

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

**KİL TAKVİYELİ ALÇAK YOĞUNLUKLU POLİETİLEN
KOMPOZİT ÜRETİMİ VE MEKANİK
ÖZELLİKLERİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mustafa Türker UZUN

Enstitü Anabilim Dalı : İMALAT MÜHENDİSLİĞİ

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Uğur SOY

Mayıs 2017

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

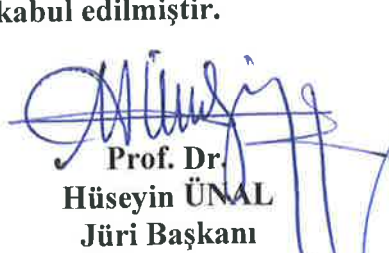
KİL TAKVİYELİ ALÇAK YOĞUNLUKLU
POLİETİLEN KOMPOZİT ÜRETİMİ VE MEKANİK
ÖZELLİKLERİN İNCELENMESİ

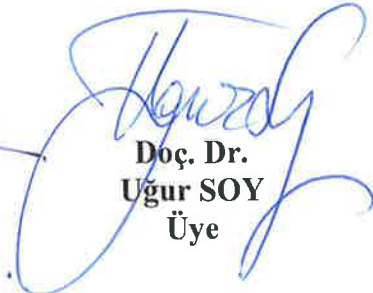
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mustafa Türker UZUN

Enstitü Anabilim Dalı : İMALAT MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 29.05.2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.


Prof. Dr.
Hüseyin ÜNAL
Jüri Başkanı


Doç. Dr.
Uğur SOY
Üye


Yrd. Doç. Dr.
Salih Hakan YETGİN
Üye

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Mustafa Türker UZUN

29.05.2017

TEŞEKKÜR

Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İmalat Mühendisliği Anabilim Dalında gerçekleştirilen bu çalışmada, kil takviyeli alçak yoğunluklu polietilen kompozit üretimi ve mekanik özelliklerin incelenmesi amaçlanmaktadır. Yüksek lisans tez çalışması boyunca değerli fikir ve tavsiyelerini esirgemeyen ve bana yardımcı olan yüksek lisans tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Uğur SOY'a teşekkürlerimi arz ederim. Bu yüksek lisans tezim boyunca üretim aşamasında Dumlupınar Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü öğretim üyesi Sayın Prof. Dr. Mustafa AYDIN'a ve Sayın Arş. Gör. Dr. Ferhat YILDIRIM'a, Simav Teknoloji Fakültesi'ndeki Sayın Yrd. Doç. Dr. Salih Hakan YETGİN'e ve EMEK Plastik Enjeksiyon Firması'na değerli katkılarından dolayı teşekkür ederim. Cihazlarımı kullanma fırsatı veren SAGEM Ev Aletleri Tasarım ve Üretim Otomotiv San. Tic. Ltd. Şti. sahibi Tanju GENÇTÜRK'e ve tasarım uzmanı Ali DAŞDAN'a teşekkür ederim. Cihazlarımı kullanma fırsatı veren ve yardımlarını esirgemeyen Zwick Avrasya Malzeme Test Sistemleri San. ve Tic. Ltd. Şti.'ne ve çalışanlarına teşekkür ederim. Tezimin başlangıcından sonuna kadar geçen sürede hem maddi hem de manevi anlamda bana destek olan anneme ve babama da teşekkürlerimi arz ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vi
TABLolar LİSTESİ	ix
ÖZET	x
SUMMARY.....	xi

BÖLÜM 1.

GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı.....	2
1.2. Literatür Taraması.....	3

BÖLÜM 2.

KOMPOZİT MALZEMELER	37
2.1. Giriş	37
2.2. Kompozitlerin Sınıflandırılması	38
2.3. Kompozitlerin Üretim Yöntemleri	43
2.4. Kompozitlerin Kullanım Alanları	43
2.5. Kompozit Malzemelerin Avantajları ve Dezavantajları	45
2.6. Kompozit Malzemenin Kullanım Alanlarının Gelişimi	49
2.7. Polimer Malzemeler	55
2.7.1. Polimerlerin sınıflandırılması	56
2.7.2. Polimerlerin molekül ağırlık kavramı	58
2.8. Polietilen	61
2.8.1. Alçak yoğunluklu polietilen (AYPE)	62

2.8.2. Lineer alçak yoğunluklu polietilen (LAYPE)	62
2.8.3. Yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE)	63
2.9. Kil Esaslı Malzemeler	63
2.9.1. Kaolinler	66
2.9.2. Bentonitler	69
BÖLÜM 3.	
DENEYSEL ÇALIŞMALAR	77
3.1. Çalışma Planı	77
3.2. Kullanılan Malzemeler	79
3.2.1. Matriks malzeme	79
3.2.2. Takviye malzeme	81
3.3. Ekstruderde Kompozit Birleşim Eldesi	85
3.4. Kompozit Tanelerinden Enjeksiyonla Plaka Üretimi	87
3.5. Kompozit Plakaların CNC’de İşlenmesi	88
3.6. Mekanik Testler	90
3.6.1. Çekme testi	91
3.6.2. Eğme testi	93
3.6.3. Sertlik testi	94
3.7. Fiziksel Testler	95
3.7.1. Arşimet prensibi yöntemiyle yoğunluk testi	95
3.7.2. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) analizi	96
BÖLÜM 4.	
DENEYSEL SONUÇLAR	98
4.1. Çekme Testi Sonuçları	98
4.2. Eğme Testi Sonuçları	102
4.3. Sertlik Testi Sonuçları	105
4.4. Yoğunluk Testi Sonuçları	107
4.5. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM-EDS) Analizi	108

BÖLÜM 5.	
GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER	111
5.1. Sonuçlar	111
5.2. Öneriler	112
KAYNAKLAR	113
ÖZGEÇMİŞ	123

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

°C	: Santigrad
µm	: Mikrometre
ADAB	: Dimetilamonyum bromür
ASTM	: Amerikan test ve malzeme topluluğu
AYPE	: düşük yoğunluklu polietilen
B	: Bor
Ca	: Kalsiyum
CNC	: Bilgisayar sayımlı yönetim
CTAB	: doğal sodyum kili
DSC	: Diferansiyel taramalı kalorimetre
GPC	: Jel geçirgenlik kromatografi
KKK	: Karbon – Karbon Kompozitler
LAYPE	: Lineer alçak yoğunluklu polietilen
MMK	: Metal matriksli kompozit
MMT	: Montmollonit
MPa	: Mega paskal
MWNT	: Çok duyarlı karbon nanotüp
Na	: Sodyum
NK	: Nano Kompozitler
PA 6	: Poliamid 6
PE	: Polietilen
PET	: Polietilen teraftalat
PMK	: Polimer matriksli kompozit
PMMA	: Polimetakrilamit
PU	: Poliüretan
PVC	: Polivinil klorür

Rpm	: dakikadaki dönme sayısı
SEM	: Taramalı elektron mikroskobu
SM	: Modifiye edilmiş
SMK	: Seramik matriksli kompozit
TEM	: Geçirimli elektron mikroskobu
TGA	: Termal analiz yöntemi
X500	: 500 büyütme
XRD	: X-ışını kırınımı analizi
YYPE	: Yüksek yoğunluklu polietilen

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Montmorillonit-epoksi nanokompozitlerin çekme mukavemeti	4
Şekil 1.2. Naylon 6 – Nanokil nanokompozitin gerilim-gerinim grafiği	5
Şekil 1.3. grafit oranının çekme mukavemetine etkisi	6
Şekil 1.4. EPDM/HNT nanokompozitlerin çekme mukavemet grafiği	7
Şekil 1.5. Nano selüloz oranının PVA nanokompozitin çekme dayanımına etkisi	8
Şekil 1.6. Nanokatki oranına göre çekme mukavemetindeki değişim	11
Şekil 1.7. Micro-Nano katkılı epoksi kompozitlerin çekme mukavemeti	12
Şekil 1.8. Polimerik nanokompozitlerin çekme mukavemeti grafiği	14
Şekil 1.9. Grafit ve kil takviyeli polimerin nanokompozitler	16
Şekil 1.10. İki farklı tip kil takviyeli polimerin nanokompozit	16
Şekil 1.11. Isıl iletim katsayısının tanecik içeriğiyle değişimi	17
Şekil 1.12. Ekstrüde YYPE'nin 1.E-2 ve 1.E-3 1/s gerinim hızlarda deneysel tek eksenli çekme gerilme-gerinim eğrisi karşılaştırılması	19
Şekil 1.13. Ekstruder ve basınçta kalıplanmış YYPE'nin 1.E-2 1/s gerinim hızında deneysel tek eksenli çekme gerilme-gerinim eğrisi karşılaştırılması	19
Şekil 1.14. Ekstruder ve basınçta kalıplanmış YYPE'nin 1.E-3 1/s gerinim hızında deneysel tek eksenli çekme gerilme-gerinim eğrisi karşılaştırılması	20
Şekil 1.15. Kum/AYPE kompozit malzemenin a) Eğme mukavemeti ve Young modülünü b) Yoğunluk ve sertlik dolgu içeriğinebağlı olarak değişimleri	22
Şekil 1.16. Mekanik özelliklerinin grafiği	30
Şekil 2.1. Kopolimer yapıları	57
Şekil 2.2. Polimerlerin molekül yapıları	58

Şekil 2.3. Polimerlerde molekül ağırlığı dağılımı	60
Şekil 2.4. Etilenin polimerizasyonu	61
Şekil 2.5. Farklı polietilen türlerine ait molekül yapıları	61
Şekil 2.6. Türkiyede kaolin üretim, tüketim ve ihracatı	67
Şekil 2.7. Bentonitlerin su ile temas ettiklerinde yapılarında oluşan değişim	72
Şekil 2.8. Bentonitlerin kullanım alanları	74
Şekil 2.9. Türkiye’de bentonit yatakları	75
Şekil 3.1. Deneysel çalışma üretim akış şeması	77
Şekil 3.2. Polietilenin farklı zincir ve molekül yapıları	80
Şekil 3.3. Kullanılan alçak yoğunluklu polietilen granülleri	81
Şekil 3.4. Bentonit tozunun kristal (oktahedral) yapısı	82
Şekil 3.5. Kullanılan bentonit tozu	83
Şekil 3.6. Bentonit tozu XRD analisi sonucu	83
Şekil 3.7. Bentonit tozu tane boyut dağılım grafiği	84
Şekil 3.8. Kompozit eldesi için a) karışım işlemi b) tartım işlemi	85
Şekil 3.9. Ekstruder cihazında kompozit birleşim eldesi	86
Şekil 3.10. Kırıcı cihazında kırılan kompozit taneler	86
Şekil 3.11. Kompozit tanelerinin yüzde karışım oranlarına göre paketlenmesi	87
Şekil 3.12. Enjeksiyon cihazından çıkan kompozit plakaların gösterimi	87
Şekil 3.13. Enjeksiyon cihazı kısımları	88
Şekil 3.14. CNC’de kompozit plakaların işlenmeden önceki aşamaları	89
Şekil 3.15. CNC cihazının bölümleri	89
Şekil 3.16. Autocad’de çizilen çekme ve eğme testi boyutları	90
Şekil 3.17. CNC’de işlenen kompozit plaka	90
Şekil 3.18. Çekme cihazı ve numune bağlama çeneleri	93
Şekil 3.19. Eğme cihazı ve numune bağlama çeneleri	94
Şekil 3.20. Shore D sertlik testi cihazı	95
Şekil 3.21. Arşimet terazisi	96
Şekil 3.22. SEM cihazı	97
Şekil 3.23. Altın kaplama cihazı	97
Şekil 4.1. Akma mukavemeti grafiği	98
Şekil 4.2. Çekme mukavemeti grafiği	99

Şekil 4.3. Elastiklik modülü grafiği	100
Şekil 4.4. %Uzama grafiği	101
Şekil 4.5. Eğme mukavemeti grafiği	103
Şekil 4.6. Elastiklik modülü grafiği	103
Şekil 4.7. % Çökme/sehim grafiği	104
Şekil 4.8. Sertlik testi sonuçlarının dağılım grafiği	106
Şekil 4.9. Yoğunluk değerlerinin dağılım grafiği	108
Şekil 4.10. SEM görüntüleri a)AYPE ,b)%1 bentonit ,c)%2 bentonit , d)%4 bentonit ,e)%6 bentonit ,f)%8 bentonit ,g)%10 bentonit ,h)SEM EDS analiz resmi ,ı)1. Nokta EDS analiz diyagram ve i) 2. Nokta EDS analiz diyagramı	110

TABLolar LİSTESİ

Tablo 1.1. PS – Nanokompozitlerin çekme değerleri	7
Tablo 1.2. SWCNTs/epoksi nanokompozitlerin çekme mukavemeti değerleri	9
Tablo 1.3. DeneYlerde kullanılan malzemeler ve çekme mukavemeti değerleri ...	10
Tablo 1.4. PVDF/Nanokil kompozitlerin çekme mukavemeti değerleri	10
Tablo 1.5. PMMA/Nanokompozitler ve çekme mukavemeti değerleri	13
Tablo 1.6. Kum/AYPE kompozitin mekanik ve fiziksel özellikleri	21
Tablo 1.7. Geri dönüştürülmüş YYPE'in DSC ve IR testleri değerlendirme sonuçları	23
Tablo 1.8. Geri dönüşüm sürecinde üretilen boruların çekme deneyi sonuçları ...	24
Tablo 1.9. Polipirol/kil kompozitlerin termal özellikleri	27
Tablo 1.10. Poliakrilonitril /kil kompozitlerin termal özellikleri	27
Tablo 1.11. Memranların yüzde oranları	28
Tablo 1.12. Memranların mekanik özellikleri	28
Tablo 1.13. Literatür çalışmalarının özet tablosu	33
Tablo 2.1. Kompozit malzemelerin üretim yöntemleri	43
Tablo 2.2. Polimer kompozit malzemeler ile diğer malzeme gruplarının mekanik özellikleri	46
Tablo 2.3. Türkiye kaolin rezervleri	67
Tablo 2.4. Bentonit kimyasal bileşenleri	71
Tablo 2.5. Türkiye'de üretilen bentonitlerin bileşimleri	75
Tablo 3.1. Alçak yoğunluklu polietilen temel özellikleri	80
Tablo 3.2. Tane boyutlarının % oranları	84
Tablo 3.3. Takviye miktarına göre Çekme testiti sonuçları	62
Tablo 3.4. Takviye miktarına göre Eğme testinin sonuçları	67
Tablo 3.5. Sertlik testi sonuçları	71
Tablo 4.1. Takviye miktarına göre çekme testiti sonuçları	102

Tablo 4.2. Takviye miktarına göre eğme testinin sonuçları	105
Tablo 4.3. Sertlik testi sonuçları	107
Tablo 4.4. Yoğunluk testi sonuçları	108

ÖZET

Anahtar kelimeler: Kompozit, Bentolit, LDPE, Çekme ve Eğme Mukavemeti, SEM, ASTM

Bu çalışmanın ana amacı partikül takviyeli kompozit malzeme üretimidir. Matrik malzeme ile takviye malzeme arasındaki temas bölgesinde bir yapışma amaçlanmaktadır. Bu çalışmada mukavemet artışlar veya azalmalar gözlenmektedir. Kompozit malzeme üretmek için polimer matriks (Düşük yoğunluklu polietilen - LDPE) malzeme içersine ağırlıkça (%1, %2, %4, %6, %8 ve %10) kil takviyesi (Bentonit) eklenmektedir. Bu karışıma alkol eklenip kavanoz değirmende karıştırılmaktadır. Son karışım kompozit çubuklar üretmek için ekstrudere konulmaktadır. Ekstruderde üretilen kompozit çubuklar merdaneli kırıcıda kırılmaktadır. Merdaneli kırıcıda üretilen kompozit taneleri enjeksiyona eklenerek kompozit plaka elde edilir. Kompozit plakalardan Çekme (ASTM D680) ve Eğme (ASTM D790) testi standartlarına uygun işlenmesiyle numunelerin testleri yapılmaktadır. Bu çalışmada takviye edilmemiş LDPE ile montmollonit takviyeli kompozit malzemeler arasında mukavemet artışları ve azalmaları gözlenmektedir. Kompozit malzemenin yapısını SEM görüntüleri ile desteklenmektedir ve sonuçlar yorumlanmaktadır.

THE PRODUCTION AND EXAMINATION OF MECHANICAL PROPERTIES OF CLAY FILLED LOW DENSITY POLYETHYLENE COMPOSITES

SUMMARY

Keywords: Composite, Bentonite, LDPE, Tensile and Bending Strength, SEM, ASTM

The main purpose of this study is to produce particle-reinforced composite material. In the area of contact between the matrix material and the reinforcing material, an adhesion is intended. In this study, increase or decrease in strength is observed. To produce composite materials, clay reinforcement (bentonite) is added with a (1%, 2%, 4%, 6%, 8% and 10%) percent by weight into the polymer matrix (low-density polyethylene - LDPE) material. Alcohol is added to this mixture and mixed in a jar mill. The final mixture is put into an extruder to produce the composite rods. The composite rods produced in the extruder are broken in a roll crusher. Composite particles which are produced in roll crusher are added into injection to obtain composite plates. Samples of composite are tested by processing them according to Tensile (ASTM D680) and Bending (ASTM D790) test standards. In this study, strength increases and decreases between unreinforced LDPE and montmollonit reinforced composite materials are observed. Structure of composite material is supported by SEM images and the results are interpreted.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Sanayinin üretim kısımlarında kullanılan malzemeler artık bilimin gelişmesiyle gerekli istekleri karşılayamamaktadır. Teknolojinin ilerlemesi ve malzeme geliştirme anlamında ilerlemeler ile mevcut malzemelerin daha yüksek performansta çalışılması istenilmektedir. Bu istekler doğrultusunda araştırma ve geliştirmeler faaliyetleri ile desteklenmektedir. Sanayide ve üniversitelerde araştırma ve geliştirme kısımlarında malzemelerden istenilen temel özellikler ise mukavemet, darbe direnci, aşınma direnci, elastikiyet, hafiflik ve düşük maliyettir. Sanayideki geleneksel malzemelerde ise aşınma direnci, yüksek mukavemet ve darbe direnci özellikleri tam anlamıyla sağlanamamaktadır. Bu nedenle iki veya daha fazla malzemelerin belirgin ve kendine has özelliklerin birleştirilerek tek bir malzeme elde edilmesi ile yeni bir malzeme üretimi sağlanılmaktadır. Bu yeni malzeme üretimi ve geliştirilmesi ile hem sanayinin hem de bilimin gerekliliklerini karşılamaktadır. Bu yeni malzemenin birbirinden farklı malzemelerin olmasından dolayı sözlük anlamı karma olan kompozit olarak adlandırılmaktadır. Kompozit malzemeler, ikinci dünya savaşından bu yana devam eden bir gelişme içersindedir. Günümüz teknolojisine karşılık gelen kompozit malzeme sürekli olarak geliştirilmektedir (Ersoy, 2001).

En az iki farklı malzemenin birleşimi ile oluşan kompozit malzemeler, genel itibariyle matriks malzeme ve bu matriks malzemenin eksik olduğu özelliğini kapatmak için kullanılacak takviye malzemelerin birleşimidir. Kompozit malzemeleri sınıflandırmak istenilirse matriks malzeme türüne göre ve takviye malzeme türüne göre ikiye ayrılmaktadır. Teknolojinin hızlıca ilerlemesi ile günümüzde kompozit malzemelerin giderek geliştirilmesine yol açmaktadır (Akbulut, 1995). Kompozit malzemeleri matriks ve takviye malzemelerine göre sınıflandırılması aşağıdaki gibi gösterilmektedir (Soy, 2014).

Takviye malzemesine göre ;

- Fiber takviyeli kompozitler
- Partikül takviyeli kompozitler
- Tabakalı kompozitler
- Pul takviyeli kompozitler
- Dolgu takviyeli kompozitler

Matriks malzemesine göre ;

- Polimer matriksli kompozitler
- Metal matriksli kompozitler
- Sermaik matrikli kompozitler
- Nanokompozitler

1.1. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Bu çalışmada, kil takviyeli alçak yoğunluklu polietilen kompozit üretimi ve mekanik özelliklerin incelenmesi amaçlanmaktadır. Kompozit eldesin de genellikle yaşanan ana sorun matriks malzemesi ile takviye malzeme arasında yapışma olmaması veya üretim esnasında takviye ile matriks malzeme arasında karışım anında takviye elemanları matriks malzemesine göre daha küçük boyutlu olması sebebiyle kayarak dibe çökmesidir. Homojenlik düzgün sağlanılırsa mukavemet artışı elde edilmesi beklenilmektedir. Mukavemet artışı takviye miktarının artışıyla orantılı olması beklenmesiyle birlikte, takviyesiz alçak yoğunluklu polietilen ile takviyeli polietilen arasında mukavemet karşılaştırılması yapabilmektir. Bu çalışmada mukavemet artışlarını çekme (ASTM D638), eğme (ASTM D790) ve sertlik (ASTM D2240) testlerine tabi tutularak yapılan tez çalışmasının hedefleri desteklemektedir.

Takviye elemanlarının tane boyut analizi ve XRD (X-ışını kırınımı analizi) analizi yapılmasıyla matriks malzemesinin içersine katılan partiküllerin kristal yapıları ve tane boyutları net bir şekilde tanımlaması yapmaktadır. Kompozit malzemenin çekme testi sonrasında kopma yüzeylerinde SEM (Taramalı elektron mikroskobu)

analizi ile alınan görüntülerin takviye malzemelerinin dağılımını daha rahat görülmesi ve yorumlanması yapmaktadır.

1.2. Literatür Taraması

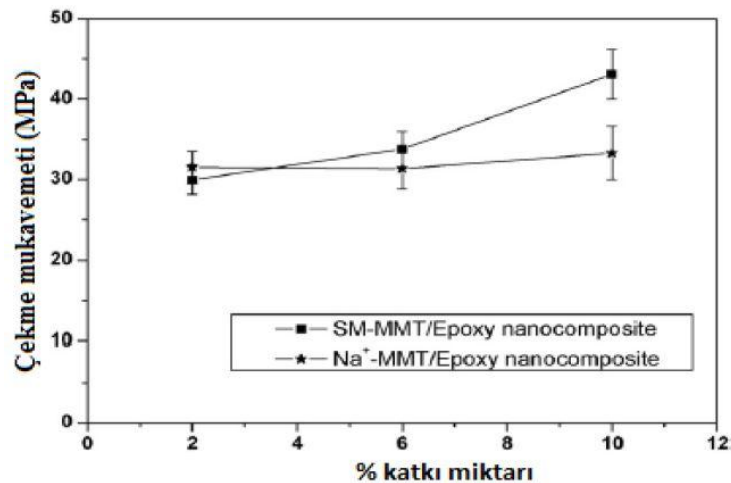
Zhong ve arkadaşları (Zhong ve ark., 2005), polistiren-montmorillonit (PS-MMT) kompozitinin sentezlenmesi ve karakterizasyonunu incelemiştir. Doğal sodyum kilinin (CTAB) ve [2-(akriloksi)etil](4-benzoilbenzil) dimetilamonyum bromür (ADAB) birleşimi ile tepkimesiyle organokil sentezlenmektedir. Sonraki aşama da kompozit sentezi yerinde polimerizasyonla yapılmıştır. Çalışmadaki parametreler; termal özellikleri, tabakaların arasındaki uzaklıklar, parçacık boyut dağılımı ve fiziksel özelliklerdir. Karakterizasyon aşamasında ise X – ışını kırınım (XRD), Geçirimli Elektron Mikroskobu (TEM), jel geçirgenlik kromatografi (GPC) analizi, diferansiyel termal analiz ve fiziksel analizlerdir. Yapılan çalışmanın sonucunda ise homojen dağılmış yapı ile birlikte ısıl özelliklerinde gelişme gösterdiği belirlenmiştir. Jel geçirgenlik kromatografi (GPC) analizi sonucunda kil takviyesinin artması ile molekül kütlelerinde azalma görülmektedir.

Önal ve arkadaşları (Önal ve ark., 2006), polimetakrilamit/Na-montmorillonit (PMAA/Na-MMT) nanokompozitini serbest radikal polimerizasyonu ile sentezlemiştir. Nanokompozitin termal özellikleri, özellikle katkısız PMAA ile karşılaştırıldığında MMT tabakalarının sayesinde geliştirilmiştir. X – ışını kırınım analizi (XRD) ve taramalı elektron mikroskobu (SEM), PMAA'nın kolay bir şekilde tabakalı nanokompozit eldesi için Na-MMT'nin katmanları arasında konumlandığı, nanokompozitlerin 1,19 nm'den 2,93 nm'ye gözle görülür şekilde tabakalar arası boşluğun (d001) genişlediğini gösterilmektedir.

Ding ve arkadaşları (Ding ve ark., 2005), PS-MMT nanokompozitini sentezlemiştir. Emülsiyon polimerizasyonu ve eriterek birleştirme yöntemlerini birlikte kullanmışlardır. Kompozitlerdeki kil takviyesi % 33'tür. Kullanılan kil, Na-MMT'dir ve CTAB (Setiltrimetilamonyum bromür) kullanılarak kil organofilik hale getirilmiştir. Karakterizasyon yöntemleri XRD, Dinamik Mekanik Analiz (DMA),

SEM, GPC ve termal analizlerdir. XRD analizleri hem toz örneklerle hem de levha şekline getirilmiş örneklerle yapılmıştır. Her iki tür nanokompozitte tabakalı yapı gözlemlenmiştir. Levha şekline getirilmiş nanokompozitlerdeki killerin tabakalar arası uzaklığı daha yüksek bulunmuştur. DMA, ve termal analizler sonucunda ise fiziksel ve ısı özelliklerinde iyileşme görülmüştür.

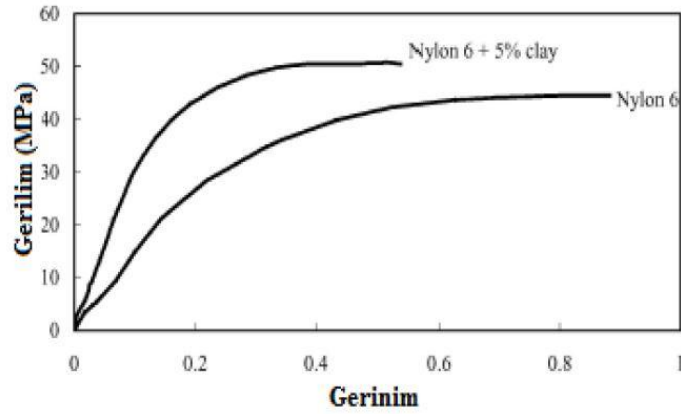
Haa ve arkadaşları (Haa ve ark., 2007), montmorillonit (MMT) kil/epoksi nanokompozitlerin çekme mukavemetine olan etkisini araştırmışlardır. Deneylerde modifiye edilmiş SM-MMT ve modifiye edilmemiş Na-MMT kullanmıştır. Şekil 1.1.'de deneylerden elde edilmiş çekme mukavemeti % nano MMT grafiği gösterilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda modifiye edilmiş SM-MMT'nin çekme mukavemeti üzerinde daha fazla etki ettiği tespit edilmektedir. Bu durumu MMT'nin modifikasyonu ile tabakalar arasındaki mesafenin artması ve bu boşluklara polimer zincirlerinin kolay girmesi olarak anlatılmaktadır. Ayrıca her iki kompozit yapıdaki nano MMT'nin artması sonucu çekme mukavemetinin de arttığı görülmektedir.



Şekil 1.1. Montmorillonit-epoksi nanokompozitlerin çekme mukavemeti (Haa ve ark., 2007)

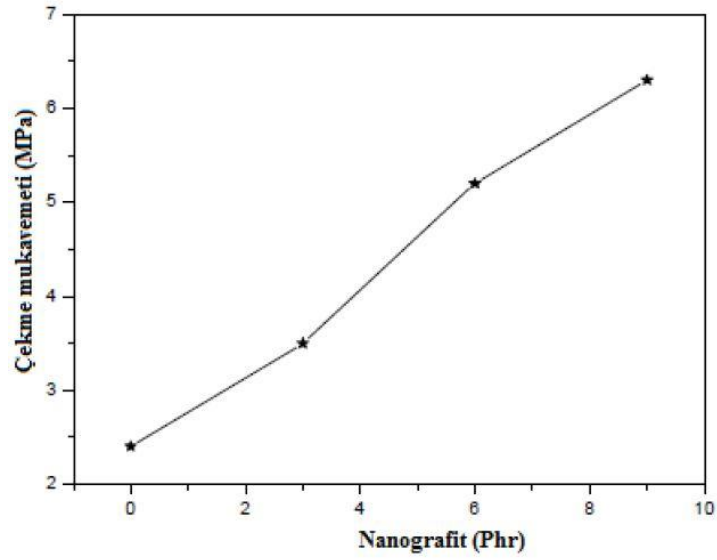
Srinath ve arkadaşları (Srinath ve ark., 2005), poliamid 6 matris malzemesine %5 modifiye edilmiş montmorillonit (organokil) ilave ederek oluşturdukları polimer blendlerin çekme mukavemetini incelemişlerdir. Şekil 1.2.'de gerilim-gerinim grafiği gösterilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda %5 organokilin polimer blendlerin çekme mukavemetini yaklaşık %14 arttırdığını belirlenmektedir. Matris

içerisindeki nanokatkinin en-boy oranının artması ile polimer-nanokil arasındaki yapışmanın da arttığını ve bu sayede polimer blendlerin çekme mukavemetini arttırdığı gözlenmektedir.



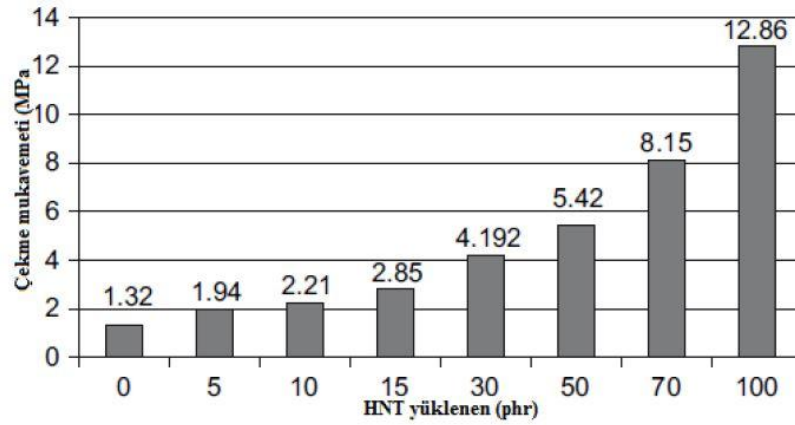
Şekil 1.2. Nylon 6 – Nanokil nanokompozitin gerilim-gerinim grafiği (Srinath ve ark., 2005)

Rajkumar ve arkadaşları (Rajkumar ve ark., 2011), Acrylonitrile Butadiene Rubber (NBR) matris malzemesine değişik oranlarda (%3-9) nanografite ekleyerek hazırladıkları kompozitin çekme deneylerini yapmışlardır. Şekil 1.3.'de deneylerden elde edilen polimer-nanografitlerin çekme mukavemeti görülmektedir. Saf NBR'nin çekme mukavemeti 2,4 MPa iken %3 grafit ile bu değer 3,5 MPa, %6 grafit eklenmesi ile 5,2 MPa ve %9 grafit eklenmesi ile de 6,3 MPa olduğunu belirtmişlerdir. NBR'nin içerisindeki nanografit miktarının artması ile çekme mukavemeti artış göstermiştir. Deney sonuçları nanografitin NBR'nin çekme mukavemeti üzerinde çok etkili olduğunu göstermiştir.



