



T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

LASTİK ATIĞININ KOMPOZİT YAPIMINDA
DEĞERLENDİRİLMESİ

Pınar AYDIN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

2015

KONYA

Her Hakkı Saklıdır

TEZ.KABUL VE ONAYI

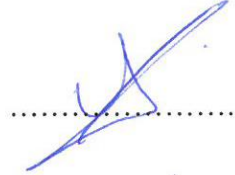
Pınar AYDIN tarafından hazırlanan “Lastik Atığının Kompozit Yapımında Değerlendirilmesi” adlı tez çalışması 24/07/2015 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

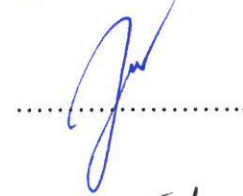
Başkan

Yrd.Doç.Dr. Alaaddin CERİT



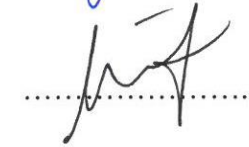
Danışman

Prof.Dr. Gülnare AHMETLİ



Üye

Yrd.Doç.Dr. İlkey ÖZAYTEKİN



Yukarıdaki sonucu onaylarım.



Prof. Dr. Aşır GENÇ

FBE Müdürü

Bu tez çalışması BAP tarafından 14201030 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.

İmza



Pınar AYDIN

24/07/2015

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

LASTİK ATIĞININ KOMPOZİT YAPIMINDA

DEĞERLENDİRİLMESİ

Pınar AYDIN

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Gülnare AHMETLİ

2015, 64 Sayfa

Bu çalışmada atık lastik tozu epoksi reçinede dolgu malzemesi olarak kullanılmış ve çevre sorununa bu şekilde bir çözüm getirilmesi denenmiştir. Çalışmada 2 tür epoksi reçine: bisfenol-A (NPEL 128) ve bisfenol-A/F (NPEF 164X) ile 4 tür atık lastik karışımı kullanılarak kompozitleri oluşturulmuştur. Lastik atığı (LA) epoksi reçineye kütlece % 10-% 50 oranlarında ilave edilerek dolgu maddesi miktarının ve epoksi reçine türünün kompozit özelliklerine etkisi incelenmiştir. Kompozitlerin morfolojisi X-ışını kırınımı (XRD) ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile karakterize edilmiştir. LA için en uygun kütle seviyesi NPEF için % 10, NPEL için % 20 olarak belirlenmiştir. Saf epoksiye göre kompozitlerin çekme dayanımı ve Young modülü değerleri kritik LA seviyelerinde sırasıyla % 21,8-33,8 ve % 33,6-58,8 olarak artmıştır. Kompozitlerin TGA analizi, % 30 LA oranına kadar saf epoksi reçinesinin termal dayanıklılığını arttığını göstermiştir. 14 günlük daldırma için saf NPEF'in denge su sorpsiyonu % 0,172; saf NPEL'in % 0,097 olarak belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: lastik atığı, epoksi reçine, kompozit

ABSTRACT

MS THESIS

EVALUATION OF WASTE TIRE IN COMPOSITE CONSTRUCTION

Pınar AYDIN

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
SELÇUK UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE OF CHEMICAL
IN CHEMICAL ENGINEERING**

Advisor: Prof. Dr. Gulnare AHMETLI

2015, 64 Pages

In this study, it was tried to find a solution to an environmental problem in this way that using waste tire dust as an filler in epoxy resin . Using mixture of two types of epoxy resins; (bisfenol-A (NPEL 128), bisfenol-A/F (NPEF 164X) and four types waste tires composite is formed in this work. It was investigated effect on the properties of the composite of type epoxy resin and amount of filler by added the waste tire (wt) to epoxy resin ratio by mass of 10% -50%. Morphology of composites were characterized with x-ray diffraction (XRD) and electron microscopy (SEM). Optimum mass level was determineted for wt in NPEF %10 and in NPEL %20. To the pure epoxy, tensile strength of composites and Young's modul values is increased on the critical levels of WT from 21.8 to 33.8% and from 33.6 to 58.8% respectively. TGA Analysis of composites has shown that up to 30% of ratio wt by increases the thermal stability of pure epoxy resin. It was determineted that balance water sorption values of NPEF and pure NPEL %0,172 , %0,097 for 14 days immersion respectively.

Keywords: waste tire, epoxy resin, composite

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tez çalışmalarım süresince danışmanlığımı yapan, yüksek lisans tez çalışmalarım kapsamında beni yönlendiren, araştırmalarımın her aşamasında bilgi, öneri ve yardımlarını esirgemeyerek bilimsel katkılarının yetişme ve gelişme de katkıda bulunan danışman hocam Sayın Prof. Dr. Gülnare AHMETLİ'ye en içten teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Yine çalışmalarım süresince her zaman yanımda olan ve her türlü desteği ve yardımı büyük bir öz veri ile bana sunan Sayın hocalarım Yrd. Doç. Dr. İlkey ÖZAYTEKİN ve Doç. Dr. Hüseyin DEVECİ'ye teşekkür ederim.

Pınar AYDIN
KONYA-2015

İÇİNDEKİLER

| | |
|--|------------|
| ÖZET | iv |
| ABSTRACT | v |
| ÖNSÖZ | vi |
| İÇİNDEKİLER | vii |
| TABLO LİSTESİ | x |
| ŞEKİL LİSTESİ | xi |
| SİMGELER ve KISALTMALAR | xii |
| 1. GİRİŞ | 1 |
| 1.1. Kauçuk | 2 |
| 1.1.1. Kauçuk çeşitleri | 2 |
| 1.1.1.1. Doğal kauçuk | 2 |
| 1.1.1.2. İzopren kauçuk | 3 |
| 1.1.1.3. Bütil kauçuk | 3 |
| 1.1.1.4. Bütadien kauçuk | 3 |
| 1.1.1.5. Stiren bütadien kauçuk..... | 4 |
| 1.1.1.6. Akrlonitril bütadien kauçuk | 4 |
| 1.1.2. Dolgu maddeleri | 4 |
| 1.1.2.1. Karbon siyahı | 4 |
| 1.1.2.2. Karbon siyahı dışındaki dolgu maddeleri | 5 |
| 1.1.3. Kauçuk karışımı hazırlama | 5 |
| 1.1.4. Vulkanizasyon | 6 |
| 1.1.5. Kauçuğun yaşlanması | 7 |
| 1.1.5.1. Oksijen ve ısı etkisi ile yaşlanma..... | 8 |
| 1.1.5.2. Ozon etkisi ile yaşlanma | 8 |
| 1.1.5.3. Işık ve hava şartları | 8 |
| 1.1.6. Yorulma | 9 |
| 1.1.7. Zehirli materyaller | 9 |
| 1.2. Lastik | 9 |
| 1.2.1. Lastik üretimi | 11 |
| 1.2.2. Atık lastikler | 13 |

| | |
|---|-----------|
| 1.2.2.1. Atık lastiklerin insan sağlığı ve evre kirliliği açısından yarattığı sorunlar | 14 |
| 1.2.2.2. Türkiye’de atık lastiklerin geri kazanımı | 15 |
| 1.2.2.3. Türkiye, AB ve ABD için atık lastik yasal mevzuat..... | 18 |
| 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI | 20 |
| 3. MATERYAL VE YÖNTEM..... | 24 |
| 3.1. Kullanılan Kimyasal Maddeler | 24 |
| 3.1.1. Ticari epoksi reçine(ER)..... | 24 |
| 3.1.2. Sertleştirici | 24 |
| 3.1.3. Hızlandırıcı | 24 |
| 3.1.4. Lastik atığı tozu | 25 |
| 3.2. DeneYlerde kullanılan cihaz ve aletler | 25 |
| 3.3. Kompozit Hazırlama Yöntemi..... | 25 |
| 3.4. Kompozit Malzemelerin Karakterizasyonu | 27 |
| 3.4.1. Yüzey karakterizasyonu..... | 27 |
| 3.4.2. X ışını kırınım analizi(XRD) | 27 |
| 3.4.3. Mekanik karakterizasyon | 27 |
| 3.4.3.1. Çekme testi | 28 |
| 3.4.1.2. Sertlik testi | 29 |
| 3.4.4. Termal analiz | 29 |
| 3.4.5. Su absorplama analizi | 30 |
| 4. DENEYSSEL BULGULAR VE TARTIŞMA | 31 |
| 4.1. SEM Analizi | 31 |
| 4.2. XRD Analizi | 32 |
| 4.3.Mekanik zellikler | 34 |
| 4.3.1.Kompozitlerin ekme testleri sonuçları | 34 |
| 4.3.2.Kompozitlerin sertlik testleri sonuçları..... | 35 |
| 4.4. Kompozitlerin Termal zellikleri | 36 |
| 4.5. Su sorpsiyonu..... | 38 |
| 4.6. Sıcaklık ve Su Sorpsiyonun Kompozitlerin Mekanik zelliklerine Etkisi | 39 |
| 5. SONUÇLAR..... | 41 |
| KAYNAKLAR | 42 |
| EKLER.... | 45 |
| EK 1. Saf NPEF reçinesinin TGA eğrisi | 45 |

| | |
|---|-----------|
| EK 2. NPEF/LA (%10) kompozitinin TGA eğrisi | 45 |
| EK 3. NPEF/LA (%20) kompozitinin TGA eğrisi | 46 |
| EK 4. NPEF/LA (%30) kompozitinin TGA eğrisi | 46 |
| EK 5. NPEF/LA (%40) kompozitinin TGA eğrisi | 47 |
| EK 6. NPEF/LA (%50) kompozitinin TGA eğrisi | 47 |
| EK 7. Saf NPEL reçinesinin TGA eğrisi | 48 |
| EK 8. NPEL/LA (%10) kompozitinin TGA eğrisi | 48 |
| EK 9. NPEL/LA (%20) kompozitinin TGA eğrisi | 49 |
| EK 10. NPEL/LA (%30) kompozitinin TGA eğrisi | 49 |
| EK 11. NPEL/LA (%40) kompozitinin TGA eğrisi | 50 |
| EK 12. NPEL/LA (%50) kompozitinin TGA eğrisi | 50 |
| ÖZGEÇMİŞ | 51 |

TABLO LİSTESİ

| | |
|--|-----------|
| Tablo 1.1. Örnek karışım reçetesi | 5 |
| Tablo 1.2. Doğal kauçuğun farklı vulkanizasyon sistemlerinde kükürt ve hızlandırıcı miktarları..... | 6 |
| Tablo 1.3. Vulkanize doğal kauçuğun farklı vulkanizasyon sistemlerindeki özellikleri . | 6 |
| Tablo 4.1. LA mikratının ve epoksi reçine türünün kompozitlerin mekanik özelliklerine etkisi..... | 33 |
| Tablo 4.2. Epoksi/LA kompozitlerinin sertlik testi sonuçları | 34 |
| Tablo 4.3. Saf ER ve kompozitlerin TGA değerleri | 35 |
| Tablo 4.4. LA oranının kompozitlerin termal özellikleri üzerine etkisi | 36 |
| Tablo 4.5. Sıcaklık ve su sorpsiyonunun kompozit özelliklerine etkisi..... | 38 |

ŞEKİL LİSTESİ

| | |
|--|----|
| Şekil 1.1. Lastiğin bileşenlerinin şematik olarak gösterimi..... | 9 |
| Şekil 1.2. Lastik üretimi akış şeması | 11 |
| Şekil 1.3. Atık lastiklerin geri kazanım süreci şeması..... | 15 |
| Şekil 3.1. Bisfenol A tipi epoksi reçine | 23 |
| Şekil 3.2. Bisfenol F tipi epoksi reçine..... | 23 |
| Şekil 3.3. Kompozit hazırlama yöntemi 1 | 25 |
| Şekil 3.4. Kompozit hazırlama yöntemi 2 | 25 |
| Şekil 3.5. Kalıplanmış kompozitlerin boyutları..... | 25 |
| Şekil 3.6. Çekme numunesi ve gerilme test yöntemi | 27 |
| Şekil 3.7. Kullanılan çekme testi cihazı | 27 |
| Şekil 4.1. Lastik atığı tozunun SEM görüntüsü..... | 30 |
| Şekil 4.2. NPEF reçinesi ile hazırlanan kompozitlerin SEM görüntüsü: a) saf NPEF; b) % 10 LA; c) % 30 LA; d) % 50 LA..... | 30 |
| Şekil 4.3. NPEL reçinesi ile kompozitlerin SEM görüntüsü: a) saf NPEL; b) % 10 LA; c) % 30 LA; d) % 50 LA | 31 |
| Şekil 4.4. Saf NPEF (1) ve kompozitlerinin X-ışını kırınım grafiği: 2) % 10 LA; 3) % 20 LA; 4) % 30 LA; 5) % 40 LA; 6) % 50 LA | 32 |
| Şekil 4.5. Saf NPEL (1) ve kompozitlerinin X-ışını kırınım grafiği: 2) % 10 LA; 3) % 20 LA; 4) % 30 LA; 5) % 40 LA; 6) % 50 LA | 32 |
| Şekil 4.6. Kompozitlerin su sorpsiyonun süreye bağlı değişim grafiği..... | 37 |

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

°C: Santigrat derece

E: Elastisite modülü

rpm: devir/dakika

s: Saniye

As: Asminyum metali

Cd: Kadmiyum metali

Cr: Krom metali

Pb: Kurşun metali

Zn: Çinko metali

Fe: demir metali

Kısaltmalar

SEM: Taramalı Elektron Mikroskopu

XRD: X-Işınım Difraksiyonu

TGA: Termogravimetrik Analiz

ASTM: American Society for Testing and Materials

BR: Butadien Rubber - Butadien Kauçuk

IIR: Butil Kauçuk

IR: İzopren Kauçuk

NBR: Akrilonitril bütadien kauçuğu

NR: Doğal Kauçuk

ÖTL: Ömrünü Tamamlamış Lastik

SBR: Stiren Butadiene Kauçuk

ER: Epoksi reçine

LA: Lastik atık

NPEL-NPEF: Ticari epoksi reçine

TDK: Türk Dil Kurumu

MEB: Milli Eğitim Bakanlığı

LASDER: Lastik Sanayicileri Derneği İktisadi İşletmesi

1. GİRİŞ

Günümüzde insanların en temel amaçlarından biri yüksek kalitede bir yaşam sürmektir. Bu durum tüketim artışına ve bağlı olarak da atık miktarının ve çevre kirliliğinin artmasına sebep olmaktadır (Subramanian, 2000).

Atık madde miktarı, nüfus artışına paralel olarak artmaktadır. Bir değer ödeyerek alınan maddi varlıkların işe yaramadığı veya fonksiyonunu yitirdiği zaman çöpe atılan veya bir yerde biriktirilen, ekonomik olarak ömrünü yitirmiş; seramik, beton, ahşap, kağıt, cam, oto lastiği ve plastik gibi materyallere atık denir. Cam, metal, plastik, kâğıt/karton ve tekstil artıkları gibi değerlendirilebilir atıklar, çeşitli fiziksel ve kimyasal işlemlerden geçirilerek yeni bir hammaddeye veya ürüne dönüştürülebilirler. Bu atıkların bir takım işlemlerden geçirildikten sonra ikinci bir hammadde olarak üretim sürecine sokulmasına geri dönüşüm denir. Bu süreç her bir atık türü için malzemenin cins ve niteliğine göre farklılık gösterir (Kan, 2007).

Geri kazanım terimi ise tekrar kullanım ve geri dönüşüm kavramlarını da içerdiği için biraz daha geniş kapsamlıdır. Değerlendirilebilir atıkların kaynağında ayrı ayrı toplanması, sınıflandırılması, fiziksel ve kimyasal yöntemlerle başka ürünlere veya enerjiye dönüştürülmesi işlemlerinin bütünü geri kazanım olarak adlandırılır (Anonim 2012).

Lastik atıklar katı atıkların yaklaşık %10'unu (hacimce %30) oluşturmaktadır (Goodman, 1991). Çok büyük miktarlarda kullanılan bu malzemeler kullanım sonrası çevreye atılarak çevre kirliliğine ve kaynakların azalmasına sebep olmaktadır.

Lastik atıkların geri dönüştürülmesinin iki ana hedefi vardır. Bunlar:

- Geri kazanma yoluyla çevre kirliliğinin en aza indirilmesi,
- Yeni kaynakların yaratılmasıdır.

Günümüzde lastik atıkların giderilmesinde en yaygın kullanılan yöntem arazi doldurma ve enerji elde etmek üzere yakma işlemleridir. Ancak her iki yöntemde çevreyle ilgili çok çeşitli problemlerle ilişkilendirildikleri için atık değerlendirmede yeterli bir çözüm olarak görülmemektedir (Pinto, 1999). Lastik atıklar 1970'li yıllardan beri yakılarak enerji üretiminde de kullanılmaktadır. Diğer taraftan lastiklerin tekrar işlenerek kullanılması alternatif bir çözüm olarak görülmektedir. Elde edilen ikincil ürünün geri dönüşüm prosesi ile molekül ağırlığı düşmesi, mekanik ve fiziksel özellikleri değişir. Dolayısıyla dönüşüm yapılan lastikler de belli bir kullanımdan sonra atık lastik haline gelmektedir.

Geri dönüştürme işleminin birçok yararı vardır. Bunlardan en çok bilinenlerini şöyle sıralayabiliriz:

1-Doğal kaynaklarımız korunur. Kullanılmış ambalaj ve benzeri değerlendirilebilir atıkların bir hammadde kaynağı olarak kullanılması yerine, kullanıldığı malzeme için tüketilmesi gereken hammaddenin veya doğal kaynağın korunması gibi önemli bir tasarrufu doğurur.

2-Enerji tasarrufu sağlanır. Geri dönüşüm sırasında uygulanan fiziksel ve kimyasal işlem sayısı, normal üretim işlemlerine göre daha az olduğu için, geri dönüşüm ile malzeme üretilmesinde önemli bir enerji tasarrufu sağlanır

3-Atık miktarı azalır. Geri dönüşüm sayesinde çöplüklere daha az atık gider. Böylece bu atıkların taşınması ve depolanması kolaylaşır, çöp alanının daha uzun ömürlü olması sağlanır (Kan, 2007).

4-Geri dönüşüm ekonomiye katkı sağlar. 1 ton kullanılmış kâğıt geri kazanıldığında 16 adet çam ağacının, 1 ton gazete kâğıdı geri kazanıldığında 8 adet çam ağacının kesilmesi önlenmiş olacaktır. Türkiye’de yıllık 3 milyon ton geri kazanılabilir atığın ekonomik değeri 150 trilyon lira civarındadır (Kan, 2007).

Yapılan çalışmada amaç lastik atığını farklı bir alanda, kompozit yapımında değerlendirmek ve epoksi reçinenin bazı özelliklerini iyileştirerek yeni kompozit malzemeler elde etmektir.

