



**T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**EPOKSİ REÇİNE/ÇAR KOMPOZİTLERİNİN
HAZIRLANMASI VE KARAKTERİZASYONU**

Pınar BOZKURT

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

**Ocak-2014
KONYA
Her Hakkı Saklıdır**

TEZ KABUL VE ONAYI

Pınar BOZKURT tarafından hazırlanan “Epoksi Reçine/Çar Kompozitlerinin Hazırlanması ve Karakterizasyonu” adlı tez çalışması 03/01/2014 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

Başkan

Prof. Dr. Erol PEHLİVAN

Danışman

Doç.Dr. Gülnare AHMETLİ

Üye

Doç.Dr. Zafer YAZICIGİL

İmza

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Aşır GENÇ
FBE Müdürü

Bu tez çalışması BAP tarafından 12201089 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.



Pınar BOZKURT

Tarih: 06.01.2014

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

EPOKSİ REÇİNE/ÇAR KOMPOZİTLERİNİN HAZIRLANMASI VE KARAKTERİZASYONU

Pınar BOZKURT

**Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Doç. Dr. Gülnare AHMETLİ

2014, 85 Sayfa

Jüri

Doç. Dr. Gülnare AHMETLİ

Prof. Dr. Erol PEHLİVAN

Doç. Dr. Zafer YAZICIGİL

Bu çalışmada, plastik (PET) atık DGEBA tipi epoksi kompozit malzemelerin hazırlanması için ham madde olarak geri dönüştürüldü. Kompozitlerin hazırlanmasında kullanılan diğer ucuz dolgu maddeleri, doğal kaynaklardan elde edilen odun talaşı çarı (OTÇ) ile çam kozalak (KÇ) çaradır. Kompozitlerin TGA analizi, plastik atık çarı (PAÇ) ve KÇ'nin 300 °C'ın üzerindeki sıcaklıklarda saf epoksi reçinesi (ER)'nin termal dayanıklılığını önemli ölçüde arttığını göstermiştir. En iyi termal ve elektriksel iletkenlik sonuçları PAÇ ile elde edilmiştir. Ağırlıkça % 30 PAÇ kompozitinin kalıntı kütlesi % 69 olmuştur. Kompozitlerin yüzey sertliği, Young modülü ve çekme dayanımı saf epoksi polimer matrisinden daha yüksek olmuştur. Kompozitlerin morfolojisi X-ışını kırınımı (XRD) ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile karakterize edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: epoksi reçine, çar, kompozit

ABSTRACT

MS THESIS

PREPARATION AND CHARACTERIZATION OF EPOXY RESIN/CHAR COMPOSITES

Pınar BOZKURT

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

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Gulnare AHMETLI

2014, 85 Pages

Jury

Assoc. Prof. Dr. Gulnare AHMETLI

Prof. Dr. Erol PEHLIVAN

Assoc. Prof. Dr. Zafer YAZICIGIL

In this study, plastic (PET) waste was recycled as raw material for the preparation of DGEBA-type epoxy composite materials. The other inexpensive fillers used to prepare the composites were wood shavings char (OTÇ) and pine cone char (KÇ), obtained from natural resources. The TGA analysis of composites showed that plastic waste char (PAÇ) and KÇ can significantly improve the thermal stability of neat epoxy resin (ER) at temperatures above 300°C. The best thermal and electrical conductivity results were obtained with PAÇ. The residual weight of the composite with 30 wt% PAÇ was 69%. Surface hardness, Young's modulus, and tensile strength of the composites were higher than those with a pure epoxy polymer matrix. The composite morphology was characterized by X-ray diffraction (XRD) and scanning electron microscopy (SEM).

Keywords: epoxy, char, composite

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tez çalışmalarım süresince danışmalığımyı yapan, yüksek lisans tez çalışmalarım kapsamında beni yönlendiren, araştırmalarımın her aşamasında bilgi, öneri ve yardımlarını esirgemeyerek bilimsel katkıların yetişme ve gelişmeme de katkıda bulunan danışman hocam Sayın Doç. 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, hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. İlkey ÖZAYTEKİN ve Yrd. Doç. Dr. Hüseyin DEVECİ'ye teşekkür ederim.

Pınar BOZKURT
KONYA-2014

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
TABLO LİSTESİ.....	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	x
SİMGELER ve KISALTMALAR.....	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER	3
2.1. Plastik.....	3
2.1.1. Plastik kullanımının Türkiye ve Dünyadaki durumu.....	5
2.1.2. Atık plastikler	7
2.1.2.1. Atık plastiklerin geri kazanım yöntemleri	8
2.1.2.2. Geri kazanılmış PET'in kullanımı	13
2.1.3. Plastiklerin bozunması.....	14
2.1.3.1. Plastiklerin bozunma türleri.....	15
2.1.3.2. Plastiklerin bozunmasını etkileyen faktörler	17
2.2. Kompozit Malzemeler	17
2.2.1. Kompozit yapı elemanları.....	18
2.2.1.1. Matris malzemeleri	18
2.2.1.2. Takviye (dolgu) elemanları.....	21
2.2.1.3. Katkılar	23
2.2.2. Kompozit malzemelerin avantaj ve dezavantajları	24
2.2.3. Kompozit malzemelerin kullanım alanları	25
3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	27
4. MATERYAL VE METOD	35
4.1. Kullanılan Kimyasal Malzemeler	35
4.1.1. Ticari epoksi reçine (ER).....	35
4.1.2. Sertleştirici	35
4.1.3. Hızlandırıcı	35
4.1.4. Çar.....	35
4.2. Denyede Kullanılan Cihaz ve Aletler	36
4.3. Kompozit Hazırlama Yöntemi	36
4.4. Kompozit Malzemelerin Karakterizasyonu	37
4.4.1. Mekanik karakterizasyon	37
4.4.1.1. Çekme testi	38
4.4.1.2. Sertlik testi	39

4.4.2. Yüzey karakterizasyonu.....	39
4.4.2.1. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) analizi	39
4.4.2.2. X-ışını kırınım analizi (XRD).....	40
4.4.3. Elektriksel iletkenlik ölçümü.....	40
4.4.4. Termal analiz	40
4.5.5. Su absorplama analizi	41
5. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA	42
5.1. Kompozitlerin Yapımında Kullanılan Sertleştirici ve Çarlar	42
5.2. Çarların Karakterizasyonu	42
5.3. Epoksi/Çar Kompozitlerinin Karakterizasyonu.....	45
5.3.1. SEM analiz sonuçları.....	45
5.3.2. XRD analiz sonuçları.....	46
5.3.3. Mekanik özellikler	47
5.3.3.1. Kompozitlerin çekme test sonuçları	47
5.3.3.2. Kompozitlerin sertlik test sonuçları.....	50
5.3.4. Elektrik iletkenlik özellikleri	51
5.3.5. Termal özellikler.....	54
5.3.6. Su absorplama özellikleri	56
6. SONUÇLAR.....	58
KAYNAKLAR	60
EKLER....	68
EK 1. Matrise göre % 10 plastik atık çarı TGA eğrisi	68
EK 2. Matrise göre %20 plastik atık çarı TGA eğrisi	69
EK 3. Matrise göre %30 plastik atık çarı TGA eğrisi	70
EK 4. Matrise göre % 10 kozalak çarı TGA eğrisi	71
EK 5. Matrise göre % 20 kozalak çarı TGA eğrisi	72
EK 6. Matrise göre % 30 kozalak çarı TGA eğrisi	73
ÖZGEÇMİŞ	74

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1. Plastik kodları	4
Tablo 2.2. Kişi başına göre ülkelerin plastik tüketimi	7
Tablo 2.3. Geri dönüşümde kullanılan polimerler	14
Tablo 2.4. Bazı termoplastik malzemelerin mekanik ve fiziksel özellikleri.....	20
Tablo 2.5. Bazı termoset malzemelerin mekanik ve fiziksel özellikleri	21
Tablo 4.1. Kompozitlerde kullanılan oranlar	37
Tablo 5.1. Çarların EDX analiz sonuçları	43
Tablo 5.2. Çar türü ve miktarının ER/çar kompozitlerinin mekanik özelliklerine etkisi	48
Tablo 5.3. ER/çar kompozitlerinin sertlik testi sonuçları	50
Tablo 5.4. ER/çar kompozitlerinin oda sıcaklığındaki elektrik iletkenliği ve elektrik direnci değerleri.....	52
Tablo 5.5. Saf ER ve kompozitlerin TGA değerleri	55
Tablo 5.6. Katı dolgu türü ve miktarının ER/çar kompozitlerinin termal özellikleri üzerindeki etkisi	56

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1. Tüketimin plastiklere göre dağılımı	5
Şekil 2.2. Tüketimin sanayi kollarına dağılımı.....	6
Şekil 2.3. Ükelere göre plastik tüketim dağılımı.....	6
Şekil 2.4. Termal bozunma mekanizmaları	16
Şekil 2.5. Kompozitlerde kullanılan farklı matris malzemelerinin sıcaklık-yoğunluk özellikleri.....	18
Şekil 4.1. Kalıplanmış kompozitlerin boyutları.....	37
Şekil 4.2. Çekme numunesi ve gerilme test yöntemi	38
Şekil 5.1. Çarların EDX spektrumları	43
Şekil 5.2. Saf çarların FTIR spektrumları.....	44
Şekil 5.3. Saf çarların SEM görüntüleri	45
Şekil 5.4. ER/PAÇ ve ER/KÇ SEM görüntüleri	46
Şekil 5.5. Saf ER, saf çarlar ve ER/çar kompozitlerinin XRD eğrileri	47
Şekil 5.6. ER, ER/PAÇ, ER/OTÇ ve ER/KÇ gerinim-gerilim eğrileri	48
Şekil 5.7. ER/PAÇ (%25) kompozitinin sıcaklığa bağlı elektrik iletkenlik grafiği	53
Şekil 5.8. Saf ER (1), sırasıyla %10, %20 ve %30 ER/PAÇ kompozitlerinin (2-4) ve %10, %20 ve %30 ER/KÇ kompozitlerinin (5-7) TGA eğrileri	54
Şekil 5.9. Saf ER ve ER/çar kompozitlerinin su sorpsiyonu grafikleri	57

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

°C: Santigrat derece
S cm⁻¹: Elektrik iletkenliği
K: Kelvin
V: Volt
F: Kuvvet
A: Alan
E: Modül

Kısaltmalar

PET: Poli(etilen tereftalat)
PVC: Poli(vinil klorür)
PP: Polipropilen
PS: Polistiren
PE: Polietilen
HDPE (YYPE): Yüksek yoğunluklu polietilen
LDPE (AYPE): Düşük yoğunluklu polietilen
PAÇ: Plastik atık çarı
OTÇ: Odun talaşı çarı
KÇ: Kozalak çarı
SEM: Taramalı elektron mikroskobi
XRD: X-Işınım difraksiyonu
TGA: Termogravimetrik analiz
EDX: X-Ray floresans spektrometre
FTIR: İnfrared spektrometre

1. GİRİŞ

Bilim insanları, yıllardır bilinçsizce kirletilmiş olan çevreyi nasıl temizlenebileceğinin ve biriken atıkların nasıl değerlendirebileceğinin çarelerini araştırmaktadır. 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).

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. Doğal kaynaklarımız, nüfusun ve tüketimin artması ile her geçen gün azalmaktadır. Atıkların değerlendirilmesiyle ek bir kaynak sağlanmış olur.

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. Geri dönüşüm ile tasarruf edilen enerji miktarı atık cins ve bileşimine bağlı olarak değişmektedir.

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. Geri dönüşüm sayesinde ham maddelerin azalması ve doğal kaynakların tükenmesi önlenerek, böylelikle ülke ekonomisine katkı sağlanacaktır. 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).

Atıkların toplanması ve değerlendirilmesi fikri, çok eskilere dayanır. Milattan sonra 200 yıllarında Romalılar ilk defa şehirlerde çöp toplama teşkilatı kurmuşlardır. 1690 yılında Filadelfia’da atık kağıtı öğütmek için öğütücü yapılmış, 1776 yılında ABD’de metal atıkların geri dönüşümünün sağlanmasına başlanmış ve 1897’de ilk defa New York’ta geri dönüşüm merkezi kurulmuştur. 1965 yılında ABD federal hükümeti, atıkların büyük bir problem oluşturduğu farkına varmış ve yasalar çıkarmıştır. Bu tarihten sonra günümüze kadar geri dönüşüm alanında birçok çalışma yapılmıştır. Geri dönüşüme olan ihtiyacın başlamasında savaşlar nedeni ile olan kaynak sıkıntıları da etkili olmuştur. Birçok ülke, ikinci dünya savaşı sırasında ülke çapında kampanyalar başlatmış, vatandaşları özellikle metal ve fiber toplama konusunda teşvik etmişlerdir. Amerika’da geri dönüşüm prosesi yurtseverlik anlayışında çok önemli bir yer edinmiştir. Hatta savaş sırasında oluşturulan kaynak koruma programları, doğal kaynakları kısıtlı olan Japonya gibi ülkelerde savaş sonrasında da devam ettirilmiştir (Kan, 2007).

Atık maddeler, gelişmiş ülkelerde, çeşitli geri dönüşüm teknikleri kullanılarak yeniden kazanılıp, birçok sektörde onlarca yıldır kullanılmaktadır. Ancak, geri dönüşüm çalışmalarının çok düşük ve geri kazanın oranının oldukça sınırlı olduğu ve atık malzemelerin fabrika sahalarında ve çevrede büyük alanları kapsadığı bilinen ülkemizde, Çevre Bakanlığı ve Çevko Vakfı 1991’de kurulabilmiştir. Oysa diğer ülkelerde çevre kirliliğinin azaltılmasına katkıda bulunmak ve atıkların değerlendirilmesi konusunda, hükümetlerin ve kuruluşların da desteklediği birçok çalışma vardır (Kan, 2007).

2. KURAMSAL TEMELLER

2.1. Plastik

Plastik, 1851 yılında ilk olarak sert kauçuğun yapılması ile birlikte doğal maddeler yerine kullanılabilen kimyasal bir maddeden elde edilmiştir. Kauçuğun keşfini takiben 1862 yılında Alexander Parkes ilk insan yapımı plastiği Londra’da uluslararası bir sergide kauçuğun yapabileceği her şeyi yapabilen ama daha ucuz olan bir madde olarak sergilemiştir. Bu yeni buluşu takiben Avrupa ve ABD’de plastik üzerine birçok çalışma yapılmış ve Alexander Parkes’in bu yeni icadı geliştirilmiştir. Bu çalışmalardan elde edilen birikimin sonucu olarak 1920 yılında naylon ve 1927 yılında modern anlamda bildiğimiz plastik icat edilmiştir (Eraslan ve ark., 2007).

2. Dünya Savaşı ile plastiğe olan aşırı talep, plastiğin hem kullanım miktarını hem de kullanım alanının hızla gelişmesi sonucunu doğurmuştur. Savaş sonrası dönemde bu gelişimi devam eden plastik, 20. yüzyıl sonuna gelindiğinde ekonomik ve sosyal hayatta vazgeçilmez bir yere sahip olmuştur (Eraslan ve ark., 2007).

Plastikler, karbonun hidrojen, oksijen, azot ve diğer organik ve inorganik elementlerle oluşturduğu monomerler diye adlandırılan en küçük ve basit moleküllerin polimerler diye adlandırılan uzun zincirli yapıya dönüştürülmesi ile elde edilmektedir. Plastikler termoplastikler ve termosetler olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır (Demirel, 2007).

Termoplastikler, oda sıcaklığında katı malzeme olarak adlandırılır. Isıtılırsa yumuşar, viskozitesi düşer. Bu özellik bunlardan yapılan ürünleri daha ekonomik yapar ve kolay şekillenmesini sağlar. Tekrar soğutulduğunda yeniden sertleşir. Termoplastik malzemelere polietilen (PE), polipropilen (PP), poli(vinil klörür) (PVC) ve polistiren (PS) gibi plastikler örnek verilebilir (Demirel, 2007).

Termosetler plastikler, sıvı halde bulunurlar, ısıtılarak ve kimyasal tepkimelerle sertleşir ve sağlamlaşırlar. Termoplastiklerden farklı olarak termosetlerin polimerizasyon süreci geri dönüşü olmayan bir süreçtir. Yüksek sıcaklıklarda dahi yumuşamazlar. Bu gruba dahil olan plastikler fenolikler, melamin, epoksi, poliüretan ve üre formaldehitlerdir (Demirel, 2007). Plastiklerin kimyasal yapılarına göre değişik türleri vardır. Bazı plastik kodları Tablo 2.1’de verilmiştir.

Plastikler, geri dönüştürülebilen ve geri dönüştürülemeyen olarak sınıflandırılır.

Tablo 2.1. Plastik kodları (Anonim 2012)

Plastik Adı	Kısaltması	Kodu	Ambalaj üzerinde görünen hali
Poli(etilen tereftalat)	PET	1	
Yüksek yoğunluklu polietilen	HDPE	2	
Poli(vinil klorür)	PVC	3	
Düşük yoğunluklu polietilen	LDPE	4	
Polipropilen	PP	5	
Polistiren	PS	6	
Diğerleri	OTHER	7	

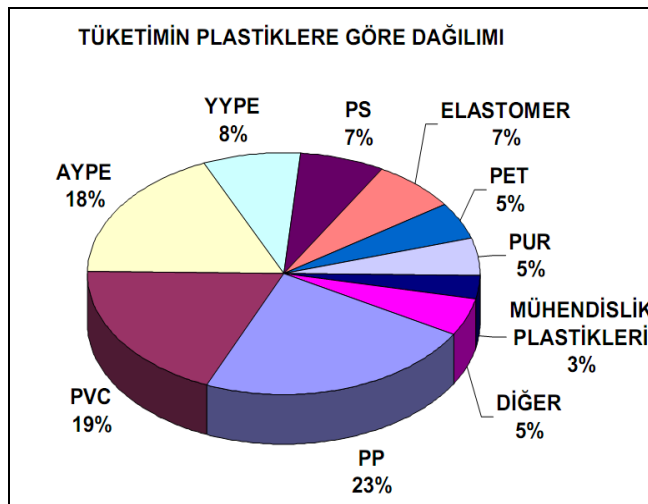
Bu plastiklerden bazılarının kullanım alanları şöyledir:

- Polietilen (PE): Kap, mutfak eşyası, plastik kutu, plastik tüp, boru, oyuncak, kaplama, kabloların yalıtkan katmanları, ambalaj filmi imalatında sıklıkla kullanılan PE, işlevselliği kadar, düşük maliyetiyle de tercih edilebilir. Ayrıca, ucuz süpermarket çanta, poşet ve torbalarının yapımında, plastik şişe yapımında kullanım alanı bulmaktadır.
- Polipropilen (PP): Yiyecek ambalajları ve otomobil çamurlukları ayrıca piyasada otomotiv sanayinin yanı sıra kablo kaplamasında gıda maddesi ambalajında atılabilir filtre vb. uygulama alanında kullanılmaktadır.
- Polistiren (PS): Ambalaj köpüğü, yiyecek ambalajları, köpük bardak, tabak, CD ve kaset kutularının imalatında tercih edilir.
- Poli(etilen tereftalat) (PET): Karbonatlı içeceklerin şişesi, kavanoz, plastik film, mikrodalga ambalajı yapımında kullanılır. Pet şişe ismi bu malzemenin kısaltmasından gelmektedir.
- Polyester (PES): Elyaf (fiber) ve tekstil ürünlerinde kullanılır.
- Polyamid (PA, Naylon): Elyaf, diş fırçası kılı, otomotiv yan sanayinde kullanım alanı bulmaktadır.
- Poli(vinil klorür) (PVC): Boru, profil, cam çerçeveleri (pencere) üretiminde geniş kullanım alanı bulmaktadır (Aydoğan Eker, 2009a).

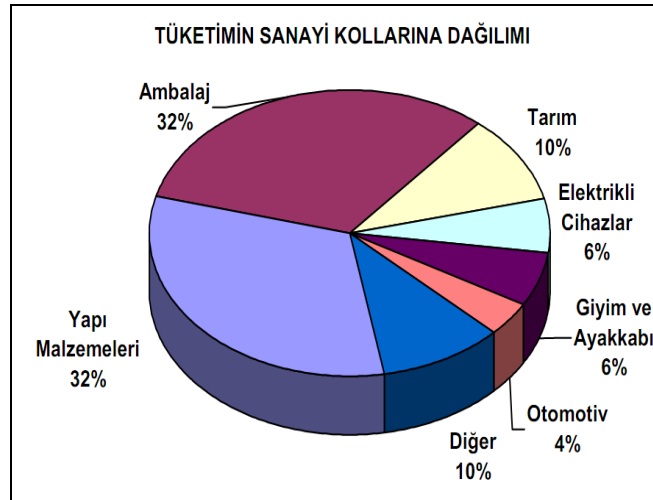
2.1.1. Plastik kullanımının Türkiye ve Dünyadaki durumu

Türk plastik sanayisinin dünya plastik sektörü içindeki payı % 1,6 düzeyindedir. Diğer taraftan Türkiye, plastik işleme kapasitesi ile Avrupa'da İspanya'dan sonra 6. sırada yer alırken sentetik elyaf üretiminde ikinci, pencere profilinde de üçüncü sıradadır. Plastik sektörü Türkiye'de en hızlı büyüyen sektörler arasındadır. 2004 yılında imalat sanayi % 10,4, toplam sanayi % 9,8 büyürken, plastik sanayi % 12,7 büyüme kaydetmiştir (Anonim 2013).

Türkiye'de plastik tüketiminin ağırlığını PET, PE, PP, PVC, PS gibi plastikler oluşturmaktadır. PE ambalaj filmlerinde, sera örtülerinde, sulama borularında, varil, bidon ve şişe üretiminde ve ev eşyalarında, PP film ve sentetik elyaf üretiminde, sıhhi tesisat borularında ve ev eşyalarında, PVC profil ve borularda, ambalaj filmlerinde, suni deri üretiminde, PS ise ambalaj kaplarında ve ev gereçlerinde yoğun olarak kullanılmaktadır. Ambalaj malzemesi olarak giderek yaygınlaşan PET ve hızla gelişen dayanıklı tüketim ve otomotiv sektörlerinde kullanılan mühendislik plastiklerinde iki basamaklı talep artışı gerçekleşmektedir (Anonim 2002). Şekil 2.1 ve 2.2'de tüketimin plastik ve plastik mamüllerine göre dağılımı gösterilmiştir:

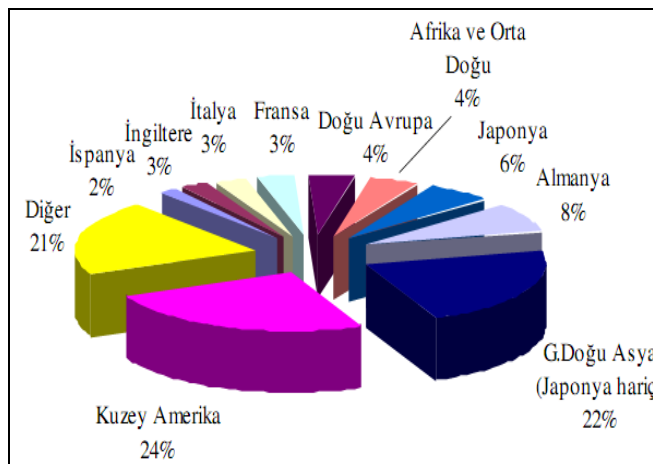


Şekil 2.1. Tüketimin plastiklere göre dağılımı (Anonim 2002)



Şekil 2.2. Tüketimin sanayi kollarına dağılımı (Anonim 2002)

1990 yılında 86 milyon ton olan dünya plastik malzeme tüketimi, 2003 yılında 176 milyon tona çıkmıştır. Tüketimin 2010 yılında 250 milyon tona çıkması beklenmektedir. Bölgesel bazda değerlendirildiğinde, Şekil 2.3'den Dünya plastik malzeme tüketiminde Japonya dışındaki Güney Asya, Kuzey Amerika ve Batı Avrupa ülkelerinin en büyük paya sahip oldukları görülmektedir (Eraslan ve ark., 2007).



Şekil 2.3. Ülkelere göre plastik tüketim dağılımı (Eraslan ve ark., 2007)

Tüketimi yönlendiren Kuzey Amerika, Japonya ve Batı Avrupa dünya plastik malzeme üretiminde de önemli bir noktadadır. Bu ülkelere ilave olarak Güney Doğu Asya ülkelerinin de plastik malzeme üretiminde ciddi bir pay sahibi oldukları görülmektedir. Afrika, Ortadoğu, Doğu Avrupa gibi ekonomik olarak nispeten geri kalmış ülkelerin plastik tüketiminde olduğu kadar plastik malzeme üretiminde de ciddi bir pay sahibi olamamışlardır (Tablo 2.2). Plastik ürünlerinin ana hammaddesi olan

petrolün çıktığı ülkelerde bile plastik üretim ve tüketimi çok sınırlı düzeyde kalmaktadır (Eraslan ve ark., 2007).

Tablo 2.2. Kişi başına göre ülkelerin plastik tüketimi (Eraslan ve ark., 2007)

Kişi başına plastik tüketimi (kg/kişi)				
	2007	2008	2009	2010
Amerika	90	75	76	71
Batı Avrupa	78	69	70	65
Türkiye	45	43	45	52
Çin	30	28	30	37
Brezilya	23	25	27	28
Hindistan	6	5	6	6

2.1.2. Atık plastikler

Katı atıkları anorganik ve organik kökenli olmak üzere iki gruba ayırabiliriz. Anorganik kökenli katı atıklar grubunda yer alan demir, bakır, çinko ve alüminyum gibi çeşitli metaller ile cam ve seramik gibi atıkların geri kazanılması uzun yıllardan beri gerçekleştirilebilmekte olup değerlendirilebilmeleri daha kolay olmaktadır (Başar ve Savaşçı, 1989; Goodman ve Walter, 1991).