Şekil 1.3. grafit oranının çekme mukavemetine etkisi (Rajkumar ve ark., 2011)

Ismail ve arkadaşları (Ismail ve ark., 2008), etilen propilen dien monomer (EPDM) matris malzemesine haloysit nanotüp (HNT) ilave ederek oluşturdukları nanokompozitin özelliklerini incelemiştir. Deneylerden elde edilen çekme mukavemeti verileri Şekil 1.4.'de görülmektedir. EPDM içerisindeki haloysite nanotüp (HNT) oranının artması ile çekme mukavemetinde artış görülmüştür. Bu artış %30 HNT için %217,4 ve % 100 HNT için %873,4 olarak ölçmüşlerdir. Çekme mukavemetindeki artışı EPDM/HNT arasındaki ara yüzeyde uçtan uca ve kenarlar arasında oluşan zikzak yapılardan ve üç boyutlu HNT'lerin matris içerisindeki yönelmelerinden kaynaklandığını vurgulamışlardır. Ayrıca HNT'lerin yüksek oranlarda bile polimer matris içerisinde iyi dağılma özelliği ve EPDM'ye mükemmel yüksek oranlarda katkı konulabilmesinden kaynaklandığını belirtmişlerdir.



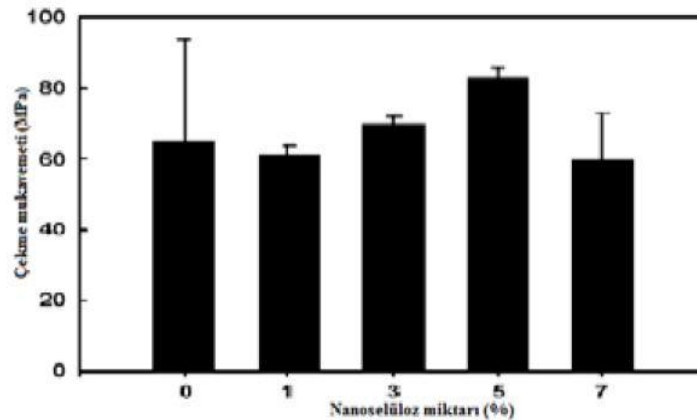
Şekil 1.4. EPDM/HNT nanokompozitlerin çekme mukavemet grafiği (Ismail ve ark., 2008)

Safadı ve arkadaşları (Safadı ve ark., 2002), polistiren (PS) ile çok duvarlı karbon nanotüp (MWNTs) nanokompozitinden üretmiş oldukları plastik filmlerin içerisine farklı oranlarda (%1, %3, %5) MWNTs katarak malzemelerin çekme mukavemeti üzerine etkilerini incelemişlerdir. Deneylemlerden elde edilen çekme testi mukavemeti sonuçları değerleri Tablo 1.1.'de gösterilmiş. PS içerisindeki MWNTs oranının değişimine bağlı olarak nanokompozitlerin çekme mukavemet değerleri değişim göstermektedir. Katkısız PS'nin çekme mukavemet değeri 19,5 MPa'dır. %1 MWNTs ilaveli kompozitin çekme mukavemet değeri 24,5MPa'dır. PS içerisindeki MWNTs oranının artması ile çekme mukavemetini de artırmaktadır. Araştırmacılar kopma esnasında iki tespit ortaya koymuşlardır. İlk tespit, eğer matris ve nanotüp arasında ki yapışma zayıf bir bağ varsa, çekme sırasında nanotüplerin PS içerisinde hata gibi davranarak olumsuz etki gösterdiğini, ikinci tespit matris ve nanotüp arasındaki kuvvetli bir bağ varsa çekme sırasında nanotüplerin mukavemeti arttırdığını belirlemektedirler.

Tablo 1.1. PS-Nanokompozitlerin çekme değerleri (Safadı ve ark., 2002)

Malzeme Adı	Çekme Mukavemeti (MPa)
Katkısız PS	19,5 ± 3,0
PS+1% wt. MWNTs	24,5 ± 3,0
PS+3% wt. MWNTs	25,7 ± 1,2
PS+5% wt. MWNTs	30,6 ± 2,7

Cho ve arkadaşları (Cho ve ark., 2011), polivinilalkol (PVA) içerisine nano boyutta (en: 6.96 nm, boy:178 nm) mikrokristalin selüloz (MCC) ilave ederek (%1, %3, %5, %7) oluşturdukları nanokompozitin testlerini yapmışlardır. Nanokompozite ilave edilen %1 MCC çekme mukavemetinde ters etki yaparak azalmaya sebep olmuştur. Bu durumu matris ve nanoselüloz arasında çekme sırasında oluşan gerilmenin düzgün bir şekilde dağılamamasına bağlamışlardır. Ancak malzeme, çerisindeki nanoselüloz oranının artması çekme mukavemeti de artmıştır. En yüksek çekme değerini PVA içerisine % 5 MCC ilave ederek hazırladıkları nanokompozitte elde etmişlerdir. Saf PVA'ya göre çekme mukavemetinde %28 artış gözlemlemişlerdir. PVA/MCC nanokompozit içerisindeki MCC %7'ye çıkarılınca çekme mukavemetinde düşüş gözlemlemiştir. Bu düşmeye matris içerisindeki MCC miktarının artması ile oluşan topaklanmanın sebep olduğunu belirtmişlerdir. Şekil 1.5.'de Nano selüloz oranının PVA nanokompozitin çekme dayanımına etkisi görülebilmektedir.



Şekil 1.5. Nano selüloz oranının PVA nanokompozitin çekme dayanımına etkisi

Loos ve arkadaşları (Loos ve ark., 2008), iki farklı sertleştirme çevrimi kullanarak tek duvarlı karbon nanotüp (SWCNTs)-epoksi kompozitler hazırlamışlardır. Birinci metotta epoksi ve SWCNTs-epoksi nanokompoziti 35 saat oda sıcaklığında beklettikten sonra 24 saat vakum altında sertleştirmişler. Ürettikleri malzemeleri epoksi 1 ve kompozit 1 (%0,25 SWCNTs ilaveli) olarak adlandırmışlardır. İkinci metotta ise epoksi ve SWCNTs-epoksi nanokompoziti 24 saat oda sıcaklığında beklettikten sonra 135 saat vakum altında sertleştirmişler, malzemeleri de epoksi 1 ve kompozit 2 (%0,25 SWCNTs ilaveli) şeklinde adlandırmışlardır. Üretilen

malzemelerin çekme değerleri Tablo 1.2.'de görülmektedir. Sonuçlarda görüldüğü üzere epoksi matris içerisine ilave edilen çok küçük orandaki (% 0,25) SWCNTs ile malzemelerin çekme mukavemetinde önemli değişim olduğu gözlemlenmiştir. Aynı koşullarda üretilen malzemelerin çekme mukavemetleri, birinci metotta 2,2 MPa dan 13 MPa'ya (%491 artış), ikinci metotta 8,5 MPa'dan 28,2' MPa' ya (% 232 artış) yükselmiştir. Bu artışlar sırasıyla ve olarak hesaplanmıştır. Araştırmacılar bu artışı SWCNTs'lerin mükemmel mekanik özelliklerinden, üretim sırasında matris içerisindeki SWCNTs dağılımının düzgün olması ve SWCNT-matris arasında oluşan güçlü yapışma etkisi olarak açıklamışlardır.

Tablo 1.2. SWCNTs/epoksi nanokompozitlerin çekme mukavemeti değerleri (Loos ve ark., 2008)

Malzeme Adı	Çekme Mukavemeti (MPa)
Epoksi-1	2,2 ± 0,2
Kompozit-1	13,0 ± 0,6
Epoksi-2	8,5 ± 0,5
Kompozit-2	28,2 ± 0,5

Suresha ve arkadaşları (Suresha ve ark., 2010), poliamid 66-poliprppilen (PA 66/PP) polimer blendin içerisine nanokil (NC), grafit (GR) ve kısa cam fiber (SCF) ilave ederek kompozit hazırlamışlardır. Bu kompozitlerin testlerini yaparak katkı maddelerinin malzeme özelliklerine olan etkisini araştırmışlardır. Araştırmacıların yaptıkları deneyler sonucunda malzeme içerisine ilave edilen NC, GR ve SCF'nin polimer blendlerin çekme mukavemetini değiştirdiği görülmüştür. Tablo 1.3.'de üretilen kompozitlerin deneylerden elde edilen çekme mukavemet değerleri görülmektedir. Malzeme içerisine ilave edilen 2%NC + 10%SCF ilave edilmesi ile en yüksek çekme mukavemet değerine ulaşılmıştır. Hatta bu değer katkısız Poliamid 66'dan bile daha büyüktür. 8 numaralı numunenin %50'sinin PA 66 içermediği göz önüne alınırsa ulaşılan bu yüksek çekme mukavemetinin önemi daha da iyi anlaşılır. Araştırmacılar çekme mukavemetindeki bu artışı katkı maddeleri ile matris arasındaki daha iyi etkileşim ve katkı maddelerinin yapı içerisindeki üniform dağılımından kaynaklanabileceğini belirtmişlerdir.

Tablo 1.3. Deneylerde kullanılan malzemeler ve çekme mukavemeti değerleri (Suresha ve ark., 2010)

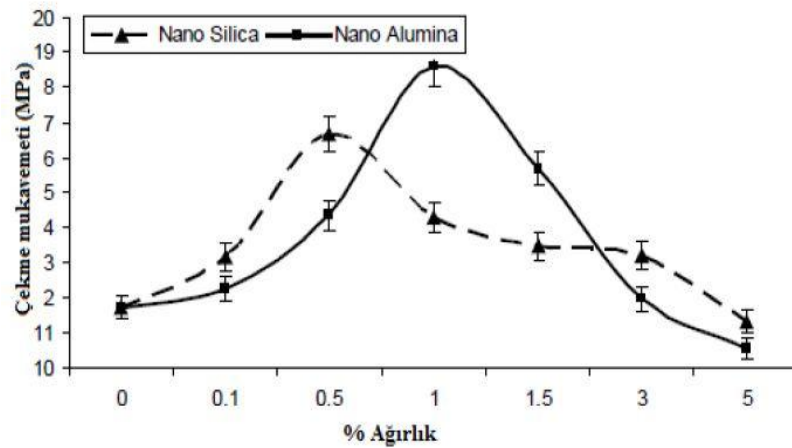
Numune No	Numune Adı	% Karışım oranı			Çekme Mukavemeti (MPa)
		PP	PA 66	Nano Katkı	
1	Poliamid 66	–	100	–	48,94
2	Polipropilen	100	–	–	18,71
3	PA 66/PP	50	50	–	30,65
4	2%NC-PA66/PP	48	50	2(NC)	22
5	3%NC-PA66/PP	47	5	3(NC)	21,7
6	2,5%Gr-PA66/PP	47,5	50	2,5(Gr)	30,65
7	5%Gr-PA66/PP	45	50	5(Gr)	30,9
8	2%NC + 10%SCF/PA66/PP	37,5	50	2+10(NC+SCF)	49

Peng ve arkadaşları (Peng ve ark., 2009), poliviniliden flüorür (PVDF) içerisine değişik oranlarda (%1, 2, 5) modifiye edilmiş nanokil (NC, Nanomer I.34TCN) ekleyerek polimerik nanokompozitler oluşturmuşlardır. Bu kompozitlerin mekanik ve aşınma testlerini yaparak ilave edilen nanokilin etkilerin araştırmışlardır. PVDF/NC kompozitlerin nanokil oranına göre çekme mukavemet değerlerindeki değişim Tablo 1.4.'te gösterilmiştir. PVDF içerisine ilave edilen nanokil oranına bağlı olarak çekme mukavemeti değeri değişmiştir. En yüksek çekme mukavemeti değerini %3 nanokil eklenen numunede elde etmişlerdir. Ancak genel olarak PVDF içerisine ilave edilen nanokilin çekme mukavemetini düşürdüğünü tespit etmişlerdir. Çekme mukavemetinde meydana gelen bu azalmanın sebebini anlayabilmek için kopma yüzeylerinin SEM görüntülerini incelemişlerdir. Yapılan incelemelerde katkısız PVDF'nin kırılma yüzeyinde çok sayıda uzamış liflerin olduğunu tespit etmişlerdir. Ancak yapıya nanokil eklenmesi ile kırılma yüzeyindeki liflerin büyük miktarda azaldığını gözlemlemişlerdir. Nanokillerin tek eksenli yönlenmesinin çekme mukavemetindeki azalmaya sebep olabileceğini belirtmişlerdir.

Tablo 1.4. PVDF/Nanokil kompozitlerin çekme mukavemeti değerleri(Peng ve ark., 2009)

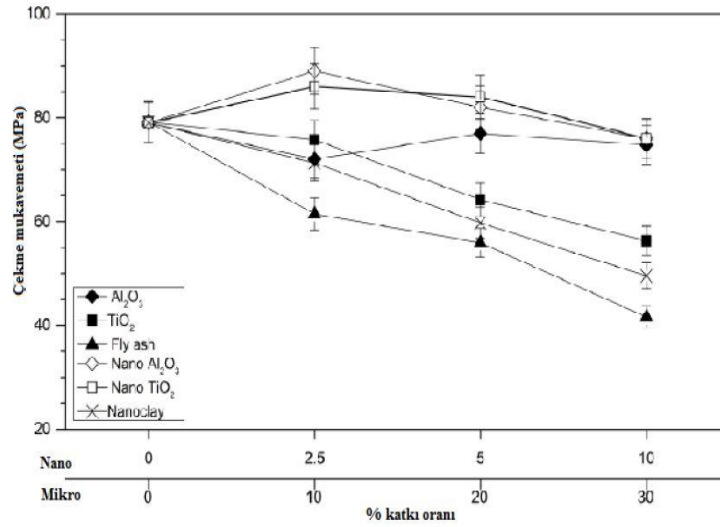
Numune Adı	Çekme Mukavemeti (MPa)
Katkısız PVDF	55,1
PVDF/%1 Nanokil	51,8
PVDF/%2 Nanokil	53,5
PVDF/%5 Nanokil	52,5

Swain ve arkadaşları (Swain ve ark., 2013), poliüretan (PU) içerisine değişik boyutlarda nano-silika (7nm) ve nano-alümina (13nm) ilave ederek oluşturdukları polimerik nanokompozitlerin mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Yapılan deneyler sonucunda poliüretan içerisine ilave edilen nano-silika ve nano-alümina oranlarındaki değişime bağlı olarak polimerik kompozitin çekme mukavemeti sonuçlarının değiştiği tespit edilmektedir. Her iki katkı malzemesinde de polimerik nanokompozitin çekme mukavemetinin arttığı gözlenmektedir. Araştırmacılar çekme değerlerindeki bu artışı nano katkıların geniş yüzey alanlarına sahip olmaları ile açıklamaktadırlar. Deneylerden elde edilen çekme mukavemeti verileri Şekil 1.6.'da gösterilmiştir. Nano-silika için en uygun oran %0,5 iken nano-alümina için %1 olarak saptanmaktadır. Nano-silikanın nano-alüminaya göre düşük oranlarda daha etkili olmasını temel sebebi takviye malzemelerinin yüzey alanlarının daha geniş olmasına bağlanmaktadır. Fakat matriks malzemeye %1-1,5 nano-alümina ilave edilince en yüksek çekme mukavemeti görülmektedir. Ayrıca, nano-alümina nano silikaya göre düşük yüzey alanlarına sahip olması sebebiyle, polimer içerisinde daha homojen dağılması sonucunda topaklanma oluşmaması gözlenmektedir. Nano-silika ve nano-alümina takviyeler için en uygun oranlardan sonra çekme mukavemet sonuçları düşüş göstermiştir. Polimer içerisin bulunan nano takviye oranının artması ile topaklanmanın artması ile çekme mukavemetini azaltmıştır.



Şekil 1.6. Nanokatki oranına göre çekme mukavemetindeki değişim (Swain ve ark., 2013)

Özsoy ve arkadaşları (Özsoy ve ark., 2015), epoksi matris içerisine değişik oranlarda ve değişik boyutlarda (mikro, nano) alüminyum oksit, titanyum oksit ve nanokil (montmorillonit) ilave ederek oluşturdukları polimerik nanokompozitin özelliklerini incelemiştir. Şekil 1.7.'de mikro ve nano epoksi kompozitin çekme mukavemetinin % katkı oranlarına göre değişimi görülmektedir. Şekilde görüldüğü gibi mikro katkı oranı arttıkça kompozitlerin çekme mukavemeti düşmüştür. Fakat nano katkılı kompozitlerin ise çekme mukavemetine %2,5 katkı oranına kadar artış görülmüştür. Bu artış TiO_2 için %8, Al_2O_3 için %12 olarak gerçekleşmiştir. Fakat nanokil mikro katkılara benzer özellik göstererek polimer kompozitin çekme mukavemetinde azalmaya sebep olmuştur. Bu durum nanokilin düşük oranlarda bile polimer matris içerisinde homojen olarak dalmaması sonucunda oluşan aglomerasyonun çekme sırasında yapıda gerilim konsantrasyonuna sebep olması şeklinde açıklamışlardır.



Şekil 1.7. Micro-Nano katkılı epoksi kompozitlerin çekme mukavemeti (Özsoy ve ark., 2015)

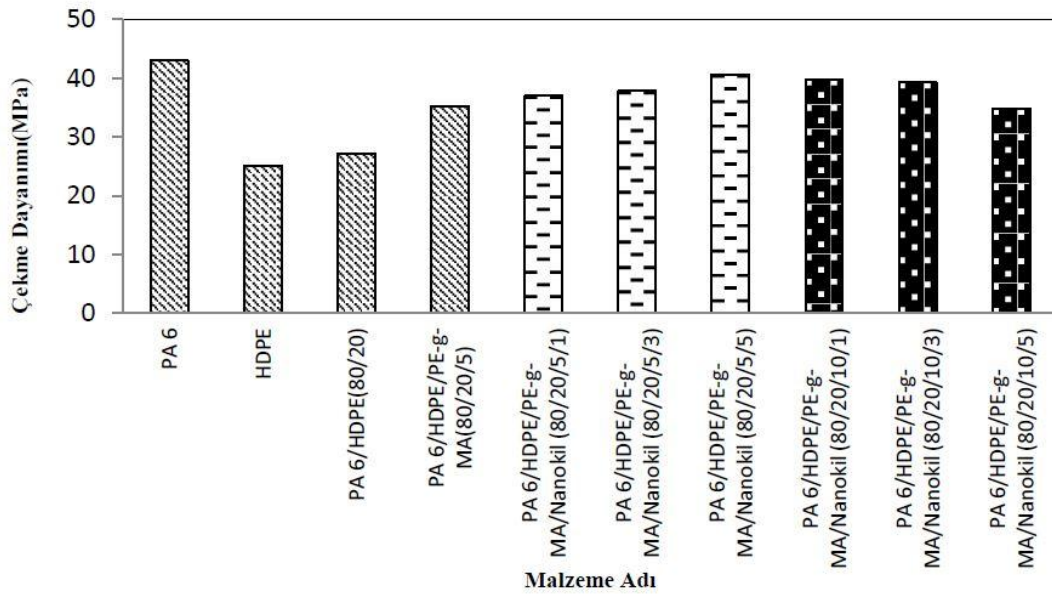
Sezavar ve arkadaşları (Sezavar, ve ark., 2015), polimetil metakrilat (PMMA) içerisine nano boyutta alümina takviye edilerek kompozit hazırlamışlardır. Bu kompozitlerin deformasyon ve kırılma özelliklerini incelemiştir. Yapılan çalışmada üretilen kompozitlerin detayları tablo 6'da görülmektedir. Araştırmacılar yaptıkları deneyler sonucunda PMMA içerisine ilave edilen nano alüminanın kompozitin çekme mukavemetini Tablo 1.5.'de anlaşıldığı gibi kompozit

içerisindeki nano alümina oranı arttıkça çekme mukavemeti değeri azalmıştır. Bir diğer değişle nano-alümina oranı ile çekme mukavemeti değeri ters orantılı olarak gözükmektedir. Çekme mukavemetindeki azalmanın, nano-alüminanın matris içerisinde toplama sonucunda gerilim konsantrasyonuna sebep olmasıyla birlikte, çekme sırasında nanopartiküllerin etrafında oluşan yüksek gerilme sonucu PMMA ve nano-alümina arasındaki bağ yapılarının kopma şekillerinde açıklanmaktadır.

Tablo 1.5. PMMA/Nanokompozitler ve çekme mukavemeti değeri (Sezavar, ve ark., 2015)

Numune Adı	Al ₂ O ₃ (kütlece %)	Çekme Mukavemeti (MPa)
PMMA	0	44,7
PMMA/ %5 Al ₂ O ₃	15	40,9
PMMA/ %10 Al ₂ O ₃	10	39,8
PMMA/ %15 Al ₂ O ₃	15	37,0

Kaştan yaptığı çalışmasında (Kaştan, 2015), poliamid 6 (PA 6) matris malzemesine değişik oranlarda yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE), nanokil (montmorillonit) ve uyumlaştırıcı (PE-g-MA) ilave ederek hazırladıkları polimerik nanokompozitin mekanik özelliklerini incelemiştir. Çekme mukavemetindeki değişimin oluşturulan malzemelerin katkısız, uyumlaştırıcılı, nanokil ilaveli ve bu katkıların oranlarının değişmesi ile nasıl etkilendiği araştırılmıştır. PA 6/YYPE/PE-g-MA (80/20/5) kompozitin çekme mukavemeti değeri 35,3MPa olarak ölçülmüştür. %1 nanokil çekme mukavemetini 37 MPa'ya arttırmıştır. Kompozit içerisindeki nanokil oranı %3'e çıkarılınca çekme mukavemeti 37,8 MPa, %5'e çıkarılınca ise 40,6 MPa olmuştur. Şekil 1.8.'de görüldüğü üzere yapıya ilave edilen %5 nanokilin çekme mukavemetinde 13,5 MPa civarında artış meydana getirdiği görülmektedir. Bu artışın polimer zincirlerinin nanokil tabakalarının arasına girmesinden, ara yüzeyde yeni bağlar oluşmasından ve çekme sırasında zincirlerin hareketinin kısıtlanmasından kaynaklandığı sanılmaktadır.



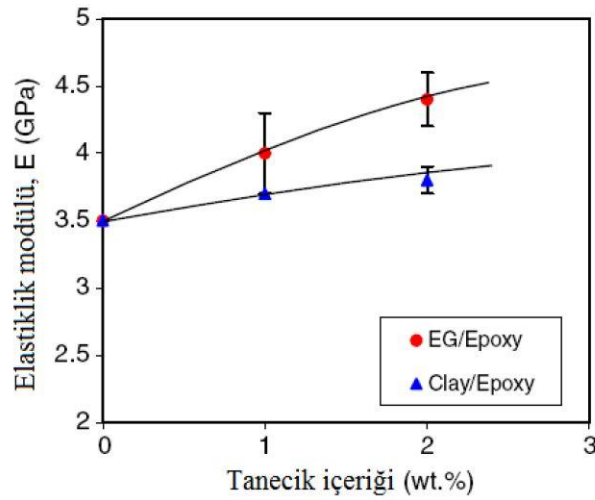
Şekil 1.8. Polimerik nanokompozitlerin çekme mukavemeti grafiği (Kaştan, 2015)

Çelik ve arkadaşları (Çelik ve ark., 2004), sulu ortamda radikal bir başlatıcı olan benzoil peroksit kullanılarak poli(glisidil metakrilat)/Na-Montmorillonit nanokompozitleri serbest radikalik polimerizasyonla sentezlemişlerdir.. Termal analiz yöntemi (TGA) cihazı termogramları, nanokompozitlerin bozunma sıcaklıklarının saf polimerden daha yüksek olduğunu ve termal bozunma hızının azaldığını gözlenmiş. SEM görüntülerinin incelenmesiyle, kil tabakalarının homojen bir şekilde dağıldığını ve tabakalaşmış nanokompozitleri oluştuğu görülmüş. Ayrıca, nanokompozitlerin adsorpsiyon ve nem tutuculuk özelliklerini de incelenmiş. Sonuç olarak kompozit yapının nem alma ve adsorpsiyon özellikleri Na-MMT kile kıyasla azaldığı gözlemlenmiş ve bu parametrelerdeki belirgin düşüş ise monomer konsantrasyonu ile gözlemlenmiş.

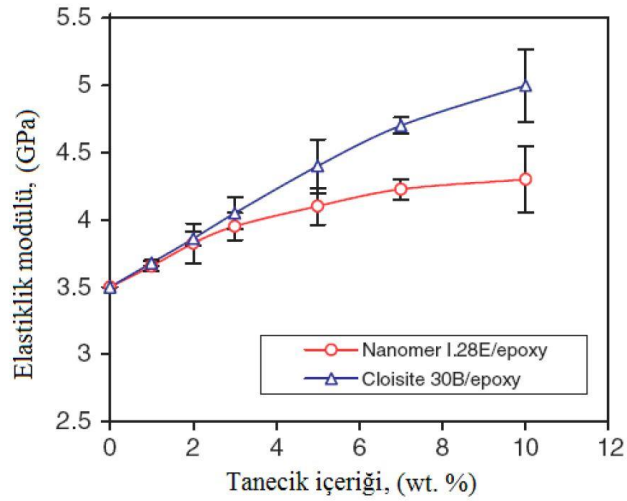
Akçay yaptığı çalışmasında (Akçay, 2006), polimetil metakrilat (PMMA)/Bentonit nanokompoziti, iki yöntemle hazırlanmıştır: birinci yöntemde MMA monomeri bentonit ile kütle polimerizasyonu yöntemiyle sentezlenerek PMMA/bentonit nanokompoziti oluşturulmuş. İkinci yöntemde, MMA sentezlenerek PMMA elde edilmiş ve PMMA ile bentonit doğrudan karıştırma yöntemi ile nanokompozit oluşturulmuş. Her iki yöntemle hazırlanan nanokompozitin yapısal karakterizasyonu için Taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılmıştır. Yapısal incelemelerde her

iki yöntem kilin polimerle etkileşiminin aynı olmadığı gözlemlenmiştir. DSC cihazındaki çalışmalarından, hazırlanan tüm örneklerde camsı geçiş sıcaklıkları (T_g) gözlemlenmiştir. Nanokompozitlerin T_g değerlerinde saf polimere göre artışı (13-19 °C) gözlemlenmiştir. Bu arada termal bozunma sıcaklığı ise saf PMMA'dan daha yüksek olduğu (120 °C) polimer/bentonit yüzde bileşimine göre fazla değişiklik göstermediği görülmüştür.

Şen ve arkadaşları (Şen, 2010), polimer nanokompozitler ve kullanım alanlarını inlemişlerdir. Bu makalede nanokompozit yapıların özelliklerinin incelenmesinde referans olarak gösterilen Yasmin ve arkadaşları tarafından yapılan (Yasmin, 2006), takviye edilmiş polimer nanokompozitleri genişletilmiş grafit ile işlemek (1. çalışma) ve kil/epoksi nanokompozitlerin termal ve mekaniksel davranışlarını incelemek (2. Çalışma) olmak üzere bu çalışmalarından alınan veriler ile polimerik nanokompozit malzemelerin elastiklik modülünün kompozit içerisindeki tanecik miktarına bağlı artan bir değişimi olduğu ortaya konulmuştur. Her iki çalışmada matris malzemesi olarak epoksi reçine kullanılmıştır. Fakat, nano takviye tanecikleri olarak ilk çalışmada grafit ve kil kullanılarak üretilen iki farklı polimerik kompozitin elastiklik modülleri karşılaştırılmıştır (Yasmin, 2006). Bu karşılaştırma ise Şekil 1.9.'da gösterilmiştir. İkinci çalışmalarında ise matris farklı üreticiler tarafından üretilen iki farklı nanokil tanecikleri ile takviye edilmiştir (Yasmin, 2006). Bu takviyelerin sonuçları Şekil 1.10.'da gösterilmektedir. Her iki şekilden polimerik nanokompozitin elastiklik modülünün artan tanecik içeriği ile arttığı açıkça görülmektedir. Nanokompozitlerin önemli bir avantajını inorganik katkı maddelerinin ısıl kararlılıklarını da arttırdığını incelemek için Gojny ve arkadaşları tarafından üretilen polimerik nanokompozit malzemelerin ısı iletim katsayılarının matris içindeki tanecik içeriğiyle değişimi gösterilmiştir (Gojny, 2006).

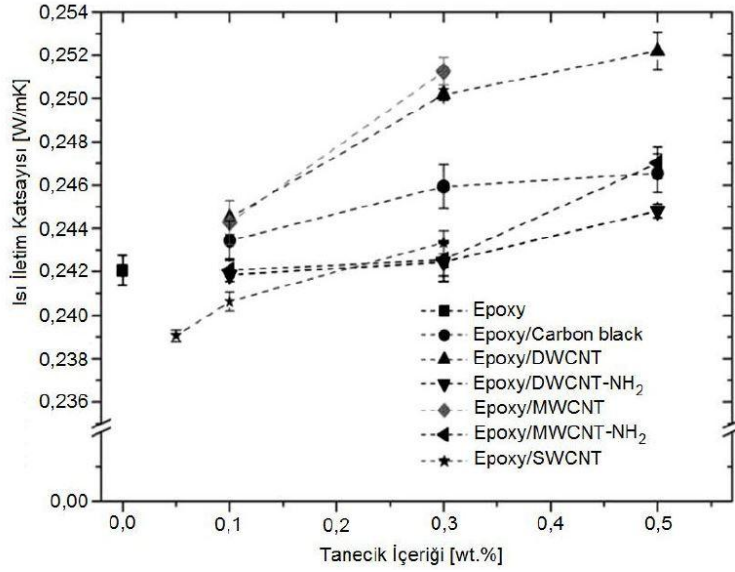


Şekil 1.9. Grafit ve kil takviyeli polimerin nanokompozitler (Yasmin, 2006)



Şekil 1.10. İki farklı tip kil takviyeli polimerin nanokompozit (Yasmin, 2006)

Gojny çalışmasında (Gojny, 2006), epoksi reçine matris altı farklı tipte nano malzemeler ile takviye edilmiştir. Üretimi gerçekleştirilen her bir polimerik nanokompozit malzemenin ısı iletim katsayısının, matris içerisindeki taneciklerin hacimsel oranındaki artışa bağlı olarak önemli ölçüde arttığı Şekil 1.11.'de görülmektedir. Polimer nanokompozit malzemeler geleneksel kompozitlere göre nispeten yüksek elastik modül, yüksek mukavemet, ısı kararlılık, düşük gaz geçirgenliği ve biyobozunurluk özellikleridir. Yukarıda incelenen çalışmalarda nanokompozitlerin ısı ve mekanik özellikleri incelenen çalışmaları özetlemiştir.