1.1. Kauçuk

1.1.1. Kauçuk çeşitleri

1.1.1.1.Doğal kauçuk (NR)

Doğal kauçuğun ana maddesi az miktarda protein, lipid, inorganik tuzlar ve diğer bazı maddeler karışmış cis-1.4 poliizoprendir. Doğal kauçuğun polimer zincirleri uzun, birbirine girmiş sargılar halindedir ve oda sıcaklığında sürekli hareket halindedir. Doğal kauçuk polimerlerinin bükülüp sarılmaları, karbon-karbon çift bağıyla aynı tarafta olan metil grubu ve hidrojen atomunun oluşturduğu üç boyut düzeninin engellenmesinin bir sonucudur (Savran, 2001).

Doğal kauçuğun 2/3'ü otomobil lastiği üretiminde, kalan kısmı mekanik parçalar, ayakkabı tabanı (özellikle yüksek kalitede spor ayakkabıları), hortum,

konveyör bandı, yer döşemesi, sünger ve yapıştırıcı imalatında kullanılmaktadır. Doğal kauçuğun camsı geçiş sıcaklığının (T_g) -75 °C civarında olması, düşük sıcaklık özelliklerinin çok iyi olmasını sağlamaktadır (Harper, 2006).

1.1.1.2. İzopren kauçuk (IR)

Uzun araştırmalar sonucu doğal kauçuğun yerine bulunan sentetik bir kauçuktur. NR ile mukayese edildiğinde; renginin iyi, kalitesinin daha az değişken ve kokusuz olması, daha kolay parçalanabilmesi ve karıştırılması, daha kolay ekstruzyon, kalıplama ve kalenderleme özellikleri daha üstün olduğu özellikler olarak sıralanabilir. Üretilen isoprenin % 60'ı otomobil lastiği imalatında; bunun dışında konveyer kayışı, conta, ayakkabı tabanı ve yer döşeme malzemesi olarak çeşitli tıbbi malzemelerin imalatında kullanılır (Savran, 2001; Harper, 2006).

1.1.1.3. Butil kauçuk (IIR)

İzobutilenin % 0,5 – % 3 arasında izopren ile kopolimerizasyonu sonucu vulkanize edilebilen butil kauçuk üretilmiştir. Butil kauçuğun (IIR) en önemli özelliği gaz geçirgenliğinin çok düşük olmasıdır. IIR'nin ozon ve ısı direnci çok iyidir. Ozon, hava ve neme karşı mükemmel dayanıklılık gösterir, dielektrik özellikleri, şok emme kabiliyeti ve ısı dayanımı yüksektir (Harper, 2006). IIR, çok düşük gaz geçirgenliği ve yüksek yaşlanma direnci özelliklerinden dolayı, iç lastik imalatı, çatı ve tekne kaplamasında kullanılmaktadır (Savran, 2001).

1.1.1.4. Bütadien kauçuk (BR)

Kopma mukavemeti değerlerinin düşük oluşu ve işlenme zorluğundan dolayı NR ve stiren-bütadien kauçuğu ile birlikte kullanılır. Aşınma ve çatlama mukavemetinin çok iyi olmasından dolayı, otomobil dış lastik imalatında kullanılır. Camsı geçiş sıcaklığının düşük olması sebebiyle, düşük ısılarda çok iyi elastik özellikler verir. BR'nin % 90'ı lastik imalatında kullanılmaktadır. Teknik malzeme olarak konveyör bant ve hortum imalatı, ayakkabı tabanı, yüksek aşınma mukavemeti istenen parçaların üretimi, golf topları ve yer döşemesi imalatlarında kullanılır (Savran, 2001; Harper, 2006)

1.1.1.5. Stiren bütadien kauçuk (SBR)

Dünyada en çok kullanılan sentetik kauçuk türüdür. Sanayide en çok otomobil lastiği üretiminde kullanılmakla beraber, kablo ve elektrik malzemeleri, fren ve debriyaj balataları, şeffaf bantlar ve yapıştırıcılar, konveyör bandı, elektrik malzemeleri, dinamik parçaların imalatı ve ayakkabı tabanı imalatında kullanılmaktadır. Polar olmayan sıvılara, çözücülere, seyreltik asit ve bazlara dayanıklı olup yakıt ve yağlara dayanıksızdır (Savran, 2001; Harper, 2006)

1.1.1.6. Akrilonitril bütadien kauçuk (NBR)

Nitril kauçuk butadien ve akrilonitril monomerlerinin kopolimerizasyonu ile elde edilir. Nitril grubu polar özellik verir, bundan dolayı yağlara, solventlere dayanımı çok iyidir. Kauçuk karışımına ester ilave edildiğinde, soğuğa dayanım özelliklerinde önemli iyileşmeler görülmüştür. Ozona dayanımı kötüdür. NBR, polar olmayan kauçuklara göre önemli oranda yüksek elektrik özelliği gösterir. Bu yüzden elektrik yalıtım malzemesi olarak kullanılmamalıdır. NBR, conta, hortum, taşıyıcı bant, fren balatası imalatında, mil, silindir ve kazan kaplamalarında kullanılmaktadır (Savran, 2001)

1.1.2. Dolgu maddeleri

Kauçuklara kuru toz halinde katılan çok küçük tane boyutlu maddeler, ya güçlendirici ya da dolgu maddeleri olarak tanımlanır. Endüstriyel uygulamalarda genellikle termoplastiklere ağırlıkça yaklaşık % 30, termosetlere ise yaklaşık % 60 oranında dolgu katılır (Xu, 2009).

1.1.2.1. Karbon siyahı

Dünyada üretilen karbon siyahının % 95'i kauçuk sanayinde tüketilmektedir. Karbon siyahı, kauçuk sanayi dışında plastik, boya maddesi ve matbaa mürekkebi imalatında kullanılmaktadır. Fırın, kanal, lamba (termal) gibi elde edilmiş prosesleri vardır (Savran, 2001). Karbon siyahı eklenmesiyle, kısa molekül zincirleri daha uzun

zincirlerle gerilmeyi paylaşır ve böylece kauçuk kolay kopmaz. Karbon siyahı moleküler yapıya eklenerek kauçuğu güçlendirir.

Eklenen karbon siyahı aynı zamanda vulkanize kauçuğun çapraz bağ yapısını da etkiler. Bu nedenle dolgulu kauçukta çapraz bağ yoğunluğu hesaplanırken, dolgu kauçuk etkileşiminin de göz önüne alınması gerekir.

1.1.2.2. Karbon siyahı dışındaki dolgu maddeleri

Kauçuk sanayisinde karbon siyahı dışında kullanılan dolgu maddeleri siyah renk dışında üretilmesi istenen lastik parçaların imalatında veya diğer ürünlerde karbon siyahı ile birlikte kullanılmaktadır. Mineral dolgu maddeleri olarak isimlendirilirler ve genellikle karışım maliyetini düşürme özelliğine sahiptirler (Savran, 2001). Çok çeşitli mineral dolgu maddeleri bulunmakla birlikte genel olarak üç sınıfa ayırmak mümkündür (Savran, 2001).

- Güçlendirici etkisi olanlar
- Kısmen güçlendirici etkisi olanlar
- Güçlendirici etkisi olmayanlar

1.1.3. Kauçuk karışımı hazırlama

Amaca uygun olarak seçilmiş ve birbirleriyle oransal olarak ayarlanmış maddeler topluluğu “Reçete” veya “Formül” olarak isimlendirilir. Fonksiyonel olarak lastik karışımına giren maddelerin sistematığı şöyledir (Savran, 2001).

- Kauçuk (lar)
- Vulkanizasyon maddeleri
 - Pişiriciler
 - Hızlandırıcılar, Aktivatörler, Geciktiriciler
- Aktif (Takviye edici) ya da aktif olmayan dolgu maddeleri
- Proses kolaylaştırıcılar
- Yaşlanmayı önleyiciler ve koruyucular
- Yumuşatıcılar
- Şişiriciler
- Boya maddeleri
- Özel amaçlı maddeler.

Her karışımın ortak özelliği en az bir kauçuk çeşidinden ve vulkanizasyon sisteminden oluşmasıdır. Bunlar olmadan elastik özellikler sağlanamaz. Bu sistemin en önemli elemanı kauçuk ya da kauçuklardır. Kauçuk formülasyonu (reçete) kauçuk veya kauçukların toplamı 100 olacak şekilde hazırlanır. Kauçuk dışında kullanılan tüm maddeler phr (part per hundred rubber) yani yüz kısım kauçuk için gerekli olan miktar olarak reçeteye konur. Bir karışım genellikle % 50 civarında kauçuk içerir. Kauçuk oranının fazlalığı maliyeti artırmaktadır. Aşağıda (Tablo 1.1) bir karışım reçetesi örneği verilmiştir. Kauçuk teknolojisinde karışım formülleri hazırlamak zor ve karmaşık bir iştir. Malzeme ve teçhizatla yüzlerce değişken vardır ve konu matematiksel bir yöntemle çözülemez. Sadece malzeme bilgisi yeterli olmamakta, iyi bir formül için karışımın kullanılacağı işlemlerdeki makine ve teçhizat bilgisi de gerekmektedir (Savran, 2001).

Tablo 1.1. Örnek karışım reçetesi (Savran, 2001)

| Bileşen | Oran (phr) |
|--|-------------------|
| Kauçuk | 100 |
| Dolgu maddesi | 50 |
| Yumuşatıcı | 10 |
| Hızlandırıcı | 1.2 |
| Aktivatör (çinko oksit) | 5 |
| Yağ asidi (stearik asit) | 1.5 |
| Pişirici (kükürt) | 2 |
| Geciktirici | 0.5 |
| Diğer katkılar (antioksidan, antiozonat, boya vs.) | değişen oranlarda |

1.1.4. Vulkanizasyon

Kauçuklarda uzun polimer zincirleri, moleküler yapının *-cis* diziliminden dolayı kangallaşır. İdeal olarak, bir kuvvet uygulandığında doğrusal zincirlerin kangallarının açılması ile polimer gerdirilir, gerilim kaldırıldığında zincirler yeniden kangallaşır ve polimer orijinal boyut ve şekline geri döner. Buna karşın kauçuğun gerçek davranışının bu olmadığı, tarif edildiği şekilde davranmadığı görülmektedir. Zincirler sadece kangallaşmaz aynı zamanda birbiri üzerinde de kayar. Plastik deformasyon (kaymadan dolayı) ve elastik deformasyonun (kangallaşma etkisinin geri gelmesinden dolayı) bir

kombinasyonu elde edilir. Vulkanizasyon bir çapraz bağlanma işlemidir. Kauçuk polimer zincirinde bulunan doymamış karbon-karbon bağları için çeşitli vulkanize edici kimyasallar vardır. Bunların en yaygın olanları; kükürt, peroksitler, fenolikler ve metal oksitlerdir. Bunların arasında da en popüler olanı kükürttür.

Tablo 1.2. Doğal kauçuğun farklı vulkanizasyon sistemlerinde kükürt ve hızlandırıcı miktarları (Sun, 2007)

| Vulkanizasyon sistemi | Kükürt (phr) | Hızlandırıcı (phr) | Hızlandırıcı/kükürt oranı |
|-----------------------|--------------|--------------------|---------------------------|
| Konvansiyonel (CV) | 2.0 - 3.0 | 1.2 - 0.4 | 0.1 - 0.6 |
| Etkili (EV) | 0.4 - 0.8 | 5.0 - 2.0 | 2.5 - 1.2 |
| Yarı etkili (Semi-EV) | 1.0 - 1.7 | 2.5 - 1.2 | 0.7 - 2.5 |

Tablo 1.3. Vulkanize doğal kauçuğun farklı vulkanizasyon sistemlerindeki özellikleri (Sun, 2007)

| Özellik | CV | Semi-EV | EV |
|---------------------------------------|--------|---------|--------|
| Poli ve disülfür çapraz bağlar (%) | 95 | 50 | 20 |
| Monosülfür çapraz bağlar (%) | 5 | 50 | 80 |
| Kükürt konsantrasyonu | Yüksek | Orta | Düşük |
| Düşük sıcaklıkta kristallenme direnci | Yüksek | Orta | Düşük |
| Isıl yaşlanma direnci | Düşük | Orta | Yüksek |

1.1.5. Kauçuğun yaşlanması

Yaşlanma ifadesi ile elastomer malzemenin özelliklerinin herhangi bir kimyasal maddenin tesiri olmaksızın zaman içerisinde değişikliğe uğraması, kaybolması, hatta malzemenin tamamıyla bozulması (tahrip olması) anlaşılır. Bu değişiklikler çatlama, sertleşme, kırılma hale gelme, kabuklaşma gibi hallerde meydana gelebilir. Yaşlanma yorulmayı da kapsar. Polimerdeki doymamışlık oranı arttıkça yaşlanmaya karşı hassasiyet artar. Çift bağlar oksijen, ozon ve diğer reaktif maddelere karşı hassastırlar, ayrıca kükürt ile reaksiyona devam ederek sertleşmeye sebep olurlar. Yüksek sıcaklıklar, bakır ve mangan bileşikleri gibi bazı oksidasyon katalizatörleri (kauçuk zehirleri) yaşlanmanın çabuklaşmasına neden olurlar. Sentetik kauçuklarda polimerizasyonun devamı veya moleküller arası çapraz bağlanma sertleşmeye ve kırılma eğilimine yol açabilir (Savran, 2001).

1.1.5.1. Oksijen ve ısı etkisi ile yaşlanma

Çeşitli şekillerde oluşan oksijenin malzemeye nüfuz ederek, elastomer zincirlerini parçalaması halidir. Oksijenin tesiri ile aktif radikaller oluşur ve bu radikaller polimer molekülleri ile reaksiyona girerler. Yüksek sıcaklıkta bu işlem daha da hızlıdır. Ultraviyole ışığı, sıcaklık ve bazı metaller oksidasyon hızını artırır (Stevenson, 1985).

Kauçuk kükürtle vulkanize olur ve çapraz bağ oluşturur fakat aynı zamanda havanın oksijenine karşı da duyarlıdır. Yaşlanmayla çapraz bağlarda çeşitli değişiklikler meydana gelir (Jitkarnka ve ark., 2007).

Polisülfür bağlarının termal ayrışması oksijen bağlarının oluşmasından daha hızlı gerçekleşir. Oksijen bağları sadece kauçuk yüzeyinde değil aynı zamanda iç kısımlarda da oluşur (Jitkarnka ve ark., 2007).

Termal yaşlanma, aşırı pişirme sıcaklığı ve/veya süresiyle, histerizis ısı artışıyla veya servis sıcaklıklarındaki artışla artabilir. Örneğin; çapraz bağların termik olarak parçalanması, moleküllerin kendi aralarında çapraz bağlanması gibi (Jitkarnka ve ark., 2007).

1.1.5.2. Ozon etkisi ile yaşlanma

Özellikle gerilme altındaki doymamış elastomerler ozona karşı çok hassastırlar, gerilme doğrultusuna dik yönde ozon çatlakları oluşur. Sıcaklık ve nem ozon çatlaklarının oluşumunu hızlandırır. Kauçuk karışımına mum (antiozon wax) ilavesi ozona karşı uygulanan en bilinen yöntemdir. Mum yüzeye nüfuz ederek koruyucu film oluşturur. Bu koruma şekli mum film kırılmadığı sürece yeterlidir. Bu durum genellikle statik uygulamalar için geçerlidir. Dinamik uygulamalarda ise, mum film yırtılır ve ciddi çatlaklar oluşur. Bu durumda mumun yanı sıra antioksidanlar da kullanılmalıdır (Savran, 2001).

1.1.5.3. Işık ve hava şartları

Güneş ışını, özellikle ultraviyole ışınlar, kauçuk yüzeyinde oksijenin tesirini arttırarak okside bir kauçuk filmi meydana getirir. Bu film gelişi güzel yönlerde birbirleriyle birleşen çatlaklardan oluşur, bu durum fil derisi oluşumu olarak da

isimlendirilir. Özellikle açık renkli kauçuklarda rastlanır, karbon siyahı ultraviyole ışını iyi absorbe ettiğinden bu oluşuma siyah elastomerlerde rastlanmaz (Savran, 2001).

1.1.6. Yorulma

Tekrarlanan gerilmelere maruz kalan elastomer parçaların dayanımı azalır, kopma dayanımının çok altındaki gerilmelerde kopma oluşabilir, buna neden yorulma olayıdır. Elastomer parçalar uygulanan mekanik enerjiden kaynaklanan ısınmadan dolayı, hızlı bir şekilde yaşlanmaktadır. Sıcaklık, oksijen veya ozonun varlığı, uygulanan gerilmenin genliği ve frekansı çatlak oluşumunda etkili olmaktadır. Çatlak oluşumu, ozon çatlaklarında olduğu gibi, kuvvet yönüne dik doğrultuda ve gerilmenin maksimum olduğu bölgelerde olmaktadır. Genelde, antiozonatlar yorulma çatlamaına karşı da iyi gelmektedir (Savran, 2001).

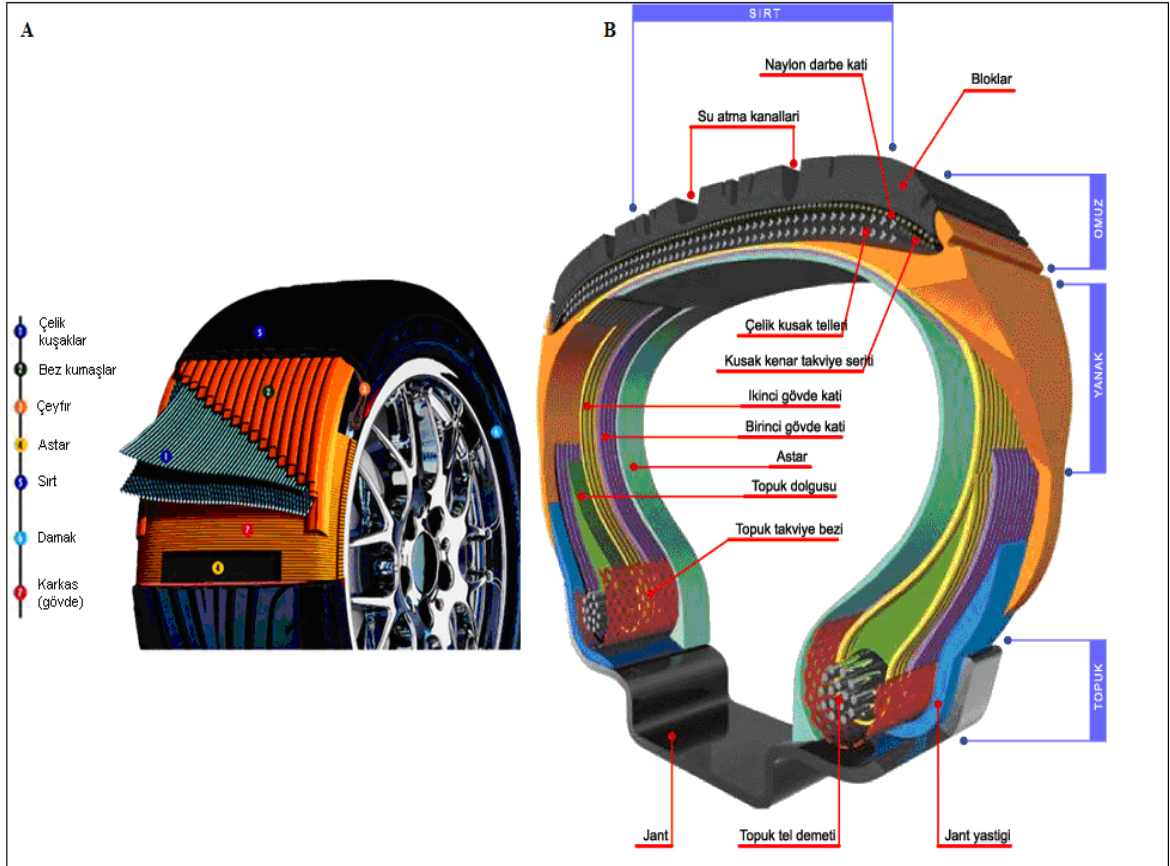
1.1.7. Zehirli metaller

Kauçukta çözülebilen nikel, bakır, kobalt, mangan ve demir gibi bazı ağır metal bileşikleri oksidasyon katalizörleri olarak etki ederek yaşlanmayı hızlandırırlar. Bu gibi metaller kauçuk zehirleri olarak da isimlendirilirler. Örneğin, SBR için demir çok tehlikelidir. Oksidasyona benzer bir bozulma olur, fakat proses daha hızlıdır. Bakır ve mangan, çok düşük miktarlarda dahi, çiğ veya pişmiş haldeki kauçuğun yaşlanmasını hızlandırır. Kauçuk önce yumuşar, daha sonra da sertleşir. Zehirli metaller eğer kauçukta çözünmemiş durumda ise, etkileri zayıflar (Savran, 2001).