Organik kökenli katı atıklar içerisinde ise plastik atıklar çok önemli bir yer tutmaktadır. Evsel ve endüstriyel amaçlı birçok malzemenin, özellikle de bir defa kullanılıp atılan ambalaj malzemelerinin yapımında kullanılan plastikler, katı atıkların yaklaşık olarak % 10'unu (hacimce % 30) oluşturmaktadır. Örneğin ABD'de son yıllarda oluşan katı atıkların 160 milyon ton civarında olduğu ve 2000'li yıllarda 190 milyon tonu aşacağı belirtilmektedir. Bunlardan 317 milyon kg YYPE ve 294 milyon kg PET plastik geri kazanılmıştır (Subramanian, 2000).

Plastik, dünyanın en değerli doğal kaynağı, saklı hazinesi petrolden üretilir. Plastik genellikle ambalaj malzemesi olarak kullanılır ve çöpe gider. Diğer bir deyişle çöp dağlarının 1/3'ü paketlenme malzemesinden kaynaklanır. Plastikler, sonsuza dek çöp olarak kalır, yani hiç bir zaman doğaya geri dönmez. Günümüzde geri kazanılmış plastikten çöp torbasının yanı sıra bahçe çitleri, çiçek saksıları gibi uzun ömürlü tüketim malzemeleri yapılır (Anonim 2012).

Plastik malzemeler, ucuzluk, dayanım, kolay işlenebilme, hafiflik ve temizlik gibi avantajları ile kullanımı oldukça yaygın olan malzemelerdir. Plastikler, ambalaj ve paketlenme sanayi uygulamalarında kullanım ömürlerinin kısa olmasından dolayı, üretildikten çok kısa bir süre sonra katı atık problemi oluşturmakta, doğa koşullarında

parçalanmama ve bozunmadan kalma gibi dezavantajlara sahiptir. Toplam plastik atıklar içerisinde en büyük pay % 40 ile ambalaj atıklarındır ve bunların büyük çoğunluğu evsel atıklar içerisinde bulunmaktadır. Bunun yanında plastikler, paketleme ve ambalaj miktarını azaltmaktadır. Yani 1 kg plastik malzemeyle 27 kg sıvı ambalajlamak mümkün iken aynı miktarda sıvı için 1,5 kg alüminyum, 4 kilo çelik veya 13-14 kg kadar cam malzemeye ihtiyaç vardır. Bu da doğal kaynakların korunması, tasarruf edilmesi anlamına gelmektedir. Kağıtla karşılaştırıldığında, plastik malzeme aynı işi görecek kağıt malzemedan çok daha az toplam üretim enerjisi gerektirir (Anonim 2012).

Genellikle plastik atıklar, tüketiciler tarafından kullanım sonrası veya endüstriyel üretim esnasında oluşur. Ekonomik öneme sahip yaklaşık 50 tip plastik mevcuttur. Toplam plastik tüketiminin yaklaşık % 60'ını PE, PP, PS ve PVC gibi geleneksel polimerler kapsar. Dünya plastik hammaddelerinin tüketiminde artış hızı en yüksek mamuller PET ve PVC'dir. Hem yaşadığımız çevreyi, hem dünyamızı ve enerji kaynaklarımızı korumak, hem de üstün özelliklerinden faydalanmaya devam etmek için plastik malzeme geri dönüşümünü sağlamak gerekli ve önemlidir. Plastiğin geri dönüşümü her geçen gün biraz daha artmaya başlamış ve % 30 hatta bazı plastiklerde % 60 dönüşüm sağlanmıştır (Anonim 2012).

Üretilen plastik malzemelerin büyük çoğunluğu, kullanımdan sonra fonksiyonunu kaybetmekte ve plastik atık olarak terk edilmektedir. Gerek plastik hammadde gerekse kalorifik açıdan değer taşıyan bu atıkların yararlı hale getirilmesi hem ekonomik olarak hem de çevre kirliliği açısından çok önemlidir. Plastiklerin geri kazanımı işlemi maliyeti düşük olmamakla birlikte kullanılmış malzemenin tekrar kullanımına olanak sağlaması ve sahaya boşaltma maliyetini elimine etme durumu göz önünde bulundurulduğunda, diğer yok etme yöntemlerinden daha avantajlı kabul edilebilmektedir (Anonim 2012).

2.1.2.1. Atık plastiklerin geri kazanım yöntemleri

Plastiklerin doğada parçalanmaları için geçen sürenin yüksek olması nedeniyle atıldıkları çevrede meydana getirdikleri olumsuzluklar uzun süre kirlilik oluşturmaktadır. Günümüzde plastik atıkların bertarafında yaygın olarak kullanılan yöntemler arazi doldurma ve enerji elde etmek üzere yakma işlemleridir. Ancak her iki yöntem de arazi ve yeraltı kaynaklarının kirlenmesi, atmosfere istenmeyen gazların

verilmesi gibi çok çeşitli problemlere neden oldukları için atıkların bertarafında yeterli birer çözüm olarak görülmemektedirler. Bunun yanı sıra bozunma sonrası meydana gelebilecek etkiler tümüyle bilinmemektedir. Bu nedenlerden dolayı plastik atık geri kazanma yöntemleri geliştirilmeli ve çevrenin yanı sıra ekonomiye de katkı sağlamalıdır (Çelikgöğüs, 2010).

Kullanım dışı kalan plastik atık malzemelerin tekrar kullanıma geri kazandırılması işlemi günümüzde büyük önem kazanmaktadır. Plastiklerin geri dönüşümünün başlıca avantajları:

- Hammadde ihtiyacının azalması,
- Nüfus artışı ile beraber ortaya çıkan tüketimin doğal dengeyi bozmasının önlenmesi,
- Atıkların çevreyi kirletmelerinin önlenmesi,
- Plastiği sıfırdan üretmek yerine atık kullanımı ile enerji tasarrufunun sağlanmasıdır (Akdoğan Eker, 2009b).

Plastik geri kazanımının ilk adımı plastik atıkları ayırma işlemidir. Ayırma işlemi, toplamanın hangi aşamasında yapıldığına bağlı olarak 3 şekilde gruplandırılabilir:

- Kaynakta Ayırma

Atıkların evlerde, ticari firmalarda veya endüstride özel ayırma kutularında daha kaynakta iken ayrılmasıdır. Bu yolla atıkların kirletme oranı oldukça azaltılır.

- Toplama Sırasında Ayırma

Özel atık araçları tarafından atıkların gruplandırılarak toplanmasıdır. Toplama hızını düşüren bir yöntemdir.

- Merkezde Ayırma

Birlikte toplanan atığın merkezde ayrılması işlemidir. Ayırma el ile yapılabildiği gibi mekanik veya bilgisayar ile olabilir. Geri kazanılabilir atıkların üretim sırasında renk ve sayılarla kodlanması ayırma işleminin hızını artırır.

Her gün plastik eşya üretimi sırasında ortaya çıkan tonlarca atık malzeme genelde tekrar işlenerek değerlendirilmektedir. Katı atıkların içinden plastiklerin geri kazanılmasında farklı olan nokta; atıklar içinden plastiklerin toplanması, sınıflandırılması, kullanıma hazırlanması ve ancak bu aşamalardan sonra tekrar değerlendirilmesidir.

3 tip geri kazanma yöntemi mevcuttur:

- 1-Malzemenin geri kazanılması
- 2-Kimyasal geri kazanma

3-Enerji üretiminde kullanma (Anonim 2012).

Malzemenin geri kazanılması

Bu uygulamaya en yatkın plastikler PE, PP, PVC ve PET olarak gözükmektedir. Katı atıklardan bir ölçüde elle ayırma yöntemiyle ayrılan bu karışık plastiklerin türlerine göre sınıflandırılması amacıyla çeşitli yöntemler üzerinde araştırmalar yapılmakta ise de yoğunluk farkıyla ayırma prensibine dayalı yüzdürme (flotasyon) ve aynı prensibin değişik uygulaması olan hidrosiklon sistemi üzerinde en çok çalışılan sistemler olarak gözükmektedir (Anonim 2012).

- Plastik malzemenin homojen olarak işlenerek geri kazanılması:

Önce plastik atığın sınıflandırılması gerekmektedir. Bu sınıflandırma elle, gözle, sulu çözeltiler veya çözücülerle veya hidrosiklonlar yardımıyla yapılabilir. Atık plastikler türüne göre ayrıldıktan sonra işlenip granül haline getirilmektedir. Ülkemizde en fazla granül halinde üretilen atık plastik türü AYPE ve YYPE'dir. Bunların toplam tüketimine göre geri dönme yüzdesi % 40'tır. Atık plastiklerin işlenmesiyle en çok poşet, kapak, oyuncak, bidon gibi ürünler elde edilmektedir (Anonim 2012).

Sıvı kapların ve PET şişelerin alt kısımlarının yapıldığı YYPE malzemesi, kuzey Amerika'da PET'ten sonra en fazla geri kazanma işlemine tabi tutulan plastik türüdür. Avrupa'da maden suyu şişesi olarak kullanılması dolayısıyla, PET geri kazanma açısından en fazla ilgiyi çeken plastik türüdür (Anonim 2012).

PVC'nin geri kazanma ekonomisi gözükmemektedir. Geri kazanılan PVC'nin değerini arttırmak için pencere profilleri ve ayakkabı tabanları gibi ürünlerde kullanılması düşünülmektedir. PS için de büyüyen bir geri kazanım pazarı mevcuttur. Geri kazanılan PS tepsilerde, oyuncaklarda, videokasetlerinde kullanılmaktadır.

- Plastik malzemenin karışık olarak işlenerek geri kazanılması:

Plastiklerin karışık olarak işlenme durumunda bir çeşit sınıflandırma yapılarak, her atığın rastgele alınmamasına çalışılır. Plastiğin işlenmesinde sıcaklığın uniform olarak sağlanması çok önemlidir. Bu sorunları gidermek için karışımlardaki partikül boyutlarının azaltılması, yüksek akma gücüne sahip proses ekipmanının kullanılması, işleme ekipmanında kalma süresinin kısaltılması, karışımlara kimyasal modifikasyon uygulaması ve koekstrüzyon veya koenjeksiyon işleme tekniklerinin kullanılması gibi yöntemler önerilmektedir. Çeşitli plastiklerin karışık olarak işlenmesi sonucunda da kazık, lata gibi inşaat malzemeleri, otoyol, durak, deniz kıyısı, dalgakıran, bahçe ve spor malzemeleri elde edilmektedir (Anonim 2012).

Kimyasal geri kazanma

Atık plastiklerin daha değerli ürünlere dönüştürülmesi geri kazanım olarak tarif edilebilir. Geri kazanım yöntemlerinden üzerinde en çok araştırma yapılan yöntem kimyasal geri kazanım yöntemidir ve bu yöntemde plastik atıklardan kimyasal maddelerin üretilmesi amaçlanmaktadır. Plastik atıklar, kimyasal geri dönüşüm yöntemi ile temel petrokimyasallara, değerli sıvı yakıtlara ve yeni kimyasallar gibi birçok ürüne dönüştürülebilmektedir (Karayıldırım ve ark., 2001). Özellikle plastik atıkların yakıt benzeri ürünlere dönüştürülmesi veya plastik atıkların ısı parçalanması sonucu oluşan kondanse edilebilir sıvı ürünlerden öncelikle kendi monomeri ve sonrasında alfa-olefinler, yağlama yağları, alkoller, yüzey kimyasalları, karboksilli asitler ile benzeri değerli ürünler gibi daha kıymetli kimyasal maddelere dönüştürülmesi istikbal vadeden bir çözüm olarak görülmektedir (Ikura ve ark., 1999; Kaminsky ve Kim, 1999; Schirmer ve ark., 2001; Karagöz ve ark., 2003). Bu konuda çalışılan proseslerin başında hidroliz, gazlaştırma ve piroliz gelmektedir (Onu ve ark., 1999). Özellikle üzerinde en çok durulan yöntemler hidrojenleme ve kimyasal geri dönüşümün temel prosesi olan pirolizdir (Kaminsky ve Kim, 1999; Karayıldırım ve ark., 2001). Plastikleri yakarak bertaraf etmek yerine piroliz yöntemi ile 1 milyon adet 1 litrelik bulaşık deterjanı şişesiyle 120 kişinin 1 yıllık; 1 milyon adet çamaşır suyu şişesiyle 654 kişinin 1 yıllık elektrik ihtiyacı karşılanabilmektedir.

• Piroliz

Plastik atıkların oksijensiz ortamda yüksek sıcaklıklarda (600-900 °C) ısı olarak parçalanıp katı, sıvı ve gaz gibi ürünlere dönüştürülmesidir. Almanya ve ABD’de plastiklerin pirolizi için akışkan yatak kullanan pilot tesisler mevcuttur. ABD’de mevcut bir piroliz prosesinde atık PE ve PP’nin % 7-16’sı gaz ürüne dönüşmektedir (Anonim 2012).

Piroliz yönteminin avantajları:

- Neredeyse her türlü organik maddeye uygulanabilir.
- Proseste kimyasal katkı maddesi kullanılmadığından çevre dostu bir teknolojidir. Hava kirliliğini önler.
- Kirlilik kontrol üniteleri ve arıtma tesisleri yakmaya göre daha ucuzdur. Yakma ile karşılaştırıldığında emisyon gazlarının hacmi daha azdır.
- Katı atığın hacminin azalması depo sahalarının ömrünü uzatır.
- Enerji ihtiyacı açısından sistem kendi kendini destekler.

Piroliz sonucunda elde edilen ürünler ve değerlendirilmeleri:

a) Karbon siyahı

Karbon siyahı, siyah dolgu maddesi olarak tanımlanır. Evlerin bacalarında biriken isten çok farklı değildir. Ağır petrol yağlarının büyük fırınlarda yakılarak reaktör içinde partikül büyüklüklerine göre is olarak tutulması sonucu oluşur. Piroliz işlemi sonucu % 20 oranında ortaya çıkan karbon siyahı piyasadaki karbon siyahına kıyasla çok daha ekonomik olduğu için belli üretim dallarında dolgu ve katkı malzemesi olarak kullanılmaya çok uygundur.

Karbon siyahının kullanıldığı yerler, kauçuk hamurla karışım (lastik üretimi), kablo, konveyör bant, hortum, paspas, siyah poşet, araba yedek parçaları, ısı yalıtımı, kauçuk malzemelerde boya maddesi, taban malzemesi, plastik (Yakaboylu ve ark., 2011).

b) Pirolitik yağlar

Piroliz işlemi sonucunda geri dönüştürülen lastiğin cinsine göre lastik miktarının %35'i oranında pirolitik yağ elde edilir. Pirolitik yağlar hiçbir değişikliğe gerek kalmadan sanayi yakıtı veya elektrik üretimi yakıtı olarak, alternatif bir enerji kaynağı şeklinde kullanılmaktadır (Yakaboylu ve ark., 2011).

c) Yanıcı gaz

Piroliz işlemi sonrasında yoğunlaştırılamayan gazdır. Sistemde gerçekleştirilen piroliz işlemi ile % 15 oranında yanıcı gaz elde edilmesi beklenmektedir. Kalorifik değer olarak doğal gazdan daha üstündür. Yanıcı gaz, uygun şartlarda depolanabilmesi halinde doğal gaz ve LPG yerine kullanılabilir. Elektrik ve ısı üretmek amacıyla brülörlerde yakılabilir (Yakaboylu ve ark., 2011).

- **Hidrojen ortamında parçalanma**

Plastik atıkların hidrojen ortamında ısı etkisiyle (500 °C) benzin ve motorin gibi petrokimya endüstrisinde kullanılabilecek değerli ürünler elde edilir.

- **Hidroliz**

Polikarbonat, polyester, poliamid ve poliüretan gibi plastikler yüksek sıcaklık ve basınç altında başlangıç maddelerine veya benzer maddelere dönüştürülebilmektedir. Bu yöntemde plastik malzemeler su, asit, alkali ve metanol ortamında parçalanır.

- **Gazlaştırma**

Bu teknikle plastik atıklar 50-70 bar basınç altında yakılarak 1300-1500 °C sıcaklığa maruz bırakılır ve sisteme saf O₂ ilavesi yapılır. Bunun sonucunda H₂, CO₂, CO, H₂O gazları üretilir. Dünyada Shell gibi bazı şirketler metanol, amonyak ve

hidrojen gazları üretmek için kullanılmış otomobillerden elde ettikleri plastikleri kullanmaktadır (Anonim 2012).

Enerji üretiminde kullanma

1970'li yıllardan beri plastik atıklar, yeraltında depolanmalarının yanısıra yakılarak enerji üretiminde de kullanılmaktadır. Nitekim, 1987 yılı itibarıyla Almanya'da oluşan 2,1 milyon ton plastik atığın önemli bir kısmı (1,65 milyon ton) ya yeraltında depolanmakta ya da yakılmaktadır. Yakma amacı ile uygulanan proseslerde, kullanılan hammaddelerde hacim azalması, steril ve homojen kül elde edilmesi bir avantaj olarak görülmekte ise de, yanma sonucu oluşan bir takım zararlı gazlar ve maddeler bu proseslerin en büyük dezavantajını oluşturmaktadır. Örneğin PVC atıklarının yakılmasında % 25-50 oranında $HC1$, üretilenlerden de HCN oluşmaktadır (Hanoğlu ve ark., 1995).

Bu yöntem özellikle büyük şehirlerde ve çöp depolama alanlarının sınırlı olduğu yerlerde atık miktarını azaltmak için kullanılır. Yakma işlemi büyük ebatlı fırınlarda gerçekleşir. Ülkemizde 350 bin tonlara ulaşan plastik atıkların yakılarak enerjiye dönüştürülmesi ile 1 milyon 500 bin kişinin yıllık enerji ihtiyacı karşılanabilir. Burada plastik atıklar yakılarak enerjisinden faydalanılmaktadır. Özellikle son yıllarda çıkan çevre kanunlar ve diğer yaptırımlar yüzünden en son düşünülmesi gereken bir yöntemdir. Diğer yandan atıkların yakılması sonucu meydana gelecek toksik özelliğe sahip gazlar yüzünden insan sağlığı açısından da mahsurlu bir yöntemdir. Plastik atıkların yakılması kaynak israfı yanında yakma esnasında baca gazları ile sürüklenen furandioksin ve ağır metal buharları gibi zararlı etkileri bulunan gazların giderilmesi ve kontrolü pahalı yatırımlar gerektirdiğinden yakma en son düşünülmesi gereken bir yöntemdir (Tan ve ark., 2009).

2.1.2.2. Geri kazanılmış PET'in kullanımı

Yapılan tahminlere göre Avrupa'da geri kazanılmış plastiklerin yıllık tüketim artış hızı yaklaşık % 40 civarındadır. Kullanım alanları kısıtlıdır (Tablo 2.3). Plastik (PE, PP, PET, PVC, PS) ikincil ürün imalatında hammadde olarak; plastik torba, pis su borusu, elyaf dolgu malzemesi ve sera örtüsü imalatı ile otomotiv sektöründe özellikle kompozit malzeme olarak kullanılmaktadır (Tayyar ve Üstün, 2010). Dünyada geri kazanılmış PET'in % 80-85 oranında polyester elyaf üretiminde kullanıldığı tahmin edilmektedir. Ülkemiz bir tekstil ülkesi olduğu için Adana, Gaziantep, Bursa, Uşak gibi

şehirlerde geri dönüştürülmüş PET çapakta elyaf üretebilecek ciddi tesisler faaliyetini sürdürmektedir. Dünyada polyester üretim merkezi ise Çin'dir. Nitekim Türkiye'de geri dönüşüm tesislerinin çoğu Çin'de bulunan tesislere PET çapak ihraç etmektedirler (Anabal, 2007). General Electric ve Mrc Polymers son yıllarda % 50 - % 60 atık PET'den otomobil tamponları, otomobil tekerlek kapakları ve rüzgârlıklar üretmektedir (İyim, 1996).

Tablo 2.3. Geri dönüşümde kullanılan polimerler (Sevencan ve Vaizoğlu, 2007))

Dönüş No	Polimer	Kullanım alanı
1	PET	Polyester fiberler, film, elyaf, şişe
2	YYPE	Şişe, çanta, taşınabilir kaplar
3	PVC	Yiyecek dışı şişeler, çit ve parmaklık malzemeleri
4	AYPE	Sera örtüsü, film, ambalaj, elektrik sanayi
5	PP	Şişe, mutfak eşyası
6	PS	Yalıtım malzemesi, videokaset

2.1.3. Plastiklerin bozunması

Plastikler yapısal olarak sık bir dizilişe sahip oldukları için bozunmaları zordur. İçinde bulundurduğu atomlar oldukça sıkı halde bulunur ve bu sayede içeriye diğer maddelerin girmesi de önlenmiş olmaktadır. Bunun sonucunda ise bir kat daha çözünmesi zorlaşan plastikler uzun süre dayanıklı bir hale gelebilmektedir (Çiftçioğlu, 2006). Kimyasal, fiziksel veya biyolojik yöntemlerle polimer zincir yapısının değiştirilmesini içeren ve genellikle moleküler ağırlığın azalmasına yol açan süreçlere, polimer bozunması veya polimer degradasyonu denir. Bozunma, zincir uzunluğunun azalmasına yol açmasının yanı sıra bazı fonksiyonel grupların karakterlerinin değişmesi şeklinde de görülebilir (Çiftçioğlu, 2006).

Bozulan polimerin karakterine göre:

- C=C bağlarında doymamışlıklar,
- Farklı oksijen grupları oluşumu,
- Ana zincirin bozulmasından dolayı moleküler ağırlıkta değişiklikler,
- Düşük moleküler ağırlıklı türlerin artması,
- Dallanma ve çapraz bağlanma görülür.

Polimerin malzeme olarak kullanımı açısından ise bozunma; mekanik, optik veya elektrik özelliklerde, çatlama, erozyon, renk bozukluğu, faz ayrımı veya tabakalanma şeklinde değişikliklere yol açabilir (Çiftçioğlu, 2006).

2.1.3.1. Plastiklerin bozunma türleri

Plastiklerde meydana gelen başlıca bozunma şekilleri aşağıda verilmiştir:

- Fotooksidasyon
- Termal oksidasyon
- Mekaniksel oksidasyon
- Biyooksidasyon (Singh ve Sharma, 2008).

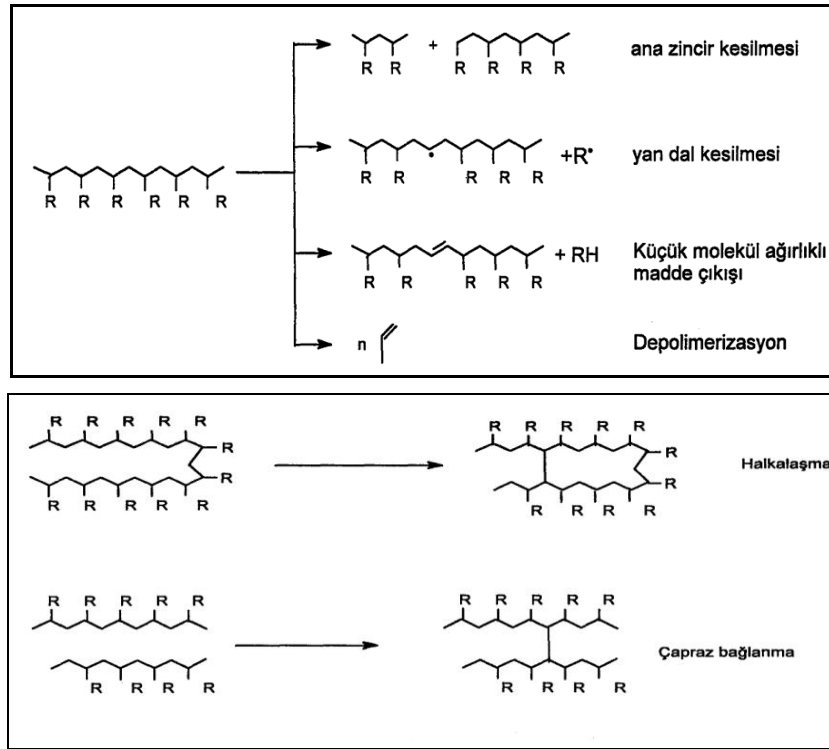
Fotooksidasyon

Gün ışığına ve bazı doğal olmayan radyasyona maruz kalan plastik ürünlerin kullanım süreleri olumsuz etkilenir. UV radyasyonu, bir polimerdeki kimyasal bağları kırabilir. Bu proses fotodegradasyon olarak adlandırılır ve sonuç olarak çatlamaya, tebeşirlenmeye, renk değişikliklerine ve diğer fiziksel özelliklerde bozulmaya sebep olur. Fotodegradasyonun, termal oksidasyondan farkı, UV radyasyonunu soğurması ile başlamasıdır. Saf polimerlerin çoğu teorik olarak UV radyasyonunu direk olarak soğuramaz. Plastik ile birlikte diğer bileşiklerin (örn., bozunma ürünleri, katalizör kalıntıları gibi) az miktarları UV radyasyonunu soğurabilir. Bu sebepten dolayı uzun süreli ve etkin olarak ışığa karşı dayanıklılık için etkili dengeleyiciler (stabilizörler) gereklidir (Singh ve Sharma, 2008).

Termal oksidasyon

Termal parçalanma olayında ısıtma plastiklerin büyük ve küçük parçacıklara parçalanmasına neden olur. Sıcaklık arttıkça parçacıkların boyutunda da artış olmaktadır (Kangallı, 2007).

