin hazırlanmasında takviye amacıyla lifler dışında, tanecikli malzemeler de kullanılmaktadır. Bunlar arasında karbonatlar, kil, mika, silikatlar, mikroküreler, tarımsal atıklar, lastik atıkları, metal tozları veya parçaları sayılabilir. Tanecikli takviye edicilerin maliyeti uygundur, kompozitlerinin yapımı

kolaydır ve karmaşık geometrili ürünlerde sorun oluşturmazlar. Döküm yoluyla üretilen bu tür kompozitlerde pratikte karşılaşılan problem, parçacık ilave edildiğinde tozların karıştırılma zorluğu ve eriyik viskozitenin düşmesi veya matrisin parçacıkları ıslatılamamasıdır. Bu nedenle de parçacık yüzeyine kaplama yapılması ve ısıtma işlemi uygulanması veya matris bileşiminin ayarlanması gibi metotlar uygulanmaktadır.

Partiküllü kompozitlerin birçok farklı formu vardır. Parçacıklar, çok küçük parçacıklar (<0.25 mikron), doğranmış elyaflar (cam gibi), içi boş küreler veya karbon nanotüpler gibi yeni malzemeler olabilir. Her durumda, tanecikler istenen malzeme özelliklerini sağlarlar. Partiküllü kompozitler birçok avantaj sunarlar:

- matris malzemesine takviye sağlayarak malzemeyi güçlendirir;
- takviye ve matris kombinasyonu, çok özel malzeme özellikleri sağlayabilir, örneğin, iletken takviyelerin bir plastik içine dahil edilmesi, biraz iletken olan plastikler üretebilir;
- partiküllü kompozitler için genellikle maliyeti düşüren enjeksiyon kalıplama gibi daha geleneksel üretim yöntemlerini kullanılabilir (Onat, 2015).

1.2. Kauçuk Ürünleri

1.2.1. Atık kauçuklar

Kauçuk, termoplastik elastik malzemeler ile ilişkilidir ve kauçuk ürünleri veya lastiklerin imalatı sırasında vulkanizasyonla termoset durumuna döndürülür ve üç boyutlu yapının oluşumu ile sonuçlanır. Bu durumda, kauçuk atıklarının geri dönüştürmek veya termoplastik malzemeler için kullanılan genel yöntemleri kullanarak bertaraf etmek zordur. Bu nedenle, kauçuk atıklarının geri dönüşümü çok önemlidir, çünkü atıklar biyolojik olarak parçalanamaz ve çevre üzerinde olumsuz etkileri vardır. Bunun dışında geri dönüştürülmüş kauçuk, ekonomik etkiye sahip yeni bir malzeme kaynağı olarak düşünülmelidir (Yehia, 2007).

Son zamanlarda, çevresel kaygıların artmasına paralel olarak araştırmacılar geri dönüşümlü ürünün kullanımına daha çok odaklanıyorlar (Aydın, 2015; Deve ark., 2005; Karabörk, 2012). Her ne kadar kauçuk endüstrisi çok olgun ve karmaşık bir sektör olsa da, 25'ten fazla jenerik tipte lastik (örneğin, doğal kauçuk (NR), stiren-bütadien kauçuk (SBR), nitril, etilen-propilendien monomer (EPDM) kauçuk, florokarbon kauçuk, silikon ve benzeri sayısız uygulama ve son kullanım için sayısız son ürün

çeşidinin (hortumlar, contalar, contalar, diyaframlar vb.) yapımında kullanılır, fakat lastiklerin yaptığı gibi piyasaya hakim olan tek bir lastik ürünü yoktur. Atık kauçukların önemli kısmını kullanılmış lastikler oluşturuyor. Bunun dışında, atık lastik eldivenler de dünya çapında üretilen atık lastik miktarına katkıda bulunmaktadır. Eldiven imalatında temel bileşen lateks ve kükürt, yüzey aktif madde gibi vulkanize edilmiş ajan gibi katkı maddeleridir. Tüm bu malzemeler potansiyel olarak çöpe atılır ve eldivenler çöp sahasındayken toprağı ve su kaynağını dolaylı olarak kirletmektedir. Ayrıca, kauçuk malzemenin vulkanizasyon işlemi yoluyla yüksek çapraz bağlı termoset yapısı, lastik eldivenin asitlere, alkalilere, kimyasal çözeltilere ve çevre maddelerine karşı yüksek direnç özelliklerine sahip olmasını sağlar, bu da maalesef lastik eldivenin parçalanmasını çok zorlaştırır. Dünyada atık lastik eldivenlerin artması, dünya nüfusu arasında sağlık bilinci konusundaki artan ve artan endişe nedeniyle artan eldiven talebi ile ilgilidir. Toplumlar, gıda hazırlığında eldiven giymek, insancıl faaliyetler, bahçecilik ve daha pek çok şey gibi kendini koruma konusunda daha fazla ihtiyatlı davranmaya neden olan güvenlik ve hijyen konularından endişe duyuyorlar. Lastiklerin ve eldivenlerin yanı sıra, dünya genelinde kauçuk atık sayılarına katkıda bulunan diğer kauçuk atıkları, örneğin otomotiv hurdalarından ve lateks köpük bazlı malzemeler gibi endüstriyel kauçuk atıklarından kaynaklanan SBR olarak adlandırılan stiren bütadien kauçuğudur (Nuzaimah ve ark., 2018).

Kauçuk geri dönüşüm için aşağıdaki küresel tahminler verilmiştir:

- ömrünü tamamlamış ve geri dönüştürülmüş toplam kauçuk miktarı: % 3–15;
- bir şekilde yeniden kullanılan atık kauçuk miktarı (örneğin, kaplama, yeni ürünler vb.):% 5–23;
- enerji geri kazanımı için tüketilen atık kauçuk miktarı:% 25–60;
- depolama sahasına gönderilen veya stoklanan atık kauçuk miktarı: %20–30(Forrest, 2014).

Atık kauçuk, geri dönüştürülmüş olan atık malzemelerden biridir ve inşaat mühendisliği, lastik üretimi, polimer kompozit, enerji kaynağı ve daha pek çok alanda kullanılmaktadır. Kauçuk ürünlerinin özellikleri doğrudan mikro yapılarına bağlı olup genellikle elastomerik zincirler (ayrıca doğal kauçuk, polimer veya reçine olarak da adlandırılır) ve dolgu maddeleri/ilavelerinden oluşur ki bu da sürekli ve homojen bir polimerik kompozit oluşturur. Kauçuk bazlı ürünler genellikle karbon karası (CB), çökeltilmiş silika (PS), kil, kalsiyum ve/veya karbonat gibi dolgu maddeleri kullanılarak üretilir. Dolgular, esnek bir dolgu ağı ve güçlü bir polimer-dolgu bağlanması

oluşturarak polimerlerin gücünü artırır. Sertleştirici dolgu maddeleri (özellikle CB ve silika) polimer zincirleri arasındaki dolaşma ve kopma mukavemetini artırır ve kauçuk sertliği, ayrıca çekme ve yırtılma mukavemeti, aşınma direnci, sertlik, ısıl kararlılık ve kopma modülünü geliştirir(Medina ve ark., 2018).

Kauçuk atıklarının kullanımındaki yeni eğilimlerden bazıları aşağıda verilmiştir:

- 1-Hurda kauçuk tozu, mekanik-kimyasal yöntemle geri kazanılabilir. Elde edilen geri kazanım iyi kalitede olup kauçuk endüstrisinde kullanılabilir.
- 2-Elde edilen geri kazanımlar, kauçuk vulkanizatlarının temel özelliklerine zarar vermeden, işlenmemiş kauçuğun %10-30'unun yerini alabilir. Bir maliyet azaltma gerçekleştirilebilir.
- 3-Yüzey işlem görmüş hurda kauçuk tozu, kauçuk vulkanizatlarının fiziko-mekanik özelliklerini bir dereceye kadar iyileştirir ve vulkanizatların ana özelliklerini kırmadan karbon karasının%20-40'ının yerini alabilir. Burada yine maliyet azalması sağlanabilir.
- 4-Sülfonatlı kauçuk tozu, endüstriyel suyu ağır metallerden temizlemek için iyon değiştirici olarak kullanılabilir. Sodyum tuzu formunun etkinliği asit formundan daha yüksektir.
- 5-İnce hurda kauçuk tozu ile modifiye edilmiş asfalt, yolun kaldırım performansını, özellikle de kimyasal olarak modifiye edilmiş kauçuk tozu asfaltını büyük ölçüde geliştirir (Yehia, 2007).

1.2.2. Atık lastikler

Faydalı ömrünü tamamladığı belirlenerek araçtan sökülen, orijinal veya kaplanmış, bir daha araç üzerinde lastik olarak kullanılamayacak durumda olan veya üretim esnasında ortaya çıkan ıskarta lastiklere “atık lastik” denir. Atık lastiklere “ömrünü tamamlamış lastik”, kısaca “ÖTL” de denir (Aydın, 2015).

Dünyada artan araç sayısı, her yıl dünya çapında yaklaşık 1.4 milyar lastiğin satışına katkıda bulunmaktadır. Her yıl ABD'de yaklaşık 3.3 milyon ton lastik üretildiği tahmin edilirken, Avrupa Birliği'nde 2.5 milyon ton ve yalnızca İngiltere'nin 0,5 milyon ton olduğu tahmin edilmektedir. Avrupa'nın her yıl 355 milyon lastik ürettiğini ve tahmini stokların 5.5 milyon ton olduğunu bildirilmiştir (Forrest, 2014; Presti, 2013).

Büyük bir kısmını karayollarında kullanılan araçların oluşturduğu atık lastiklerle ilgili problemler önemli bir çevre sorunu yaratmaktadır. Günümüzde ömrünü

tamamlamış taşıt lastikleri, değersiz bir atık konumundadır. Ayrıca, çevre kirliliğine neden olmakta ve insan sağlığı ile doğal dengeyi olumsuz bir şekilde etkilemektedir. Bu sorunları ortadan kaldırmanın en etkin yollarından biri, atık lastiklerin yeniden işlenerek farklı biçimlerde değerlendirilmesidir. Farklı boyut ve şekillere dönüştürülerek kullanımı, birçok gelişmiş ülkede atık lastiklerin yönetimi ile ilgili sorunları büyük ölçüde azaltmıştır.

Sekhar (2014) tarafından yapılan bildiriye, atık lastiklerin bugün temsil ettiği küresel sorunu vurgulayan aşağıdaki rakamlar gösterilmiştir:

- Dünya’da yaklaşık 1.1 milyar araç var;
- yılda 1.7 milyar yeni lastik üretiliyor;
- yılda 1 milyardan fazla atık lastik çıkıyor.

Dünya ekonomisi tarafından tüketilen büyük miktardaki doğal kauçuk (NR) ve stiren-bütadien kauçuğu (SBR), bunların ana “lastik kauçukları” olmalarından kaynaklanmaktadır. Lastik sırt bileşikleri (özellikle binek araç ve kamyonları), genellikle bu iki dien tipi lastike dayanan, bazen esnek çatlama direnci gibi özellikleri geliştirmek için ilave bir miktar başka dien kauçuğu (polibütadien) içeren kükürtle sertleştirilmiş bileşiklerdir (Forrest, 2014).

1.2.2.1. Atık lastiklerin oluşturduğu sorunlar

Türkiye, sanayileşmenin ve doğal kaynakların bilinçsiz kullanımının yarattığı çevre kirliliğinin etkisini son yıllarda daha fazla hissetmeye başlamıştır. Ülkemizde motorlu araç sayısındaki artışa paralel olarak kullanılmış araç lastiğinden kaynaklanan çevre kirliliği de artmaktadır. Bu sorun Türkiye’de olduğu gibi Dünya’da da çözüm beklemektedir. Bir tek kamyon lastiği üretmek için yarım varil ham petrole ihtiyaç vardır. Lastiklerin bakımı doğru yapılarak yeni lastik yapımı için gerekli olan ham madde ve enerjiden tasarruf edilebileceği gibi lastik üretimi sonucu oluşan hava kirliliği de önlenebilir.

Atık lastiklerin oluşturduğu en büyük tehlike kontrolsüz yangınlara sebep olmasıdır. Yangınlar başladıktan sonra açığa çıkan yüksek ısı ve yoğun dumandan dolayı kontrol altına almak ve söndürmek son derece güç olmaktadır. Ortalama bir lastiğin petrokimyasal içerik eşdeğeri 9.5 litre yağdır. Yüksek yağ içeriği nedeniyle lastik yangınları aylarca sürmekte, zehirli gazlar açığa çıkmaktadır. Lastiklerin yanması sonucu atmosfere yüksek miktarda zararlı bileşikler yayılmaktadır. Lastik yangınları,

köpük veya su ile söndürülmeye çalışıldığında hava, toprak ve su kirliliği yaratmaktadır. Bir diğer tehlike, atık lastiklerin sivrisineklerin yaşamasına ve çoğalmasına uygun bir ortam yaratması ve dolayısıyla sivrisineklerden bulaşan salgın hastalıkların yayılmasına neden olmasıdır. Yağmurdan sonra yığınaklarda üreyen zararlı böceklerin larvaları ve salgıları ile çevreye yayılarak şiddetli çocuk hastalıklarına neden olmaktadır (MEGEP, 2011).

1.2.2.2. Atık lastiklerin geri kazanımı

Ülkemizde atık lastikler genel olarak dört farklı şekilde değerlendirilmektedir:

- **Doğrudan değerlendirme:** Lastiklerin hiçbir işleme tabi tutulmadan oldukları gibi inşaatlarda güçlendirme malzemesi olarak, yarış pistlerinin kenarlarında güvenlik bariyeri olarak, iskelelerde tekne ve gemilerin gövdelerinde ise tampon olarak kullanılır.
- **Malzeme olarak değerlendirme:** Bu yöntemde iki farklı uygulama yapılmaktadır. Lastik kaplanarak yeniden kullanıma geçirilir. Lastiklerin tekrar kaplanmasının ekonomiye yaptığı katkının yanında atık lastik depolama alanlarındaki aşırı yığılmayı azaltması yönünden de faydası vardır. Diğer bir uygulamada toplanan hurda lastikleri oluşturan kauçuk, çelik ve lifler geri kazanım tesislerinde ayrıştırılır. Bu malzemelerin her biri yeniden kullanılır.
- **Termik değerlendirme:** Kauçuğun kaliteli bir kömüre eşdeğer enerji değeri vardır. Bu nedenle çimento fabrikaları, termik santral gibi tesislerde yakıt olarak da kullanılmaktadır.
- **Ham madde olarak değerlendirme:** Bir lastikten ortalama 4 litre yağ, 3 kg karbon siyahı, 1,5 kg gaz, 1 kg çelik ve kül elde edilir. Elde edilen yağ ve gaz, düşük kaliteli yakıt olarak yeniden kullanılır. Ayrıştırılan çelik teller de yeniden kullanılmaktadır (Şekil 1.1) (MEGEP, 2011).

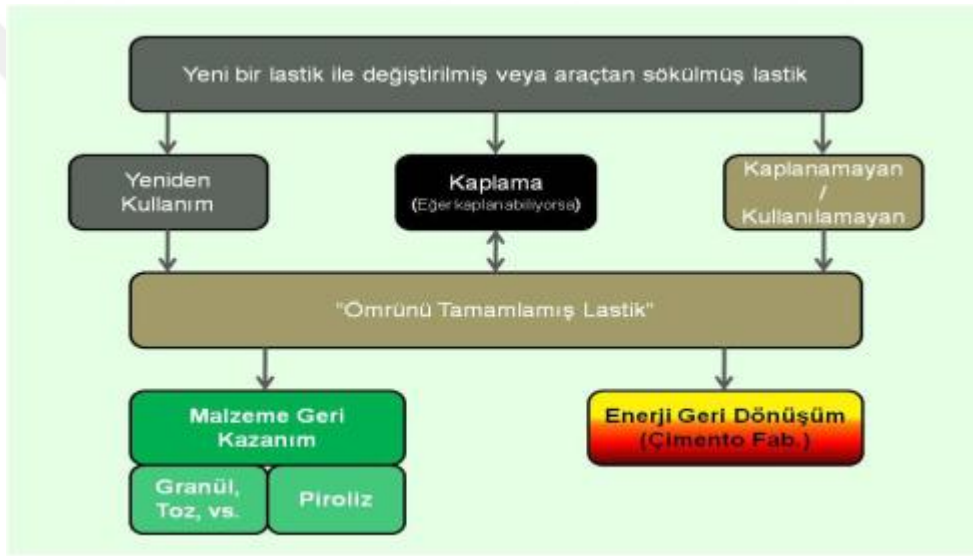
Lastik Sanayicileri Derneği (LASDER), 30 Aralık 2009 tarihinden itibaren Çevre ve Şehircilik Bakanlığınca üyeleri adına, Türkiye’de ömrünü tamamlamış lastiklerin (ÖTL) yönetiminden “yetkili kuruluş” olarak kabul edilmiştir. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı verilerine göre 2015 yılında yenileme pazarına 315 000 ton lastik satılmıştır. Bu miktarın yaklaşık %60’lık kısmı LASDER üyelerinin yenileme pazarına

sattığı miktar olup bu lastiklerin geri kazanım/geri dönüşümünün sağlanması ekonomi ve çevre açısından çok önemlidir (Anonim 1).

Yakma, çöplüklere bırakma, bariyer ya da koruyucu set olarak kullanma, granül şeklinde, taban malzemesi olarak kullanma ÖTL'ler için uygulanan geri değerlendirme yöntemleridir. Atık lastiklerin malzeme geri kazanımı tanecik boyutu küçültme, elektrik ark fırınlarında kullanma, devulkanizasyon ve ısı bozundurma işlemleri ile gerçekleştirilmektedir (UNEP, 2008). Atık lastikler, tanecik boyutu küçültülerek endüstride çeşitli şekillerde kullanılabilirler. Tanecik boyutu küçültme; kesme, parçalama, yongalama, granül haline getirme ve toz haline getirme işlemleri ile gerçekleştirilebilir. Tanecik boyutu küçüldükçe proses için gerekli olan enerji ihtiyacında artış olmaktadır. Endüstride daha çok içerisindeki çelik ve tekstil kuşaktan arındırılmış granül ve toz halindeki lastikler kullanılmaktadır. Granülleme işlemi kriyojenik veya atmosferik koşullarda yapılabilir. Elde edilen ürün piyasada yeniden kauçuk olarak kullanılacak nitelikte yüksek miktarda kauçuk içermektedir. Bu kauçuk, plastik ve inşaat endüstrisinde kullanılabilir. Ülkemizde de en çok kullanılan malzeme geri kazanım yöntemi, lastiğin taneciğinin küçültülerek değerlendirilmesine yöneliktir. LASDER'in pazara girmesiyle sağlanan güven ve sürdürülebilirlik ile bu gün Türkiye'de 30'un üzerinde lisanslı geri kazanım firması olmuş, en az 15 çimento fabrikası da ÖTL'yi alternatif yakıt olarak kullanmaktadır. LASDER, her yıl 100 000 tonun üzerinde kota miktarı ÖTL'yi tüm Türkiye genelinde toplayarak geri kazanımını sağlamaktadır (Anonim 1).

Tanecik boyutu küçültülmüş kauçuğun en yaygın kullanım alanı inşaat sektörüdür. Kauçuk katılmış beton, agrega ve asfalt yapımı ile ilgili çeşitli uygulamalar bulunmaktadır. Yapılan çalışmalar, kauçuğun özellikle asfalt yapımında kullanıldığında asfaltın kalitesini artırdığını, düşük sıcaklık yüzünden oluşan asfalt çatlaklarını ve yüksek sıcaklık nedeniyle oluşan tekerlek izlerini azalttığını, buzlanmaya karşı daha etkili olduğunu, trafikte oluşan ses kirliliğini azalttığını ve en önemlisi asfaltın kullanım ömrünü uzattığını ortaya koymuştur. Aynı şekilde, yapılan çalışmalar kauçuk kullanılmış betonlarda ısı ve ses yalıtımında verim artışı olduğunu, ısı iletim katsayısının aynı ağırlıktaki normal betonlara göre daha düşük çıktığını ve sektörde kullanılan diğer ısı yalıtımı iyi olan betonlarla aynı yoğunluk ve dayanıklılık özelliklerine sahip olduğunu göstermiştir (Koçak ve Alpaslan, 2011; Tosun ve Fırat, 2016).

Atık lastiklerin elektrik ark fırınlarında kullanımı oldukça yeni olmakla beraber, ABD’de ilk kullanımı 2003 yılında gerçekleşmiştir. Japonya’da ise, atık lastiklerin elektrik ark fırınlarında değerlendirilmesi oldukça popüler olmakla beraber, atık lastiklerin %15’i elektrik ark fırınlarında değerlendirilmektedir. AB’de ise, kullanım miktarı ABD’den daha düşüktür. Bu yöntemde, atık lastikler yüksek karbonlu çelik üretimi için karbon ve çelik kaynağı olarak kullanılmaktadır. Bu işlem, sıcaklığı 1650°C’den daha yüksek olan elektrik ark fırınlarında yapılmaktadır. Atık lastikler elektrik ark fırınları için yüksek karbon, çelik ve ısıl değer miktarı ile oldukça yararlıdır. Bu işlemin bir diğer ilgi çekici yönü ise, elektrik ark fırınlarının bütün halinde olan lastikleri bile kullanıyor olabilmesidir (Gönüllü, 2004; Amari ve ark., 1999).



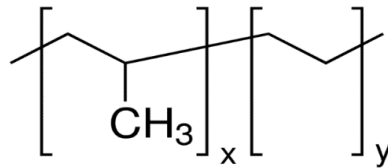
Şekil 1.1. Atık lastiklerin geri kazanım süreci şeması (Aydın, 2015)

Diğer bir işlemde, atık lastiklerin yanabilir kısmı enerji kaynağı olarak kullanılırken bir kısım karbon (ağırlıkça lastiğin %68’i) ve çeliğin büyük kısmı (ağırlıkça lastiğin %12’si) yeni çelik üretimi için kullanılırlar. Bu prosesin en büyük avantajı karbon, çelik ve kauçuğun tamamının geri kazanılıyor olmasıdır. Fakat işletim maliyetleri oldukça yüksektir (Isayev, 2005; Goodman ve Walter, 1991).

Devulkanizasyon işlemi, mekanik, ısıl ve kimyasal işlemler ile kauçuğun tekrar karıştırılabilir, işlenebilir ve vulkanize edilebilir hale getirilmesidir. Bu işlemde amaç karbon-kükürt bağlarının kırılmasıdır. Elde edilen kauçuğa “rejenere kauçuk” da denilmekle beraber, mekanik özellikleri normal kauçuğa göre daha kötü olduğundan kullanımı sınırlıdır (Karabörk ve Akdemir, 2013).

1.2.3. Etilen propilen dien kauçuk (EPDM)

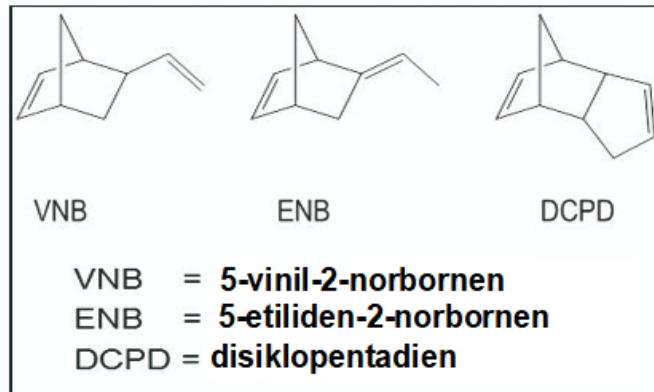
Etilen-propilen kopolimeri, koordinasyon katalizörlerinin varlığında etilen ile propilenin kopolimerizasyonu ile üretilmekte olup amorf ve tamamen doymuş bir yapıdadır (Şekil 1.2). Kopolimer organik peroksitlerle çapraz bağlar oluşturur. Diğer polimerlerle karışabilme olanağı yoktur. Bu şekilde vulkanize edilmiş kopolimer oksidasyon, ısı ve ozona karşı mükemmel dayanım gösterir.



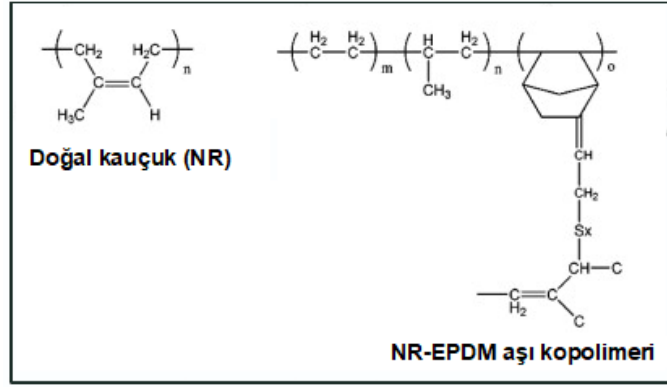
Şekil 1.1. Etilen -propilen kopolimerinin kimyasal formülü

Formülden görüldüğü gibi, etilen ve propilenin kopolimerizasyonu sonucu tamamen doymuş bir yapı oluşmakta, yani ana zincirde çift bağ bulunmamaktadır.