1.2. Lastik

Lastik Türk Dil Kurumu tarafından çeşitli şekillerde tanımlanmaktadır. Bu tanımlar, ayakkabı üzerine giyilen kauçuktan pabuç, kauçuktan yapılmış ayakkabı, kauçuktan yazı silgisi ve taşıtların jantlarına yerleştirilen elastiki tekerlek bandajı şeklindedir (Anonim, 2014). Teknik anlamda ise, lastik, belli bir süre içinde, belli bir sıcaklık ve basınç altında pişirilmiş, genellikle içerisinde bulunan hava ile motorlu veya motorsuz nakil araçlarının yere sürtünmesi ile hareketini başlatan, hızlandıran ve durmasını sağlayan, kullanım yerlerine göre çeşitli ebatlarda, tiplerde ve yapılarda olabilen kauçuk hava yastığıdır (Geredelioğlu, 1997).

Lastik sırt, omuz, yanak, topuk (damak) ve karkas (gövde) olarak adlandırılan 5 ana bileşenden meydana gelmektedir. Yanı sıra çelik ve bez kuşaklar, çeyfir ve astar da lastiğin yapısında yer alan diğer bileşenlerdir (Anonim, 2009a). Şekil 1.1’de lastiğin bileşenleri şematik olarak gösterilmektedir. Bu grubun belli başlı plastikleri ise polyesterler, epoksiler, alkitler, aminler olarak verilebilir (Anonim, 2009a).



Şekil 1.1. Lastiğin bileşenlerinin şematik olarak gösterimi (Keskin Otomotiv Sitesi 2009)

Araç lastikleri endüstride:

- Binek konvansiyel lastikleri,
- Binek radyal lastikleri,
- Zirai radyal lastikleri,
- Kamyonet/minibüs konvansiyonel lastikleri,
- Kamyonet/minibüs radyal lastikleri,
- Kamyon-otobüs konvansiyonel lastikleri,
- Kamyon-otobüs radyal lastikleri,
- Traktör-ön lastikleri,
- Traktör-arka lastikleri,

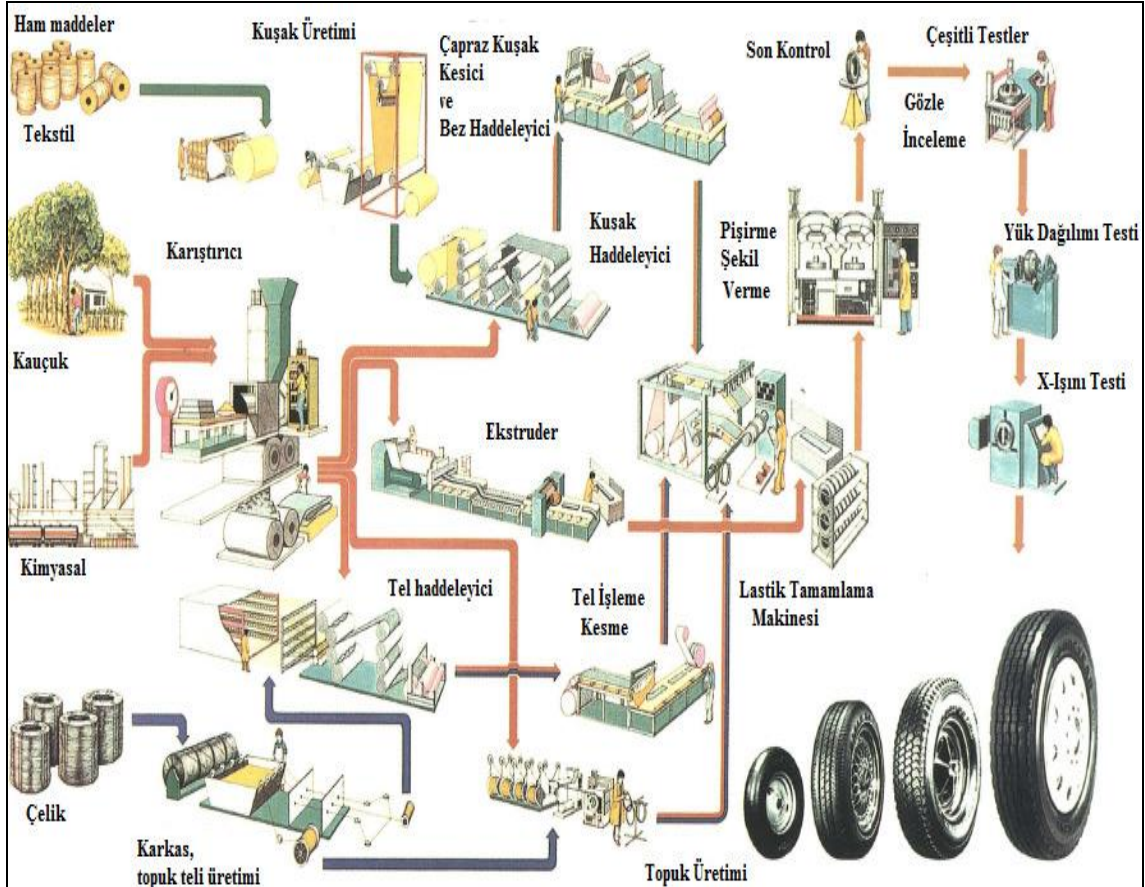
- İş makinesi lastikleri,
- İş lastik,
- Bisiklet motosiklet dış, iç lastiği,
- Dolgu lastiği,
- Sırt kaplama kauçuğu, tamir malzemeleri ve kaplanmış araç lastiği,
- Kolon (ton) şeklinde tanımlanarak kullanılmaktadır.

1.2.1. Lastik üretimi

Lastik üretimindeki aşamalar:

- Elastomerlerin, karbon siyahının ve kimyasalların lastik bileşimini oluşturmak için karıştırılması
- Tekstil ve çelik kuşakların işlenmesi ve haddeleme operasyonu sırasında elde edilen lastik bileşimiyle kaplanması
- Ekstruderlerde yanak, sırt ve diğer bileşenlerin çekilmesi
- Lastik elemanlarının montajı
- Yüksek sıcaklık ve basınçta lastiğe şekil verilmesi ve pişirilmesi
- Lastiğin son kontrollerinin yapıp nakliye edilmesi şeklindedir (Rodgers, 2005).

Sekil 1.2'de bu aşamalar şematik olarak verilmiştir. Karıştırma işleminin amacı sırt, yanak, gövde ve iç lastiği oluşturan hammaddelerin homojen bir biçimde dağılmasını sağlamak, karışımın istenilen yumuşaklıkta olmasını sağlamak ve dağılım ile viskozite dereceleri aynı olan karışımlar elde etmektir.



Şekil 1.2. Lastik üretimi akış şeması (Rodgers, 2005)

Haddeleme işlemi genel olarak:

- Karıştırıcıda karıştırılmış olan gövde karışımının levha haline getirilmesi,
- Kord bezinin gövde karışımı ile kaplanması
- Kaplanmış malzemenin ezilmesi işlemlerinden meydana gelir.

Karışım, üç merdaneli bir haddeleme tezgahında levha haline getirilir. Kaplama işleminde kord bezi kauçukla kaynaştırılır. Haddeleme işlemi bittikten sonra çeşitli ebatlarda kesilerek montaj aşaması için hazır hale getirilir (Rodgers, 2005).

Çekme işlemi çekilmesi istenen ürün profilini verecek kalıbın budinöze (ekstruder) bağlanması ile gerçekleştirilir.

Montaj işlemi öncesinde, lastik elemanlarına montaja gitmeden önce mümkün olduğunca son şekilleri verilir.

Gövde katlarının üzerine takviye katları yerleştirilir.

Şekil verme ve vulkanizasyon işlemi tamburdan çıkarılan silindir şeklindeki lastiğe optimum esneklik ve dayanıklılığın kazandırılması için uygulanır. Lastiğin iç kısmı sıcaklığa dayanıklı bir torba ile kaplanırken, dış kısımda tekerleğin son dış şeklinin kalıbı yer almaktadır. Pişirme işlemi torba içeri dolduran maddenin iletmediği ısı

ile yapılır. Vulkanizasyon işlemi çoğunlukla kükürt eşliğinde ve karbon siyahının etkisinde gerçekleşir. Karbon siyahı bu reaksiyonun hızlanmasını sağlar. Isıtma işlemi bozulmayı önlemek için basınç altında yapılır.

Lastik bileşiminde kauçuk yanında her zaman çeşitli katkılar bulunur. Bu katkılar arasında öncelikle vulkanizasyon kimyasalları (kükürt gibi) bulunur. Diğer katkılar lastiğin dayanımını arttırmak (takviye dolguları) veya maliyeti düşürmek amacıyla katılır. Lastikte en önemli katkı karbon siyahıdır. Karbon siyahı, dayanımı artırır, lastiğin aşınma ve yırtılmaya karşı dayanımını geliştirir, ultraviyole ışıklardan korur (Savran, 2001).

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.

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 (MEB, 2011).

Lastik atıklar diğer atıklardan ayrı olarak depolandığı zaman, tehlikeler daha belirgin hale gelir. Bütün lastikler arasında yangın başlamasına neden olabilecek yeterli oksijen bulunur (Erdem, 2005). Lastiklerin yanmasıyla atmosfere tonlarca zararlı bileşikler yayılmaktadır. Siyah bir bulut gibi atmosfere yayılan bu maddeler içinde; karbon siyahı, uçucu organik, yarı uçucu organikler, çok halkalı hidrokarbonlar, yağlar, kükürt oksitleri, azot oksitleri, nitrosaminler, karbon oksitleri, uçucu partiküller ve As, Cd, Cr, Pb, Zn, Fe vb. metaller bulunabilmektedir. Yangınlar ile atmosfere yayılan bu kirleticiler yakın çevredeki toprak ve suların kirlenmesine sebep olarak insan sağlığını tehdit etmektedir (Sugözü ve Mutlu, 2009).

Kullanılmış lastiklerin asfalt yapımında kullanılmasına yönelik bir çalışmada, yılda 80 bin ton lastiğin ekonomiye kazandırılacağı ve asfalt yolların daha iyi tutuş sağlayacağı için trafik kazalarını azaltacağı görüşü belirtilmiştir. Bu çalışmaya göre, lastiğin kauçuk ve telleri makineyle birbirinden ayrılıyor, kauçuk asfalt yol yapımında ve çim sahalarda, kord bezi ise mobilya sektöründe döşeme ve izolasyon maddesi olarak kullanılıyor. Lastiğin içindeki çelik tel de eritilerek değerlendiriliyor (Sugözü ve Mutlu, 2009).

Atık lastiklerin ısı değerleri 28,000 kJ/kg ile 35,000 kJ/kg arasında değişmektedir. Uygun şartlarda, atık lastiklerin yakılması mümkün olup, ısı enerjisi elde edilmesi gereken uygulamalarda kullanılabilir (Sugözü ve Mutlu, 2009).

1.2.2.1. Atık lastiklerin insan sağlığı ve çevre kirliliği açısından yarattığı 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 dünyada 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.

1.2.2.2. Atık lastiklerin geri kazanımı

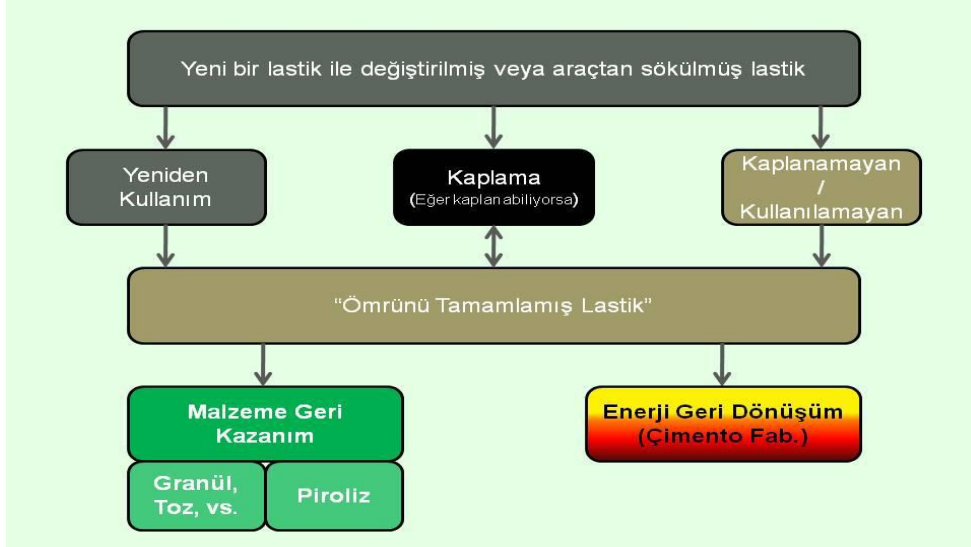
Kullanılan lastiklerin kullanım ömrünü tamamlayıp tamamlamadığının tespiti, trafik zabıtası tarafından rutin veya şok denetimlerinde lastiklerin dış derinliğinin ölçülmesi ve hasar durumunun belirlenmesi ile yapılır. Buna ilişkin uygulama ve yaptırımlarda Karayolları Trafik Kanunu ve bağlı düzenlemeleri esas alınır.

Araç muayene istasyonlarında lastik dış derinliği ve hasar durumu tespiti yapılır. Kullanılan lastiğin ömrünü tamamlamış lastik olduğunun tespiti hâlinde can ve mal güvenliğinin sağlanması amacıyla bu lastiğin sürücü tarafından değiştirilmesi sağlanır. 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.

LASDER (Lastik Sanayicileri Derneği İktisadi İşletmesi), 30 Aralık 2009 tarihinden itibaren Çevre ve Şehircilik Bakanlığınca üyeleri adına, Türkiye’de ömrünü tamamlamış lastiklerin (ÖTL) yönetiminden “yetkili kuruluş” olarak kabul edilmiştir.

Her yıl Türkiye'de yaklaşık olarak 180.000–200.000 ton civarında ömrünü tamamlamış lastik olduğu hesaplanmakta olup bu lastiklerin geri kazanım/geri dönüşümünün sağlanması ekonomi ve çevre açısından çok önemlidir.



Şekil 1.3. Atık lastiklerin geri kazanım süreci şeması

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 gerçekleşmektedir (UNEP, 2009).

Atık lastikler, tanecik boyutu küçültülerek endüstride çeşitli şekillerde kullanılabilir. 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. Granülleşme 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. 8 adet firmanın atık lastik değerlendirme yetkisi bulunmaktadır (Anonim, 2001).

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 arttırdığını, düşük sıcaklık yüzünden oluşan asfalt çatlamlarını 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 (Anonim, 2001).

Atık lastiklerin elektrik ark fırınlarında kullanımı oldukça yeni olmakla beraber, ABD’de ilk kullanım 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).

Bu 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 (İsayev, 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 (UNEP, 2008).

1.2.2.4. Türkiye, AB ve ABD için atık lastik yasal mevzuat

- Ülkemizde atık lastiklerin yönetimi T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı tarafından çıkartılan ve 26 Kasım 2006 Cumartesi günü 26357 sayılı Resmi Gazete ifade yayımlanan Ömrünü Tamamlamış Lastiklerin Kontrolü Yönetmeliği ile belirlenmiştir.

Bu yönetmelik;

- Atık lastiklerin geri kazanımını esas kılmakta,
- Geri kazanım ve bertaraf işlemlerinin, hava, su, toprak, bitki ve hayvanlar üzerinde tehlike yaratmadan, ses ve koku yoluyla çevreye herhangi bir olumsuz etkide bulunmadan ve doğal çevre ile koruma alanlarına zarar vermeden yapılmasını zorunlu kılmakta,
- Atık lastiklerin ithalatını, atık lastiklerin hangi sebeple olursa olsun vadi veya çukurlarda dolgu malzemesi olarak kullanılmasını, katı atık depolama tesislerine kabulü ve depolanmasını, ısınmada kullanılmasını, gösteri ve benzeri fiilleri kapsayacak şekilde her ne amaçla olursa olsun yakılmasını engellemekte,
- Atık lastiklerin lastik tamirhaneleri, kaplamacılar, perakende satış noktaları, oto sanayi ve benzeri yerlerde açık alanda biriktirilmesini yasaklamakta, biriktirme yerlerinde yangına, sivrisinek, fare gibi zararlıların üremesine ve toprağa sızıntı ihtimallerine karşı önlem alınmasını zorunlu kılmaktadır (Gönüllü, 2004).

Yönetmelik uyarınca lastik üreticileri her yıl bir önceki yıl iç piyasaya sürülen lastik tonajını hesaba alarak 2009 yılında bu lastiklerin % 40'ını, 2010 yılında % 45'ini, 2011 yılında % 50'sini ve ondan sonraki senelerde Bakanlığın ortalama lastik aşınım oranını dikkate alarak belirleyeceği oranlarda atık lastikleri toplamak/toplatmak, toplanan miktarın geri kazanımını veya bertarafını sağlamak ve bu işlemleri Bakanlığa belgelemekle yükümlü hale getirilmiştir (Gönüllü, 2004).

AB'de atık lastikler için geçerli olan yasal mevzuatlar çeşitli yönergeler ile açıklanmış olup, genel olarak atık yönetimi başlığı altında incelenmiştir. AB için atık yönetimde öncelik atığın önlenmesi, daha sonra atığın geri dönüşümü, daha sonra ise, atıktan enerji eldesi şeklindedir. Herhangi bir şekilde yararlanılamayan atıkların ise, çöp

depolama alanlarında depolanmasına izin verilmektedir. Fakat atık lastiklerin bir bütün halinde çöp alanlarında depolanması 2003 yılından itibaren yasaklanmış, 2003-2006 yılları arasında boyutunun küçültülerek depolanmasına izin verilmiştir. 2006 yılından itibaren ise, hiçbir şekilde atık lastiklerin çöp alanlarında depolanmasına izin verilmemekle beraber, atık lastikler için uygulanan atık yönetimi, geri dönüşümünün ve geri kazanımının sağlanmasıdır (Anonim, 2009b).