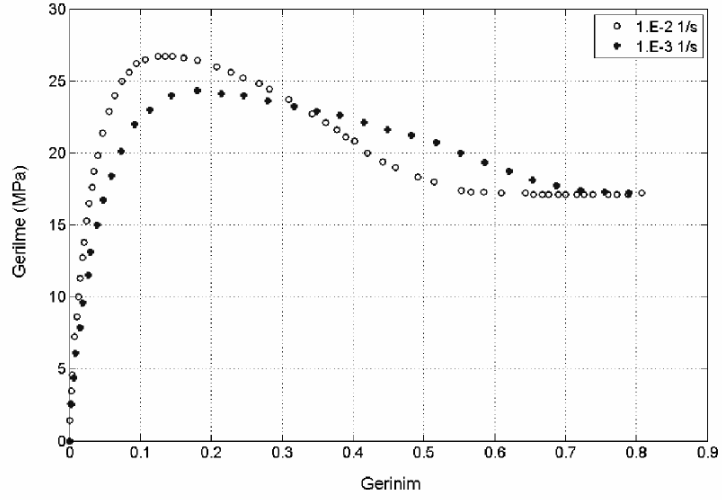
Şekil 1.11. Isıl iletim katsayısının tanecik içeriğiyle değişimi (Gojny, 2006)

Çetinel çalışmasında (Çetinel, 2000), polietilen ve polipropilenin mekanik özellikleri incelenmiştir. Öncelikle çalışmasında çekme testine ve ultraviyole ışınlarına tabi tutulan polipropilen, alçak yoğunluklu polietilen ve yüksek yoğunluklu polietilenlerin mekanik özelliklerini karşılaştırmış ve ultraviyole ışınlarına karşı etkisini araştırmıştır. Yoğunlukları da hesaplanmış bu çalışmada alkol içindeki ağırlık, kuru ağırlık ve kap içersinde asılı ağırlıklar arasındaki bağlantının formüllerle uygulanması sonuçları karşılaştırmıştır. Yoğunluk testi sonrası çekme testi, sertlik testi uygulanıp mekanik özellikleri bulunmuştur. Ultraviyole ışınlarına tabi tutulan (30, 60 ve 120 dakika) polimer malzemelere sertlik testi uygulanması sonucu sertlik değerlerinde artış ya da azalma gözlenmiştir. Ama ultraviyole ışınlarına maruz kalan polimer malzemeler çekme testi uygulanması sonucunda ışınlara maruz kalan polimer yapılar daha fazla uzama göstermiştir. Sebebi ise UV ışınları C-C bağlarını kırıp yapının daha kolay deformasyona maruz kalmasını kolaylaştırmıştır.

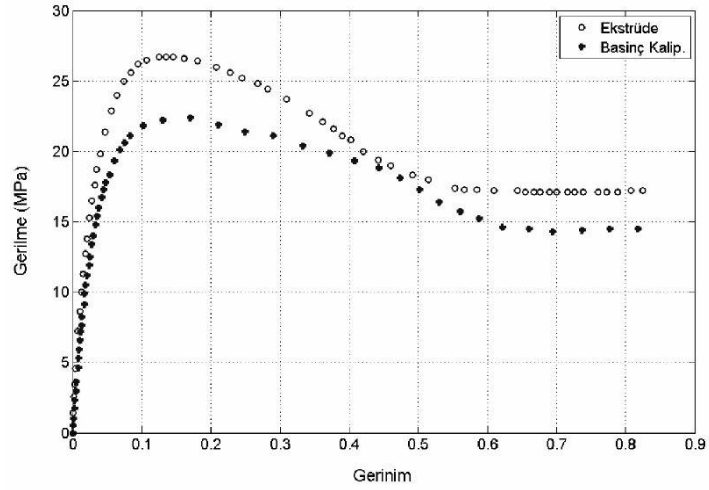
Soyubol ve arkadaşları (Soyubol ve ark., 2010), YYPE/Kil nanokompozitlerinin hazırlanması, termal, reolojik ve gaz geçirgenlik özelliklerinin incelenmiştir. Nanokompozit üretimi için kullanılan temel malzemeler ana matris olarak; Basell ürünü yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE, Lupolen 5031 LQ449K), uyumlaştırıcı olarak; Crompton ürünü maleik anhidrit aşılı polietilen (PE-g-MA, Polybond 3029),

Honeywell ürünü okside polietilen homopolimer (OxPE) ve Aldrich ürünü poli(etilen-*ko*-metakrilik asit) Na⁺ tuzu (PE-*co*-MAA Na⁺) kullanılmış. Kullanılan ticari organokil ise Southern Clay ürünü, Cloisite® 20A (di-hidrojen, di-metil kuarternier tallow amin modifiye montmorillonit) kullanılmış (%2, %5 ve %8 takviye). Bu matriks, uyumlaştırıcı ve takviye elemanlarını çift vidalı ekstruderde üretimi sağlanmış. Ekstrude de üretimi elde edilmiş pellet halindeki örnekler TGA, XRD ve gaz geçirgenliği testlerine tabi tutulmuş. Sonuçlara bakıldığında nanokompozit örneklerinin XRD sonuçlarına göre, organokil tabakalarının dağılmasında OxPE/PE-g-MA uyumlaştırıcı çiftinin OxPE/PE-*co*-MAA Na⁺ çiftinden daha etkili oldukları görülmüş. Ayrıca nanokompozit örneklerinin saf HDPE'ye oranla O₂ geçirgenlik değerlerinde artan organokil miktarına bağlı olarak %23-42 oranında iyileşme gözlenmiş. Bu azalma beklenildiği gibi dolaşımly yol modeline göre difüzyonun zorlaşması nedeniyle meydana gelmesiyle ilişkilendirmiştir (Soyubol ve ark., 2010). Saf polimerin ve hazırlanan nanokompozit örneklerin TGA sonuçları görülmektedir. Nanokompozitler (% 2, 5, 8 phr) iki kademeli bozunma göstermektedirler. Örnek ağırlığının başlangıç ağırlığının %90'ına düştüğü sıcaklık değerleri (T_{0,9}) karşılaştırıldığında nanokompozitlerde artan organokil miktarına bağlı olarak T_{0,9} değerinin arttığı görülmektedir. Örneklerin ısıl kararlılığının saf polimere göre daha yüksek olduğu tespit edilmiş.

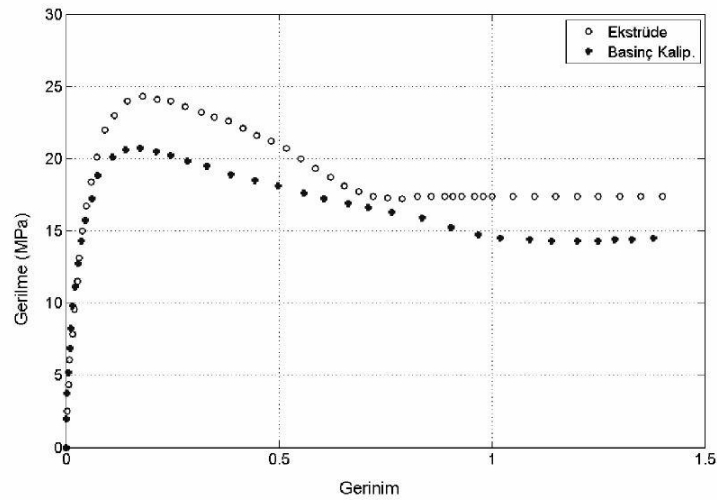
Düşünceli ve arkadaşları (Düşünceli ve ark. 2007), imalat yöntemlerinin yüksek yoğunluklu polietilen tek eksenli çekme davranışı üzerine etkisini incelemişler. İki ayrı üretim yönteminde çekme testine tabi tutulan numunelerin mukavemet değerlerini karşılaştırarak sonuçları yazmıştır. İlk üretim yöntemi olarak boru kalıplı ekstruderde üretim eldesi, ikinci üretim yöntemi ise basınç ile kalıplama yöntemi ile elde edilmiş. Şekil 1.12.'de ekstrüde numunenin 1.E-2 ve 1.E-2 1/s şekil değiştirme hız grafiklerinden görüldüğü üzere YYPE'nin mekanik davranışı akma başlangıcına kadar elastik ve viskoelastik davranışların iç içe geçmesinden meydana gelmektedir. Akma noktasından sonra viskoplastik deformasyon meydana gelmektedir.



Şekil 1.12. Ekstrüde YYPE'nin 1.E-2 ve 1.E-3 1/s gerinim hızlarında deneysel tek eksenli çekme gerilme-gerinim eğrisi karşılaştırılması (Düşünceli ve ark. 2007)



Şekil 1.13. Ekstruder ve basınçta kalıplanmış YYPE'nin 1.E-2 1/s gerinim hızında deneysel tek eksenli çekme gerilme-gerinim eğrisi karşılaştırılması (Düşünceli ve ark. 2007)



Şekil 1.14. Ekstrüder ve basınçta kalıplanmış YYPE'nin 1.E-3 1/s gerinim hızında deneysel tek eksenli çekme gerilme-gerinim eğrisi karşılaştırılması (Düşünceli ve ark. 2007)

Şekil 1.13. ve Şekil 1.14. sırasıyla 1.E-2 ve 1.E-3 gerinim hızında her iki numunenin soğuk çekme bölgesine kadar gerinim seviyesindeki gerilme-gerinim eğrilerini göstermektedir. Akma noktasına kadar elastik ve viskoplastik davranış gelişmektedir. Akma başlangıcı ile birlikte viskoplastik akış oluşmaktadır. Viskoplastik akışın başlamasından sonra malzeme akma gerilmesine erişmektedir. Malzeme akma gerilmesine ulaştıktan sonra artan gerinim seviyesine karşılık gerilme seviyesinde hızlı bir düşüşün yaşandığı homojen olmayan bir deformasyon bölgesi gözlenmiş (strain softening). Bu homojen olmayan deformasyon aşaması gerilme seviyesinin sabit kaldığı soğuk çekme (cold drawing) bölgesine kadar devam etmektedir. Malzeme soğuk çekme bölgesinde artan gerinime karşın gerilme seviyesinin sabit kaldığı bir deformasyon davranışı sergilemektedir. Yapılmış bu çalışmada gözönüne alınan üretim yöntemlerinin soğuk çekme aşamasına kadar ki deformasyon aşamalarındaki başlıca farklılıklar kısaca şöyle özetlenebilir: gerinim hızına bağımlılık özellikle elastisite modülü, akma gerilmesi, kopma gerilmesi ve kopma gerinimi üzerinde etkili olmuştur. Homojen deformasyon gözlenmiş (Düşünceli ve ark. 2007).

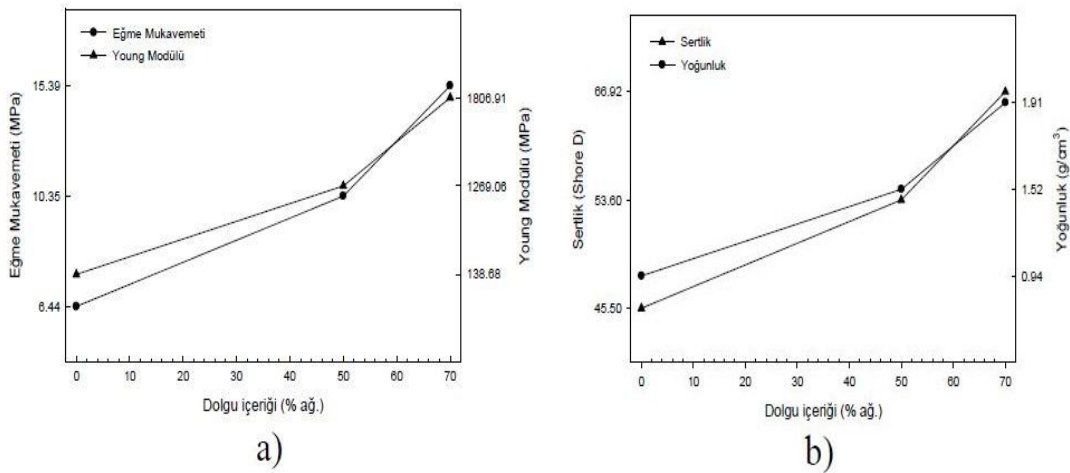
Anuar ve arkadaşları (Anuar ve ark. 2004), polimer/kil kompozit üretimi hazırlanması ve karakterizasyonunu incelemiştir. Polimer/kil kompoziti elde edilmesinde komplek yapı için monomer pirol oksidant olarak da $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 2:1

oranda kullanılmış. Takviye edilen bentonit miktarları ise %0.2, %0.4, %0.6, %0.8 ve %1 olarak belirlenmiş. Ayrıca da X-ışını kırınım grafiği sonuçlarında yoğunluğun düştüğü gibi 2θ açılarında yaklaşık olarak benzer değerlerde pikler vermiş (Anuar ve ark. 2004). Sonuç olarak iletkenliğini hem X-ışını hem de iletkenlik testleri sonuçları kil takviyesinin olumlu etki göstermiş. Sonuç olarak pirol yapıya oksidant olarak katılan FeCl₃ yapının destekleyici olarak görevini yerine getirmiş. Genel anlamda kil takviyesi iletkenlik seviyesini düşürmemektedir.

Akıncı çalışmasında (Akıncı, 2010), düşük yoğunluklu polietilen matrisli SiO₂ dolgulu kompozit yapı malzemelerini incelemiştir. Çalışmanın temel amacı ise bu kompozit malzemelerin üretimi ve karakterizasyonudur. Enjeksiyon kalıplama yöntemiyle elde edilne kompozit numunelere 3 nokta eğme testi, sertlik ve yoğunluk deneyleri yapılmasına ek olarak mikro yapı incelemelerin ile karakterizasyonu yorumlanmış. Ağırlıkça %50 ve %70 miktarlarında matris içersine katılarak kompozit malzemeleri kıyaslanması yapılmış. Test sonuçları ise Tablo 1.6.'da gösterilmektedir. Genel olarak sonuçlar ise Şekil 1.15.'de grafikte gösterilmektedir.

Tablo 1.6. Kum/AYPE kompozitin mekanik ve fiziksel özellikleri (Akıncı, 2010)

Kum İçeriği (% Ağırlıkça)	Eğme Muk. (MPa)	Young Modülü (MPa)	Yoğunluk (gr/cm ³)	Sertlik (Shore D)
0	6,44	138,68	0,94	45,5
50	10,35	1269,06	1,52	53,6
70	15,39	1806,91	1,91	66,9



Şekil 1.15. Kum/AYPE kompozit malzemenin a) Eğme mukavemeti ve Young modülünü b) Yoğunluk ve sertlik dolgu içeriğine bağlı olarak değişimleri (Akıncı, 2010)

Dolgu malzemesi ilavesi ile matriks malzemenin eğme mukavemeti, young modülü, yoğunluk ve sertliği arttığı görülmüş. Kum/AYPE kompozitler düşük maliyeti, uzun ömürlü çevreci niteliği ön planda olan polimer esaslı kompozit yapı malzemelerinden biridir. Çalışmada gözlenen atık polietilen malzemelerden de yapılabilecek potansiyele sahip olduğunu ve çevre koruyucu özelliğe sahip olduğunu göstermiş. Kum-AYPE malzemeler ile hafif, ekonomik ve deprem etkilerini azaltan yapı malzemeleri üretilebilir. Dolgu malzemesi kullanımıyla kompozitte kullanılan plastik miktarı azaldığından, plastik tüketimi düşmektedir. Dolgu olarak kullanılan silika, ürünün maliyetini düşürmektedir. Sentetik bir malzeme olan polietilene silika ilavesiyle üretilen kompozit malzeme doğal olduğu gözlenmiştir (Akıncı, 2010).

Ulutan ve arkadaşları (Ulutan ve ark., 2004), yüksek yoğunluklu polietilenden geri dönüşüm sonrası üretilen boruların mekanik ve yapısal özelliklerini incelemiştir. Boru üretiminde kullanılmayan fakat uygun olan yüksek yoğunluklu polietilen malzeme ekstruderden geçirilerek üretim elde edilmiş. Gerekli testler ise spektrofotometrik analiz, kalorimetrik analiz, hidrostatik gerilme deneyi ve çekme dayanım testleri yapılmış. Bu çalışmada, yeniden işleme sırasındaki ısıl ve mekanik etkilerin polietilenin yapısında oksitlenmeye bağlı bozunmalara yol açtığı, kristal oranını artırdığı, tekrarlanan ekstrüzyon işlemleri sonunda verimin orijinal malzeme kullanımına göre daha düşük olduğu görülmüş. Bütün polimerler ısıl işleme

sırasında oksitlenmeye açıktır. Ekstruderde ve enjeksiyon kalıplama makinesinde polimerin bozunmasını başlatacak kadar oksijen bulunur. Üretim süreçlerinde polimerin erime sıcaklığının çok üzerinde çalışıldığı için sistemde esas olarak oksijen bulunmasa da polimerde oksitlenmeyi başlatacak yapılar kolayca oluşum sağlar. Ancak bu bozunmalar her adımda polietilene karar kılıcı eklenerek engellenebilir ve geri dönüştürülen polietilenden yüksek kaliteli boru üretilebilir. Boruların hidrostatik gerilme (iç basınç dayanımı) ve çekme deneyi ile incelenen mekanik özelliklerinin yinelenen öğütme ve ekstrüzyon işlemleri ile değişmediği gözlenmiştir. Diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) analizi ile izlenen erime sıcaklığı, kristallik oranları ve oksitlenme başlangıcı süresindeki (OIT) değişimlerin ortaya koyduğu molekül ağırlığı düşmesi, kristal oranı artması ve oksitlenmeye bağlı bozunmalar ise kararlı kılıcı eklenerek engellenmesi gerektiği düşünülmüş. YYPE geri dönüşümüne ilişkin iyileştirmeler doğal kaynakları koruma, enerji tasarrufu, atık miktarını azaltma adına ve ekonomiye katkı sağlayacağı düşünülmüştür. Spektrofotometrik analiz ve kalorimetrik analiz sonuçları aşağıda Tablo 1.7.'de gösterilmiştir. Çekme dayanımı sonuçları ise Tablo 1.8.'de gösterilmektedir.

Tablo 1.7. Geri dönüştürülmüş YYPE'in DSC ve IR testleri değerlendirme sonuçları (Ulutan ve ark., 2004)

Yöntem Çevrim sayısı	Kalorimetri				Spektrofotometri		
	ΔH_e , J/g	% Kristal	T_e , °C	OIT, s	1720 cm^{-1}	1370 cm^{-1}	OI
0	174,48	60,2	132,2	2500	0,008	0,286	2,972
1	153,16	52,9	136,0	2500	0,007	0,301	2,302
2	–	–	–	2500	0,005	0,192	2,769
3	160,59	55,4	134,0	2500	0,010	0,297	3,130
4	–	–	–	2500	0,012	0,229	5,220
5	–	–	–	1600	0,008	0,153	5,213
6	158,26	54,6	133,4	1500	0,014	0,260	5,367

Tablo 1.8. Geri dönüşüm sürecinde üretilen boruların çekme deneyi sonuçları (Ulutan ve ark., 2004)

Çevrim Sayısı	Akma Dayanımı MPa	Kopma Dayanımı MPa	Kopma Uzaması %
0	21,17	26,24	711,70
1	23,85	20,68	554,90
2	–	–	–
3	21,45	19,71	519,30
4	–	–	–
5	23,98	23,93	653,17

Ulcay ve arkadaşları (Ulcay ve ark., 2002), polimer esaslı lif takviyeli kompozit malzemelerin arabirim mukavemeti üzerine farklı kür metotlarının etkisinin incelenmiştir. Genel itibariyle Kompozit yapıda bağ oluşturmanın neredeyse sonsuz bir konfigürasyonda ortaya çıkarabilme imkânı sunar ve bu konuda yeni araştırmalara ve gelişmelere yol açmıştır. Kullanılan matriks elemanı, takviye elemanı ve kür işleminde uygulanan ortam, kompozitlerin kür işlemini tanımlayan üç ana unsurdur. Yapılan bu çalışmanın, laboratuardaki test sonuçlarıyla ortaya konan farklı kür metotları irdelenmiş. Laboratuarda aynı tip reçinenin farklı miktarları, farklı kumaşlar üzerinde, farklı ortamlarda ve değişik sürelerde kür edilmiş, sonuçları ortaya konmuş. Özellikle iki grup ortam tipi; mikrodalga ve radyo-frekans ile fırın ve normal atmosfer ortamlarının birbirleri arasındaki farklar gözlenmiş. Elde edilen mukavemet test sonuçları istatistikî metotlarla değerlendirilmiş. Bu değerlendirme sonuçlarına göre en yüksek arabirim bağ kuvveti polyester ve naylonda görülmüş. Bu iki kumaş tüm deneylerde sıyrılmış. Polyesterin mukavemeti tüm deneylerde en yüksek çıkmış. Bu iki tip kumaş için yüksek frekans sistemleri yani RF ve MD mukavemeti artırıcı yönde etkili olmuş. Yüksek çekme kuvveti gerektiren işlerde Naylon ve Polyester ile oluşturulan kompozitlerin daha kullanılabilir olduğu söylenebilir. Pamuk tüm testlerde kopmuş. Ancak özellikle RF ve MD'da arabirim kuvvetinde artış gözlenmiş. Reçine miktarının yeterli etkisi olmadığı görülmüş. İyi bir arabirim, iyi bir takviye elemanı matriks yapışması demektir. Reçine miktarı kumaşı yeterince ıslatmadığı takdirde kötü bir arabirim oluşur. Bu durumda reçine miktarı önem kazanmıştır. Naylon / Pamuk ve Polyester/ Pamuk kumaşların bir kısmı kopmuş bir kısmı sıyrılmış. Test ortamlarının ısıları sabit kalmış, süreler değiştirilmiş. Özellikle bu iki kumaşta artan süreler aşırı mukavemet düşüşlerine neden olmuş. Ancak RF'in etkisi biraz daha olumlu yönde

görülmüş. Normal atmosfer koşullarındaki kür işlemlerinde ise reçine miktarının Naylon / Pamuk ve Pamuk dışındaki kumaşların mukavemetine olumlu yönde etkisi olduğu görülmüş. Yüksek frekans sistemlerinin zamandan sağladığı tasarruf ve sağlıklı işlem son yıllarda tekstil sektöründe ısıtma ve kurutma işlemlerinde de kullanımına olanak sağlamıştır. Bu sistemlerin kullanımının yalnız kumaş mukavemetine etkisini incelemek amacıyla da testler yapılmış. Böylece elde edilen sonuçlara göre, aşırı ısıtmaların özellikle test doğal elyafli malzemelerin mukavemetini olumsuz yönde etkilediği görülmüş. Deneye konu olan sentetik esaslı malzemeler ise daha az etkilendiği görülmüş. Buna göre ısıtma ve kurutma işlemlerinde de kumaşın yapısını bozmayacak uygun sıcaklık ve sürelerin seçilmesi gerektiği anlaşılmış.

Köysüren ve arkadaşları (Köysüren ve ark., 2006), karbon bazlı dolgu maddesi içeren polietilen terftalat kompozitlerinin mekanik ve elektriksel özelliklerini incelemiştir. Bu çalışmada kompozit malzeme hazırlanmasında, polietilen terftalat polimeri (PET) ile dolgu maddesi olarak karbon siyahı ve karbon nanotüp kullanılmış. Karbon siyahı içeren kompozitler kütlece % 1, 2, 4, 6 ve 8 oranlarında, karbon nanotüp içeren kompozitler ise kütlece % 0.1, 0.25, 0.5, 1, 2 ve 4 oranlarında çift vidalı ekstrüder kullanılarak hazırlanmış. Ekstrüzyon sıcaklık profili sırasıyla 230-255-260-265-270°C'dir. Karakterizasyon işlemleri için gerekli numuneler, basınçlı kalıplama ve enjeksiyonlu kalıplama cihazları kullanılarak hazırlanmış. Kompozitlerin elektriksel iletkenliği, iki nokta temas yöntemi ile ölçülmüş. Ayrıca kompozitlerin mekanik özelliklerinin belirlenmesi için ASTM D 638 standardına göre çekme testleri yapılmış. Kütlece % 4 karbon siyahı veya % 0.1 oranında karbon nanotüp içeren kompozitlerde, elektriksel iletkenlik değerleri yarı iletken seviyesine çekilmiş. Kompozitlerin, dolgu maddesi oranına paralel olarak iletkenliğinin de arttığı görülmüş. Bu artış PET bazlı kompozitlerin mekanik özelliklerini ters yönde etkilemiş. Her iki dolgu maddesi de kompozitlerin çekme dayanımı ve çekme modülü değerlerini belirli oranda düşürmüştür. Bu nedenle düşük dolgu maddesi oranında bile iletken zincirler oluşabilmiştir. Kompozit içerisindeki karbon siyahı veya nanotüp kümelerinin parçacık boyutu büyüdükçe, çekme testi esnasında bu

kümelerin, mikro-çatlak oluşturabilme ihtimali artmış. Oluşan mikro-çatlaklar, malzemenin mukavemetini azaltmıştır.

Çelik ve arkadaşları (Çelik ve ark., 2008), polianilin/Na-montmorillonit nanokompozitlerinin hazırlanması ve karakterizasyonu gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada polianilin/Na-Montmorillonit nanokompozitler, benzoil peroksit (Bz_2O_2) başlatıcısı yardımıyla kimyasal polimerizasyonla sentezlendi. Anilin derişimi değiştirilerek hazırlanan kompozitler, X-ışını difraksiyonu (XRD), Fourier transform infrared spektroskopisi (FTIR), taramalı elektron mikroskopisi (SEM), termogravimetrik analiz (TGA) ve diferensiyel termal analiz (DTA) yöntemleriyle karakterize edildi. Termogravimetrik ve diferensiyel termal analiz sonuçlarından, nanokompozitlerin saf polianiline göre daha iyi termal özellik gösterdiği anlaşılmış.

Kurt ve arkadaşları (Kurt ve ark., 2013), polistiren-kil nanokompozitlerin sentezi, termal ve optik özelliklerinin incelenmiştir. Bu çalışmada, sodyum montmorillonit (Na-MMT) kilinin vinilbenzildimetilhekzadesil amonyum klorür (VHAC) kuaterner amonyum tuzu ile kation derişimi gerçekleştirilerek organomodifiye kil (OVHAC) sentezlenmiş. Polistiren-kil (PS/OVHAC) nanokompozitleri yerinde polimerizasyon metodu ile hazırlanmış. FT-IR tekniği ile organomodifiye kil ve PS/OVHAC nanokompozitleri karakterize edilmiş. Organokillerin ve hazırlanan polimer kil nanokompozitlerin tabakalar arası uzaklıkları X-ışını difraksiyonu (XRD) ile aydınlatılmış ve polimer matrisi içinde kil dağılımının exfoliye dağılım sergilediği belirlenmiş. Nanokompozitlerin termal davranışları ve termal bozunma aktivasyon enerjileri termogravimetrik analiz metodu (TGA) ile araştırıldı. Spin kaplama tekniği ile hazırlanan polimer ince filmlerin optik karakterizasyonu UV-VIS spektrofotometre ile 340 nm ile 700 nm dalgaboyu aralığında test edilmiş.

Madakbaş ve arkadaşları (Madakbaş ve ark. 2013), polipirol ve poliakrilonitril/kil kompozitlerin hazırlanması ve termal özelliklerinin incelenmiştir. Bu çalışmada polipirol ve poliakrilonitrilin termal özelliklerinin geliştirilmesi amaçlanmış. Bu amaç için polipirol ve poliakrilonitril/kil kompozitler farklı metotlar ile hazırlanmış. Hazırlanan kompozitlerin termal özellikleri termal gravimetrik analiz (TGA) ve

diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC) teknikleri ile incelenmiş. Elde edilen sonuçlar kompozit formülasyonlarında kil içeriğinin artması ile kompozitlerin termal özelliklerinde Tablo 1.9.'da ve Tablo 1.10.'da görüldüğü üzere önemli bir artış olduğunu göstermiştir.

Tablo 1.9. Polipirol/kil kompozitlerin termal özellikleri (Madakbaş ve ark. 2013)

Numune	%10 Kütle Kaybının Mey. Gel. Sıc. (°C)	Max. Kütle Kaybının Mey. Gel. Sıc. (°C)	% Kül	Tg (°C)
Saf Polipirol	171	274	23	109
Polipirol/%5 kil	180	307	25	111
Polipirol/%10 kil	189	329	26	115
Polipirol/%15 kil	198	334	34	120

Tablo 1.10. Poliakrilonitril /kil kompozitlerin termal özellikleri (Madakbaş ve ark. 2013)

Numune	%10 Kütle Kaybının Mey. Gel. Sıc. (°C)	Max. Kütle Kaybının Mey. Gel. Sıc. (°C)	% Kül	Tg (°C)
Saf Poliakrilonitril	303	521	0,0	85
Poliakrilonitril/%5 kil	309	572	9,3	48
Poliakrilonitril/%10 kil	310	642	15,1	61
Poliakrilonitril/%15 kil	296	680	33,0	88
Poliakrilonitril/%20 kil	347	681	51,4	116

Lai ve arkadaşları (Lai ve ark., 2014), abrasif aşınma direnci için poli (viniliden florür)/nano-kil kompozitlerle düz sac membranların hazırlanması ve karakterizasyonunu incelemişlerdir. Test yöntemleri olarak FTIR (fourier dönüşüm kızıl ötesi), TGA (termogravimetrik analiz), SEM (taramalı elektron mikroskobu), çekme testi ve EDS (enerji dağılımı spektroskopisi) kullanılmış. PVDF' ye dahil edilen inorganik nanopartikül olarak Nanoclay Cloisite® 15A kullanılmış. FTIR sonuçları, PVDF kristal fazının α 'dan β 'ya kaydırıldığını ve böylece nanokilin PVDF ana madde malzemesinin yapısını ve mekanik özelliklerini sertlik ve tokluk açısından değiştirdiğini göstermiştir. Su geçirme testi, düşük konsantrasyonda nanokilin su akışını azaltma eğiliminde olduğunu göstermiştir. İlk nanokil yükü ağırlıkça % 1 ve ağırlıkça % 5 (Tablo 1.11. yüzde dağılımları) olan tüm nanokompozit membranlar, kontrol PVDF zarından daha fazla aşınmaya dirençli olduğu görülmüş. Bununla birlikte, ağırlıkça% 1, aynı zımpara koşulu altında referans PVDF membrandan iki

kat daha uzun ömürlü üstün direnç göstermiştir. Ağırlık bazında% 1 nanoklay membranı, SEM gözlemi ile daha az aşındırıcı görünürken, aynı zamanda en büyük gerilme mukavemetine sahipti (Tablo 1.12.'de görüldüğü gibi 4.5 MPa'dan 4.9 MPa'ya). Bu membran, aynı zamanda, daha yüksek nanokil içerikli membranlara kıyasla, en küçük aglomere nanokil partikül boyutuna ve en yüksek tokluğa sahiptir. Bu nedenle, nanokiller, PVDF zarlarının aşınma direncini arttırmak için yararlıdır, ancak optimum yüklemeler, gerekli mekanik özellikleri kaybetmemek için şarttır.