Terpolimer EPDM, etilen ve propilenin yanı sıra üçüncü bir dienin reaksiyona katılması ile meydana gelmektedir (Şekil 1.3). Dienen reaksiyona katılması sonucu zincirde çiftbağ, yani doymamışlık oluşmaktadır. Bu durum peroksitlerin yanı sıra kükürtle vulkanizasyonu ve diğer polimerlerle aşılama imkanını sağlamaktadır (Şekil 1.4).



Şekil 1.2. EPDM sentezinde kullanılan dien monomerleri (van Duin ve ark., 2019)



Şekil 1.3. EPDM'nin doğal kauçukla aşı kopolimeri (Nabil ve ark., 2013)

EPDM kauçuklarının genel özellikleri

EPDM, kimyasal yapısı gereği sıcaklığa, havaya, ozona, ışığa, oksidasyona ve suya mükemmel direnç gösterir. Sülfür ile vulkanize edilmiş EPDM kauçuklarında uygun sülfür hızlandırıcısının seçilerek 120⁰ C'a kadar ısıl yaşlanma direnci ve maksimum kullanım sıcaklığı elde edilebilir. Benzer şekilde peroksit karışımı seçilerek 150⁰ C'a kadar ısıl direnç ve maksimum kullanım sıcaklığı elde edilebilir. Metallerle yapışabilme özelliği çok iyi olmamakla birlikte, mükemmel elektrik yalıtımı, -50⁰ C'a düşük sıcaklık dayanımı vardır. Yüksek dolgu ve yağ alabilme özelliğinden dolayı düşük maliyette karışımlar oluştururlar. Sulu ve konsantre asit ve alkalilere dayanıklılık gösterirler. Düşük yoğunluklu oldukları için hafif malzemeler üretmek mümkündür. Ayrıca, iyi sayılabilecek kopma mukavemeti, aşınma direnci ve yırtılma direnci vardır. Ancak yağa karşı direnci ve alev direnci oldukça sınırlıdır. EPDM kauçuğunun mineral, yağ ürünleri, yağlayıcılar, yağlar ve petrol ürünleri ile kullanımı uygun değildir. Özellikle petrol ürünlerine karşı dirençsiz olması onun otomobil uygulamalarında kullanımını sınırlar. EPDM'in günlük yaşamda kapı ve cam fitili, sünger fitili, radyatör ve ısıtma hortumları, beyaz eşya körük ve contaları, konveyör kayışları, tank kaplama ve silindir kaplamada kullanılmakla birlikte hayatımızın bir çok alanında uygulamaları mevcuttur (Stark, 2004; Dhakalve ark. 2006; Demirer ve ark., 2019).

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Literatürde epoksi reçinenin kompozit yapımında kullanımı ile ilgili çok sayıda araştırma vardır. Genelde bu kompozitlerin farkı kullanılan takviye maddeleri ve reçine modifikatörlerinden kaynaklanmaktadır. Atık lastiğin değerlendirilmesi konusundaki çalışmalar ise ağırlıklı olarak devulkanizasyon üzerine ve kauçuğa katkı konusundadır. Polimer tüketimini azaltmak için kauçuğun kütsel hacmini artırmaya ve aynı şekilde, üretim maliyetlerini dolgu maddesi ekleyerek azaltmaya yönelik çalışmalar artmaktadır (Medina ve ark., 2018). Atık lastiğin epoksi reçinede takviye malzemesi olarak kullanılmasına ilişkin literatürde sınırlı sayıda çalışma olup bunlardan birisi Ahmetli ve ark. grubu tarafından yapılmıştır (Ahmetli ve ark., 2014).

EPDM'ler, yüksek dolgu ve yağ alabilme özelliğinden dolayı düşük maliyette karışımlar oluştururlar. Düşük yoğunluklu oldukları için hafif malzemeler üretmek mümkündür. Ayrıca iyi sayılabilecek kopma mukavemeti, aşınma direnci ve yırtılma direnci vardır. Ancak yağa karşı direnci ve alev direnci oldukça sınırlıdır. Günümüzde, etilen-propilen-dien monomer (EPDM) gibi elastomerler, düşük ısı iletkenliği, yüksek termal stabilite ve düşük yoğunlukları nedeniyle geleneksel olarak ısı yalıtım malzemeleri için yoğunluklu matris olarak kullanılmıştır. Bu tür elastomer bazlı termal yalıtkanın performansını geliştirmek amacıyla birçok dolgu maddesi matris sisteme geniş çapta dahil edilmiştir. EPDM'nin dolgu olarak kullanılması üzerine çalışmalar da gittikçe önem kazanmaktadır. Bu çalışmalarda çimento, alçı, bitüm, polipropilen, polietilen gibi matrislerin kullanıldığı görülmüştür (Li, 2008).

Payne (1994) yaptığı çalışmada kauçuk geri dönüşümünün sağladığı avantajlar ve devulkanize kauçukla orijinal kauçuk karışımının kullanım yerleri hakkında bilgi vermiştir.

Smith ve ark. (1995) atık lastiklerin geri kazanımı üzerine yaptıkları çalışmada, atık lastik fiyatının 0,33-0,66 \$/kg olduğunu belirtmişlerdir. Bu tür düşük fiyat, atık lastikten kauçuğun tam geri kazanılamamasına bağlıdır. Gelişmekte olan teknolojilerle atık lastiğin yüzeyi klor gazı ile işlenerek atık lastik özelliklerinde iyileşme elde edilebilir. Yüzeyi işlenmiş malzeme fiyatı ise 1,1-1,43 \$/kg aralığındadır. Bu tür düşük hammadde maliyetleri, atık lastiğin polimerlerin fiziksel özelliklerinin iyileştirilmesinde yeni takviye malzemesi olarak kullanılmasına imkan sağlamaktadır.

Kaynak ve ark. (2001) yaptıkları çalışmada digisidil eter bisfenol-A (DGEBA) tipi epoksi reçinede hurda araba lastiği kullanarak kompozitler elde etmişlerdir. Lastik parçacıkları ile epoksi arasında ara yüzey uyumluluğunu geliştirmek için takviye malzemesine 5 farklı yüzey işleme tekniği uygulanmıştır. Bunlar, oksijen plazma, 2 farklı silan bileşiği, krilik asit ve akrilik asit/benzoilperoksittir. Takviye malzemesi epoksi reçineye %5 ve %25 oranında katılmıştır. Kırılma tokluğu değerinde en iyi sonuç %5 lastikle elde edilmiştir, fakat her 2 oranda da kompozit için bu değer saf epoksiye göre yüksek olmuştur.

Fukumori ve ark. (2002) yaptıkları çalışmada kamyon lastiklerine %10 devulkanize kauçuk katılması durumunda orijinal lastikle aynı aşınma özellikleri gösterdiğini ifade etmişlerdir.

Kaynak ve ark. (2003), diğer bir çalışmada silan bağlama ajanlarını DGEBA tipi epoksi-kauçuk ara yüzeyini iyileştirmek için kullanmışlardır. Kütlece %2 silan bileşiği ile modifiye edilmiş %5 oranında kauçuk epoksi reçineye takviye olarak katılmıştır. Çalışmada 7 farklı silan bileşiği denenmiştir. Sonuçlar, modifiye edilmemiş kauçuğun epoksi reçinenin Young modülünü, mukavemet ve gerilimini düşürdüğünü göstermiştir. Silan bileşikleriyle kauçuğun modifiye edilmesi özellikle reçinenin gerilme direnci ve Young modülü değerlerini arttırmıştır. Kauçuk parçacıklarının modifiye edilmeden önceki ve sonraki yapıları SEM ile incelenmiştir.

Kullanılan kauçuk lastiklerin geri kazanım metotları üzerine yapılan diğer çalışmada atık lastiklerin $\frac{3}{4}$ 'ünün yakıt olarak kullanıldığı belirtilmiştir. Geri kazanımda piroliz ve devulkanizasyonun en önemli metotlar olduğu rapor edilmiştir (Amari ve ark. 1999; Isayev, 2005).

Khan ve ark. (2009), yaptıkları çalışmada EPDM kauçuğun içine katılacak politetrafloretillen tozu ile aşınma ve sürtünme özelliklerinin iyileştiğini ifade etmişlerdir.

Wu ve Zhou (2009) atık lastiğin yağ absorpsiyonunda değerlendirilmesi üzerine çalışma yapmışlardır. Absorbanları elde etmek için aşı kopolimerizasyon-karıştırma metodundan yararlanılmıştır. Kopolimerizasyonda divinilbenzen çapraz bağlayıcı, benzoil peroksit başlatıcı olarak kullanılmıştır. Sentezlenen bileşiklerin FTIR ve TGA analizleri yapılmıştır. Absorban için maksimum kapasite 24 g/g olarak bulunmuştur.

Atık lastik yüzeyinin UV ışınlarla modifikasyonu ve kompozit özelliklerine etkisi Shanmugaraj ve ark (2005) tarafından araştırılmıştır. UV ışınlama allilamin ve radyasyon hassasiyetini artırıcı benzofenon kullanılarak yapılmıştır. Kompozit

yapımında matris olarak polipropilen ve maleik anhidritle aşılınmış polipropilen tercih edilmiştir. Işınlama sonucu polimerin gerilme direnci ve çekme uzamasında artış gözlenmiştir. UV ışınla modifiye lastiğin yapısı FTIR, EDX ve SEM analizi ile aydınlatılmıştır.

Garcia ve ark. (2007) kompozit yapımında atık lastik kauçuğu ile farklı parçacık boyutlarındaki pirinç kabuğunu kullanmışlardır. Kompozit özelliklerine pirinç kabuğunun boyut ve miktarının etkisi incelenmiştir. Mekanik özelliklerde en iyi sonuç, pirinç kabuğunun atık lastik boyutları ile aynı olan (0,3 mm) kompozitlerinde görülmüştür. Kompozitlerin yüzey morfolojisi SEM ve optik mikroskopla incelenmiştir. Genel olarak, pirinç kabuğu oranının artması, Young modülünü arttırmış, fakat gerilme direncini ve % uzama değerlerini azaltmıştır.

Diaconescu ve ark.(2013) tarafından epoksi reçinesi, lastik tozu ve iki çeşit agrega (0-4 mm sınıf I ve 4-8 mm sınıf II) ile polimerik beton hazırlanmıştır. Dolgu ve reçine içeriğinin toz halindeki lastik atıklarıyla polimer betonun mekanik özellikleri üzerindeki etkisini araştırılmıştır. ROPOXIDE tipi epoksi reçineye farklı oranlarda atık lastik tozu ve 2 farklı tür (0-4 mm ve 4-8 mm uzunlukta) doğal katkı malzemesi ilave ederek 10 kompozisyon oluşturmuşlardır. Epoksi reçine sertleştiricisi olarak poliamidoamin kullanılmıştır. Kompozisyonların basınç dayanımı, eğilme dayanımı ve çekme dayanımı gibi mekanik özellikleri incelenmiştir. Kompozitlerin yüzey morfolojileri SEM ile aydınlatılmıştır. Kompozitlerin mekanik özellikleri Portland çimentosu ile karşılaştırılmış, atık lastik içeren polimer kompozitin gerilme dayanımını daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. 0.215 (kısım ağırlık) epoksi reçinesi ve 0.3 (kısım ağırlık) lastik tozu içeren bir bileşim için maksimum basınç dayanımı elde edilmiştir. 0.24'lük bir reçine dozu ve 0.17'lik bir lastik tozu dozu için maksimum çekme dayanımı elde edilmiştir.

Ahmetli ve ark.(2014)lastik atığı (TW) tozunu 2 farklı epoksi reçinede dolgu olarak kullanmış, dolgu miktarı ve epoksi reçine türünün kompozitlerin mekanik özellikleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Çekme mukavemeti ve Young modülü, bisfenol-A tipi epoksi reçine(NPEL) kompozitlerinin bisfenol-F tipi epoksi reçine(NPEF) kompozitlerden genellikle daha yüksek olduğu görülmüştür. Her iki tip kompozitte TW için uygun kütle oranının %20 olduğu bulunmuştur. 14 günlük daldırma için NPEL/TW ve NPEF/TW kompozitlerinin denge su emilimi sırasıyla %0.10 ve %0.21 olarak belirlenmiştir. Kompozitlerin karakterizasyonu için Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ve X ışını kırınımı (XRD) kullanılmıştır.

Aydın(2015), lastik atığı tozunu 2 farklı epoksida kullanarak kompozitlerin mekanik özelliklerine sıcaklık ve su sorpsiyonunun etkisini araştırmışlardır. 7 günlük suya daldırma süresince 1, 3 ve 7. günlerde kompozitler sudan çıkarılarak mekanik testler yapılmış, suda bekletmenin çekme dayanımını ve Young modülünü azalttığı tespit edilmiştir. Sıcaklık etkisini incelemek için oda sıcaklığı, -18°C ve toplam 7 gün süre seçilmiştir. -18°C 'daki numunelerde de süre arttıkça çekme dayanımında ve Young modülünde azalma görülmüştür.

Corredor-Bedoya ve ark.(2017) yaptıkları çalışmada, havadaki ses yalıtım potansiyelini karakterize etmek amacıyla yapıştırıcı harç ve hurda lastiği kauçuk parçacıklarından oluşan kompozit malzemeler incelenmiştir. İki farklı granülometriye sahip (ağırlıkça %10, %15 ve %25) kauçuk parçacıkları içeren kompozitler (18 - 35 mesh ve 35 - 60 mesh arası) hazırlanmış ve akustik özellikler, iletim kaybı ve ses emilimi göz önüne alınarak değerlendirilmiştir. Sonuçlar, kauçuk parçacık boyutunun ve harç/kauçuk oranının her iki akustik özellik üzerinde bir etkisi olduğunu göstermiştir. Kompozitler, saf harca göre daha düşük yoğunluk değerleri göstermiştir. %15 kauçuk partikül içeren kompozitler, incelenen tüm frekans aralığında saf harca kıyasla daha yüksek iletim kaybı değerleri sunmuştur. %25 oranında kauçuk içeren kompozitler, saf için gözlemlenenden daha yüksek ses emme katsayısı değerleri sunmuşlardır. Kompozitlerin saf harç ile karşılaştırıldığında daha düşük gerilme bağ dayanımı değerlerine sahip oldukları tespit edilmiştir.

Aoudia ve ark.(2017), atık lastik tozunun geri dönüşüm çalışmasını yapmış ve kauçuğu devulkanize ederek ve termoset reçine kullanarak kompozit üretmişlerdir. Lastik tozunun devulkanize edilmesi için mikrodalga elektromanyetik enerji kullanılmıştır. FTIR analizi, işlem sırasında kükürt-kükürt (SAS) ve karbon-kükürt (CAS) bağlarının koptuğunu ortaya çıkarmıştır. Şişme analizi, mikrodalga işleminin çok önemli derecede devulkanizasyona yol açabileceğini göstermiştir. Öğütülmüş lastik kauçuğu (GTR) ve devulkanize öğütülmüş lastik kauçuğu (DGTR) daha sonra epoksi bazlı kompozitler hazırlamak için ayrı ayrı kullanılmıştır. DGTR ile takviyelendirilmiş epoksi kompozitlerin, GTR ile dolgu yapılmış olanlardan daha iyi mekanik özelliklere sahip olduğu görülmüştür.

Abu-Jdayil ve ark. (2016) kauçuk atık parçacıkları içeren doymamış polyester kompozitlerin mekanik özelliklerini araştırmışlardır. Bu çalışmadaki temel amaç, kabul edilebilir mekanik performansa sahip bir yalıtım malzemesi olarak polyester-kauçuk kompoziti formüle etmek ve geliştirmek idi. Lastik partikül oranının basınç ve çekme

dayanımı üzerindeki etkisini belirlemek için hacimce %5, %10, %15, %20, %25, %30, %35 ve %40 dolgu oranları kullanılmıştır. Deney sonuçları, kauçuk parçacıklarının polyester matris ile karıştırılmasının, kompozitin hem basınç, hem de çekme dayanımını ve modüllerini azalttığını ortaya koymuştur. Kauçuk içeriği arttıkça, polyester reçineye karşı düşük hidrofiliğinden dolayı kauçuk parçacıklar ve polyester arasındaki çapraz bağlanma derecesinin azaldığı ve kompozit dayanımında gözle görülür bir azalmaya neden olduğu görülmüştür. Diğer taraftan, tüm incelenen kauçuk içerikleri için kauçuğun parçacık büyüklüğü ne kadar büyük olursa, kompozitlerin dayanımı ve elastikiyet modülününe kadar düşük olduğu sonucuna varılmıştır.

Singh ve ark.(2017) tarafından modifiye edilmiş EPDM kauçuk içeren epoksi-cam elyaf takviyeli nanokompozitler geliştirilmiş darbe dayanımı için üretilmiştir. Nanokompozitlerde ağırlıkça %1 nanokil ve ağırlıkça %2.5-10 EPDM (hem işlenmemiş, hem de modifiye edilmiş) kullanılmıştır. Maksimum darbe dayanımı %5 EPDM oranı ile elde edilmiştir.

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Kullanılan Kimyasal Malzemeler

3.1.1. Ticari epoksi reçineler

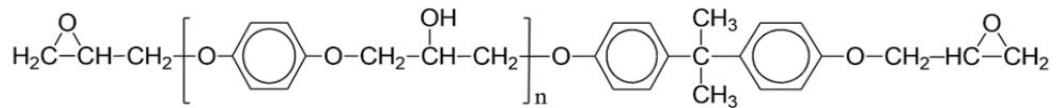
Bu tez çalışmasında 3 farklı ticari epoksi reçine, %50-%50 (1:1) oranında ikili karışımlar halinde kullanılmıştır.

- NPER 450 (kauçukla modifiye epoksi reçine)
- NPEK 114 (bisfenol-A tipi epoksi reçine)
- NPER133L (poliüretanla modifiye epoksi reçine)

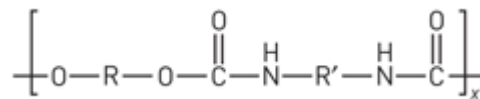
Çalışmamızda kullandığımız reçinelerin özellikleri Çizelge 3.1’de, NPEK 114 kodlu bisfenol-A tipi epoksi reçinenin kimyasal formülü Şekil 3.1’de, NPER 133L kodlu reçinede kullanılan poliüretanın genel formülü ise Şekil 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. NPEK 114, NPER133L, NPER450 reçinelerinin özellikleri

Özellikleri	NPEK 114	NPER 133L	NPER 450
Fiziksel hal	Sıvı	Sıvı	Sıvı
Epoksi eşdeğer ağırlığı (g/eq)	190~210	195~240	450~500
Renk (gardner)	1.0 max	1.0 max	12.0 max
Hidrolize klor içeriği (ppm)	0-400	-	-
Parlama noktası (°C)	>150	-	-
Viskozite (cps at 25 °C)	550-750	10000-16000	250000-400000
Yoğunluk (g/cm ³ 25 °C)	1.16	-	-



Şekil 3.1. Bisfenol-A tipi epoksi reçine



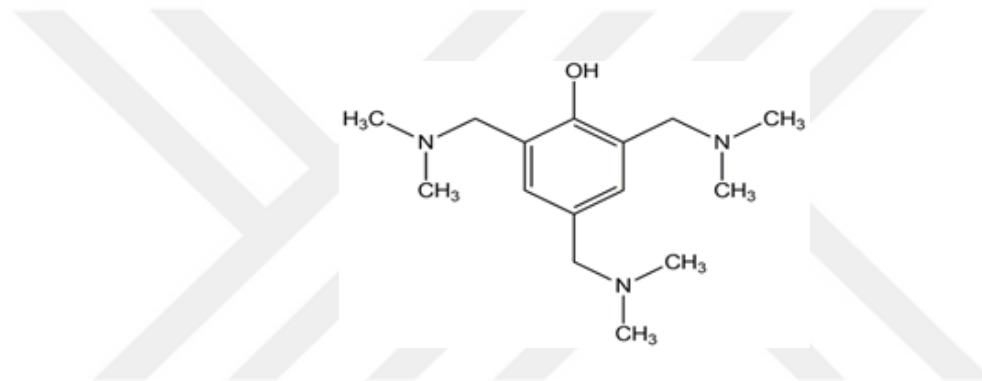
Şekil 3.2. Poliüretanın genel kimyasal formülü

3.1.2. Sertleştirici

Sertleştirici olarak sikloalifatik poliamin IPOX EH 2041 kullanılmıştır. IPOX EH 2041 ile kürleştirilmiş epoksi kaplamalar yüksek kimyasal ve mekanik özelliklere, UV ışınlarına ve suya karşı dirence sahip olmaktadır.

3.1.3. Hızlandırıcı

Hızlandırıcı olarak 2,4,6-tris(dimetilamino metil)fenol (Sigma-Aldrich) kullanılmıştır. Hızlandırıcının kapalı formülü $C_{15}H_{27}N_3O$ olup kimyasal yapısı Şekil 3.3'de gösterilmiştir.



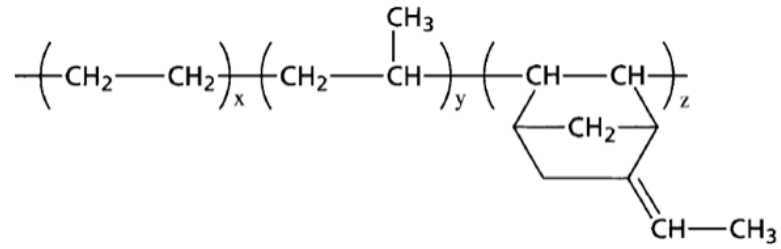
Şekil 3.3. Hızlandırıcının kimyasal yapısı

3.1.4. Lastik atığı tozu (LA)

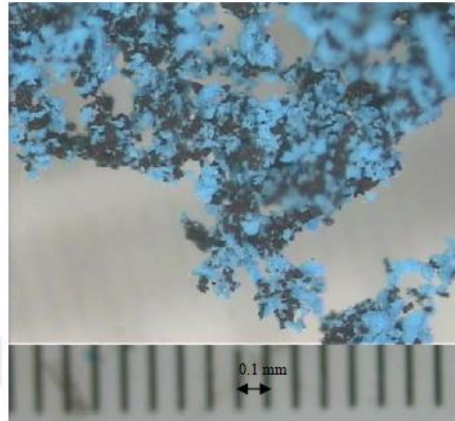
Deneylerde kullanılan atık lastik malzeme, Adana'da faaliyet gösteren Ün-sal Kauçuk Firması'ndan temin edilmiştir. Firmada ömrünü tamamlamış 4 farklı atık lastik: otomobil, kamyon, otobüs ve tır lastikleri oda sıcaklığında mekanik olarak parçalanarak, kort ve çelik telden arındırılmıştır. Daha sonra LA, tane boyutu $<106 \mu m$ olacak şekilde elekten geçirilmiştir.

3.1.5. EPDM kauçuğu

Konya sanayisi atıklarından temin edilen EPDM kauçuk kullanılmıştır. EPDM öğütülmüş ve tane boyutu $<106 \mu m$ olacak şekilde elekten geçirilmiştir. EPDM'nin kimyasal formülü Şekil 3.4'de, mikroskop görüntüsü ise Şekil 3.5'de gösterilmiştir.



Şekil 3.4. ENB monomeri kullanılarak sentezlenen EPDM'nin kimyasal formülü (Li, 2008)



Şekil 3.5. Dönüştürülmüş EPDM kauçuğunun mikroskop görüntüsü (Li, 2008)

3.2. Kompozit Hazırlama Yöntemi

1. EPDM atığı öğütücü cihazında toz haline getirilmiştir. Daha sonra LA ve EPDM, 250 mesh elekten geçirilerek partikül büyüklüğü <math><106 \mu\text{m}</math> olacak şekilde elde edilmiştir (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. Öğütücü cihazı EPDM tozunun elek altı görüntüsü

2. Çalışmamızda dolgu malzemeleri (LA ve EPDM) polimer matrise kütlece %10, %20, %30, %40 ve %50 oranlarında katılmıştır.
3. Önce 30 dakika mekanik olarak karıştırılmıştır. Daha sonra ultrasonik banyoda 60 °C'da 1 saat bekletilmiştir (Şekil 3.7).



Şekil 3.7. Ultrasonik banyo

4. Daha sonra karışımların her birine kütlece %40 oranında poliamin türü kürleştirici ve %1 oranında epoksi kürleşmesini hızlandırıcı ilave edilmiştir. LA ve EPDM'nin (tane boyutu $<106 \mu\text{m}$), ticari epoksi reçine karışımları ile: (%50 NPER 450-%50 NPER 133 L), (%50 NPER 133 L-%50 NPEK 114) ve (%50 NPER 450-%50 NPEK 114) ile kompozitleri oluşturulmuştur.
5. Kompozit karışımları ASTM D 638 standartlarına uygun yapılmış kalıplara dökülmüştür (Şekil 3.8).