ABD’de de ise, atık lastiklere yönelik yasal mevzuatlar depolamayı terkedip, atık lastiklerden yararlanmayı teşvik etmektedir. Fakat yasal mevzuatlar her eyalet için ayrıdır. ABD’de de AB’de olduğu gibi atık lastiklerin depolanması ile ilgili yasaklamalar bulunmaktadır. 37 eyalette atık lastiklerin bütün halinde çöp alanlarında depolanması yasaklanmışken, 9 eyalette boyutu küçültülmüş lastiklerin de depolanması yasaklanmıştır. 37 eyaletin, depolama alanlarında mevcut halde bulunan atık lastikler için temizleme programı vardır. Bunların 20’si aktif bir biçimde ilerlemektedir. 32 eyalet, atık lastikleri geri dönüşüm ya da geri kazanım gerçekleştiren firmalara temin etmeyi taahhüt etmektedir. Bununla birlikte 35 eyalet atık lastikler için, lastik başına 0,25-4 ABD doları arasında vergi toplamaktadır (Anonim, 2009b).

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. Atık lastiğin epoksi reçinede takviye malzemesi olarak kullanılmasına ilişkin literatürde çok az sayıda çalışma vardır. Kullanılan kauçuk lastiklerin geri kazanım metotları üzerine yapılan diğer çalışmada atık lastiklerin $\frac{3}{4}$ 'nün yakıt olarak kullanıldığı belirtilmiştir. Geri kazanımda piroliz ve devulkanizasyon en önemli metotlardandır (Amari ve ark. 1999; Isayev 2005).

Kaynak ve ark. (2001) yaptıkları bir çalışmada 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.

Adhikari ve ark. (2000) yaptıkları çalışmada, atık kauçukların geri dönüşümü konusunda hem devulkanizasyon metotları hem de geri dönüşüm kimyasalları üzerinde durmuşlardır. Geri dönüştürülen kauçukların kullanım alanlarıyla ilgili açıklamalar yapmışlardır. Sonuçta, yöntem olarak, geri dönüştürülen kauçuğun kalitesi bakımından mikrodalga devulkanizasyonunun en iyi sonucu verdiğini, devulkanizasyon kimyasalı olarak ta, dialildisülfür esaslı, diğerlerinden daha ucuz, zehirli olmayan ve bitkisel ürünlerden geliştirdikleri bir kimyasalın oldukça etkili olduğunu ortaya koymuşlardır.

Abdel-Aal ve ark. (2008a) karbon siyahını farklı oranlarda (%5-30) epoksi reçinede iletken takviye olarak kullanmış, kompozitlerin elektrik iletkenliği ve termal özelliklerini incelemişlerdir. Epoksi reçine sertleştirici aromatik yapıda olup %25 oranında ilave edilmiştir. Kompozitlerin elektrik iletkenlikleri oda sıcaklığında ölçülmüş, karbon miktarı arttıkça iletkenliğin de arttığı görülmüştür. İletkenliğe sıcaklık etkisi 20-140 °C aralığında incelenmiş, sıcaklıkla iletkenliğin azaldığı tespit edilmiştir. Kompozitlerin termal kararlılığı saf epoksiye göre daha yüksek olmuştur.

Abdel-Aal ve ark. (2008b) karbon siyahını farklı oranlarda (%5-30) epoksi reçinede iletken takviye olarak kullanarak kompozitlerin mekanik özelliklerini (sertlik, e-modül, çekmede uzama) de incelemiştir. TGA analiz sonuçları, kompozitlerin epoksi reçineye göre termal olarak daha kararlı olduklarını göstermiştir. Kompozitlerde karbon siyahı kullanımı mekanik özelliklerde de iyi sonuçlar elde edilmesini sağlamıştır. Kompozitlerde katı madde dağılımı SEM analizi ile gözlemlenmiştir. Kompozitlerde e-modül karbon miktarına bağlı olarak yükselmiştir. Mekanik özelliklerdeki yükselme, karbon siyahının reçinede iyi dağılımı ile açıklanabilir. Fakat karbon miktarı arttıkça çekme uzamasındaki azalma, kompozit yapısında stres bölgelerinin artması ve matrisle kimyasal bağlanma ile açıklanabilir.

Cecen ve ark. (2009) ise karbon, cam ve aramit bazlı kompozitlerin hazırlanmasında polyester ve epoksi reçineyi matris olarak kullanmışlardır. Kompozitlerin ısı kapasiteleri 20-250°C aralığında incelenmiştir. Termal iletkenlik ölçümleri ise 45-235°C gerçekleştirilmiştir. Polyester kompozitlerin, karbon ve cam takviyeli epoksi kompozitlere göre daha düşük ısı kapasitesine sahip oldukları belirlenmiştir.

Bal (2010) çalışmasında karbon nanolifini % 0,5-1 aralığındaki miktarlarda epoksi reçinede kullanmış, kompozitlerin elektrik iletkenliği ve mekanik özelliklerini incelemiştir. Numuneler önce oda sıcaklığında 3 gün, daha sonra 90 °C'da 6 saat sürede kürleştirmiştir. Mekanik özelliklerle ilgili sonuçlar, nanokompozitlerin bükülme modüllerinin saf epoksiye göre daha yüksek olduğunu göstermiştir. Kompozitlerin sertlik değerlerinde de karbon miktarına bağlı olarak artış gözlemlenmiştir. Çalışmada kullanılan saf epoksinin elektrik iletkenliği $2,8 \times 10^{-9}$ S cm⁻¹ olarak ölçülmüştür. Nanokompozitlerde iletkenlik 2×10^{-6} - 4×10^{-4} S cm⁻¹ aralığında değerler almış ki, bu da saf epoksiye göre 3-6 kat daha yüksek olmaktadır. Karbon siyahı ile yapılan polimer kompozitlerde perkülasyon limiti % 5-20 aralığında değişmektedir, fakat yapılan çalışmada nanokarbon için bu değer % 0,5-1 aralığında olmaktadır. Elde edilen sonuçlar, karbon nanolif/epoksi kompozitlerinin yarıiletken özellikte olduklarını göstermektedir.

Yasmin ve Daniel (2004) grafit/epoksi kompozitlerinin mekanik ve termal özellikleri üzerine bir araştırma yapmışlar. XRD analizi göstermiştir ki, kompozit hazırlama prosesi saf grafitin d-spacing değerini değiştirmemiş. Çekme test ölçümlerinden, kompozitte grafit oranı arttıkça e-modül ve çekme dayanımının da arttığı tespit edilmiştir. % 2,5 grafit içeren kompozitin çekme dayanımı saf epoksiye

göre % 21 daha yüksek olmuştur. % 5'lik kompozitte çekme dayanımı % 9 artış göstermiştir ki, bu da katı madde oranı arttıkça kompozitin daha kırılğan olması ile açıklanabilir. Kompozit yapısında grafit kullanımı camsı geçiş sıcaklığını da arttırmıştır. Kompozitler saf epoksiye göre daha yüksek termal dayanım sergilemişlerdir. Kompozitlerin morfolojik yapısı SEM analizi ile incelenmiştir.

De ve ark. (2005) tarafından yapılan çalışmada, atık kauçuk tozunun boyutu küçüldükçe ürünün mekanik özelliklerinin daha az etkilendiği, ayrıca toz yüzeyinin çeşitli fiziksel ve kimyasal yöntemlerle aktive edilmesi durumunda malzeme özelliklerinin, yüzeyi işlem görmemiş tozlara göre daha iyi olacağı ifade edilmiştir.

De ve De'nin (2011) yaptıkları çalışmada, kimyasal olarak devulkanize ettikleri, 0 – 100 µm tane boyutu aralığındaki lastik tozunu dolgusuz stiren butadiene kauçuk (SBR) içine 20, 30, 40, 50, 60 phr oranlarında katarak revulkanize etmişlerdir. Sonuçta, çekme dayanım değerinin, 20 phr devulkanize kauçuk için % 19, 60 phr devulkanize kauçuk için % 15 olmak üzere, devulkanize kauçuk oranıyla arttığını, kopma uzaması değerinin ise orijinal kauçuğa göre önce % 13 azaldığını, ancak devulkanize kauçuk oranıyla artarak, 60 phr devulkanize kauçuk için orijinal kauçuğun uzama değerini geçtiğini göstermişlerdir. Aynı çalışmada reçeteye karbon siyahı ilave ederek, yine özelliklerdeki değişim incelenmiştir. 40 phr karbon siyahı ilave edilmesi durumunda çekme dayanımının orijinal kauçuğa göre % 400, kopma uzaması değerinin % 24 oranında bir artış gösterdiği, aynı numuneye 20 phr devulkanize kauçuk katılması durumunda ise orijinal dolgulu kauçuğa göre çekme dayanımında % 4,7'lik bir artış olduğu, kopma uzaması değerinin ise aynı numune için % 5 oranında azaldığı ortaya konulmuştur.

Naskar ve ark. (2000) çalışmalarında, işlem görmemiş atık taşıt lastiği tozunun malzeme ve boyut analizlerini yaparak, tozları; 460 – 650 µm, 215 – 300 µm, 160 – 205 µm ve 100 – 150 µm boyutlarında sınıflandırarak 30 phr (per hundred rubber) oranında doğal kauçuğa katmış ve tane boyutu küçüldükçe mekanik özelliklerin iyileştiğini göstermiştir.

Li ve ark. (2005) yaptıkları çalışmada, üç farklı formülasyon kullanmışlardır. Birincisinde, doğal kauçuk (NR) içine 4 mm boyutunda işlem görmemiş atık taşıt lastiği tozunu 10, 30, 50 phr oranında, ikincisinde, makine kimyasal yöntemle devulkanize edilen aynı malzemeyi yine aynı oranda dolgu olarak, üçüncüsünde ise, aynı devulkanize malzemeyi dolgu olarak değil NR miktarını azaltarak orijinal kauçuk olarak katmışlardır. Reometrik ve mekanik analizler sonucunda en iyi özelliklerin

üçüncü grupta, sonra ikinci grupta ve en düşük özelliklerin ise birinci grupta elde edildiğini, oransal olarak da 10 phr katılan numunelerde özelliklerin çok bozulmadığını ifade etmişlerdir. Benzer bir çalışma Lamminmaki ve Hanhi (2006) tarafından yapılmış ve benzer sonuçlar elde edilmiştir.

Xu ve ark. (2009) yaptıkları çalışmada, NBR içine 20 phr oranında karbon siyahı, MWCNT ve silika katarak kuru sürtünme koşullarında aşınma davranışını incelemişler ve karbon siyahının diğer dolgu maddelerine göre aşınma direncini arttırdığını ifade etmişlerdir.

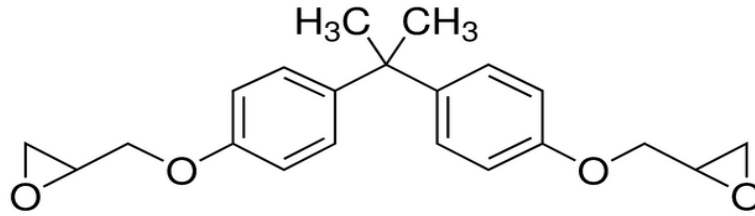
3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Kullanılan Kimyasal Malzemeler

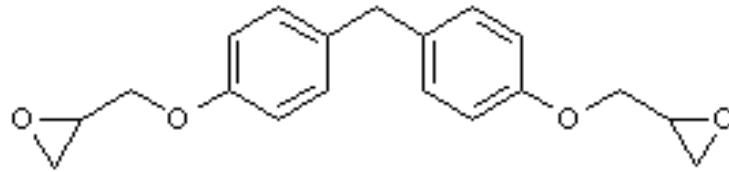
3.1.1. Ticari epoksi reçine (ER)

Epoksi, termosetler grubundan bir kimyasal reçinedir. Polimer matriks olarak 2 tür epoksi reçine seçilmiştir. Bunlar;

- ✓ NPEL 128 (epoksi değeri 184-190 g/eq), sıvı bisfenol-A tipi solventsiz epoksi reçine (Şekil 3.1).
- ✓ NPEF 164X (epoksi değeri 185-205 g/eq), C₁₂ –C₁₄ alkil glisidil eterle seyreltilmiş sıvı Bisfenol A/F tipi modifiye reçine (Şekil 3.2)



Şekil 3.1. Bisfenol-A tipi epoksi reçine



Şekil 3.2. Bisfenol-F tipi epoksi reçine

3.1.2. Sertleştirici

Sertleştirici olarak Epamine PC17 (Konuray Chemical Co) kullanılmıştır. Epamine PC17 sikloalifatik poliamin olup epoksi reçinelerde kullanılmaktadır. Poliamin ile sertleştirilmiş 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) kullanıldı.

3.1.4. Lastik atığı tozu

Çalışmada kullanılan lastik atığı tozunun kompozit yapımında dolgu olarak değerlendirilmesi hem ekonomik olarak, hem de çevre açısından yararlı olacaktır. 4 tür atık lastikten (araba, traktör, otobüs, kamyon) elde edilen toz karışım kullanılmıştır.

3.2. Deneyleerde Kullanılan Cihaz ve Aletler

1. Sertlik tayin cihazı (Shore Durometer TH 210) (Selçuk Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Kimya Müh. Bölümü / KONYA)
2. Çekme-Basma test cihazı (TST-Mares/TS-mxe) (Selçuk Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Kimya Müh. Bölümü / KONYA)
3. Zeiss Evo LS 10 marka taramalı elektron mikroskobu
4. Vakumlu etüv (Nüve EV 018), etüv (Nüve FN 500) (Selçuk Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü/ KONYA)
5. Mekanik karıştırıcı (Heidolph Type RZR1) (Selçuk Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü/ KONYA)
6. Analitik terazi (Precisa XB 220 A) (Selçuk Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü/ KONYA)
7. X-Işını kırınım cihazı (Bruker D8 Advance)

3.3. Kompozit Hazırlama Yöntemi

1. Atık lastiğin değerlendirilmesi amacıyla 4 çeşit farklı lastik atığından (araba, traktör, otobüs ve kamyon) oluşan karışımın (tane boyutu $<106 \mu\text{m}$) ticari epoksi reçine (NPEL 128 ve NPEF 164X) ile kompozitleri oluşturulmuştur.
2. Daha sonra, kütlece % 30 epoksi sertleştirici ve % 1 epoksi hızlandırıcı eklendi, kalıp içine aktarıldı ve oda sıcaklığında 60 dakika hava kabarcıkları giderilene kadar bekletildi (Şekil 3.3).
3. ASTM D 638 standardına (Plastiklerin Çekme Özellikleri için Standart Test Metotları) uygun kalıplar kullanılarak numuneler hazırlandı (Şekil 3.4).
4. Ön çalışmamızda lastik atığı polimer matrikse kütlece %10, 20, 30, 40 ve 50 oranlarında katılmış ve ASTM D 638 standartlarına uygun kalıplarda sertleştirilmiştir.

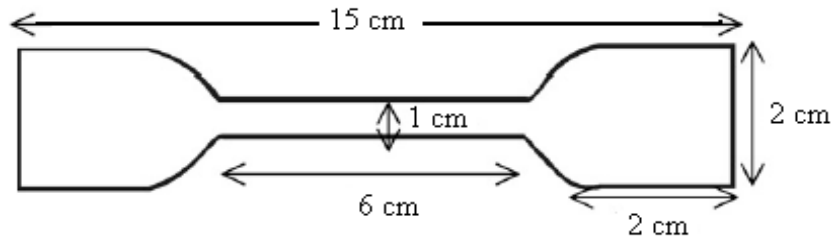
5. Numuneler kalıplarda önce 40°C’ da bir gün hava kabarcıklarının çıkması için bekletildi.
6. Daha sonra sıcaklık 80°C’ a yükseltılarak kürleşme işlemine 2 saat devam edildi.
7. Son olarak numuneler 120°C ’da 2 saat daha bekletilerek kalıplardan alındı. Elde edilen kompozitlerin boyutları Şekil 3.5’de gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Kompozit hazırlama yöntemi 1



Şekil 3.4. Kompozit hazırlama yöntemi 2



Şekil 3.5. Kalıplanmış kompozitlerin boyutları

3.4. Kompozit Malzemelerin Karakterizasyonu

3.4.1. Yüzey karakterizasyonu

Taramalı elektron mikroskop, katı yüzeyler hakkında morfolojik ve yüzeysel bilgi sağlar. Taramalı elektron mikroskop özellikle kompozit malzemelerde kırılma yüzeylerinin incelenmesinde kullanılarak; takviye sistemi ile matris sistemi ara yüzeyi ve aralarındaki etkileşim, matrisin takviye sistemini ıslatabilirliği ve matris içindeki tanecik dağılımı hakkında bilgi verir.

Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) yüzey morfolojisini araştırmak amacıyla Zeiss Evo LS 10 cihazı ile yapıldı.

3.4.2. X-Işını kırınım analizi (XRD)

X-Işını Kırınım yöntemi (XRD), her bir kristalin fazın kendine özgü atomik dizilimlerine bağlı olarak X-ışınları karakteristik bir düzen içerisinde kırması esasına dayanır. Her bir kristalin faz için bu kırınım profilleri bir nevi parmak izi gibi o kristali tanımlar.

X-Işını Kırınım analiz metodu, analiz sırasında numuneyi tahrip etmez ve çok az miktardaki numunelerin dahi (sıvı, toz, kristal ve ince film halindeki) analizlerinin yapılmasını sağlar. X-Işını Kırınım cihazıyla kayaçların, kristalin malzemelerin, ince filmlerin ve polimerlerin nitel ve nicel incelemeleri yapılabilir.

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 70° dir.

3.4.3. Mekanik karakterizasyon

Malzemeye uygulanan mekanik testler oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir ve her deney seti için bütün numuneler test edilmiştir. Mekanik testler örneğin sabit oranda gerilme, çarpma, sıkışma veya kopmaya maruz kaldığında kuvvetin tepkisini ölçmek için kullanılır. Mekanik testler polimerlerin mekanik özelliklerinin karakterizasyonunun tespitinde çok önemlidir (Austin, 2004).