Sıcaklık değeri düştükçe meydana gelecek küçük parçaların boyutu da düşmektedir. Termal bozunma tepkimeleri esnasında polimer ana zincirinin gelişigüzel koptuğu ve yan dalların kesilmelere uğradığı bozunmuş plastiğin molekül ağırlığındaki azalmadan ve küçük molekül ağırlıklı gaz ürünlerinin çıkışından anlaşılır. Molekül içi tepkimelere örnek olarak halkalaşma ve küçük molekül ağırlıklı madde çıkışı sayılabilir. Bazı doğrusal zincir yapısına sahip plastikler ise zincirler arası bağlanmalar sonucu giderek daha büyük molekül ağırlığına sahip bir yapıya dönüşürler. Bazı poliolefinler ise termal bozunmaları sırasında büyük oranda monomerlerine dönüşme eğilimi gösterirler. Oldukça yüksek sıcaklıklarda meydana gelen bu tepkimeye ayrıca depolimerizasyon tepkimesi de denir (Kangallı, 2007).



Şekil 2.4. Termal bozunma mekanizmaları (Kangallı, 2007)

Termal bozunma tepkimeleri söz konusu olduğunda bilinmesi veya incelenmesi gereken en önemli husus, bozunmanın başlama basamağıdır. Bir polimerin içinde bulunduğu ortamın sıcaklığı arttırılınca yapısındaki her türlü bağın kopma olasılığı da artar. Ancak zincir bünyesindeki çeşitli bağların ayrışma enerjileri birbirlerinden oldukça farklıdır. Bu nedenle polimerlerin pek çoğunda nispeten kuvvetli olan bağların yanında zayıf bağlarda mevcuttur. Tamamen özdeş tekrarlanan birimler içeren ve aynı güçte bağlara sahip doğrusal bir polimerde zincir kesilme olasılıkları rastgele bir dağılım gösterir (Kangallı, 2007).

Mekaniksel oksidasyon

Mekanik parçalama bağlanan parçalanmasına sağlayacak kuvvetler uygulanması esasına dayanmaktadır. Ultrasonik parçalama bunlardan birisidir. Çok etkili olmasına rağmen maliyeti çok yüksektir (Çiftçioğlu, 2006).

Biyooksidasyon

Biyobozunma mikroorganizmalar tarafından mineralizasyon bileşiklerinin biyokimyasal bir dönüşümüdür. Organik bileşiklerin mineralizasyonu, aerobik koşullar altında karbondioksit ve su, anaerobik koşullarda ise metan ve karbondioksit verir. Polimerlerin biyobozunması dört farklı mekanizma aracılığıyla gerçekleşir bunlar; çözünürleştirme, şarj oluşumu, hidroliz ve enzim katalize bozulmasıdır (Singh ve Sharma, 2008).

2.1.3.2. Plastiklerin bozunmasını etkileyen faktörler

İç ve dış yüzeylerdeki uygulamalarda ve üretim, saklama ve işlem sırasında polimerler fiziksel (ısı, mekanik gerilme, radyasyon, elektrik alan gibi), kimyasal (oksijen ve onun aktif formları, oksidasyona sebep olan atmosferik kirlilikler gibi) veya biyolojik bozuculara (mikroorganizmalar, fizyolojik çevre gibi) maruz kalır.

Faz farklarından doğan homojen olmayan yapılar, polimer olmayan safsızlıklar (örn. ilave dönüştürücü ürünler, polimerizasyonda katalist görevi gören atıklar, doldurucular veya pigmentler) bozunmaya karşı direnci etkiler. Bu olayın incelenmesi, geri dönüşümlü plastiklerin elde edilmesi ve özelliklerinin analiz edilmesi açısından da önemlidir (Çiftçioğlu, 2006).

Plastiklerin bozunmasını etkileyen faktörler;

- Moleküler ağırlık
- Hidrofobik karakter
- Moleküllerin büyüklüğü
- Katkılar
- Gerilimin etkisi (Çiftçioğlu, 2006).

2.2. Kompozit Malzemeler

Kompozit malzemeler; aynı veya farklı gruptaki malzemelerin en iyi özelliklerini, yeni ve tek bir malzemede toplamak amacıyla, makro-düzeyde birleştirilmesiyle oluşturulan malzemelerdir (Şahin, 2000).

Kompozit malzeme, temel olarak birbirini içerisinde çözünmeyen ve birbirinden farklı şekil ve/veya malzeme kompozisyonuna sahip iki veya daha fazla bileşenin karışımından veya birleşmesinden oluşan bir malzeme sistemidir. 1930'ların sonunda plastik malzemelerin özellikleri diğer malzeme çeşitleri ile boy ölçüşür düzeyde gelişmeye başlamıştır. Kolay biçim verilebilir olması, metallere oranla düşük yoğunlukta olması, üstün yüzey kalitesi ve korozyona karşı dayanımı plastiğin yükselmesindeki en önemli özelliklerdir. Birçok üstün özelliğinin yanı sıra sertlik ve dayanıklılık özelliklerin düşük olması plastik malzemelerin güçlendirilmesi için çalışmalar yapılmasına neden olmuştur. Bu eksikliğin giderilmesi amacıyla 1950'lilerde polimer esaslı kompozit malzemeler geliştirilmiştir.

Kompozitler, özellikle polimer kompozitler yüksek mukavemet, boyut ve termal kararlılık, sertlik, aşınmaya karşı dayanıklılık gibi özellikleriyle pek çok avantajlar sunarlar. Ayrıca kompozit malzemeler dayanıklılık ve sertlik yönünden metallerle yarışabilecek olmasının yanında çok da hafiftirler (Şahin, 2000).

2.2.1. Kompozit yapı elemanları

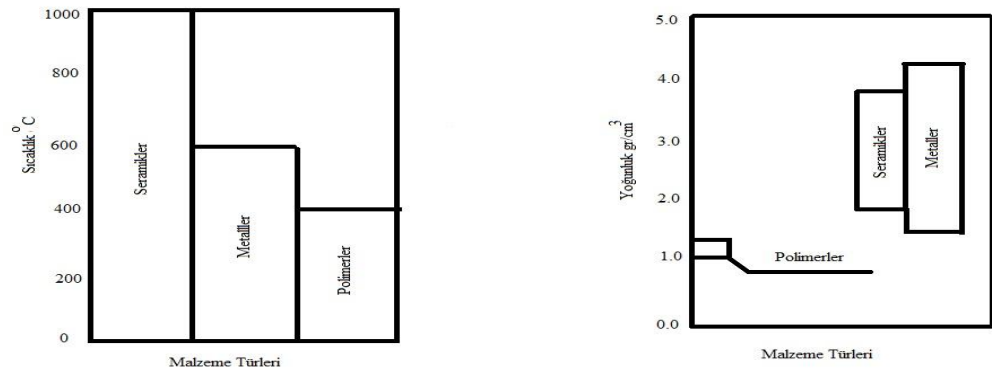
Kompozit malzemelerin üç ana elemanı bulunmaktadır. Bunlar:

- Matris malzemeler
- Takviye (dolgu) elemanları
- Katkılarıdır.

2.2.1.1. Matris malzemeleri

Matrisin kompozit yapıdaki fonksiyonu; takviye elemanına yük ve gerilim transferi sağlayabilmek için takviye elemanı ile matrisi bir arada tutmak yanında, çoğu takviye elemanları çok gevrek ve kırılgan olduğundan onların yüzeylerini dış ve çevresel etkilere karşı korumaktır. Matris yapısı ayrıca, plastiklik ve süneklik üstünlüğü ile elyaflarda kırılgan çatlakların yayılmasını önlemek, plastik deformasyonlar ve çatlaklar varsa elyaflara paralel olarak yönlerini değiştirmek gibi fonksiyonları gerçekleştirebilmektedir (Şahin, 2000).

Kompozitlerde matris olarak kullanılmakta olan malzemeler genel olarak polimerler, metaller ve seramikler olmak üzere üç gruba ayrılırlar. Bunların birbirine göre Şekil 2.5’de görüldüğü gibi zayıf ve üstün yanları vardır (Şahin, 2000).



Şekil 2.5. Kompozitlerde kullanılan farklı matris malzemelerinin sıcaklık-yoğunluk özellikleri (Şahin, 2000)

Metal matrisler

Makine ve metalurji mühendisliği alanında en yaygın olarak tercih edilen malzeme türü olan metaller, orta ve yüksek yoğunluğa sahip ancak tokluk ve dayanımını özellik çiftinin en uygun olduğu gruptur.

Metaller kolaylıkla dökülerek veya plastik deformasyon oluşturularak şekillendirilebilir ve karmaşık montajlarda kaynak, vida ile birleştirmeye elverişlidir (Şahin, 2000).

Seramik matrisler

Seramikler ise düşük yoğunluklu, çok dayanıklı ve sert olmalarına rağmen aşırı derecede gevrekler. Bunlar genellikle termal ve kimyasal etkilere karşı dirençlidirler. Ancak yüksek ergime sıcaklık dereceleri ve sertlikleri işlenmelerini zorlaştırır ve yalıtıkcıdır.

Seramik kompozitler $\text{Li}_2\text{O}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$, SiO_2 Ve $\text{BaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-Si}_3\text{N}_4$ (SiC ile) gibi seramik matrislerden hazırlanır. Takviye edici olarak ise daha çok Al_2O_3 , SiC , Si_3N_4 kullanılır (Akdoğan Eker, A., 2008).

Polimer matrisler

Polimer ve polimer kompozitler tüm dünyada önemi hızlı bir şekilde artan malzemelerdir. Yüksek mekanik, fiziksel ve kimyasal özellikleri nedeniyle endüstride çok geniş uygulama alanlarına sahiptirler.

Özellikle uzay ve uçak araçlarının yanında otomotiv, elektronik kısaca bütün endüstri kollarındaki artışında kolay üretim ve hafiflik büyük önem arz etmektedir. Bundan dolayı polimer esaslı kompozitler dünyada stratejik öneme sahiptir (Şahin, 2000; Tavlı, 2004; Öksüz ve Yıldırım, 2005).

Polimer matrisli kompozitler değişik amaçlarla tasarlanmaktadır. Sağlamlık, esneklik, hafiflik, çevre şartlarına (nem, güneş ışınları, gibi) dayanıklılık, darbe dayanımı, sertlik, ısısal genleşme katsayıları, yorulma, çatlama ve kırılma, çekme, eğme dayanımları ve benzeri özelliklerinden dolayı kullanılmaktadır. Bütün istenen özellikleri tek bir metal seramik veya polimer malzemede bulmak son derece zordur. İkinci dünya savaşından sonra polimer matrisli kompozitler çok önemli bir boşluğu doldurmuştur (Şahin, 2000; Tavlı, 2004; Öksüz ve Yıldırım, 2005).

Günümüzde yaygın olarak uçak, roket, füze gövdeleri, yüksek kalitede spor malzemeleri, yapay kemik, helikopter motorları gibi maliyetin yüksekliğinin pek önemli olmadığı alanlarda kullanıldığı gibi lastik, otomotiv endüstrisi, beyaz eşya, basınç

dayanımlı boru ve deniz araç gövdeleri gibi geniş bir spektrumda kullanım alanları bulmuştur (Şahin, 2000; Tavlı, 2004; Öksüz ve Yıldırım, 2005).

Polimer matrislerin yoğunlukları düşüktür ve plastiklerle karmaşık şekilli parçaları üretmek çok kolay olup birbirleriyle ve diğer malzemelerle birleştirilebilirler ve talaş kaldırma işlemleri kolaydır. Fakat bir kısmının termal dayanımları düşüktür ve birçoğunun çevresel etkilere karşı kullanımı tehlikeli olup, düşük mekanik özelliklere sahiptirler. Kompozitler malzemelerin %90'ı polimer esaslı matrislerle üretilmektedir.

Kompozit malzemelerde polimer matris olarak kullanılan genelde iki tip polimer mevcut olup bunlar; termosetler ve termoplastiklerdir (Saçak, 2005).

-Termoplastikler

Çeşitleri çok fazla olmasına rağmen, matris olarak kullanılan termoplastikler sınırlıdır. Termoplastikler düşük sıcaklıklarda sert halde bulunurlar ısıtıldıklarında yumuşarlar. Termosetlere göre matris olarak kullanımları daha az olmakla birlikte üstün kırılma tokluğu, hammaddenin raf ömrünün uzun olması, geri dönüşüm kapasitesi ve sertleşme prosesi için organik çözücülere ihtiyaç duyulmamasından dolayı güvenli çalışma ortamı sağlaması gibi avantajları bulunmaktadır.

Bunun yanı sıra şekil verilen termoplastik parça işlem sonrası ısıtılarak yeniden şekillendirilebilir. Oda sıcaklığında katı halde bulunan termoplastik soğutucu içinde bekletilmeden depolanabilir. Termoplastikler yüksek sertlik ve çarpma dayanımı özelliğine de sahiptirler.

Oda sıcaklığında düşük işleme kalitesi sağlarlar, bu onların üretimde zaman kaybına yol açmasına neden olur. Bazı termoplastikleri istenilen şekillerle sokabilmek için çözücülere ihtiyaç duyulabilir. Termoplastiklerin termosetlere kıyasla hammaddeleri daha pahalıdır. Tablo 2.5'de bazı termoplastik malzemelerin mekanik ve fiziksel özellikleri gösterilmektedir (Saçak, 2005).

Tablo 2.4. Bazı termoplastik malzemelerin mekanik ve fiziksel özellikleri (Şahin, 2000)

Malzeme özellikleri	Polietilen	Polipropilen	PA 6.6
Yoğunluk (g/cm ³)	0,95	0,90	1,14
Elastik modül (MPa)	1000	1400	700
Çekme dayanımı (MPa)	30	35	70
Kopma uzaması (%)	10-1200	10-500	300
Isıl iletkenlik	0,48	0,12	0,25
Isıl genleşme katsayısı (1/°C)	--	175	260

-Termosetler

Kompozit malzeme matrisleri olarak en çok kullanılanlardır. Termoset plastikler sıvı halde bulunurlar, ısıtılarak ve kimyasal tepkimelerle sertleşir ve sağlamlaşırlar.

Termoplastik polimerlerden farklı olarak termoset polimerlerin polimerizasyon süreci geri dönüşü olmayan bir süreçtir. Yüksek sıcaklıklarda dahi yumuşamazlar. Çoğu termoset matris sertleşmemeleri için dondurulmuş olarak depolanmak zorundadır.

Dondurucudan çıkarılıp oda sıcaklığında bir müddet (1-4 hafta arası) bekletildiğinde sertleşmeye başlar ve özelliklerini kaybederek biçim verilmesi zor bir hâl alır ve kullanılamaz duruma gelir. Dondurucu içinde olmak şartıyla raf ömürleri ise 6 ila 18 ay arasında değişmektedir (Şahin, 2000).

Termoset reçineler kimyasal etkiler altında çözülmez ve olağandışı hava şartlarında dahi uzun ömürlü olmaktadır. Tablo 2.6'da en yaygın kullanılan termosetler ve genel özellikleri yer almaktadır (Şahin, 2000).

Tablo 2.5. Bazı termoset malzemelerin mekanik ve fiziksel özellikleri (Şahin, 2000)

Malzeme özellikleri	Epoksi	Polyester	Fenolik
Yoğunluk (g/cm ³)	1,11	1,04-1,46	1,24-1,32
Çekme dayanımı (MPa)	70	41-90	34-62
Kopma uzaması (%)	3-6	4,2	1,5-2
Isıl iletkenlik	0,19	0,19	0,15
Isıl genleşme katsayısı (I/ ⁰ C)	45-65	55-100	68

2.2.1.2. Takviye (dolgu) elemanları

Bir kompozit malzemede takviye malzemesinin en önemli görevi, matris içinde homojen olarak dağılıp, matrisin maruz kaldığı gerilmeleri destekleyerek kompozit malzemenin mukavemetini arttırmaktır. Bir takviye elemanı matris ile reaksiyon verip istenmeyen ürünler oluşturmamalıdır. Takviye elemanları matrisle güçlü bir bağ sistemi oluşturmalıdır. Takviye malzemesi ve matrisin termal genleşmeleri birbirinden farklı olmamalıdır. Maruz kaldıkları ısı değişiminde birbirlerini zayıflatıcı etki göstermemelidirler (Haris, 1986).

Kompozit malzemelerde takviye amacıyla kullanılan elyaflar:

- Doğal elyaflar, (artık yerlerini sentetik elyaflara bırakmışlardır.)
- Sentetik, organik elyaflar; (Naylon, aramid düşük yoğunluklu ve güçlü elyaflardır)
- Sentetik inorganik elyaflar; (cam, karbon, boron vb) (Haris, 1986).

Aramid, karbon, grafit, boron, silisyum karbür (SiC), alümina, cam ve polietilen malzemelerin kısa veya uzun devamlı elyaf formunda kullanıldığı ve matrisi yaklaşık % 60 hacim oranında pekiştirici işlevi olan malzemelerdir. Kompozit ürünlerde inorganik dolguların kullanımı artmaktadır. Dolgu malzemeleri genellikle kalıplanan parçaların performans ve maliyet unsurları dikkate alınarak seçilmektedir (Arıcasoy, 2006).

Bir dolgu malzemesinin seçiminde kimyasal bileşenler, partikül hacmi ve seçilmesi olası malzemelerin hacmi gibi faktörler önem kazanmaktadır. Aynı şekilde kompozit ürünün bulunacağı ortam da dikkate alınması gereken bir husustur. Örneğin; son ürün mineral aside maruz kalacaksa, kalsiyum karbonat gibi asitlerden etkilenecek olan dolgu malzemeleri kullanılmamalıdır. Eğer son ürünün alev dayanımlı veya ark dayanımlı özelliklere sahip olması gerekiyorsa, dolgu malzemesi seçimi kil veya kalsiyum karbonat ile hidrit alüminyum oksidin karışımı olması gerekir. Yüksek yüzey alanı özellikleri nedeniyle, düzgün yüzey görünümü vermek amacıyla kil sıkça kullanılan bir malzemedir (Saçak, 2005).

Kompozit uygulamalarında kullanılan başlıca dolgu maddeleri şunlardır:

Kalsiyum Karbonat

En yaygın kullanımı olan inorganik dolgu malzemesidir. Kalsiyum karbonat dolgu malzemelerinin büyük bir çoğunluğu kireçtaşı veya mermerden elde edilmektedir.

Alüminyum Silikat ve Killer

İkinci en yaygın kullanımı olan dolgudur. Kompozit endüstrisinde daha yaygın bir ifadeyle kil olarak bilinmektedir.

Alüminyum Trihidrat

Yüksek alev dayanımı/az duman çıkışı gerekli olduğu uygulamalarda dolgu malzemesi olarak sıkça başvurulmaktadır. Bu tür dolgu malzemeleri yüksek ısılarla karşılaştığında bünyesindeki su molekülünü açığa çıkartmaktadır. Böylece alev yayılması ve dumanın oluşmasını azaltmaktadır.

Kalsiyum Silikat

Doğada Wollastonit metasilikat olarak bulunur. Termoset reçine sistemlerinde değişik boyutlarda dolgu malzemesi olarak kullanılır. Genellikle boya bileşimlerinde kullanılan bu malzeme reçine sistemlerinde iyi elektrik ve ısı yalıtkanlığı sağlar.

Dolgular, kimyasallar ve diğer katkılar matrise niteliklerine göre özelliklerin geliştirilmesi amacıyla ilave edilirler. Bu gruptaki kompozit malzemeler uçak-uzay, savunma, yapı-inşaat, tüketim mallarında, korozyon dayanımı gerektiren uygulamalarda, elektrik-elektronik, denizcilik, kara taşıtlarında ve özel amaçlı

uygulamalarda kullanılmaktadır. Özellikle otomotiv sektöründe giderek artan ve % 6'ya yaklaşan bir uygulama artış hızı görülmektedir (Arıcasoy, 2006).

En çok kullanılan kompozit malzeme kombinasyonları, cam elyafı+polyester, karbon elyafı+epoksi ve aramid elyafı+epoksi bileşimleridir. Kompozit malzemeler katlı tabakalar veya ince tabakalar halinde uygulanabilmektedir. 1940'ların sonlarında geliştirilen CTP (Cam Takviyeli Polyester) günümüzde en çok kullanılan ve ilk modern polimer esaslı kompozit malzemedir.

Bugün üretilen tüm kompozit malzemelerin yaklaşık olarak % 85'i CTP'dir ve çoğunlukla tekne gövdeleri, spor araçları, paneller ve araba gövdelerinde kullanılmaktadır (Sayman ve Aksoy, 1978).

2.2.1.3. Katkılar

Antioksidanlar

Antioksidanlar, plastik malzemeye az miktarda katılarak çeşitli bozunmaları önleyen katkılar olarak tanımlanırlar. Hava, ısı, ışık, kimyasal reaksiyonlar gibi etkenlerin tesirini kaldırmak maksadıyla polimer işlenirken veya harmanlama işlemi esnasında antioksidanlar sisteme katılırlar. Polimerler için kullanılan antioksidonlar:

- I. Alkillenmiş fenol ve bisfenoller
- II. Fenol kondensasyon ürünleri
 1. Polifenoller
 2. Aminler
 3. Esterler
 4. Organik fosfit ve fosfatlar
 5. Karbon siyahı (Kaya, 1983).

Antistatikler

Plastik maddelerde biriken statik elektriğin toplanmamasını ve toplanan elektriksel yükün hemen bırakılmasını temin için antistatik maddeler kullanılır (Saçak, 2005).

Yağlayıcı-Kaydırıcılar

Yağlayıcı – kaydırıcılar, polimerik malzemelerin gerek katı gerekse ergimiş haldeki akışkanlıklarını kolaylaştıran ve ergimiş polimerin makine ve ekipmanlarının çeşitli kısımlarına yapışmasını önleyerek, plastiklerin işlenmesini kolaylaştıran katkı maddeleridir (Saçak, 2005).

2.2.2. Kompozit malzemelerin avantaj ve dezavantajları

Kompozit malzemelerin birçok özelliklerinin metallerinkine göre çok farklılıklar göstermesinden dolayı, metal malzemelere göre önem kazanmışlardır. Kompozitlerin özgül ağırlıklarının düşük oluşu hafif konstrüksiyonlarda kullanımda büyük bir avantaj sağlamaktadır. Bunun yanında, fiber takviyeli kompozit malzemelerin korozyona dayanımları, ısı, ses ve elektrik izolasyonu sağlamaları da ilgili kullanım alanları için bir üstünlük sağlamaktadır. Aşağıda bu malzemelerin avantajlı olan ve olmayan yanları kısaca ele alınmıştır:

- Yüksek mukavemet: Kompozitlerin çekme ve eğilme mukavemeti birçok metalik malzemeye göre çok daha yüksektir. Ayrıca kalıplama özelliklerinden dolayı kompozitlere istenen yönde ve bölgede gerekli mukavemet verilebilir. Böylece malzemeden tasarruf yapılarak, daha hafif ve ucuz ürünler elde edilir.
- Kolay şekillendirebilme: Büyük ve kompleks parçalar tek işlemle bir parça halinde kaplanabilir. Bu da malzeme ve işçilikten kazanç sağlar.
- Elektriksel özellikler: Uygun malzemelerin seçilmesiyle çok üstün elektriksel özelliklere sahip kompozit ürünler elde edilebilir. Bugün büyük enerji nakil hatlarında kompozitler iyi bir iletken ve gerektiğinde de başka bir yapıda, iyi bir yalıtkan malzemesi olarak kullanılabilirler.
- Korozyona ve kimyasal etkilere karşı mukavemet: Kompozitler, hava etkilerinden, korozyondan ve çoğu kimyasal etkilere zarar görmezler. Bu özellikleri nedeniyle kompozit malzemeler kimyevi madde tankları, boru ve aspiratörler, tekne ve diğer deniz araçları yapımında güvenle kullanılmaktadır. Özellikle korozyona karşı mukavemetli olması, endüstride birçok alanda avantaj sağlamaktadır.
- Isıya ve ateşe dayanıklılığı: Isı iletim katsayısı düşük malzemelerden oluşabilen kompozitlerin ısıya dayanıklılık özelliği, yüksek ısı altında kullanılabilmesine olanak sağlamaktadır. Bazı özel katkı maddeleri ile kompozitlerin ısıya dayanımı artırılabilir.
- Kalıcı renklendirme: Kompozit malzemeye, kalıplama esnasında reçineye ilave edilen pigmentler sayesinde istenen renk verilebilir. Bu işlem ek bir masraf ve işçilik gerektirmez.
- Titreşim sönümlendirme: Kompozit malzemelerde süneklik nedeniyle doğal bir titreşim sönümlendirme ve sok yutabilme özelliği vardır. Çatlak yürümesi olayı da böylece minimize edilmiş olmaktadır (Arıcasoy, 2006).

Bütün bu olumlu yanların dışında kompozit malzemelerin uygun olmayan yanları da şu şekilde sıralanabilir:

- Kompozit malzemelerdeki hava zerrecikleri malzemenin yorulma özelliklerini olumsuz etkilemektedir;
- Kompozit malzemeler değişik doğrultularda değişik mekanik özellikler gösterirler;
- Aynı kompozit malzeme için çekme, basma, kesme ve eğilme mukavemet değerleri farklılıklar gösterir;
- Kompozit malzemelerin delik delme, kesme türü operasyonları liflerde açılmaya neden olduğundan, bu tür malzemelerde hassas imalattan söz edilemez;
- Hammaddenin pahalı olması;
- Lamine edilmiş kompozitlerin özellikleri her zaman ideal değildir, kalınlık yönünde düşük dayanıklılık ve katlar arası düşük kesime dayanıklılık özelliği bulunmaktadır;
- Malzemenin kalitesi üretim yöntemlerinin kalitesine bağlıdır, standartlaşmış bir kalite yoktur;
- Kompozitler kırılğan (gevrek) malzeme olmalarından dolayı kolaylıkla zarar görürler, onarımları yeni problemler yaratabilir;
- Sıcak kurutma gerekmektedir;
- Kompozitler onarılmadan önce çok iyi olarak temizlenmeli ve kurutulmalıdır. Bazı durumlarda bu zor olabilir;
- Bazı kurutma teknikleri uzun zaman alabilmektedir.