Şekil 3.8. Kompozit numuneler için kullanılan kalıp

6. Karışımlar hava kabarcıkları tamamen yok oluncaya kadar oda sıcaklığında bekletilmiştir,

7. Daha sonra etüvde 80°C sıcaklıkta 24 saat boyunca kürleşmeleri sağlanmıştır.

3.3. Deneylerde Kullanılan Cihaz ve Aletler

1. Sertlik tayini cihazı (Shore Durometer TH 210) (Konya Teknik Üniversitesi, Kimya Müh. Bölümü)
2. Çekme-Basma test cihazı (TST-Mares/TS-mxe) (Konya Teknik Üniversitesi, Kimya Müh. Bölümü)
3. Vakumlu etüv (Nüve EV 018), etüv (Nüve FN 500) (Konya Teknik Üniversitesi, Kimya Müh. Bölümü)
4. Öğütücü (IKA A11) (Konya Teknik Üniversitesi, Kimya Müh. Bölümü)
5. Ultrasonik banyo (Bandelin Sonorex/Electronic RK 100 H/ 0-80°C) (Konya Teknik Üniversitesi, Kimya Müh. Bölümü)
6. Mekanik karıştırıcı (Heidolph Type RZR1) (Konya Teknik Üniversitesi, Kimya Müh. Bölümü)
7. Analitik terazi (Precisa XB 220 A) (Konya Teknik Üniversitesi, Kimya Müh. Bölümü)

3.4. Kompozit Malzemelerin Karakterizasyonu

3.4.1. Yüzey karakterizasyonu

Taramalı Elektron Mikroskopunda (SEM) görüntü, yüksek voltaj ile hızlandırılmış elektronların numune üzerine odaklanması, bu elektron demetinin numune yüzeyinde taratılması sırasında elektron ve numune atomları arasında oluşan çeşitli girişimler sonucunda meydana gelen etkilerin uygun algılayıcılarda toplanması ve sinyal güçlendiricilerinden geçirildikten sonra bir katot ışınları tüpünün ekranına aktarılmasıyla elde edilir. SEM analizi,yüzey morfolojisini araştırmak amacıyla Zeiss Evo LS 10 cihazı ile yapılmıştır.

3.4.2. X-Işını Kırınım analizi (XRD)

X-Işınları ile madde analizi, bir maddenin karakteristiği olan kırınım desenine dayanır. Kırınım ise, maddenin üzerine düşen elektromanyetik radyasyonun dalga

boyuyla uyumlu farklı geometrik varyasyonlar içeren periyodik yapılara çarpması sonucu gözlenen bir etkidir.

X-Işını Kırınım analizi CU-K α radyasyonu ($\lambda = 1.5406 \text{ \AA}$, power = 40 kV) ile Bruker D8 Advance X-Işını Kırınım cihazı kullanılarak yapılmıştır. Tarama aralığı 0° ile 80° 'dir.

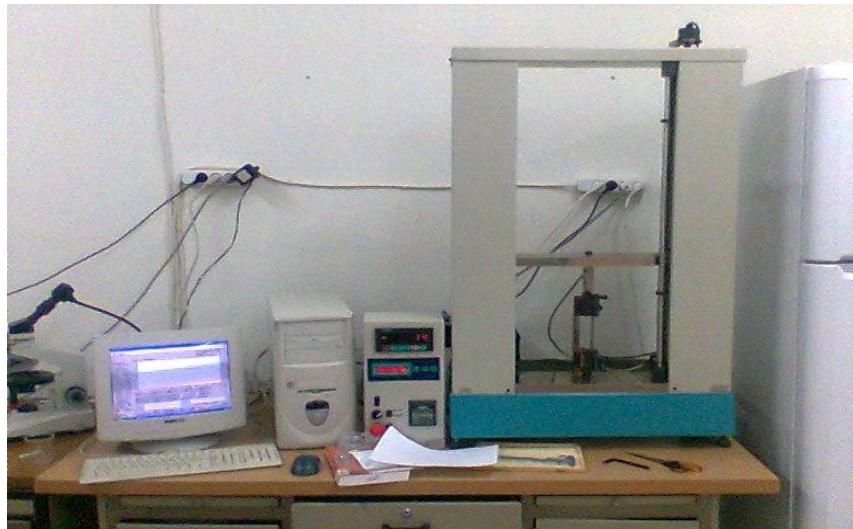
3.4.3. Mekanik karakterizasyon

Mekanik testler, numunenin sabit oranda gerilme, çarpma, sıkışma veya kopmaya maruz kaldığında kuvvetin tepkisini ölçmek için kullanılır. Malzemeye uygulanan mekanik testler oda sıcaklığında gerçekleştirilmiş ve her deney seti için bütün numuneler 3 kez test edilmiştir.

3.4.3.1. Çekme testi

Çekme testi polimerlerin mekanik özelliklerinin belirlenmesinde en sık kullanılan test yöntemidir. Bu yöntemde standartlara göre hazırlanmış numunenin tek ekseninde, sabit sıcaklıkta ve belirli bir hızla koparıncaya kadar çekilmesidir (Şekil 3.9).

Çekme Dayanımı: Çekme dayanımı numunenin kopmadan önceki dayanabildiği maksimum gerilimdir. Kompozit numunelerinin çekme testi ASTM standardına uygun D 638 Plastiklerin Çekme Özelliklerinin test metoduna göre 5 mm/dk hızla yapılmıştır



Şekil 3.9. Kullanılan çekme testi cihazı

3.4.3.2. Sertlik testi

Sertliği ölçülecek numuneler Shore Durometer TH 210 sertlik tayini cihazına yerleştirilmiş (şekil 3.10) ve ortalama 3 kez numunelere kuvvet uygulanmıştır. Bu 3 değerin ortalaması hesaplanarak maddenin sertliği Shore D değerı olarak alınmıştır.



şekil 3.10. Sertlik tayini için kullanılan cihaz

3.4.4. Termal analiz

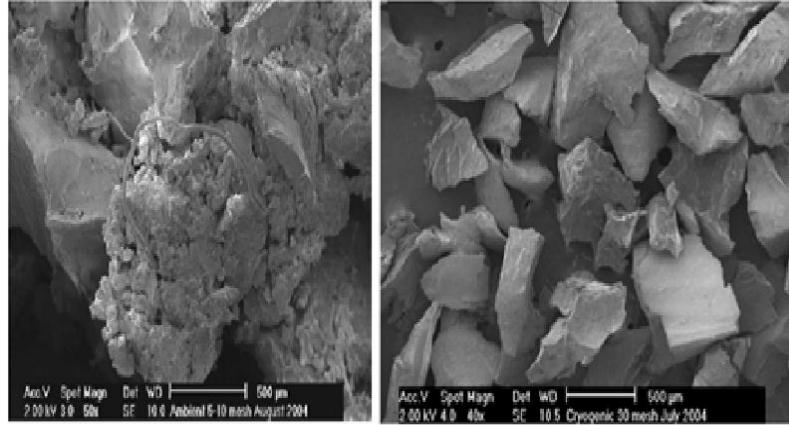
Termogravimetrik analiz, ağırlığın yani numune kütesinin numune sıcaklığına ya da zamana göre ölçümüdür. Bir TGA deneyinde ölçülen değişkenler; ağırlık, zaman ve sıcaklıktır. Termal analiz deneyi Seteram Thermogravimetric Analyzer cihazında tayin edilmiştir. TGA analizi için numuneler toz haline getirilmiştir. Örnekler azot atmosferi altında 50°C-800°C sıcaklık aralığında 10°C/dk hızla ısıtılmıştır.

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

İkincil hammadde kullanımı için olasılıkları değerlendirmek, toplumun ana çıkarları arasında yer alması gereken bir konudur. Günümüzde kauçuk malzemelerin toplanması, işlenmesi ve kullanılması olanaklarına sadık pek çok modern işyeri vardır. Parçacıklar halinde EPDM atık kauçuğu bu işyerlerinin birçok ürününden birisidir.

Kullanım ömrünü tamamlamış lastiklerden geri kazanılmış kauçuk elde etmek için birkaç parçalama prosedürü vardır. Çoğu lastik kauçuğu mekanik, kriyo-mekanik veya termo-mekanik işlemlerle kullanıma hazır hale getirilmek için parçalanırlar. Sıvı azot yönteminde ilk yatırım ve işletme masrafları göreceli yüksek olmakla birlikte oda sıcaklığında kırma işlemine göre daha küçük boyutlu taneler elde edilebilmektedir. Sıvı azot yönteminde birkaç mikronluk tane boyutları mümkünken oda sıcaklığı yönteminde etkin olarak 100 mikronluk boyutlara inilebilmektedir (Çetin, 2009). Dolayısıyla kırma yönteminin belirlenmesinde elde edilmesi düşünülen nihai ürün belirleyici olmaktadır. Bazı uygulamaları için oda sıcaklığında yapılan öğütme yeterli olurken, bazı uygulamalar için mutlaka sıvı azotla soğutma sonrası öğütme gerekli olmaktadır (Demirer ve ark., 2019).

Mekanik parçalama işlemi, genellikle öğütme değirmenleri, haddehaneler veya döner öğütme değirmenleri gibi tesislerde gerçekleştirilir. Kauçuk agreganın geometrisi, yüzeyi ve dokusu büyük ölçüde bu işlemlere bağlıdır. Bu özellikler lastik agregalarını kompozitin matrisine yapışmasını belirler ki bu da kompozitin mekanik özelliklerini etkileyebilir (Medina ve ark., 2018). Atık kauçuk malzemelerinin geri dönüşümü için olasılıklardan birisi, başka bir polimerik malzeme ile etkileşimleridir. Malzemenin bu şekilde kullanımı ucuz ve basit yollardan birisidir. Oda sıcaklığında elde edilen kauçuk tozlarının kriyojenik parçalamaya göre daha elastik ve daha iyi fiziksel özelliklere sahip olduğu literatürde belirtilmiştir (Karabörk, 2012). Oda sıcaklığında ve kriyojenik olarak parçalanmış kauçuk tozlarının SEM görüntülerinden de farklılık olduğu görülmektedir (Şekil 4.1).

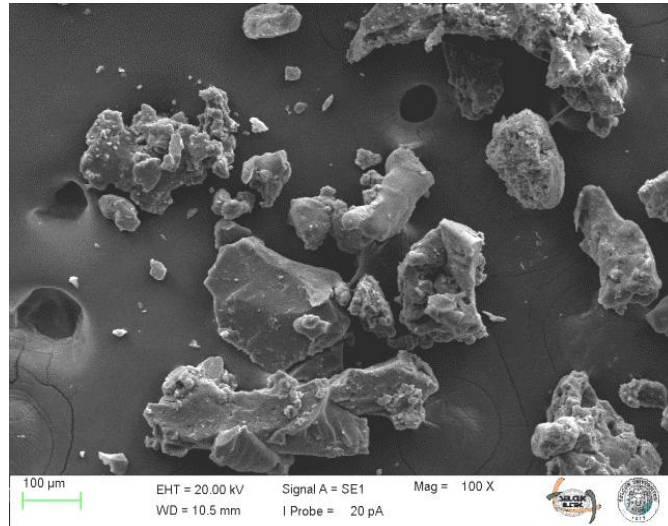


Şekil 4.1. Kauçuk tozlarının: oda sıcaklığında parçalanmış SEM görüntüsü (solda); kriyojenik olarak parçalanmış SEM görüntüsü (sağda) (Pehlken ve Essadiqi, 2005)

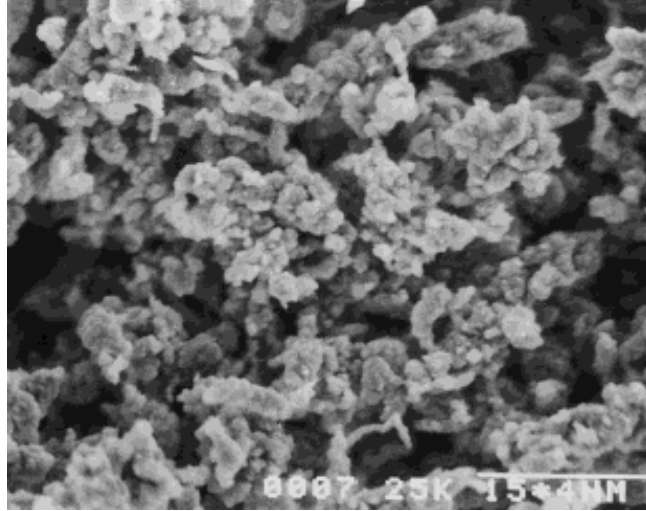
Yapılan bu çalışmada da epoksi/LA ve epoksi/EPDM atığı kompozitlerinin seçilmiş bazı mekanik özellikleriyle termal özelliklerine odaklanılmıştır.

4.1. SEM Analizi Sonuçları

LA tozunun SEM görüntüsü Şekil 4.2’de, EPDM tozunun Şekil 4.3’de gösterilmiştir.



Şekil 4.2. LA atığı tozunun SEM görüntüsü (Karabörk, 2012)

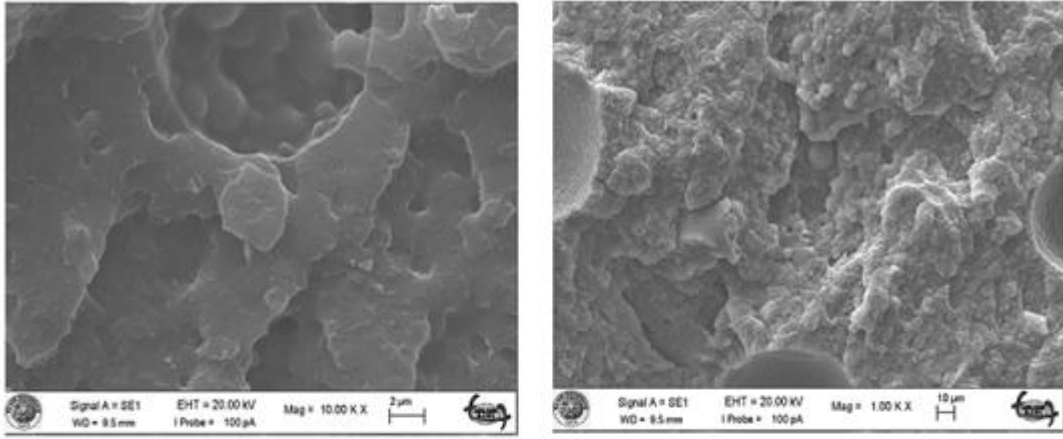


Şekil 4.3. EPDM tozunun SEM görüntüsü (Jacob ve ark., 2001a)

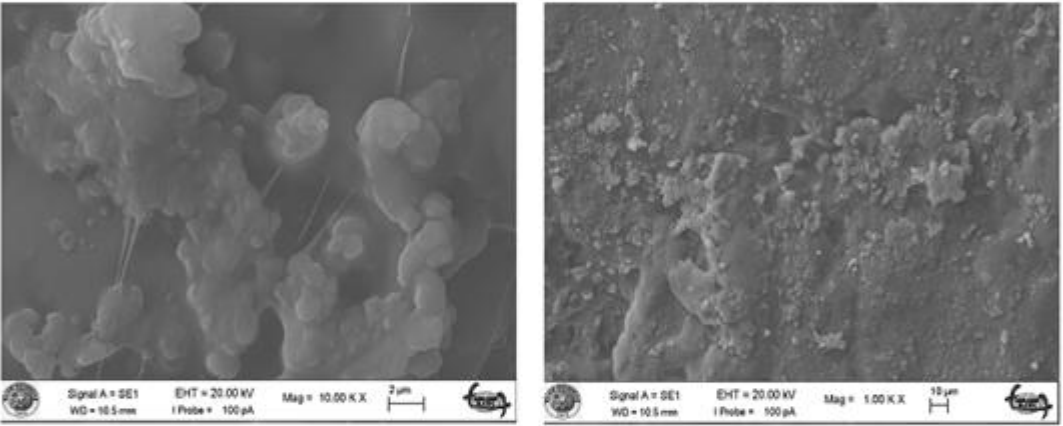
SEM görüntüsünden LA tozunun farklı boyutlarda tanelerden oluştuğu ve atık lastiklerin oda sıcaklığında parçalanmasıyla elde edildiği için pürüzlü bir yapıya sahip olduğu görülmektedir (Şekil 4.2). Öğütülmüş EPDM kauçuğunun ise zincir yapılı agregalara sahip ve gözenekli olduğu görülmektedir (Şekil 4.3).

Saf reçine karışımlarının SEM görüntüleri Şekil 4.4’de gösterilmiştir. Saf NPER 450-NPEK 114, NPER 133L-NPEK 114 ve NPER 450-NPER 133 L reçine karışımlarının SEM görüntüleri incelendiğinde:

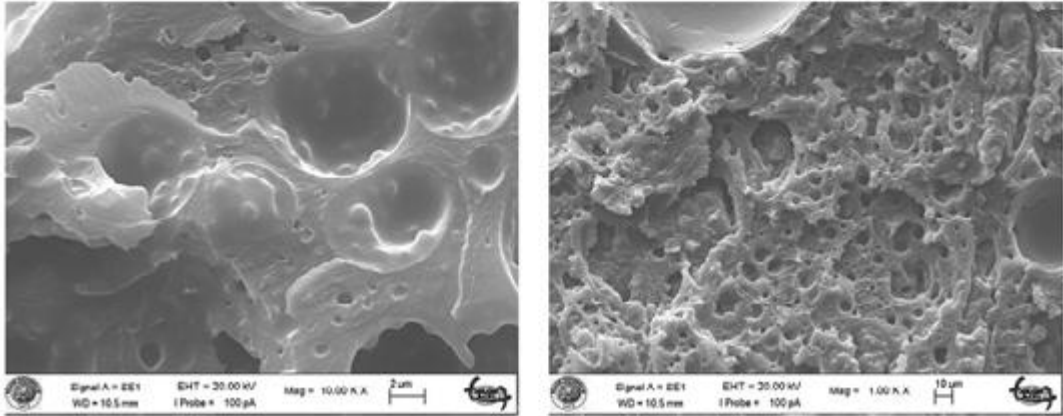
- kauçukla modifiye epoksi reçinesi (NPER 450) ve bisfenol-A epoksi reçine (NPEK 114) karışımının yüzeyinde derin çukurlar ve reçinelerin istenilen düzeyde iyi karışım sağlamadığını gösteren topaklanmalar görülmektedir;
- poliüretanla modifiye epoksi reçine (NPER 133L) ile bisfenol-A tipi epoksi reçinesi (NPEK 114) karışımının yüzeyi pürüzlü olsa da birbiri ile iç-içe geçmiş olması her iki epoksinin daha iyi uyum sağladığının göstergesidir;
- kauçukla modifiye epoksi reçinesi (NPER 450) ve poliüretanla modifiye epoksi reçine (NPER 133L) karışımının yüzeyinin hem çok pürüzlü, hem de çok fazla boşluk ve çukurlara sahip olması, ayrıca diğer iki reçine karışımından farklı olarak reçinelerin birbirinden sanki ayrı katmanlar oluşturur görüntüsünde olması, reçinelerin birbiri ile iyi uyum sağlayamadıklarını göstermektedir.



a



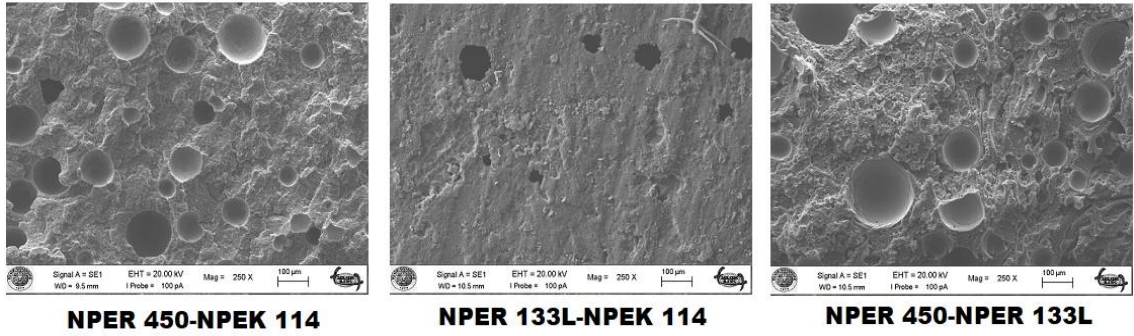
b



c

Şekil 4.4. Saf epoksi reçine karışımlarının SEM görüntüleri: a) NPER 450-NPEK 114;b) NPER 133L-NPEK 114; c) NPER 450-NPER 133 L(soldan sağa Mag: 10.00 K X, 2 µm; 1.00 K X, 10 µm)

Reçinelerin birbiri ile uyum sağlayıp sağlayamadıkları yine farklı büyütmedeki SEM görüntülerindeki boşluk sayılarından da belli olmaktadır (Şekil 4.5).



Şekil 4.5. Epoksi reçine karışımlarının SEM görüntüleri (Mag: 250 X, 100 µm)

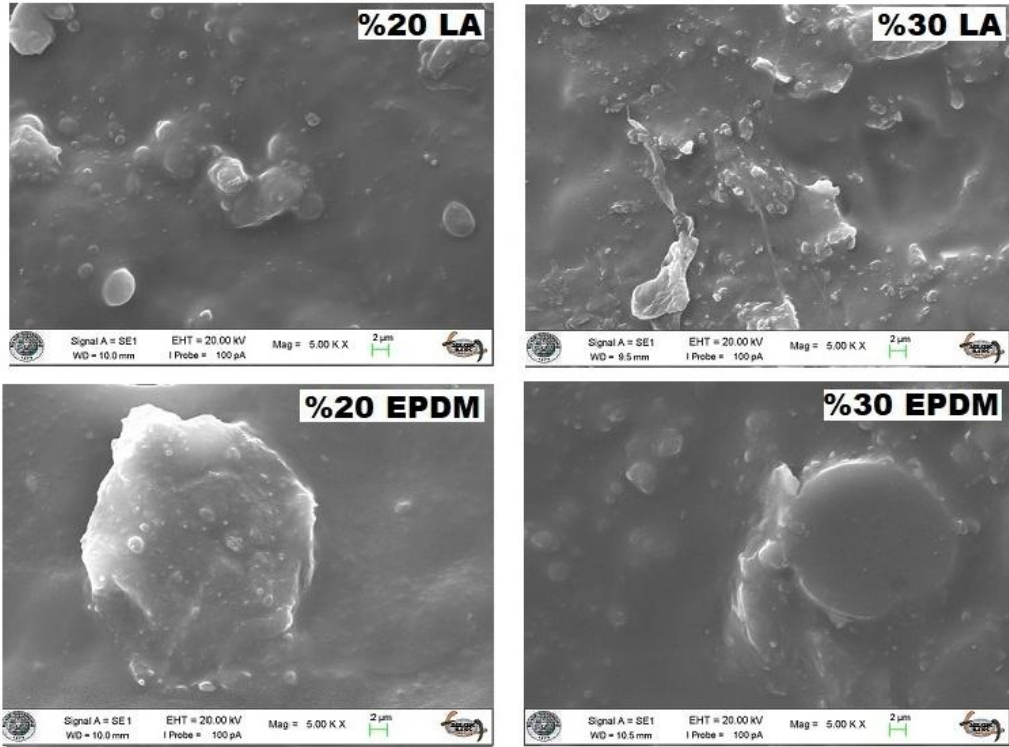
Şekil 4.5’den, en iyi uyumun NPER 133L ve NPEK 144 reçinelerinin sağladığı, NPER 450 reçinesinin ise diğer iki reçine ile karışımında boşluk sayılarının daha fazla olduğu görülmektedir.

Kompozitlerin mekanik özellikleri de dikkate alınarak SEM analizi için %20 ve %30 dolgu oranlarındaki LA ve EPDM kompozitleri seçilmiştir. NPER 450-NPEK 114 reçine karışımı ile hazırlanan LA ve EPDM kompozitlerinin Şekil 4.6’da, NPER 133L-NPEK 114 reçine karışımı ile hazırlanan kompozitlerin Şekil 4.7’de, NPER 450-NPER 133 L reçine karışımı ile hazırlanan kompozitlerin ise Şekil 4.8’de verilmiştir. Ayrıca, %30’luk LA ve EPDM kompozitlerinin farklı büyütmedeki SEM görüntüleri Şekil 4.9’da gösterilmiştir.