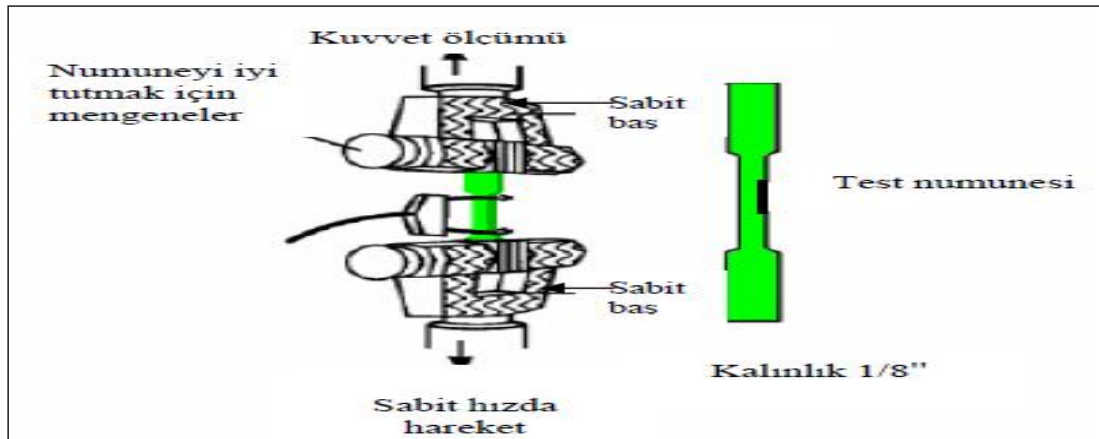
3.4.3.1. Çekme testi

Çekme testi polimerlerde mekanik özelliklerinin belirlenmesinde en sık kullanılan test yöntemi olup, standartlara göre hazırlanmış numunenin tek ekseninde, belirli bir hızla ve sabit sıcaklıkta koparıncaya kadar çekilmesidir (Şekil 3.6 ve 3.7).

Bu metotta kullanılan numune biçimi Şekil 3.6'dan görüldüğü gibi dikdörtgen veya kaşık numunesi şeklindedir (Işık, 2005).

Deney sırasında, standart numuneye devamlı olarak artan bir çekme kuvveti uygulanır, aynı esnada da numunenin uzaması kaydedilir. Birim alana herhangi bir anda düşen yük miktarı ve gerilim olarak tanımlanır. Endüstriyel polimerlerin hemen hemen tümünün karakter çizelgesinde yer alan gerilim direnci ve uzama sonuçları, kopmada erişilen gerilim direnci ve uzamadır (Işık, 2005).

Çekme Dayanımı: Çekme dayanımı numunenin kopmadan önceki dayanabildiği maksimum gerilimdir (Işık, 2005).



Şekil 3.6. Çekme numunesi ve gerilme test yöntemi (Işık, 2005)



Şekil 3.7. Kullanılan çekme testi cihazı

Çekme Modülü (e-modül veya Young modülü): Çekme modülü, bir malzemenin orantısal limitinin altında kalan gerilim/dayanım oranıdır. Malzemenin deformasyona ne kadar iyi dayandığını gösterir. Çekme modülü, belli bir oranda çekme geriliminin uzama değerine bölünmesi ile elde edilen değerdir.

Kompozit numunelerinin çekme testi ASTM standardına uygun D 638-01 Plastiklerin Çekme Özelliklerinin test metoduna göre 5 mm/dk hızla yapıldı.

3.4.3.2. Sertlik testi

Sertliği ölçülecek numuneler Shore Durometer TH 210 sertlik tayini cihazına yerleştirildi ve en az 3 kez numunelere kuvvet uygulandı ve bu 3 değerlerin ortalaması hesaplanarak maddenin sertliği Shore D değeri olarak alındı.

3.4.4. Termal analiz

Kontrollü şartlarda maddelerin sıcaklığının değiştirilmesi ile ağırlığındaki değişimin ölçümüne termogravimetri denir. Bir TGA deneyinde ölçülen değişkenler; ağırlık, zaman ve sıcaklıktır. Polimerlerin termal kararlılığının ölçülmesinde genellikle termogravimetrik analiz tekniği kullanılır. Termogravimetri, bir polimer örneğinin ağırlık kaybını, zamanın ve sıcaklığın bir fonksiyonu olarak izleme tekniğidir. Eğer sabit bir ısıtma hızında sıcaklıkla ağırlık kaybı incelenecekse buna dinamik termogravimetri; sabit bir sıcaklıkta zamanın bir fonksiyonu olarak ağırlık kaydediliyorsa buna izotermal termogravimetri denir

Termogravimetrik analiz sonunda bir polimerin bozunmaya başladığı sıcaklık ve % 50 ağırlık kaybının meydana geldiği sıcaklık (yarı ömür sıcaklığı) kolaylıkla belirlenebilir. Ayrıca değerlendirme tekniklerinden yararlanarak polimerin termal bozunma tepkimesinin derecesi ve aktifleşme enerjisi gibi büyüklükler de hesaplanabilir.

Termal analiz deneyi Seteram Thermagravimetric Analyzer cihazında tayin edildi. TGA analizi için numuneler toz haline getirildi. Örnekler azot atmosferi altında 50 °C-600 °C sıcaklık aralığında 10 °C/dk hızla ısıtıldı.

3.4.5. Su sorpsiyon testi

Gravimetrik yöntem ile su sorpsiyonu değerlendirmek için, kompozit 1-5 gün boyunca oda sıcaklığında deiyonize su içinde muhafaza edildi. Numune her gün sudan çıkarıldı ve yüzeyi kuruduktan sonra tartıldı. Kaplamanın su sorpsiyonu aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanmıştır:

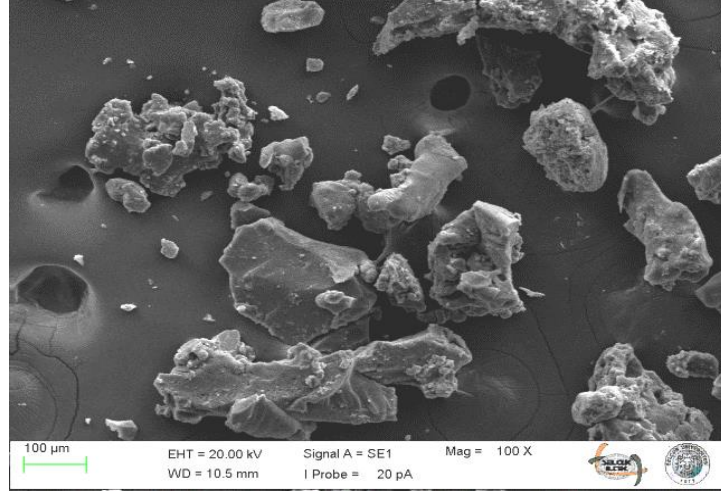
$$\text{Sorpsiyon \%} = (W_t - W_0) \times 100 / W_0$$

W_t – uygun zamanda numunenin kütlesi, W_0 -kuru numune kütlesi

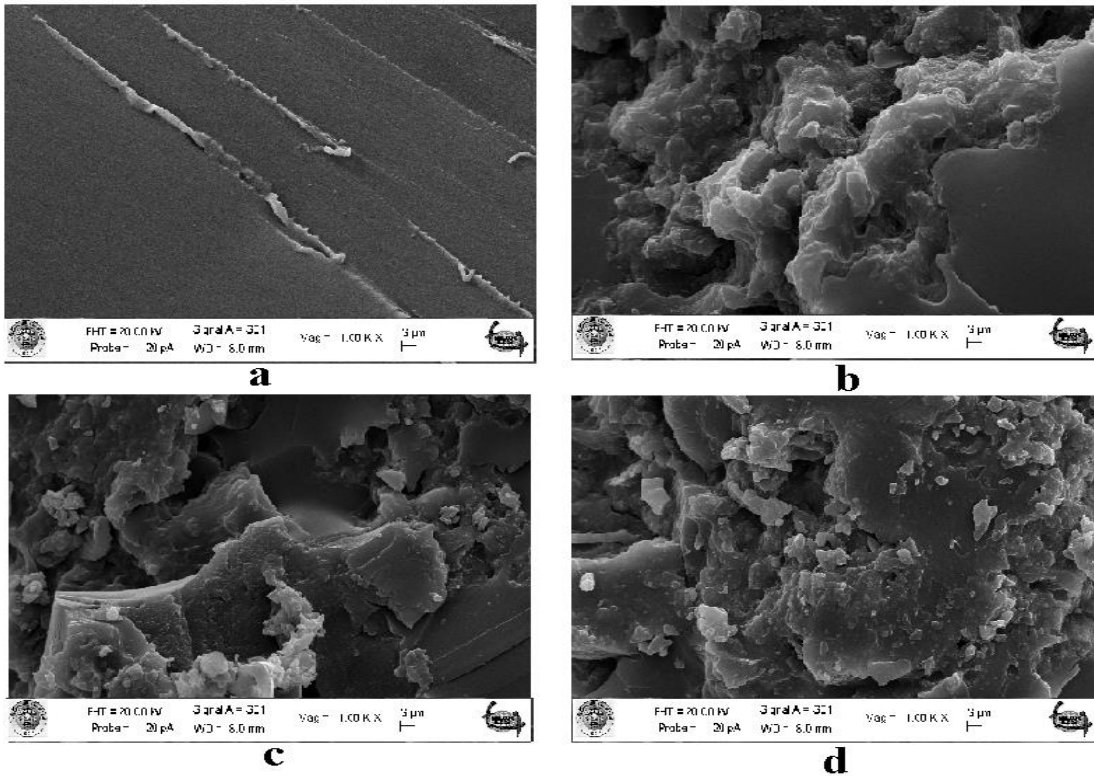
4. DENEYSSEL BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. SEM Analizi

Dolgu maddesi olarak kullanılan lastik atığı tozunun SEM görüntüsü Şekil 4.1’de, kompozitlerin SEM görüntüleri Şekil 4.2-4.3’de verilmiştir.

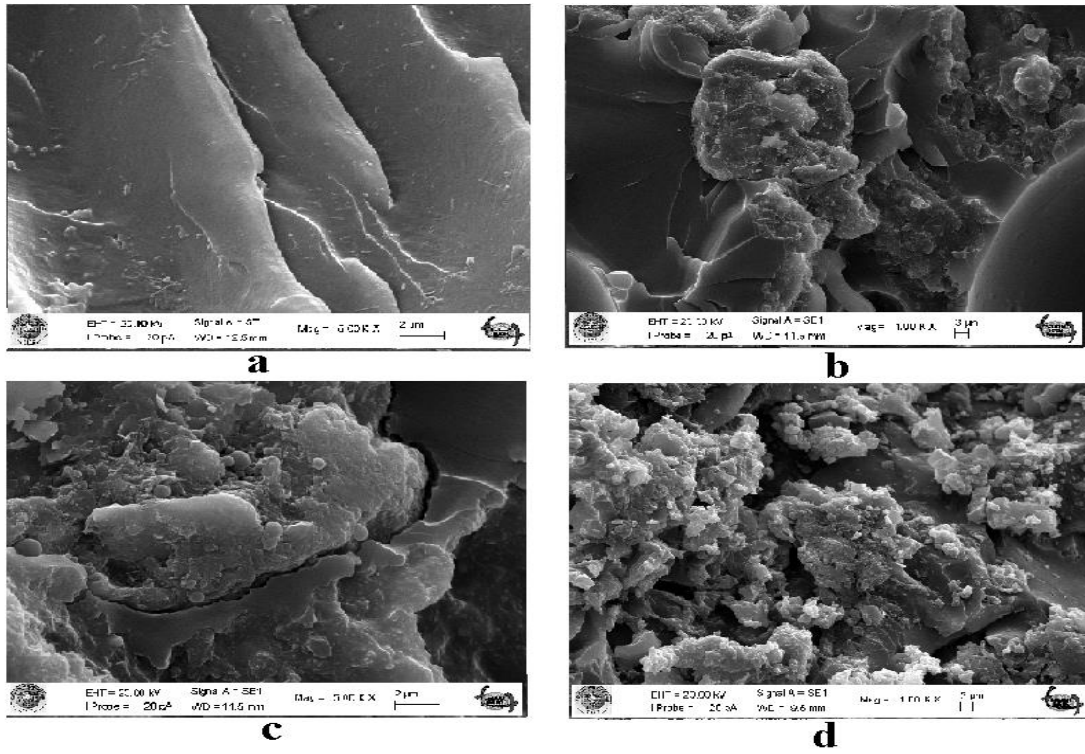


Şekil 4.1. Lastik atığı tozunun SEM görüntüsü



Şekil 4.2. NPEF reçinesi ile hazırlanan kompozitlerin SEM görüntüsü:

a) saf NPEF; b) %10 LA; c) % 30 LA; d) % 50 LA



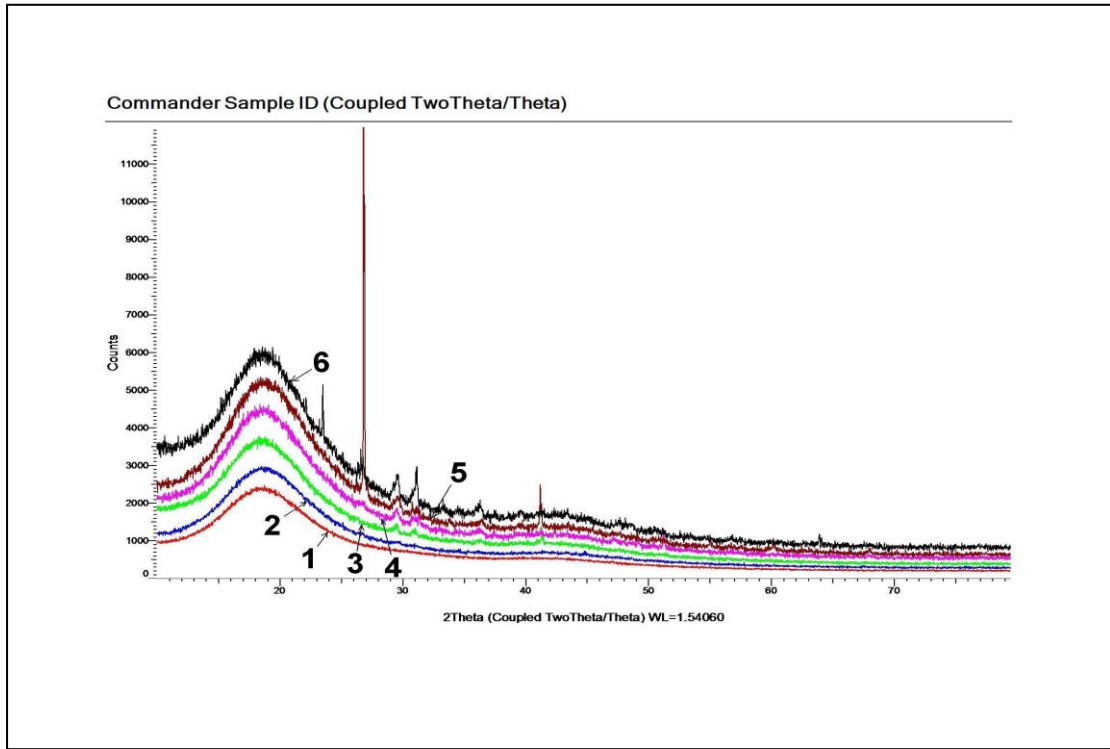
Şekil 4.3. NPEL reçinesi ile hazırlanan kompozitlerin SEM görüntüsü:

a) saf NPEL; b) % 10 LA; c) % 30 LA; d) % 50 LA

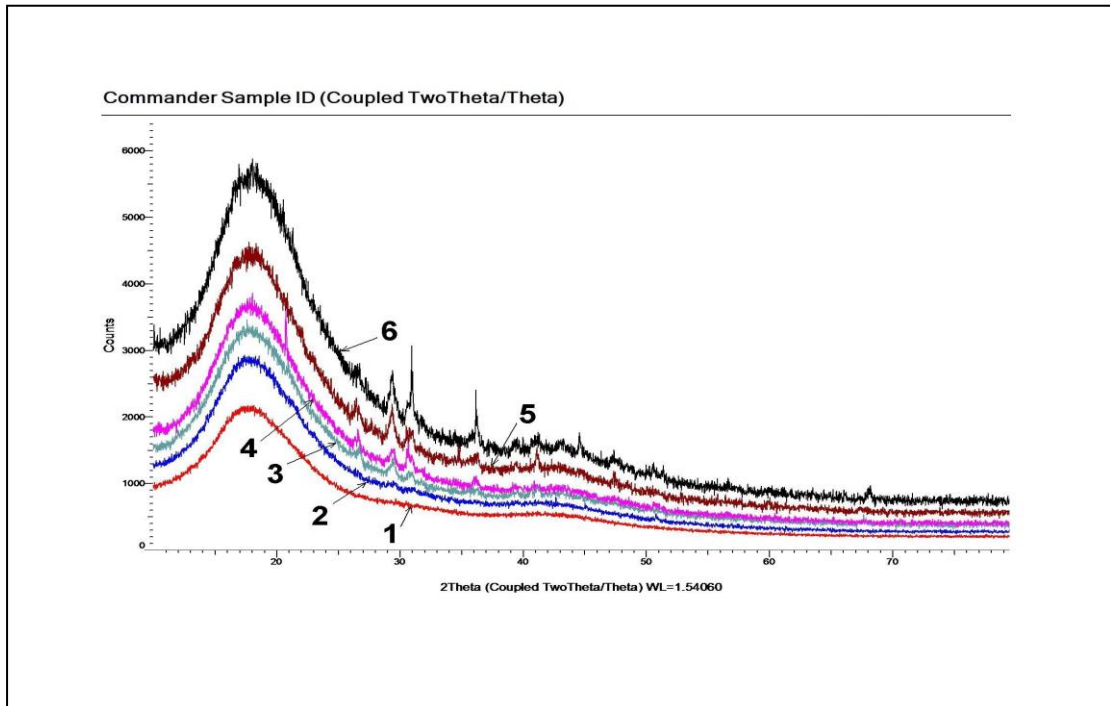
Kompozitlerinin SEM görüntülerinden, epoksi matrisin kesit yüzey pürüzlülüğünün LA yüzdesi arttıkça artış gösterdiği görülmektedir. LA partiküllerinin epoksi matris içinde yer-yer kümeleşmesi de görülmektedir, fakat bu parçacıklar birbirleriyle ve polimer matrisle % 30 LA oranına kadar daha iyi bir şekilde bağlı oldukları görülmektedir.

4.2. XRD Analizi

Yapısal analiz, kırınım açısı 20° den 70° ye kadar değişen bir X-ışını difraktometresi kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.4 ve 4.5).



Şekil 4.4. Saf NPEF (1) ve kompozitlerinin X-ışını kırınım grafiği: 2) % 10 LA; 3) % 20 LA; 4) % 30 LA; 5) % 40 LA; 6) % 50 LA



Şekil 4.5. Saf NPEL (1) ve kompozitlerinin X-ışını kırınım grafiği: 2) % 10 LA; 3) % 20 LA; 4) % 30 LA; 5) % 40 LA; 6) % 50 LA

Şekil 4.4 ve Şekil 4.5’den görüldüğü gibi, saf epoksi ve LA kompozitlerinin XRD eğrileri, LA’nın epoksi sistem içinde iyi dağıldığını gösteren benzer homoloji tümseklere sahiptirler. Kompozitlerde piklerin düşük şiddette olması matris içinde dolgu agregalarının varlığının daha az olmasına işaret etmiştir.

4.3. Mekanik Özellikler

4.3.1. Kompozitlerin çekme testi sonuçları

Mekanik özellikleri (örn., çekme dayanımı, kopma uzaması) incelemek için kompozit numunelere çekme testi uygulanmıştır. Çekme testinden elde edilen sonuçlar Tablo 4.1’de açıklanmıştır.