Görüldüğü gibi kompozit malzemeler, bazı dezavantajlarına rağmen çelik ve alüminyuma göre birçok avantaja sahiptir. Bu özellikleri ile kompozitler otomobil gövde ve tamponlarından deniz teknelerine, bina cephe ve panolarından komple banyo ünitelerine, ev eşyalarından tarım araçlarına kadar birçok sanayi kolunda problemleri çözümlenecek bir malzemedir. Kompozit malzemelerin dezavantajlı yanlarını ortadan kaldırmaya yönelik teorik çalışmalar yapılmakta olup, bu çalışmaların olumlu sonuçlanması halinde kompozit malzemeler metalik malzemelerin yerini alabilecektir (Arıcasoy, 2006).

2.2.3. Kompozit malzemelerin kullanım alanları

Kompozit malzemelerin bilinen en eski ve en geniş kullanım alanı inşaat sektörüdür. Saman ile liflendirilmiş çamurdan yapılan duvarlar ilk kompozit malzeme örneklerindendir. Bugün taş, kum, kireç, demir ve çimento ile oluşturulan sunulmuştur.

kompozit malzeme evlerimizi oluşturmaktadır. Kompozit malzemeye en güncel örneklerden biri de kağıttır. Selüloz ve reçineden oluşan kağıt günümüzde yaşamımızın her alanında eşsiz bir kullanım aracı olarak insanlığın hizmetine sunulmuştur. Günümüzde kompozit malzemelerin kullanım alanı çok geniş boyutlara ulaşmıştır. Kompozit malzemelerin başlıca kullanım alanları ve bu alanlarda sağlanan avantajlar şu şekilde sıralanabilir:

- Şehircilik: Toplu konut yapımında, çevre güzelleştirme çalışmaları (heykel, banklar, elektrik direkleri vs.)
- Ev Aletleri: Masa, sandalye, televizyon kabinleri, dikiş makinesi parçaları, saç kurutma makinesi gibi çok kullanılan ev aletlerinde ve dekoratif ev eşyaları
- Elektrik ve Elektronik Sanayi: Elektriksel izolasyon olmak üzere her tür elektrik ve elektronik malzemenin yapımı
- Otomotiv Sanayi: Otomobil kaportası parçaları, iç donanımı, bazı motor parçaları, tamponlar ve oto lastikleri
- İnşaat Sektörü: Cephe korumaları, tatil evleri, büfeler, otobüs durakları, soğuk hava depoları, inşaat kalıpları
- Havacılık Sanayi: Planör gövdesi, uçak modelleri, uçak gövde ve iç dekorasyonu, helikopter parçaları ve uzay araçları
- İş Makineleri: İş makinelerinin kapakları ve çalışma kabinleri yapımı (Arıcasoy, 2006).

3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Literatürde epoksi reçinenin kompozit yapımında kullanımı ile ilgili çok sayıda araştırma vardır. Genelde bu kompozitlerin farkı kullanılan takviye maddeleri ve reçine modifikatörlerinden kaynaklanmaktadır. İletken epoksi kompozitlerinin hazırlanmasında karbon siyahının kullanımı ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır, fakat çar bileşiğinin epoksi reçinede kullanımı ile ilgili bulgulara rastlanmamıştır. Piroliz, yenilenebilir kaynaklardan birçok kimyasal maddenin elde edilmesi için yaygın kullanılan prosestir.

Yang ve ark. (2012) Dunaliella salina alg bitkisini CO ve hidrojen gazı elde edilmesinde kullanmışlardır. Çalışma sabit-yatak reaktör sisteminde gerçekleştirilmiştir. Biyoçarın elementel bileşimi (C, H, N ve S) tayin edilmiş, SEM analizi yapılmıştır. 500 °C’da yapılan pirolizin yan ürünü biyoçarı, hammadde malzemesi olarak CO₂ ile 800 °C’da reaksiyona sokarak gazlaştırma yapmışlardır. Gazlaştırmaya reaksiyon sıcaklığı ve katalizör etkisini incelemişlerdir. Sonuçlar, sıcaklık artışının ve ortama Au/Al₂O₃ katalizörünün ilave edilmesinin CO₂ dönüşümünü arttırdığını göstermiştir.

Pirinç samanı ve bambu talaşı, çar ayırma sistemli akışkan yataklı reaktörde Jung ve ark. (2008) tarafından piroliz edilmiş, reaksiyon şartlarının biyoyağ ve çar verimine etkisi incelenmiştir. Deneyler 415-540 °C aralığında yapılmıştır. Maksimum biyoyağ verimi % 70 olarak belirlenmiştir. Hammadde tane boyutunun piroliz ürünlerine etkisinin araştırılması, daha küçük tane boyutun biyoyağ verimini arttırdığını, çar verimini ise düşürdüğünü göstermiştir. Çar numunelerinin elementel analiz sonuçlarına göre, C/H oranı her ikisi için de 1,5 olmuştur. Çar numunelerinde kül oranı ise % 34,6 (bambu talaşı) ve % 49,9 (pirinç samanı) değerlerindedir. En yüksek biyoyağ verimi % 72 olarak bambu talaşından elde edilmiştir.

Hanaoka ve ark. (2012) Douglas köknarının 800 °C ve farklı basınçlarda (0,02 kPa Ve 1 MPa) piroliziyle biyoçar elde ederek CO₂ reaksiyona sokarak gazlaştırma yapmışlardır. 0,02 kPa’da türetilen çar daha amorf yapılı ve daha yüksek gözenek çapına sahip olduğu gözlemlenmiştir. Çarın yapısı Raman Spektrofotometresi ile incelenmiş, 1350 cm⁻¹’de görülen bandın amorf karbon yapısına tekabül ettiği belirlenmiştir. 1550-1600 cm⁻¹’de görülen band, grafit kristal yapısındaki C=C bağıını göstermektedir. Çarın karbon içeriği elementel analizle de belirlenmiştir.

Maiti ve ark. (2008) pirinç kabuğundan pirolizle biyoçar elde etmiş, daha sonra yarıiletken karbon hazırlanmasında kullanmışlardır. Elementel analiz sonuçları çarın yüksek oranda karbon (% 65,96) ve kül (% 53) içerdiğini göstermiştir. XRD analizinden çarın amorf yapıda olduğu ve silika (külün % 95'i) içerdiği belirlenmiştir. Çarın elektrik iletkenliğine sıcaklık etkisi incelenmiş, 325 K'e kadar iletkenlikde artış görülmüş, daha sonraki artışta iletkenlik sabit kalmıştır. Sonuçlar çarın yarıiletken özellikte olduğunu göstermiştir.

Pirinç kabuğundan pirolizle biyoçar ve aktif karbon elde edilmesi Kennedy ve ark. (2005) tarafından araştırılmıştır. Çardan aktif karbon eldesinde farklı sıcaklıkların (700 °C, 800 °C ve 900 °C) etkisi incelenmiştir. Aktif karbon numunelerinin XRD ve FTIR analizleri yapılmış, elektrik iletkenlik değerleri ölçülmüştür. Oda sıcaklığındaki iletkenlik değerleri gösterilen sıcaklıklarda elde edilen aktif karbonlar için farklılık göstermiştir. Elde edilen sonuçlar 10^{-5} – 10^{-4} S cm⁻¹ aralığında olup aktif karbonun yarıiletken olduğunu göstermektedir. Tüm numunelerin FTIR spektrumlarında 2920 cm⁻¹'de görülen bant alifatik C-H bağına, 1700 cm⁻¹'de görülen bant keton, aldehit, lakton veya karboksil grubunun C=O bağına işaret etmektedir. 1700 cm⁻¹'de görülen bandın zayıf yoğunluğu karboksil grubunun az miktarda olduğunu kanıtlamaktadır. Bunun yanı sıra, FTIR spektrumundaki 1115 cm⁻¹, 805 cm⁻¹ ve 475 cm⁻¹'deki bantlar karbon yapısında silika bulunduğunu göstermektedir.

Pirolizle 750 °C'da atık plastik (PET) kullanarak çar elde edilmesi ise Gil ve ark. (2010) tarafından araştırılmıştır. Piroliz ürünlerinin % 58 gaz bileşikler (CO, CO₂ ve hidrokarbonlar), % 20 tereftalik asit ve % 22 çar olduğu belirlenmiştir. Çar 925 °C'da aktive edilmiş, daha sonra CO₂'le farklı şartlarda reaksiyonu gerçekleştirilmiştir. Reaksiyon sonrası çar numunelerinin elementel ve yüzey analizleri yapılmış, karbon miktarının en az % 98 olduğu belirlenmiştir.

Poli(etilen tereftalat) atığının piroliz koşullarının ve kinetiğinin incelenmesi Gullon ve ark. (2001) tarafından gerçekleştirilmiştir. Piroliz sonucu çoğu fazla toksik etkili olan çok sayıda bileşik saptanmıştır. Gaz bileşiklerin çoğu aromatik ve poliaromatik bileşikler olmaktadır. PET'in fazla oksijen içeriğine rağmen, oksijenli hidrokarbon bileşikleri düşük miktarda tespit edilmiştir. PET'in ester oksijeni, piroliz sonucu CO ve CO₂ şeklinde uzaklaşmıştır. Piroliz ana ürünleri arasında bu oksitlerin yanı sıra benzen, toluen ve metan da bulunmaktadır. Piroliz prosesi 650-700 K'de hızlı başlamış, PET atığının % 80'nin parçalanmasından sonra hızını kaybetmeye başlamıştır.

Yoshioka ve ark. (2005) poli(etilen tereftalat) piroliz prosesine metal oksitlerinin (CaO , NiO , Fe_2O_3 , TiO_2) farklı etki yaptığını rapor etmişlerdir. Deneyler $700\text{ }^\circ\text{C}$ 'da yapılmıştır. PET plastiğinin piroliz ürünlerine en az etkiyi NiO göstermiştir. Pirolizde Ca(OH)_2 kullanımı benzen oluşumunu arttırmıştır. Fe_2O_3 benzen oluşumunda güçlü artışa yol açmasa da, çarın daha yüksek miktarda oluşumunu sağlamıştır. TiO_2 ise PET pirolizinde hiçbir etki göstermemiştir.

Alongi ve ark. (2012) pamuk ve poli(etilen tereftalat)'ın pirolizine amonyum fosfat ve poli(akrilik asit) etkisini araştırmışlardır. Her iki bileşiğin ATR analizi çarın aromatik yapıda olduğunu göstermiştir. 1600 cm^{-1} 'deki sinyal termal kararlı aromatik çarın oluşumunu kanıtlamaktadır. Pirolizde amonyum fosfat ve poli(akrilik asit) kullanımı çarda karbonil grubunu kuvvetli şekilde azaltmış ve sadece aromatik yapının oluşumuna neden olmuştur.

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 $20\text{-}140\text{ }^\circ\text{C}$ 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 incelemişlerdir. 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 gerilim bölgelerinin artması ve matrisle kimyasal bağlanma ile açıklanabilir.

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 $90\text{ }^\circ\text{C}$ '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 $2,8 \times 10^{-9} \text{ S cm}^{-1}$ olarak ölçülmüştür. Nanokompozitlerde iletkenlik 2×10^{-6} - $4 \times 10^{-4} \text{ S cm}^{-1}$ 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.

PET atığından elde edilen çarın (% 5-50 kütle) oranında kompozit yapımında kullanımına Özyaytekin ve Kar (2011) tarafından yapılan çalışmada rastlanmıştır. 450°C'da atık poli(etilen tereftalat)tan elde edilen çarın konjuge aromatik oligo(azometin) bileşikleriyle kompozitleri oluşturulmuş ve elektrik iletkenlik özellikleri incelenmiştir. PET çarının kimyasal yapısı FTIR spektrumu ile aydınlatılmıştır. Çarda tereftalik asit varlığı, 1709 cm^{-1} ve 3200 cm^{-1} 'de görülen bantlarla kanıtlanmıştır. Elementel analiz sonuçlarına göre de çar, % 60,8 C, % 34 O içermektedir. Çarda asit grubunun bulunması, elektrik iletkenliğini de arttırmaktadır. Kompozitlerin elektrik iletkenliğinin oligomere göre daha yüksek olması bununla açıklanabilir. İyotla doplanmış oligomerin iletkenliği $10^{-4} \text{ S cm}^{-1}$ iken, kompozitlerde görülen en yüksek değer $10^{-1} \text{ S cm}^{-1}$ olmuştur.

Sutikno ve ark. (2010) Hindistan cevizinden elde edilen çarla stiren kauçuğunun kompozitini oluşturmuş, mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Otomotiv fren sürtünme malzemeleri olarak kullanılabilen kompozitler 190 °C'da basınç altında hazırlanmıştır. Çar oranının mekanik özelliklere etkisinin incelenmesi için çekme dayanımı, aşınma direnci ve sertlik ölçümleri yapılmıştır. Kompozitlerde çar oranı arttıkça yüzey

pürüzlülüğünün azaldığı görülmüştür.

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.

Leng ve ark. (2011) ananas yaprağı atığından 390 °C'da çar elde ederek kimyasal özelliklerini ve verimi incelemişlerdir. Çar verimi % 33,71 olarak bulunmuştur. FTIR analizi ile çarın yüksek C, lignin ve aromatik bileşikler içerdiği belirlenmiştir. 1586–1571 cm⁻¹ ve 877–779 cm⁻¹'de görülen C=C bağına ait bantların yoğunluğunun yüksek olması çarın aromatik yapısını göstermektedir. C/N oranının düşük olması, çarın N içeriğinin yüksek olduğunu kanıtlamaktadır. Çarın pH ve elektrik iletkenlik (EI) değerlerinin de yüksek olduğu (pH 9,65 ve EI 12,27 mS cm⁻¹) tespit edilmiştir.

McBeath ve Smernik (2009) ağaç ve çinemden farklı sıcaklıklarda (250 °C, 450 °C ve 850 °C) elde edilen çeşitli çarların aromatik kondenzasyon derecesini incelemişlerdir. Çarların C ve kül tayinleri yapılmış, piroliz sıcaklığı arttıkça kül oranının % 1'den % 7,2'ye yükseldiği tespit edilmiştir. Çarların ¹³C NMR analiz sonuçlarına göre 250 °C'da elde edilen materyal çar ağırlıklı değildir. 130 ppm'de görülen küçük pik, düşük miktarda çarı belirtmektedir. Bunun aksine, 450 °C'da elde edilen materyal için 130 ppm'de görülen geniş pik çarın aromatik özellikte olduğunu göstermektedir. Bu sonuç yüksek aromatik C miktarı (% 83-84) ile de kanıtlanmaktadır. ¹³C NMR spektrumunda 150 ppm'de görülen küçük pik, düşük oranda orto-süstitüte aril C'a işaret etmektedir. Sıcaklığın 850 °C'a yükseltilmesi C oranını % 85,9'a arttırmıştır. Çarların aromatik kondenzasyon derecesi, benzen ¹³C'nun çar ile emiliminin kimyasal kayması ile belirlenmiştir. Sonuçlar, sıcaklık arttıkça aromatik kondenzasyon derecesinin arttığını göstermektedir.

Zabaniotou ve ark. (2000) pamuk atığının farklı sıcaklıklardaki (350-850 °C) piroliz ürünlerini incelemişlerdir. Piroliz ürünleri ağırlıklı olarak biyoçar ve gaz ürünler olmuştur. Pamuk atığının yüksek selüloz içeriğinden dolayı sıvı ve katransı ürünler çok düşük miktarda elde edilmiştir. Çardan farklı olarak gaz ürünlerin verimi sıcaklıkla artmıştır. Biyoçar için en yüksek verim % 70 olarak 350 °C'da görülmüş, 700 °C'da azalarak % 35-40 olmuştur.

Pantea ve ark. (2003) kamyon lastiği atıklarının 490 °C’da pirolizini, daha sonra pirolitik karbon siyahının 670-860 °C’da post-pirolizini yaparak elektrik iletkenliği ve gözenek yapısı incelemişlerdir. Çarın yüzey kimyası ESCA ve SIMS yüzey spektroskopik metotlarıyla araştırılmış, ticari aktif karbona göre yüzeyinin daha düşük poliaromatik yapıda olduğu belirlenmiştir. Çarın elektrik iletkenliğinin ticari aktif karbondan daha düşük olması da buna bağlı olarak açıklanmıştır. Piroliz sıcaklığı arttıkça yüzeyin poliaromatik özelliğinin arttığı da tespit edilmiştir.

Atıktan elde edilen uçucu külün epoksi matrisli kompozit yapımında kullanımı Gu ve ark (2009) tarafından gerçekleştirilmiştir. Uçucu külün XRD analizinden genelde α -SiO₂ ve 3Al₂O₃·2SiO₂ yapısında olduğu belirlenmiştir. Uçucu külün yüzeyi aminopropil-trietoksi silanla modifiye edilerek FTIR spektroskopisi metodu ile araştırılmış, 2982 cm⁻¹, 2888 cm⁻¹, 1536 cm⁻¹, 1452 cm⁻¹, 1380 cm⁻¹ ve 746 cm⁻¹’de görülen bantlarla yüzeye bağlanan silanol fonksiyonel gruplarının varlığı tespit edilmiştir. Uçucu külün yüzey modifikasyonunun kompozit özelliklerine etkisi incelenmiş, modifiye külün kompozit yapısında daha homojen dağıldığı SEM görüntüleriyle kanıtlanmıştır. DMA analiz sonuçlarına göre ise modifiye kül kompozitlerinin daha geniş T_g bölgesine sahip oldukları görülmüştür. Epoksi reçineye modifiye edilmemiş külün katılması darbe dayanımını 9,52 kg/m²’den 11,21 kg/m²’ye arttırmıştır. Külün modifiye edilmesiyle ise darbe dayanımı daha da yükselerek 13,32 kg/m² olmuştur.

Abrados ve ark. (2012) 500 °C’da piroliz için plastik ambalaj atığı olarak PE (% 35), PP (% 40), PS (% 19), PET (% 5) ve PVC (% 1) gibi polimer karışımını kullanmışlardır. Pirolizden çar oluşma eğilimi polimerlerin kimyasal yapısına bağlı olup, polimerin parçalanmasından ileri gelmektedir. Polimer yapısında –OH ve =O gruplarının varlığı çar oluşma eğilimi arttırmaktadır. Plastik ambalaj atığı çarının % 90 C içermesi, çarın piroliz prosesinde karbonlaşmış ürün olarak oluştuğunu göstermektedir.

Çeşitli bitki, mantar ve ağaçtan farklı sıcaklıklarda elde edilen çar yapılarının FTIR spektroskopi yöntemiyle araştırılması Guo ve Bustin (1998) tarafından yapılmıştır. 320 °C’da kömürden elde edilen çarın FTIR spektrumunda 1708 cm⁻¹’de görülen bant, düşük sıcaklıklarda pirolizi yapılan tüm kömür çar ürünleri için karakteristik C=O grubuna işaret etmektedir. 320 °C’da 40 dk yapılan ağaç pirolizinin çarı için 1030-1060 cm⁻¹ aralığında tespit edilen bantlar, alifatik C-O-C ve alkol –OH grubuna ait olup selülozun oksijenli fonksiyonel gruplarını göstermektedir. Piroliz

süresinin 75 dk'ya yükselmesiyle FTIR spektrumunda 1615 cm^{-1} , 1511 cm^{-1} ve $1420\text{--}1430\text{ cm}^{-1}$ 'deki bantlar aromatik C=C halka gerilmesine ait olup, çarda aromatik yapının oluştuğunu kanıtlamaktadır. $480\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'da oluşan kömür çarının FTIR spektrumunda C=O bağına ait bant yoğunluğunda bir düşüş, aksine aromatik C=C bağına ait bant yoğunluğunda ise bir artış görülmüştür.

Wang ve ark. (2009) çam ağacı talaşının $200\text{--}700\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'da yavaş pirolizini yaparak ürünlerin veriminin ve kompozisyonunun sıcaklığa bağlılığını incelemişlerdir. Çalışmada $200\text{--}300\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'da hemiselülozun parçalanmaya başladığı, furan, sakkarit, karboksilik asit, keton, aldehit gibi sıvı ve gaz bileşiklerin oluştuğu gözlenmiştir. Selülozun parçalanması esasen $300\text{--}450\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'da olup, sıvı ve gaz ürünlerin veriminde büyük artışın yanı sıra, aromatik özellikte katı çar oluşumu da gerçekleşmiştir. $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ üzerinde elde edilen çarın XRD analiz sonuçları onun amorf yapıda olduğunu göstermiştir. Çarın aromatik yapısı FTIR spektrumu ile de kanıtlanmıştır. Aromatik iskelet titreşim ($1587\text{--}1662\text{ cm}^{-1}$, $1417\text{--}1429\text{ cm}^{-1}$) ve aromatik C-H deformasyon (781 cm^{-1} , 816 cm^{-1}) için maksimum yoğunluk $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'da gözlemlendi.

Şensöz (2003) de çam ağacı kabuklarından $300\text{--}500\text{ }^{\circ}\text{C}$ aralığında elde edilen piroliz ürünleri ile ilgili bu çalışmaya benzer bir çalışma yapmış, proses şartlarının ürün verimine önemli derecede etki ettiğini tespit etmiştir. Çalışmada çar veriminin sıcaklığın $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'dan $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'a yükselmesiyle % 54,31'den % 41,57'e azaldığı, gaz ürün veriminin ise arttığı rapor edilmiştir. $450\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'da elde edilen çarın elementel analiz sonuçlarına göre C - % 84,99, H - % 2,82, O - % 12,11, N - % 0,08 olarak bulunmuştur.

Manabe ve ark. (2007) Chamaecyparıs obtuse ağacını $400\text{ }^{\circ}\text{C}$, $600\text{ }^{\circ}\text{C}$, $800\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'da 1 saat sürede karbonize ederek, ağaç çarının özellikleri ve mikroyapısı üzerine bir çalışma yapmışlardır. Sıcaklığın çar özellikleri ve yapısına etkisi FTIR, elementel analiz, elektrik direnci ve Raman spektroskopisi yöntemiyle incelenmiştir. Yapılan analizlerden sıcaklık arttıkça çardaki C miktarının % 72,46'dan % 89,75'e kadar arttığı, çarın elektrik direncinin ise azaldığı, buna bağlı olarak elektrik iletkenliğinin arttığı belirlenmiştir. Ayrıca, sıcaklığın $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'dan $800\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'a yükselmesiyle çardaki piranos halkasının C=C bağının C-C bağına dönüşmesi, çarda aromatik maromolekül oluşumuna işaret etmektedir.

Nishimiya ve Hata (1995) ağaç çarının elektrik iletkenliğini incelemiş, bu özelliğin önemli derecede karbonlaşma sıcaklığına bağlı olduğunu rapor etmişlerdir. Farklı sıcaklıklarda elde edilen çarların kimyasal yapısı FTIR, ESCA ve XRD metotlarıyla araştırılmıştır. Çarların elektrik direnci $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'a kadar sabit kalmış,

sıcaklığın 800 °C'a kadar yükselmesiyle kesin bir azalma göstermiştir. 800 °C'ın üzerinde elde edilen çar ise yüksek elektrik iletkenliğine sahip olmuştur. FTIR spectumlarına göre sıcaklık arttıkça OH ve karbonil grupları azalmakta, çift bağ ve aromatik halka oluşmaktadır. XRD analiz sonuçlarına göre, 800 °C'da grafitleşme gözlenmemiştir. Bu sonuca göre, çarın elektrik iletkenliği kazanımı, konjuge çift bağların π -elektron sisteminin varoluşu ile açıklanabilir. Ayrıca, bazı oksijen atomlarının da önemli bir rol oynadığı kabul edilmektedir.

Duba (1977) kömür ve kömürün pirolizinden elde edilen çarın elektrik iletkenliği üzerine bir çalışma yapmıştır. Önce kömürün iletkenliği 10^{-3} S m^{-1} olarak ölçülmüş, daha sonra 110 °C'a kadar vakumda ısıtıldığında iletkenlik 10^{-8} S m^{-1} 'e azalma göstermiştir. Bu azalma, kömürün dehidratasyonu ile açıklanmıştır. Daha sonra kömür 500 °C'da piroliz edilmiş, elde edilen çarın 800 °C'da post-pirolizi yapılmıştır. Sonuç olarak çarın elektrik iletkenliği yükselerek 10^2 S m^{-1} olmuştur.

Foulger (1999) polietilen/karbon siyahı kompozitlerinin elektrik iletkenliğine sıcaklık etkisini araştırmıştır. Polietilen (PE) yalıtkan polimer olup, elektrik direnci 10^{16} - $10^{18} \Omega \text{ cm}$ 'dir. Buna karşın, karbon siyahı yarımetalik özellikte olup elektrik direnci $10^1 \Omega \text{ cm}$ 'den düşüktür. PE/karbon kompozitlerinin elektrik direnci karbon miktarı ile azalma gösterdiği, fakat bu azalmanın lineer olmadığı rapor edilmiştir. Sıcaklık etkisi incelendiğinde, sıcaklığın 130 °C'a kadar yükseltilmesi kompozitlerin elektrik direncini arttırmış, fakat sıcaklıktaki sonraki yükselme azaltmıştır. Kompozit için en uygun karbon oranı % 10 olarak tespit edilmiştir.