Üç tür epoksi reçine karışımları ile oluşturulan LA ve EPDM kompozitlerinin SEM görüntüleri karşılaştırıldığında:

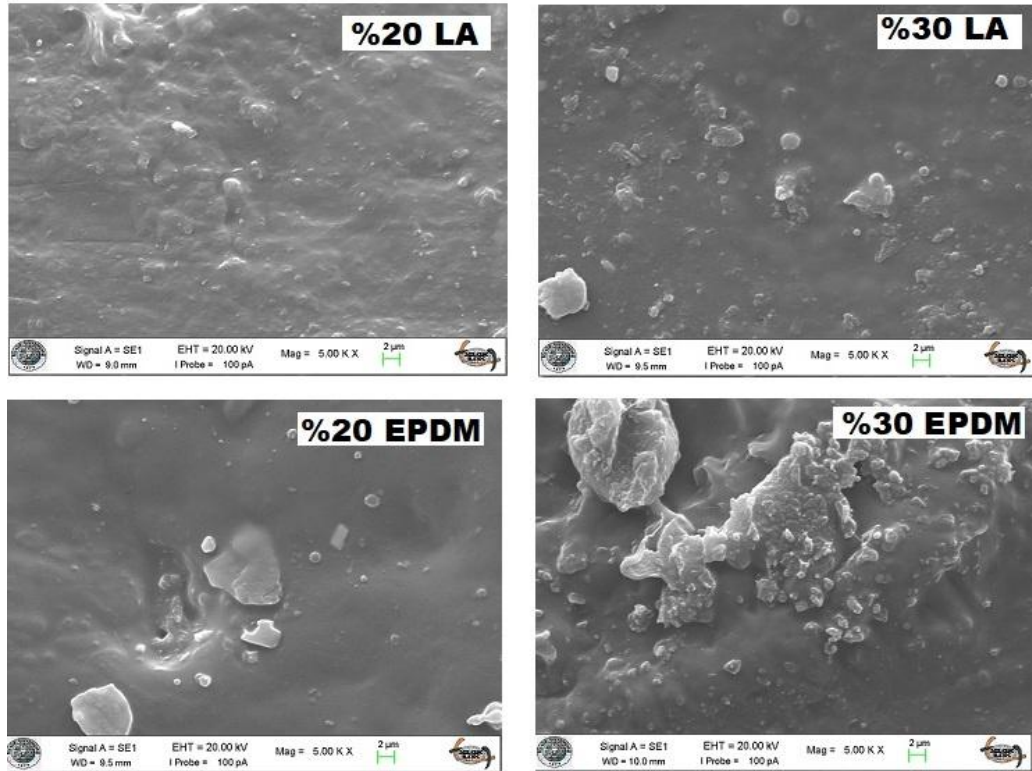
- Kompozitlerde LA ve EPDM tozunun ağırlık yüzdesinin artırılmasıyla dağılım düzensiz hale gelmiş ve bu parçacıkların topaklaşması meydana gelerek kompozitteki pürüzlülük artmıştır (Şekil 4.5-4.7).
- LA ile oluşturulan kompozitlerde EPDM ile oluşturulan kompozitlere göre daha iyi dağılım gözlemlenmiştir.
- NPER 133L-NPEK 114 reçine karışımında LA dolgu maddesi, diğer reçine karışımlarına göre daha homojen bir dağılım göstermiştir ki bu da kendini daha iyi mekanik özelliklerde göstermiştir.

NPER 450-NPEK 114 kompozitleri



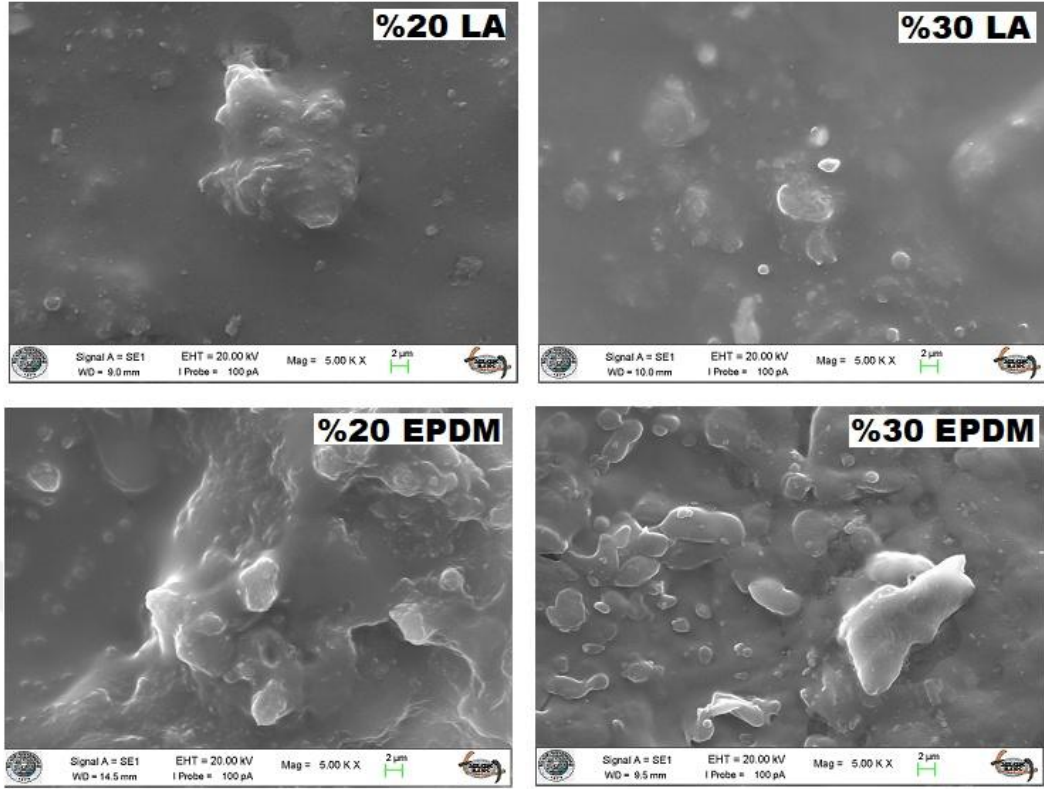
Şekil 4.6. (NPER 450-NPEK 114) reçinesi ile hazırlanan LA ve EPDM kompozitlerinin SEM görüntüleri: a) %20 LA; b) % 30 LA; c) %20 EPDM; d) %30 EPDM (Mag: 5.00 K X, 2 μ m)

NPER 133L-NPEK 114 kompozitleri



Şekil 4.7. (NPER 133L-NPEK 114) reçinesi ile hazırlanan LA ve EPDM kompozitlerinin SEM görüntüleri: a) %20 LA; b) % 30 LA; c) %20 EPDM; d) %30 EPDM (Mag: 5.00 K X, 2 μ m)

NPÉR 450-NPÉR 133L kompozitleri

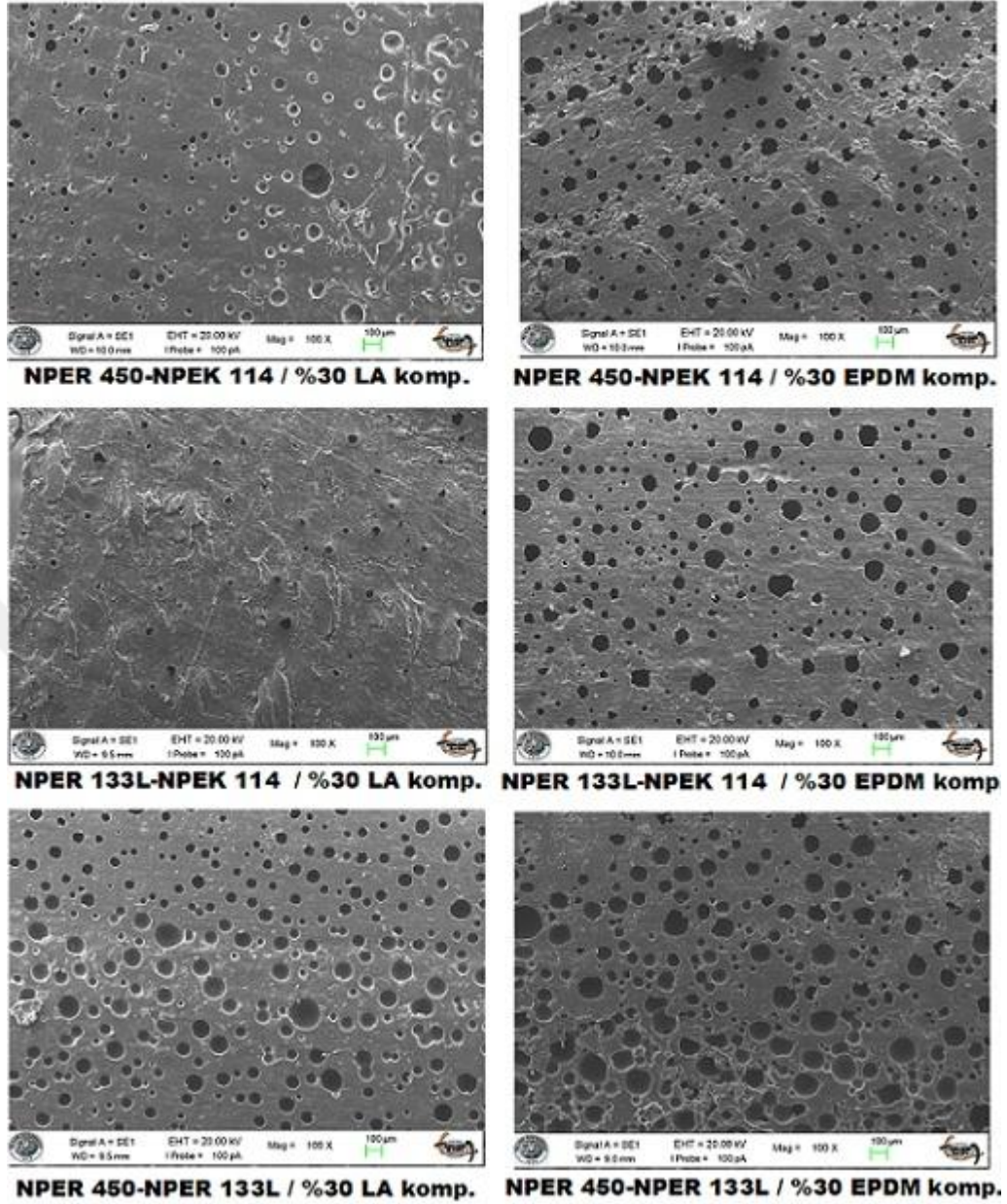


Şekil 4.8. (NPÉR 450-NPÉR 133 L) reçinesi ile hazırlanan LA ve EPDM kompozitlerinin SEM görüntüleri: a) %20 LA; b) % 30 LA; c) %20 EPDM; d) %30 EPDM (Mag: 5.00 K X, 2 µm)

Kompozitlerin üretimi sırasında, kompozit içerisinde çukur ve boşluklar oluşabilir. Gözeneklerin varlığı, özel bir teknoloji (örn. vakum) kullanılmadığında test numunelerinin hazırlama teknolojisi ile ilgilidir ve bu da maliyetleri en aza indigeme çabasından kaynaklıdır. Hava gözenekleri mekanik özelliklerin düşmesine neden olabilir (Valasek ve Müller, 2014).

LA ve EPDM kompozitlerinin Şekil 4.6-4.8’de verilenden farklı büyütmedeki %30’luk dolgu oranındaki SEM görüntüleri karşılaştırıldığında (Şekil 4.9):

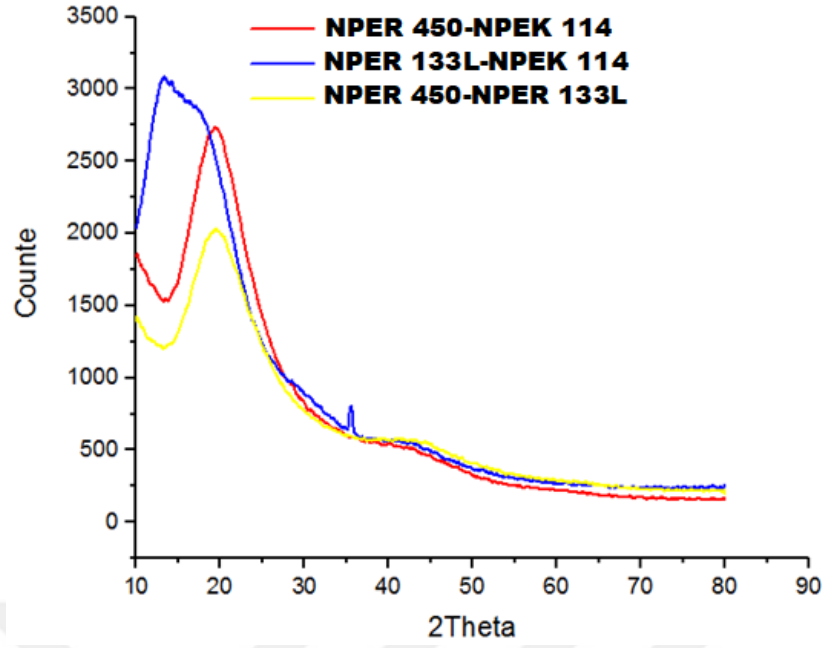
- çukur ve boşlukların sayısı ve derinliği farklılık göstermiş, LA kompozitlerinde bu sayı EPDM kompozitlerine göre daha az olmuştur;
- kompozitlerde kullanılan matrisler karşılaştırıldığında ise, en iyi sonucun NPÉR 133L-NPEK 114 reçinesi kompozitleri ile elde edildiği görülmektedir. Bu reçine karışımı kompozitlerindeki boşlukların hacim fraksiyonunun diğer kompozitlerden daha düşük olması ise, muhtemelen matrisi oluşturan reçineler arasındaki arayüz adezyonunun daha iyi olmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 4.9. Farklı reçine karışımları ile hazırlanan %30 dolgu oranındaki LA ve EPDM kompozitlerinin farklı büyütmedeki SEM görüntüleri (Mag: 100 X, 100 µm)

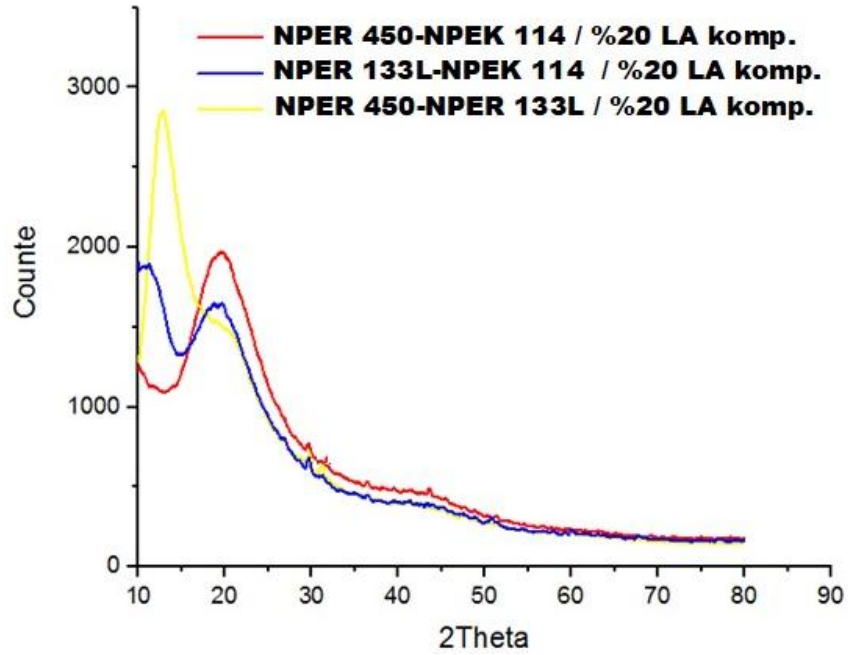
4.2. XRD Sonuçları

Saf epoksi reçineler ve belirli oranlarda LA veya EPDM atık dolgu malzemesi içeren kompozit malzemelerin XRD analizleri yapılarak yapıları araştırılmıştır. Saf epoksi matrislerin XRD eğrileri Şekil 4.10'da, %20 LA kompozitlerinin Şekil 4.11'de, %30 LA kompozitlerinin Şekil 4.12'de, %20 EPDM kompozitlerinin Şekil 4.13'de, %30 EPDM kompozitlerinin ise Şekil 4.14'de verilmiştir.

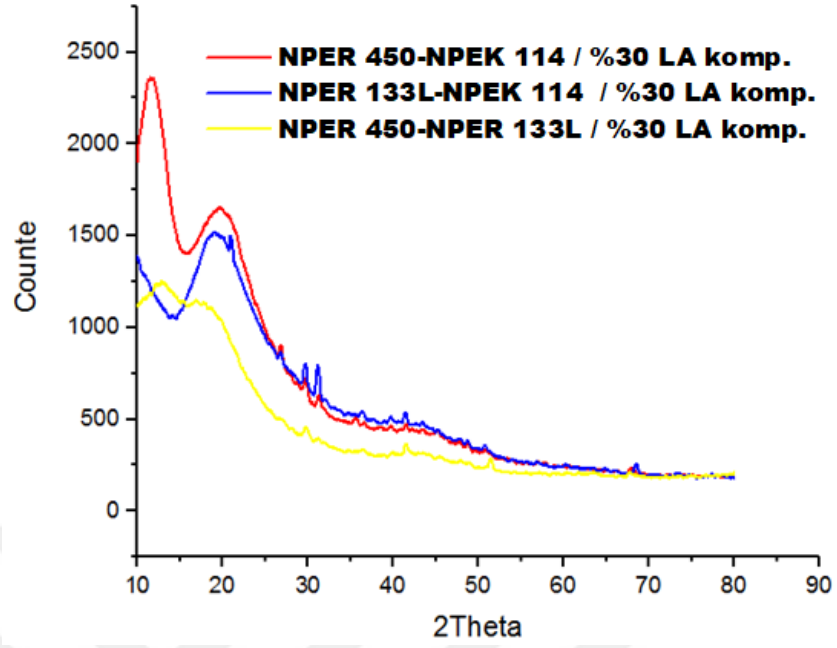


Şekil 4.10. Saf epoksi matris karışımlarının XRD eğrileri

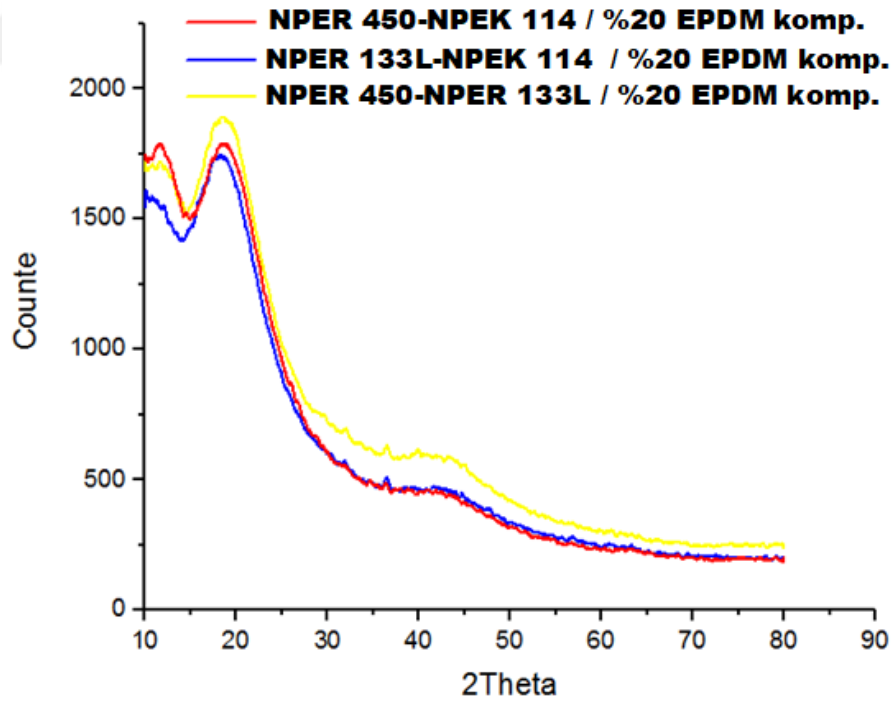
Epoksi reçineler çapraz bağlayıcı ajanlarla kürleştirilerek çapraz bağlı sert hale getirildikleri için kristal yapıya sahip değildiler. Saf epoksi matris karışımları, XRD eğrisinden de görüldüğü gibi $2\theta = 15-23^\circ$ merkezli güçlü bir pike ve 42° 'de ise zayıf bir pike sahiptiler (Şekil 4.10).



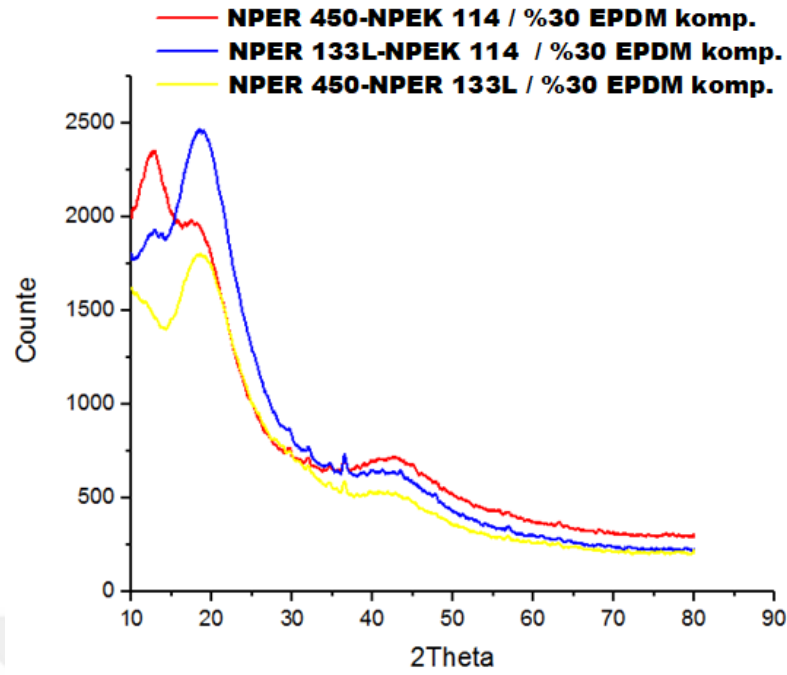
Şekil 4.11. %20 LA kompozitlerinin XRD eğrileri



Şekil 4.12. %30 LA kompozitlerinin XRD eğrileri



Şekil 4.13. %20 EPDM kompozitlerinin XRD eğrileri



Şekil 4.14. %30 EPDM kompozitlerinin XRD eğrileri

Şekil 4.11-4.14'den, analiz edilen kompozit numunelerinin XRD spektrumunda önemli bir pik olmadığı görülebilir. Bu, epoksi-LA veya epoksi-EPDM kompozitlerinde kristal fazın olmadığı anlamına gelir. Başka bir deyişle, kompozitlerdeki bileşen partiküllerin boyutu çok incedir, böylece XRD spektrumunda hemen hemen hiç pik vermezler. Elde edilen bu sonuçlara dayanarak, kompozitler de amorf bir malzeme olarak kabul edilebilir (Farzi ve ark., 2019). Buna ek olarak, LA kompozitlerinin pik şiddetleri %30 dolgu oranında, EPDM kompozitlerinin ise %20 dolgu oranında daha düşük olması, bu dolgu oranlarında dağılımın daha iyi olduğu yönünde düşünülebilir (Usuki ve ark., 2002; Soydal ve ark., 2018). Mekanik test sonuçlarına göre de çekme dayanımları genelde bu oranlar için daha yüksek bulunmuştur.

4.3. Mekanik Test Sonuçları

Kauçukların özellikleri büyük ölçüde kauçuğun serbest yüzey enerjisine, dolgu agregaları arasındaki mesafeye ve dolgu maddesi kauçuk etkileşimlerinin kauçuğun dinamik mekanik özellikleri üzerindeki etkisine bağlıdır. Yani bu özellikler doğrudan elastomerik zincirlerden (ayrıca doğal kauçuk, polimer veya reçine olarak da adlandırılır) ve dolgu/katkı malzemelerinden oluşan mikroyapıya bağlı olup sonuç olarak sürekli ve homojen bir polimerik kompozit oluşumunu etkiler. Kauçuğun

mekanik özelliklerini aynı zamanda kürleşme işlemi de etkiler. Karger-Kocsis ve Wu(2004), açık bir değirmende veya oda sıcaklığında veya 100°C’da bir iç mikserde karıştırılmış EPDM kauçuğunu incelemiş, açık değirmen harmanlaması yerine 100°C’da bir iç mikser kullanıldığında kauçuğun gerilme mukavemetinin %50’ye kadar arttığı tespit edilmiştir.