Tablo 4.1. LA miktarının ve epoksi reçine türünün kompozitlerin mekanik özelliklerine etkisi

| LA (kütlece%) | Çekme uzaması (%) | Çekme direnci (MPa) | Young modülü (GPa) |
|---------------------------------|----------------------|------------------------|-----------------------|
| Saf NPEF epoksi reçinesi | | | |
| - | 0,995 | 55 | 4,94 |
| NPEF/LA kompozitleri | | | |
| 10 | 0,712 | 67 | 6,60 |
| 20 | 0,721 | 62 | 5,20 |
| 30 | 0,723 | 54 | 5,50 |
| 40 | 0,750 | 52 | 3,60 |
| 50 | 0,790 | 46 | 3,80 |
| Saf NPEL epoksi reçinesi | | | |
| - | 1,380 | 127 | 3,50 |
| NPEL/LA kompozitleri | | | |
| 10 | 1,218 | 135 | 5,80 |
| 20 | 1,258 | 170 | 5,56 |
| 30 | 1,268 | 110 | 5,97 |
| 40 | 1,276 | 119 | 5,25 |
| 50 | 1,271 | 114 | 4,60 |

Seramik gibi gevrek malzemeler plastik deformasyona uğramazlar ve düşük gerilim altında kırılırlar (Beer, 2009). Bu yüzden sert ve kırılğan polimerlerin Young modülü yüksek, kopma uzamaları ise düşüktür (Billmeyer, 1984). Yumuşak bir polimer için, Young modülü düşük, fakat kopma uzaması yüksektir (Maiti ve ark., 2008).

LA kompozitlerinin çekme dayanımı kütlece % 10-% 20 LA oranına kadar, Young modülü ise % 30 LA oranına kadar saf epoksi ile karşılaştırıldığında daha yüksek bulunmuştur. Çalışmamızda LA için en uygun kütle seviyesi NPEF için % 10, NPEL için % 20 olarak belirlenmiştir.

Saf epoksiye göre, kompozitlerin çekme dayanımı ve Young modülü değerleri kritik LA seviyelerinde sırasıyla % 21,8-33,8 ve % 33,6-58,8 olarak artmıştır.

Kompozitlerin % uzama değerleri saf epoksilere göre düşük bulunmuştur. Fakat kompozitlerde LA oranı arttıkça % uzamada artış, Young modülünde ise % 30 LA oranından sonra bir azalma gözlenmiştir.

4.3.2. Kompozitlerin sertlik testi sonuçları

Kompozit numunelerinin sertlik tayini yapılarak elde edilen sonuçlar Tablo 4.2'de verilmiştir.

Tablo 4.2. Epoksi/LA kompozitlerinin sertlik testi sonuçları

| Numune No | LA (kütlece %) | Sertlik (Shore D) |
|---------------------------------|-----------------------|--------------------------|
| Saf NPEF epoksi reçinesi | | |
| 1 | - | 83 |
| NPEF/LA kompozitleri | | |
| 2 | 10 | 81 |
| 3 | 20 | 81 |
| 4 | 30 | 80 |
| 5 | 40 | 76 |
| 6 | 50 | 75 |
| Saf NPEL epoksi reçinesi | | |
| 7 | - | 80 |
| 8 | 10 | 79,5 |
| 9 | 20 | 74,5 |
| 10 | 30 | 73 |
| 11 | 40 | 70 |
| 12 | 50 | 69,5 |

Tablo 4.2'den görüldüğü gibi tüm kompozitlerin sertlikleri saf epoksiden düşüktür. Kompozitlerde LA oranı arttıkça sertlik de azalmıştır. Mekanik özellikler bakımından sertlik ve çekme dayanımı arasında orantılı bağlantı olduğu için sertlik ölçümleri çekme testleriyle benzer sonuçları göstermiştir

4.4. Kompozitlerin Termal Özellikleri

Kompozitlerin termal dayanıklılığını belirlemek için TGA analizleri yapılmış, TGA eğrileri EK 1-12’de, elde edilen sonuçlar ise Tablo 4.3 ve 4.4’de verilmiştir.

Tablo 4.3. Saf ER ve kompozitlerin TGA değerleri

| LA oranı (kütlece %) | BBS* (°C) | İBS** (°C) | T ₅ (°C) | T ₁₀ (°C) | T ₅₀ (°C) |
|-----------------------------|--------------|---------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Saf NPEF | | | | | |
| - | 125 | 275 | 163 | 310 | 375 |
| NPEF/LA kompozitleri | | | | | |
| 10 | 127 | 275 | 200 | 322 | 380 |
| 20 | 120 | 264 | 247 | 326 | 378 |
| 30 | 130 | 275 | 255 | 325 | 382 |
| 40 | 130 | 266 | 250 | 323 | 380 |
| 50 | 125 | 265 | 225 | 325 | 380 |
| Saf NPEL | | | | | |
| | 98 | 261 | 162 | 310 | 370 |
| NPEL/LA kompozitleri | | | | | |
| 10 | 98 | 260 | 215 | 313 | 376 |
| 20 | 100 | 265 | 230 | 325 | 380 |
| 30 | 103 | 264 | 250 | 330 | 384 |
| 40 | 102 | 261 | 220 | 317 | 365 |
| 50 | 105 | 250 | 220 | 318 | 366 |

*başlangıç bozunma sıcaklığı; **ikinci bozunma sıcaklığı

- ✓ T₅, T₁₀ ve T₅₀ sıcaklıkları (sırasıyla % 5, % 10 ve % 50 kütle kaybının olduğu sıcaklıklar), kompozitlerin termal kararlılığını gösteren ana göstericilerdirler. Tabloda verilen başlangıç (BBS) ve ikinci bozunma (İBS) sıcaklıkları ile T₅, T₁₀ ve T₅₀ sıcaklıkları, saf epoksinin termal kararlılığının LA ilavesi ile iyileştirildiğini göstermektedir. Saf epoksi ve tüm kompozitler iki bozunma süreci göstermeleriyle dikkat çekmektedir. Saf epoksi reçinenin ilk termal bozunma aşaması 125 °C’da, ikinci bozunma aşaması ise 275 °C’da tespit edilmiştir.
- ✓ Kompozitlerin başlangıç bozunma sıcaklıkları saf epoksi ile yaklaşık aynı olsa da, ikinci bozunma sıcaklıkları ile diğer termal değerleri % 30 LA oranına kadar daha yüksek olmuştur.

- ✓ LA içerikleri % 10 ile % 30 arasında değişen NPEF kompozitleri için T_5 değerleri 170 °C'dan 255 °C'a, NPEL kompozitleri için 260 °C'dan 265 °C'a artmıştır.
- ✓ Saf epoksinin T_5 değeri ise 166 °C olarak belirlenmiştir. Buna ek olarak, % 10 ve % 50 kütle kaybı da benzer bir eğilim göstermiştir.

Tablo 4.4. LA oranının kompozitlerin termal özellikleri üzerine etkisi

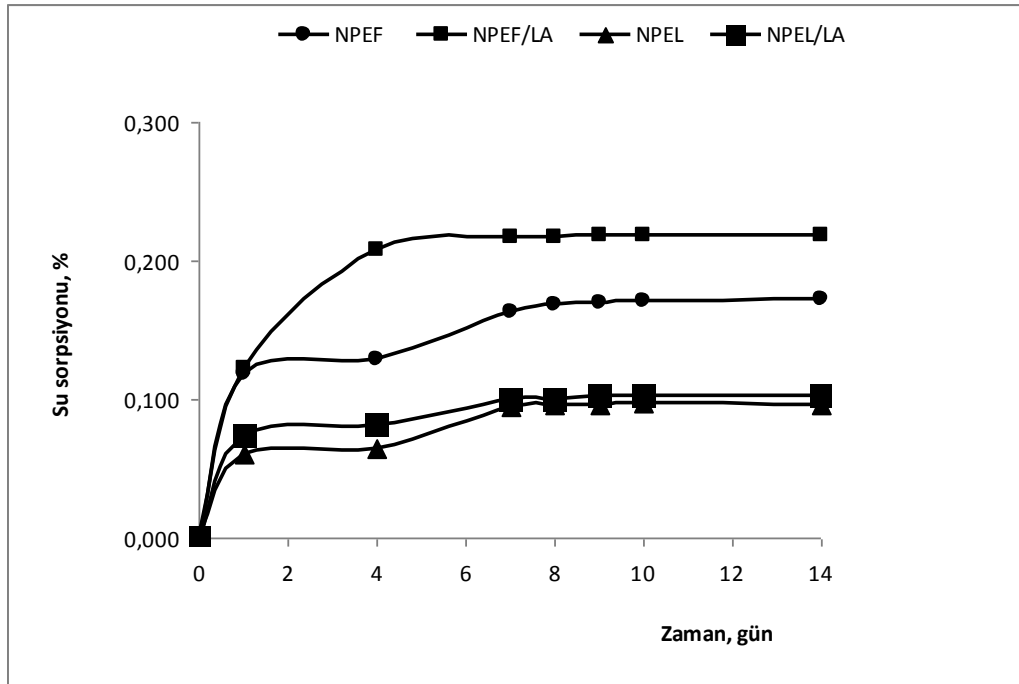
| LA (kütlece %) | Kütle kaybı (%) | | | | | Kalan kütle (%) 900°C |
|-----------------------------|--------------------|-------|-------|-------|-------|-----------------------------|
| | 200°C | 300°C | 350°C | 400°C | 450°C | |
| Saf NPEF | | | | | | |
| - | 5,5 | 8 | 28,5 | 62 | 76 | 17 |
| NPEF/LA kompozitleri | | | | | | |
| 10 | 5 | 7,5 | 26 | 62 | 75 | 17,5 |
| 20 | 4,5 | 7 | 25 | 58 | 71 | 20 |
| 30 | 3,5 | 6 | 25 | 55,5 | 67,5 | 22,5 |
| 40 | 4,2 | 6,7 | 26 | 60 | 72,5 | 18 |
| 50 | 4,8 | 7,5 | 27 | 58 | 69 | 20 |
| Saf NPEL | | | | | | |
| - | 4,3 | 8 | 32 | 64 | 76 | 12 |
| NPEL/LA kompozitleri | | | | | | |
| 10 | 4 | 7,5 | 30 | 63,5 | 75 | 17 |
| 20 | 3,6 | 7 | 28 | 61 | 72 | 16 |
| 30 | 3 | 6 | 25 | 59 | 71 | 22 |
| 40 | 4,2 | 8 | 33 | 61 | 72,5 | 20 |
| 50 | 4,7 | 8 | 35 | 62,5 | 72,5 | 21 |

- ✓ 900 °C'da tüm Epoksi/LA kompozitlerinin kalıntı yüzdesi saf epoksilere göre artmıştır.
- ✓ TGA sonuçlarından en iyi LA oranı % 30 olarak görülmektedir. LA oranının sonraki artışı ile termal dayanıklılıkta kayda değer bir azalma olmamıştır.
- ✓ % 30 LA içeren NPEF ve NPEL kompozitlerin kalıntı yüzdesi sırasıyla % 22,5 ve % 22'dir.
- ✓ Saf epoksiler 900 °C'da % 12-17 kalıntı kütlesi gösterirken, kompozitlerin kalıntı kütleleri sırasıyla % 17,5-22,5 aralığında değer göstermektedir.
- ✓ Buradan LA takviyesinin termal kararlılığı arttığı görülmektedir.

4.5. Su Sorpsiyonu

Saf epoksi reçinenin 24 saat süredeki su sorpsiyonu, reçine yapısına bağlı olarak % 0,5-1 aralığında değişebilir. Sıvı sorpsiyonu kürlenmiş epoksida kimyasal değişimler gibi mekaniksel değişimlere de yol açabilir. Epoksi reçineler için genellikle sıvı sorpsiyonu, şişme, e-modülde azalma, direnç kaybı, stres çatlama, kütle artımı, parlaklık kaybı ve sertlik kaybı gibi hatalara yol açar. Fakat formülasyonda (dolgu maddesi türü, dolgu miktarı, çapraz bağlanma derecesi ve molekülün polaritesi) meydana gelen hafif değişiklikler su absorpsiyonunda önemli farklar yaratabilir (Zhang ve ark., 2002; Licari, 2003; Ahmetli ve ark., 2014).

Saf ER'lerin ve ER/LA kompozitlerinin (kütlece % 50 LA) su sorpsiyon özelliği 14 gün sürede oda sıcaklığında deiyonize su içinde test edilmiştir. Şekil 4.6 gravimetrik yöntemle tayin edilen su sorpsiyonunun süreye bağlı değişimini göstermektedir.



Şekil 4.6. Kompozitlerin su sorpsiyonunun süreye bağlı değişim grafiği (LA kütlece %50)

- ✓ Saf ER'lerin nem difüzyonu LA ile takviye edilmesi sonucu farklı değerler göstermiştir.
- ✓ 14 günlük daldırma için saf NPEF'in denge su sorpsiyonu % 0,172; saf NPEL'in % 0,097 olarak belirlenmiştir.
- ✓ NPEF, NPEL'e göre daha fazla epoksi grubuna sahiptir (185-205 g/ekv). Saf NPEF reçinesi ve NPEF/LA kompozitlerinin su tutma yüzdesinin bu nedenle daha

yüksek olduğu düşünülmektedir. Ayrıca, NPEF'in hidrolize olabilecek klorür konsantrasyonu 400 ppm, NPEL'in 1000 ppm'dir. Yani, suda bekletilmiş NPEF yapısında daha fazla polar Cl atomları bulunmaktadır.

✓ NPEL/LA kompoziti saf reçine ile yaklaşık aynı su sorpsiyonuna sahip olduğu halde, NPEF/LA kompozitinin su sorpsiyonu yükselerek % 0,218 değerinde olmuştur ki, bunun da literatür (% 0,5-1) ile karşılaştırıldığında yine de iyi bir sonuç olduğu görülmektedir.

4.5. Sıcaklık ve Su Sorpsiyonunun Kompozitlerin Mekanik Özelliklerine Etkisi

Sıcaklık ve su sorpsiyonunun kompozit özelliklerine etkisi saf suda ve -18 °C'da 7 gün sürede incelenerek sonuçlar Tablo 4.5'de verilmiştir.

Tablo 4.5. Sıcaklık ve su sorpsiyonunun kompozit özelliklerine etkisi (LA kütlece %20)

| Süre (gün) | Çekme uzaması (%) | Çekme direnci (MPa) | Young modülü (GPa) |
|------------------------------|-------------------|---------------------|--------------------|
| NPEF/LA kompozitleri | | | |
| Oda sıcaklığında | | | |
| - | 0,721 | 62 | 5,20 |
| -18 °C'da bekletilmiş | | | |
| 1 | 0,620 | 62 | 5,50 |
| 3 | 0,561 | 45 | 5,20 |
| 7 | 0,541 | 43 | 5,10 |
| Saf suda bekletilmiş | | | |
| 3 | 0,330 | 38 | 3,20 |
| 7 | 0,251 | 38 | 3,30 |
| NPEL/LA kompozitleri | | | |
| Oda sıcaklığında | | | |
| - | 1,378 | 170 | 5,56 |
| -18 °C'da bekletilmiş | | | |
| 1 | 0,760 | 122 | 4,70 |
| 3 | 0,595 | 115 | 3,75 |
| 7 | 0,541 | 79 | 3,10 |
| Saf suda bekletilmiş | | | |
| 3 | 0,652 | 79 | 4,48 |
| 7 | 0,457 | 45 | 2,96 |

- Kompozitlerde LA oranı % 20 olarak seçilmiştir.
- Çalışmamızda oda sıcaklığında 7 gün sürede saf NPEF reçinesinin denge su sorpsiyonu % 0,163; saf NPEL reçinesinin ise % 0,095 olarak bulunmuştur.

- Kompozitlerin mekanik özelliklerine sıcaklık ve su sorpsiyonunun etkisine bakıldığında, her iki reçine ile de oluşturulan kompozitlerin mekanik özelliklerinde bir azalma görülmüştür.
- Ayrıca suda bekletilmenin, mekanik özellikleri azaltma bakımından düşük sıcaklığa göre daha etkileyici bir ortam olduğu tespit edilmiştir.

5. SONUÇLAR

- ✓ Analiz sonuçlarına göre, tüm kompozitlerde lastik atığı oranı numunelerin çekme özelliğini etkilemektedir.
- ✓ Kompozitlerde çekmeye karşı maksimum mukavemet kütlece % 20 LA oranına kadar etkili olmuştur. NPEL/LA kompozitlerinin çekme dayanımı NPEF/LA kompozitlerine göre çok daha yüksek bulunmuştur..
- ✓ Tüm kompozitlerde, lastik atık miktarı arttıkça kopma anındaki % uzama az da olsa artmıştır. Fakat tüm numunelerin çekmede % uzama oranları, saf reçinelere göre daha düşük olmuştur.
- ✓ Kompozitlerin başlanğıç bozunma sıcaklıkları saf epoksi ile yaklaşık aynı olsa da, ikinci bozunma sıcaklıkları ile diğer termal değerleri % 30 LA oranına kadar daha yüksek olmuştur. Saf epoksiler 900 °C'da % 12-17 kalıntı kütlesi gösterirken, kompozitlerin kalıntı kütleleri sırasıyla % 17,5-22,5 aralığında değer göstermiştir.
- ✓ NPEL/LA kompoziti saf reçine ile yaklaşık aynı su sorpsiyonuna sahip olduğu halde, NPEF/LA kompozitinin su sorpsiyonu yükselerek % 0,218 değerinde olmuştur ki, bunun da literatür (% 0,5-1) ile karşılaştırıldığında yine de iyi bir sonuçtur.
- ✓ Kompozitlerin mekanik özelliklerine sıcaklık ve su sorpsiyonunun etkisine bakıldığında, her iki reçine ile de oluşturulan kompozitlerin mekanik özelliklerinde bir azalma görülmüştür.