Feng ve Bhatia (1999) kömür çarının oksidasyon sırasında elektrik direncinin değişimi konusunu araştırmışlardır. Çalışmada çar eldesi için 3 farklı gözenek yapıları kömür kullanılmıştır. Kömür numuneleri azot ortamında 1173 K ve 120 dk sürede ısıtılarak çar numuneleri elde edilmiştir. Daha sonra çarlar 673-873 K sıcaklık aralığında oksijenle gazlaştırılarak elektrik dirençleri ölçülmüştür. Çarların elektrik dirençleri önce lineer olarak, sonra keskin bir artış göstermiştir. Elektrik direncinin sıcaklık ve oksijene bağlı olduğu açıklanmıştır.

Vilcakova ve ark. (2002) karbon fiber/poliester kompozitlerinin elektrik iletkenliğini perkolasyon eşiği bölgesinde incelemişlerdir. Karbon fiber kompoziti için çok düşük perkolasyon eşiği (hacimce % 0,7-0,8) bulunmuştur. Ayrıca, perkolasyon eşiğindeki kompozitlerin elektrik iletkenliğine sıcaklık etkisini araştırmışlardır. Sıcaklık arttıkça tüm kompozitlerin iletkenliklerinin lineer olarak artması, kompozitlerin yarıiletken düzeyinde olduklarını kanıtlamaktadır.

4. MATERYAL VE METOD

Bu bölümde; ticari epoksi reçine ile atık plastik çarı, odun talaşı çarı ve kozalak çar kompozitlerinin hazırlanması, bunların karakterizasyonları sırasında kullanılan kimyasal maddeler, deney sistemi ve karakterizasyon testleri anlatılmıştır.

4.1. Kullanılan Kimyasal Malzemeler

4.1.1. Ticari epoksi reçine (ER)

Çalışmada matris sistemi olarak DGEBA tipi seyreltilmemiş ticari epoksi reçine - NPEL 128 (EEW 190 g / eq, Konuray Chemical Co) kullanılmıştır. Epoksi reçineler kompozit yapımında, koruyucu kaplamaların eldesinde ve yapıştırıcı olarak kullanılabilir.

4.1.2. 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.

4.1.3. Hızlandırıcı

Hızlandırıcı olarak 2,4,6-tris (dimetilaminometil) fenol (Sigma-Aldrich) kullanıldı.

4.1.4. Çar

Karbon malzeme (ham çar), 450°C’de atık poli(etilen tereftalat) (PAÇ), Çin kavağı odun talaşı (OTÇ) ve çam kozalağın (KÇ) pirolizi ile elde edilmiştir. Bu malzemeler dışarıdan temin edilmiştir.

Farklı teknikler kullanılarak çar örnekleri karakterize edilmiştir, a) çarların FTIR spektrumu Bruker-Platinum ATR- Vertex 70; b) ana elementlerin EDX (C, H, S, N) analizi ise Bruker 123 eV EDX dedektörü ile gerçekleştirilmiştir.

4.2. Deneylerde 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)
8. Elektrik iletkenliği ölçüm cihazı (FPP-470) (Selçuk Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü/ KONYA)
9. Ultrasonik banyo (Selçuk Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü/ KONYA)

4.3. Kompozit Hazırlama Yöntemi

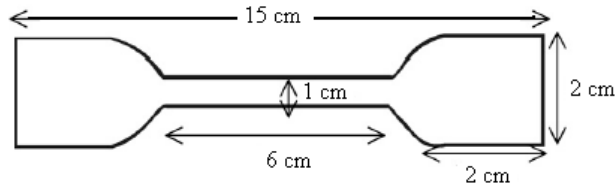
1. Çarlar epoksiyle karıştırılmadan önce çar tozu elde etmek için öğütüldü. Kütlece % 5-30 çar (parçacık boyutu<60 mesh) ve epoksi matris 3 saat boyunca 1000 rpm'de Heidolph RZ1 tipi karıştırıcı kullanılarak karıştırıldı ve iyi bir dağılım elde etmek için 1 saat boyunca 60 °C'da ultrasonik banyoda tutuldu.
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.

3. Kompozit örnekleri, ASTM D 638 standartlarına göre paslanmaz-çelik kalıp içinde hazırlandı. Kürleşme prosedürü 24 saatte 40 °C’da ve kurlenme sonrası 60-120 °C’da 48 saatte meydana gerçekleştirildi. Aynı işlemler saf ER matrisi ile yapıldı.
4. Kompozitlerin hazırlanmasında kullanılan oranlar Tablo 4.1’de verilmiştir.

Tablo 4.1. Kompozitlerde kullanılan oranlar

Numune No	Çar (matrise göre kütlece %)	Sertleştirici (matrise göre kütlece %)	Hızlandırıcı (matrise göre kütlece %)
0	-	30	1
1	5	30	1
2	10	30	1
3	15	30	1
4	20	30	1
5	25	30	1
6	30	30	1

Kompozit numunelerinin boyutları Şekil 4.1’ de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Kalıplanmış kompozitlerin boyutları

4.4. Kompozit Malzemelerin Karakterizasyonu

4.4.1. 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).

4.4.1.1. 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 4.2).

Bu metotta kullanılan numune biçimi Şekil 4.1'den 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).

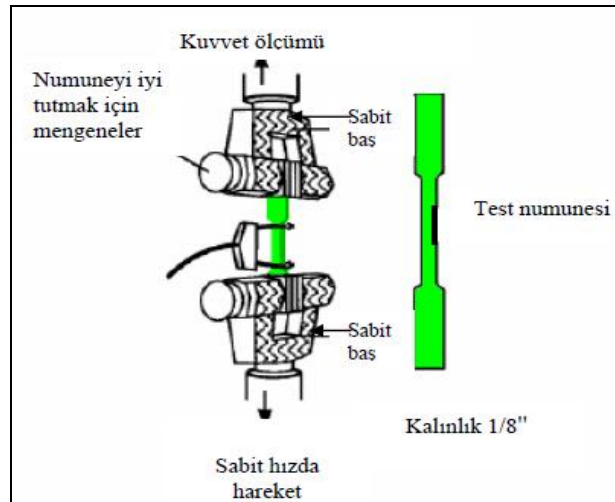
Çekme Dayanımı: Çekme dayanımı numunenin kopmadan önceki dayanabildiği maksimum gerilimdir. Gerilim numunenin ilk kesitindeki birim alanına herhangi bir anda düşen yük miktarı olarak da tanımlanır. Çekme dayanımı değerleri gerileme karşı uzama grafiklerinden bulunur (Işık, 2005).

$$F / A = \text{Gerilim}$$

Burada, F - kuvvet; A - alan

$$\sigma = \varepsilon * E$$

Burada, σ - çekme gerilim direnci; ε - uzama; E - modül



Şekil 4.2. Çekme numunesi ve gerilme test yöntemi (Işık, 2005)

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.

4.4.1.2 Sertlik testi

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

4.4.2. Yüzey karakterizasyonu

Kimyanın, malzeme biliminin, jeoloji ve biyolojinin birçok çalışma alanında katı yüzeylerin fiziksel niteliği hakkında ayrıntılı bilgi sağlamak için yüzey karakterizasyonunda önemli bir teknik olarak kullanılan optik mikroskopidir. Optik mikroskopinin ayırıcılığı ışık dalga boyuna kırınımın etkisiyle sınırlıdır.

Taramalı elektron mikroskopi (SEM), taramalı tünelleme mikroskopi (STM) ve atomik kuvvet mikroskopi (AFM) yüzey karakterizasyonunda kullanılan en önemli üç tekniktir.

4.4.2.1. Taramalı elektron mikroskobu (SEM)

Bazı yapı elementleri çok ince veya çok küçük oldukları için bunları optik mikroskobu kullanarak incelemek çok zordur. Böyle durumlarda çok yüksek büyütme kabiliyetine sahip olan elektron mikroskobu kullanılır. SEM analizinde, numune yüzeyi elektron ışınına tabi tutularak taranır ve toplanan elektron ışını yansıtılır, daha sonra aynı tarama oranında katot ışın tüpünün üstünde görüntülenir. Ekrandaki görüntü numunenin yüzey özelliklerin gösterir.

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.

4.4.2.2. 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 (Bulun, 2010).

X-Işını Kırınım analizi $\text{Cu-K } \alpha$ 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.

4.4.3. Elektriksel iletkenlik ölçümü

Kompozitlerin elektriksel iletkenlikleri 1-10 V aralığında dört nokta prob tekniği kullanılarak iletkenlik ölçüm cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Tüm ölçümler oda sıcaklığında yapılmıştır ve altı ölçümün ortalaması her bir kompozit için ayrı dikkate alınmıştır.

4.4.4. 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 (Bulun, 2010).

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.

4.4.5. Su absorplama analizi

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

5. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA

5.1. Kompozitlerin Yapımında Kullanılan Sertleştirici ve Çarlar

Sertleştirici maddelerin kimyasal yapısına ve reaksiyon koşullarına bağlı olarak epoksi reçine özellikleri değişmektedir. Epoksi kompozit sistemlerinde reçineye farklı özellikler ve morfoloji kazandıran amin ve anhidrit türü sertleştirici maddeler kullanılmaktadır (Azeez ve ark., 2012). Genel olarak yüksek sıcaklıkta kürlenene reçine sistemleri, oda sıcaklığında kürlenmiş reçine sistemleri ile karşılaştırıldığında daha yüksek camsı geçiş sıcaklığı, direnç ve sertlik gibi özelliklere sahip olur (May and Tanaka, 1973; Ellis, 1993). Amin ile kürlenene reçineler daha fazla çar üretme eğilimindedir ve benzer çapraz bağ yoğunluğundaki asit veya anhidritle kürlenmiş reçinelerden daha az yanıcıdır (Troitzsch, 2004). Bu nedenle, bu çalışmada sertleştirici olarak sikloalifatik poliamin seçilmiştir.

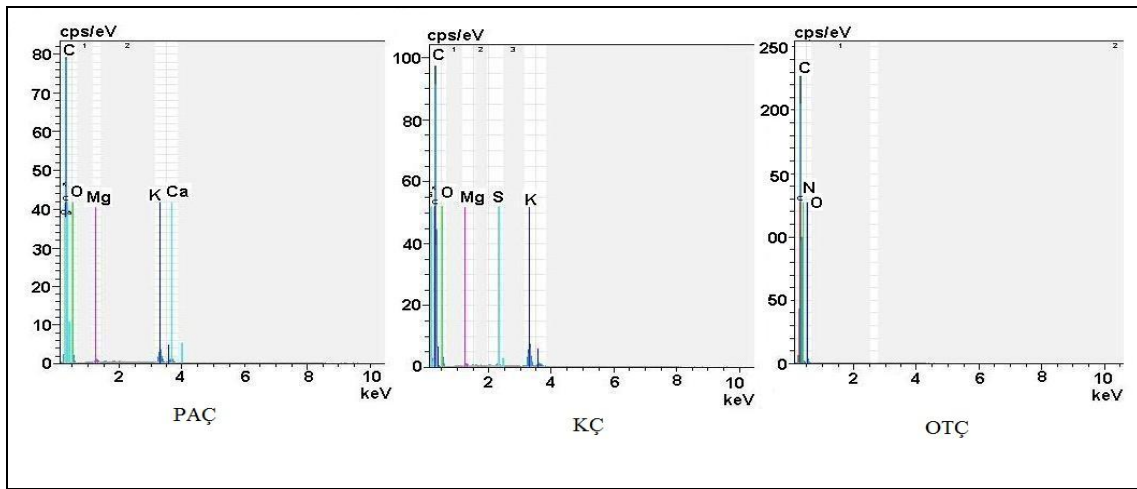
Dolgular kompozit malzemelerin üretiminde önemli bir rol oynamaktadır. Polimer endüstrisinde uzun yıllardır plastiklerin maliyetini düşürmek için daha pahalı reçinenin bir kısmı yerine ucuz dolgu malzemeleri kullanılmaktadır. Dolgular polimerik malzemelerin kimyasal direnç, termal, optik ve elektriksel özelliklerini arttırabilir. Çar, yapıştırıcı, kaplama ve beton içinde toklaştırıcı olarak kullanılabilir. Fakat polimer kompozit yapımında çar kullanımı üzerine sınırlı sayıda çalışma vardır ve epoksi sistemlerinde olarak takviye olarak çar kullanımı ile ilgili bir çalışma bulunmamaktadır.

Literatürde verilen çalışmalarda, polimer atıklarının pirolizle arıtımı için 500 °C'ın optimum sıcaklık olduğu belirtilmektedir (De Marco ve ark., 2007; De Marco ve ark., 2009; Laresgoiti ve ark., 2004). Diğer taraftan, piroliz ürünlerinin verimi sıcaklığa bağlıdır. 700 °C'ın üzerindeki sıcaklıklarda sıvı ve gaz yakıt bileşenlerinin verimi yüksek iken, 400-500 °C sıcaklıklarda daha fazla çar üretilir (Winsley, 2007). Bu dikkate alındığında, çalışmada kullanılan plastik atığı çarı ve diğer doğal bazlı çarlar 450 °C'da piroliz ile elde edilmiştir.

5.2. Çarların Karakterizasyonu

PET'in termal bozunma ürünlerinin incelenmesi bazı araştırmacılar tarafından yapılarak zaman ve sıcaklığın etkili olduğunu, özellikle de düşük sıcaklıklarda

aldehitlerin, yüksek sıcaklıklarda ise aromatik bileşiklerin oluştuğunu ortaya koymuşlardır. PET'in termal bozunması zincirin ester bağındaki karboksil ve vinil ester gruplarının rastgele kırılması ile başlar (Dzieciol ve Trzeszczynski, 1998). Suebsaeng ve ark. (1984) PET'in katı piroliz ürününün, aromatik halkalara vinil ester gruplarının bağlı olduğu bir poliaromatik çar olduğunu, pirolizin daha düşük sıcaklıklarda karbonun önemli bir artışıyla sonuçlandığını rapor etmişlerdir. PAÇ, KÇ ve OTÇ'nin EDX spektrumları Şekil 5.1'de, EDX analizlerinden elde edilen sonuçlar ise Tablo 5.1 verilmiştir.



Şekil 5.1. EDX spektrumları

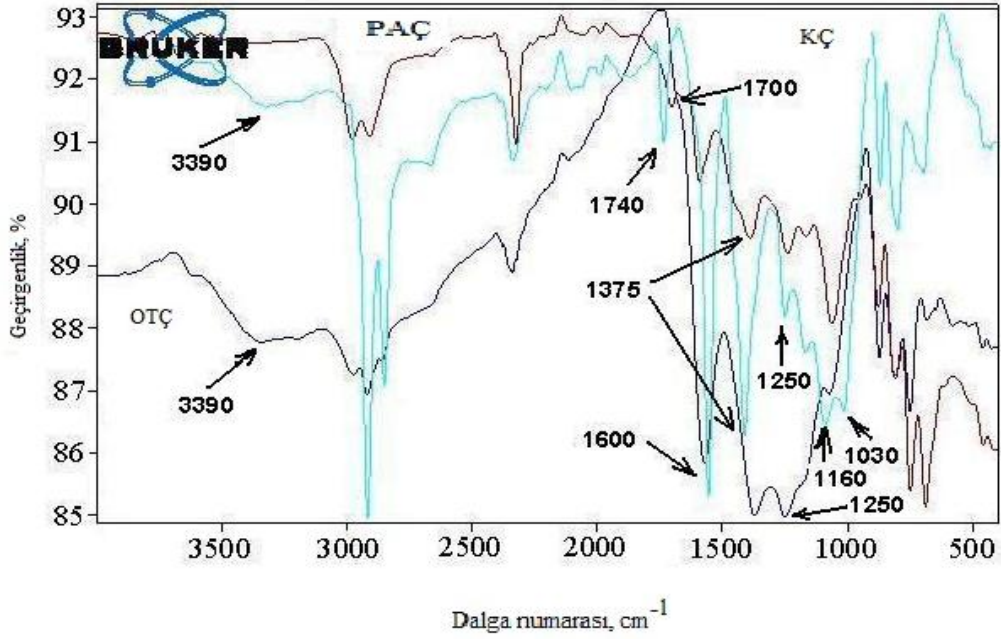
Tablo 5.1. Çarların EDX analiz sonuçları

Çar türü	Elementlerin kütlece ağırlık yüzdesi (kuru temel)						
	C	O	N	S	K	Ca	Mg
PAÇ	74,73	21,75	-	-	2,42	0,81	0,29
KÇ	70,42	24,19	-	0,31	4,82	-	0,26
OTÇ	64,73	17,22	2,05	-	-	-	-

Bu çalışmada kullanılan çarların element analizi yüksek karbon ve oksijen içeriğinin sırasıyla % 64,73-74,73 ve % 17,22-24,19 aralığında değiştiğini göstermiştir (Şekil 5.1 ve Tablo 5.1). Cantrell ve ark. (2012) biyoçarlardaki toplam N içeriğinin pirolizde 350 °C'dan sonra arttığını bildirmişlerdir, bu heteroskilik bileşiklerdeki azotun kuvvetli bağlanması ile ilişkili olabilir. OTÇ için N içeriği % 2,05 bulunması bunu desteklemektedir.

Şekil 5.2'de verilen FTIR spektrumları, çar örneklerinin kimyasal yapısı ile ilgili bilgi sağlar. KÇ ve OTÇ örneklerinin 3390 cm^{-1} 'de geniş bant göstermesi hidroksil gruplarının O-H gerilmesine bağlıdır. PAÇ, KÇ ve OTÇ örnekleri alifatik C-H bağlarına

ait gerilme $2920-3000\text{ cm}^{-1}$ 'de ve aldehit grupları için $2875-2900\text{ cm}^{-1}$ 'de ikili absorpsiyon bantları göstermiştir. PET'in $450\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de pirolizi ile elde edilen çar ise zayıf asidik karaktere sahiptir. PAÇ içinde tereftalik asitin varlığı $-\text{COOH}$ grubuna ait 1700 cm^{-1} ve 3200 cm^{-1} 'de zayıf bandın ve aromatik C-C için 1600 cm^{-1} 'deki bandın gözlenmesi ile tespit edilmiştir (Özaytekin ve Kar, 2012). Diğer çarlar da FTIR spektrumlarından görüldüğü gibi aromatik karaktere sahiptir. Wang ve ark. (2009) tarafından çam ağacı $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'da karbonize edildiğinde C=O asit gerilmesi (1700 cm^{-1} civarında) zayıf olarak, aromatik C=C gerilmesi ise (1600 cm^{-1} civarında) açık bir şekilde tespit edilmiştir. Özellikle, aromatik iskelet titreşimi ($1587-1662\text{ cm}^{-1}$, $1429-1417\text{ cm}^{-1}$) ve aromatik C-H düzlem dışı eğilmesi (816 cm^{-1} , 781 cm^{-1}) bu sıcaklıkta maksimum şiddetleri göstermiştir. Ayrıca 400°C 'da elde edilen çar için 1268 cm^{-1} civarında görülen band, guayasil halkalarının C-O bağından kaynaklanmaktadır.



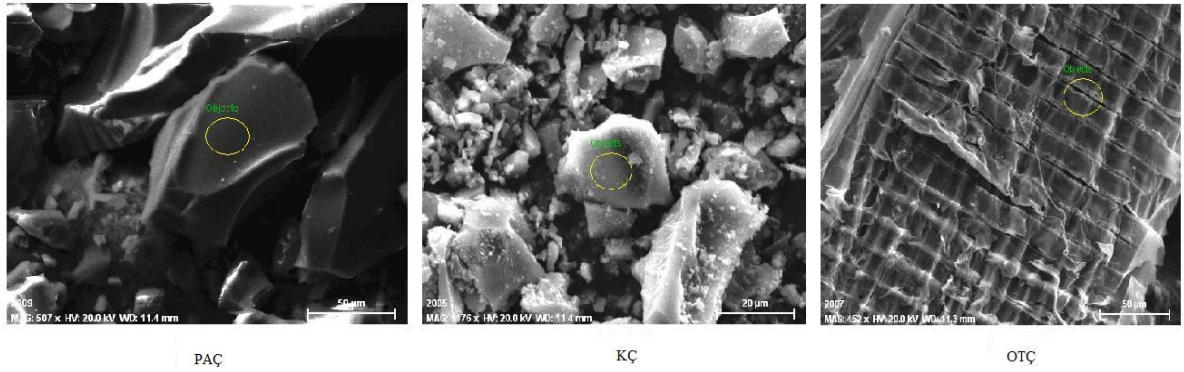
Şekil 5.2. Saf çarların FTIR spektrumları

KÇ'nin FTIR spektrumunda 1740 cm^{-1} civarındaki küçük bant ketonların, aldehitlerin ya da laktonların C=O gerilme titreşimlerine bağlıdır. Ayrıca 1030 cm^{-1} ve 1160 cm^{-1} de selüloz, hemiselüloz ve ligninindeki karakteristik C-O-C grubuna ait küçük C-O gerilme bantları olabilir. Alifatik CH_3 ve fenolik O-H sırasıyla PAÇ, KÇ ve OTÇ'ında $1375-1380\text{ cm}^{-1}$ ve 1250 cm^{-1} bantları olarak görülmüştür. Genel olarak tüm çarların FTIR spektrumlarından önceki çalışmalarda diğer çarlar için gözlenen aromatik yapıdaki büyüme eğilimi izlenmiştir.

5.3. Epoksi/Çar Kompozitlerinin Karakterizasyonu

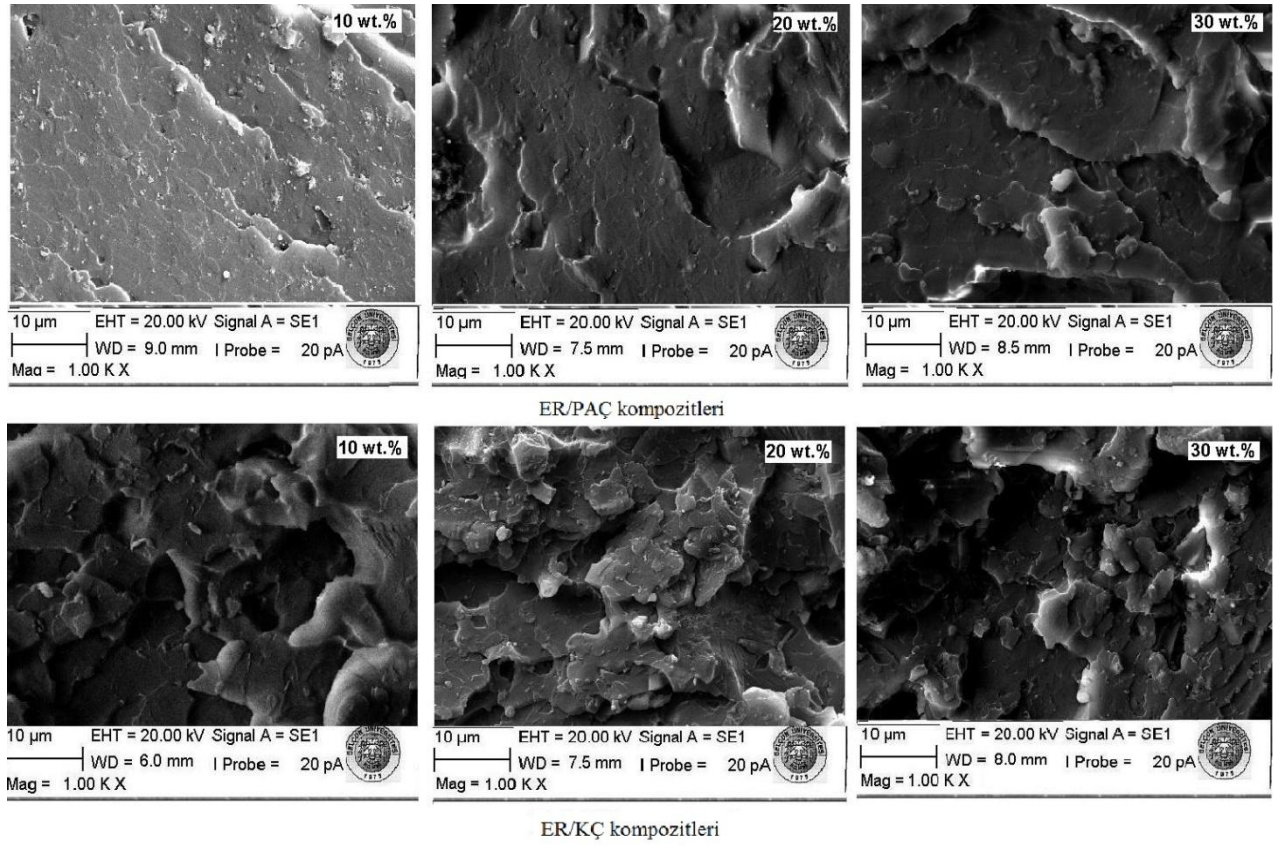
5.3.1. SEM analiz sonuçları

Çarların morfolojisi ve kompozitlerdeki dağılımı (kütlece % 10, % 20 ve % 30) SEM ile incelenmiştir. Saf PAÇ, KÇ ve OTÇ'nin yüzey morfolojisi Şekil 5.3'te, PAÇ ve KÇ kompozitlerinin yüzey morfolojisi ise Şekil 5.4'te verilmiştir.



Şekil 5.3. Saf çarların SEM görüntüleri

Şekil 5.4'te örnek olarak PAÇ ve KÇ'nin kütlece % 10, % 20 ve % 30 oranları ile hazırlanmış kompozitlerinin SEM görüntüleri gösterilmiştir. Saf epoksi maddesi saydamdır fakat çar ilavesi kompoziti opak yapmıştır. SEM bu malzemelerde yer alan çarın mikro dağılımına geniş bir bakış veren bir avantaja sahiptir. SEM mikrografı (Şekil 5.4) çar parçacıklarının yüksek bir büyütmede reçine içinde çok düzenli ve homojen bir şekilde dağılımını gösterir ki, bu da kopmada uzama yüzdesi gibi mekanik özelliklerin gelişmesi ile sonuçlanır. Bununla birlikte, epoksi matrisin kesit yüzey pürüzlülüğü çar yüzdesi arttıkça artış göstermiştir. ER/PAÇ kompozitlerine göre, ER/KÇ kompozitleri daha fazla kesit yüzey pürüzlülüğü göstermiştir.