Termoplastiklerin aksine, termosetlerin özellikleri sıcaklıkla değişmez ve bu nedenle yaygın olarak zorlu mekanik/çevresel koşullara dayanabilirlastiklerin üretimini yapmak için kullanılırlar. Vulkanizasyon işlemi, kür süresi, sıcaklık ve dolgu maddesi tipi/boyutu termoset kauçuklarının kimyasal ve fiziksel özelliklerini etkileyebilir. Lastik kauçuğu bileşiklerinin kimyasal bileşimi, mekanik davranışını ve ömrünü etkiler(Medina ve ark., 2018). Örneğin, beton özelliklerine kauçuk boyutunun ve şeklinin etkisi sadece bir kaç çalışma ile incelemiştir. Genel olarak, elde edilen sonuca göre kauçuğun aynı hacimde kesimi için, büyük lastik parçacıkları olan beton, ince lastik parçacıklı betondan daha uygulanabilir olma eğilimindedir, bununla birlikte, birincisi daha düşük mukavemet ve geçirgenliğe sahiptir(Li ve ark., 2004; Su ve ark., 2015).

Kauçuk esaslı malzemeler çapraz bağlı olmaları nedeniyle termoplastiklerde olduğu gibi tekrar eritilip işlenme imkanına sahip değildirler. Bununla birlikte, kauçuk türü malzemeler belirli boyutlara getirilerek dolgu olarak kullanılabilir. Bu tür karışımlarda anahtar nokta kauçuk fazın olabildiğince küçük boyutlara indirilmesidir (Jacob ve ark., 2001b; Xiaove ark., 2004; Demirer ve ark., 2019).Yapılan çalışma için LA ve EPDM tozu en fazla 250 mesh elek kullanılarak eleme işleminden geçirilebilmiş ve ≤ 106 mikron boyutunda dolgu malzemesi elde edilmiştir. Kompozitlerin mekanik özelliklerinin incelenmesi için çekme ve sertlik testleri yapılmıştır. Mekanik test sonuçları LA kompozitleri için Çizelge 4.1’de, EPDM kompozitleri için Çizelge 4.2’de özetlenmiştir.

Çizelge 4.1. LA kompozitlerinin çekme testi sonuçları

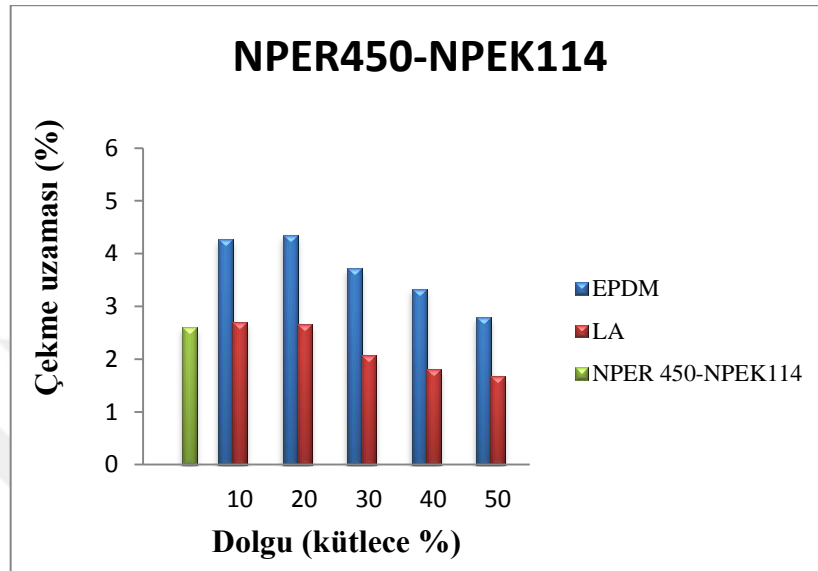
LA (küt. %)	Çekme uzaması (%)	Çekme dayanımı (MPa)	E-modül (GPa)	Sertlik (Shore D)
NPER 450-NPEK 114				
-	2.605	36	1.31	63
NPER 133L-NPEK 114				
-	2.002	51	3.00	79
NPER 450-NPER 133L				
	3.413	30	0.57	58
NPER 450-NPEK 114/LA kompozitleri				
10	2.700	36	1.23	56
20	2.660	44	1.76	54.7
30	2.076	47	1.58	56
40	1.800	43	1.03	55
50	1.670	38	0.90	52
NPER 133L-NPEK 114/LA kompozitleri				
10	1.819	58	3.00	65
20	1.725	60	2.97	64
30	1.668	57	2.13	57
40	1.200	50	1.92	54
50	0.900	46	2.00	54.5
NPER 450-NPER 133L/LA kompozitleri				
10	3.330	38	1.20	50
20	3.064	41	1.73	53
30	2.700	43	1.70	52
40	2.600	26	1.16	51
50	2.097	21	0.69	49

Çizelge 4.2. EPDM kompozitlerinin çekme testi sonuçları

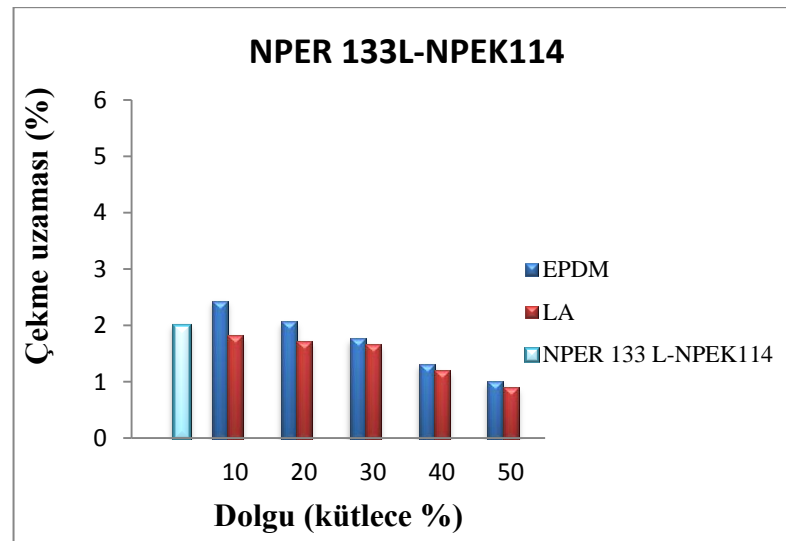
EPDM (küt. %)	Çekme uzaması (%)	Çekme dayanımı (MPa)	E-modül (GPa)	Sertlik (Shore D)
NPER 450-NPEK 114				
-	2.605	36	1.31	63
NPER 133L-NPEK 114				
-	2.002	51	3.00	79
NPER 450-NPER 133L				
	3.413	30	0.57	58
NPER 450-NPEK 114/EPDM kompozitleri				
10	4.269	35	1.00	47
20	4.337	34	1.25	49
30	3.720	29	0.99	45
40	3.328	26	0.86	46
50	2.784	24	0.90	48
NPER 133L-NPEK 114/EPDM kompozitleri				
10	2.436	43	1.49	62
20	2.076	47	1.92	60
30	1.767	45	1.31	55
40	1.317	44	0.88	53
50	1.004	40	1.98	54
NPER 450-NPER 133L /EPDM kompozitleri				
10	5.805	21	0.96	49
20	5.022	28	1.00	50
30	4.682	23	0.86	52
40	4.166	18	0.75	51
50	4.137	17	0.60	50

4.3.1. Çekme uzaması

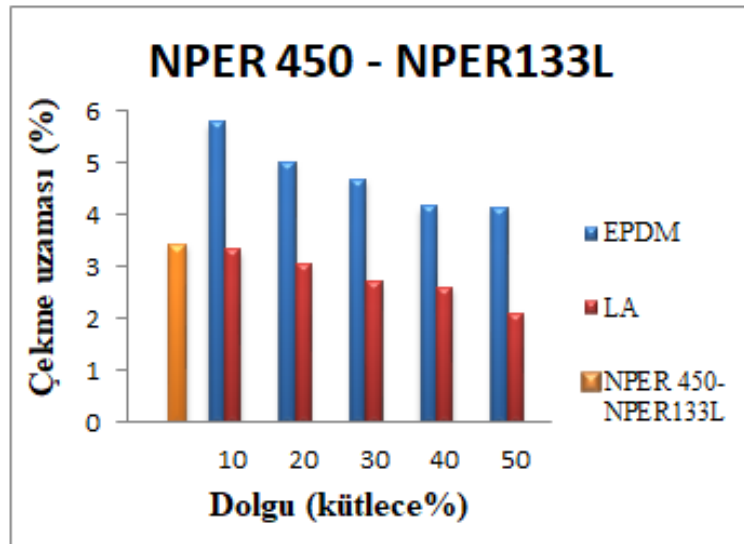
Kompozitlerin çekme uzaması verileri grafiksel olarak Şekil 4.15-4.17’de verilmiştir.



Şekil 4.15. (NPER 450-NPEK 114) matrisli kompozitlerin çekme uzaması grafiği



Şekil 4.16. (NPER 133L-NPEK 114) matrisli kompozitlerin çekme uzaması grafiği



Şekil 4.17. (NPER 450-NPER 133L) matrisli kompozitlerin çekme uzaması grafiği

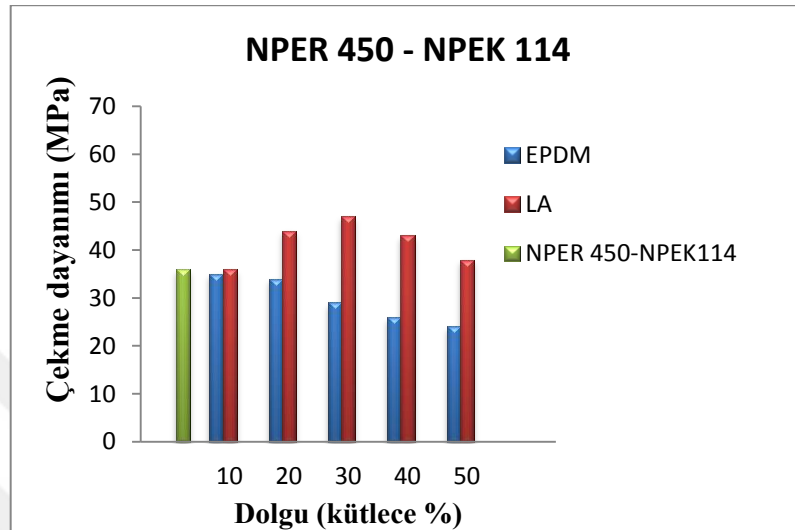
Kompozitlerin % uzama değerleri karşılaştırıldığında:

- EPDM kompozitlerinin çekme uzaması değerleri, reçine karışımından oluşan matrislerine göre genelde yüksek veya yakın bulunmuştur;
- LA kompozitlerinin çekme uzaması değerleri ise reçine karışımından oluşan matrislerine göre genelde yakın veya düşük bulunmuştur;
- tüm kompozitlerde, genelde dolgu oranı arttıkça % uzama azalmıştır.
- her 3 reçine karışımı kompozitlerinde EPDM atığı kompozitlerinin % uzama değerleri LA kompozitlerinden daha yüksek olmuştur;
- NPER 133L-NPEK 114 reçine bazlı kompozitlerin % uzama değerleri diğerlerine göre daha düşük, NPER 450-NPER 133L bazlı kompozitlerin ise daha yüksek tespit edilmiştir.

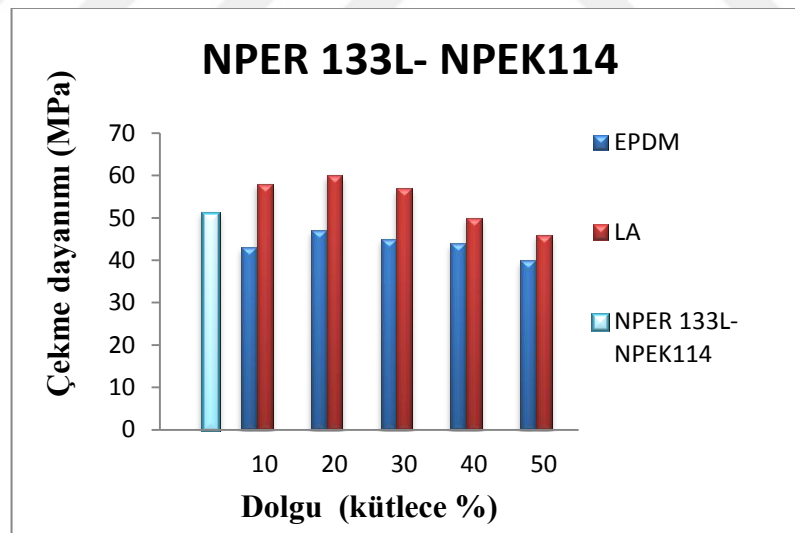
Elde edilen % uzama verilerinin literatürle karşılaştırılması, EPDM ve LA'nın özellikle epoksi polimer türü matrisde dolgu olarak kullanımı üzerine sadece birkaç çalışma olması, sınırlı sayıda çalışmada ise matris olarak genelde polipropilen (PP) kullanımı nedeniyle fazla yapılamamıştır. Yapılan çalışmalardan birisinde farklı boyutlarda (0-50 μ , 50-75 μ , 75-150 μ ve 150-300 μ) %50 EPDM tozu ilave edildiğinde PP'nin eğilme özelliğinin %50 oranında düştüğü ve en fazla düşüşün 150-300 mikron EPDM boyutunda olduğu bildirilmiştir (Demirer ve ark., 2019). Aydın (2015) yaptığı tez çalışmasında da LA ilavesi ile bisfenol-A ve bisfenol-F epoksi reçinelerinin % uzama değerlerinde azalma olduğunu göstermiştir.

4.3.2. Çekme dayanımı

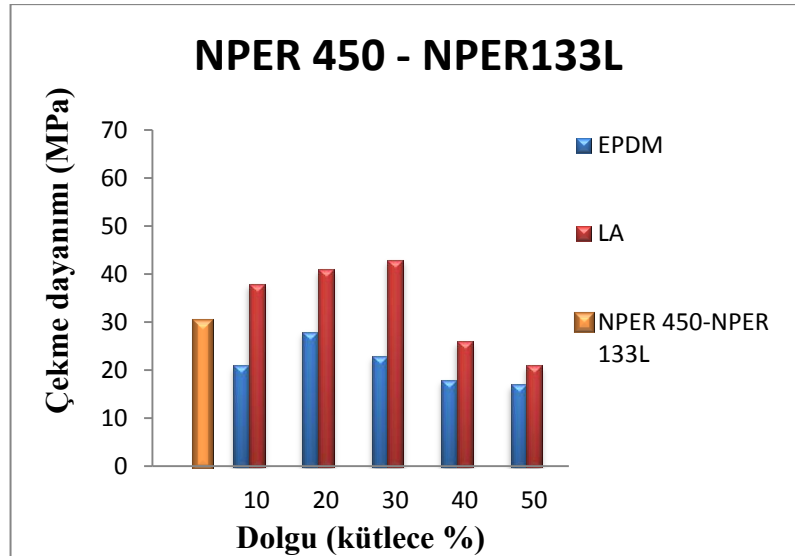
Kompozitlerin çekme dayanımı verileri grafiksel olarak Şekil 4.18-4.20’de verilmiştir.



Şekil 4.18. (NPER 450-NPEK 114) matrisli kompozitlerin çekme dayanımı grafiği



Şekil 4.19. (NPER 133L-NPEK 114) matrisli kompozitlerin çekme dayanımı grafiği



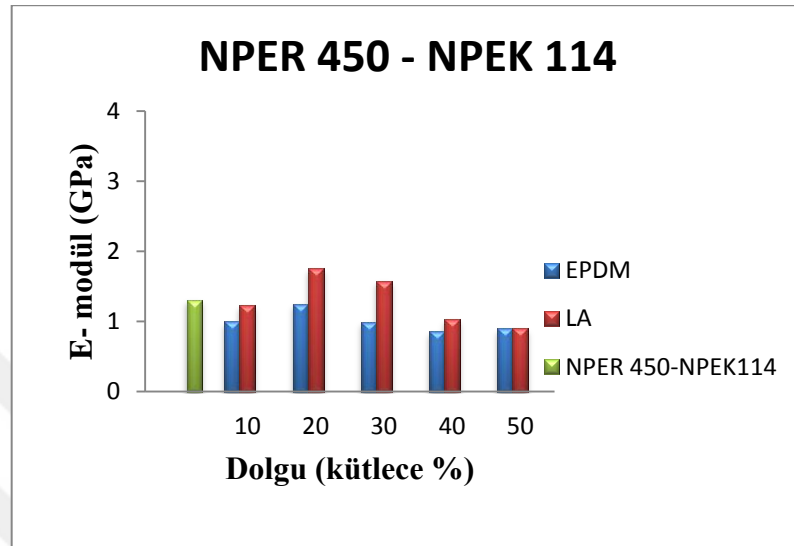
Şekil 4.20. (NPER 450-NPER 133L) matrisli kompozitlerin çekme dayanımı grafiği

- ▶ Genelde LA kompozitlerinin çekme dayanımları epoksi matrislerden yüksek (bazı %40 ve %50 LA kompozitleri hariç) tespit edilmiştir;
- ▶ EPDM kompozitlerinin çekme dayanımları ise epoksi matrislerdendüşük bulunmuştur;
- ▶ LA kompozitlerinin çekme dayanımları, EPDM kompozitlerinden daha yüksek olmuştur;
- ▶ çekme dayanımında EPDM için en uygun oran %20, LA için %30 olarak belirlenmiştir. Bu oranların üzerindeki dolgu miktarları çekme dayanımında azalmaya sebep olmuştur. Bu duruma yüksek dolgu miktarlarında matris-takviye arayüzey adezyonunun zayıflaması ve topaklanmaların neden olduğu düşünülmektedir.

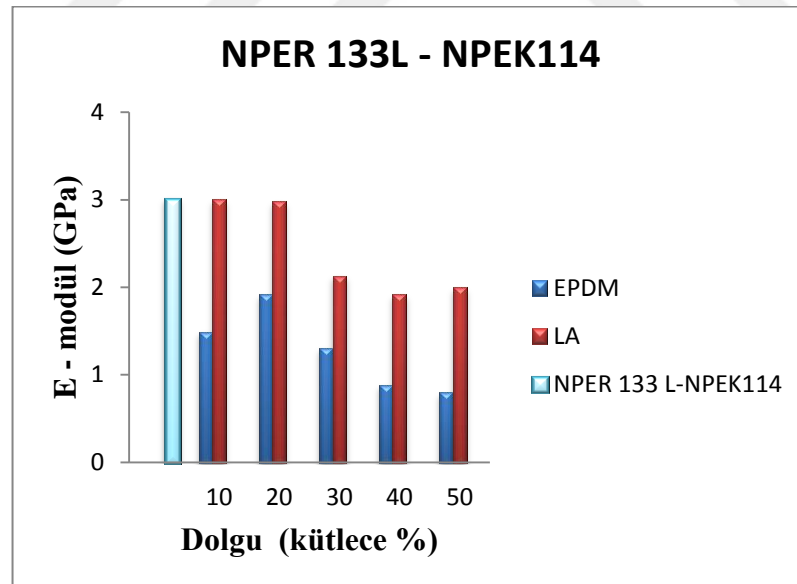
PP/talk ve PP/talk/EPDM ikili ve üçlü polimer kompozitlerin mekanik özelliklerinin incelenmesi sonucu, PP matrisine talk ilavesi çekme dayanımını artırırken ikinci takviye olarak EPDM'nin katılması ile çekme dayanımında azalma gözlemlenmiştir (Yetgin, 2017).%10-50 oranında EPDM takviyesinin PP'nin çekme dayanımında azalmaya neden olduğu Demirer ve ark. (2018) tarafından da rapor edilmiştir. EPDM kauçuk parçacıklarının konsantrasyonunun arttırılmasının sistemin yapışma gücünü azalttığı, bunun sonucu olarak ta malzemenin çekme dayanımını önemli ölçüde azalttığı görülmüştür (Valasek ve Müller, 2014).

4.3.3. Elastisite (Young) modülü

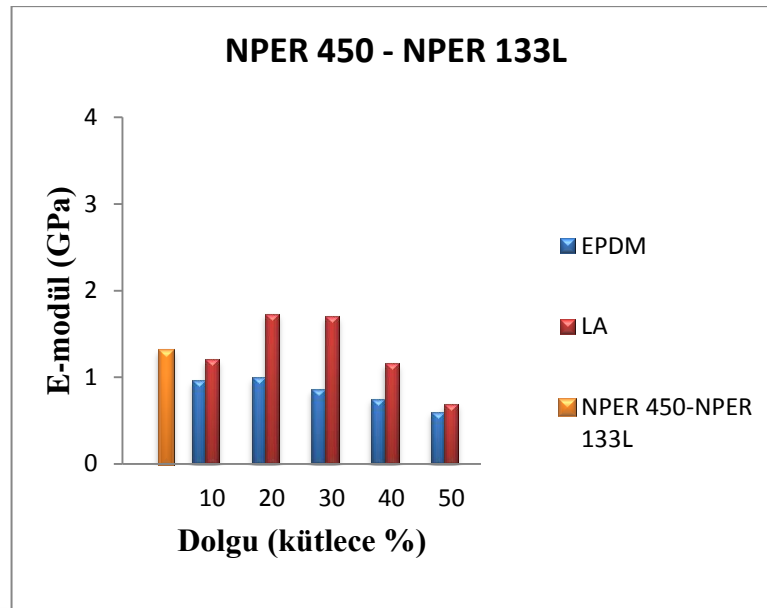
Kompozitlerin elastisite modülü verileri grafiksel olarak Şekil 4.21-4.23’de verilmiştir.



Şekil 4.21. (NPER 450-NPEK 114) matrisli kompozitlerin elastisite modül grafiği



Şekil 4.22. (NPER 133L-NPEK 114) matrisli kompozitlerin elastisite modül grafiği



Şekil 4.23. (NPER 450-NPER 133L) matrisli kompozitlerin elastisite modül grafiği

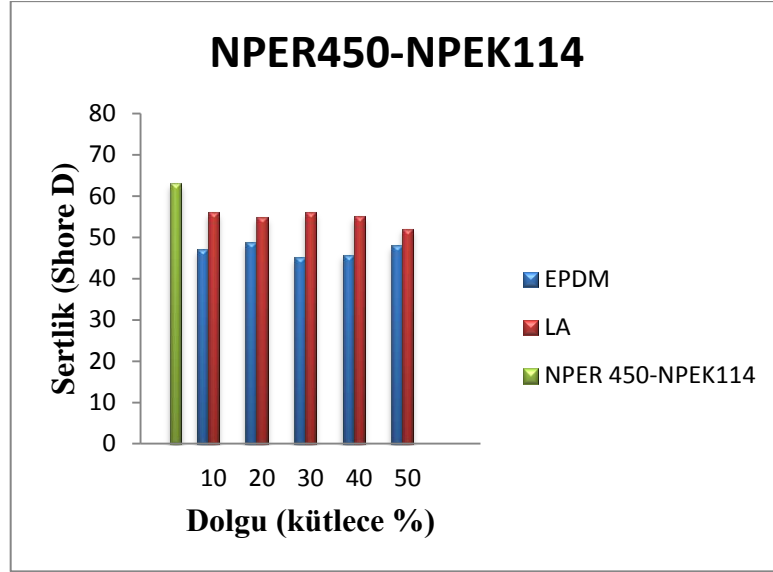
Kompozitlerin e-modül değerleri incelendiğinde:

- ▶ en yüksek değerler LA kompozitlerinde görülmüştür;
- ▶ LA kompozitlerinin Young modülü değerleri, reçine karışımından oluşan matrislerden genelde %20-30 dolgu oranına kadar yüksek bulunmuştur;
- ▶ EPDM kompozitlerinin Young modülü değerleri ise reçine karışımından oluşan matrislerden düşük görülmüştür.

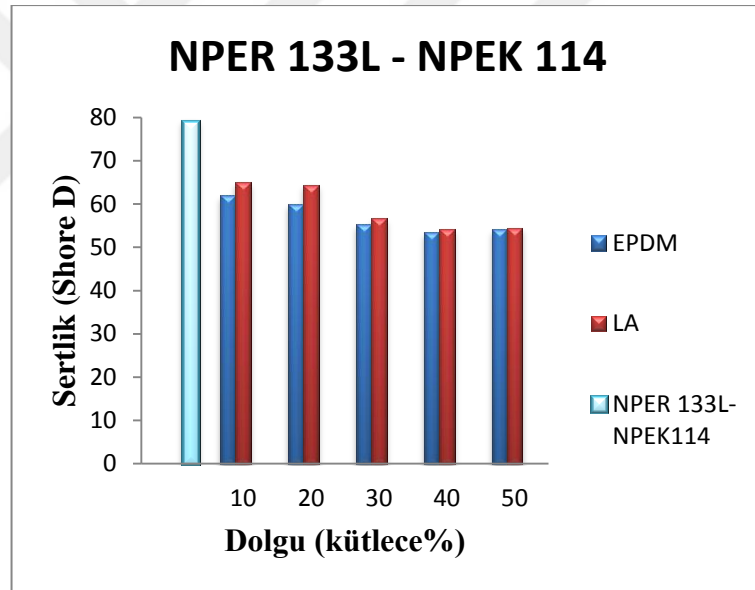
Aoudia ve ark.(2017) bisfenol-A tipi epoksi reçinede %10 oranında parçalanmış lastik atığı ve devulkanize lastik atığı kauçuklarını kullanmış ve epoksi reçinenin Young modülü değerinde lastik atığının devulkanize olması durumunda artış olduğunu rapor etmişlerdir. LA'nın epoksi reçinenin Young modülü değerinde %20 oranına kadar etkili olduğu da Ahmetli ve ark. (2014) tarafından bildirilmiştir. EPDM'nin ise PP kompozitlerinin elastisite modül değerlerini düşürdüğü Demirel ve ark.'nın (2018) yaptıkları çalışmada tespit edilmiştir.