KAYNAKLAR

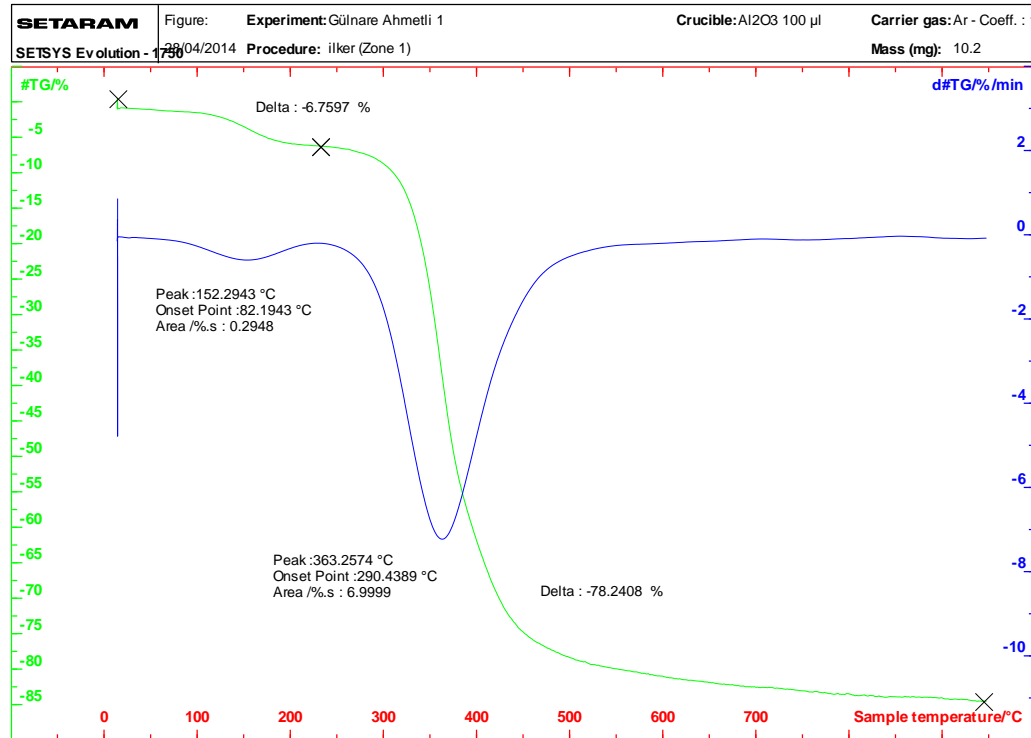
- Abdel-Aal, N., El-Tantawy, F., Al-Hajry, A. and Bououdina, M., 2008a, Epoxy resin/plasticized carbon black composites. Part I. Electrical and thermal properties and their applications, *Polymer Composites*, 29, 511-517.
- Abdel-Aal, N., El-Tantawy, F., Al-Hajry, A. and Bououdina, M., 2008b, Epoxy resin/plasticized carbon black composites. Part II. Correlation among network structure and mechanical properties, *Polymer Composites*, 29, 804-808.
- Adhikari, B., De, D. and Maiti, S., 2000, Reclamation and recycling of waste rubber, *Progress in Polymer Science*, 25, 909-948.
- Ahmetli G., Gungor A. and Kocaman S., 2014, Epoxy composites based on inexpensive tire waste filler, *AIP Conference Proceedings*, 1599, 346-349.
- Amari, T., Themelis, N.J. and Wernick, I.K., 1999, Resource recovery from used rubber tires, *Resources Policy*, 25, 179–188.
- Anonim 2009a, Keskin Otomotiv Sitesi, <http://www.keskinotomotiv.com.tr/>
- Anonim 2009b, European Comission Sitesi, <http://ec.europa.eu/environment/waste/index.htm>
- Anonim 2012, Plastik ambalaj, *MEB Yayınları*, Ankara, http://www.megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Plastik%20Ambalaj.pdf [Ziyaret tarihi: 20 Kasım 2013]
- Anonim 2014, http://www.tdk.gov.tr/index.php?option=com_gts&arama=gts&guid=TDK.GTS.558f038f1b3620.53398559
- Anonim 2001, A national approach to waste tires, Atech Group, Sidney, Australia.
- Austin, R. J., 2004, Synthesis and characterization of polyolefin elastomer and polypropylene based nanocomposites and their blends, *Doctoral Thesis Institute of Science to Queen's University*, Canada, 7- 22.
- Bal, S., 2010, Experimental study of mechanical and electrical properties of carbon nanofiber/epoxy composites, *Materials and Design*, 31, 2406–2413.
- Beer, F. P., Johnston, E. R., DeWolf, J. T. and Mazurek, D., 2009, Mechanics of materials, 5th Ed., *McGraw Hill*, New-York.
- Billmeyer, F. W., 1984, Textbook of polymer science, 3rd Ed., *Wiley-Interscience*, New York.

- Cecen, V., Tavman, I.H., Kok, M. and Aydogdu, Y., 2009, Epoxy- and polyester-based composites reinforced with glass, carbon and aramid fabrics: measurement of heat capacity and thermal conductivity of composites by differential scanning calorimetry, *Polymer Composites*, 30, 1299-1311.
- De, S.K., Isayev A. I. and Khait K., 2005, Rubber Recycling, *CRC Press, Taylor & Francis Group*, Boca Raton, FL, 33487-2742.
- De, D. and De, D., 2011, Processing and material characteristics of a reclaimed ground rubber tire reinforced styrene butadiene rubber, *Materials Sciences and Applications*, 2, 486-496.
- Erdem, M. 2005, Sanayide atık yönetimi, Çevre ve Sanayi Semineri, Çevre ve Orman Bakanlığı, Bursa Ticaret ve Sanayi Odası, Türkiye İşveren Sendikaları Konfederasyonu.
- Geredelioglu, C.O., 1997, Tasıt lastikleri, TMMOB Makine Mühendisleri Odası, Ankara.
- Goodman, B. J. Walter, D. K. 1991, Opportunities for energy from municipal waste technology, *Enerji Source*, 13; 179-188.
- Gönüllü, M., T., 2004, Atık lastiklerin yönetimi, *Katı Atık Geri Dönüşüm Teknolojileri Semineri*, İstanbul Sanayi Odası, İstanbul, 9 Haziran.
- Harper C. A., 2006, Handbooh of plastic technologies, *McGrow-Hill Companies*.
- Isayev I. A., 2005, Recycling of rubbers, *Science and Technology of Rubber*, Third Edition, 663-701.
- Işık, F., 2005, Nanocomposites based on blends of polyethylene, Doktora Tezi, *Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 7-41.
- Jitkarnka S., Chusaksri B., Supaphol P. and Magaraphan R., 2007, Influences of thermal aging on properties and pyrolysis products of tire tread compound, *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 80, 269-276.
- Kan, A., 2007, Isıl işlem yöntemiyle modifiye edilmiş atık EPS köpüklerin beton agregası olarak kullanılabilirliğinin araştırılması, Doktora Tezi, *Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Erzurum, 1-2.
- Kaynak, C., Sipahi-Saglam, E. and Akovali, G., 2001, A fractographic study on toughening of epoxy resin using ground tyre rubber, *Polymer*, 42, 4393-4399.
- Li S., Lamminmaki J. and Hanhi, K., 2005, Effect of ground rubber powder and devulcanizates on the properties of natural rubber compounds, *Journal of Applied Polymer Science*, 97, 208-217.
- Licari J. J., 2003, Coating materials for electronic applications, *Noyes Publications*, USA.

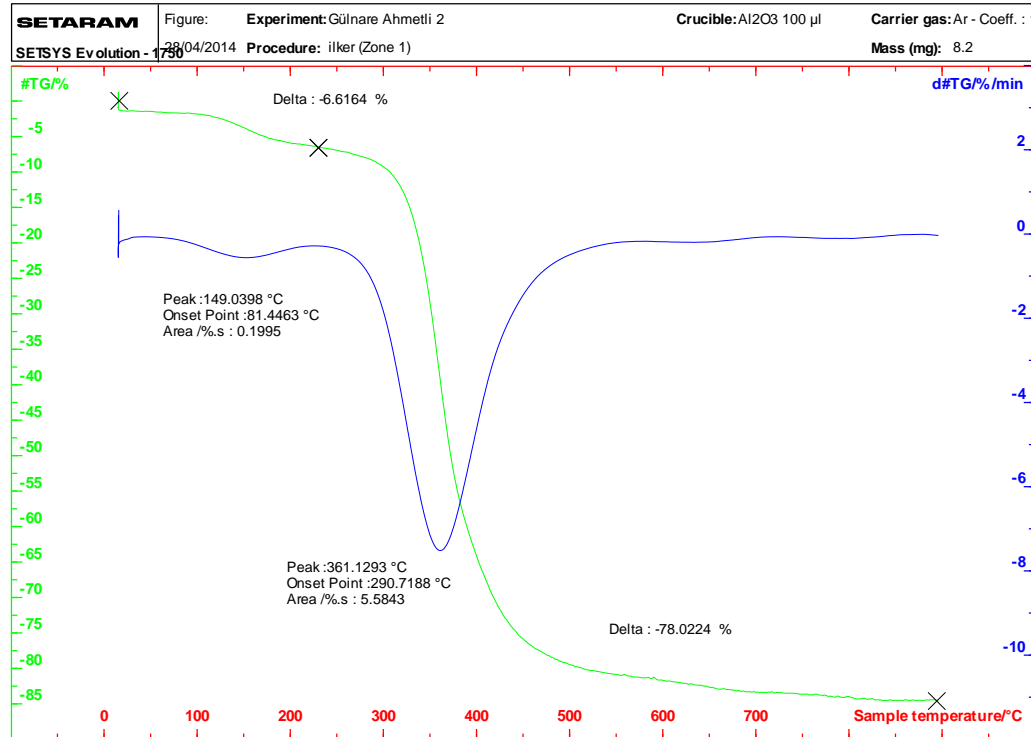
- Maiti, S., Banerjee, P., Purakayastha, S. and Ghosh, B., 2008, Silicon-doped carbon semiconductor from rice husk char, *Materials Chemistry and Physics*, 109, 169–173.
- MEB, 2011, Aile ve tüketici hizmetleri atık lastikler, *Milli Eğitim Bakanlığı Eğitim notu*.
- Naskar A. K., De S. K. and Bhowmick A. K., 2000, Characterization of ground rubber tyre and its effect on natural rubber compound, *Rubber Chemistry and Technology*, 73, 902–911.
- Pinto, F., Costa, P., Gulyurtlu, I. and Cabrita, I., 1999, Pyrolysis of plastic wastes, *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 51, 39-55.
- Rodgers, B. and Waddell, W., 2005, Tire engineering, in science and technology of rubber, Eds. Mark, E. J., Erman, B. and Eirich, F., R., *Elsevier Academic Press*, Amsterdam, Boston.
- Savran H., 2001, Elastomer teknolojisi–I, *Acar Matbaacılık*, İstanbul.
- Stevenson, A., 1985, Longevity of natural rubber in structural bearings, *International Rubber Conference*, Kyoto, 680.
- Subramanian, P. M., 2000, Plastic recycling and waste management in the U.S. *Resources, Conservation and Recycling*, 28 (3-4), 253-263.
- Sugözü İ. ve Mutlu İ., 2009, Atık taşıt lastikleri ve değerlendirme yöntemleri, *Taşıt Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 1, 35-46.
- Sun X., 2007, The devulcanization of unfilled and carbon black filled isoprene rubber vulcanizates by high power ultrasound, *Doctoral Thesis*, University of Akron, USA.
- UNEP, 2008, Revised technical guidelines on environmentally sound management of used tires, *Basel Convention*, Bazel, Switzerland.
- Yasmin, A. and Daniel, I.M., 2004, Mechanical and thermal properties of graphite platelet/epoxy composites, *Polymer*, 45, 8211–8219.
- Zhang, S.-Y., Ding, Y. F., Li S. Y., Luo, X. W. and Zhou, W. F., 2002, Effect of polymeric structure on the corrosion protection of epoxy coatings, *Corrosion Science*, 44 (4), 861-869.
- Xu D., Karger–Kocsis J. and Schlarb A.K., 2009, Friction and wear of HNBR with different fillers under dry rolling and sliding conditions, *Express Polymer Letters*, 3, 126–138

EK'LER

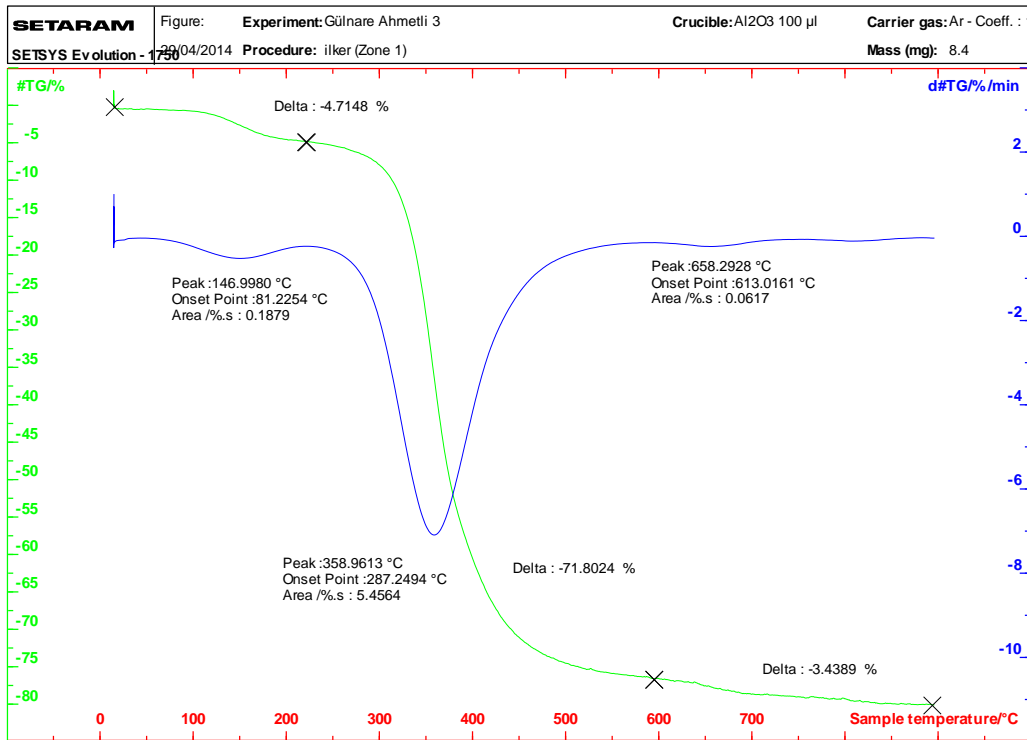
EK-1. Saf NPEF reçinesinin TGA eğrisi



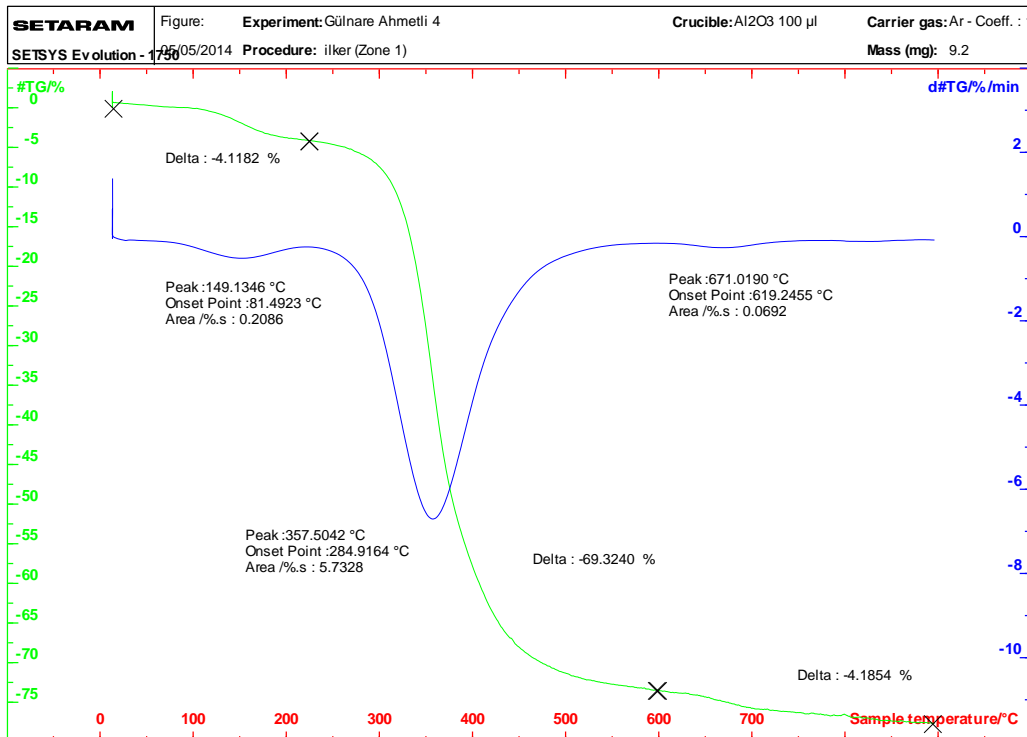
EK-2. NPEF/LA (%10) kompozitinin TGA eğrisi



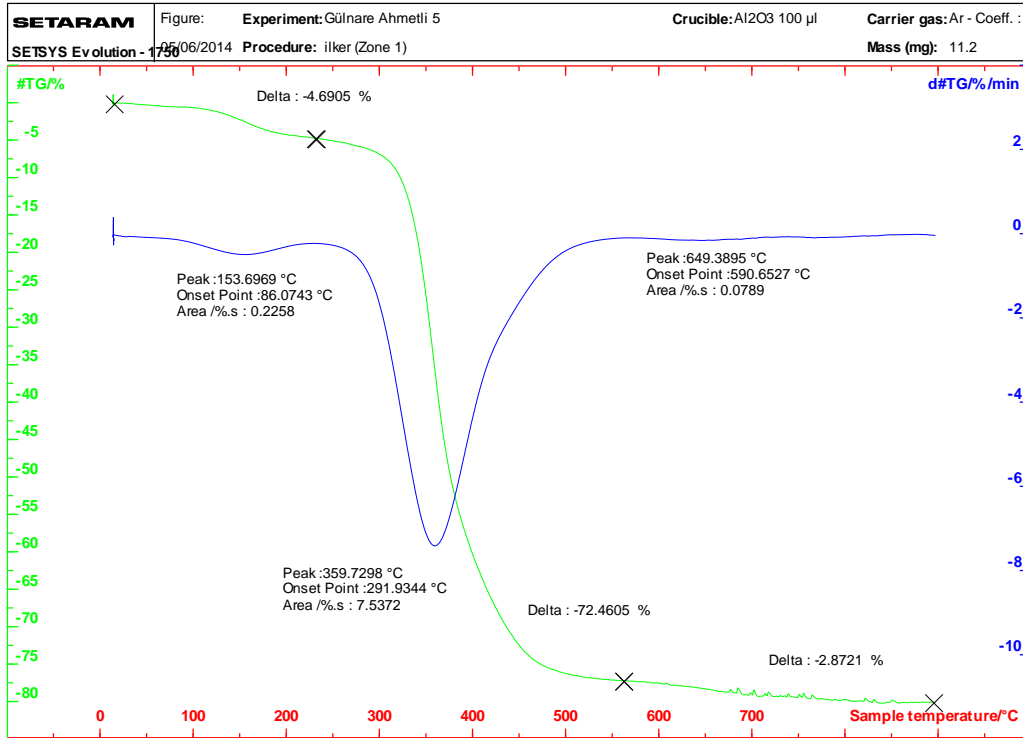
EK-3. NPEF/LA (%20) kompozitinin TGA eğrisi