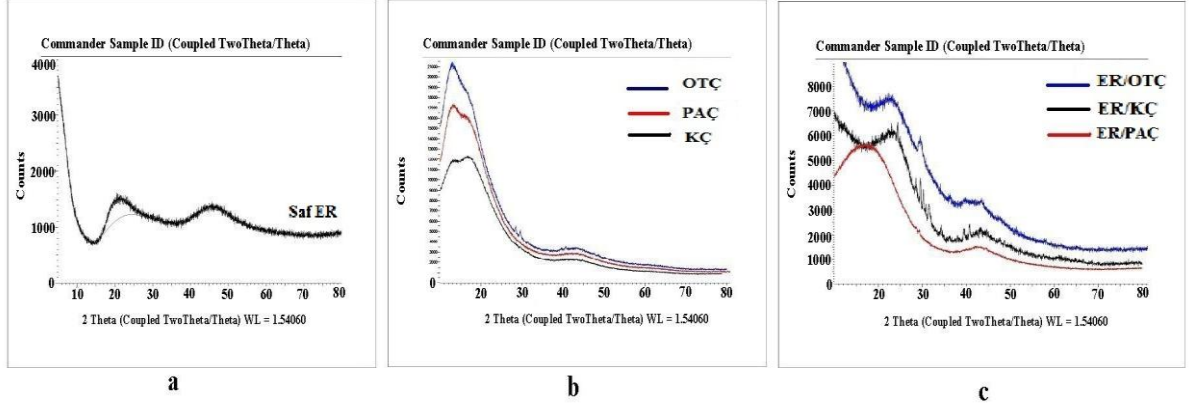


Şekil 5.4. ER/PAÇ ve ER/KÇ kompozitlerinin SEM görüntüleri

Şekil 5.4'den aynı zamanda, çar partiküllerinin epoksi matris içinde rastgele dağılımı ve yer-yer kümeleşmesi de görülmektedir, fakat bu parçacıklar birbirleriyle ve polimer matrisle iyi bir şekilde bağlıdırlar. Bu nedenle bu kompozitler PAÇ kompozitleri ile yakın gerilme mukavemeti ve Young modülü değerleri göstermişlerdir.

5.3.2. XRD analiz sonuçları

Yapısal analiz, kırınım açısı 2θ 0° 'den 80° 'ye kadar değişen bir X-ışını difraktometresi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Saf ER, saf çarlar ve farklı türde çar kompozitlerinin (kompozitte çar oranı kütlece % 25 olanlar) X-ışını kırınım grafikleri Şekil 5.5'te gösterilmiştir.



Şekil 5.5. Saf ER, saf çarlar ve ER/çar (kütlece % 25) kompozitlerinin XRD eğrileri

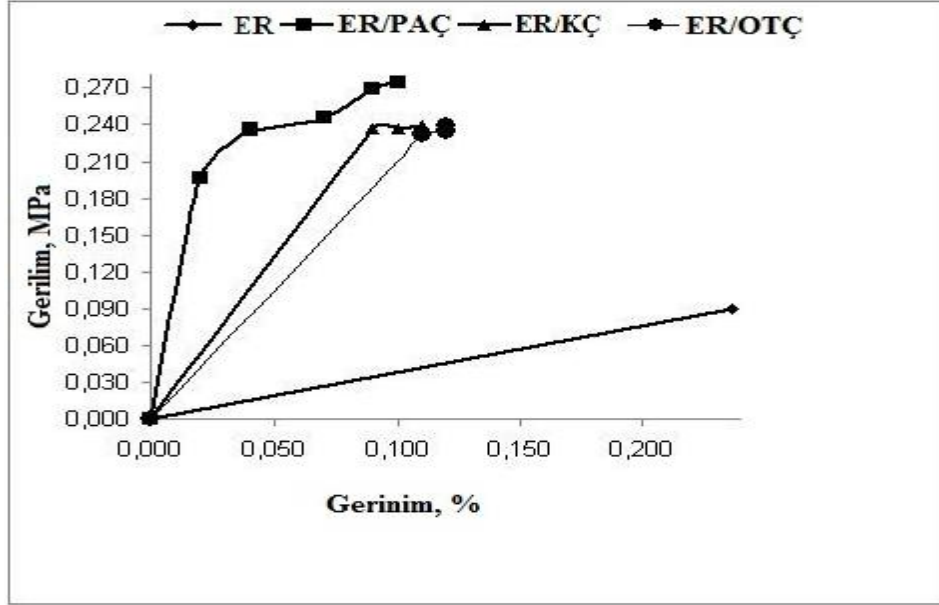
Şekil 5a ve 5c'den görüldüğü gibi, saf epoksi ve çar kompozitlerinin XRD eğrileri, çarların epoksi sistem içinde iyi dağıldığını gösteren benzer homoloji tümseklere sahiptirler (Tsai ve ark., 2008). Tüm çarlar keskin Bragg piklerine sahip olmadığı nedeniyle amorf olur (Şekil 5b). Ayrıca XRD örnekleri, tüm çarlarla yapılan kompozitlerde kristalinite belirtisi olmadığını göstermiştir. Buna ek olarak, kompozit malzemelerin X-ışını difraksiyon profilinin çarlara göre daha küçük açıları vardır. Kompozitlerde piklerin düşük şiddette olması matris içinde dolgu agregalarının varlığının daha az olmasına işaret eder.

5.3.3. Mekanik özellikler

Kompozitlerin mekanik özellikleri kesinlikle mikroyapıya ve takviye ile matris arasındaki arayüzeyin performansına dayanmaktadır. Reçine ve takviye arasındaki birleşme kuvveti sadece reçine sisteminin adhezyon özelliklerine bağlı değildir, aynı zamanda takviye malzemesi üzerindeki yüzey kaplamadan etkilenir. Polyester veya vinil ester reçinelerine kıyasla epoksi sistemleri, kimyasal bileşimi (polar hidroksil grupları ve diğer gruplar) nedeniyle en iyi performansı sunuyor.

5.3.3.1. Kompozitlerin çekme test sonuçları

Mekanik özellikleri (örn., çekme dayanımı, kopma uzaması) incelemek için kompozit numunelere çekme testi uygulanmıştır. Çekme testinden elde edilen sonuçlar Tablo 5.2'de açıklanmıştır. Saf epoksi ve ER/çar kompozit sistemlerinin gerinim-gerilim eğrileri ise Şekil 5.6'da gösterilmiştir.



Şekil 5.6. ER, ER/PAÇ, ER/KÇ ve ER/OTÇ gerilim-gerinim eğrileri

Tablo 5.2. Çar türü ve miktarının ER/çar kompozitlerinin mekanik özelliklerine etkisi

Çar (kütlece)	Kopma uzaması (%)	Çekme dayanımı (MPa)	Young modülü (GPa)
saf ER			
-	0,527	0,47	82,00
ER/plastik atığı çarı (PAÇ) kompozitleri			
5	0,527	0,51	89,00
10	0,526	0,52	89,00
15	0,524	0,59	110,71
20	0,486	0,48	99,00
25	0,492	0,43	88,67
30	0,422	0,46	85,00
ER/odun talaşı çarı (OTÇ) kompozitleri			
5	0,518	0,47	87,73
10	0,519	0,48	90,00
15	0,522	0,47	74,33
20	0,527	0,46	60,00
25	0,477	0,51	101,33
30	0,441	0,44	101,00
ER/kozalak çarı (KÇ) kompozitleri			
5	0,527	0,47	89,67
10	0,522	0,40	83,67
15	0,521	0,44	87,67
20	0,509	0,52	105,66
25	0,518	0,64	109,67
30	0,517	0,58	80,66

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).

Mekanik test sonuçlarına göre (Tablo 5.2) kompozitler arasında önemli bir fark gözlenmemiştir. OTÇ ve KÇ kompozitlerinin çekme dayanımı ve Young modülü, genellikle çar miktarı yükseldiğinde (kütlece % 15'in üzeri) yükselmiştir. Bazı çalışmalarda katı dolgu içeriğinin, kritik bir seviyenin üzerine çıktığında çekme dayanımını düşürdüğü gösterilmiştir (Huang ve ark., 2001; Özkoç ve ark., 2008). Böylece, polimer türüne, dolgu ve kullanılan dağılım metodlarının etkinliğine bağlı optimum bir dolgu seviyesi olmalıdır. Çalışmamızda doğal maddelerden elde edilen çarlar için uygun kütle seviyesi % 25 olarak bulunmuştur. PAÇ kompozitleri için ise kritik çar seviyesinin oldukça düşük olduğu (kütlece % 15) görülmektedir.

Yukarıda gösterilen yüzdeler için, en yüksek çekme dayanımı 0,51-0,64 MPa aralığında, Young modülü 101,33-110,71 GPa aralığında değişmiştir. Saf epoksi ile karşılaştırıldığında kompozitlerin çekme dayanımı ve Young modülü değerleri kritik çar seviyesinde sırasıyla % 13-42 ve % 23,57-35 olarak artmıştır. Bu kritik seviyenin üzerindeki çar oranlarında kompozitlerin çekme dayanımı ve Young modülünün azalmaya başladığı tespit edilmiştir.

Birçok malzemede uygulanan gerilimle ortaya çıkan gerinim belli bir sınıra kadar doğru orantılıdır ve bu iki değer grafikte düz bir çizgiyi temsil etmektedir. Doğrusal-elastik bölge, ya verim noktasının altında, ya da gerilme-deformasyon eğrisi üzerinde verim noktası kolayca tespit edilemiyorsa % 0-0,2 gerinim arasında olan ve hiçbir kalıcı deformasyonun meydana gelmediği şekil değiştirme bölgesi olarak tanımlanmaktadır (Beer ve ark., 2009).

Şekil 5.6'da saf ER eğrisi ile karşılaştırıldığında, açıkça çar kompozitlerin gerilim-gerinim eğrilerinin iki kısma: elastik ve plastik bölgelere ayrıldığı görülmektedir. Elastik bölgede gerilimle gerinim orantılı olarak artış göstermiştir. Gerinimdeki sonraki artış ise gerilimde küçük bir artışı meydana getirmiştir. Açıktır ki, ER/OTÇ ve ER/KÇ kompozitleri için ER/PAÇ kompozitlerine göre daha büyük uzama noktası gözlenmiştir. Daha sonra, gerinimle gerilim artışının, kompozitlerin kırılmasına kadar yükselmeye devam ettiği belirlenmiştir. Kompozitler yüksek gerilim ve kısa bir gerinim-sertleşme bölgeleri sergilerler ki bu da onların saf ER'ye göre daha kırılğan oldukları ve çar ilavesinin önemli ölçüde plastisiteyi düşürdüğü anlamına gelmektedir.

Şekil 5.6'ya göre, PAÇ kompozitlerinin gerinim-gerilim özelliklerinde diğer çar kompozitlerine göre daha önemli bir gelişme gözlenmiştir, çünkü daha yüksek gerilim sergilemiştir.

5.3.3.2. Kompozitlerin sertlik test sonuçları

Kompozit numunelerinin sertlik tayini yapılarak elde edilen sonuçlar Tablo 5.3'de verilmiştir.

Tablo 5.3. ER/çar kompozitlerinin sertlik testi sonuçları

Numune No	Çar (kütlece %)	Sertlik (Shore D)
Saf ER		
0	-	83,00
ER/PAÇ kompozitleri		
1	5	83,90
2	10	84,90
3	15	87,60
4	20	86,80
5	25	88,60
6	30	86,90
ER/OTÇ kompozitleri		
1	5	85,15
2	10	88,63
3	15	87,85
4	20	87,00
5	25	87,15
6	30	87,42
ER/KÇ kompozitleri		
1	5	83,13
2	10	83,56
3	15	84,08
4	20	85,55
5	25	88,70
6	30	88,18

Tablo 5.3'den görüldüğü gibi tüm kompozitlerin sertlikleri saf epoksiden yüksektir. Mekanik özellikler bakımından sertlik ve çekme dayanımı arasında orantılı bağlantı olduğu için sertlik ölçümleri çekme testleriyle benzer sonuçları göstermiştir.

5.3.4. Elektrik iletkenlik özellikleri

Çar oldukça kararlı formda zengin gözenekli bir karbon (% 50 kadar) malzemedir (Maiti ve ark., 2008). Karbon fulleren, grafen gibi birçok formlarda, karbon siyahı gibi yarı-kristal faz ve çeşitli amorf fazlarda bulunabilir. Karbon yapılarında sp^2 'nin varlığı, karbon malzemelerin elektrik iletkenliği ile ilgili birçok uygulamalarda kullanılma olasılığını artırır (Fusco ve ark., 1997; Robertson, 1991). Kennedy ve ark. (2005) pirinç kabuğu bazlı gözenekli karbonun elektrik özelliğini incelemişlerdir. Karbon örneklerinin oda sıcaklığındaki ohmik iletimi $8,02 \times 10^{-5}$ - $3,28 \times 10^{-4}$ S cm^{-1} aralığında değişmiştir. Pantea ve ark. (2003) kamyon lastiklerinin 490 °C'da pirolizi ile elde edilen çarın daha düşük elektriksel iletkenliğe sahip olduğunu bildirmiş, fakat çarı 860 °C'a kadar ısıtarak elektrik iletkenliğinin ticari lastik karbon siyahından daha yüksek değerlere ulaşmasını sağlamışlardır. Literatürden de görüldüğü gibi, 400-500 °C'a kadar sıcaklıklarda pirolizle elde edilen çar yarı iletken, ancak piroliz sıcaklığı 800 °C'a kadar veya daha fazla yükseltirirse iletken bir malzemedir (Eghlimi ve ark., 1999; Diakoumakos ve ark., 1995).

İletken polimer kompozitlerin metalik iletkenlere göre birçok avantajı vardır. Bunlar düşük bir maliyet ile kolayca şekillendirilebilirler. Bunlar hafiftirler, korozyon dirençleri yüksektir ve geniş bir yelpazede elektriksel iletkenlik sunarlar (Tsotra ve Friedrich, 2003). Özaytekin ve Kar (2012) oligoazometin/PET çarı kompozitlerinin elektriksel iletkenliklerini araştırmışlardır. Onlar, çarın yapısındaki tereftalik asit nedeniyle iyot doplu oligoazometin/PET çarı kompozitlerinin elektriksel iletkenliklerinin 10^{-5} - 10^{-4} S cm^{-1} 'den 10^{-2} S cm^{-1} 'e yükseldiğini belirtmişlerdir. Birkaç araştırmacı epoksi kompozitlerin elektriksel iletkenliklerinde nanokarbon takviyesi ile iyileşme olduğunu bildirmişlerdir (Haque ve ark., 2012; Athanasopoulos ve ark., 2012; Paglicawan ve ark., 2010).

Ancak, epoksi kompozit oluşumunda ham piroliz çarlarının kullanımı, karbon fiber kullanımı durumuna göre daha az maliyet gerektiriyordur. Bu çalışmada tarafımızdan farklı kütle oranlarında (kütlece max. % 30) çar takviyeli epoksi/çar kompozitlerinin elektrik iletkenliği üzerine takviye stratejileri çalışılmıştır. ER/çar kompozitlerinin oda sıcaklığında elektriksel iletkenlik değerleri Tablo 5.4'de verilmiştir.

Tablo 5.4. ER/çar kompozitlerinin oda sıcaklığındaki elektrik iletkenliği ve elektrik direnci değerleri

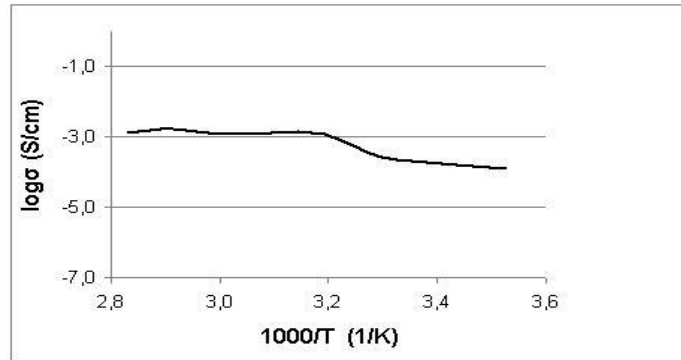
Çar türü	Çar oranı (kütlece %)					
	5	10	15	20	25	30
Elektrik iletkenliği ($S\ cm^{-1}$)						
PAÇ	6.54×10^{-8}	1.31×10^{-7}	2.02×10^{-5}	3.79×10^{-4}	1.34×10^{-3}	2.75×10^{-3}
OTÇ	1.50×10^{-9}	2.32×10^{-8}	2.36×10^{-7}	4.57×10^{-5}	1.46×10^{-4}	5.43×10^{-4}
KÇ	7.20×10^{-9}	1.30×10^{-8}	7.77×10^{-5}	5.89×10^{-4}	6.07×10^{-3}	3.95×10^{-3}
Elektrik direnci (Ω)						
PAÇ	1.53×10^7	7.63×10^6	4.95×10^4	2.64×10^3	7.46×10^2	3.64×10^2
OTÇ	6.66×10^8	4.31×10^7	4.23×10^6	2.18×10^4	6.85×10^3	1.84×10^3
KÇ	1.38×10^8	7.69×10^7	1.28×10^4	1.69×10^3	1.65×10^2	2.53×10^2

Elektrik iletkenliği aralığına göre malzemeler iletkenler (10^4 – $10^6\ S\ cm^{-1}$), yarı iletkenler (10^2 – $10^9\ S\ cm^{-1}$) ve yalıtkanlara (10^{-22} – $10^{-14}\ S\ cm^{-1}$) ayrılmışlardır (Stasey, 2008). Tablo 5.4’den elektrik iletkenliğinin kompozitlerdeki çar konsantrasyonunun artmasıyla birlikte arttığı açıkça görülmektedir. İyi bir yalıtkan olan epoksinin elektrik iletkenliği $10^{-14}\ S\ cm^{-1}$ ’dir, fakat % 5-30 çar dolgusu içeren kompozitler yarı iletken seviyededir. Farklı içeriklerdeki kompozitlerin iletkenliği 10^{-9} - $10^{-3}\ S\ cm^{-1}$ aralığında değer almaktadır. Elde edilen çar kompozitlerinin elektrik iletkenliği epoksiye göre çok daha yüksek olduğu için, kompozitin elektrik iletkenliğinin tam olarak çar dolgu maddesine bağlı olduğu varsayılır. ER/çar kompozitlerinin elektriksel iletkenliğinin sürekli olarak % 25 çar oranına kadar yükselmesi, bu epoksi kompozitlerin elektriksel iletkenliğini istenilen kullanım teknolojisine göre uygulama olasılığını göstermektedir. İletkenlikte bu tür yükselmenin nedeni şöyle açıklanabilir: dolgu maddesi belirli bir değere ulaştığında, hemen hemen bütün dolgu maddesi parçacıkları daha mükemmel yapı elde etmek için iletken zincirler oluşturur ve iletken kümelerin bir parçası oluyor. Dolgu maddesinin iletken kompozit oluşturulabilir en düşük konsantrasyonu ise perkolasyon eşiği olarak bilinir. Reçine bu kritik veya daha yüksek konsantrasyonda iletken takviye ile yüklendiğinde, reçine kompoziti de yalıtkandan elektriği ileten bir malzemeye dönüşmektedir (Novak ve ark., 2003; Foulger, 1999).

Tablo 5.4’den görüldüğü gibi, PAÇ ve KÇ kompozitlerinin elektrik iletkenliği OTÇ kompozitlerine göre daha yüksektir. Bu, çarların kimyasal yapısı ile açıklanabilir. Aromatik kondensleşme derecesinin çarların en önemli karakteristiği olduğu iyi bilinmektedir. Öncelikle tüm çarlar yoğunlaşmış aromatik halka kümeleri oluşturur ve artan ısı işlem sıcaklığı ile moleküler ölçekli değişiklikler elektriksel iletkenlikte değişikliklere neden oluyor (McBeath ve Smernik, 2009). PAÇ ve KÇ, OTÇ’ye göre

daha yüksek karbon içeriğine sahiptir. Pantea ve ark. (2003), çarın poliaromatik özelliğinin onun elektrik iletkenliğini arttırdığını tespit etmişlerdir. Tüm çarların FTIR spektrumlarından (Şekil 5.2) da onların aromatik özelliğe sahip oldukları açıkça görülmektedir. Diğer yandan, PAÇ ve KÇ'nin oksijen içeriği yapılarındaki keton, aldehit veya karboksil gruplarından kaynaklanmaktadır ki, bu gruplar FTIR spektrumunda OTÇ için tespit edilememiştir (Şekil 5.2). Özaytekin ve Kar'ın (2012) belirttiği gibi, PET çarının yapısındaki tereftalik aside bağlı zayıf asit etkisi, olası oligomer matriste yük denge değişikliğine katkıda bulunarak kompozitlerin elektrik iletkenliğini arttırmıştır.

Sıcaklık ve zaman, direnç üzerinde önemli bir etkisi olan parametreler olarak belirlenmiştir. Tablo 5.4'den görüldüğü gibi, oda sıcaklığında kompozitlerin elektrik dirençleri çar yüzdesi arttıkça azalmaktadır. Kompozitin elektrik iletkenliğine sıcaklık etkisini belirlemek amacıyla ise elektriksel iletkenlik ölçümleri % 25 içerikli PAÇ kompoziti örneğinde 10-80 °C sıcaklık aralığında yapılmıştır (Şekil 5.7).



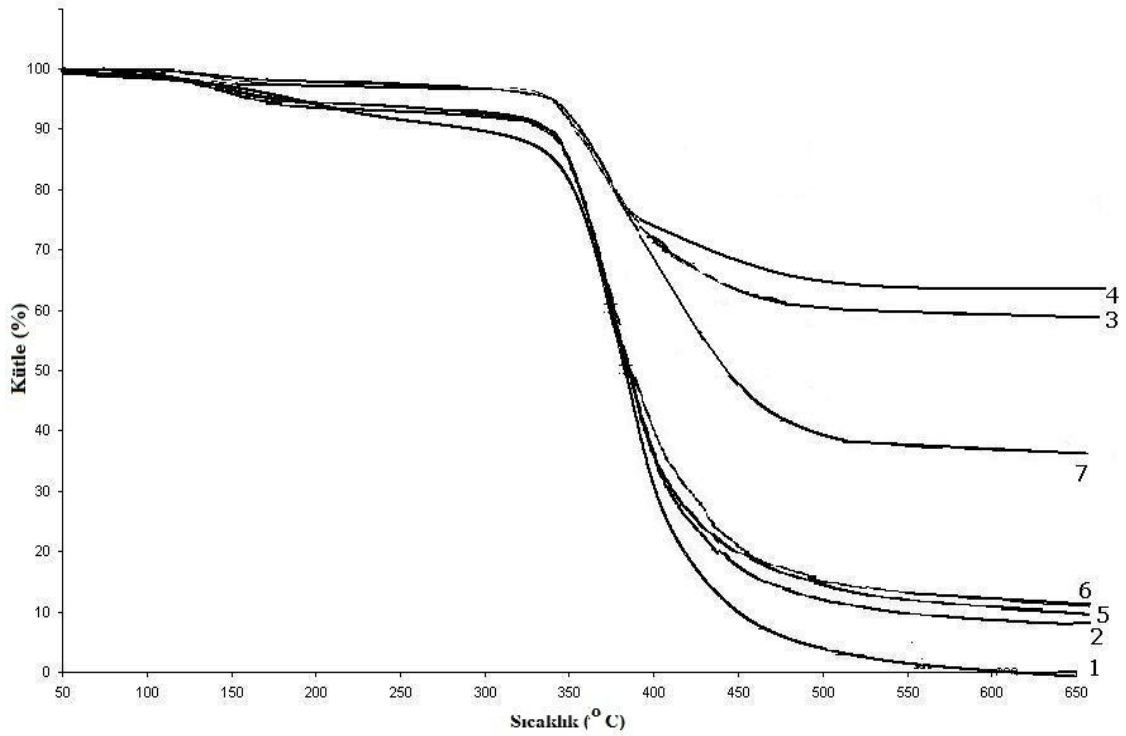
Şekil 5.7. ER/PAÇ (%25 kütle oranı) kompozitinin sıcaklığa bağlı elektrik iletkenlik grafiği

Yarıiletkenler, önemli derecede iletkenlerden farklı davranış sergilerler. Sıcaklığın yükselmesi, yarıiletkenin bant aralığını küçültür ki, bu da sonuçta yarıiletken malzemenin birçok parametrelerini etkiler. Sıcaklık artışı ile bant aralığındaki daralma, malzemedeki elektronların enerjilerinin artması şeklinde görülür. Ancak, sıcaklıktaki çok daha fazla artış yarıiletkenin arızalanması veya zarar görmesi ile sonuçlanabilir ki, bu da yarıiletkenin elektrik iletkenliğinin azalmasına yol açar (Hashim, 2009). Bu bilgilerle benzer olarak çalışmamızda elde edilen sonuçlar, PAÇ kompozitinin iletkenliğinin 80 °C'a kadar sıcaklık artışı ile yavaş arttığını göstermiştir.