4.3.4. Sertlik testi

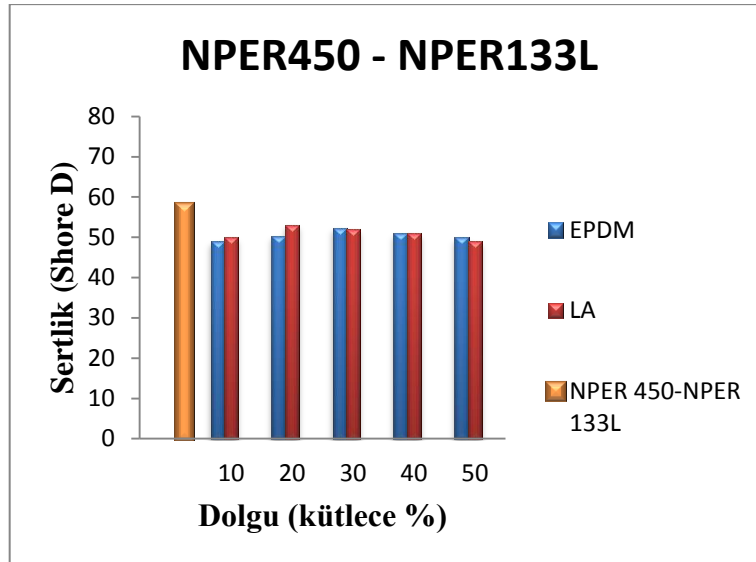
Kompozitlerin sertlik verileri grafiksel olarak Şekil 4.24-4.26'de verilmiştir.



Şekil 4.24. (NPER 450-NPEK 114) matrisli kompozitlerin sertlik değerleri grafiği



Şekil 4.25. (NPER 133L-NPEK 114) matrisli kompozitlerin sertlik değerleri grafiği



Şekil 4.26. (NPER 450-NPER 133L) matrisli kompozitlerin sertlik değerleri grafiği

- Tüm kompozitlerin sertlikleri reçine karışımı matrislerine göre düşük bulunmuştur.
- Sertlik testi sonuçlarından genelde LA atığı kompozitlerinin sertlik değerlerinin EPDM kompozitlerine göre az daha yüksek olduğu görülmüştür.
- Her 2 tür dolgu oranının artması ile NPER 133L-NPEK 114 matrisli kompozitlerde azalma görülürken diğer matrisli kompozitlerin sertlik değerlerine önemli etki göstermemiştir.

EPDM'nin %10-50 oranında PP matrisinde kullanımının, PP'nin sertlik değerini 70.6Shore D'den 58-66.4 Shore D değerlerine düşürdüğü literatürde bildirilmiştir (Demirer ve ark., 2018). Aynı şekilde, bisfenol-A tipi epoksi reçinede dolgu olarak kullanılan LA da reçinenin sertliğini (80 Shore D) düşürmüş ve kompozitlerinin sertlik değerleri 69.5-79.5 Shore D aralığında değişmiştir (Aydın, 2015).

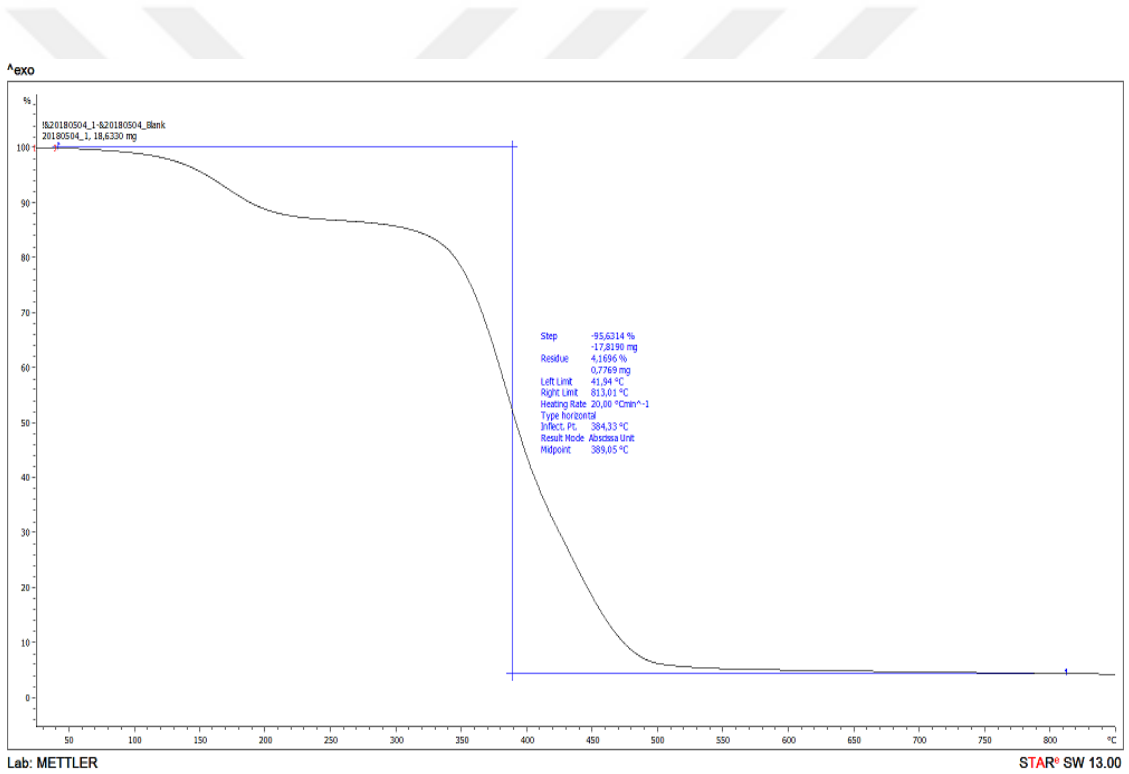
4.4. TGA Sonuçları

Epoksi kompozitlerinin termal kararlılığı sadece polimer zincir dinamiklerindeki köklü değişikliklerle ilgili anlayışları sağlamla kalmaz, aynı zamanda pratik uygulamalar için de gerek duyulduğu için önemlidir. Genellikle, termal stabilite, analog reçinelerin çapraz bağlanma yoğunluğunun artmasıyla birlikte artar. T_5 , T_{10} ve T_{50} (sırasıyla %5, %10 ve %50 ağırlık kaybı bozunma sıcaklıkları) bir kompozitin termal

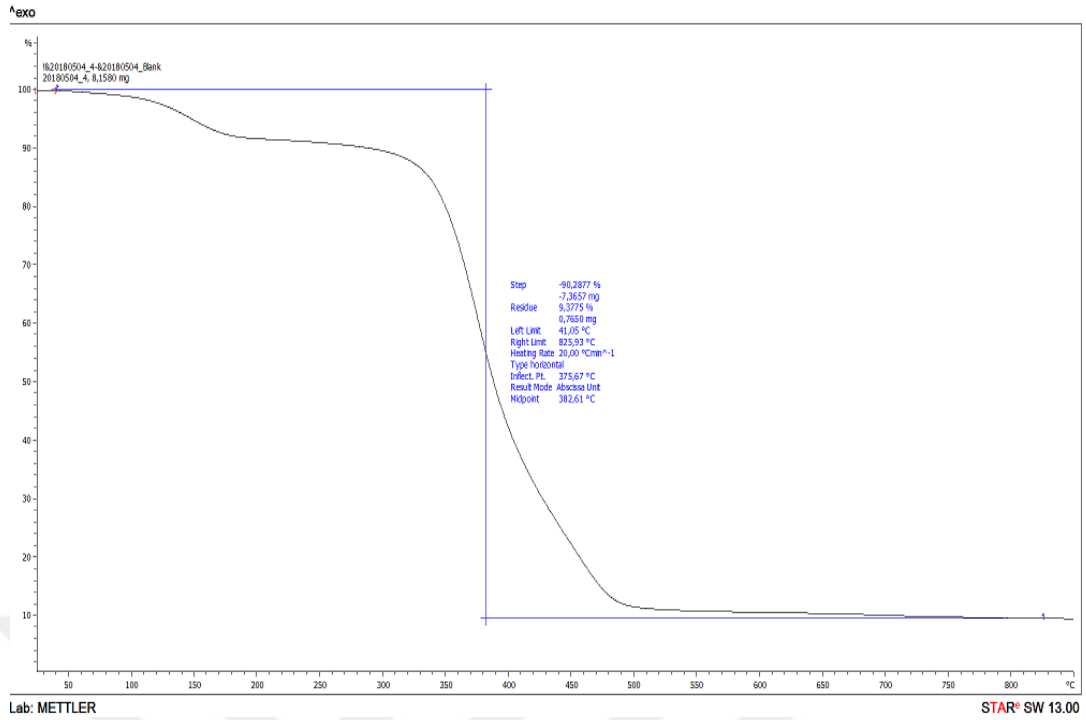
kararlılığını gösteren ana ölçütlerdir. Değerler ne kadar yüksekse, termal kararlılık o kadar yüksek olur.

4.4.1. NPER 450-NPEK 114 reçine karışımı ile oluşturulan kompozitlerin TGA sonuçları

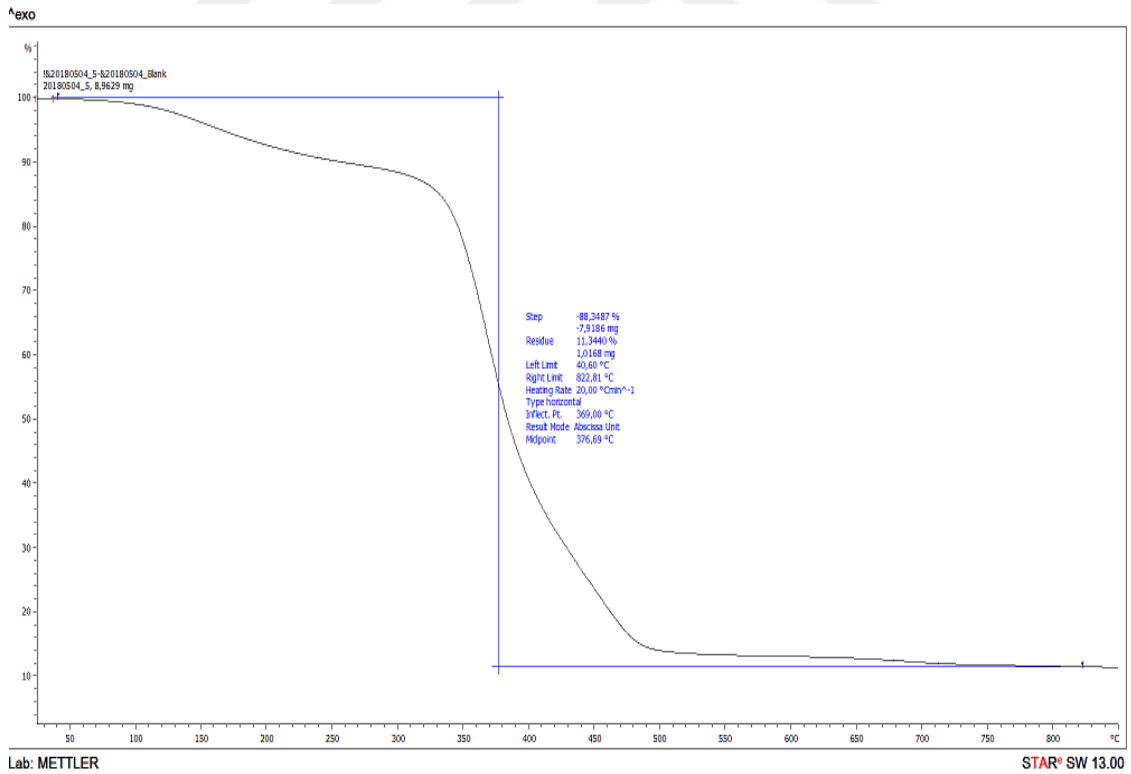
Saf (%50 NPER 450-%50 NPEK 114) matrisinin TGA eğrisi Şekil 4.27’de, %20 ve %30 LA kompozitlerinin TGA eğrileri Şekil 4.28 ve 4.29’da, %20 ve %30 EPDM kompozitlerinin TGA eğrileri ise Şekil 4.30 ve 4.31’de verilmiştir.TGA eğrilerinden elde edilen sonuçlar Çizelge 4.3’de özetlenmiştir. Çizelge 4.3’de başlangıç (BBS) ve ikinci (İBS) bozunma sıcaklıkları ile T_5 , T_{10} ve T_{50} de verilmiştir.



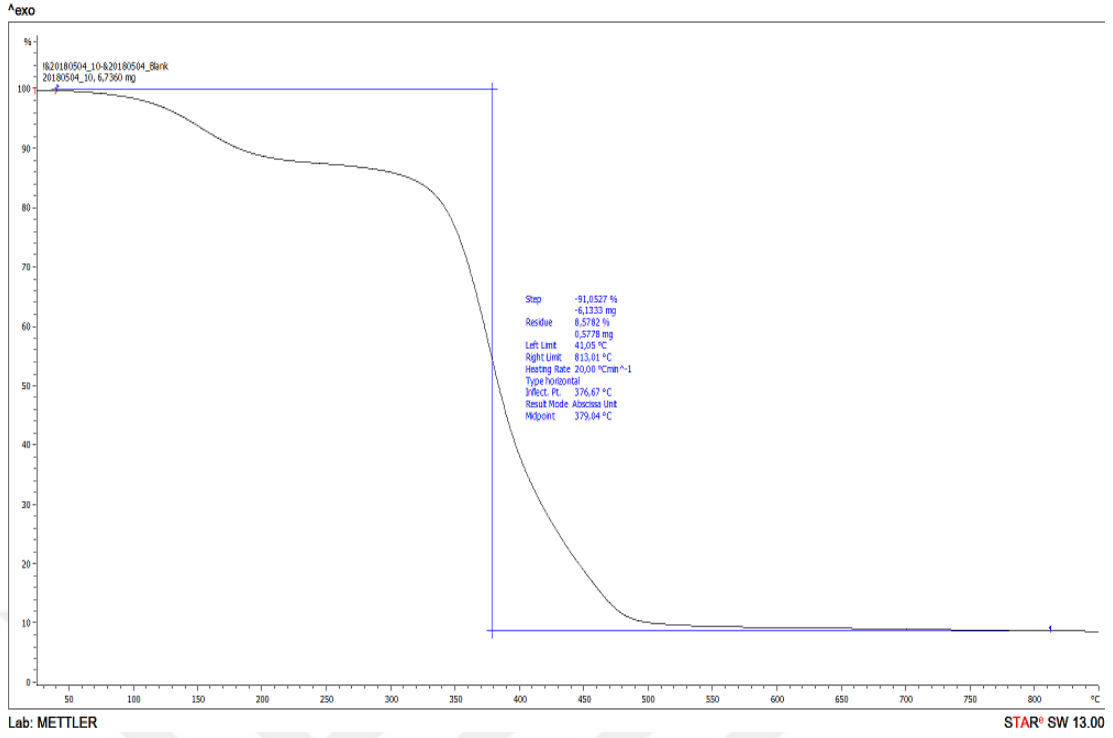
Şekil 4.27. Saf (%50 NPER 450 - %50 NPEK 114) matrisinin TGA eğrisi



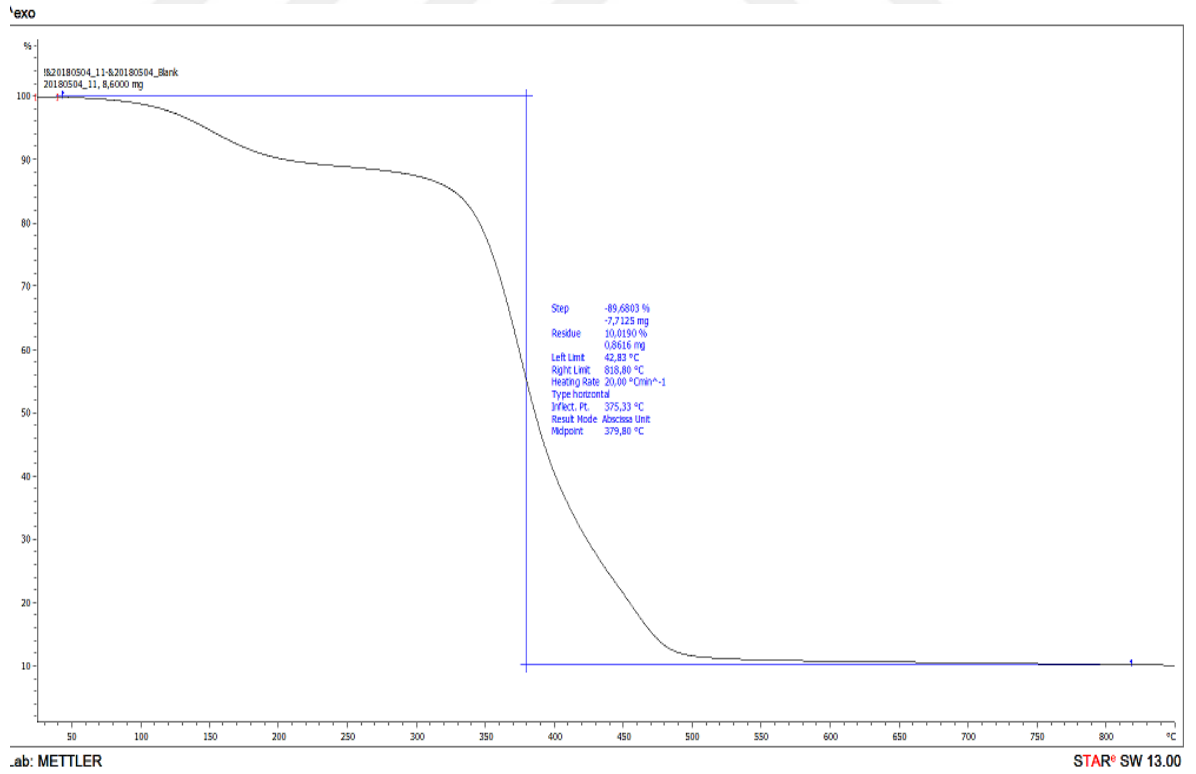
Şekil 4.28. NPER 450-NPEK 114/ %20 LA kompozitinin TGA eğrisi



Şekil 4.29. NPER 450-NPEK 114/ %30 LA kompozitinin TGA eğrisi



Şekil 4.30. NPER 450-NPEK 114/ %20 EPDM kompozitinin TGA eğrisi



Şekil 4.31. NPER 450-NPEK 114/ %30 EPDM kompozitinin TGA eğrisi

Çizelge 4.3. NPER 450-NPEK 114 matrisi ve kompozitlerinin termal bozunma sıcaklıkları

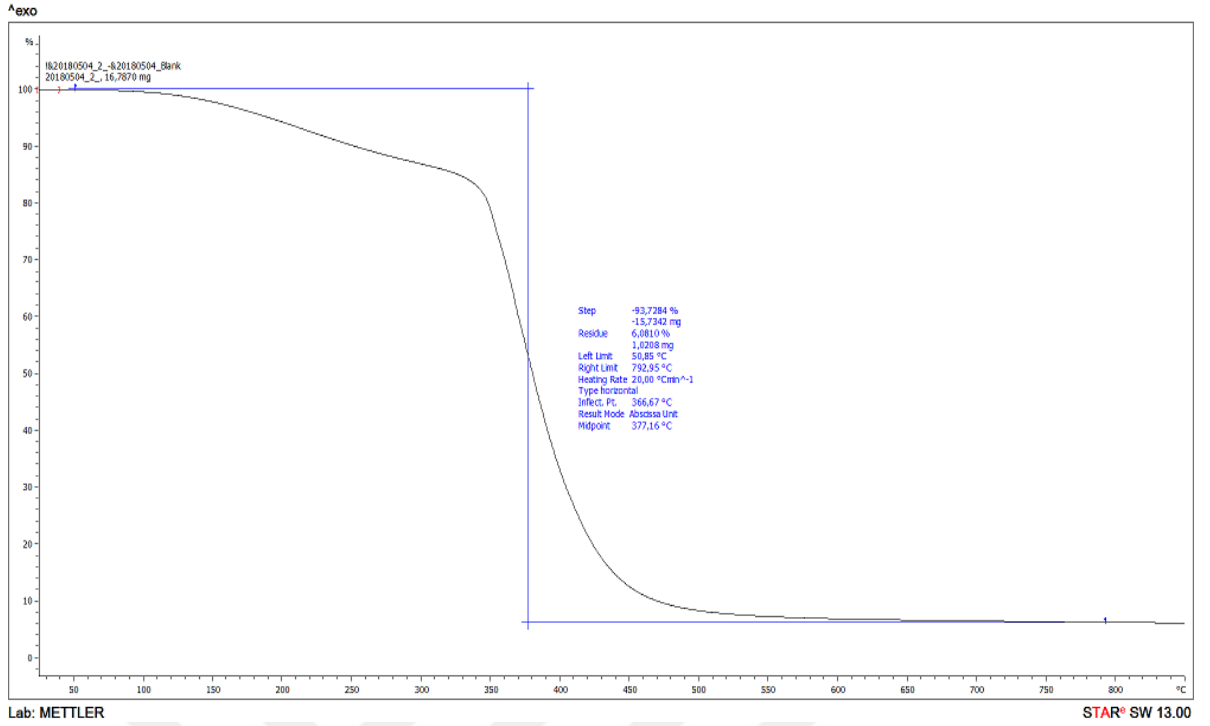
Dolgu (küt. %)	BBS* (°C)	İBS** (°C)	T ₅ (°C)	T ₁₀ (°C)	T ₅₀ (°C)	800 °C'da kalıntı (%)
Saf (%50 NPER 450-%50 NPEK 114) matrisi						
-	104	300	154	187	391	4.20
NPER 450-NPEK 114/LA kompozitleri						
20	100	310	146	252	388	9.37
30	103	315	163	283	384	11.34
NPER 450-NPEK 114/EPDM kompozitleri						
20	100	310	139	180	381	8.58
30	100	315	150	190	385	10.00

*BBS-birinci bozunma sıcaklığı; **İBS-ikinci bozunma sıcaklığı

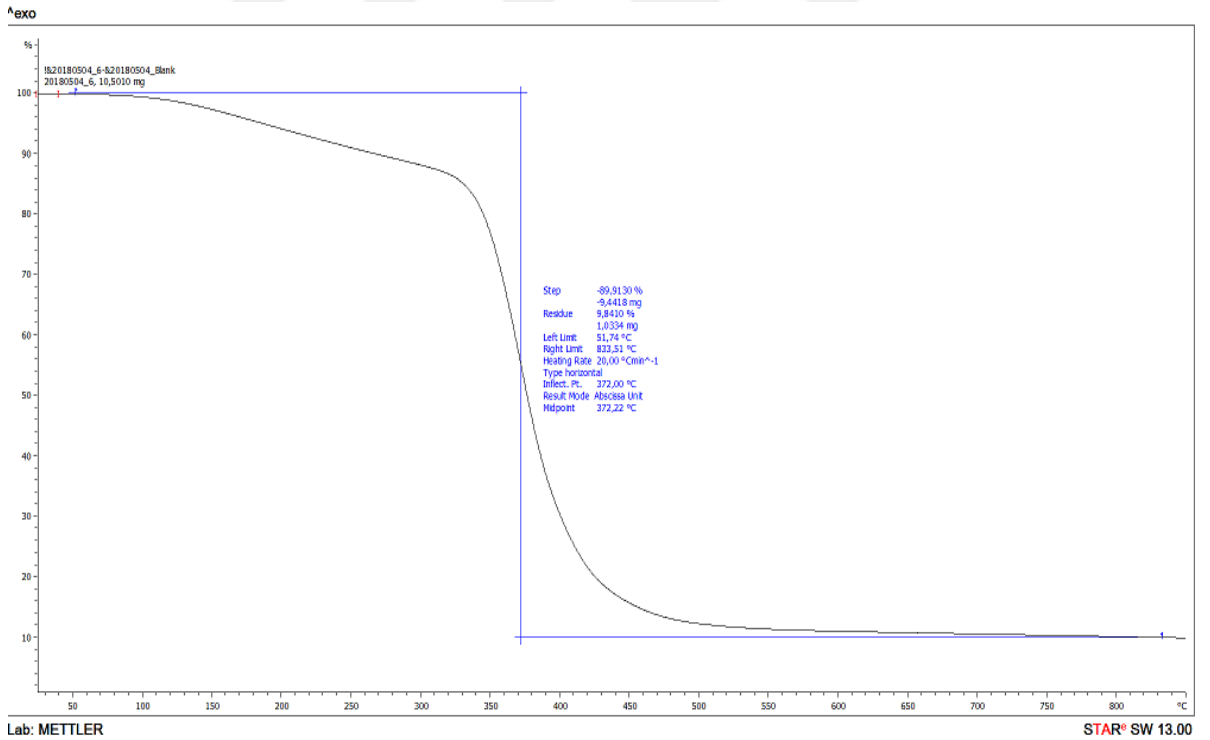
Çizelge 4.3'e göre, NPER 450-NPEK 114 matrisinin termal özelliğinde LA dolgusu EPDM'ye göre daha etkili olmuştur. LA, epoksi matrisin özellikle İBS, T₅ ve T₁₀ değerlerini yükseltmiştir. EPDM ilavesi matrisin T₅, T₁₀ ve T₅₀ değerlerini düşürse de kalıntı (çar) yüzdesini %4.17'den %8.58-10'a yükseltmiştir. LA kompozitleri için kalıntı yüzdesi %9.37-11.34 olmuştur. Kompozitlerde dolgu oranının %20'den %30'a artması termal dayanımı da artırmıştır.