Tablo 1.11. Membranların yüzde oranları (Lai ve ark., 2014)

Membran	PVDF (% oran)	NMP (% oran)	Cloisite [®] 15 A
PVDF/15A-0	15	85	0
PVDF/15A-1	14,85	85	1
PVDF/15A-2	14,55	85	2
PVDF/15A-3	14,25	85	3

Tablo 1.12. Membranların mekanik özellikleri (Lai ve ark., 2014)

Membran	PVDF (% oran)	NMP (% oran)
PVDF/15A-0	4,5 ± 0,1	222 ± 21
PVDF/15A-1	4,9 ± 0,1	186 ± 7
PVDF/15A-2	4,8 ± 0,1	131 ± 21
PVDF/15A-3	4,5 ± 0,2	104 ± 13

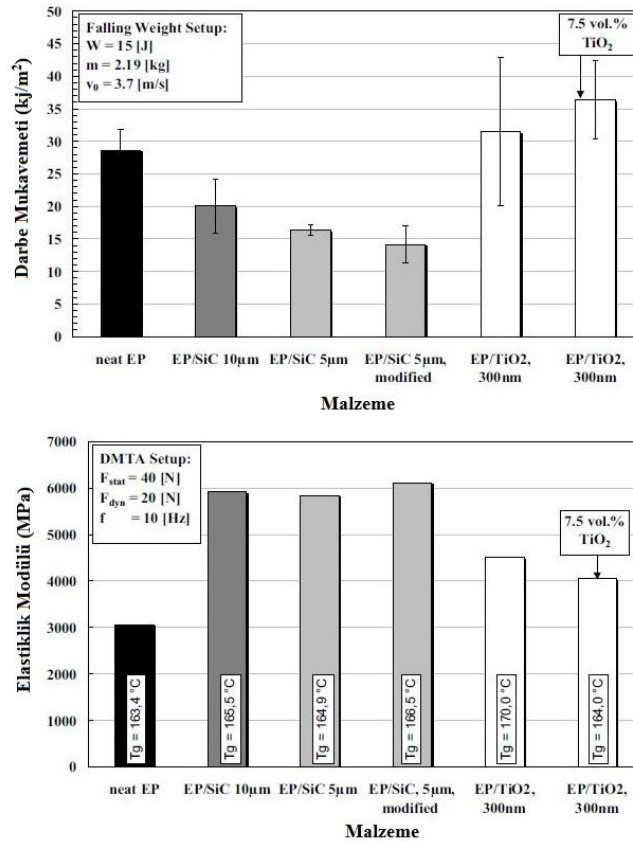
Jo ve arkadaşları (Jo ve ark., 2008), nano-MMT takviyeli polimer kompozit ve polimer betonların mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Bu çalışmanın temel amacı doymamış poliester reçinesi kullanarak polimer betonun performansını arttırmak olmuştur. Bu çalışma, MMT takviyeli nanokompozitin mükemmel mekanik ve termal performans sergileyen polimer beton üretmek için kullanılabilmesini araştırılmıştır. Kompozitlerin mekanik ve termal özellikleri, Maksimum gerilme mukavemetine sahip olan, gerilimli modülü ve % 5 nano-MMT ile Tg, dramatik olarak dağınık nano-MMT ilavesiyle geliştirilmiş polimer matrisinde. Ayrıca, elastik modülü kil takviyeli nanokompozit ekleme ile arttırılmıştır. Bununla birlikte, belli bir MMT içeriğinin ötesinde (Yaklaşık% 5-7 aralığında), mekanik ve kompozitlerin termal performansı Nano-MMT içeriği arttıkça azaldı. Na⁺ içeren kompozitlerde mekanik ve termal özellikleri önemli bir değişiklik göstermedi, çünkü eksfoliyasyon derecesi

30B-up nanokompozit cloizit'ten daha düşüktür. Polimer betonun mukavemeti ve elastik modülü pul pul dökülmüş kil takviyeli nanokompozit unutulması önemlidir ki, pul pul dökülmüş nanokompozit yüksek performansı etkiler. Ayrıca, Polimer betonunun güç ve polimer betonun elastik modülü, gerilme mukavemeti ve gerilme ile pozitif korelasyon nanokompozitinin modülü. Geri dönüşümlü PET ile doymamış polyester reçineler ve nano-MMT performansı büyük ölçüde nispeten düşük bir maliyetle polimer kompozitlerin arttırmak için kullanılabilir.

Nguyen ve arkadaşları (Nguyen ve ark. 2006), polimer/kil nanokompozit hazırlama ve onların özelliklerini incelemiştir. Silika katmanlı polimer (PLS) nanokompozitlerin hazırlanmasında kullanılan farklı yöntemlere ve özelliklerinin ne derece arttığına vurgu yapılması incelemiştir. Polimer matrislerde nanoparçacıkların dağılması için kullanılan tekniklerin her birinde bazı sınırlamalar ve dezavantajlar bulunmaktadır. Polimerin çözültiden kat yerinin yerleştirilmesi ve yerinde polimerizasyon yöntemleri için dezavantaj, uygun bir çözücünün gerekliliğidir. Aslında, interkalasyonun yalnızca belirli polimer / çözücü veya monomer / çözücü çiftleri için meydana geldiği gösterilmiştir. Bu yöntemlerin, endüstriyel açıdan önemli polimerlerin üretimine uygulanması, özellikle de çözücülerin kendileri ile ilişkili yüksek masraflar, bunların elden çıkarılması ve çevresel etkileri bakımından uygulanamaz olabilir. Dahası, interkalasyonun derecesi kullanılan solventin yapısına tamamen bağlıdır. Ergime interkalasyon tekniği için dezavantaj, işleme koşullarına bağımlı olması ve polimer ile kil arasındaki olumlu etkileşimlere ihtiyaç duymasındır. Çoğu araştırmada bugüne kadar ağırlıkça% 5'e kadar MMT ile eksfoliyasyonlu nanokompozit yapılar elde edilebilir. Takviye, bariyer ve elektrik iletkenliği gibi alanlarda nanoparçacıkların sunduğu potansiyeli kullanmak için, tamamen dağılmış nanopartiküller daha yüksek seviyelere ulaşılmalıdır. Uygun bir şekilde kullanıldığında süperkritik CO₂ kullanımı, daha yüksek konsantrasyonda pul pul dökülmüş nanokil partiküllerine yol açabilir.

Wetzel ve arkadaşları (Wetzel ve ark. 2001), nano ve mikro partikül takviyeli polimer kompozitlerin mekanik ve tribolojik özelliklerinin incelemiştir. norganik parçacıkların polimerik malzemelerin mekanik özelliklerini iyileştirebileceği iyi

bilinmektedir. Parçacıkların dağılımının, boyutunun ve şeklinin yanı sıra içeriği burada kompozisyonların geniş çaplı sertlik, tokluk ve aşınma performansını belirlemektedir. Bu çalışmada, mikro ve nano boyutlu seramik parçacıkları (SiC, 5 mikron ve 10 mikron; TiO₂, 300 nanometre) bir epoksi matrisine dolgu takviyeleri olarak sunuldu. Dolgu maddelerinin darbe tokluğuna, dinamik mekanik özelliklerine ve halka üzerine blok kopma davranışına etkisi araştırılmıştır. Performans artırımında rol oynayan mekanizmaları anlamak için aşınma izlerinin morfolojisi, aşınma molozu ve kırık yüzeyler incelendi. Sonuçlar, SiC mikro-parçacıkla dolgululu epoksinin rijitlik ve özel aşınma hızında bir iyileşme gösterdi; oysa darbeye dayanıklılık çekildi. TiO₂ nanokompozitleri, genel performans, sağlamlık, tokluk ve aşınma üzerinde bir iyileşme gösterdi (Şekil 1.16.'da görüldüğü üzere). Burada parçacıkların geometrik özellikleri ve dağılıma durumu çoğunlukla performans artışına katkıda bulunur.



Şekil 1.16. Mekanik özelliklerinin grafiği (Wetzel ve ark. 2001)

Ching ve arkadaşları (Ching ve ark. 2015), nano silika ve nano selüloz takviyeli polivinil alkol temelli kompozitlerin hazırlanması ve karakterizasyonun incelenmiştir. Nano selüloz ve nano silika takviyeli PVA nanokompozitler film döküm tekniği kullanılarak hazırlanmıştır. Nano silikanın, PVA/nanoselüloz kompozitlerin optik, termal ve mekanik özellikleri üzerine etkileri incelenmiştir. Kompozit yapının çekme mukavemeti artış göstermiştir. Sebebi ise ilk olarak nanoselülozun içeriğinin artmasından dolayı (ikinci takviyenin tanışmalarından) ve nano silika partiküllerin eklenmesinden dolayı PVA/nanoselüloz kompozitin hareketlilik kısıtlaması çekme mukavemetini arttırdı. Çekme mukavemet ve elastik modülünün en ideal değeri ise nanoselülozlarda %3 olarak bulunmuş. Az miktarda nanosilika içerikli nanoselüloz kompozitlerin çekme ve elastiklik modülündeki gelişmelerde ise ağırlıkça %5 takviyede başarılmıştır. PVA/nanoselülozlu kompozitin içerisine ağırlıkça %0,5 nanosilika takviye ile termal kararlılık ve kristalleşebilme başarılı şekilde sağlanmıştır. Genel olarak ağırlıkça %0,5 ile %3 nanosilika içerikli PVA/nanoselüloz kompozitin optik, termo-mekanik ve iyi dağılım için ideal oranlar olarak belirlenmiştir.

Literatürdeki araştırmalarda yapılan çalışmalara bakıldığında; yapılan tez çalışmasındakine benzer çalışmalar gözükmektedir. Bu çalışmamdaki kil takviyesinin (bentonit) mikron seviyede takviye edilmesine benzer olarak mikron seviyede çalışan araştırmacılar da mevcuttur. Örnek verecek olursak PA6 matriks malzemesi içersine %5 kil takviyesi yapılmış ve ana malzemeye (PA6) oranla çekme testi sonuçlarında %14'lük bir artış gözlenmiştir (Srinath ve ark., 2005). Benzer bir örnek daha verirsek epoksi içersine mikron boyutta SM-MMT (modifiye edilmiş) ve Na-MMT (Modifiye edilmemiş) kil takviyeleri yapılarak takviye türüne göre çekme mukavemet değerlerini kıyaslamıştır. Modifiye edilmiş SM-MMT takviyeli kompozit malzemenin değerleri Na-MMT'ye göre daha fazla olduğu incelenmiştir (Haa ve ark., 2007). Bir başka çalışmada ise PA66/PP karışımlı matriks içersine ayrı ayrı nanokil, mikron boyutta grafit ve kısa cam fiberler takviye edilerek mekanik özellikleri incelenmiş ve sonuç olarak çok farklı yapıların bir arada olması sebebiyle çalışmada karşılaşılan genel sorun olarak üniform dağılımın etkisinden bahsetmiştir (Suresha ve ark. 2010).

Kompozit yapı içersinde üniformun sağlanması açısından gerekli çalışmalar da yapılmıştır örneğin, polianilin/Na-MMT kompozit üretim esnasında içerisine Bz_2O_2 (benzoil asit) katılarak polimerizasyon aşamasında üretimin kolaylaştığı ve kompozit yapının termal özelliklerinin iyileştiği gözlemlenmiştir (Çelik ve ark., 2008). Üniform yapı eldesi için benzer bir çalışmada ise PA6/YYPE karışımli matriks içerisine Pe-g-MA (Polietilen maleik anhidrat) uyumlaştırıcı sayesinde takviye edilen Na-MMT nano kil yapısı için homojen dağılım elde edilmiştir ve mukavemet değerleri açısından ise en ideal oran olarak %5 olarak belirlenmiştir (Kaştan, 2015). Uyumlaştırıcı kullanarak yapılan bir diğer çalışmada ise YYPE içerisine kil takviyesi yaparak iki farklı (1.Pe-g-MA,02.Pe-co-MAA) uyumlaştırıcı kullanmıştır. Yapılan çalışmada her ikisinde de üretim sağlanmış ve ısıl kararlılıkları da gelişmiştir (Soyubol ve ark., 2010). Bu tez çalışmasında ise AYPE matriks yüzeyleri çift vidalı ekstrudere katılmadan önce alkol ile yüzeyleri ıslatılmış AYPE tanelerine bentonit tozlarının yapışması sağlanmış ve üniform yapı elde edilmiştir.

Bir diğer çalışmada ise PVDF matriksli yapı içersine nano kil takviyesi (%1, 2 ve 5) yapılarak yeni oluşturulan komozit yapının mekanik özellikleri incelendiğinde şaşırtıcı sonuçlar elde edilmiştir. Çekme mukavemetlerinde azalma gözlenmiştir (Peng ve ark., 2009). Bu çalışmaya benzer olarak da birkaç tane daha örnek verirsek PMMA matriks içerisine nano boyutta Al_2O_3 (%5, 10 ve 15) takviye edilerek çekme değerleri elde edilmiş ve takviyesiz matriks malzemeye göre daha düşük çekme mukavemeti değerleri elde edilmiştir (Sezavar ve ark. 2015). Ancak başka bir araştırmada ise takviye miktarının ideal oranında çalışılmıştır: PU matriks içerisine ayrı ayrı katılan nanosilika takviyeli kompozitlerde % 0,5 iken ve nanoalümina takviyeli kompozitlerin ideal ise %1- %1,5 belirlenmiştir (Swain ve ark. 2013). Yazılan son üç çalışmada nano takiyeli kompozitlerde uyumlaştırıcılı olanlar daha iyi sonuçlar elde etmiştir. Ama yapılan tez çalışmasında ise mikron takviyeli kompozit malzememin alkol ile işleme sonrası mukavemet değerlerini yükselttiği görülmüştür. Maliyeti azaltma ve doğal ürün üretme amacıyla yapılmış diğer çalışmada ise PE matriksli SiO_2 kumu dolgu malzemesi (%50, 70) olarak üretilen kompozit yapıda eğme testi ve sertlik değerleri artış göstermiş ve maliyeti azaltarak daha az polimer tüketimi sağlanarak doğal ürün elde edilmiştir (Akıncı, 2010). Tez

çalışmasında ise %10' a kadar takviye yapılması maliyeti azaltmaya ek olarak doğal ürün üretimi sağlanmıştır ve mukavemet değerleri de artış göstermiştir. Tablo 1.13.'de literatür özeti gösterilmektedir.

Tablo 1.13. Literatür çalışmalarının özet tablosu

Yazar	Çalışma Konusu	Malzemeler	Yöntem	Genel Sonuç
Zhong ve ark.	PS-MMT kompozitinin sentezlenmesi ve karakterizasyonunu	PS ve MMT	Polimerizasyon	Kil takviyesi sonucu molekül kütlelerinde azalma gözlemlenmiş
Önal ve ark.	PMAA/Na-MMT serbest radikal polimerizasyonu ile sentezlenmesi	PMAA ve Na-MMT	Polimerizasyon	1,19nm den 2,93 nm ye kadar tabakalar arasında boşlukların genişlediği görülmüş
Ding ve ark.	PS-MMT nano kompozit sentezlenmesi	PS ve MMT	Polimerizasyon	Termal analiz sonucu ısıl ve fiziksel özelliklerde iyileşme görülmüş
Haa ve ark.	Nano kil/Epoksi kompozitinin mukavemet üzerine etkisi	Na-MMT, SM-MMT ve Epoksi	Ekstruder	Nano kil takviyesi ile mukavemet değerleri artmış
Srinath ve ark.	PA6/SM-MMT polimer blendlerinin çekme mukavemeti üzerine etkisi	PA6 ve SM-MMT	Ekstruder	Kil takviyesi ile kompozit yapının mukavemet değerleri artış göstermiş
Rajkumar ve ark.	NBR/Nano grafit çekme mukavemeti üzerine etkisi	NBR ve Nano grafit	Ekstruder	Nano grafit kompozitin çekme mukavemetine olumlu etki etmiş
Ismail ve ark.	EPDM/HNT nano kompozitin özellikleri	EPDM ve HNT	Polimerizasyon	HNT takviyesi yüksek oranda EPDM içerisinde çok iyi dağılıma sağlanmış
Safadı ve ark.	PS/MWNT nano kompozitin çekme mukavemeti üzerine etkisi	PS ve MWNT	Polimerizasyon	Takviye miktarının artışıyla çekme mukavemet değerleri artmış
Cho ve ark.	PVA/MCC üretimi ve testleri incelenmesi	PVA ve MCC	Polimerizasyon	MCC miktarı arttıkça mukavemet değerleri yükselmiş
Loos ve ark.	Epoksi/SWCNT hazırlanması ve mekanik özelliklerinin incelenmesi	Epoksi ve SWCNT	Ekstruder	SWCNT takviyesinin iyi dağılımı mukavemeti arttırmış

Tablo 1.13. (Devamı)

Suresha ve ark.	PA6/PP matrisine içerisine NC, GR ve SCF ilave edilerek kompozit eldesi	PA6/PP, NC, GR ve SCF	Ekstruder	Kompozit yapı içerisinde homojen dağılım olmaması nedeniyle yeterli mukavemet artışı gözlemlenememiş
Peng ve ark.	PVDF/NC polimer nano kompozit eldesi	PVDF ve NC	Polimerizasyon	Nano killerin tek eksenli yönlenmesinin çekme mukavemetinde azalmaya sebep olmuş
Swain ve ark.	PU/Nano Al ₂ O ₃ ve Nano SiO ₂ takviye edilen kompozitlerin mekanik özelliklerinin incelenmesi	PU, Nano Al ₂ O ₃ , Nano SiO ₂	Ekstruder	Nano alümina takviyesi nano silika takviyesine göre daha iyi mukavemet değerleri elde etmiş
Özsoy ve ark.	Epoksi içerisine (mikron ve nano boyutta) Al ₂ O ₃ , TiO ₂ ve nanokil	Epoksi, Al ₂ O ₃ , TiO ₂ ve nanokil	Polimerizasyon	Nano Al ₂ O ₃ , TiO ₂ tak. kompozitler mikron boyuttakilere göre daha iyi muk. değerler göstermiş
Sezavar ve ark.	PMMA içerisine nano Al ₂ O ₃ takviye edilerek kompozit hazırlanması	PMMA, Nano Al ₂ O ₃	Ekstruder	PMMA içerisine nano Al ₂ O ₃ tak. topaklanması sebebiyle çekme muk. düşmüş
Kaştan ve ark.	PA6 matris malzemesine YYPE ve MMT takviyesi edilerek PE-g-MA uyumlaştırıcı ile kompozit üretimi ve mekanik özelliklerinin incelenmesi	PA6, YYPE, MMT ve PE-g-MA	Ekstruder	PA6 matris içerisine takviye edilen malzemelerle muk. değerleri düşüş göstermiş ve uyumlaştırıcı takviyesinin ideal oranlarının muk. üzerine etkisi bulunmuş
Çelik ve ark.	PSGMA içerisine Na-MMT ilavesi ile serbest radikal polimer malzeme üretimi	PSGMA, Na-MMT	Polimerizasyon	Kil tabakaları homojen dağılmış ve nem absorpsiyon özelliği de azalmıştır.
Akçay ve ark.	PMMA/Bentonit kompozitlerinin sentezleme farkıyla üretimi	PMMA, Bentonit	1.Monomer üzerine sentez 2.Doğrudan karışım	Kompozit malzemelerin PMMA malzemeye göre ergime sıcaklığı artış göstermiş ve termal bozunma özelliği de iyileşmiştir.

Tablo 1.13. (Devamı)

Şen ve ark.	Polimer nano kompozitlerin kullanım alanlarını incelenmesi	Kil, Epoksi	Polimerizasyon	Polimer nano kompozitler geleneksel malzemelere oranla daha iyi elastiklik modülü, ısı kararlılık ve düşük gaz geçirgenliği elde edilmiş
Çetinel ve ark.	PE ve PP mekanik özelliklerini incelenmesi	PP, PE	Polimerizasyon	UV ışınına maruz kalan polimer malzemeler daha fazla uzama gözlemlenmiş
Soyubol ve ark.	YYPE/kil kompozitinin hazırlanması ve termal, reolojik ve gaz geçirgenlik özellikleri incelenmesi	YYPE, Kil, PE-g-MA	Polimerizasyon	Matriks malzemesine göre kompozit malzemenin ısı kararlılığı iyileşmiş gaz geçirgenliği de iyileşmiş
Düşünceli ve ark.	YYPE tek eksenli çekme davranışı üzerine etkisini incelenmesi	YYPE	1.Basıç ile kalıplama 2.Ekstruder	Ekstruder yöntemi ile üretilen YYPE mukavemet değeri daha yüksek çıkmış
Anuar ve ark.	Polimer/kil nano kompozit üretimi hazırlanması ve karakterizasyonu	Bentonit, monomer pirol oksidant	Polimerizasyon	Bentonit takviyesi kompozit yapının iletkenlik seviyesini düşürmemiş
Akıncı	AYPE matriksli SiO ₂ dolgulu kompozit yapı malzemesini incelenmesi	AYPE, SiO ₂	Ekstruder	Eğme mukavemeti ve elastiklik modülü ve sertlik değerleri iyileşmiş
Ulutan ve ark.	YYPE geri dönüşüm sonrası üretilen boruların mekanik özelliklerinin incelenmesi	YYPE	Ekstruder	Geri dönüştürülmüş YYPE boruların kristalliği azalmış ve termal kararlılığı da azalmış
Ulcay ve ark.	Polimer esaslı lif takviyeli kompozitlerde ara birim mukavemeti üzerine farklı kür metodunun etkisi incelenmesi	PA6, PE ve Pamuk	Kür metodu	Kompozit malzemelerin ısıtma ve kurutma işlemlerinde de kumaşın yapısını bozmayacak uygun sıcaklık ve sürelerin belirlenmesi anlaşılmış

Tablo 1.13. (Devamı)

Köysüren ve ark.	PET içersine karbon dolgu takviyesi ile mekanik ve elektriksel özelliklerinin incelenmesi	PET ve CNT	Ekstruder	CNT boyutları büyüdükçe mukavemet değerleri azalmış
Çelik ve ark.	PANI/Na-MMT nanokompozitin hazırlanması ve karakterizasyonu	PANI, Na-MMT, Bz ₂ O ₂	Ekstruder	Kompozit yapı matris malzemeye göre daha iyi termal özellik sergilemiş
Kurt ve ark.	PS/kil nanokompozitlerin sentezi	PS, Na-MMT	Polimerizasyon	Kompozit malzemelerin termal özellikleri iyileşmiş
Madakbaş ve ark.	PPy ve PAN kil takviyesi ile termal özelliklerinin incelenmesi	PPy, PAN	Polimerizasyon	Elde edilen yapının termal özellikleri artmış
Lai ve ark.	PVDF/nano-kil kompozitlerin aşınma direnci ölçümü ile karakterizasyonu	PVDF, MMT	Ekstruder	Nano kil takviyesi olan kompozitte, PVDF matrisine göre aşınma direnci artmış ve termal özelliklerde artış görülmüş
Jo ve ark.	Nano-MMT takviyeli polimer kompozitlerin ve polimer betonların mekanik özelliklerinin incelenmesi	PET, MMT	1.Ekstruder, 2.Döküm	Mekanik özelliklerinde ve maliyeti azaltma da büyük ilerleme görülmüş
Nguyeng ve ark.	Polimer/nanokil takviyeli kompozitlerin hazırlanması ve özelliklerinin incelenmesi	PLS, MMT	Polimerizasyon	Uygun ve homojen dağılım için daha iyi katkı kullanılabilir
Wetzel ve ark.	Nano ve mikro partikül takviyeli kompozitlerin mekanik ve tribolojik özelliklerinin incelenmesi	Epoksi, SiC, TiO ₂	Ekstruzyon	SiC takviyeli kompozitlerde aşınma dayanımı yükselmiş ve TiO ₂ takviyeli kompozitlerde ise hem tokluk hem de aşınma direnci artmış
Ching ve ark.	Nano silika ve nano selüloz takviyeli PVA matrisli kompozitlerde optik, termal ve mekanik özelliklerinin incelenmesi	PVA, Nano SiO ₂ , Nano Selüloz	Döküm tekniği	Kompozit malzemenin optik termal mekanik özelliklerde iyileşme iyi dağılım ve ideal oranlar belirlenmiş

BÖLÜM 2. KOMPOZİT MALZEMELER

2.1. Giriş

Kullanılabilir aletler yapmak amacıyla doğal ya da yapay olarak üretilmiş maddelere malzeme denir. Günümüzde birçok malzeme türleri bulunmaktadır. Malzemeler türlerine göre; seramik, metalik, polimer, kompozit, elastomer ve cam malzemeler olarak gruplandırılabilir.

Kompozit malzeme aslında karışım anlamına gelmekle birbiri içerisinde çözünen bileşenlerden oluşmaz. Yani bileşenler arasında elektron transferi bulunmamaktadır. “Geleneksel malzemelerde mevcut olmayan ya da sınırlı olan bazı özellikleri geliştirmek amacıyla birbiri içerisinde çözünmeyen farklı özelliklere sahip en az iki farklı bileşenden oluşan malzemelere kompozit malzemeler denir.” Kompozit malzemeyi içerenler kimyasal olarak birbirlerini etkilemezler ve özellikle tasarlanarak üretilirler. “Kompozit bileşenlerinin atom boyutu 300 nanometre altında ise bu tür kompozitlere nano kompozit denir.” Kompozit bileşenleri birbiri içerisinde çözünsürse bu tür malzemeler kompozit olmaz, alaşım olur. Kompozit malzemelerde yapıyı oluşturan bileşenler birbiri içinde çözünmeleri istenilmez. Özellikle metalik sistemlerde bir miktar çözünme bileşenler arasında güçlü bağlanımların oluşmasına katkı sağlar (Akbulut, 2007; Şahin ve ark., 2006; Chawla, 2006).

Kompozit malzemelerde çeşitli şekil ve oranlarda takviye fazı bulunmaktadır ve bu takviye fazının çevresinde hacimsel olarak çoğunluğu oluşturan matriks malzeme bulunmaktadır. “Bu iki malzeme grubundan, takviye malzemesi kompozit malzemenin mukavemet ve yük taşıma özelliğini, matriks malzeme ise plastik deformasyona geçişte oluşabilecek çatlak ilerlemelerini önleyici rol oynamakta ve kompozit malzemenin kopmasını geciktirmektedir (Atmaca, 2006).”

Matriks olarak kullanılan malzemenin bir amacı da fiber malzemeleri yük altında bir arada tutabilmek ve yükü lifler arasında homojen olarak dağıtabilmesidir. Böylece fiber malzemelerde plastik deformasyon gerçekleştiğinde ortaya çıkacak çatlak ilerlemesinin önüne geçilebilir. Kompozit malzemelerin avantajı, bileşenlerinin en iyi özelliklerini bir araya getirilerek yeni malzeme oluşturmaktır (Buytoz, 1999; Atmaca, 2006).

2.2. Kompozitlerin Sınıflandırılması

Kompozit malzemeler kullanılan takviye elemanının şekline göre beş gruba ayrılabilir. Bunlar partikül takviyeli, fiber takviyeli, levhasal takviyeli, tabakalı ve dolgu takviyeli kompozit malzemelerdir.

Partikül takviyeli kompozitler: Bu tür kompozitler, makroskobik veya mikroskobik partiküllerin matriks ile oluşturdukları malzemelerdir. Ortalama gömülen parçacık boyutu 1 mm' den büyük ve takviye hacim oranı genelde % 50'den fazla kullanılmamaktadır (Kurnaz, 1993).

Fiber takviyeli kompozitler: Bu tür malzemelerde, matriks kompozite gelen yükü fibere iletir, yükün çoğu fiber tarafından iletilir ve özellikleri anizotropiktir. Fiber formları; örgülü, şerit fitil veya tabakalar halinde yönlü olarak kullanılır (Akbulut, 1995).

Levhasal takviyeli kompozitler: Matriks fazı içindeki levha şeklindeki takviye elemanlarından oluşan kompozitlerdir. Al-grafit sistemi levhalar; pullar, cam, mika ve metal olabilir. En çok bilinen metal levhalar AlB_2 ve Be levhalardır.

Tabakalı kompozitler: Bu tür kompozitler farklı bileşenli plakaların sandviç (üst üste) şeklinde birleştirilmesiyle elde edilir. Bu kompozitler, matriks içerisine rasgele yönelmiş, tek yönlü veya çift yönlü fiber takviyeli tabakalardan oluşmaktadır (Şahin, 2006).

Dolgu takviyeli kompozitler: Sürekli bir iskelet yapıya sahip takviye malzemesi formunun matriks bir malzeme ile doldurulmasından üretilen kompozitlerdir. Matriks malzemesinin daha önceden hazırlanmış preform (köpük) yapıya basınçlı, basınçsız ya da döküm yoluyla emdirilmesi ile elde edilir (Akbulut, 1995; Altınkök, 2002).

Kompozit malzemeler, kullanılan matriks malzemesinin cinsine göre ise beş ana sınıfa ayrılmaktadır. Bunlar polimer matriks, metal matriks, seramik matriks, karbon/karbon ve nano kompozit malzemelerdir.

Metal matriks kompozitler (MMK): Bu malzemeler kompozitin ana yapısını yani matriks metalin oluşturduğu ve takviye elemanı olarak da genellikle seramik bir takviye fazının kullanıldığı kompozitlerdir. Bu malzemelerin seçiminde hemen hemen hiçbir sınırlama yoktur. Deneysel çalışmalara bakıldığında ise çok farklı türde malzeme kullanıldığı görülmektedir. Son 50-60 yıldır MMK'ler ile ilgili pek çok araştırma yapılmış ve literatür de olumlu şekilde bahsedilmiştir. Metal matriks kompozitler geleneksel malzemelere göre büyük alternatif sağlar. Seramiklerin yüksek elastik modülü ile metallerin plastik şekil değiştirme özellikleri birleştirilince aşınmaya dayanıklı, kırılma tokluğu yüksek ve basma gerilmesi yüksek malzemeler elde edilebilmektedir. Bu kompozit malzemeler genellikle otomotiv, havacılık ve savunma sanayinde kullanılmaktadır (Çalın, 2006; Akbulut, 1995; Altınkök, 2002).