5.3.5. Termal özellikler

Kütle kaybı çalışmaları, polimerlerin ve kompozitlerinin termal kararlılığının incelenmesinde kullanılan en yaygın ve kolay bir yoldur. Erickson (2007) saf epoksinin 340 °C’da termal bozunmasını araştırmıştır. Bozunma ürünleri arasında fenol, 4-izopropilfenol, bisfenol A ve 4-t-butil-o-krezolün bulunması, epoksinin bisfenol A birimindeki bağ kırılmasının en önemli bozunma mekanizması olduğunu göstermiştir. Bisfenol-A ve epiklorohidrinden sentezlenen epoksinin termal bozunma ürünleri ve termal özellikleri Grassie ve ark. (1986) tarafından da incelenmiştir. Çapraz bağlı reçine 340 °C’ın üzerinde bozunmaya başlamış ve fenolik bileşikler oluşmuştur.

Şekil 5.8’de saf ER ve ER/çar kompozitlerinin TGA eğrileri verilmiştir. Termogramlar sıcaklığa bağlı kütle kayıplarını belirlemek için incelenmiş ve TGA analiz sonuçları Tablo 5.5 ve 5.6’da açıklanmıştır.



Şekil 5.8. Saf ER (1), sırasıyla %10, %20 ve %30 ER/PAÇ kompozitlerinin (2-4) ve %10, %20 ve %30 ER/KÇ kompozitlerinin (5-7) TGA eğrileri

Saf epoksi ve tüm kompozitler iki bozunma süreci göstermeleriyle dikkat çekiyor (Şekil 5.8). Saf epoksi reçinenin ilk termal bozunma aşaması 125 °C’da tespit edilmiştir. Bu aşamadaki bozunma, poliaminle kürlenmiş epoksi reçinenin son hidroksil

grubunun bozunması ve olefin oluşumuna bağlı olabilir. 275 °C’da gözlenen ikinci bozunma aşamasında ise bisfenol-A grubunun bozunma gösterdiği tahmin ediliyor.

Tablo 5.5. Saf ER ve kompozitlerin TGA değerleri

Çar oranı (kütlece %)	BBS* (°C)	İBS** (°C)	T ₅ (°C)	T ₁₀ (°C)	T ₅₀ (°C)
Saf ER					
-	125	275	166	308	377
ER/plastik atık çar (PAÇ) kompozitleri					
10	100	306	200	330	380
20	98	310	265	350	-
30	98	305	270	380	-
ER/kozalak çar (KÇ) kompozitleri					
10	98	302	175	330	375
20	96	304	200	340	380
30	97	310	240	350	-

*başlangıç bozunma sıcaklığı; **ikinci bozunma sıcaklığı

T₅, T₁₀ ve T₅₀ sıcaklıkları (sırasıyla % 5, % 10 ve % 50 kütle kaybı), kompozitlerin termal kararlılığını gösteren ana göstericilerdir. Bu değerler ne kadar yüksekse, termal kararlılık da o kadar yüksek olmaktadır. Tablo 5.5’de verilen başlangıç (BBS) ve ikinci bozunma (İBS) sıcaklıkları ile T₅, T₁₀ ve T₅₀ sıcaklıkları, saf epoksinin termal kararlılığının çar ilavesi ile iyileştirildiğini göstermektedir. Kompozitlerin başlangıç bozunma sıcaklıkları saf epoksiye göre düşük olsa da, ikinci bozunma sıcaklıkları ile diğer termal değerleri daha yüksek olmuştur. Saf epoksi ve ER/çar kompozitlerinin T₅ bozunma sıcaklıkları arasındaki fark, Şekil 5.8’de verilen uygun TGA eğrilerinden de sezilebilir. Çar içerikleri % 10 ile % 30 arasında değişen PAÇ kompozitleri için T₅ değerleri 200 °C’dan 270 °C’a, KÇ kompozitleri için 175 °C’dan 240 °C’a artmıştır, saf epoksinin T₅ değeri ise 166 °C olarak belirlenmiştir. Buna ek olarak, % 50 kütle kaybının (T₅₀) sıcaklıkları da benzer bir eğilim göstermiştir.

Tablo 5.6. Katı dolgu türü ve miktarının ER/çar kompozitlerinin termal özellikleri üzerindeki etkisi

Çar (%)	Kütle kaybı (%)							Kalan kütle (%)
	200°C	300°C	350°C	400°C	450°C	BAB*	İAB**	650°C
Saf ER1								
-	6	9,70	38	77	92	7,67	90,13	0
ER/plastik atık çar (PAÇ) kompozitleri								
10	5	6,50	26	64	78	5	80,14	13
20	2,50	5,50	10	26	32,50	1,80	33,54	62
30	1,80	2,80	9	23	28	1,75	29,15	69
ER/kozalak çar (KÇ) kompozitleri								
10	5,50	8,60	22	66	78	5,09	80,34	14
20	5	8	21	62	73	4,20	75,85	16
30	2,50	2,55	10	33,55	38,50	2,55	35,16	37

* birinci aşama bozunması; ** ikinci aşama bozunması

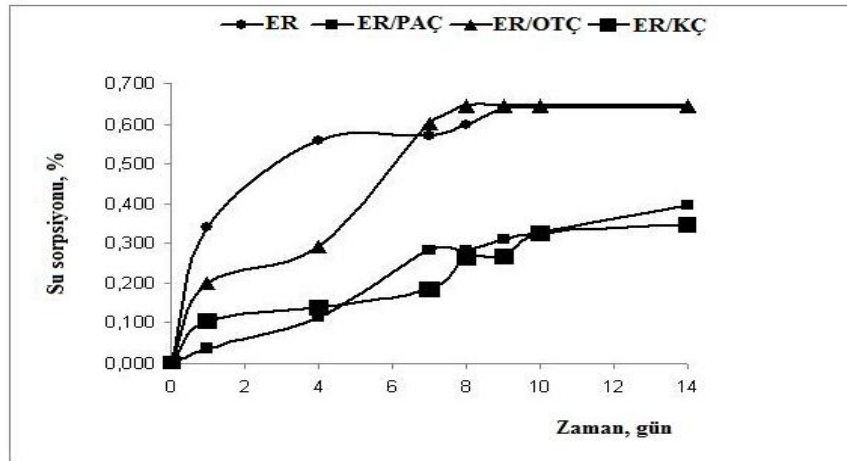
Tablo 5.6'dan görüldüğü gibi, 650 °C'da ER/çar kompozitlerinin kalıntı yüzdesi çar içeriğinin artmasıyla birlikte artmıştır. % 30 PAÇ ve KÇ içeren kompozitlerin kalıntı yüzdesi sırasıyla % 69 ve % 37'dir. Bu sonuç, çarların alev geciktirici mekanizma sergilediğini göstermektedir. Saf epoksi 650 °C'da % 0 kalıntı kütlesi gösterirken, PAÇ ve KÇ kompozitlerinin kalıntı kütleleri sırasıyla % 13-69 ve % 14-37 aralığında değer göstermektedir. Buradan çar takviyesi ile termal kararlılığın önemli derecede arttığı açıkça görülmektedir. Tablo 5.5 ve 5.6'dan görüldüğü gibi, en iyi termal sonuçlar PAÇ kompozitleri ile elde edilmiştir. Bu, çar partiküllerinin kompozitler içinde iyi dağılmasına bağlı olarak açıklanabilir.

5.3.6. Su absorplama özellikleri

Sıvı sorpsiyonu kurlenmiş epoksida kimyasal değişimler gibi mekaniksel değişimlere de yol açabilir. Epoksi reçinelerin tamamı için genellikle sıvı sorpsiyonu, şişme, e-modülde azalma, direnç kaybı, stres çatlama, kütle artımı, parlaklık kaybı ve sertlik kaybı gibi hatalara yol açar. Absorbe edilen su sadece mekanik ve termal özelliklerde bozulmalara neden olmayıp aynı zamanda metal yüzeyinde korozyonu başlatır, kaplamanın incelmesine neden oluyor, bağlayıcı ve malzeme arasındaki adhezyona zarar verir (Zhang ve ark., 2002). Formülasyonda (dolgu maddesi türü, dolgu miktarı, çapraz bağlanma derecesi ve molekülün polaritesi) meydana gelen hafif değişiklikler su absorpsiyonunda önemli farklar yaratabilir. Çeşitli saf epoksiler için su

sorpsiyon yüzdesi reçine türüne ve formülasyonuna bağlı olarak 24 saat daldırma için % 0,5-1 aralığında değişir (Licari, 2003). Epoksi yan grubuna sahip bir polimer zinciri, suyun etkilerine karşı diğer pek çok reçine sistemlerinden önemli ölçüde daha iyidir.

Çalışma boyunca, saf ER ve ER/çar kompozitlerin (kütlece % 25 dolgulu) su sorpsiyon özelliği 14 gün sürede deiyonize su içinde test edilmiştir. Şekil 5.9 gravimetrik yöntemle tayin edilen su sorpsiyonunun süreye bağlı değişimini göstermektedir.



Şekil 5.9. Saf ER ve ER/çar kompozitlerinin su sorpsiyonu grafikleri

14 günlük daldırma için saf ER'nin denge su sorpsiyonu % 0,64 olarak belirlenmiş ve bunun literatür ile karşılaştırıldığında iyi bir sonuç olduğu görülmektedir. Saf ER'nin nem difüzyonu PAÇ ve KÇ ile takviye edilmesinin sonucu olarak başlangıç değerinin 1,6 ve 1,8 kat altına düşmüştür. ER/OTÇ kompoziti ise % 0,645 su sorpsiyonu ile saf ER ile aynı dayanıklılığı göstermiştir.

6. SONUÇLAR

450°C sıcaklıkta atık plastik (PET), odun talaşı ve kozalağın piroliziyle elde edilen farklı çarlar epoksi kompozit hazırlamak için takviye olarak kullanıldı. Çarların yapısı EDX ve FTIR spektrumu ile aydınlatıldı.

Kompozit yapısında takviye elemanının miktarı kütlece % 5-30 aralığında değiştirildi. Çarların morfolojisi ve kompozitlerdeki dağılımı (kütlece % 10, % 20 ve % 30) SEM ve XRD ile incelendi. ER/PAÇ kompozitlerine göre, ER/KÇ kompozitlerinin daha fazla kesit yüzey pürüzlülüğü gösterdiği belirlendi. Saf epoksi ve çar kompozitlerinin XRD eğrilerinin, çarların epoksi sistem içinde iyi dağıldığını gösteren benzer homoloji tümseklere sahip oldukları görüldü. Ayrıca, tüm çarların keskin Bragg piklerine sahip olmadığı nedeniyle amorf oldukları da belirlendi.

Mekanik özelliklerde kompozitler arasında önemli bir fark gözlenmemiştir. OTÇ ve KÇ kompozitlerinin çekme dayanımı ve Young modülü, genellikle çar miktarı yükseldiğinde (kütlece % 15'in üzeri) yükselmiştir. Doğal maddelerden elde edilen çarlar için uygun kütle seviyesi % 25 olarak bulunmuştur. PAÇ kompozitleri için ise kritik çar seviyesinin oldukça düşük olduğu (kütlece % 15) görülmüştür. Saf epoksi ile karşılaştırıldığında kompozitlerin çekme dayanımı ve Young modülü değerleri kritik çar seviyesinde sırasıyla % 13-42 ve % 23,57-35 olarak artmıştır. Tüm kompozitlerin sertlikleri saf epoksiden yüksek bulundu.

Elektrik iletkenliği aralığına göre malzemeler iletkenler (10^4 – 10^6 S cm⁻¹), yarı iletkenler (10^2 – 10^9 S cm⁻¹) ve yalıtkanlara (10^{-22} – 10^{-14} S cm⁻¹) ayrılmışlardır. Tüm kompozitlerin yarı iletken özellikte oldukları tespit edildi. Kompozitlerin elektrik iletkenliğinin çar konsantrasyonunun artmasıyla birlikte arttığı ve 10^{-9} – 10^{-3} S cm⁻¹ aralığında değer aldığı belirlendi. PAÇ ve KÇ kompozitlerinin elektrik iletkenliği OTÇ kompozitlerine göre daha yüksek bulundu. Sıcaklığın elektriksel iletkenliğe etkisi % 25 PAÇ kompoziti örneğinde incelenerek iletkenliğin 80 °C'a kadar sıcaklık artışı ile yavaş arttığı görüldü.

Çarın takviye olarak kullanılması, saf epoksi reçinenin termal özelliklerinde belirgin bir artış ile sonuçlandı. Saf epoksi 650 °C'da % 0 kalıntı kütlesi gösterirken, PAÇ ve KÇ kompozitlerinin kalıntı kütleleri sırasıyla % 13-69 ve % 14-37 aralığında değer aldı. Bu sonuç, çarların alev geciktirici mekanizma sergilediğini gösterdi.

PAÇ ve KÇ çarları saf ER'nin nem difüzyonunu azaltmada daha etkili bulundu. Saf ER'nin nem difüzyonu, PAÇ ve KÇ ile takviye edilmesinin sonucu olarak başlangıç

değerinin 1,6 ve 1,8 kat altına düştü. ER/OTÇ ise, % 0,645 su sorpsiyonu ile saf ER ile aynı dayanıklılığı gösterdi.

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., 2008, Epoxy resin/plasticized carbon black composites. Part II. Correlation among network structure and mechanical properties, *Polymer Composites*, 29, 804-808.
- Adrados, A., De Marco, I., Caballero, M. A., Lopez B. M., Laresgoiti, A. and Torres, A., 2012, Pyrolysis of plastic packaging waste: A comparison of plastic residuals from material recovery facilities with simulated plastic waste, *Waste Management, Chemical and Environmental Engineering Department School of Engineering of Bilbao, Spain*, 32 (5), 826-832.
- Akdoğan Eker, A., 2009a, Plastiklerin başlıca kullanım alanları, http://www.yildiz.edu.tr/~akdogan/lessons/plastikmalzeme/Belgeler/PlastiklerinGenel_kullanimlari.pdf, [Ziyaret tarihi: 1 Aralık 2013]
- Akdoğan Eker, A., 2009b, Plastik malzemelerin geri kazanımı, www.yildiz.edu.tr/~akdogan/.../plastikmalzeme/Plastiklerin_Geri_Kazanimi.pdf [Ziyaret tarihi: 1 Aralık 2013]
- Akdoğan Eker, A., 2008, Seramik matrisli kompozit malzemeler ve üretimi, <http://tr.scribd.com/doc/23882398/seramik-matrisli-kompozitler>, [Ziyaret tarihi: 1 Aralık 2013]
- Alongi J., Carosio F. and Malucelli G., 2012, Flame retardant high density polyethylene optimized by on-line ultrasound extrusion, *Polymer Degradation and Stability*, 98 (1) 2153-2160.
- Anabal, F.Y., 2007, PET atıkların endüstride değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.
- Anonim 2002, Plastik ürünleri sanayi raporu, TÜBİTAK Vizyon 2023 toplantısı, Ankara, http://www.tubitak.gov.tr/tubitak_content_files/vizyon2023/mm/Ek2e.pdf [Ziyaret tarihi: 1 Aralık 2013]
- 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 2013, Dünyada ve Türkiyede plastik tüketimi, http://www.pagev.org.tr/contents_TR.asp?id=12&pid=351 [Ziyaret tarihi: 1 Aralık 2013]

- Aricasoy, O., 2006, Kompozit sektör raporu, *İstanbul Ticaret Odası*, İstanbul, 4-34.
- Athanasopoulos, N., Baltopoulos, A., Matzakou, M., Vavouliotis, A. and Kostopoulos, V., 2012, Electrical conductivity of polyurethane/MWCNT nanocomposite foams, *Polymer Composite*, 33 (8), 1302-1312.
- Austin, R. J., 2004, Synthesis and characterization of polyolefin elastomer and polypropylene based nanocomposites and their blends, Doctoral Dissertation, *Institute of Science to Queen's University*, Canada, 7- 22.
- Azeez A. A., Rhee, K. Y., Park, S. J. and Hui, D., 2012, Epoxy clay nanocomposite processing, properties and applications: A review, *Composites part b-engineering, Elsevier*, 1, (45), 308-320.
- Bal, S., 2010, Experimental study of mechanical and electrical properties of carbon nanofiber/epoxy composites, *Materials & Design*, 31, 2406-2413.
- Başar, Y. ve Savaşçı Ö.T., 1989, Katı atıklar ve bu atıklardan plastiklerin geri kazanılması, *Plastik ve Kauçuk*, 10, 18-24.
- 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.
- Cantrell, K. B., Hunt P. G., Uchimiya, M., Novak, J. M. and Ro, K. S., 2012, Impactt of pyrolysis temperature and manure source on physicochemical characteristics of biochar, *Bioresource Technology*, 107, 419-428.
- Cecen, V., Sarikanat, M., Seki, Y., Yıldız, H. and Tavman, İ.H., 2009, Polyester composites reinforced with non-crimpstitched glass fabrics. Experimental characterization of composites and investigation on the interaction between glass fiber and polyester matrix, *Polymer Composite*, 29, 262–273.
- Çelikgöğüs, Ç., 2010, Polistiren atıkların ısı-katalitik pirolizi, Yüksek Lisans Tezi, *Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.
- Çiftçiöğlü, D., 2006, UV radyasyonu ile polimer zincirlerinin kırılmasının kinetiği ve bilgisayar programı ile bu degradasyonun modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- De Marco, I., Caballero, B.M., Cabrero, M.A., Laresgoiti, M.F., Torres, A. and Chomon, M.J., 2007, *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 79, 403-408.
- Demirel, A., 2007, Karbon elyaf takviyeli epoksi kompozit malzemelerin karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.

- Diakoumakos, C. D., Mikroyannidis, J. A., Krontiras, C. A., Pisanias, M. N. and Georga, S. N., 1995, Thermosetting resins prepared from the reactions of diaminomaleonitrile with 4,4'-bismaleimidediphenylmethane and electrical conductivity measurements of the resulting materials following pyrolysis, *European Polymer Journal*, 31, 1057-1066.
- Duba, A.G., 1977, Electrical conductivity of coal and coal char, *Fuel Fuel Processing Technology*, 56, 441-443.
- Dzieciol, M. and Trzeszczynski J., 1998, Volatile products of poly(ethylene terephthalate), *Journal of Applied Polymer Science*, 69 (12), 2377-2381.
- Eghlimi, A., Lu L., Sahajwalla, V. and Haris, D., 1999, Modelling of char combustion based on the structure of char particles, *2nd International Conference in the Minerals and Process*, Australia.
- Ellis, B., 1993, Chemistry and technology of epoxy resins, *Blackie Academic and Professional*, UK, 332.
- Eraslan, İ. H., Karataş, A. ve Kaya, H., 2007, Türk Plastik Sektörünün Rekabetçilik Analizi, *İstanbul Ticaret Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 11, 203-219.
- Erickson, K. L., 2007, Thermal decomposition mechanisms common to polyurethane, epoxy, poly(diallyl phthalate), polycarbonate and poly(phenylene sulfide), *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 89 (2), 427-440.
- Feng, B. and Bhatia, S.K., 1999, Variation of electrical resistivity of coal char during gasification, *24th Biennial Conference on Carbon*, USA, 228-229.
- Foulger, S.H., 1999, Electrical properties of composites in the vicinity of the percolation threshold, *Journal of Applied Polymer Science*, 72 (12), 1573-1582.
- Fusco, G., Tagliaferro, A., Milne, W. I. and Robertson, J., 1997, Paramagnetic centres in tetrahedral amorphous carbon, *Diamond and Related Materials*, 6, 783-786.
- Gil, M.V., Feroso J., Pevida, C., Pis, J.J. and Rubiera, F., 2010, Intrinsic char reactivity of plastic waste (PET) during CO₂ gasification, *Fuel Processing Technology*, 91, 1776-1781.
- Goodman, B. J. and Walter, D. ,K., 1991, Opportunities for energy from municipal waste technology, *Energy source*, 13, 179-188.
- Grassie, N., Guy M. I. and Tennent N. H., 1986, Degradation of epoxy polymers: part 4-thermal degradation of bisphenol-A diglycidyl ether cured with ethylene diamine, *Polymer Degradation and Stability*, 14 (2), 125-134.
- Gu, J., Wu G., and Zhao, X., 2009, Effect of surface-modification on the dynamic behaviors of fly ash cenospheres filled epoxy composites, *Polymer Composites*, 30 (2), 232-238.

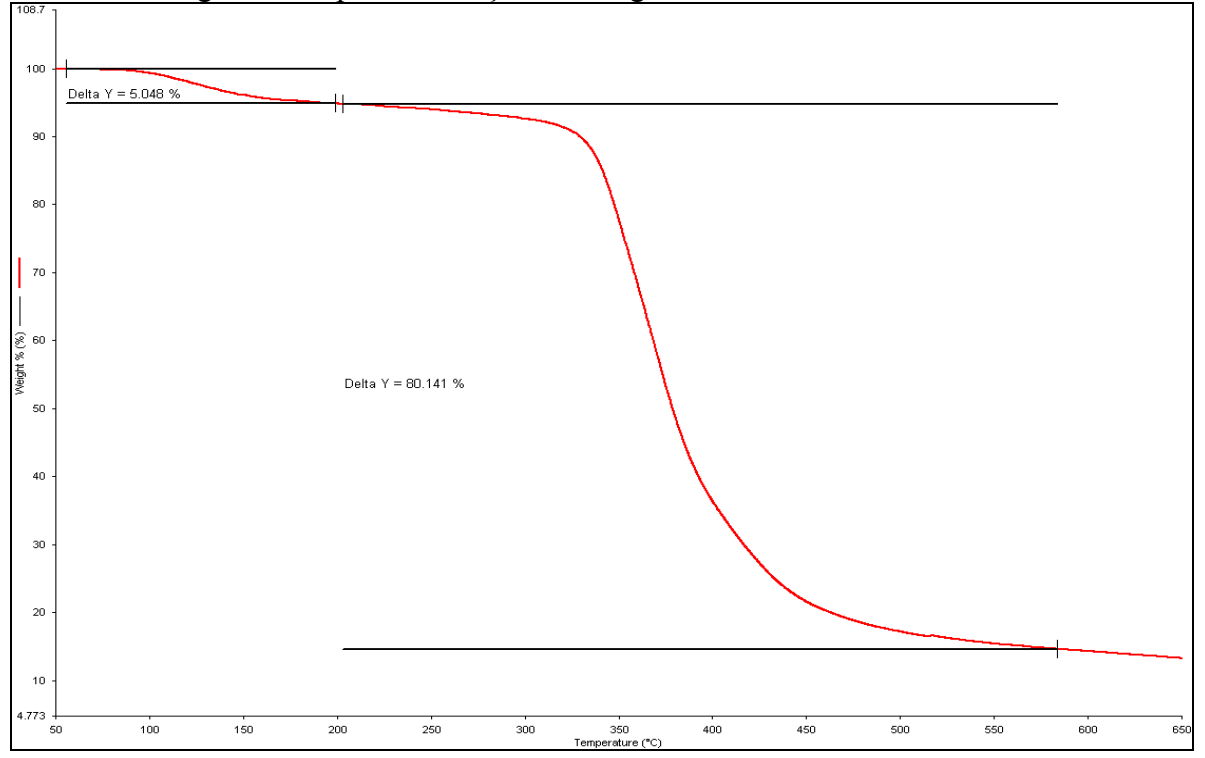
- Gullon, M., 2001, Kinetic model for the pyrolysis and combustion of poly-(ethylene terephthalate) (PET), *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 58, 635-650.
- Guo, Y. and Bustin, R. M., 1998, FTIR spectroscopy and reflectance of modern char coals and fungal decayed woods: implications for studies of inertinite in coals, *International Journal of Coal Geology*, 37 (1-2), 29–53.
- Hanaoka, T., Sakanishi K. and Okumura, Y., 2012, The effect of N₂/CO₂/O₂ content and pressure on characteristics and CO₂ gasification behavior of biomass-derived char, *Fuel Processing Technology*, 104, 287-294.
- Hanoğlu, C., Sağlam, M., Yüksel, M. ve Ballice, L., 1995, Plastik atıkların geri kazanılması, *Ekoloji çevre dergisi*, 15, 20-21.
- Haque, A., Mina, F., A. Moshikul, K.M., Rahman, J., Bhuiyan, A. H. and Asano, T., 2012, Multiwalled carbon nanotubes-reinforced isotactic polypropylene nanocomposites: Enhancement of crystallization and mechanical, thermal, and electrical properties, *Polymer Composites*, 33, 1094-1104.
- Haris, B., 1986, Engineering composite materials, *The Institute of Metals*, London.
- Hashim, A.M., 2009, Semiconductor materials, *Technology Reports*, Review on SEE 2063.
- Huang, J. C., Zhu, Z. K., Ma, X. D., Qian, X. F. and Yin, J., 2001, Preparation and properties of montmorillonite/organo-soluble polyimide hybrid materials prepared by a one-step approach, *Journal of Material Science*, 36 (4), 871-877.
- Ikura, M., Stanciulescu, M.F. and Kelly, J., 1999, Short contact time thermal cracking of carbonaceous wastes to alpha olefines, *Jornal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 51, 89-105.
- Işık, F., 2005, Nanocomposites based on blends of polyethylene, Doktora Tezi, *Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 7-41.
- İyim, T. B., 1996, Polietilen tereftalat atıkların veya ara ürünlerin fenolik reçinelerde ya da poliüretanlarda kullanımı, Doktora Tezi, *İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Jung, S. H., Kang, B. S. and Kim, J. S., 2008, Production of bio-oil from rice straw and bamboo sawdust under various reaction conditions in a fast pyrolysis plant equipped with a fluidized bed and a char separation system, *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 82, 240–247.
- Kaminsky, W. and Kim, J. S., 1999, Pyrolysis of mixed plastics into aromatics, *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 51, 127-134.