4.4.2. NPER 133L-NPEK 114 reçine karışımı ile oluşturulan kompozitlerin TGA sonuçları

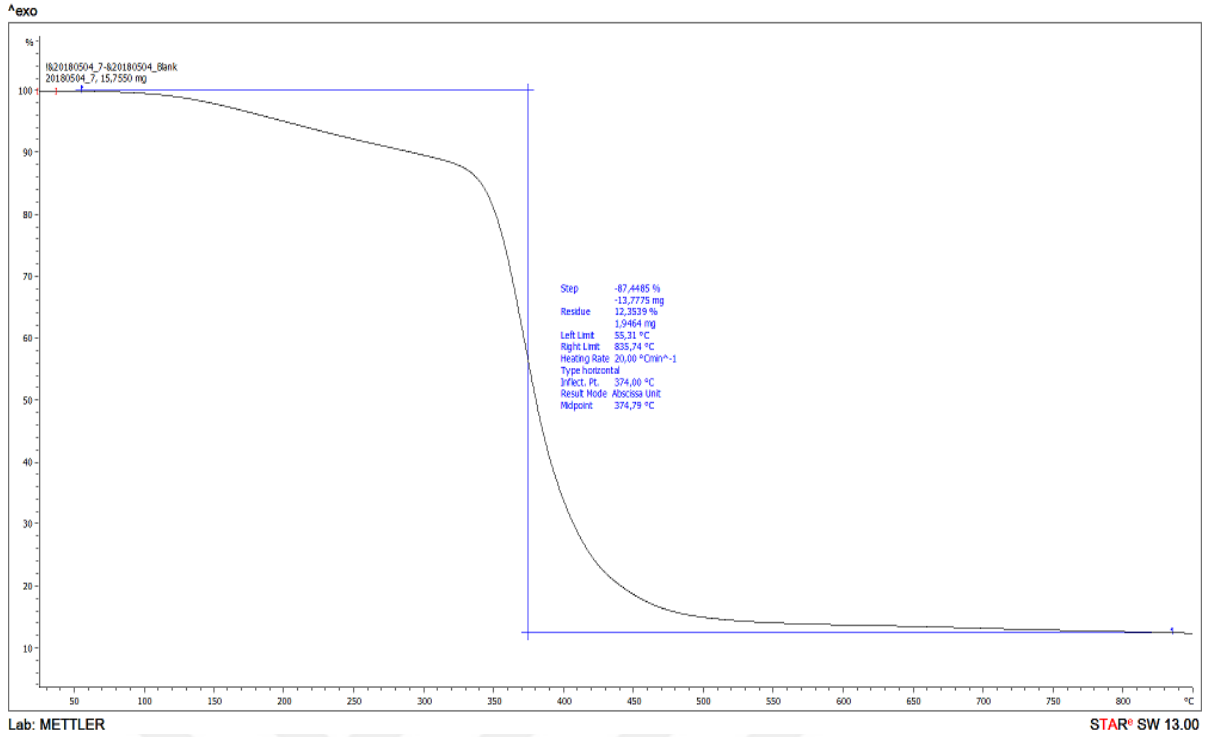
Saf (%50 NPER 133L-%50 NPEK 114) matrisinin TGA eğrisi Şekil 4.32'de, %20 ve %30 LA kompozitlerinin TGA eğrileri Şekil 4.33 ve 4.34'de, %20 ve %30 EPDM kompozitlerinin TGA eğrileri ise Şekil 4.35 ve 4.36'da verilmiştir. TGA eğrilerinden elde edilen sonuçlar Çizelge 4.4'de özetlenmiştir. Ayrıca, Çizelge 4.4'de başlangıç (BBS) ve ikinci (İBS) bozunma sıcaklıkları ile T₅, T₁₀ ve T₅₀ de verilmiştir.



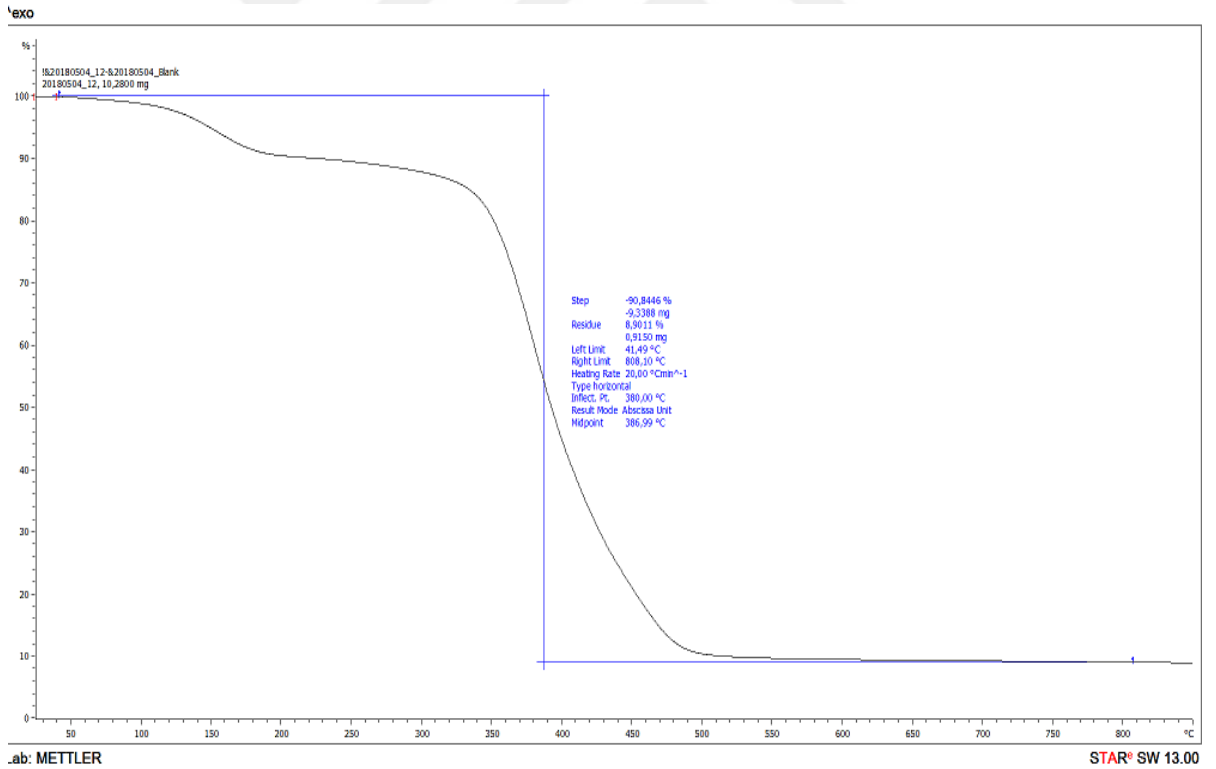
Şekil 4.32. Saf (%50 NPER 133L-%50 NPEK 114) matrisinin TGA eğrisi



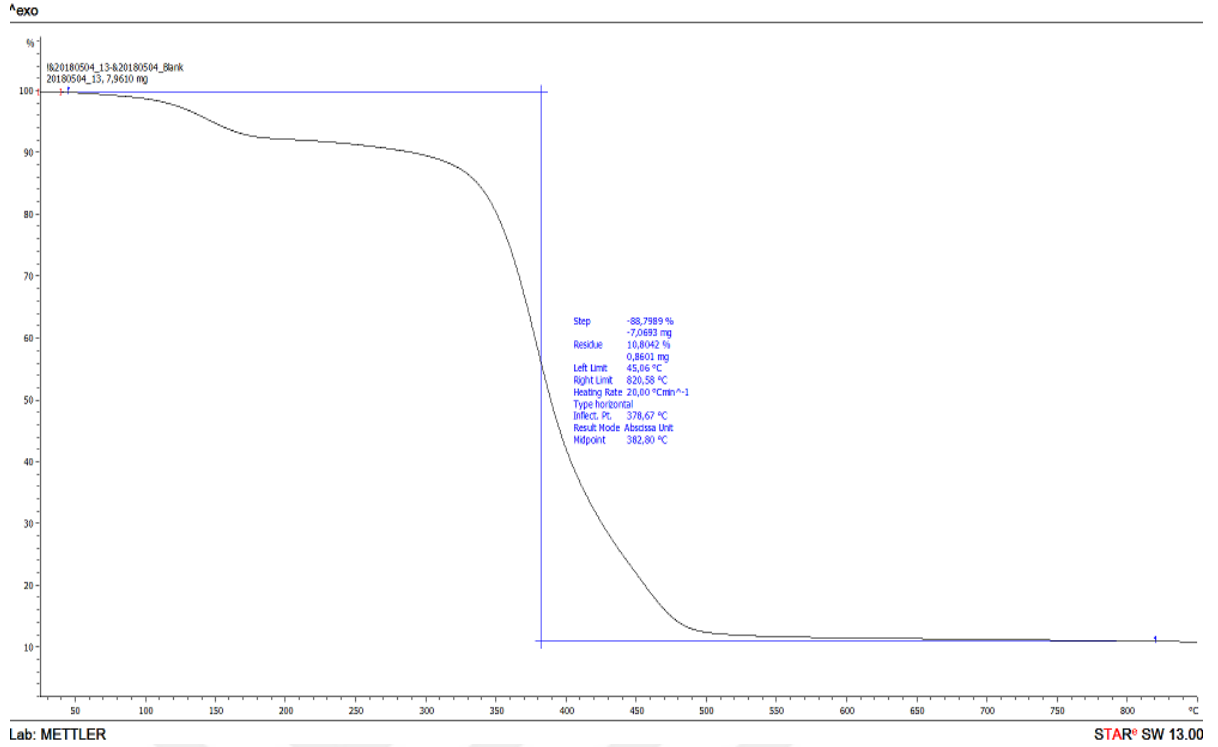
Şekil 4.33. NPER 133L-NPEK 114/%20 LA kompozitinin TGA eğrisi



Şekil 4. 34. NPER 133L-NPEK 114/%30 LA kompozitinin TGA eğrisi



Şekil 4.35. NPER 133L-NPEK 114/%20 EPDM kompozitinin TGA eğrisi



Şekil 4.36. NPER 133L-NPEK 114/%30 EPDM kompozitinin TGA eğrisi

Çizelge 4.4. NPER 133L-NPEK 114 matrisi ve kompozitlerinin termal bozunma sıcaklıkları

Dolgu (küt. %)	BBS* (°C)	İBS** (°C)	T ₅ (°C)	T ₁₀ (°C)	T ₅₀ (°C)	800 °C'da kalıntı (%)
Saf (%50 NPER 133L-%50 NPEK 114) matrisi						
-	100	314	189	250	380	6.0
NPER 133L-NPEK 114/LA kompozitleri						
20	100	320	184	264	389	10.0
30	110	330	197	290	392	12.5
NPER 133L-NPEK 114/EPDM kompozitleri						
20	100	320	147	215	376	8.9
30	100	325	146	286	380	10.8

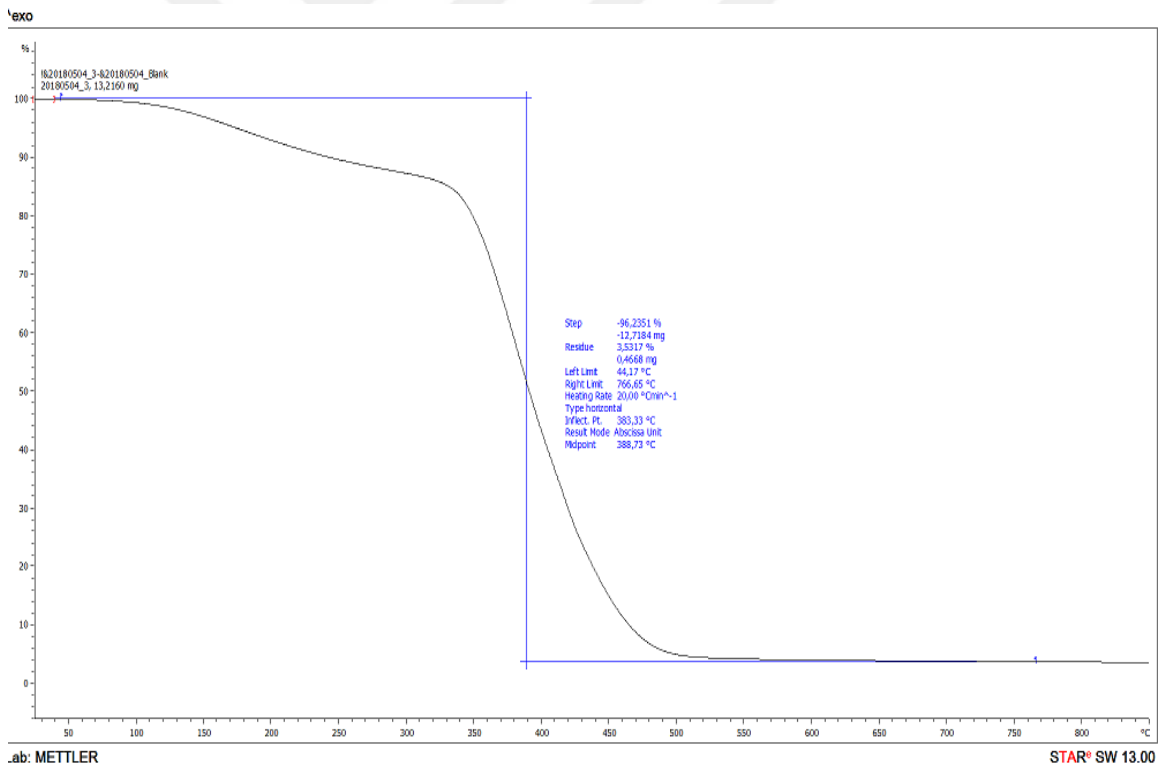
*BBS-birinci bozunma sıcaklığı; **İBS-ikinci bozunma sıcaklığı

Çizelge 4.4'e göre, NPER 133L-NPEK 114 matrisinin termal özelliğinde yine LA dolgusu EPDM'ye göre daha etkili olmuştur. LA, epoksi matrisin özellikle İBS, T₁₀ ve T₅₀ değerlerini yükseltmiştir. EPDM ilavesi matrisin T₅₀değerlerinde etkili

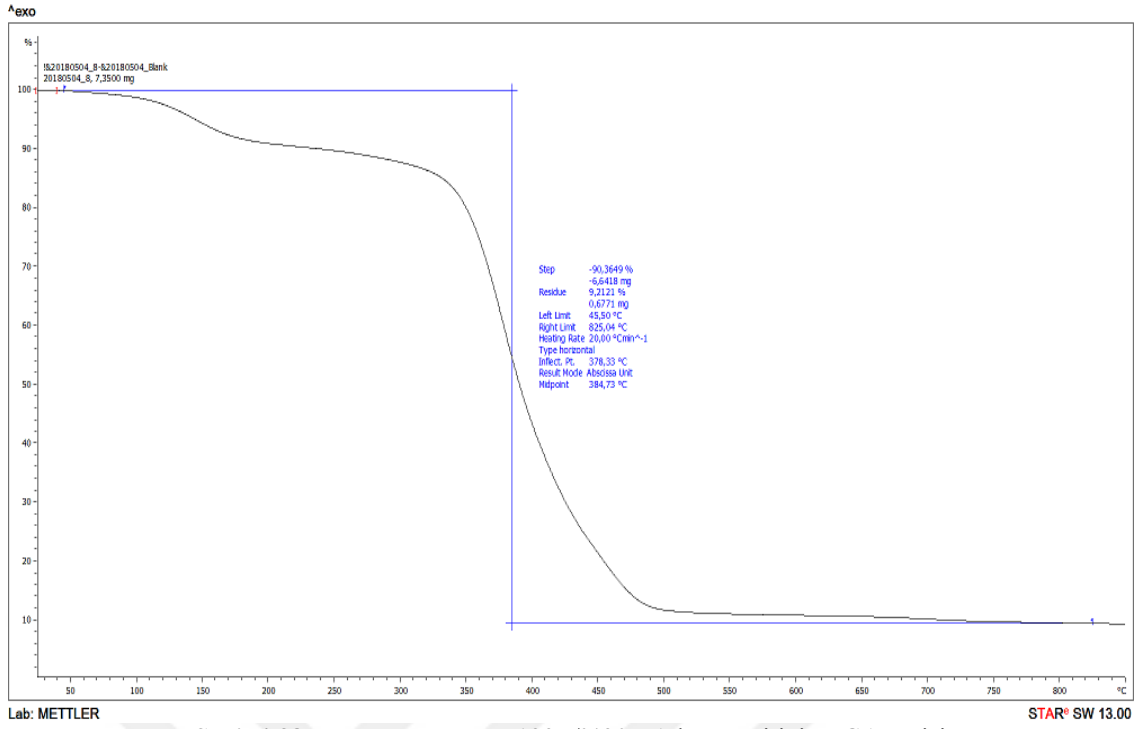
olmayıp T_5 ve T_{10} değerlerini düşürse de kalıntı (çar) yüzdesini %6'dan %8.9-10.8'e yükseltmiştir. LA kompozitleri için kalıntı yüzdesi %10-12.5 olmuştur. Kompozitlerde dolgu oranının %20'den %30'a artması ile termal dayanımın arttığı gözlemlenmiştir.

4.4.3. NPER 450-NPEK 133L reçine karışımı ile oluşturulan kompozitlerin TGA sonuçları

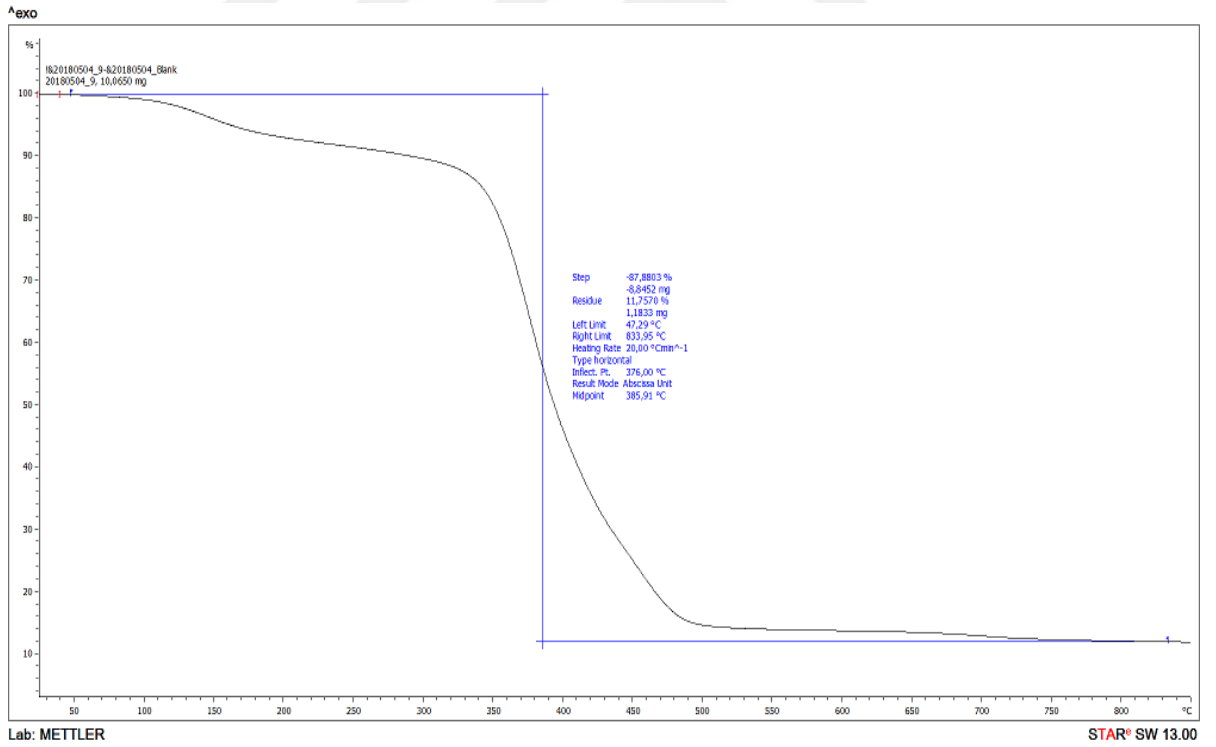
Saf (%50 NPER 450-%50 NPER 133L) matrisinin TGA eğrisi Şekil 4.37'de, %20 ve %30 LA kompozitlerinin TGA eğrileri Şekil 4.38 ve 4.39'da, %20 ve %30 EPDM kompozitlerinin TGA eğrileri ise Şekil 4.40 ve 4.41'de verilmiştir. TGA eğrilerinden elde edilen sonuçlar Çizelge 4.5'de özetlenmiştir. Çizelge 4.5'de başlangıç (BBS) ve ikinci (İBS) bozunma sıcaklıkları ile T_5 , T_{10} ve T_{50} de verilmiştir.