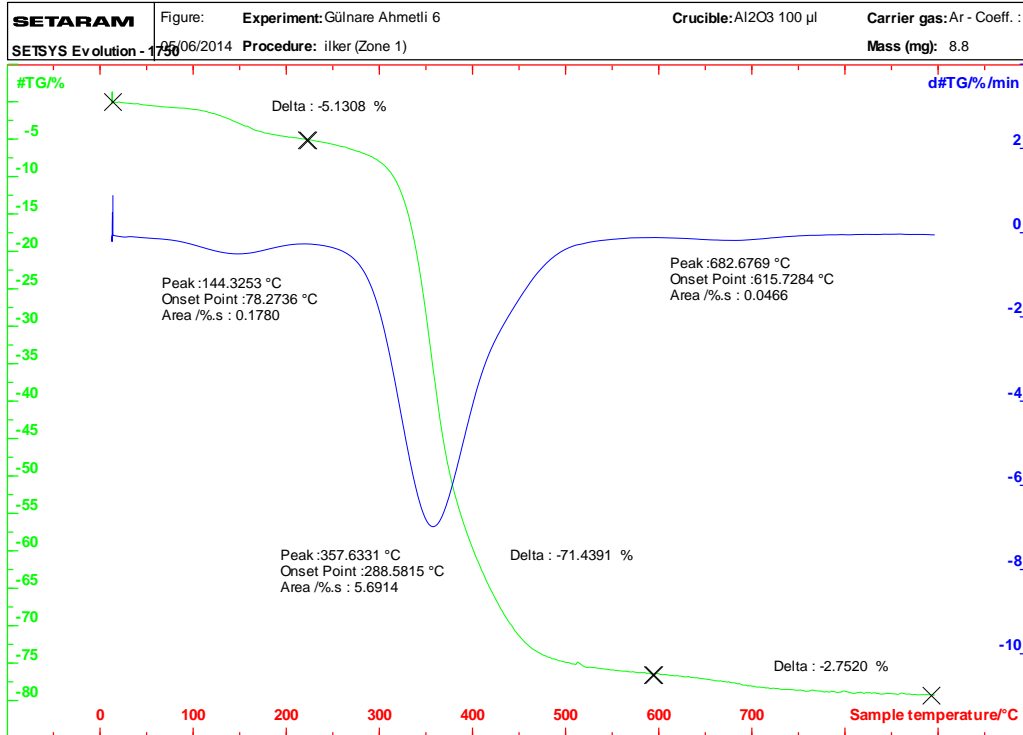
EK-4. NPEF/LA (%30) kompozitinin TGA eğrisi



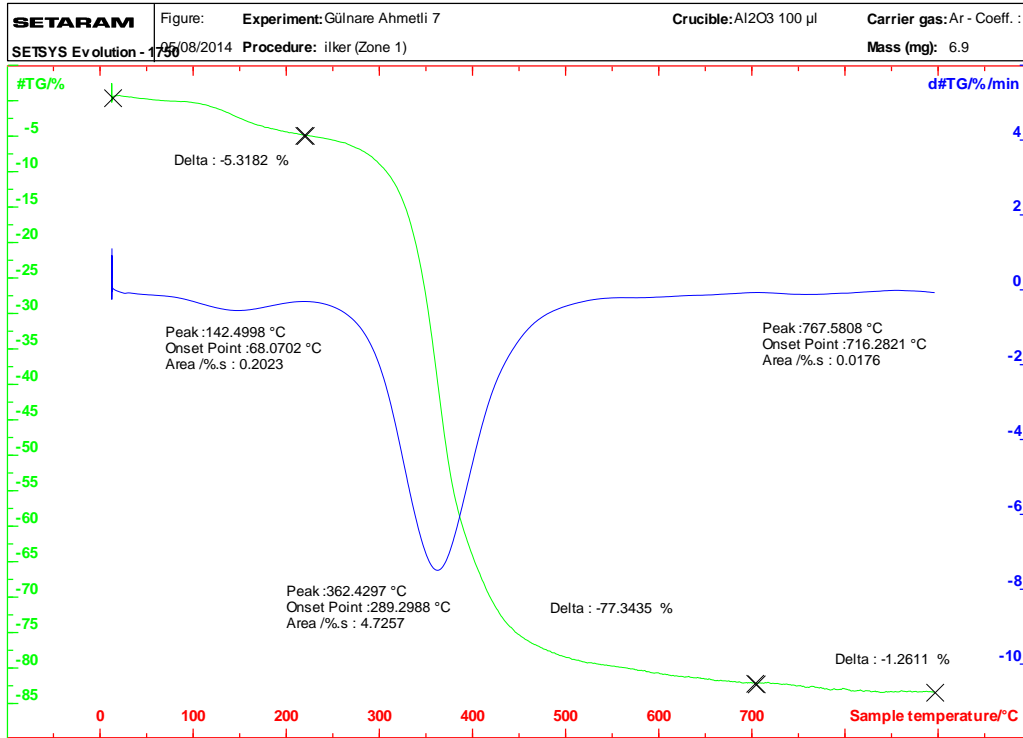
EK-5. NPEF/LA (%40) kompozitinin TGA eğrisi



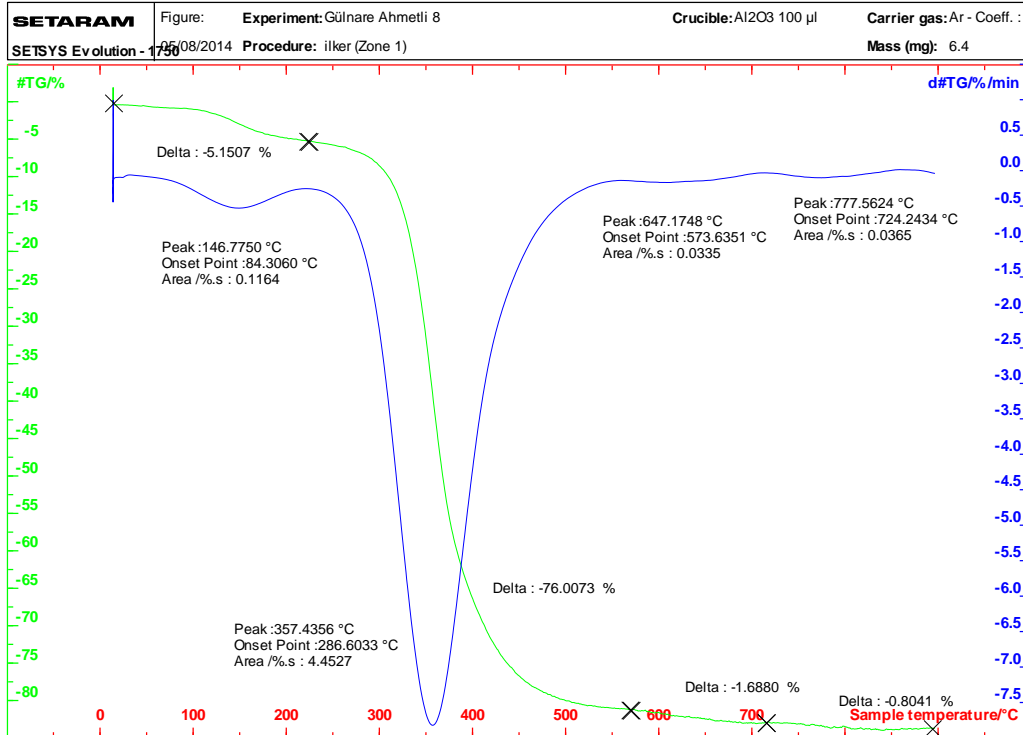
EK-6. NPEF/LA (%50) kompozitinin TGA eğrisi



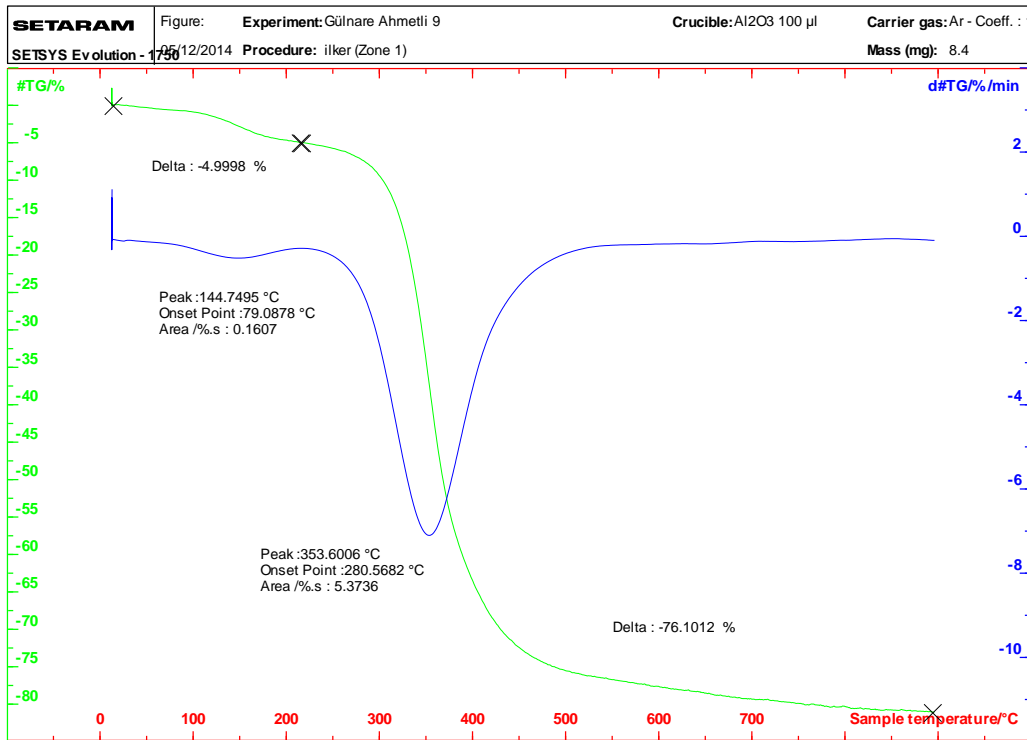
EK-7. Saf NPEL reçinesinin TGA eğrisi



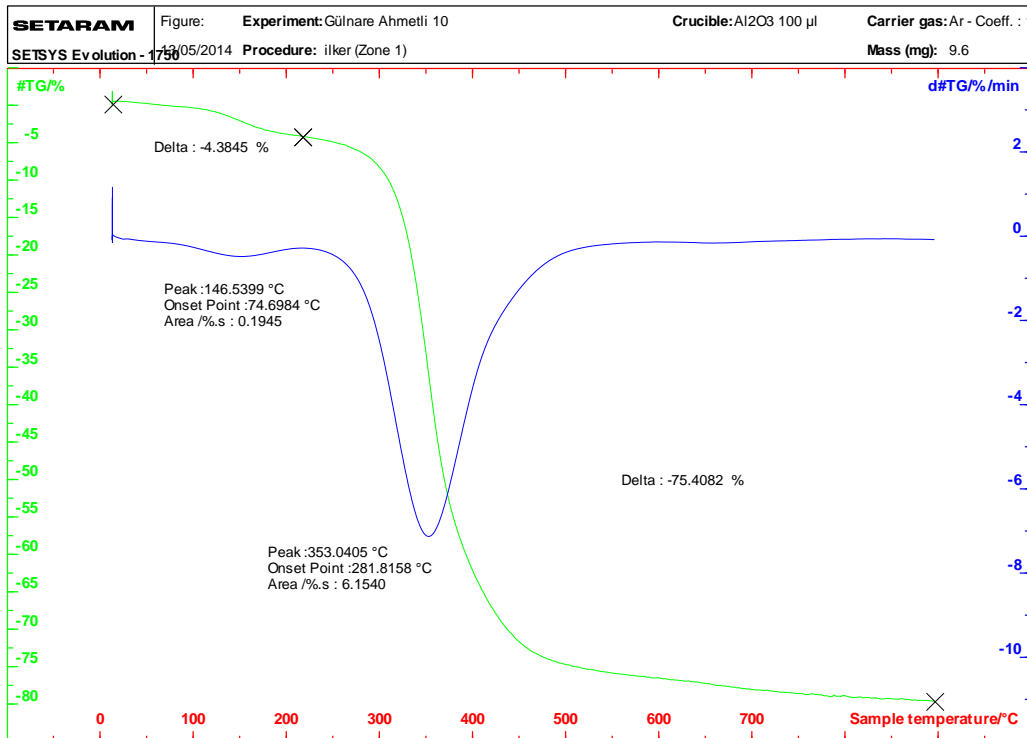
EK-8. NPEL/LA (%10) kompozitinin TGA eğrisi



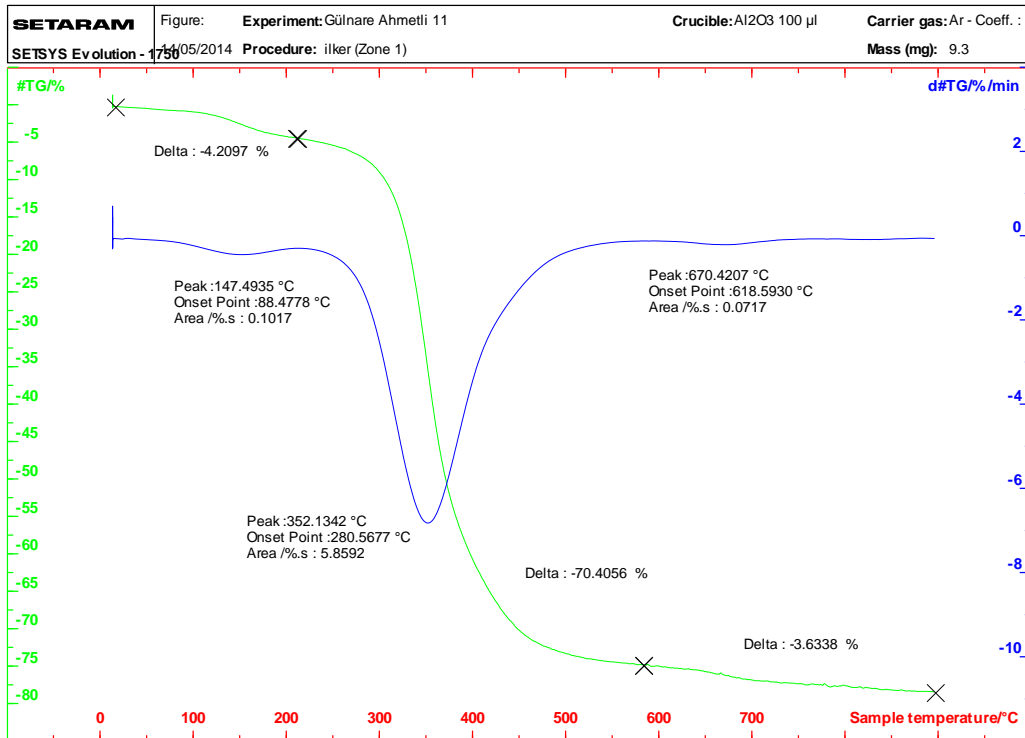
EK-9. NPEL/LA (%20) kompozitinin TGA eğrisi



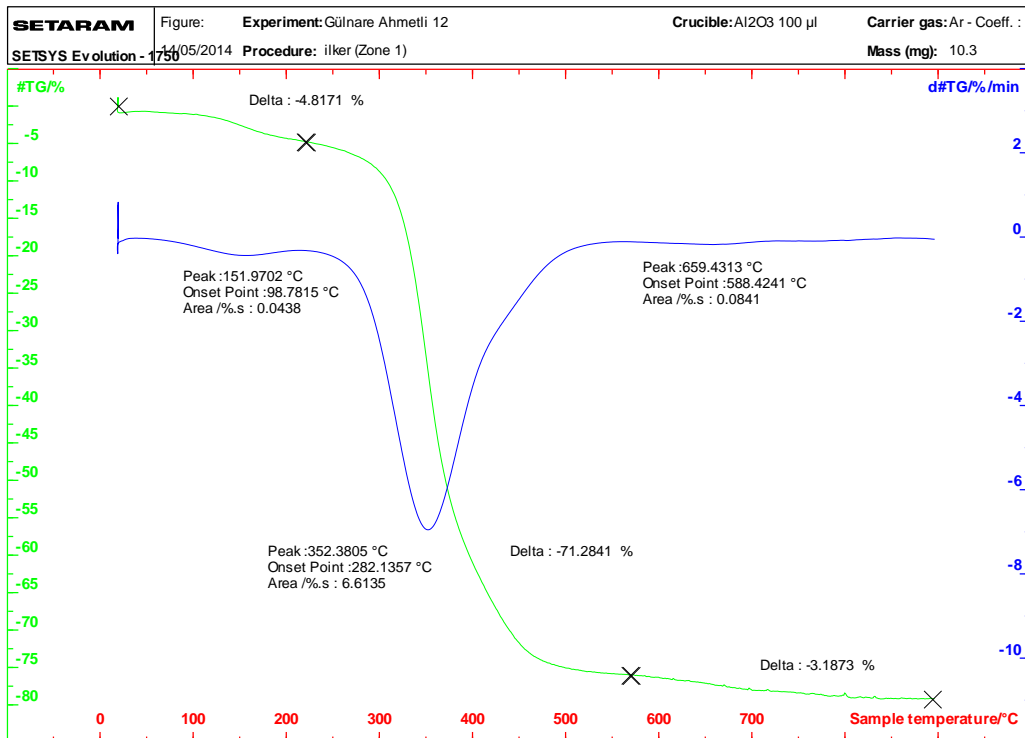
EK-10. NPEL/LA (%30) kompozitinin TGA eğrisi



EK-11. NPEL/LA (%40) kompozitinin TGA eğrisi



EK-12. NPEL/LA (%50) kompozitinin TGA eğrisi



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Pınar AYDIN
Uyruğu : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : Elbistan/K.Maraş 1989
Telefon : 0554 512 91 95
e-mail : pinaraydin.igu@gmail.com, pnr_kal@hotmail.com

EĞİTİM

| Derece | Adı, İlçe, İl | Bitirme Yılı |
|------------|--|--------------|
| Lise | : Elbistan Anadolu Lisesi, Elbistan, Kahramanmaraş | 2007 |
| Üniversite | : Selçuk Üniversitesi, Selçuklu, Konya | 2012 |
| Yüksek L. | Selçuk Üniversitesi FBE, Selçuklu, Konya | 2015 |

İŞ DENEYİMLERİ

| Yıl | Kurum | Görevi |
|-----------|---|---------------------|
| 2012 | Prodex Kimyasal Mad.İth.İhr.İnş.Taah.Tic.ve Ltd.Şti. | Kimya Mühendisi |
| 2013 | İşsev İş Sağlığı ve Güvenliği Ltd. Şti. | İş Güvenliği Uzmanı |
| 2014-2015 | Sağlam İş Güvenliği ve Sağlığı Ltd. Şti. | İş Güvenliği Uzmanı |
| 2015-.... | Beno Plastik Ambalaj ve Kalıp San. Tic. Ltd. Sti. | Kimya Mühendisi |

UZMANLIK ALANI: Kimyasal Teknolojiler, Polimer Kompozitler

YABANCI DİLLER: İngilizce

YAYINLAR

1. Pınar Aydın, Ahmet Güngör ve Gülnare Ahmetli, “Lastik atığının epoksi kompozitte dolgu maddesi olarak kullanımı”, Sözlü sunum, 2. *Ulusal Kauçuk Kongresi*, 28-29 Kasım, TÜYAP, İstanbul, 2014. (YL Tezinden yapılmıştır).