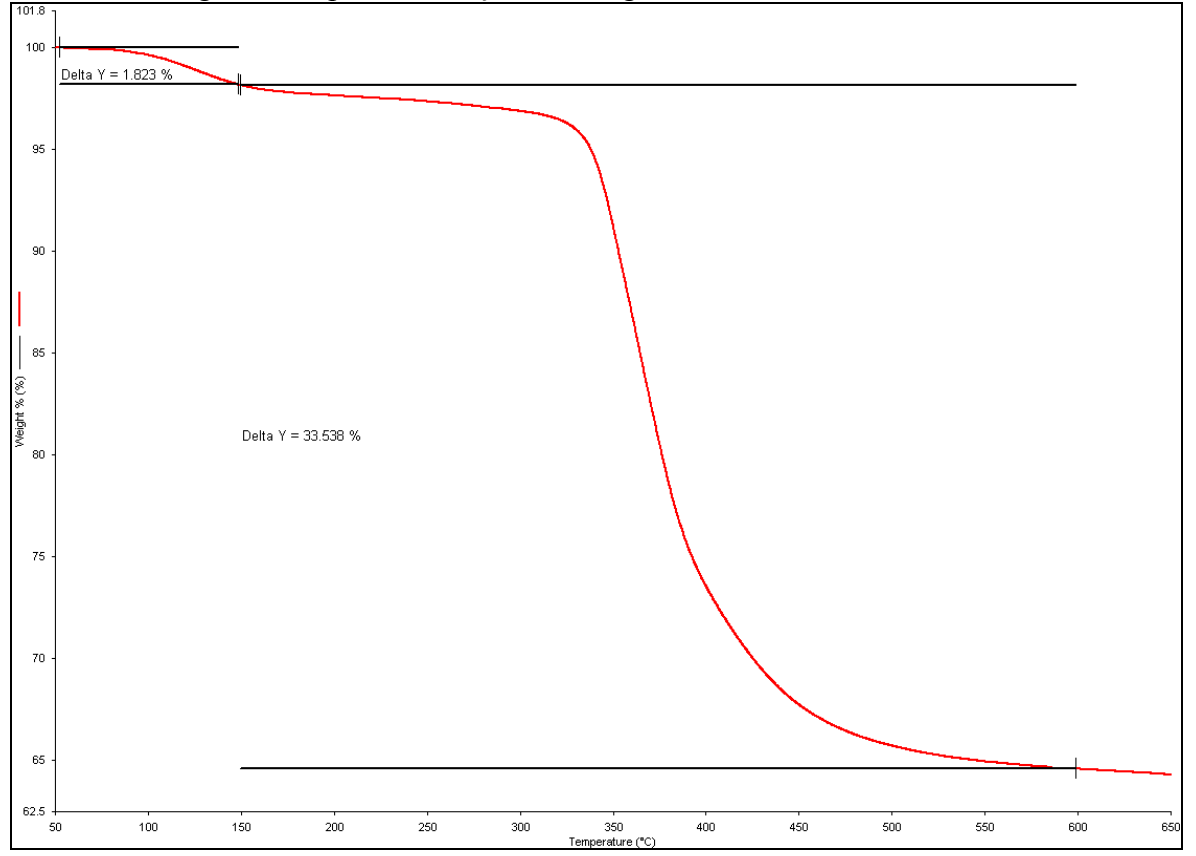
- Kan, A., 2007, Isıl işlem yöntemiyle modifiye edilmiş atık EPS köpüklerin beton agregası olarak kullanılabilirliğinin araştırılması, Doktora Tezi, *Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Erzurum, 1-2.
- Kangallı, E., 2007, Polietilen atıklardan elde edilmiş piroliz sıvısının polimerizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, *Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 5-12.
- Karaduman, A., 1998, Plastik atıkların geri kazanımının araştırılması, Doktora tezi, *Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.
- Karagöz, S., Yanık, J., Uçar, S., Sağlam, M. and Song, C., 2003, Catalytic and thermal degradation of high-density polyethylene in vacuum gas over non-acidic and acidic catalysts, *Applied Catalysis A*, 242, 51-62.
- Karayıldırım, T., Yanık, J., Uçar, S., Sağlam, M. and Yüksel, M., 2001, Conversion of plastics/HVGO mixtures of fuels by two-step processing, *Fuel Processing Technology*, 73, 23-35.
- Kaya, F., 1983, Plastikler: Katkı Maddeleri ve İşleme Metotları, *Kipaş*, İstanbul.
- Kennedy, L.J., Vijaya, J.J. and Sekaran, G., 2005, Electrical conductivity study of porous carbon composite derived from rice husk, *Materials Chemistry and Physics*, 91, 471-476.
- Laresgoiti, M.F., Caballero, B.M., De Marco, I., Torres, A., Cabrero, M.A. and Chomon, M.J., 2004, Characterization of the liquid products obtained in tyre pyrolysis, *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 71 (2), 917-934.
- Leng, L.Y., Husni, M.H.A. and Samsuri, A.W., 2011, Comparison of the carbon-sequestering abilities of pineapple leaf residue chars produced by controlled combustion and by field burning, *Bioresource Technology*, 102 (22), 10759-10762.
- 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.
- Manabe, T., Ohata, M., Yoshizawa, Sh., Nakajima, D., Goto, S., Uchida, K. and Yajima, H., 2007, Effect of carbonization temperature on the physicochemical structure of wood charcoal, *Transactions of the Materials Research Society of Japan*, 32, 1035-1038.
- May, C. A. and Tanaka, G.Y., 1973, Epoxy resins chemistry and technology, 2nd ed., *Marcel Dekker, Inc.*: New York,
- McBeath, A. V. and Smernik, R. J., 2009, Variation in the degree of aromatic condensation of chars, *Organic Geochemistry*, 40 (12), 1161-1168.

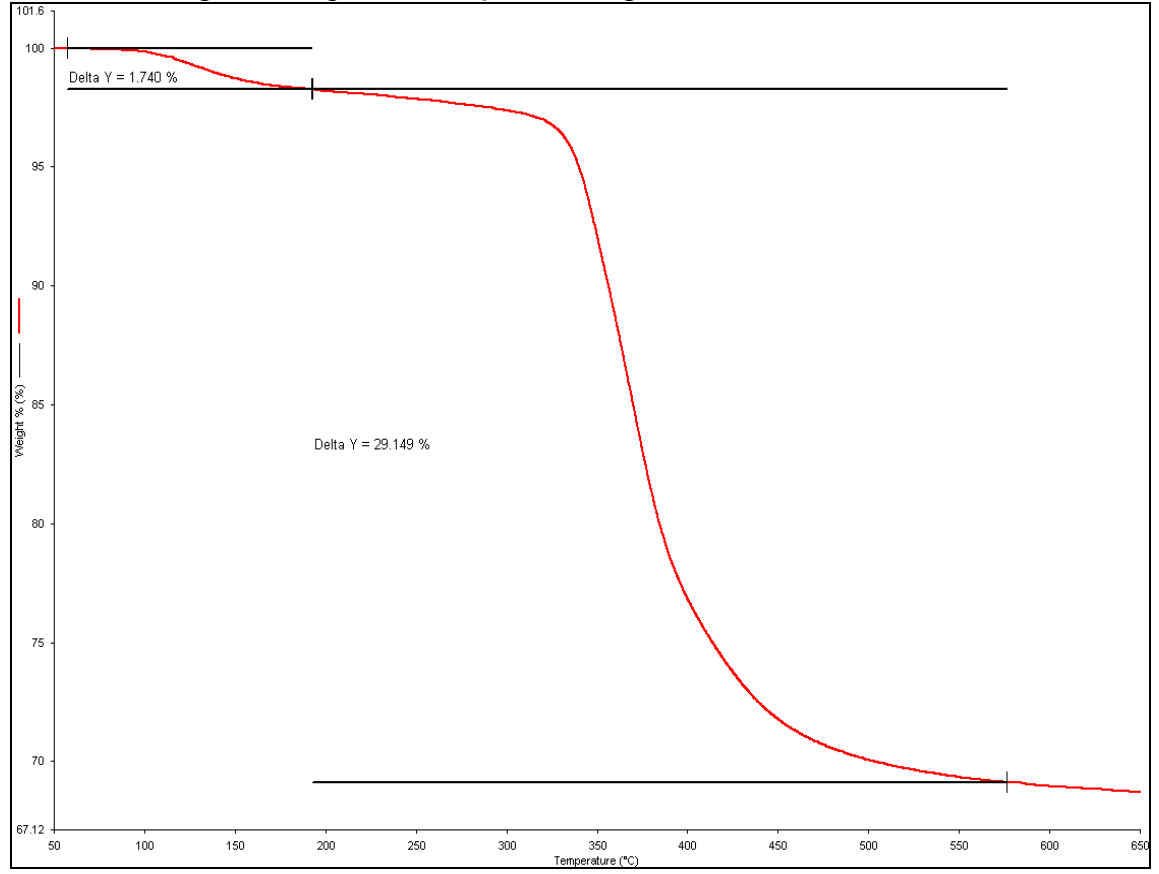
- Nishimiya, K., Hata T. and Ishihara, S. 1995, Mechanism and clarification of electrical conduction through wood charcoal, *Wood Research*, 82, 34–36.
- Novak, I., Krupa, I. and Chodak, I., 2003, Analysis of correlation between percolation concentration and elongation at break in filled electroconductive epoxy-based adhesives, *European Polymer Journal*, 39 (3), 585-592.
- Onu, P., Vasile, C., Ciocilteu, S., Iojoiu, E. and Darie, H, 1999, Thermal and catalytic decomposition of polyethylene and polypropilene, *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 49, 145-153.
- Öksüz, M. and Yıldırım, H., 2005, Effect of calcium carbonate on the mechanical and thermal properties of isotactic polypropylene/ethylene vinyl acetate blend, *Journal of Applied Polymer Science*, 96 (4), 1126-1137.
- Özaytekin I. and Kar, Y., 2012, Synthesis and properties of composites of oligoazomethine with char, *Journal of Applied Polymer Science*, 123 (2), 815-823.
- Özkoç, G., Bayram, G. and Tiesnitsch, J., 2008, Microcompounding of ABS/PA6 blend-based nanocomposites, *Polymer Composite*, 29 (4), 345-356.
- Paglicawan, M. A., Kim, J. K. and Bang, D.-S., 2010, Dispersion of multiwalled carbon nanotubes in thermoplastic elastomer gels: Morphological, rheological, and electrical properties, *Polymer Composite*, 31 (2), 210-217.
- Pantea, D., Darmstadt, H., Kaliaguine, S. and Roy, C., 2003, Heat-treatment of carbon blacks obtained by pyrolysis of used tires. Effect on the surface chemistry, porosity and electrical conductivity, *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 67, 55-76.
- Robertson, J., 1991, Hard amorphous diamond-like carbons, *Progress in Solid State Chemistry*, 21, 199-333.
- Saçak, M., 2005, Polimer teknolojisi, *Baran Ofset*, Ankara.
- Sayman, O., Aksoy, S., 1978, Kompozit malzemeler, *Ege Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Yayınları*, İzmir, 20-23.
- Sevencan, F. ve Vaizoğlu, S., 2007, PET ve geri dönüşümü, *TSK Koruyucu Hekim Bülteni*, 6 (4), 307-312.
- Schirmer, J., Kim, J.S. and Klemm, E., 2001, Catalytic degradation of polyethylene using thermal gravimetric analysis and a cyclod-spheres-reactor, *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 60 (2), 205-217.
- Singh, B. and Sharma, N., 2008, Mechanistic implications of plastic degradation, *Polymer Degradation and Stability*, 93 (3), 561-584.

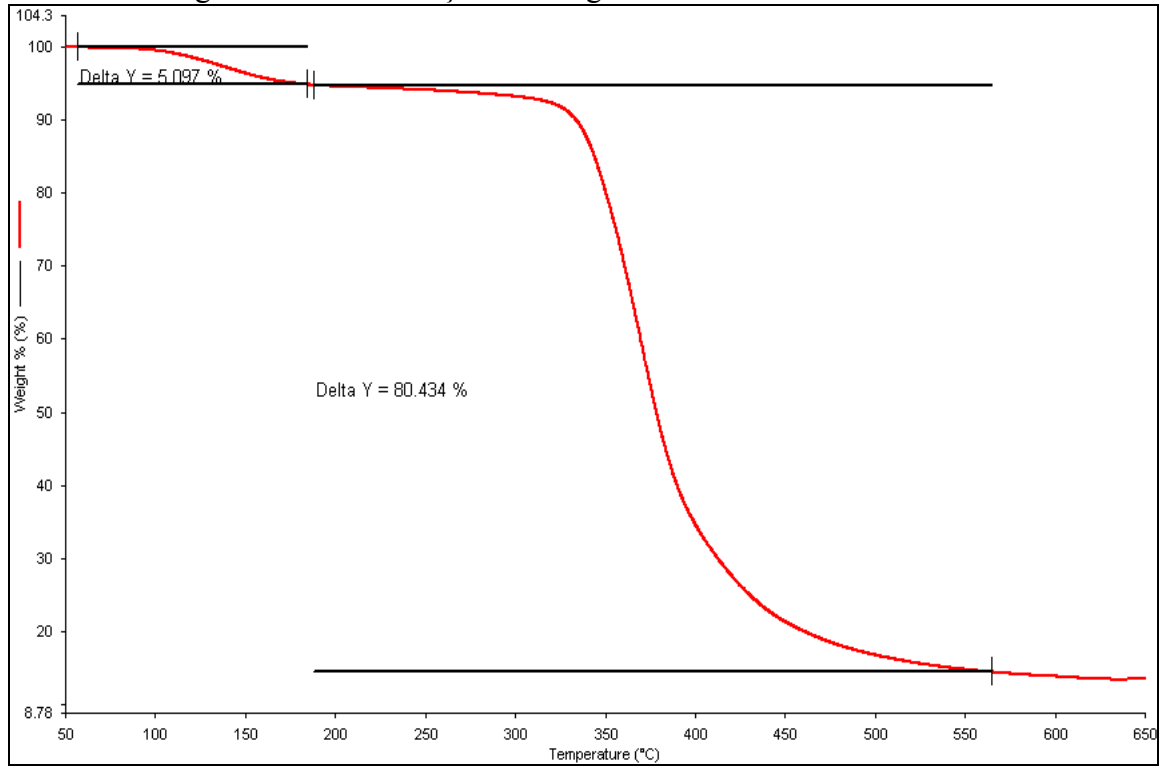
- Subramanian, P. M., 2000, Plastic recycling and waste management in the U.S., *Resources, Conservation and Recycling*, 28 (3-4), 253-263.
- Suebsaeng, T., Wilkie, C. A., Burger, V. T., Carter, J. and Brown, C. E., 1984, Friedel-Crafts catalysis of polyaromatic char formation during pyrolysis of poly(ethylene terephthalate) and poly(1,4-butylene terephthalate), *Journal of Polymer Science: Polymer Letters Edition*, 22 (12), 625-634.
- Sutikno, M., Marwoto P. and Rustad, S., 2010, The mechanical properties of carbonized coconut char powder-based friction materials, *Carbon*, 48 (12), 3616-3620.
- Stasey, F.B., 2008, in: A. Nilsson, G.M.L. Pettersson, J.K. Norskov (Eds), Chemical bonding at surfaces and interfaces, Chapter 5, *Elsevier*, USA.
- Şahin, Y., 2000, Kompozit malzemelere giriş, *Gazi Kitabevi*, Ankara, 32-40.
- Şensöz, S., 2003, Slow pyrolysis of wood barks from *Pinus brutia* Ten and product compositions, *Bioresource Technology*, 89 (3), 307–311.
- Tayyar, A.E. ve Üstün, S., 2010, Geri kazanılmış PET'in kullanımı, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 16 (1), 53-62.
- Tan, E., TaraKÇılar, A.R., Yurtseven, R., 2009, Plastik geri kazanımları ve plastik atıklardan plastik üretim teknolojileri, <http://www.yayalar.net/index.html>
- Tavlı, A., 2004, Mineral dolguların polipropilen/elastomer kompozitlerine etkileri, Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri enstitüsü*, İstanbul, 23-26.
- Troitzsch, J., 2004, *Plastics Flammability Handbook*, *Hanser Publications*, Germany.
- Tsai, T. Y., Wu, Y. J. and Hsu, F J., 2008, Synthesis and properties of epoxy/layered zirconium phosphonate (Zr-P) nanocomposites, *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 69 (5-6), 1379-1382.
- Tsotra, P. and Friedrich, K., 2003, Electrical and mechanical properties of functionally graded epoxy-resin/carbon fibre composites, *Composite Part A*, 34 (1), 75-82.
- Vilcakova, J., Saha, J.P. and Quadrat, O., 2002, Electrical conductivity of carbon fibres/polyester resin composites in the percolation threshold region, *European Polymer Journal*, 38 (12), 2343–2347.
- Wang, Z., Cao, J. and Wang, J., 2009, Pyrolytic characteristics of pine wood in a slowly heating and gas sweeping fixed-bed reactor, *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 84 (2), 179-184.
- Winsley, P., 2007, Biochar and bioenergy production for climate change mitigation, *New Zealand Science Review*, 64 (1), 5-10.

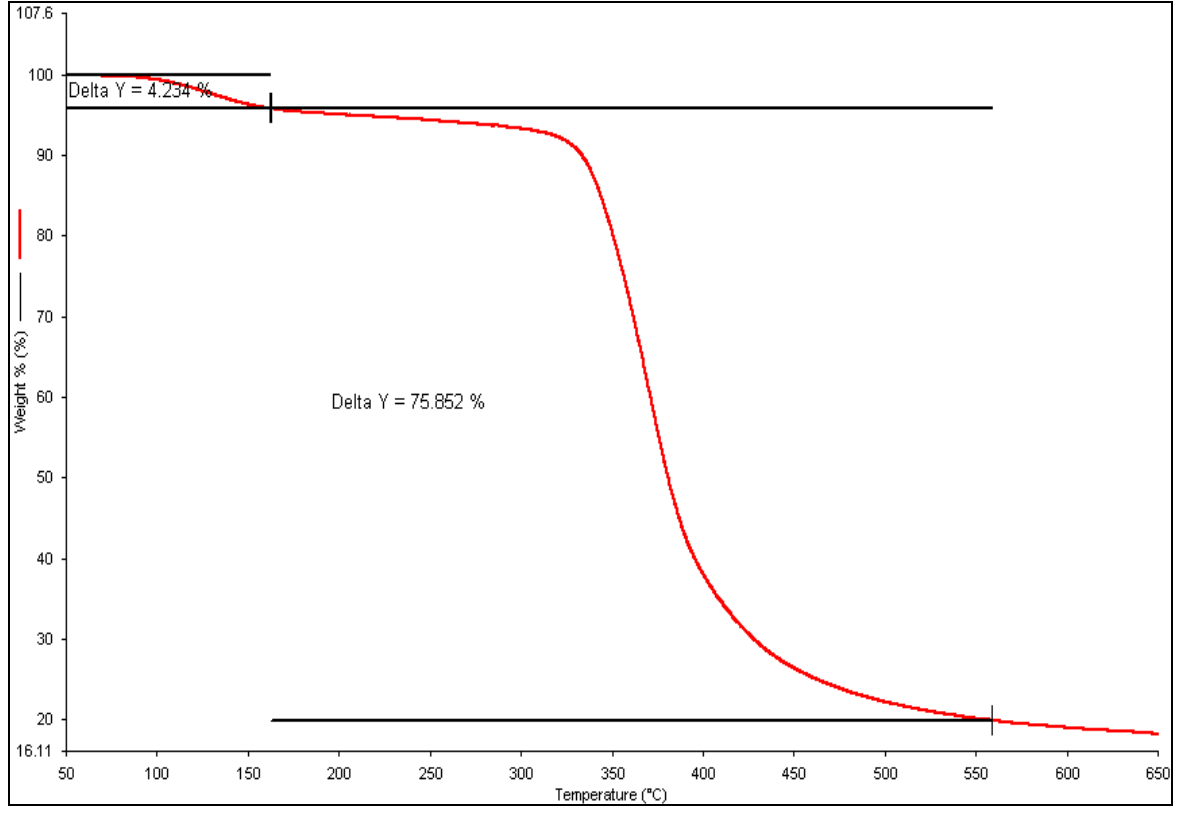
- Yakaboylu, O., İşler, A. ve Karaosmanoğlu, F., 2011, *Atık Sempozyumu*, Antalya.
- Yang, Ch., Lishan, J. L., Sh. Shuai, Su, Tian, Z., Song, F. W., Chen, Ch. and Liu, G., 2012, Utilization of CO₂ and biomass char derived from pyrolysis of *Dunaliella salina*: The effects of steam and catalyst on CO and H₂ gas production, *Bioresource Technology*, 110, 676-681.
- Yasmin, A., Daniel, I. M., 2004, Mechanical and thermal properties of graphite platelet/epoxy composites, *Polymer*, 45 (24), 8211–8219.
- Yoshioka, T., Handa, T., Grause, G., Lei, Z., Inomata, H., Mizoguchi, T., 2005, Effects of metal oxides on the pyrolysis of poly(ethylene terephthalate), *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 73, 139-144.
- Zabaniotou, A. A., Roussos, A. I. and Koroneos, C. J., 2000, A laboratory study of cotton gin waste pyrolysis, *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 56, 47-59.
- 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.

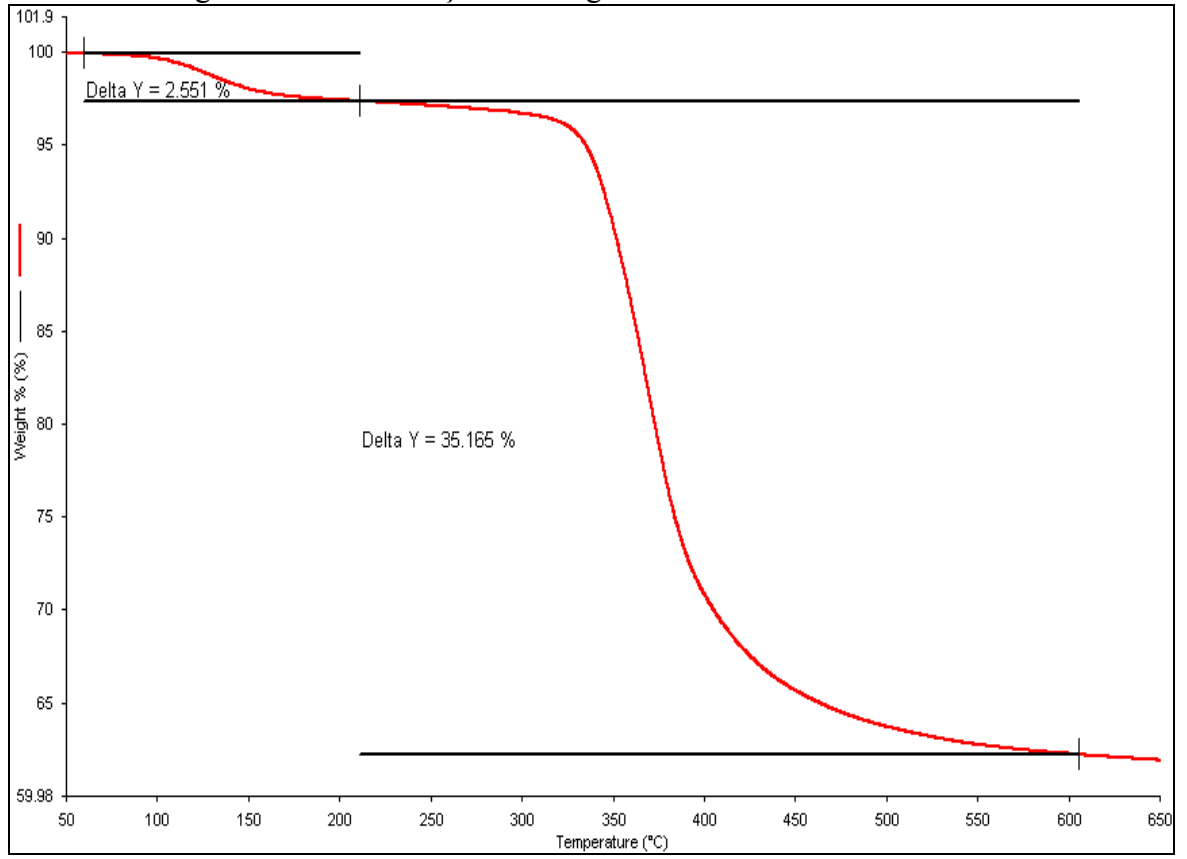
EKLER**EK-1** Matrise göre % 10 plastik atık çarı TGA eğrisi

EK-2 Matrise göre %20 plastik atık çarı TGA eğrisi

EK-3 Matrise göre %30 plastik atık çarı TGA eğrisi

EK-4 Matrise göre % 10 kozalak çarı TGA eğrisi

EK-5 Matrise göre % 20 kozalak çarı TGA eğrisi

EK-6 Matrise göre % 30 kozalak çarı TGA eğrisi

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Pınar BOZKURT
Uyruğu : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : Nazilli 1989
Telefon : 0555 298 76 46
Faks :
e-mail : pinarbozkurt09@gmail.com

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Nazilli Anadolu Lisesi, Nazilli, Aydın	2007
ÜniVersite	: Selçuk Üniversitesi, Selçuklu, Konya	2011
Yüksek Lisans	: Selçuk Üniversitesi, Selçuklu, Konya	2013

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
-----	-------	--------

UZMANLIK ALANI

YABANCI DİLLER: İngilizce

YAYINLAR

Ahmetli, G., Kocaman, S., Ozaytekin, I., Bozkurt, P., 2013, “Epoxy Composites Based on InexpensiVe Çar Filler Obtained From Plastic Waste and Natural Resources”, *Polymer Composites*, 34, 4, 500-509. (YL Tezinden Üretilmiştir).