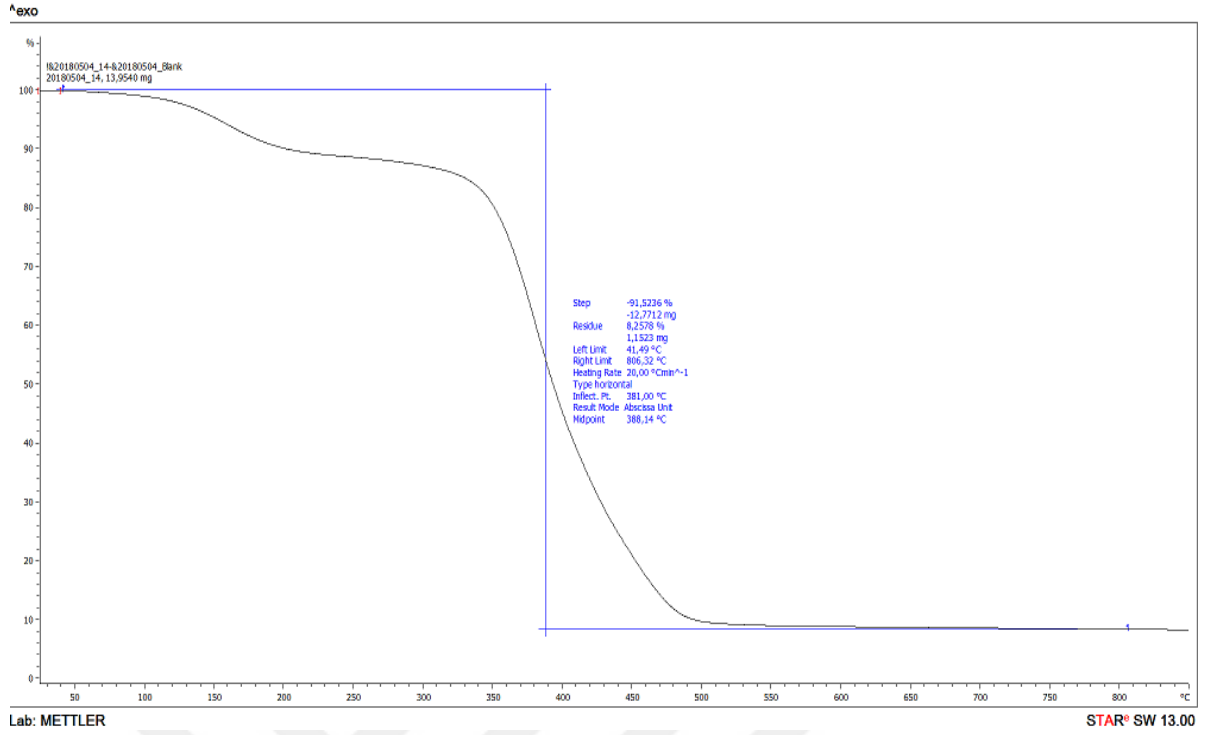
Şekil 4.37. Saf (%50 NPER 450-%50 NPER 133L) matrisinin TGA eğrisi



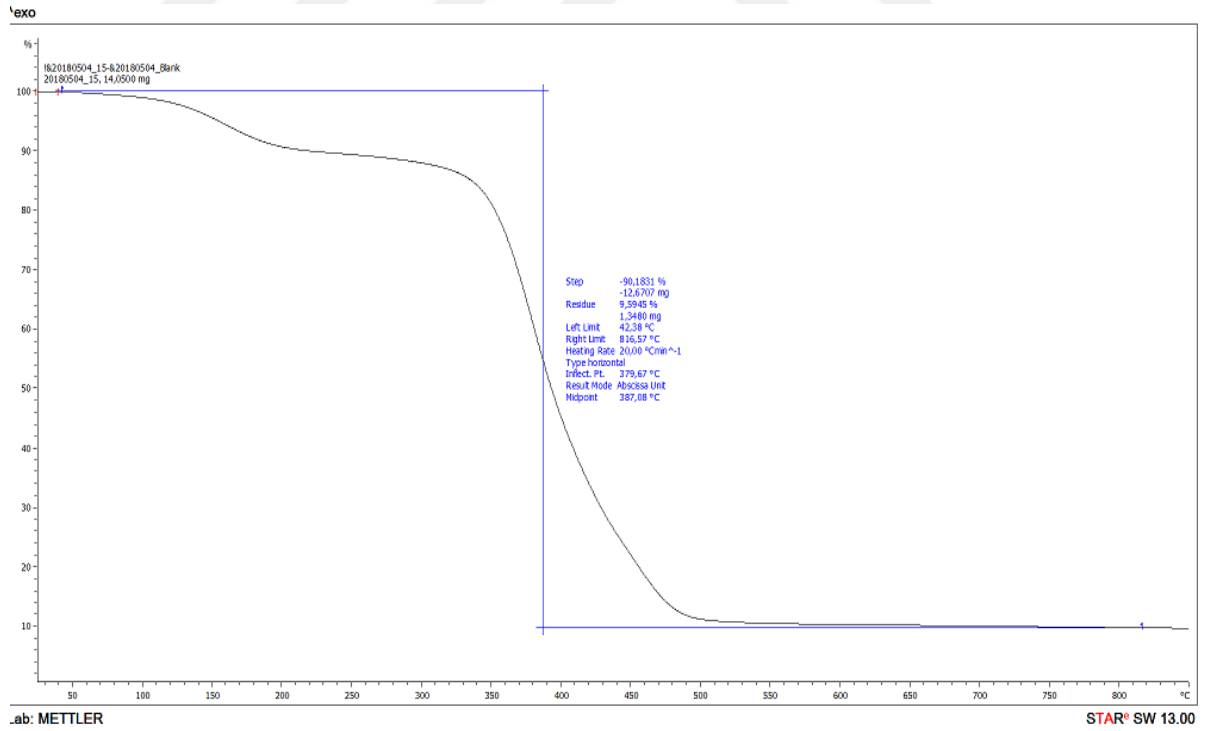
Şekil 4.38. NPER 450-NPER 133L/%20 LA kompozitinin TGA eğrisi



Şekil 4.39. NPER 450-NPER 133L/%30 LA kompozitinin TGA eğrisi



Şekil 4.40. NPER 450-NPER 133L/%20 EPDM kompozitinin TGA eğrisi



Şekil 4.41. NPER 450-NPER 133L/%30 EPDM kompozitinin TGA eğrisi

Çizelge 4.5. NPER 450-NPER 133L matrisi ve kompozitlerinin termal bozunma sıcaklıkları

Dolgu (küt. %)	BBS* (°C)	İBS** (°C)	T₅ (°C)	T₁₀ (°C)	T₅₀ (°C)	800 °C'da kalıntı (%)
Saf (%50 NPER 450-%50 NPER 133L) matrisi						
-	100	320	172	239	391	3.5
NPER 450-NPER 133L/LA kompozitleri						
20	100	330	142	237	390	9.3
30	100	330	159	284	393	11.9
NPER 450-NPER 133L/EPDM kompozitleri						
20	100	322	152	200	383	8.3
30	100	330	156	213	390	9.6

*BBS-birinci bozunma sıcaklığı; **İBS-ikinci bozunma sıcaklığı

Çizelge 4.5'e göre, NPER 450-NPER 133L matrisinin termal özelliğinde yine LA dolgusu EPDM'ye göre daha etkili olmuştur. LA, epoksi matrisin özellikle İBS, T₁₀ ve T₅₀ değerlerini yükseltmiştir. EPDM ilavesi, matrisin T₅ ve T₁₀ değerlerini düşürse de kalıntı (çar) yüzdesini %3.5'den %8.3-9.6'ya yükseltmiştir. LA kompozitleri için kalıntı yüzdesi %9.3-11.9 olmuştur. Kompozitlerde dolgu oranının %20'den %30'a artması ile termal dayanımın arttığı gözlemlenmiştir.

Sonuç olarak tüm kompozitler için TGA sonuçları değerlendirildiğinde:

- genelde LA kompozitlerinin termal dayanımları EPDM kompozitlerine göre yüksek olmuştur;
- kompozitlerde dolgu oranının %20'den %30'a yükselmesi ile termal dayanımda artış olduğu görülmüştür;
- NPER 133L-NPEK 114 matrisli kompozitlerin termal dayanımları diğer kompozitlere göre daha yüksek bulunmuştur.

Literatürde yapılan bazı çalışmalarda da LA ve EPDM kompozitlerinin termal dayanımları incelenmiş, polimer bir matrise (örneğin, PP) EPDM ilavesinin Vicat yumuşama noktasını düşürdüğü (Demirer ve ark., 2018), epoksi matrise LA ilavesinin ise T₅, T₁₀ ve T₅₀ değerleri ile kalıntı kütlelerini artırmıştır (Aydın, 2015),.

5. SONUÇLARVE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

- SEM görüntülerinden en iyi reçine karışımının NPER 133L-NPEK 114 olduğu görülmüştür. Kompozitlerde LA ve EPDM tozunun ağırlık yüzdesinin artırılmasıyla dağılım düzensiz hale gelmiş ve bu parçacıkların topaklaşması meydana gelerek kompozitteki pürüzlülük artmıştır. LA ile oluşturulan kompozitlerde EPDM ile oluşturulan kompozitlere göre daha iyi dağılım gözlemlenmiştir.NPER 133L-NPEK 114 reçine karışımında LA dolgu maddesi, diğer reçine karışımlarına göre daha homojen bir dağılım göstermiştir.
- Kompozit numunelerinin XRD spektrumunda önemli bir pik olmadığı görülmüştür. Bu, epoksi-LA veya epoksi-EPDM kompozitlerinde kristal fazın olmadığını göstermiş ve kompozitlerin amorf malzeme olduğu sonucuna varılmıştır.
- Çekme testi sonuçlarına göre, tüm kompozitlerde dolgu malzemesi oranı numunelerin çekme özelliğini etkilemektedir. Her 3 reçine karışımı kompozitlerinde EPDM atığı kompozitlerinin % uzama değerleri LA kompozitlerinden daha yüksek olmuştur. Tüm kompozitlerde genelde dolgu oranı arttıkça % uzama azalmıştır.
- LA kompozitlerinin çekme dayanımları, EPDM kompozitlerinden daha yüksek olmuştur.
- Elastisite modülünde en yüksek değerler LA kompozitlerinde görülmüştür.LA kompozitlerinin Young modülü değerleri (%20-30 dolgu oranına kadar) saf reçinelerden yüksek, EPDM kompozitlerinin ise düşük bulunmuştur.
- Sertlik testi sonuçlarından, genelde LA atığı kompozitlerinin sertlik değerlerinin daha yüksek olduğu görülmüştür.
- Genelde LA kompozitlerinin termal dayanımları EPDM kompozitlerine göre yüksek olmuştur. Kompozitlerde dolgu oranının %20'den %30'a yükselmesi ile termal dayanımda artış olduğu görülmüştür;NPER 133L-NPEK 114 matrisli kompozitlerin termal dayanımları diğer kompozitlere göre daha yüksek bulunmuştur.

Kompozit malzemede atık parçacıkların varlığı her zaman nihai fiyatı düşürmektedir. Atık hammadde fiyatının sıfır olduğunu düşündüğümüz sürece, kullanılan partiküller epoksi fiyatını %20 konsantrasyonda % 24'e kadar düşürmektedir. Atık madde tesisleri bu ürünleri sıfır fiyatlarla sunmamakla birlikte, 1 kg başına

önerilen fiyat epoksifiyatından oldukça düşüktür(Valasek ve Müller, 2014).Buna rağmen, yukarıda belirtilen sonuçlar, epoksi-EPDM malzemesinin kullanım spektrumunu daraltmaktadır; bu malzemelerin özellikleri nedeniyle yüksek dayanım ve güvenilirlik gerektiren bağlar ve uygulamalar için kullanılması mümkün değildir. Fakat tarım alanında, bu malzemeler her şeyden önce muhtemelen bağın yüksek mukavemetinin gerekli olmadığı durumlarda daha büyük ünitelerin bağlarının yapıştırılmasında kullanılabilir. Başka bir örnek malzemenin epoksilerin direncinin bir avantaj olduğu zeminler için kullanılması olabilir. Materyal ayrıca daha büyük çatlakların doldurulması ve dengesizliklerin şekillendirilmesi için de kullanılabilir.

5.2. Öneriler

Otomobil lastiği gibi atıkların çöp toplama alanlarında emniyetli olarak muhafaza edilmesi zordur ve beraberinde tutuşma riski, koku problemi, sinekler için üreme ortamı, içme suyu kaynaklarının kirlenmesi, yanarak hava kirliliğine sebep olma gibi birçok çevresel problemleri ortaya çıkarmaktadır. Lastiklerin karmaşık kimyasal yapıları geri dönüşümünü zorlaştırmaktadır. Bu yüzden son yıllarda endüstriyel atık kullanım gereksinimleri ortaya çıkmıştır. Yapılan bu çalışma, EPDM ve lastik atıkları gibi kauçuk atıklarının yeni bir alanda-kompozit malzeme üretiminde geri kazanılabilirliğini göstermiştir.

Atık kauçuğun kompozitlere, beton karışımlarına ve diğer matrislere dolgu maddesi olarak kullanılması iler ki yıllarda bilim adamlarının araştırması için daha cazip bir alan haline gelecektir. Bunun nedeni, atık kauçuğu kullanan ürünlerin sayısız alanda fayda sağlama potansiyeline sahip olması ve aynı zamanda çevrenin iyileştirilmesine hizmet etmesidir. Ayrıca, bu çalışma dikkate alınarak diğer sanayi ve tarım atıkları da kompozit malzemelerde değerlendirilebilir ve araştırılabilir.

KAYNAKLAR

- Abu-Jdayil, B., Mourad, A.-H.I. ve Hussain, A., 2016, Investigation on the mechanical behavior of polyester-scrap tire composites, *Construction and Building Materials*, 127, 896–903.
- Ahmetli, G., Gungor, A. ve Kocaman, S., 2014, Epoxy composites based on inexpensive tire waste filler, *AIP Conference Proceedings*, 1599, 346-349.
- Anonim 1, "Türkiye'de ÖTL", Kaynak: <http://www.lasder.org.tr/turkiyede-otl/> (Erişim tarihi: 02.06.2019).
- Amari, T., Themelis, N.J. ve Wernick, I.K., 1999, Resource recovery from used rubber tires, *Resources Policy*, 25, 179–188.
- Aoudia, K., Azem, S., Hocine, N.A., Gratton, M., Pettarin, V. ve Seghar, S., 2017, Recycling of waste tire rubber: Microwave devulcanization and incorporation in a thermoset resin, *Waste Management*, 60, 471–481.
- Aydın, P., 2015, Lastik atığının kompozit yapımında değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya.
- Aydın, P., Güngör, A. ve Ahmetli, G., 2014, Lastik atığının epoksi kompozitte dolgu maddesi olarak kullanımı, *II Ulusal Kauçuk Sempozyumu*, İstanbul, Türkiye.
- Çetin, C., 2009, Lastik, kauçuk, poliüretan geri dönüşüm teknolojisi, *Kauçuk Derneği Dergisi*, 35, 28-29.
- Corredor-Bedoya, A.C., Zoppi, R.A. ve Serpa, A.L., 2017, Composites of scrap tire rubber particles and adhesive mortar-noise insulation potential, *Cement and Concrete Composites*, 82, 45-66.
- De, S.K., Isayev, A.I. ve Khait, K., 2005, Rubber recycling, *CRC Press*, Taylor & Francis Group, Boca Raton, FL 33487–2742.
- Demirer, H., Kartal, İ., Ünlü, K. ve Büyükkaya, K., 2018, Investigation of mechanical and thermal properties of waste EPDM and polypropylene mixtures, *Acta Physica Polonica A*, 134 (1), 257-259.
- Demirer, H., Tezcan, Y., Büyükkaya, K. ve Kartal, İ., 2019, Polipropilenin eğilme özelliklerine geri dönüşümlü EPDM boyutlarının etkisi, *European Journal of Science and Technology*, (15), 381-386.

- Dhakal, H.N., Zhang, Z.Y. ve Richardson, M.O.W., 2006, Effect of water absorption on the mechanical properties of hemp fibre reinforced unsaturated polyester composites, *Composites Science and Technology*, 67 (7-8), 1674-1683.
- Diaconescu, R.-M., Barbuta, M. ve Harja, M., 2013, Prediction of properties of polymer concrete composite with tire rubber using neural networks, *Materials Science and Engineering B*, 178, 1259– 1267.
- Esmizadeh, E., Naderi, G., Bakhshandeh, G.R., Fasaie, M.R. ve Ahmadi, S., 2017, Reactively compatibilized and dynamically vulcanized thermoplastic elastomers based on high-density polyethylene and reclaimed rubber, *Polymer Science, Series B*, 59, 362-371.
- Farzi, G., Lezgy-Nazargah, M., Imani, A., Eidi, M. ve Darabi, M., 2019, Mechanical, thermal and microstructural properties of epoxy-OAT composites, *Construction and Building Materials*, 97, 12-20.
- Forrest, M.J., 2014, Recycling and re-use of waste rubber, *Smithers Rapra*, UK.
- Forsdyke, K.L. ve Starr, T.F., 2002, Thermoset resins, *Rapra Technology Limited*, UK.
- Fukumori, K., Matsushita, M., Okamoto, H., Sato, N., Suzuki, Y. ve Takeuchi, K., 2002, Recycling technology of tire rubber, *JSAE Review*, 23, 259-264.
- Garcia, D., Lopez, J., Balart, R., Ruseckaite, R.A. ve Stefani, P.M., 2007, Composites based on sintering rice husk–waste tire rubber mixtures, *Materials and Design*, 28, 2234–2238.
- Goodman, S.H., 1998, Handbook of thermoset plastics, *Noyes Publications*, USA.
- Goodman, B.J. ve Walter, D.K., 1991, Opportunities for energy from municipal wastetecnology, *Energy Source*, 13, 179-188.
- Gönüllü, M.T., 2004, Atık lastiklerin yönetimi, *Katı Atık Geri Dönüşüm Teknolojileri Semineri*, İSO, İstanbul.
- Gurer, C., Akbulut, H. ve Kurklu, G., 2004, İnşaat endüstrisinde geri dönüşüm ve bir hammadde kaynağı olarak farklı yapı malzemelerinin yeniden değerlendirilmesi, 5, *Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, İzmir, Türkiye.
- Isayev, I.A., 2005, Recycling of rubbers, *Science and Technology of Rubber*, Third Edition, 663–701.

- Ismail, H., Galpaya, D. ve Ahmad, Z., 2009, The compatibilizing effect of epoxy resin (EP) on polypropylene (PP)/recycled acrylonitrile butadiene rubber (NBRr) blends, *Polymer Testing*, 28, 363-370.
- Jacob, C., De, P.P, Bhowmick, A.K. ve De, S.K., 2001a, Recycling of EPDM waste. I. Effect of ground EPDM vulcanizate on properties of EPDM rubber, *Journal of Applied Polymer Science*, 82, 3293-3303.
- Jacob, C., De, P.P, Bhowmick, S., 2001b, Recycling of EPDM waste. II. Replacement of virgin rubber by ground EPDM vulcanizate in EPDM/PP thermoplastic elastomerik composition, *Journal of Applied Polymer Science*, 82, 3304-3312.
- Jones, F.R., 2017, Unsaturated polyester resins, *Brydson's Plastics Materials* (Eighth Edition), 743-772.
- Karabörk, F., 2012, Atık araç tekerlek lastiklerinde mikrodalga devulkanizasyon parametrelerinin lastiğin mekanik özelliklerine etkileri, Doktora Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya.
- Karabörk, F. ve Akdemir, A., 2013, Atık taşıt lastiklerinin parçalanması ve lastik tozunun karakterizasyonu, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 29 (1), 29-40.
- Karger-Kocsis, J. ve Wu, C.-M., 2004, Thermoset rubber/layered silicatenanocomposites. Status and future trends, *Polymer Engineering and Science*, 44, 1083-1093.
- Kaynak, C., Sipahi-Saglam, E. ve Akovali, G., 2001, A fractographic study on toughening of epoxy resin using ground tyre rubber, *Polymer*, 42, 4393-4399.
- Kaynak, C., Celikbilek, C. ve Akovali, G., 2003, Use of silane coupling agents to improve epoxy-rubber interface, *European Polymer Journal*, 39, 1125-1132.
- Khan, M.S., Lehmann, D., Heinrich, G., Gohs, U. ve Franke, R., 2009, Structure property effects on mechanical, friction and wear properties of electron modified PTFE filled EPDM composite, *Express Polymer Letters*, 3 (1), 39-48.
- Kirby, A.J., 1992, Polyimides-materials, processing and applications, *Pergamon Press*, USA.
- Koçak, Y. ve Alpaslan, L., 2011, Atık lastiklerin çimento ve beton sektöründe kullanım potansiyelleri, *6 th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11)*, Elazığ, Turkey.
- Li, G., Stubblefield, M. A., Garrick, G., Eggers, J., Abadie, Ch. ve Huang, B., 2004, Development of waste tire modified concrete, *Cement and Concrete Research*, 34, 2283-2289.

- Li, J., 2008, Blends of EPDM rubber/thermoplastics, Master Thesis, *Lulea University of Technology*, Almedalen, Sweden.
- Medina, N.F., Garcia, R., Hajirasouliha, I., Pilakoutas, K., Guadagnini, M. ve Raffoul, S., 2018, Composites with recycled rubber aggregates: Properties and opportunities in construction, *Construction and Building Materials*, 188, 884–897.
- MEGEP, 2011, Atık lastikler, *Milli Eğitim Bakanlığı*, Ankara.
- Nabil, H., Ismail, H. ve Azura, A.R., 2013, Effects of virgin ethylene–propylene–diene–monomer and its preheating time on the properties of natural rubber/recycled ethylene–propylene–diene–monomer blends, *Materials & Design*, 50, 27-37.
- Nuzaimah, M., Sapuan, S.M., Nadlene, R. ve Jawaid, M., 2018, Recycling of waste rubber as fillers: A review, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 368, 012016, 1-9.
- Onat, A., 2015, Kompozit malzemeler ders notu, *Sakarya Üniversitesi Makina ve Metal Teknolojileri Bölümü*, Sakarya.
- Payne, E., 1994, Reclaim rubber usage and trends, *Rubber World*.
- Pehlken, A. ve Essadiqi, E., 2005, Scrap tire recycling in Kanada, *CANMET Materials Technology Laboratory Technical Report*, MTL 2005-8(CF).
- Presti, D. L., 2013, Recycled tyre rubber modified bitumens for road asphalt mixtures: a literaturereview, *Construction and Building Materials*, 49, 863-881.
- Riyajan, S.A., Intharit, I. ve Tangboriboonrat, P., 2012, Physical properties of polymer composite: Natural rubber glove waste/polystyrene foam waste/cellulose, *Industrial Crops and Products*, 36, 376-382.
- Saçak, M., 2005, Polimer teknolojisi, *Gazi Kitabevi*, Ankara.
- Sekhar, G.B., 2014, Proceedings of the tire technology expo, *Tire Technology Expo*, Cologne, Germany.
- Shanmugaraj, A.M., Kim, J.K. ve Ryu, S.H., 2005, UV surface modification of waste tire powder: characterization and its influence on the properties of polypropylene/waste powder composites, *Polymer Testing*, 24, 739–745.
- Singh, K., Nanda, T. ve Mehta, R., 2017, Addition of nanoclay and compatibilized EPDM rubber for improved impact strength of epoxy glass fiber composites, *Composites: Part A*, 103, 263–271.
- Smith, F.G., Daniels, E.J. ve Teotia, A.P.S., 1995, Testing and evaluating commercial applications of new surface-treated rubber technology utilizing waste tires, *Resources, Conservation and Recycling*, 15, 133-144.

- Soydal, U., Kocaman, S., Marti, M.E. ve Ahmetli, G., 2018, Study on the reuse of marble and andesite wastes in epoxy- based composites, *Polymer Composites*, 39 (9), 3081-3091.
- Stark, N.M., Matuana, L.M. ve Clemons, C.M., 2004, Effect of processing method on surface and weathering characteristics of wood-flour/HDPE composites, *Journal of Applied Polymer Science*, 93, 1021–1030.
- Su, H., Yang, J., Ling, T.-Ch., Ghataora, G.S. ve Dirar, S., 2015, Properties of concrete prepared with waste tyre rubber particles of uniform and varying sizes, *Journal of Cleaner Production*, 91, 288-296.
- Sugözü, İ. ve Mutlu, İ., 2009, Atık taşıt lastikleri ve değerlendirme yöntemleri, *Taşıt Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 1 (1), 35-46.
- Takeichi, T. ve Furukawa, N., 2012, Epoxy resins and phenol-formaldehyde resins, *Polymer Science: A Comprehensive Reference*, 5, 723-751.
- Tosun, H. ve Fırat, F.K., 2016, Geri dönüşümün ekonomi üzerine etkileri, inşaat sektöründe atık lastik kullanımı örneği, *International Conference on Eurasian Economies*, Kaposvár, Hungary.
- UNEP, 2008, Revised technical guidelines on environmentally sound management of used tires, *Basel Convention*, Bazel, Switzerland.
- Usuki, A., Tukigase, A. ve Kato, M., 2002, Preparation and properties of EPDM-clay hybrids, *Polymer*, 43, 2185-2189.
- Valášek, P. ve Müller, M., 2014, EPDM rubber material utilization in epoxy composite systems, *Agronomy Research*, 12(1), 291–298.
- van Duin, M., van der Aar, N. ve van Dornemaele, G., 2019, Defining EPDM for the past and the next 50 years, *KGK Rubberpoint*, June 21. <https://www.kgk-rubberpoint.de/en/21389/defining-epdm-for-the-past-and-the-next-50-years/>
- Wu, B. ve Zhou, M.H., 2009, Recycling of waste tyre rubber into oil absorbent, *Waste Management*, 29, 355–359.
- Xiao, W.H., Huang, S.O. ve Tao, J., 2004, Morphology rheology and mechanical properties of dynamically cured EPDM/PP blend: Effect of curing agent dose variation, *Journal of Applied Polymer Science*, 92, 357–362.
- Yehia, A.A., 2007, Recycling of rubber waste, *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 43 (6), 1735-1754.
- Yetgin, S.H., 2017, Talk ve EPDM miktarının PP/Talk/EPDM kompozitinin mekaniksel özelliklerine etkisinin incelenmesi, *Dokuz Eylül Üniversitesi-Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 19 (55), 295-303.

Zanchet, A., Carli, L.N., Giovanela, M., Brandalise, R.N. ve Crespo, J.S., 2012, Use of styrene butadiene rubber industrial waste devulcanized by microwave in rubber composites for automotive application, *Materials and Design*,39, 437-443.



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Merve TÜRK BEN
Uyruğu : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : Bor/Niğde – 15.09.1993
Telefon : 0543 348 7454
Faks :
E-Posta : mrvgzkck.51@gmail.com

EĞİTİM

Derece	Adı	İlçeİl	Bitirme Yılı
Lise	: Şehit Nuri Pamir Anadolu Lisesi, Bor, Niğde		2011
Üniversite	: Selçuk Üniversitesi, Selçuklu, Konya		2016
Yüksek Lisans	: Konya Teknik Üniversitesi, Selçuklu, Konya		2019

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2014	Bor Şeker Fabrikası	İntern (stajyer)
2015	Rekor Kauçuk A.Ş.	İntern (stajyer)

YABANCI DİLLER

İngilizce (orta düzeyde)

YAYINLAR

Turkben, M., Kocaman, S., Ahmetli, G., Using of Tire Wastes in Epoxy Composites-A New Developing Solution to the Waste Problem, *International Conference on Technology, Engineering and Science (IConTES)*, Oral presentation, 26-29 October, Antalya/Turkey, 2017. (YL tezinden yapılmıştır)