Seramik matriks kompozitler (SMK): Seramikler ise çok sert ve kırılıgandır malzemelerdir. Ayrıca yüksek sıcaklık dayanımına sahip olan ve göreceli olarak düşük yoğunluk özelliğine de sahip malzemelerdir. Ayrıca da seramik malzemeler ısı şok direnci ve tokluğu düşük malzemelerdir. Bunlar; Al_2O_3 , SiC, Si_3N_4 , B_4C , cBN, TiC, TiB, TiN ve AlN'dir. Bu bileşikler değişik yapılarda sahiptir ve amaca göre bir ya da bir kaçını beraber kullanılarak seramik matriks kompozitler elde edilir. Sandviç zırhlar, çeşitli askeri amaçlı parçalar imali ile uzay araçları bu ürünlerin başlıca kullanım yerleridir. Seramik matriks içersine ilave edilen karbon, seramik ve cam fiberler özellikle yüksek sıcaklık uygulamaları gibi özel şartlar için geliştirilmektedir. Seramik malzemelerin seramik fiberler ile takviye edilmesi

durumunda, mukavemet yükselmekte ve tokluklar da artmaktadır. Alümina ve zirkonya esaslı seramik kompozitler üzerindeki son yıllardaki çalışmalar, bu malzemelerin sadece roket başlığı, uzay araçları gibi uygulamalarda değil ayrıca insan vücudunda da bio malzeme olarak kullanılmaya başlanmasına sebebiyet vermiştir (Ünal, 2005; Akbulut, 1995; Gültekin, 2007).

Polimer matriks kompozitler (PMK): Sürekli fiber takviyeli kompozitlerde yaygın olarak kullanılan polimer matriksler termoset ve termoplastikler olarak iki gruba ayrılır. Bu kompozitlerin sürekli fiberlerle takviye edilmiş polyester ve epoksi reçine matriksli olanlar en önemlilerine örnektir. Kullanılan takviye malzemelerinin başlıcaları ise, cam fiber, kevlar fiber, bor fiber ve karbon fiberlerdir. PMK'lerin üretiminde en çok kullanılan yöntemler ise; elle sıvama, tel sarma, kese kalıplama işlemi, pultrüzyon metodu, sıvı akış tekniği, takviyeli reaksiyon, enjeksiyon kalıplama, ekstrüzyon ve termo oluşum yöntemleridir (Toptan, 2006; Akbulut, 1995). PMK'lerin başlıca kullanım alanları ise, korozyon direnci sebebiyle denizcilik uygulamaları, hafifliği sebebiyle otomotiv ve diğer taşımacılık endüstrileri ile spor malzemeleri, yanmazlık özelliği istenen otomotiv iç dekorasyonu gibi alanlar olarak gösterilebilir (Ögel, 1997).

Karbon-karbon kompozitler (KKK): Karbon - karbon kompozitleri, saf karbon partiküllerinin (primer karbon bileşeni olarak tanımlanır) karbon esaslı bağlayıcı (bu malzeme karbonizasyon işlemi esnasında sekonder karbon bileşenini oluşturur) ile J karışımından elde edilir. Neticede, malzemenin tümü karbon olup karbonlar iki farklı şekilde bulunur. Bunlardan birincisi, dolgu (primer) ikincisi ise bağlayıcı (sekonder) niteliğinde olan karbondur. Matriks malzemesi olarak kullanılan karbonun birim ağırlıktaki ısı kapasitesi oldukça yüksektir. Roket ağızlarında, uzay araçlarında bulunan koruyucu kalkanlarda, debriyaj ve fren balata-disk sistemlerinde kullanılmaktadır. Bu malzemeler yüksek teknoloji gerektiren askeri ve uzay alanlarındaki uygulamalarına nispeten düşük hacim sağlamasına karşın, katma değeri yüksek ve oldukça pahalı malzemelerdir (Gültekin, 2007; www.xengineer.net, 2009).

Nano Kompozitler (NK): Nano kompozitler mineral nano dolgulu ve %10'dan daha az miktarda nano boyutlu mineral içeren kompozit malzemelerdir. Kullanılan nano boyutlu parçacıkların boy-en oranı ve yüzey alanının çok yüksek olmasından dolayı kompozitlerin mekanik, yanmazlık, ısı ve bariyer özellikleri çok iyi yönde geliştirilebilmektedir. Bu kompozitlerin üretilmesinde daha çok ergimiş metal karıştırması, toz metalürjisi ve mekanik alaşımlama kullanılır (Şahin ve ark., 2006).

Polimer malzemelerin geniş kullanım alanları dikkate alındığı zaman fiziksel ve mekanik özelliklerinin geliştirilmesi çok önemli olmaktadır. Son zamanlarda yapılan inorganik malzeme takviyeli polimer matrisli kompozitlerde ise yapılan çalışmalara büyük ölçüde ilgi gösterilmektedir (Teixeria ve ark., 2006). Polimerler matrislerde sentetik veya doğal, organik ve inorganik malzemeler takviye malzemesi olarak kullanılmaktadır. Başlıca takviye malzemeler ise; oksitler, metaller, karbonatlar, fosfatlar ve sülfatlar, talk, mika, grafit ve kil gibi birçok inorganik malzemelere ek olarak kauçuk gibi organik malzemeler de takviye olarak kullanılmaktadır (Ivanov ve ark., 2001).

Partikül takviyeli kompozitler, matris malzeme içinde darbe dayanımı ve mukavemetin veya diğer özelliklerin artışı sağlayan bir başka malzemenin partikülleri ile elde edilirler. Malzemenin mukavemeti partiküllerin sertliğine bağlı olarak değişmektedir. Takviye edilen partikül boyutu kompozit malzemenin özelliklerini etkileyen bir durumdur. En yaygın kullanılan partikül takviyeli kompozitlerde ise matris ısı ve elektriksel iletkenlik sağlayan metal parçacıkların polimer matris içerisinde dağıtılması ile elde edilen yapılardır. Metal matris içinde seramik parçacıklar içeren yapıların, sertlikleri ve yüksek sıcaklığa dayanımlarının yüksek olması bu tür malzemelerin havacılık sektöründe kullanımına olanak sağlamaktadır (Arı, 2009).

Kompozit malzemelere takviye olarak en geniş kapsamlı kullanılan malzemeler Elyaf takviye malzemeleridir. Elyafın çap uzunluğu ise 5 ve 15 µm arası uzunlukta olan yüzlerce veya binlerce liften oluşmaktadır. Sürekli, süreksiz, uzun veya kısa olmak üzere farklı çeşitleri de bulunmaktadır. En çok kullanılan elyaf

çeşitleri ise; cam, aramid, karbon, bor, silikon karbür ve ayrıca keten, kenevir ve sisal gibi doğal elyaflardır. Matris içinde dağılan lifli yapılar, malzeme yapısının mukavemetini arttırmaktadır (Gay ve ark., 2007). Polimerlere takviye malzemelerinin katılması malzemenin maliyetini düşürdüğü gibi mekanik ve termal özelliklerinin de geliştirilmesini sağlamaktadır. Polimer matriksli kompozitlerde takviye malzemelerinin mekanik özellikler üzerindeki etkileri takviyenin şekli ve boyutu, yüzey yapısı ve gözenek miktarları, matris içindeki takviyenin dağılımı ve fizikokimyasal – mekanik özelliklerine göre değişim göstermektedir (Ivanov ve ark., 2001; Wang ve ark., 2011).

Polimer matriksli kompozitler, polimer matriks ile doğal veya sentetik takviye maddesinin birleştirilmesiyle elde edilen malzeme grubudur. Yüksek mukavemet, elastikiyet, sertlik ve aşınmaya karşı dayanıklılık gibi özelliklere iyileşmelere sahiptirler. Kompozit malzemelerin yaklaşık olarak %90'ı polimer esaslı matriksler ile üretilmektedir (Enşici, 2004).

Polimer matrisli kompozit malzemeler geniş kullanım alanına sahip olduğu için büyük önem taşımaktadır. Polimer malzemeler gösterdikleri ısıl davranışlara göre termoplastik ve termosetler olmak üzere ikiye ayrılırlar. Termoset polimerlerde çapraz bağ yapısı çoğunlukta termoplastik polimerlerde bu yapı çok az bulunur ya da yoktur. Termoplastik polimerler; oda sıcaklığında katı halde bulunan, ısıtıldığında eriyik hale bulunan yapı ekstrüzyon, enjeksiyonla kalıplama, şişirmeyle kalıplama gibi proseslerle işlenebilen polimer grubudur. Polipropilen, naylon, polikarbonat, polietilen tereftalat (PET), polivinil klorür (PVC) ve polietilen vb. termoplastik polimerler grubuna girer. Termoset polimerler oda sıcaklığında sıvı veya kolayca eriyebilen yapıda olan polimerlerdir. Termoset polimerler genellikle kalıplandıktan sonra da ısıtılarak şekil alabilirler. Poliester ve epoksiler en bilinen termoset polimerlerdendir.

Polimer matrisi ve takviye malzemeler arasındaki yüzey etkileşimleri ve bağlanma derecesi kompozit malzemenin performansı açısından büyük önem arz etmektedir. Kompozit malzemenin enerjiyi absorp edebilme özelliği kompozitin tokluğunu

belirler ve bu kapasite matris ve takviye malzemesi arasında zayıf bağlar kurularak artırılabilir (Strong ve ark., 2008).

2.3. Kompozitlerin Üretim Yöntemleri

Metal, seramik ve polimer gibi geleneksel malzemeler günümüz teknolojisinde ihtiyaçlara cevap vermediği için kompozit malzemelere yönelme söz konusudur. Kompozit malzemelerin geleneksel malzemeler karşısında iyi mekanik özellikler sergilemesi son yıllarda bunların üretim teknikleri üzerinde daha fazla çalışmalar yapılmasına yol açmıştır. Ancak kompozitlerin üretim maliyeti yüksek ve üretim aşamalarında ise bazı sorunlar ile karşılaşmaktadır.

Kompozit malzemelerin üretim yönteminin seçilmesinde; matriks, takviye elemanı, istenen mekanik ve fiziksel özellikler ile parça şekli göz önünde tutulur. Kompozit malzemelerin üretim yöntemleri sıvı hal üretim teknikleri ve katı hal üretim teknikleri olmak üzere iki başlık altında toplanabilir. Tablo 2.1.'de Kompozitlerin üretim yöntemleri gösterilmektedir.

Tablo 2.1. Kompozit malzemelerin üretim yöntemleri (Atmaca, 2006)

Kompozit Üretim Yöntemleri	
Sıvı Hal Yöntemleri	Katı Hal Üretim Yöntemleri
Sıvı İnfiltrasyon yöntemi	Toz metalurjisi yöntemi
Sıkıştırma döküm	Difüzyon bağlama
Karıştırma (vorteks) döküm yöntemi	Ekstrüzyon
Basınçlı enjeksiyon döküm yöntemi	Plazma sprey
Savurma döküm yöntemi	Vakumda presleme yöntemi

2.4. Kompozit Malzemelerin Kullanım Alanları

Kompozit malzemelerin kullanım alanı son yıllarda giderek artmaktadır. Hemen hemen her alanda ve her sektörde kompozit malzeme uygulamalarını görülebilmektedir. Günlük hayatta yaygın şekilde cam elyafı, cam, keçe ve cam dokuma ile polyester reçineden yapılan çeşitli ürünler kullanılmaktadır. Genellikle cam elyaf oranı % 30 – 40 arasında bulunmaktadır. Çay tepsisi, masa-sandalye,

depo, küvet, tekne, bot ve otomotiv sanayi gibi ürünler kompozitlerin uygulamasına örnektir. Ayrıca formika, baskılı devre plakası, elektrikçi fiberleri, spor malzemeleri ve atlama sırtıkları, kaynak takımı, tenis raketi ve yarış kanoları değişik kompozit malzemelerden yapılan ürünlerdir (Ünal, 2005). Kompozit malzemelerin otomotiv, uzay ve havacılık sanayinde kullanımı başta hafiflik ve sağlamlık niteliklerinden dolayıdır. Amaç daha az yakıt harcamak, daha yüksek hıza ulaşmak ve verimliliği artırmaktır. Bu kullanımda sadece maddi kazanç düşünülmeyp stratejik performanslarda dikkate alınmıştır. Özellikle titreşim, yorulma ve ısı dayanımı gibi niteliklerde düşünüldüğünde uzay ve havacılık sanayisinde kompozit malzemelerin önde gelen avantajları bulunmaktadır (Ünal, 2005).

Son yıllarda özellikle uzay ve uçak araçlarında kompozit malzemelerin kullanımları artmıştır. Örnek verirse; Boeing 757 ve 767 uçaklarında % 30'dan fazla polimer matriksli kompozitler kullanılmıştır. Douglas AV8B Harrier avcı uçaklarında kanatlar ve gövde karbon fiber takviyeli kompozitlerden üretilmiştir. Voyager uçağı petrol ürünlerine dayanıklı kompozit malzeme kullanmıştır. Corvette, Ferrari, Avanti, Toyota ve Ford otomobil firmaları araç üretimlerinde kompozit malzemeler kullanmaktadır. Amerika uydu ve uydu araçlarında kompozit malzemeler kullanmış, NASA ise araştırmalarında kompozit malzemeleri incelemekte ve geliştirmeye devam etmektedir (Akbulut, 2007). Kompozit malzemeler, değerli niteliklerden dolayı uzay ve havacılık araçlarında halen daha kullanılmaya devam etmektedir. Bir av bombardıman uçağında kompozit malzeme kullanımı toplam uçak ağırlığının yarısına ulaşmış bulunmaktadır. Bu sayede bor karbür, silisyum karbür, alümina karbon, cam ve kevlar elyafı farklı reçineler ile çeşitli kompozit malzemeler yapımında kullanılabilir. Kompozit malzemelerin silah üretiminde kullanımı pek yaygın olmamasına rağmen, 3000 bara kadar dayanabilen 60 ve 81 mm gibi küçük çaplı havan silahları için bazı çalışmalar yapılmıştır. Bu silahlar hafifliği nedeniyle piyadelerin savaş performansını artırıcı niteliktedir. Roket üretiminde kompozit malzemelerin rolü oldukça büyüktür. Örnek olarak M72'deki motor lançeri cam elyafı ve epoksiden, apilasta ve diğer tanksavar roketlerde gövde kısmen kevlar ve epoksiden, M77 MLRS'de nozüller karbon kompozit malzemesinden oluşmaktadır. Mühimmat üretiminde de kompozit malzemeler kısmen

kullanılmaktadır. M19 A/T mayınında gövde ABS reçine ve cam elyaf parçacıklarından, bu mayına ait küçük ve büyük belleville yayları cam doku ve fenolik reçineden yapılmışlardır. 155 mm'lik ICM mühimmatı gövdelerinde cam elyafı epoksi sargı vardır. Miğfer konusunda ise kevlar ve değişik reçineler kullanılmaktadır. Kurşungeçirmez yeleklerde günümüzde örgülü kevlardan balistik testler için zırh levhaları, cam ve fenolik reçineler imal edilmektedir (Ünal, 2005).

2.5. Kompozit Malzemelerin Avantajları ve Dezavantajları

Kompozit malzemelerin birçok özelliklerinin metallere göre farklılık göstermesinden dolayı önem artmıştır. Kompozitlerin özgül ağırlıklarının düşük olması nedeni ile hafif yapıların kullanımında büyük bir avantaj sağlamaktadır. Bunun yanında, fiber takviyeli kompozit malzemelerin korozyona dayanımları, ısı, ses ve elektrik yalıtımı sağlamaları da bağlantılı kullanım alanları için bir artı sağlamaktadır. Aşağıda bu malzemelerin avantajlı olan ve olmayan yanları kısaca ele alınmıştır. Kompozit malzemelerin dezavantajlarını ortadan kaldırmaya yönelik teorik çalışmalar yapılmaktadır, bu çalışmaların olumlu sonuçlanması halinde kompozit malzemeler metalik malzemelerin yerini alabilecektir. Kompozit malzemelerin avantajları ise aşağıda belirtilmektedir.

Yüksek mukavemet: Kompozit malzemeler yüksek mukavemet değerleri sağlayan malzemeler arasında en etkin olanlardan birisidir. Kompozitlerin çekme, eğilme, darbe ve basınç dayanımı birçok metalik malzemeye göre çok daha iyi ve yüksektir. Ayrıca kalıplama özelliklerinden dolayı kompozitlere istenen yönde ve bölgede gerekli mukavemet verilebilir. Böylece bir uygulamadaki özel tasarım beklentilerine uygun mukavemet değerleri sağlanabildiği gibi malzemedan tasarruf yapılarak, daha hafif ve ucuz ürünler elde edilebilmektedir (www.webcitation.org/query?url, 2014).

Hafiflik: Kompozitler birim alan ağırlığında hem takviyesiz plastiklere, hem de metallere göre daha yüksek mukavemet değerleri sunmaktadırlar. Ürüne sağladığı yüksek mukavemet/hafiflik özelliğinin etkin bir şekilde kullanılmasında en önemli

nedenlerden biridir (www.webcitation.org/query?url, 2014; www.camelyaf.com.tr, 2014).

Tasarım esnekliği: Kompozitler bir tasarımcının aklına gelebilecek her türlü karmaşık, basit, geniş, küçük, yapısal, estetik, dekoratif ya da fonksiyonel şekle sokulabilirler. Maliyet düşürme çalışmalarının yanı sıra, kompozit ürün tasarımcıları prototip (ilk örnek) tasarım üründen seri üretime geçme yönünde yeni yaklaşımlar geliştirmektedirler (www.webcitation.org/query?url, 2014; www.camelyaf.com.tr, 2014).

Kolay şekillendirebilme: Büyük ve karmaşık parçalar tek işlemlerle bir parça halinde kalıplanabilirlik. Bu da malzeme ve işçilikten kazanç sağlar. Tablo 2.2.'de Polimer kompozit malzemeler ile diğer malzeme gruplarının mekanik özellikleri gösterilmektedir.

Tablo 2.2. Polimer kompozit malzemeler ile diğer malzeme gruplarının mekanik özellikleri
(www.webcitation.org, 2014)

Malzeme Türü	Özgül Ağırlığı (ρ , g/cm ³)	Çekme Mukavemeti (σ , MPa)	Elastik Modülü (E, GPa)	Özgül Çekme Mukavemeti (σ/ρ)	Özgül Modülü (E/ ρ)	Uzama (%)
Alüminyum	2,8	84	71	30	25	---
Al-2024	2,8	247	89	98	25	20
Al alaşımı	2,8	600	71	210	25	---
Titanyum	4,51	700	117	192	25,1	20
Ni alaşım	8,18	450-1200	204	147	24,90	26-45
Alaşimsız çelik	7,86	460	210	60	27	20
Düşük alaşımlı çelik	7,8	600	207	80-250	26,5	20
Pirinç %30 Zn	8,5	550	100	60	12	---
Karbon/epoxy %60	1,62	1400	220	865	135	0,8
Karbon/epoxy	1,38	1310	83	950	60	---
Cam/epoxy %60	1,66	1510	165	910	99	---
Cam/polyester %50	1,9	750	38	390	19,8	1,8

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 (www.webcitation.org/query?url, 2014; www.camelyaf.com.tr, 2014).

Boyutsal stabilite: Çeşitli mekanik, çevresel baskılar altında termoset kompozit ürünler şekillerini ve işlevselliklerini korumaktadırlar. Kompozitler takviyesiz termoplastiklerin viskoelastik ve büzülme özelliklerini sergilemezler. Isıl genleşme katsayıları daha düşüktür. Kompozitlerin sünme noktası genel olarak kırılma naktasına eşdeğerdir (www.webcitation.org/query?url, 2014; www.camelyaf.com.tr, 2014).

Yüksek dielektrik direnimi: Kompozitlerin göze çarpan elektrik yalıtım özellikleri, birçok komponent'in üretimi konusunda açık bir tercih nedenidir. Ayrıca uygulama gereği, uygun modifiye edicilerin ve katkı malzemelerinin kullanılması durumunda kompozit ürüne elektriksel iletkenlik niteliği katmak da mümkündür (www.camelyaf.com.tr, 2014).

Korozyona ve kimyasal etkilere karşı mukavemet: Özellikle termoset polimer kompozit malzemeler, hava etkilerinden, korozyondan ve çoğu kimyasal etkilerden zarar görmezler. Bu özellikleri nedeniyle kompozit malzemeler kimyevi madde tankları, boru ve aspiratörler, tekne ve diğer deniz araçları yapımında güvenle kullanılmaktadır. Özellikle korozyona karşı bu malzemelerin mukavemetli olması, endüstride birçok alanda avantaj sağlamaktadır (www.webcitation.org/query?url, 2014; www.camelyaf.com.tr, 2014).

Kalıcı renklendirme: Kompozit uygulamalarının çoğunda renk kalıplama sırasında ürüne kazandırılabilen ve uzun süre bakım gerektirmeden kullanılabilir. Kompozit malzemeye, kalıplama esnasında reçineye ilave edilen pigmentler sayesinde istenen renk verilebilir. Bu işlem ek bir masraf ve işçilik gerektirmez.

Düzgün yüzey (A sınıfı) ve düşük çekme özelliklerine sahip reçine sistemleri metalik boyama uygulamalarına uyumludur (www.webcitation.org/query?url, 2014; www.camelyaf.com.tr, 2014).

Isıya ve ateşe dayanıklılığı: Isı iletim katsayısı düşük malzemelerden oluşabilen kompozitlerin ısıya dayanıklılık özelliği, yüksek ısı altında kullanılabilmesine olanak sağlamaktadır. Bu nedenle bazı özel katkı maddeleri ile kompozitlerin ısıya dayanımı artırılabilir (www.webcitation.org/query?url, 2014; www.camelyaf.com.tr, 2014).

Titreşim sönmülendirme: kompozit malzemelerde süneklik nedeniyle doğal bir titreşim sönmülleme ve şok yutabilme özelliği vardır. Çatlak yürümesi olayı da böylece minimize edilmiş olmaktadır (www.webcitation.org/query?url, 2014; www.camelyaf.com.tr, 2014).

Düşük araç/gereç maliyeti: Polimer kompozit üretiminde genel bir kural olarak seçilen kalıplama yöntemi ne olursa olsun kompozit üretimi için seçilen araç ve gereçlerin maliyeti çelik, alüminyum ve metal alaşımlı geleneksel malzemelere göre daha ucuzdur. Ayrıca birim maliyeti de düşürülmeye yönelik olarak da çalışmalar yürütülmektedir. Bu amaca yönelik olarak kompozit malzeme üretiminde farklı yöntemler kullanılmaktadır. Hepsinde değişmeyen temel ilke, bileşenlerin zayıf yönlerinin amaç doğrultusunda iyileştirilerek daha nitelikli bir yapının elde edilmesidir. Bütün bu olumlu yanların dışında kompozit malzemelerin uygun olmayan yanları da şu şekilde sıralanabilir. Geçen kırk beş yıl içinde, elli binin üzerinde başarılı kompozit uygulaması bu ilginç malzemenin değerini ortaya koymaktadır. Daha düne kadar kompozit endüstrisinin öncüleri, kompozit malzemelerin kabul görmesi için çalışırken, bugünün mühendisleri, tasarımcıları, pazarlama uzmanları son kullanım ve uygulamalarda, kompozit malzemelerin artan başarısı nedeniyle bu tür malzemelere karşı duydukları güveni vurgulamaktadırlar. Bu uygulamalar kompozitlerin maliyet ve performans değerlerini kanıtlamaktadır. Kompozitler ayrıca; sınırsız kalıplama boyutları, çok sayıda üretim tekniği, diğer malzemelerle uyuşma özelliği (takviye amacı ile köpük kullanımı), kendinden

renklendirilme olanağı, isteğe bağlı olarak, ışık geçirgen özellikte üretilebilme olanağı gibi avantajlara da sahiptir (www.camelyaf.com.tr, 2014; Arıcasoy, 2006).

Kompozit malzemelerin dezavantajları ise aşağıda tek tek açıklanmaktadır.

- Polimer esaslı kompozit malzemelerdeki, havanın içerisindeki maddeler malzemenin yorulma özelliklerini olumsuz etkilemesi,
- Kompozit malzemelerin değişik doğrultularda değişik mekanik özellikler göstermesi,
- Seramik malzemeler dışında diğer kompozit malzemelerin süneklik ve tokluğunun düşük oluşu,
- Aynı kompozit malzeme için çekme, basma, kesme ve eğilme mukavemet değerlerinin farklılıklar göstermesi,
- Henüz mekanik özelliklerin öngörülememesi
- Kompozit malzemelerin delik delme, kesme türü operasyonları liflerde açılmaya neden olduğundan, bu tür malzemelerde hassas imalatın yapılamaması,
- Polimer kompozit malzemeler dışında, kompozit malzemelerin üretim maliyetinin yüksek olması,

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 malzeme grubudur (Arıcasoy, 2006).

2.6. Kompozit Malzemenin Kullanım Alanlarının Gelişimi

Günümüzde kompozit malzemelerin kullanım alanı çok geniş boyutlara ulaşmıştır. Kompozit malzemelerin başlıca kullanım alanları ve bu alanlarda sağlanan avantajlar aşağıdaki gibi sıralanabilir;

Şehircilik: Bu alanda kompozitler, toplu konut yapımında, çevre güzelleştirme çalışmalarında (heykel, banklar, elektrik direkleri v.s.) kullanılmaktadır. Üreticinin çok sayıda standart ürünü kısa zamanda imal edebilmesi, montajdan tasarruf ve ucuz maliyet imkânları, kullanıcıya da yüksek yalıtma kapasitesi, hafiflik ve yüksek mekanik dayanım imkânları sağlamaktadır (www.webcitation.org/query?url, 2014; www.camelyaf.com.tr, 2014).

Ev aletleri: Masa, sandalye, televizyon kabinleri, dikiş makinesi parçaları, saç kurutma makinesi gibi çok kullanılan ev aletlerinde ve dekoratif ev eşyalarında kompozit malzemeler kullanılmaktadır. Bu şekilde tek parça veya karışık parça üretimi, montaj kolaylığı, elektriksel etkilerden korunum ve hafiflik gibi avantajlar sağlamaktadır. Uygulama alanları aşağıda belirtildiği gibidir (Arıcasoy, 2006).

- Buzdolapları, dondurucular,
- Mikro dalga fırınlar, fırınlı ocaklar, küçük ev aletleri,
- Motorlu aletler, dikiş makinesi parçaları,
- Hesap makineleri, bilgisayarlar, fotokopi makineleri,
- Masa lambaları, servis tepsileri, abajurlar,
- Depolama tankları ve çöp konteynerleri,
- Mobilya ev eşyaları (oturma koltukları, yataklar, dolaplar),
- Emniyet baretleri, paletler,
- Mutfak tezgâhları,

Elektrik/Elektronik Sanayi: Kompozitler, başta elektriksel yalıtım olmak üzere her tür elektrik ve elektronik malzemenin yapımında kullanılmaktadır. Uygulama alanları aşağıda belirtildiği gibidir (Arıcasoy, 2006).

- İzolatörler, antenler, baskılı devre panelleri,
- Devre kesiciler, sigorta – panel kutuları,
- Aydınlatma gövdeleri, yalıtkan platformlar,
- Elektrik ve aydınlatma direkleri, devre kesici kutular,
- Rüzgâr jeneratörleri, kablo taşıyıcıları,

- Kablo kanalları, doğal gaz kutuları,
- Sokak lamba gövdeleri, sayaç panoları, projektörler,

Havacılık sanayi: Havacılık sanayisinde kompozitler, zaman ilerledikçe daha geniş bir uygulama alanına sahip olmaktadır. Planör gövdesi, uçak modelleri, uçak gövde ve iç dekorasyonu, helikopter parçaları ve uzay araçlarında başarıyla kullanılmaktadır. Daha hafif malzemeyle atmosfer şartlarına dayanım ve yüksek mukavemet sağlanmaktadır. Uçak yapılarında kullanılan ileri kompozitler, elyaf takviyeli kompozitlerdir. Genellikle epoksi esaslı yapı içinde sürekli elyaflar kullanılmaktadır. Uçak yapılarında alüminyum alaşımları gibi konvansiyonel malzemelerin yerini alan kompozit malzemeler, düşük ağırlığa oranla yüksek mukavemet özelliğine sahiptirler (www.webcitation.org/query?url, 2014; Arıcasoy, 2006).

Otomotiv sanayi: Bu alanda kompozitlerden oluşan başlıca ürünler; otomobil kaportası parçaları, iç donanımı, bazı motor parçaları, tamponlar ve oto lastikleridir. Otomobilin ağırlığını azaltmak; yakıt tüketiminde hatırı sayılır tasarruflara yol açtığından, otomobil üreticileri ağırlığı azaltacak yeni malzeme arayışlarına girmiş bulunuyorlar. Bunlara ek olarak petrol yakıtlarına alternatif olarak geliştirilmeye çalışılan elektrikli arabaların motorları nispeten daha az güç ürettiğinden, arabanın ağırlığı muazzam derecede ehemmiyet kazanır. Kompozit malzemeler, katılığın özgül ağırlığa oranı bakımından çelik ve alüminyum ile karşılaştırıldığında, bu değer birkaç kat daha fazla olabilmektedir. Bu sebeple kompozit malzemeler ağırlık azaltmada en önemli adaylardan biridir. Uygulama alanları aşağıda belirtildiği gibidir.

- Karayolu işaretleri,
- Tampon ve çamurluklar, kaporta parçaları,
- Frigorifik kamyon kasaları, makaslar, şaftlar,
- Kamyonet kabinleri,
- Treyler gövde panelleri, araç kapıları ve gövde panelleri,
- Traktör parçaları, motosiklet parçaları,

- Banliyö trenleri araç koltukları ve tutamakları,
- Fren ve debriyaj balataları,

İş makineleri: İş makinelerinin kapakları ve çalışma kabinleri yapımında da kompozit malzemeler kullanılmaktadır. Bu şekilde üretimde kullanılan parça sayısı azaltılabilmekte, tek parça üretim mümkün olmaktadır. Ayrıca elektrik yalıtım malzemelerinden de tasarruf sağlanmaktadır.

- Traktör kaporta, kabin,
- Oturma birimi; SMC,
- Toplu taşıma araçları oturma birimi; SMC,
- Konteynır tabanı; GMT,
- Otobüs havalandırma kanalları, port bagaj parçaları,
- Gösterge paneli; CTP,
- Açık alan servis (golf arabası) araçları kaporta, tavan; CTP,
- Teleferik; CTP,

Kompozit prepreg ve dokuma malzemeler türleri artan oranlarda tren tasarım/imalatında maliyet ve ağırlık düşürmek amacıyla kullanılmaktadır. İskelette ağırlığın düşürülmesi enerji tasarrufu sağlamakla beraber daha hızlı araçların geliştirilmesine katkıda bulunmaktadır. Ayrıca trenlerde malzemelerin yüksek katılığa sahip olmaları iskeletin desteklenmesine gerek olmaması anlamına gelmektedir ki böylece yolcu taşıma bölümü ayrılan mekân artırılabilir. Tren konstrüksiyonunda kolay ve hızlı değişebilen genellikle prepreg levhalar kullanılır. Böylece tekil zarar gören paneller hızla değiştirilebilmektedir (www.webcitation.org/query?url, 2014; Arıcasoy, 2006).

İnşaat sektörü: Cephe korumaları, tatil evleri, büfeler, otobüs durakları, soğuk hava depoları, inşaat kalıpları birer kompozit malzeme uygulamalarıdır. Tasarım esnek ve kolay olmakta, nakliye ve montajda büyük avantajlar sağlamaktadır. İzolasyon problemi çözülmekte ve bakım giderleri azalmaktadır. Uygulama alanları aşağıda belirtildiği gibidir.

- Köprü tabanı; CTP,
- Tırabzanı; CTP,
- Yürüme yolları; CTP,
- Taşıyıcı konstrüksiyon; CTP,
- Bina balkon korkuluğu; CTP,
- Kapı; CTP,
- Taşıyıcı konstrüksiyon, yüzme havuzu, kapı saçağı, yer karoları; SMC,
- Bina kaplama panelleri; CTP,
- Küvet ve lavabo; CTP,
- Sokak lambası; CTP,

Yenilenebilir enerji sektörü: Temiz enerji kullanımının öneminin artması ve ülkemizin rüzgâr enerji potansiyelinin yüksek olması her geçen gün kurulan rüzgâr türbinlerinin sayısının ve kapasitesinin artmasına sebep olmaktadır. Rüzgâr türbin kanatlarında 40-50 metreye kadar cam elyaf kullanılırken, daha uzun kanatlarda karbon elyaf kullanımı gerekmektedir. Bu yüzden ki ülkemizde karbon elyaf üretimi de yaygınlaşmaktadır. Rüzgâr türbin kanatlarından en büyük beklenti ise; uzun sürede dayanıklılığını koruması, aerodinamik olarak türbinin enerji verimliliğine ilave katkı sağlaması, tüm dış etkenlere karşı bütünlüğünü ve yüzey kalitesini kaybetmemesi gibi özelliklerdir (Karabağ, 2011).

Spor malzemeleri: Spor malzemelerinin gelişimi ve şekillenmesi, mühendislik ve bilimsel temellere dayanır. Bunlar, makine mühendisliği ve mekaniği, biyomekanik, sürtünme mekaniği, malzeme bilimi ve anatomi ve felsefe ile ilgili bir takım bilim dallarını içerir. Spor malzemelerinin üretimi ve tasarımında özellikle iki beklenti önem taşınmaktadır. Bunlar sırası ile spor performansını artırmak ile sporcuyu daha özgür ve daha serbest kılmaktır. Günümüz insanı yoğun iş temposundan arta kalan zamanda spor yapmaktadır. Bunları yaparken de hareketlerinin kısıtlanmasını istememekte ve o spor dalı ile uğraşırken profesyonel sporcuların kullandığı malzemeleri kullanmak istemektedir. Örneğin; karbon fiber kompozitinden üretilmiş bir balık oltası kamışı gibi. Diğer kullanım alanları;

- Su kayağı; termoplastik prepreg,
- Kar kayağı; ahşap üzerine sarılmış karbon, aramid, cam elyafı karışımı + epoksi kano küreği; (%33 cam+poliftalamid),
- Su kaydırakları: CTP,
- Sörf tahtaları;; CTP,
- Bisiklet; (karbon+poliamid 6),
- Spor ayakkabıları; termoplastik poliüretan, petek (honeycomb),
- Golf sopası; karbon fiber+epoksi,
- Tenis raketi; aramid (kevlar)+epoksi,
- Zıpkın gövdesi; karbon fiber+epoksi,
- Palet; karbon fiber+epoksi,

Şirketler hızla büyüyen piyasanın farkına varmış ve bünyelerinde özellikle hafif metaller ve kompozit malzemeler üzerine araştırma – geliştirme yapan laboratuvarlar kurmuşlardır (www.camelyaf.com.tr, 2014).

Tarım sektörü: Seralar, tahıl toplama siloları, su boruları ve sulama kanalları yapımında kompozitler özel bir öneme sahiptirler. Kompozit malzemelerden yapılan bu örnekler istenirse ışık geçirgenliği, tabiat şartlarına ve korozyona dayanıklılık, düşük yatırım ve kolay montaj gibi avantajlar sağlamaktadır (www.camelyaf.com.tr, 2014). Diğer kullanım alanları ise aşağıdaki gibidir.

- Silolar,
- Sulama boruları,
- Yem tesisi gereçleri,
- Gıda depolama tankları, salamura tankları,
- Balık çiftlikleri,
- Taşıma kapları, pulvarizatör,

2.7. Polimer Malzemeler

Polimerler küçük monomerlerin bir araya gelmesi ile oluşan makromoleküllerdir. Günümüzde en çok kabul edilen polimer tanımını Carothers yapmıştır. Bu tanıma göre; bağımsız olarak var olamayan radikalleri R ile gösterirsek bir polimer -R-R-R-R-R- şeklinde gösterilen bir makro yapıdır (Beşergil, 2008).

Yün, ipek, pamuk gibi doğal polimerler insan yaşamında yüzyıllardan beri kullanılmaktayken, 1839 yılında Goodyear'ın vulkanizasyon işlemini bulmasıyla polimer endüstrisi başlamış ve sentetik polimerler hayatımıza dâhil olmuştur. Bu tarihten itibaren plastik üretimi her yıl adeta katlanarak 1950 yılında 1.7 milyon tona, 2010 yılında ise 265 milyon tona ulaşmıştır (PlasticsEurope, 2011). Polimerlerin üretiminde kullanılan organik monomer ürünlerinin çoğu petrokimya sanayisinin ana hammaddelerinden olan nafta ya da doğal gazdan üretilmektedir.

Polimer malzemelerin üretim aşamalarındaki esneklik, ihtiyaca göre çok farklı yapılarda polimerlerin üretilmesine imkân sağlamaktadır. Dolayısıyla bir polimer yapısına göre sert veya yumuşak, rijit veya esnek, doğa şartlarına dayanıklı ya da biyo bozunur olabilmektedir.

Polimer endüstrisinin gelişmesi ve bu sayede plastik malzeme üretiminin artması polimerlerin birçok hammaddeyle (metal, cam, ahşap, vb) rekabet eder hale gelmesine sebep olmuştur. Polimerlerin pazarda rekabetçi olmasını sağlayan bazı avantajları aşağıda sıralanmıştır:

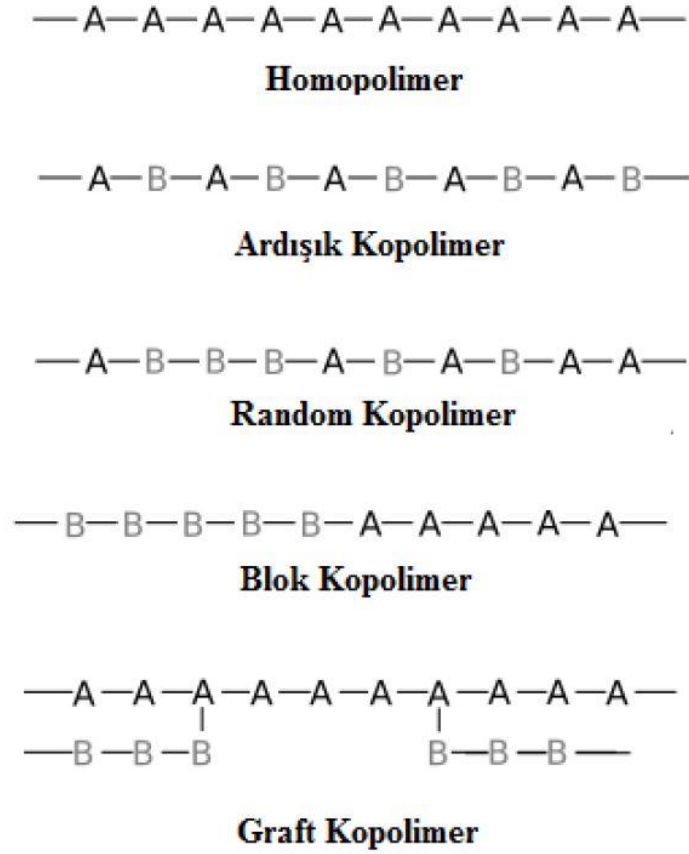
- Düşük ağırlıkları dolayısıyla araçlarda ve nakliye esnasında yakıt tasarrufu,
- Kimyasal dayanım,
- İşleme kolaylığı,
- Korozyona dayanıklılık,
- Elektrik yalıtımı, vb.

Yukarıda bir kısmı sayılan avantajları sayesinde polimerler günümüzde hayatın ayrılmaz bir parçası haline gelmişlerdir.

2.7.1. Polimerlerin sınıflandırılması

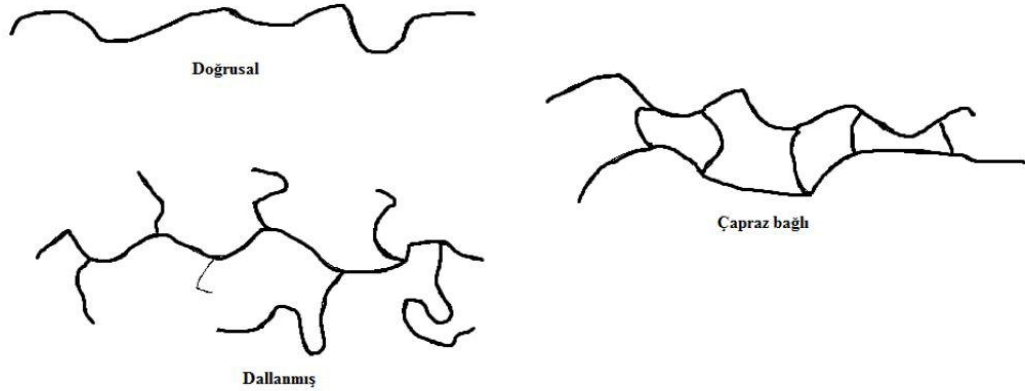
Polimerleri sınıflandırmada kullanılan birçok faktör vardır. Molekül yapıları, molekül konfigürasyonu, ısı ve çözücülere karşı gösterdikleri davranışlar ya da fiziksel durumları bu faktörlere örnek olarak verilebilir.

Molekül yapılarına göre sınıflandırmada polimer zincirini oluşturan monomerler göz önüne alınmaktadır. Eğer bir polimer zinciri tek bir monomer türü tarafından oluşturulmuşsa buna homopolimer adı verilmektedir. Zinciri oluşturan farklı monomerler varsa o zaman bu yapı kopolimer olarak adlandırılmaktadır. Kopolimerler zincir yapısındaki monomerlerin kümelenmesine göre ardışık, blok, random ya da graft kopolimer olarak adlandırılırlar. Bu yapıların gösterimi Şekil 2.1.'de verilmektedir.



Şekil 2.1. Kopolimer yapıları (Çengel, 2013)

Bir başka sınıflandırma çeşidinde, polimerler, moleküllerinin uzaydaki konfigürasyonlarına göre gruplandırılır. Bu sınıflandırmada polimer molekülleri doğrusal, dallanmış ya da çapraz bağlı olabilir. Şekil 2.2.'de polimerlerin molekül yapılarına göre sınıflandırılmaları gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Polimerlerin molekül yapıları (Çengel, 2013)

Diğer bir sınıflandırmaya göre polimerler termoplastikler, termosetler ve elastomerler olmak üzere üçe ayrılır. Termoplastikler, ısıyla birden fazla kez şekillendirilebilen yapılardır. Zincirleri arasında çapraz bağlar görülmez. Termoset malzemeler yapılarındaki yoğun çapraz bağlardan dolayı serttirler. Bir kez şekil verildikten sonra yeniden eritmeleri mümkün değildir, yüksek sıcaklıklarda erimeden bozunmaya uğrarlar. Elastomerler ise yüksek elastikiyet sahibi olan malzemelerdir. Çekme kuvvetine maruz kaldıklarında yüksek oranda uzarlar, çekme kuvveti kalktığında ise hemen ilk boyutlarına dönebilirler. Yapılarında az oranda çapraz bağ bulunabilir (Saçak, 2004).

Fiziksel durumlarına göre sınıflandırmada ise polimer zincirlerinin moleküler yapıdaki düzenlenmesi önem kazanmaktadır. Her hangi bir düzene sahip olmayan amorf yapıdaki polimerler düşük sıcaklıkta camsı özellik gösterirken yüksek sıcaklıkta yumuşaktırlar. Yarı kristal yapıdaki polimerler ise yapılarında hem kristal hem de amorf bölgeler içerirler. Amorf polimerlerden farklı olarak yarı kristal yapıdaki polimerlerin belirli bir erime ve kristallenme noktaları vardır.

2.7.2. Polimerlerin molekül ağırlığı kavramı

Bir polimer farklı moleküler büyüklükte, dolayısıyla farklı molekül ağırlığındaki birçok molekülün karışımından oluşur. Bu nedenle polimerler için basit bileşiklerde

kullanıldığı gibi net bir molekül ağırlığından bahsetmek mümkün değildir. Onun yerine polimerler için "ortalama molekül ağırlığı" kavramı kullanılmaktadır.

Ortalama molekül ağırlığı kavramı polimerler için sıklıkla kullanılsa da tek başına yeterli bir anlamı yoktur. Çünkü molekül ağırlığı ortalamasına ulaşmak için kullanılan fiziksel ve kimyasal yöntemlerin türüne göre çok farklı değerler elde etmek mümkündür. Buna bağlı olarak da farklı molekül ağırlığı ortalamaları ortaya çıkmıştır. Bunlar arasında en çok kullanılanlar sayıca ortalama molekül ağırlığı (M_n), kütlece ortalama molekül ağırlığı (M_w), viskozite ortalama molekül ağırlığı (M_v) ve z-ortalama molekül ağırlığıdır (M_z).

Sayıca ortalama molekül ağırlığı (M_n), molekül boyutunun önemli olmadığı, molekül sayısına göre hesaplama yapılan molekül ağırlığı türüdür. M_n değeri, polimerlerdeki son grup analizlerine (hidroksil, karboksil sayısı) ya da sayısal (koligatif) özelliklere (ozmotik basınç, buhar basıncı, donma noktası düşmesi, kaynama noktası yükselmesi) dayalı yöntemler sonucu bulunur. Bütün bu yöntemlerin ortak özelliği ölçüm yaparken molekülün büyüklüğünü değil sayısını göz önüne almalarıdır.

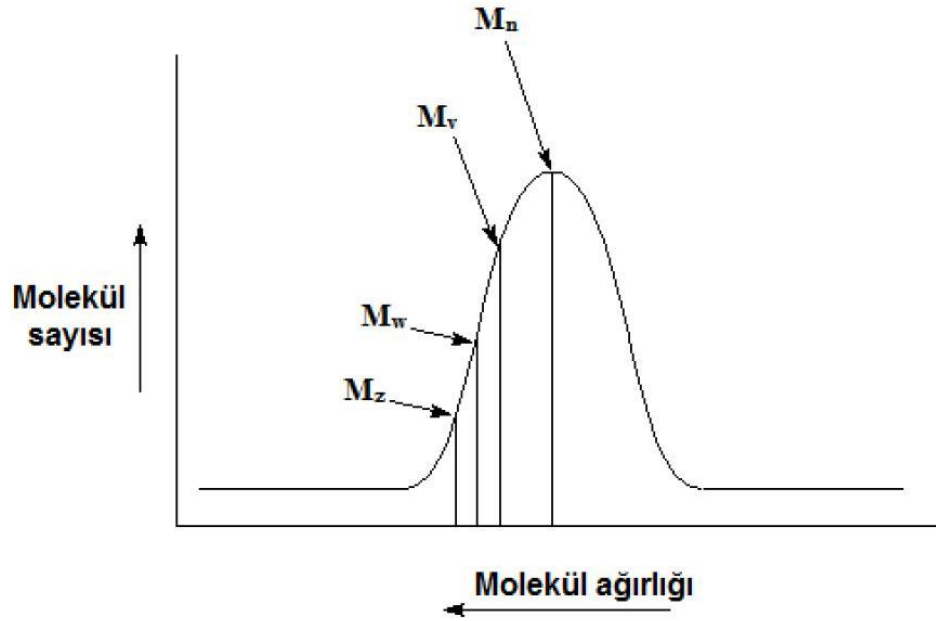
Kütlece ortalama molekül ağırlığı (M_w) değerinin hesaplanması, seyreltik polimer çözeltisinin içerisinde geçen ışığın saçılma esasına dayanır. Saçılan ışığın şiddeti molekül ağırlığının karesi ile doğru orantılı olduğundan büyük moleküllerin bu ağırlık türüne yaptığı katkı M_n 'e göre daha fazladır.

Viskozite ortalama molekül ağırlığında (M_v) polimerlerin seyreltik çözeltilerinin viskoziteleri önem kazanır. Moleküller büyüdükçe moleküller arası etkileşimin artmasına bağlı olarak akışa karşı gösterdikleri direnç artar. Çözelti içindeki polimer moleküllerinin gösterdiği bu dirençten yola çıkılarak polimerin ortalama molekül ağırlığı hesaplanır.

Bir polimerin seyreltik çözeltisi santrifüje konulduğunda polimer molekülleri, santrifüj kuvvetinin etkisiyle molekül büyüklüklerine bağlı olarak dağılım

gösterirler. Bu yöntemle ölçülen ortalama ağırlık türüne de z-ortalama molekül ağırlığı (M_z) adı verilir. M_z , molekül büyüklüğünün en çok önem kazandığı molekül ağırlığı türüdür.

Şekil 2.3.'de bir polimerin molekül ağırlık dağılımında bahsi geçen ortalama molekül ağırlıklarının yerleşimi gösterilmiştir.



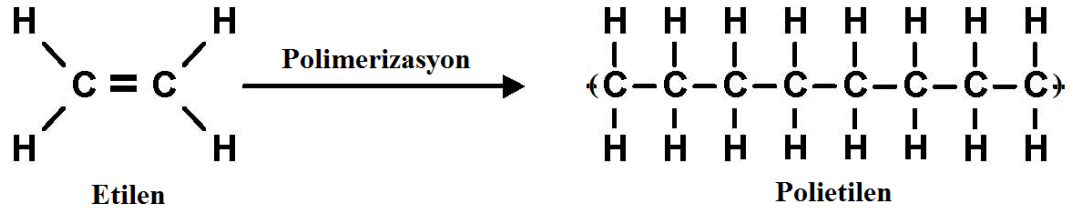
Şekil 2.3. Polimerlerde molekül ağırlığı dağılımı

Şekil 2.3.'de molekül büyüklüğünün molekül ağırlıkları üzerine etkisi de açıkça görülmektedir. Sayıca ortalama molekül ağırlığı M_n , dağılımın molekül ağırlığı en düşük kısmında yer alırken, zortalama molekül ağırlığı dağılımın en yüksek kısmında yer almıştır.

Polimerdeki molekül ağırlık dağılımı daraldıkça molekül ağırlığı türleri arasındaki mesafe de daralmakta ve ortalama ağırlık değerleri birbirlerine yaklaşmaktadır. Bu duruma bağlı olarak ortaya çıkan polidispersite kavramı da polimerin molekül ağırlık dağılımının dar ya da geniş olmasının bir ölçüsüdür. Polidispersite değeri M_w 'nin M_n 'e bölünmesi ile bulunur. Buna göre değer 1'e yaklaştıkça molekül ağırlık dağılımı daralır, 1'den uzaklaştıkça molekül ağırlık dağılımı genişler (Cazes, 1989).

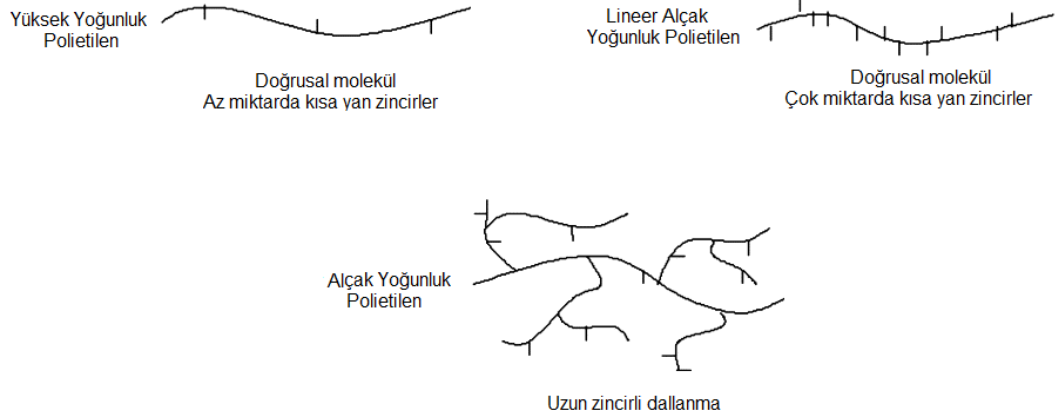
2.8. Polietilen

Etilenin polimerizasyonu sonucu oluşan bir polimer olan polietilen, plastik ürünleri arasında dünyada en yaygın kullanımı olan polimer türüdür. 2010 yılı itibariyle Avrupa'daki plastik talebinin % 29'unu polietilen sağlamıştır (PlasticsEurope, 2011). Etilenin polimerizasyonu Şekil 2.4.'de şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 2.4. Etilenin polimerizasyonu

Polietilen yöntemine göre çok farklı çeşitlerde üretilebilmektedir. Üretim miktarlarına göre en önemli polietilen türleri Alçak Yoğunluk Polietilen, Linear Alçak Yoğunluk Polietilen ve Yüksek Yoğunluk Polietilendir. Bu türlerin molekül yapıları Şekil 2.5.'de verilmiştir.



Şekil 2.5. Farklı polietilen türlerine ait molekül yapıları

2.8.1. Alçak yoğunluklu polietilen (AYPE)

Alçak yoğunluk polietilen etilenin yüksek basınçta peroksit katalizörler yardımıyla polimerizasyonu sonucu oluşur. Otoklav ve tübüler proses olmak üzere iki çeşit üretim yöntemi vardır.

Otoklav proste 15 - 30 bar civarında reaktöre gelen etilen gazının basıncı kompresörler yardımıyla 1000 barın üzerine çıkarılır. Bu basınçta 170 - 310°C sıcaklık aralığında peroksit katalizörler ile tepkimeye girerek polietilene dönüşür. Reaksiyon verimi % 20 civarındadır (Gündoğdu, 2010).

Tübüler proste ise polimerizasyon yaklaşık 2 km uzunluğundaki bir boru hattında gerçekleştirilir. Etilen yaklaşık 17-22 bar aralığında üretim sürecine girer. Birincil kompresörde etilenin basıncı 3 kademe sonunda yaklaşık 250-280 bara çıkarıldıktan sonra ikincil kompresöre gelir. İkincil kompresörde iki kademe reaksiyon basıncı yaklaşık 2500 bara, sıcaklık ise 170°C'ye yükseltilir ve etilen reaktöre gönderilir. Reaktörde peroksit katalistler yardımıyla reaksiyona giren etilen polietilene dönüşür (Eroğlu, 2011).

Alçak yoğunluk polietilen 0.85 - 0.90 g/cm³ yoğunluğa sahip esnek bir polietilen türüdür. Molekül yapısı dallanmış şekilde olduğundan kristallenme oranı nispeten düşüktür. Erime noktası 110°C civarındadır.

2.8.2. Lineer alçak yoğunluklu polietilen (LAYPE)

Lineer alçak yoğunluk polietilen etilenin α -olefinlerle (1-büten, 1-hekzen, 1-okten gibi) Ziegler-Natta ya da metalosen katalizörleri eşliğinde düşük basınçta kopolimerizasyonu ile üretilir. Yapısı doğrusal olmasına rağmen içeriğinde bulunan çok sayıda kısa zincirli dallanmalar sebebiyle yoğunluğu düşüktür.

Lineer alçak yoğunluk polietilen, alçak yoğunluk polietilene nazaran daha güçlü fiziksel özelliklere sahip olmasına rağmen işlenmesi daha zor bir polietilen türüdür.

Sanayide genellikle alçak yoğunluk polietilen ile karıştırılarak kullanılır. 120°C civarında erime noktasına sahip olan türün yoğunluğu 0.815 - 0.835 g/cm³ aralığındadır (Gregory, 2009).

2.8.3. Yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE)

Etilenin Ziegler-Natta katalizörleri eşliğinde düşük basınçta polimerleştirilmesi sonucu yüksek yoğunluk polietilen elde edilir. Reaksiyonda katalizör olarak titanyum tetraklorür ve yardımcı katalizör olarak tri-etil alüminyum kullanılır. Reaksiyon 70 - 80°C sıcaklık ve 8 bar basınç altında gerçekleştirilir (Koltuksuz ve ark., 2011).

Yüksek yoğunluk polietilenin yoğunluğu 0.945 g/cm³'ün üzerindedir. Molekül yapısı alçak yoğunluk polietilenin aksine doğrusaldır. Dallanma fazla görülmez. Erime noktası 130°C civarındadır.

2.9. Kil Esaslı Malzemeler

Güçlü hava akımlarının etkisiyle aşınan volkanik kayalardan oluşan kil mineralleri buldukları yerden rüzgâr ve su etkisiyle taşınarak başka bölgelere büyük yataklar halinde depolanmıştır (Loughnan, 1969; Sarıkaya, 1987).

Killer su tutma ve iyon değiştirme kapasitesi büyük, partikülleri su içinde kendiliğinden 2 µm'nin altında dağılan lifli veya tabakalı yapıdaki magnezyum, demir veya alüminyum silikatlar olarak da tanımlanmaktadır.

Büyük ölçüde bir veya daha çok sayıda kil minerali içeren kayalara genel olarak kil denir. Daha önce de denildiği gibi killer içinde kil dışı mineraller yanında bazı organik maddeler, su ve suda çözünebilen tuzlar da bulunmaktadır.

Killer sert görüldüğü halde kesilebilecek kadar yumuşak, su ile ıslatıldığında kolayca şekillenebilen, ısıtıldığı zaman sertleşebilen hidroksilleşmiş ve hidratlaşmış silikatlardır.

Doğal mineral karışımları olmaları nedeniyle saf bir kil mineralinden oluşan killere doğada ender olarak rastlanmaktadır. Simektit ve sepiolit gibi bazı kil mineralleri az da olsa doğada saf olarak bulunabilmektedir.

Killerin ekonomik değeri, içerdiği kil ve kil dışı minerallerin türü, oranı, kimyasal bileşimi ve rengine bağlı olarak değişmektedir. İçerdikleri minerallerin oran ve bileşimlerine bağlı olarak killerin renkleri gri, pembe, yeşil, beyaz, kahverengi tonlarında olabilmektedir (Grim, 1962; Kingery ve ark., 1976; Sarıkaya 1987).

Volkan tüflerinin aşınmasıyla oluşan killer gözenekli ve su çekici yüzeye sahip minerallerdir (Loughnan, 1969). Tabakaları arasına çeşitli organik ve inorganik moleküllerin girmesi yanında iyon değişimi ile değişik katyonların sokulması sonucu farklı fizikokimyasal özelliklere sahip teknolojik ürünler elde edilmektedir. Özellikle saponit, bidellit, montmorillonit, nontronit, hekorit gibi simektit grubu olan mineraller organik veya inorganik her türden katyonla yer değiştirebilmektedir (Murray, 1991). Gözenekli yapıya sahip olan killerin kullanım alanları inşaat endüstrisinden kağıt ve petrokimya endüstrisine; seramik ve çimento üretiminden bitkisel yağ, bira, şarap ve meyve suyu ağartmaya; radyoaktif atıkların ve atık suların temizlenmesi; diyafram, elektrot, deterjan, ilaç, sabun, katalizör, lastik ve plastik üretimi gibi çok geniştir (Murray, 1991). Asit aktivasyonu, hidrotermal işlem, termal işlem, iyon değişimi ve adsorpsiyon gibi yöntemlerle killerin mineralojik, reolojik, adsorplama ve kimyasal özellikleri istenilen doğrultuda değiştirilerek ileri teknoloji malzemeleri üretilmektedir (Murray 1999; Murray 2000).

Bir kil mineralinin yapısına su aldıkça genişleme göstermesine şişme denir. Kil mineralinin fiziksel hali; su aldıkça katı halden (susuz) hidratlaşmış, yarı-katı plastik, jel ve süspansiyon hallerine sırayla dönüşme gösterir (Law 1979; Luckham ve ark., 1999; Önal, 2007). Simektit-su sistemleri tarımsal, çevresel ve endüstriyel alanlarda

öneme sahiptir. Sızdırmazlık problemlerinin giderilmesi, baraj inşaatı döküm kalıbı hazırlanması, sondaj sıvılarının hazırlanması gibi mühendislik işlerinde kullanılmaktadır.

Seramik ve döküm endüstrisi yanında katalizör üretiminde kullanılan killere ısı işlem uygulanmaktadır(Ambroise ve ark., 1987). Bentonitlerin mineralojik ve kimyasal yapıları yanında dayanıklılığı, plastiklik, şişmesi, bastırılabilmesi, partikül büyüklüğü, katyon değiştirme kapasitesi ve özgül gözenek hacmi gibi bazı fizikokimyasal özellikleri ısı işlem sıcaklığına bağlı olarak önemli ölçüde değişmektedir (Bradley ve ark., 1951; Brindley, 1978; Mozas ve ark., 1980; Reichle, 1985; Ceylan ve ark., 1993; Joshi ve ark., 1994; Sarıkaya ve ark., 2000).

Killerin kullanılmasından önce kimyasal bileşimi, mineralojisi, gözenekli yapısı yanı sıra termal davranışlarının belirlenmesi büyük önem taşımaktadır (Adams 1978; Gregg ve ark., 1982; Reichle, 1985; Murray, 1991; Paradas ve ark., 1993; Breen ve ark., 1997; Chitnis ve ark., 1997). Kullanım alanlarını genişletmek için killer ısı işlem, asit-baz aktivasyonu ve hidrotermal işlemler yanında organik veya inorganik maddelerle işlenmektedir. Bu işlemler sırasında killerin kimyasal ve mineralojik yapılarının değişmesi; yüzey asitliği, yüzey alanı, gözenek hacmi, katyon değiştirme kapasitesi, partikül boyut dağılımı, gözenek boyut dağılımı, katalitik etkinlik ve ağartma gibi fizikokimyasal özelliklerinin değişmesine neden olmaktadır (Parfitt ve ark., 1976; Barrer, 1978; Sarıkaya ve ark., 2000; Pinnavaia 1983, Laszlo 1987). Bu işlemlerden killerin ekonomik değerini yükseltenler endüstriye aktarılmaktadır. Bu nedenle, kil yataklarının ayrıntılı incelenmesi, kil minerallerinin fizikokimyasal özelliklerinin belirlenmesi, değişik işlemlerle kullanım alanlarına göre hazırlanması yanında dehidratasyon, dehidroksilasyon ve termal dönüşüm kinetiğinin araştırılması büyük önem taşımaktadır. Isıl işlem yanında asit aktivasyonu bentonitlerin bozunma kinetiklerini inceleyen çalışmalar yapılmıştır (Güler ve ark.,1990; Tonbul ve ark., 1997; Sarıkaya ve ark., 2000; Tonbul ve ark., 2001, Önal, 2007).

2.9.1. Kaolinler

Kaolin, başta granit ve diğer magmatik-volkanik kayaların yerlerinde bozunmaları sonucu oluşan ve ana minerali kaolinit olan kildir. İlk defa Çin'in Jiangxi bölgesinde M.Ö. 3000 yıllarında "Kau-Ling" isimli bir Çinli tarafından bulunmuş ve ismi kayaç adı olarak verilmiştir. Bu grubun diğer üyelerinden Halloysit, ilk kez Baron Omalius d'Halloy (1707-1789) tarafından bulunmuştur. Kaolinite benzer fakat daha fazla hidroksil içerir ve uzun tüp şeklinde kristallere sahiptir. Bunların dışında BallClay (bağlayıcı kil), Flint kili, Fire Clay (Ateş kili) gibi alt gruplar da vardır. Bunlardan ateş kili refrakter özelliğe sahip, yüksek sıcaklıkta deformasyon geçirmeyen silis ve alüminyumca zengin bir kil türüdür.

Kaolin literatürde çoğunlukla, kaolin ve kil aynı anlamı verecek şekilde kullanılmaktadır. Kaolin, beyaz, plastik, yumuşak kil türü olup çok küçük tane boyutu 2 µm kabul edilir. Yoğunluğu 2,62 g/cm³ ve sertliği 1,5-2 arasındadır. İdeal bileşimi % 46,5 SiO₂; % 39,5 Al₂O₃ ve % 14,0 H₂O bulundurmaktadır. Ancak temel yapıcı eleman alüminyum azalması durumunda bileşime az oranlarda demir, kükürt ve potasyum girer. Potasyum olması bir miktar alünit içermesi demektir ve bu istenmeyen bir durumdur. Çünkü ısı işlemde ateş kaybının artmasına neden olur. Kaolin 200°C' de higroskopik suyunu kaybeder, 1000°C'de ise müllit (3Al₂O₃ . 2SiO₂) ve silise (SiO₂) dönüşür.

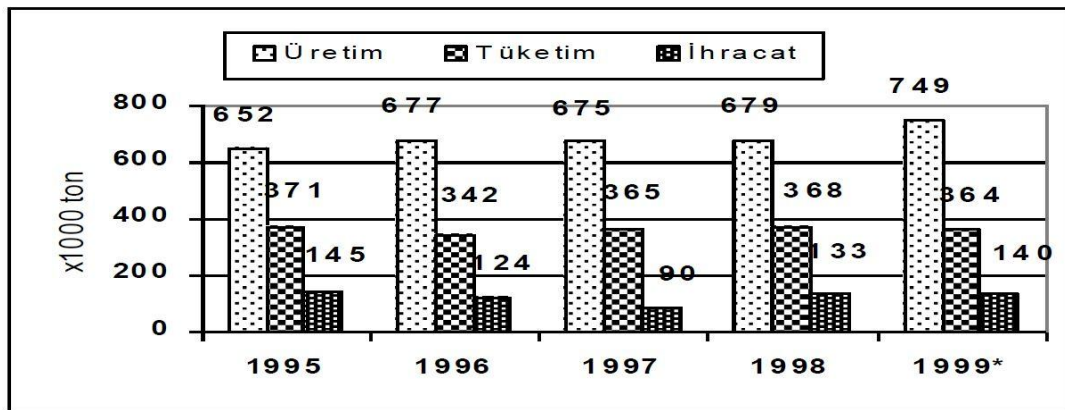
Türkiye'de en önemli kaolin rezervleri İstanbul – Şile, Ağaçalı, Beykoz bölgeleri Balıkesir- Gönen, Düvertepe, Bursa, Çanakkale – Çan, Kütahya- Emet, Bilecik – Söğüt bölgelerindedir (Özdemir ve ark., 1988). Dünyanın en büyük kaolin yatakları ise ABD, İngiltere ve Rusya'da bulunmaktadır.

Dünya toplam rezervi 13,7 milyar ton civarındadır. Türkiye'nin toplam tahmini rezervi ise yaklaşık 100 milyon ton civarındadır. DİE kaynaklarına göre ise işletilebilir rezervin 36 milyon ton civarında ifade edilmektedir.

Dünya kaolin tüketiminde miktar ve parasal olarak ilk sırayı kağıt sanayisi almaktadır. Dünya kağıt tüketiminde kaolin ve kalsitin yerine titan ve talk da kullanılmaktadır. Tablo 2.3’de Türkiye kaolin rezervleri görülmektedir. Şekil 2.6.’da ise Türkiye’nin kaolin üretimi ve tüketim grafiği görülmektedir.

Tablo 2.3. Türkiye kaolin rezervleri ($\times 10^3$ ton) (Anonim, 2001)

İli	% Al ₂ O ₃	Muhtelif Rezerv	İşlenebilir Rezerv	Kullanılabilir Alan
Balıkesir/Sındırgı	13-33	70.000	25.000	İnce seramik, karo, refrakter, kağıt
Giresun/Bulancak	12-24	7.785	2.000	Karo, fayans
Çanakkale/Çan	17-35	5.000	2.000	Seramik, refrakter
Eskişehir/Mihalıççık	20-33	3.330	1.000	Seramik, karo fayans
Aksaray	15-32	1.500	1.000	Karo, fayans, kağıt
Bursa/Kemalpaşa	20-24	1.000	1.000	Kağıt
Diğer	11-30	11.630	4.000	Muhtelif
Toplam		100.245	36.000	



Şekil 2.6. Türkiye kaolin üretim, tüketim ve ihracatı (ham ve kırılmış kaolin) (Hancıoğlu, 2015)

Tarihte insanoğlu tarafından ilk keşfedilen seramik kili kaolindir. Seramik sanayisinin her alanında değişik özelliklerdeki kaolinler kullanılır. Çeşitli fabrikalarda üretim proseslerine göre alüminyum ve demir, titan, kükürt gibi önemli kimyasal bileşimler değişiklik gösterir.

Kaolinler seramik ve kâğıt sanayilerinin en önemli hammaddesidir. Ayrıca, kaolinler kristalleşme derecesi, parlaklığına, örtücülüğüne, beyazlığına, film dayanımlığına, viskozitesine ve tane şekline göre sanayide çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Kaolinin kâğıt, porselen, sıhhi tesisat gibi kullanım alanlarında beyazlık, serbest silis, aşındırıcılık gibi bazı fiziksel parametreleri, kimyasal bileşimleri kadar önemli olmaktadır. Ülkemizde kaolin kullanan başlıca sanayi kolları ve nitelikleri aşağıda sıralanmaktadır.

Kâğıt Sanayi % 90 – 100 saf kaolinit minerali aranırken, kesinlikle kuvars minerali içermemelidir. Ayrıca, parlaklık en az % 85, tane boyutu $80 < 2\mu\text{m}$ ve Brookfield viskozitesi < 7.000 cps olmalıdır.

Seramik Sanayi Genellikle % 75 – 80 kaolinit minerali içeren kaolinler tercih edilir. Pişme rengi, viskozitesi, sürtünmeye dayanıklılığı, Fe_2O_3 ve TiO_2 oranlarının çok düşük olması ve % 83 – 91 oranında parlaklık istenir.

Boya Sanayi Su bazlı iç ve dış cephe boyalarında ve yağ esaslı, özellikle sanayi boyalarında titanyum oksit (anorganik pigment) , öğütülmüş kalsit tozu ve talk ile birlikte kaolin kullanılır. Su bazlı iç cephe plastik ve latex boyalarında kalsine edilmiş ve lamine olmayan (delaminated) mineral yapısına sahip kaolinler kullanılır. Bu gruptaki boyalar % 50 ila % 70 arasında pigment içerir. Yarı parlak ve parlak su bazlı boyalarda kullanılan kaolinin % 98'i $2\mu\text{m}$ 'den daha büyüktür.

Plastik Sanayi Güçlendirici ve maliyet düşürücü katkı malzemesi olarak özellikle vinillerde ve poliesterlerde kullanılır. Kaolinin en önemli kullanım alanı (PVC) kaplanmış teller ve kablolardır. Kalsine kaolin ve silika yüzey modifiye edilmiş kaolinler PVC'lerin elektrik direncini arttırmak için kullanılır, çünkü onlar hidrofobik özelliğe sahiptir.

Mürekkep Yapımı Litografik, offset ve fleksografik baskı tekniklerinde ince film içeren yüksek yoğunluktaki mürekkeplerde kaolin kullanılır. Mürekkep filmi 5 ile 15

μm arasında değişir ve parlaklığı korumak için ince taneli kaolin (0,2 – 0,5 μm) renklendirici pigment ile beraber kullanılır.

Lastik Sanayi Maliyet dűşürücü katkı malzemesi ve güçlendirici olarak en çok kullanılan sert kaolinin tane boyutu ortalama 0,2 μm 'den küçük ve yumuşak kaolinlerin ortalama tane boyutu 1.0 μm 'den küçüktür. Lastik sanayinde istenilen kaolinin sudaki pH'si 4.5 – 5.5 arasında, bunun yanında, Fe, Mn ve Cu gibi elementlerin çok düşük sınırlar içinde olması istenir.

Cam Elyaf Yapımı Isı izolasyonu ve plastiklerin güçlendirilmesinde kullanılır. Cam elyafın ana hammaddeleri silis, kaolin ve kireçtaşı ile birlikte borik asit, soda ve sodyum sülfattır. Alüminyum camlarda erime sıcaklığını dűşürür, kristalize olmasını önler ve suda ve diğer kimyasallarda çözünebilirliği azaltır. Cam elyaf üretimi için istenilen kaolinde % 37 Al_2O_3 , % 44 SiO_2 , en fazla % 1 Fe_2O_3 , % 2 Na_2O ve % 1 H_2O olmalıdır.

Diğer Alanlar İzolasyon: Kaolin lateks, sodyum silikatlı duvar kağıdı yapıştırıcılarda, alçı panellerde, su bazlı yapıştırıcılarda ve epoksi bazlı yapıştırıcılarda, daha iyi viskozite elde etmek, kolay uygulanması ve kolay yayılabilmesi için kullanılır. Kataliz: Özellikle petrol rafinelerinde petrol ürünlerinin katalitik dönüşümlerinde kataliz olarak kullanılır. Pek çok katalizler yüksek sıcaklık ve basınç altında çalışırlar, bu nedenle kaolinler yüksek sıcaklık şartlarına uygundur. Katalitik konverterlerin (kordiyorit) imalatında talk veya sepiyolit ve kaolin karışımı kullanılır. İlaç: Bazı ilaçlarda adsorpsiyon özelliğinden dolayı kaolin kullanılır. Kalsine edilmiş kaolin (% 90'ı 2 μm altı) diş macunlarında kullanılır. Ayrıca, otomobil ve metal parlaticılarında oksitlenmiş yüzeylerin temizlenmesinde kaolin kullanılır.

2.9.2. Bentonitler

Volkanik küllerin, tüflerin ve lavların ayrışması sonucu oluşan, alüminyum ve magnezyumca zengin olan içerisinde büyük oranda montmorillonit minerali bulunan

killere bentonit denilmektedir. Bentonit ilk defa 1888 yılında ABD'nin Wyoming eyaletinde Fort Benton yakınlarında bulunmuş ve 1898 yılında Knight tarafından bu isimle adlandırılmıştır (Grim, 1962). Genel kimyasal formülü $Al_4Si_8O_{20}(OH)_4 \cdot nH_2O$ olup plastikliği yüksek, yumuşak, kuvvetli kolloidal özellik gösteren, kolaylıkla şekil verilebilen bir kildir (Gillson, 1960; Grim, 1988; Murray, 1991). Ticari tanımlama ise suyla temas ettiğinde şişebilen, asitle aktifleştirilmiş, sondaj çamurlarını koyulaştıran ve geniş yüzey alanına sahip bir kil mineralidir (Grim, 1988; İpekoğlu ve ark., 1997). Bentonitler doğada gri, beyaz, pembe, yeşil gibi çeşitli renklerde bulunurlar. Ayrıca bentonit yerine sabun kil, ağartma kili, ağartma toprağı, volkanik kil, adsorplayıcı kil gibi isimler de kullanılmaktadır (Clarke, 1989). Bentonit içerisinde doğal katkı maddesi olarak kaolin ve illit gibi kil mineralleri ile jips, kuvars, rutil, dolomit, kalsit ve volkanik kül gibi kil dışı mineraller de yer almaktadır (Grim ve ark., 1978).

Bentonitler su ile etkileştiklerinde şişme özelliği gösterirler. Şişme ve değişebilen iyonlara göre bentonitler üç gruba ayrılmaktadır. Sodyum bentonit (Na-B), sodyum-kalsiyum bentonit, kalsiyum bentonit (Ca-B) şeklinde sıralanabilir. Sodyum bentonitler su ile fazla şişerken, sodyum- kalsiyum bentonitler orta derecede şişer, kalsiyum bentonit ise oldukça az şişer. Sodyum-kalsiyum bentonitlere ara veya karma bentonitler de denir. Su ile çok şişen Na-B'lerin süspansiyonları uzun ömürlü olurken su ile az şişen Ca-B'lerin süspansiyonları kısa ömürlü olmaktadır (Mingelgrin ve ark., 1978; Law ve ark., 1979). Eğer ham bentonit su ile etkileştiğinde en az beş katı kadar şişiyorsa ticari olarak iyi bir bentonit olarak kabul edilmektedir. Çok daha iyi su emebilen bentonitler 10-20 kata kadar şişebilmektedir. Su ile şişme özelliği belli bir sıcaklıktan sonra kaybolan bentonitin kuru haldeki özkütlesi $2,7-2,8 \text{ g/cm}^3$ olup iyonlaşma kapasitesi yüksektir. Bentonit toz haline getirildiği zaman yoğunluğu $1,6-1,8 \text{ g/cm}^3$ kadar olmaktadır. Bentonitlerin kimyasal bileşimi ile kesin olarak hangi tip olduğu söylenememekle birlikte ancak tahmin yürütülebilmektedir. Bentonit gruplarına ait kimyasal bileşimler Tablo 2.4.'de verilmiştir.

Tablo 2.4. Bentonit kimyasal bileşenleri

Bileşen (%)	Na Bentonit	Ca Bentonit	Ara Bentonit
SiO ₂	64	59	62
Al ₂ O ₃	21	19,7	15,9
Fe ₂ O ₃	3,5	5,9	3
MgO	2,3	5,5	2,6
CaO	0,5	1,7	4,5
Na ₂ O	2,6	0,2	2
K ₂ O	0,4	0,2	1

Tablo 2.4.'e bakıldığında $(Na_2O+K_2O)/(CaO+MgO)$ oranı 1 ve 1'den büyük olanlar Na-B; 1'den küçük ve 1/3'e yakın olanlar ara bentonit; 1/3'ten küçük olanlar ise Ca-B olarak kabul edilir.

Bu doğal sınıflandırmanın yanı sıra bentonitler sülfürik asite karşı gösterdikleri reaksiyonlara göre de sınıflandırılırlar. Bu şekilde alkali veya toprak alkali bentonit olup olmadıkları da anlaşılabilir (Yaylalı ve ark., 2001). Bu reaksiyonlara göre bentonitler dört gruba ayrılırlar.

1-Alkali bentonitler: Asitle reaksiyona girdiğinde özellikleri koruyan ve kolaylıkla yer değiştirebilen alkali gruplar içeren bentonitlerdir.

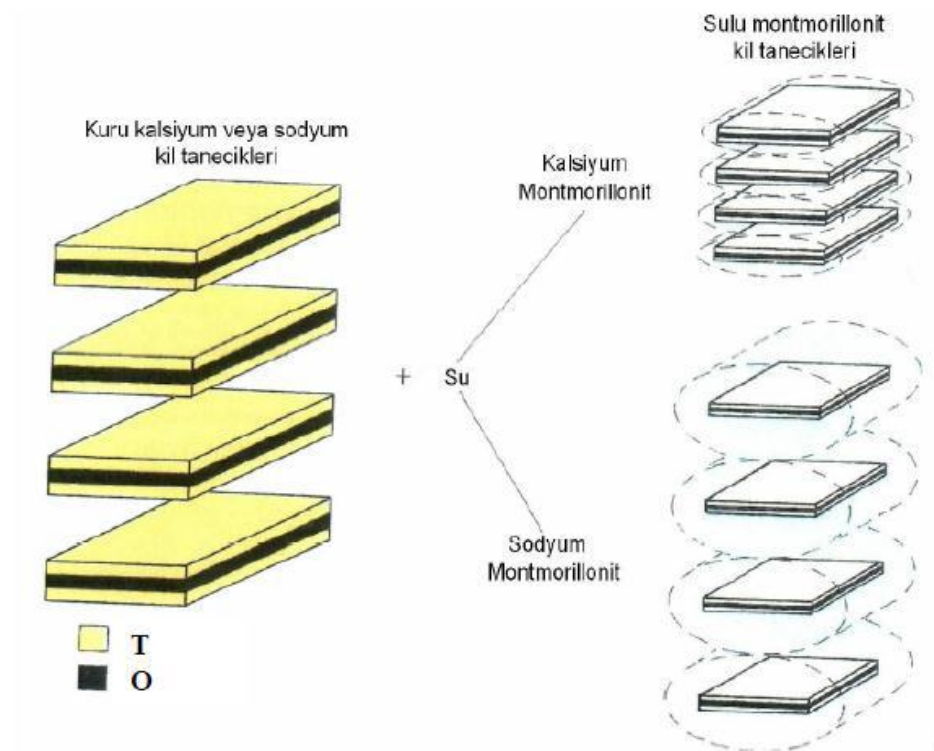
2-Yarı alkali bentonitler: Kolayca yer değiştirebilen alkali gruplar içeren bentonitlerdir. Ancak bunlar asitle reaksiyona girdikleri zaman özelliklerini kaybederler.

3-Toprak alkali bentonitler: Kolayca yer değiştirebilen alkali gruplar içerirler. Asitle reaksiyona girmeden önce veya sonra bir alkali tuzun eklenmesi sonucunda meydana gelen reaksiyon sonucunda alkali bentonit haline dönüşürler.

4-Toprak alkali yarı bentonitler: Kolayca yer değiştirebilen alkali gruplar içerirler. Asitle reaksiyona girdiklerinde alkali bentonit özelliklerini kaybederler.

Bentonitler asit, baz, tuz, organik maddelerle işlenerek özellikleri geliştirilebilmekte; adsorplama, ağartma ve katalitik etkinlikleri yükseltilebilmektedir (Noyan, 2001).

Bentonit mineralinin en önemli özelliği bünyesinde su tutabilmesidir. Bentonitin bünyesine su alıp kristal yapısının genişlemesine şişme denilmektedir. Bentonitlerin şişmesi 2:1 tabakaları arasındaki katyonların türü ve miktarı ile ilgilidir (Suquet ve ark., 1975; Slade ve ark., 1991; Sato ve ark., 1992). 2:1 tabakaları arasında doğal olarak çoğunlukla Na^+ ve Ca^{2+} katyonları bulunmaktadır ve $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$ eşmolar oranı arttıkça şişme de artmaktadır (Laird ve ark., 1997).



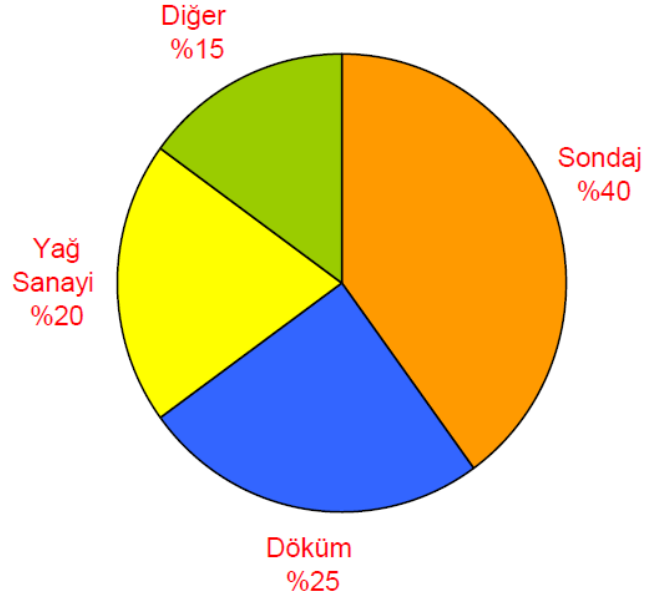
Şekil 2.7. Bentonitlerin su ile temas ettiklerinde yapılarında oluşan değişim (Özdemir ve Özcan 2007)

Bentonitlerin yapısı bileşimleri endüstride kullanımı için oldukça önemlidir. Yüzey kimyası, tanecik boyutu, tanecik şekli, renk, viskozite, aşındırma, plastisite, yüzey alanı, absorpsiyon ve adsorpsiyon gibi çeşitli özellikleri endüstriyel alandaki kullanımını büyük ölçüde etkilemektedir (İpekoğlu ve ark., 1997). Bentonitlerin oldukça geniş kullanım alanı vardır ve en çok tüketildiği alan sondaj sektörüdür.

Kullanım alanlarının bir kısmı aşağıda sıralanmıştır (Anonim, 2001). Şekil 2.7.'de su ile temas eden bentonit yapısındaki değişme görülmektedir.

- Döküm kumu bağlayıcısı olarak kalıpların hazırlanmasında (1600°C'ye kadar dayanmakta);
- Demir çelik sanayisinde demir tozu pelletleme de;
- İnşaat mühendisliğinde temel ve baraj yapımlarında su ve sıvı sızdırmazlığı elde etmede;
- Yemeklik sıvı yağların ağartılmasında;
- Gıda sanayisinde hayvan yemine katkı olarak;
- Şarap ve meyve sularının berraklaştırılmasında;
- İlaç, kağıt, lastik sanayisinde dolgu maddesi olarak;
- Çimento ve seramik sanayisinde katkı maddesi olarak;
- Evcil hayvanların altlarına yayılarak atıkların kolay temizlenmesinde;
- Petrol rafinasyonunda;
- Atık suların temizlenmesinde;
- Gübre yapımı ve toprak ıslahında;
- Kurşun kalem, renkli kalem, pastel boya, tutkal yapımında ara madde olarak;
- Boya sanayisinde, yangın söndürücülerde ve birçok kimya sanayisinde katalizör olarak kullanılabilir.

Türkiye oldukça geniş petrol yataklarına sahip bir ülkedir. Yataklar ağırlıklı Marmara, Orta Anadolu ve Orta Karadeniz bölgelerinde bulunmaktadır (Anonim, 2001). Bu yatakların büyük bölümü pelletleme ve döküm bentoniti özelliğindedir. Küçük bir bölümü ise sondaj bentonitidir. Şekil 2.8.'de bentonitin kullanım alanlarının yüzdeleri görülmektedir.



Şekil 2.8. Bentonitin kullanım alanları (Özdemir ve ark., 2007)

Bentonit Türkiye’de magmatik kayalar, volkanik ara katkılı çökel ve salt çökel birimlerinin içinde bulunmaktadır. Türkiye oldukça geniş bentonit yataklarına sahip bir ülkedir (Anonim, 2001). Kütahya, Ünye-Fatsa, Tirebolu-Giresun gibi yataklar ise son yıllarda önemi gitgide artmakta olan beyaz bentonit özelliğinde olup kağıt ve deterjan sanayisinde ve de ayrıca yağların ağartılmasında kullanılmaktadır (İpekoğlu ve ark., 1997). Ülkemizde 1960’lı yıllardan bu yana bentonit tüketimi giderek artış göstermiştir (Anonim, 2001). Türkiye’nin en önemli bentonit yatakları Enez (Edirne), Kütahya, Eskişehir, Kalecik (Ankara), Eldivan-Kurşunlu-Ilgaz (Çankırı), Reşadiye (Tokat), Ünye-Fatsa (Ordu) bentonit yataklarıdır. Bunlara ek olarak Balıkesir, Konya, Trabzon, Giresun, Malatya bölgelerinde de yataklar bulunmaktadır (İpekoğlu ve ark., 1997; Yaylalı ve ark., 2001). Ülkemizdeki başlıca bentonit yataklarının dağılımı Şekil 2.9.’da görülmektedir. Tablo 2.5.’de ise Türkiye’deki bentonitlerin bileşimleri gösterilmiştir.



Şekil 2.9. Türkiye’de bentonit yatakları (www.mta.gov.tr/v2.0/default.php?id=maden_yatakları)

Tablo 2.5. Türkiye’de üretilen bentonitlerin bileşimleri (www.maden.org.tr)

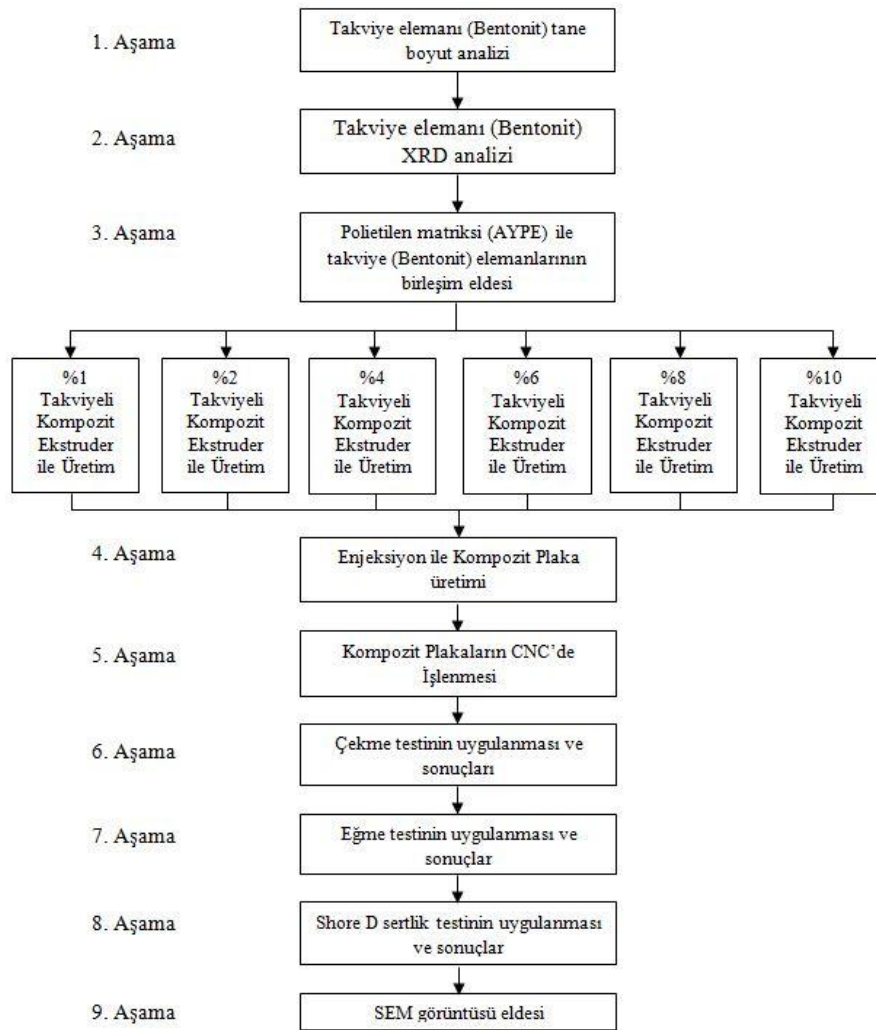
%	Beyaz Bentonit			Na-B		Ca-B	
	Ünye	Kütahya	Kurşunlu	Reşadiye	Hançılı	Byk-Kçk Hacıbey	Enes- Yazır
SiO ₂	74,9	70,9	56	57,6	59,4	54,6	62,74
Al ₂ O ₃	14,0	15,7	18,3	19,3	19,9	10,8	17,06
Fe ₂ O ₃	1,1	0,9	5,8	3,3	6,2	11,3	4,03
CaO	1,7	2,1	7,0	4,2	1,4	0,7	2,40
MgO	1,9	1,4	1,9	2,2	2,5	3,3	1,87
K ₂ O	0,8	1,2	1,4	1,9	0,91	0,6	1,65
Na ₂ O	0,6	0,2	2,2	2,6	2,46	2,8	0,52
TiO ₂	0,2	0,1	0,2	0,3	---	0,7	0,66
A.kaybı	9,9	7,6	6,8	7,4	6,7	4,5	9,0
Şime hacmi (ml/g)	4,0	3,0	15-20	15-20	10,0	---	---
Beyazlık	84,0	82,0	---	---	---	---	---
Yağ emme	35,0	35,0	---	---	---	---	---
Montmorillonit	73-88	77-85	---	---	---	---	---
Kristobalit	13-17	12	---	---	---	---	---

Dünya bentonit rezervi yaklaşık 1870 milyon ton civarındadır. Dünyanın en önemli bentonit rezervleri ABD, Rusya, Yunanistan, Almanya, Japonya, İtalya, İspanya ve İngiltere’de bulunmaktadır.

BÖLÜM 3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1. Çalışma Planı

Bu tez çalışmasının amacı kil (bentonit) takviyeli alçak yoğunluklu polietilen kompozit malzeme üretmektir. Çalışma planı ise Şekil 3.1.'de gösterilmektedir. Üretimin akış şeması aşağıda sırasıyla kısaca belirtilmiştir.



Şekil 3.1. Deneysel çalışma üretim akış şeması

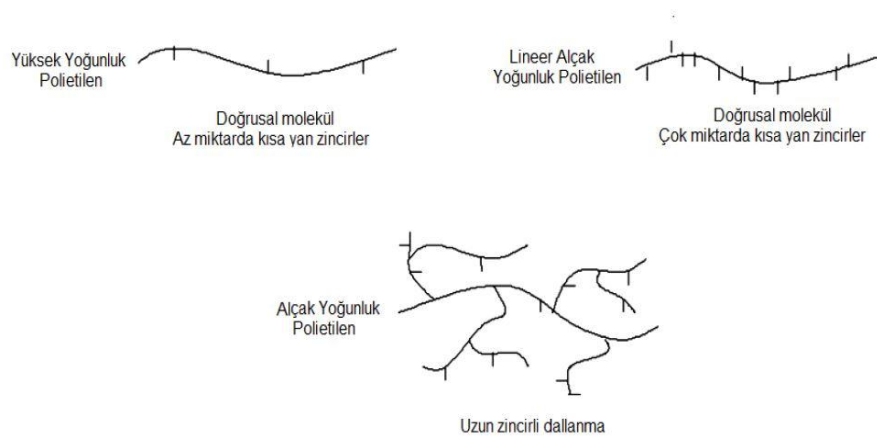
1. Aşamada: Kompozit malzemenin üretiminde kullanılan takviye (bentonit) elemanının tane boyut analizi yapılmıştır.
2. Aşamada: Kompozit malzemenizin takviye elemanın XRD (X-ışını kırınım) analizi yapılmıştır. Takviye malzemesinin kristal yapıları incelenmiştir.
3. Aşamada: Dumlupınar Üniversitesi Malzeme Bilimi ve Mühendisliği bölümü laboratuvarında matriks malzemesinin (AYPE) ve takviye malzemesinin (Bentonit) ayrı ayrı (ağırlıkça %1, %2, %4, %6, %8 ve %10) tartımları yapılmıştır. Matriks malzeme alkol (Metil Alkol) ilavesi ile yüzeyler ıslatılıp en son takviye malzemesi katılıp merdaneli karıştırıcıda 600 rpm, 60 dakika'da karışımın elde edilmiştir. Homojen karışım Dumlupınar Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölüm laboratuvarında çift vidalı ekstruder cihazından çıkan kompozit filamentler elde edilmiştir. Kompozit filamentler kırıcıya atılmıştır. Kırıcıdan çıkan kompozit granüller elde edilmiştir.
4. Aşamada: Ekstruderde üretilen kompozit granülleri enjeksiyon makinesine atılmış ve kompozit (%1, %2, %4, %6, %8 ve %10 bentonit partikül katkılı) plakalar elde edilmiştir.
5. Aşamada: Enjeksiyon makinesinin de üretilen kompozit plakalardan çekme testi numunesi (ASTM D638) ve eğme testi numunesi (ASTM D790) boyutlarında indirgenmesi için CNC cihazına tabi tutulur.
6. Aşamada: Çekme testi (ASTM D638) işlemleri gerçekleştirilmiştir.
7. Aşamada: Eğme testi (ASTM D790) işlemleri gerçekleştirilmiştir.
8. Aşamada: Kompozit plakalar üzerinde Shore D Sertlik testi gerçekleştirilmiştir.
9. Aşamada: Çekme testi numunelerinin kırılma yüzeylerinden SEM (Taramalı elektron mikroskobu) analizi yapılmıştır.

3.2. Kullanılan Malzemeler

Bu çalışmada bentonit takviyeli alçak yoğunluklu polietilen kompozit malzeme üretimi amaçlandığından dolayı matriks malzemesi olarak alçak yoğunluklu polietilen ve takviye malzemesi olarak bentonit seçilmiştir.

3.2.1. Matriks malzemesi

Polietilen; etilen moleküllerinin birlikte oluşturduğu uzun etilen zincirine denir. Plastik sektöründe en yaygın olarak kullanılan polimer türü polietilendir. Polietilenin yaygın olarak kullanılmasının temel sebebi yüksek darbe dayanımı, aşınma direnci, esnekliği, kolay üretilebilirliği vb. özelliklere sahip olmasıdır. Polietilen başlıca kullanım alanları ambalaj endüstrisinde çeşitli deterjan, gıda, kimyasal, kozmetik, içecek gibi ürünlerde şişe ve kapların üretiminde tercih edilmektedir. Bunun dışında kablo, tank oyuncak, ev eşyaları, boru kablo izolasyon malzemesi üretiminde de büyük önem taşımaktadır (Vasile ve ark., 2005). Polietilen zincir ve molekül yapısına göre farklı çeşitlerde üretilebilmektedir. Polietilen üretim ve kullanım sektöründe genellikle; alçak yoğunluklu polietilen (AYPE), lineer alçak yoğunluklu polietilen (LAYPE), yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE) olmak üzere üç tipe ayrılır. Aşağıda Şekil 3.2.'de polietilenin farklı zincir ve molekül yapıları gösterilmektedir.



Şekil 3.2. Polietilenin farklı zincir ve molekül yapıları (Çengel, 2013)

Yapılan bu çalışmada kompozit malzeme üretebilmek için polietilen türü olarak alçak yoğunluklu polietilen tercih edilmiştir. Alçak yoğunluklu polietilen Petkim Petro Kimya A.Ş.'den tedarik edilmiştir. Şekil 3.3.'de AYPE granüllerini (yaklaşık olarak 5mm çapında) gösterilmektedir. Tercih edilme sebebi olarak yüksek yoğunluklu polietilen malzemeye göre daha az kristal yapıya sahip olmasıyla birlikte zincir yapısının gevşek yani boşluklu olmasıdır. Alçak yoğunluklu polietilenin ergime sıcaklığının düşük olması ve üretilebilirliğinin kolay olmasıdır. Ayrıca yüksek yoğunluklu polietilen matriks olarak seçilseydi kompozit üretiminde takviye malzemesiyle birleşim aşamasında ekstruder de zincir ve molekül dizilimi bozulma ihtimali yükseleceğinden mukavemet azalışı görülmeye muhtemeldir. Bu sebepten dolayı alçak yoğunluklu polietilen seçilmiştir. Aşağıdaki Tablo 3.1.'de matriks (AYPE) malzemenin temel özellikleri verilmiştir.

Tablo 3.1. Alçak yoğunluklu polietilen temel özellikleri (Petkim, 2004)

TİPİK DEĞERLER	BİRİM	DEĞER	TEST METODU
Yoğunluk	gr/cm ³	0,918-0,922	ASTM D-1505
Erime noktası	⁰ C	110	ASTM E- 794
Akma mukavemeti	MPa	7,355	ASTM D-638
Çekme Mukavemeti	MPa	8,727	ASTM D-638
Uzama	%	150	ASTM D-638
Sertlik	Shore D	44	ASTM D-2240



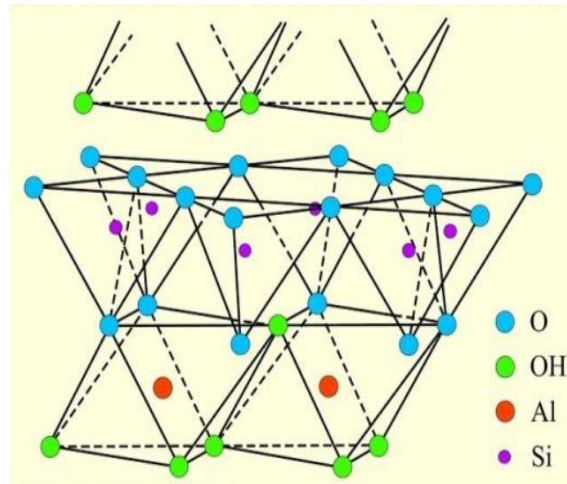
Şekil 3.3. Kullanılan alçak yoğunluklu polietilen granülleri

3.2.2. Takviye malzemesi

Volkanik küllerin, tüflerin ve lavların ayrışması sonucu oluşan, alüminyum ve magnezyumca zengin olan içerisinde büyük oranda montmorillonit minerali bulunan killere bentonit denilmektedir. Bentonit ilk defa 1888 yılında ABD'nin Wyoming eyaletinde Fort Benton yakınlarında bulunmuş ve 1898 yılında Knight tarafından bu isimle adlandırılmıştır (Grim, 1962). Kimyasal formülü $Al_4Si_8O_{20} \cdot (OH)_4 \cdot nH_2O$ olup plastikliği yüksek, yumuşak, kuvvetli koloidal özellik gösteren, kolaylıkla şekil verilebilen bir kildir (Gillson, 1960; Grim, 1988; Murray, 1991). Bentonitler doğada gri, beyaz, pembe, yeşil gibi çeşitli renklerde bulunurlar. Bentonit ticari isim, sabun kil, ağartma kili, ağartma toprağı, volkanik kil gibi isimler de kullanılmaktadır (Clarke, 1989). Bentonit içerisinde doğal katkı olarak kaolin ve illit gibi kil mineralleri ile jips, kuvars, rutil, dolomit, kalsit ve volkanik kül gibi kil olmayan mineraller de yer bulunmaktadır (Grim ve ark., 1978).

Bentonitler su ile etkileştiklerinde şişme özelliği gösterirler. Şişme ve değişebilen iyonlara göre bentonitler üç gruba ayrılmaktadır. Sodyum bentonit (Na-B), sodyum-kalsiyum bentonit, kalsiyum bentonit (Ca-B) şeklinde sıralanabilir. Sodyum bentonitler su ile fazla şişerken, sodyum- kalsiyum bentonitler orta derecede şişer,

kalsiyum bentonit ise oldukça az şişer. Sodyum-kalsiyum bentonitlere ara veya karma bentonitler de denir. Su ile çok şişen Na-B'lerin süspansiyonları uzun ömürlü olurken su ile az şişen Ca-B'lerin süspansiyonları kısa ömürlü olmaktadır (Mingelgrin ve ark., 1978; Law ve ark. 1979). Eğer ham bentonit su ile etkileştiğinde en az beş katı kadar şişiyorsa ticari olarak iyi bir bentonit olarak kabul edilmektedir. İyi derecede su absorbe edebilen bentonitler 10-20 kata kadar şişebilmektedir. Su ile şişme özelliği belli bir sıcaklıktan sonra kaybolan bentonitin kuru haldeki özkütlesi 1,6-1,8 g/cm³ olmaktadır. Bentonitlerin kimyasal bileşimi ile kesin olarak hangi tip olduğu söylenememektedir. Ancak tahmin yürütülebilmektedir (Hancıoğlu, 2015). Bentonit malzemenin piyasada satın alma fiyatı 1 tonu 240 tl'dir. Nanobentonit fiyatı ise 1 tonu 1200 tl'dir. Bentonitin kristal yapısı Şekil 3.4.'de gösterilmektedir. Şekil 3.5.'de tezde kullanılan bentonit tozu gösterilmektedir.

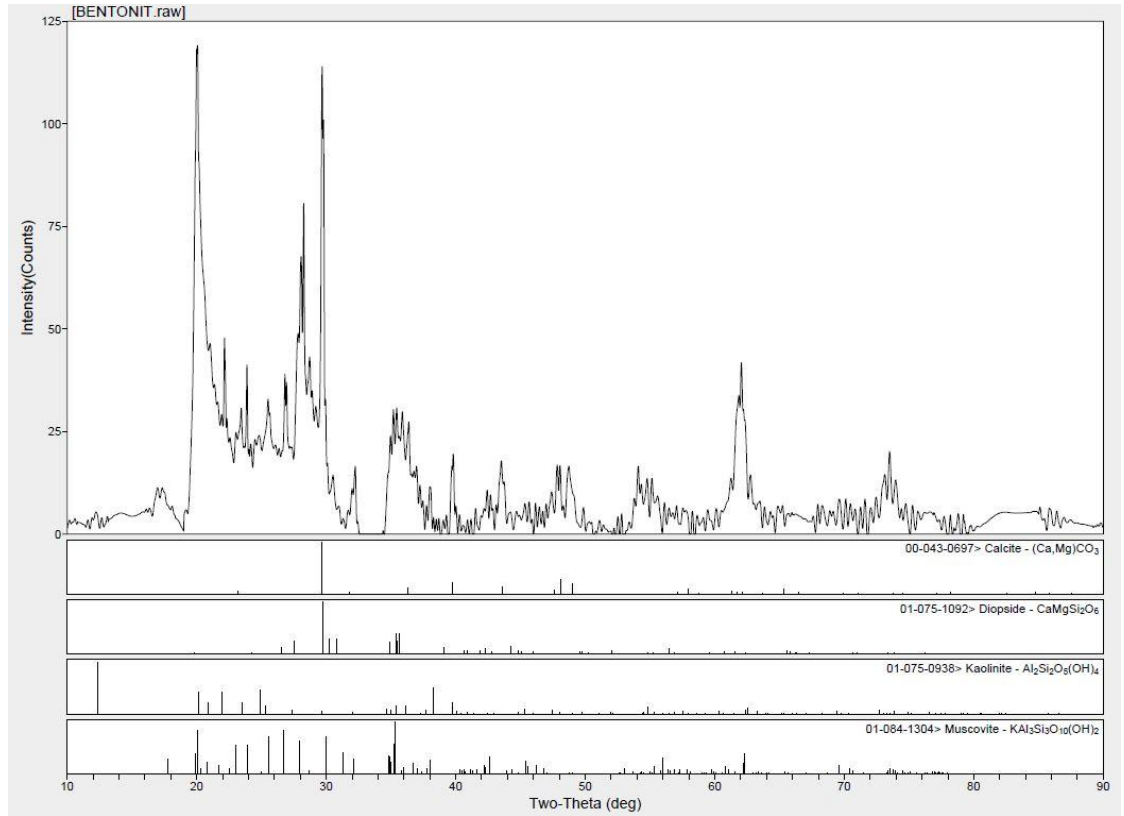


Şekil 3.4. Bentonit tozunun kristal (oktahedral) yapısı (Hancıoğlu, 2015)



Şekil 3.5. Kullanılan bentonit tozu

Sakarya Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölüm laboratuvarında XRD cihazının verdiği kristal yapı analizi elde edilmiştir ve takviye malzemesinin içeriğın de kalsit-(Ca,Mg)CO₃, muskovit-KAl₃Si₃O₁₀(OH)₂, kaolinit-Al₂Si₂O₅(OH)₄ ve diopsit-CaMgSi₂O₅ bulunduğu Şekil 3.6.'da tespit edilmiştir.

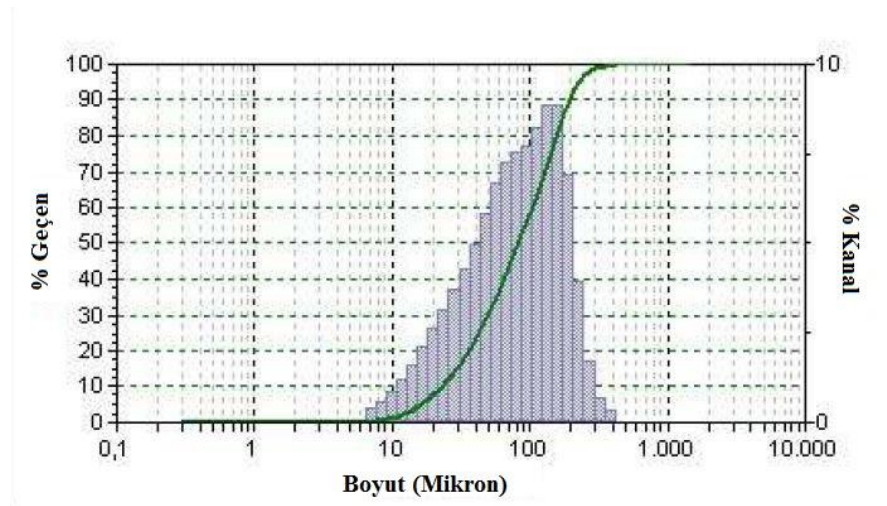


Şekil 3.6. Bentonit tozu XRD analisi sonucu

Sakarya Üniversitesi Termal Sprey Kaplama laboratuvarında tane boyut analizi cihazının verdiği sonuçlarda ise tane boyutlarının dağılımı Şekil 3.7.'de gösterilmiş ve tane boyutlarının % oranları ise Tablo 3.2.'de gösterilmiştir.

Tablo 3.2. Tane boyutlarının % oranları

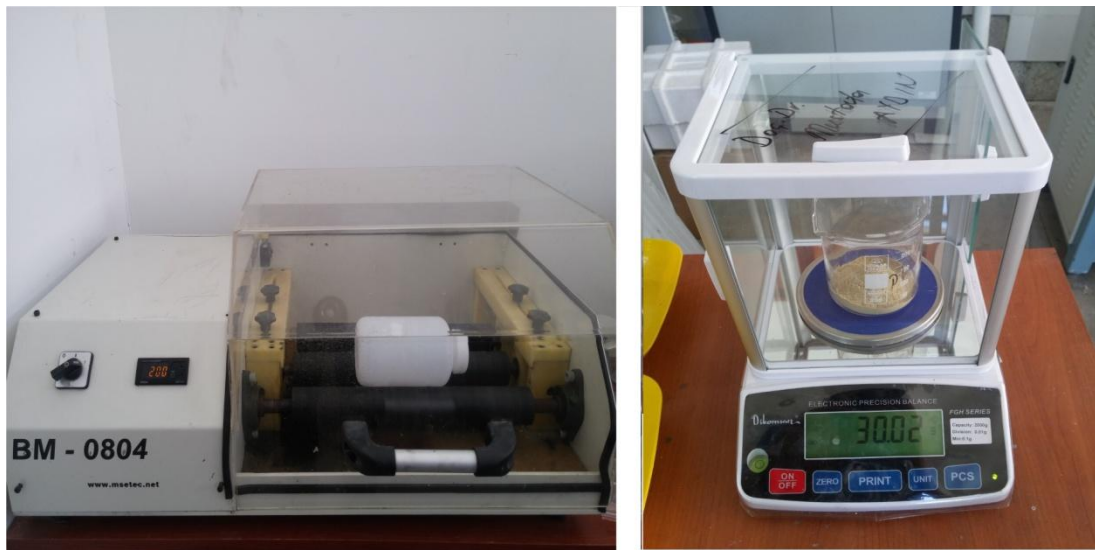
Boyut (μm)	Yüzde (%)	Yüzde (%)	Boyut (μm)
74,00	45,19	10,00	22,79
-	-	20,00	36,30
-	-	30,00	50,51
-	-	40,00	65,47
-	-	50,00	82,71
-	-	60,00	103,6
-	-	70,00	127,8
-	-	80,00	155,0
-	-	90,00	190,9
-	-	95,00	222,5



Şekil 3.7. Bentonit tozu tane boyut dağılımı grafiği

3.3. Ekstruderde Kompozit Birleşim Eldesi

Alçak yoğunluklu polietilen tanelerine alkol (metil alkol) ilave edilerek matriks tanelerinin yüzeyleri ıslatılmaktadır. Islatılan polietilen tanelerine takviye malzemesi (bentonit) ağırlıkça %1, %2, %4, %6, %8 ve %10 oranlarda katılarak 6 farklı kompozit karışım elde edilmiştir. Bu karışımlar homojen dağılım sağlanması amacıyla kavanoz kabına konularak 30 dakika boyunca 600 rpm hızla merdaneli karıştırıcıda karıştırılmıştır. Bu işlemi Şekil 3.8.'de gösterilmektedir.



Şekil 3.8. Kompozit eldesi için a) karışım işlemi b) tartım işlemi

Karışımlar elde edildikten sonra çift vidalı ekstruderin ilk hunisine eklenmiştir. İlk huninin vida sistemi karışımı yavaşça ana hazneye eklenmiştir. Ana haznedeki kompozit karışımlar çift vidalı ekstruderin vida sistemiyle itilerek ısıtıcıların vasıtasıyla (6 adet ısıtıcı bölge sıcaklıkları; 145°C, 150°C, 155°C, 160°C, 165°C ve 170°C) alçak yoğunluklu polietilen eritilmiştir. Kompozit karışım yaklaşık olarak 4 mm çapında kompozit filament halinde ısıtıcıdan çıkmıştır ve soğutulmak üzere su dolu havuzdan geçmiştir. Bu şekilde alçak yoğunluklu polietilen matriksli bentonit takviyeli (%1, %2, %4, %6, %8 ve %10) kompozit birleşimler elde edilmiştir. Bu işlemler Şekil 3.9.'da gösterilmektedir.



Şekil 3.9. Ekstruder cihazında kompozit birleşim eldesi

Kompozit granüller elde etmek için her bir bentonit takviyeli filamentler merdaneli kırıcıdan geçirilmiştir. Bu işlem ise Şekil 3.10.'da gösterilmektedir. Kırıcıdan çıkan kompozit granülleri yüzde bileşimlerine göre paketlenmiştir ve enjeksiyon kalıplama yöntemiyle kompozit plaka üretimine hazır hale getirilmiştir. Bu işlem Şekil 3.11.'de gösterilmektedir.



Şekil 3.10. Kırıcı cihazında kırılan kompozit granüller



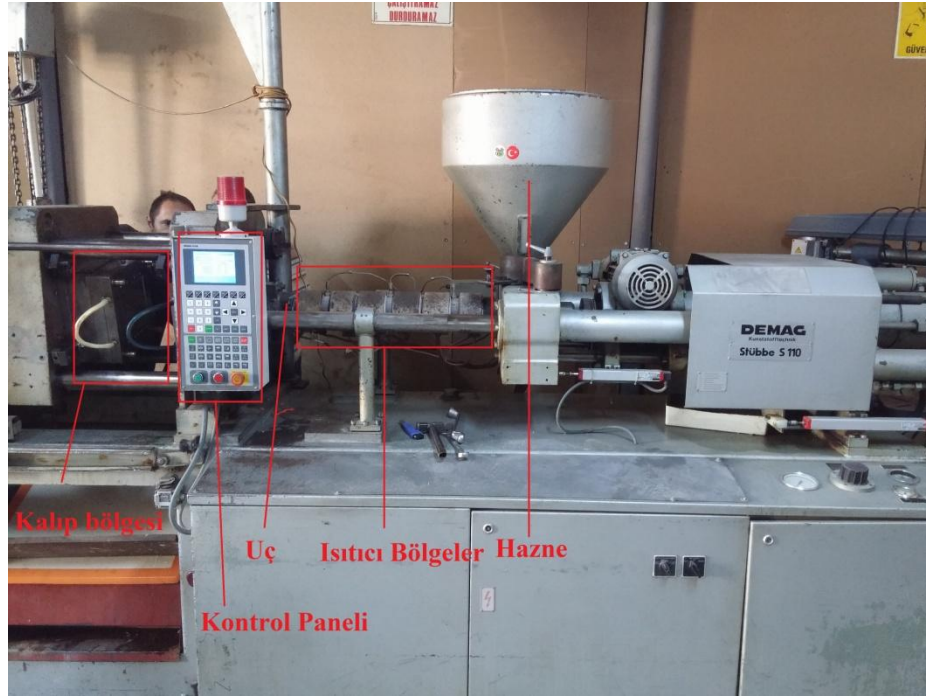
Şekil 3.11. Kompozit granüllerinin yüzde karışım oranlarına göre paketlenmesi

3.4. Enjeksiyon Kalıplama Yöntemiyle Plaka Üretimi

Enjeksiyon cihazının kompozit plaka üretim için gerekli kalıp bağlantısı yapıldıktan sonra ekstruder de üretilen kompozit granüllerinin yüzde karışım oranlarına göre sırayla kompozit plaka üretim işlemi için enjeksiyon cihazına konulur. Gerekli ısıtma bölgelerinin ayarlamaları (6 bölgeden 3 bölge kullanıldı ve sıcaklıklar 160°C , 170°C ve 180°C) yapıldıktan sonra kalıba besleme bölgesinden vida yardımıyla itilen ve eriyen kompozit karışım uç kısmından kalıba dolun işlemi gerçekleştirilmiştir. Her yüzde karışım oranlarında ortalama 6 plaka çıkmaktadır. Her bir plakanın kalıp besleme uç kısımları kesilip CNC’de işlenmek üzere ön hazırlığı tamamlanmıştır. Bu işlemler Şekil 3.12.’de gösterilmektedir. Şekil 3.13.’de ise enjeksiyon cihazının kısımları gösterilmektedir. Üretilen kompozit plakaların takviye miktarlarının yüzdelere göre ayrı şekilde paketlemiştir. Bu arada takviyesiz Alçak yoğunluklu polietilen malzeme de enjeksiyon kalıplama yönteminde üretilmiş ve paketlenmiştir.



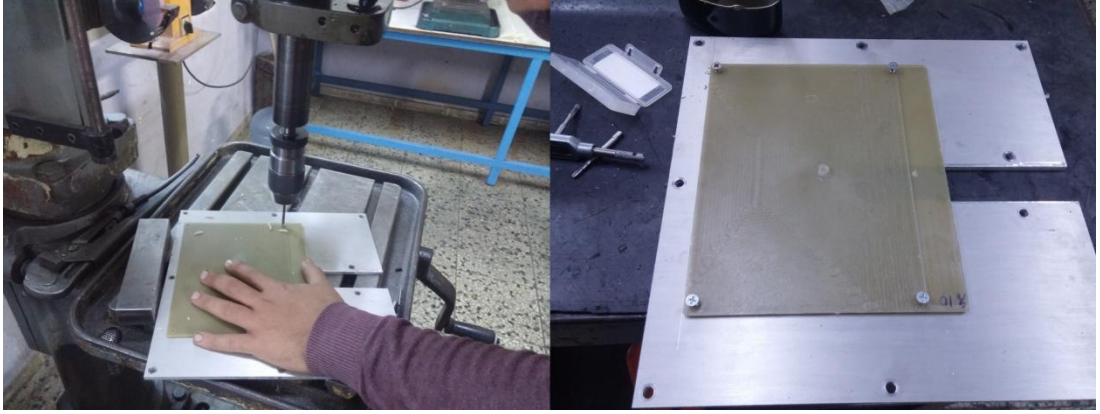
Şekil 3.12. Enjeksiyon cihazından çıkan kompozit plakaların gösterimi



Şekil 3.13. Enjeksiyon cihazı kısımları

3.5. Kompozit Plakaların CNC’de İşlenmesi

Enjeksiyonda üretilen kompozit plakaların çekme ve eğme testlerine uygun ve hazır hale gelmesi için takviye elemanlarının oran sırasıyla (%0, %1, %2, %4, %6, %8, %10) CNC’de işlenmek üzere alüminyum altlığa sabitlemek için matkapla delikler açılmıştır. Alüminyum altlığa sabitlenmesi için açılan deliklere vida yardımıyla tutturulan plaka alüminyum altlık ile birlikte CNC tezgahına monte edilmiştir. CNC operatörü Autocad’de yapılan çizimin CNC’de kullanılan gerekli programın içersine aktarıp CNC ucun plaka üzerinde çalışma işleminin sırasını belirledikten sonra CNC cihazına kart vasıtasıyla aktarıp CNC’de işleme aşamasına geçilmiştir. Bu işlemler Şekil 3.14.’de gösterilmektedir. Şekil 3.15.’de CNC cihazının bölümleri görülmektedir.



Şekil 3.14. CNC’de kompozit plakaların işlenmeden önceki aşamaları



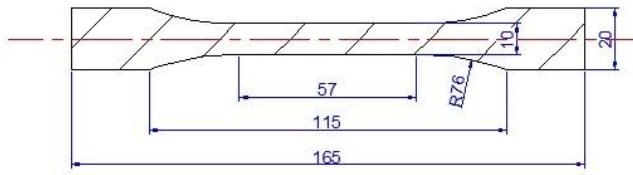
Şekil 3.15. CNC cihazının bölümleri

Autocad’de çekme (ASTM D638) ve eğme (ASTM D790) testi standartlarına bakılarak çizimler yapılmıştır. Bu standartlar Şekil 3.16.’da gösterilmektedir. CNC’de işlenmemiş ve fazla kompozit plakalarda ise Sertlik testi (ASTM D2240) uygulanmıştır. Şekil 3.17.’de CNC’de işlenmiş kompozit plakalar gösterilmektedir.

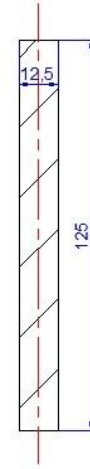
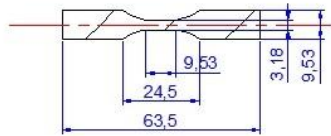
ASTM D638 ÇEKME TESTİ NUMUNESİ BOYUTLARI

ASTM D790 EĞME TESTİ NUMUNESİ BOYUTLARI

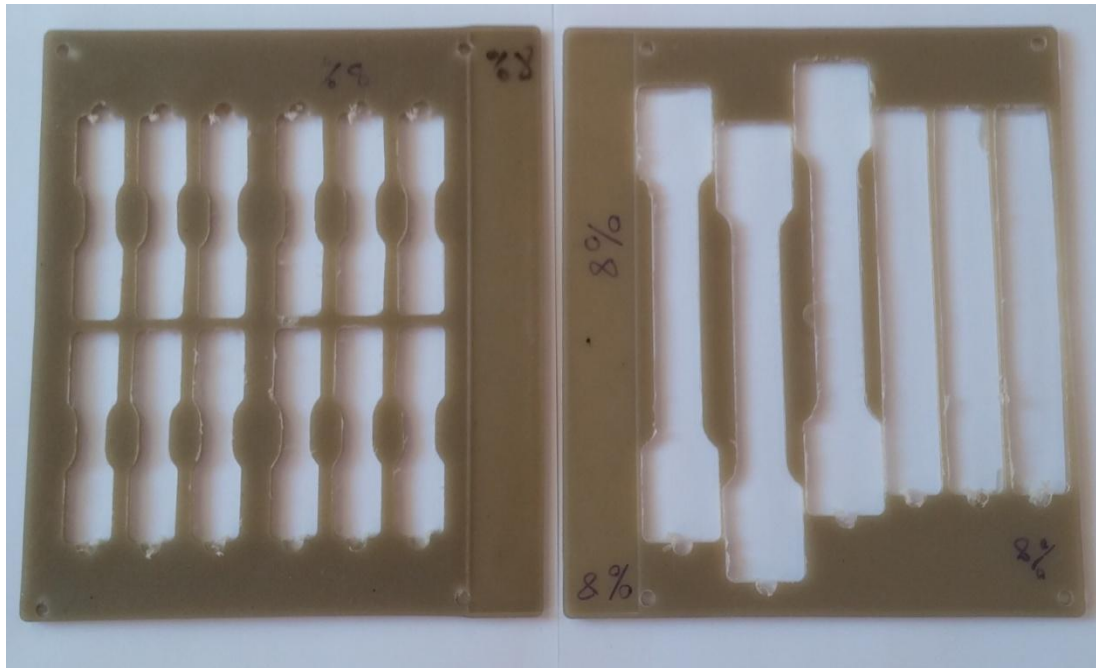
7 mm KALINLIK ALTINDA ÇEKME TESTİ NUMUNE BOYUTLARI



4 mm KALINLIK ALTINDA ÇEKME TESTİ NUMUNE BOYUTLARI



Şekil 3.16. Autocad'de çizilen çekme ve eğme testi standart boyutları



Şekil 3.17. CNC'de işlenen kompozit plaka

3.6. Mekanik Testler

CNC'de işlenmiş çekme testi (çekme testi ekstansometresi kameralı ve temaslı olmak üzere ayrı iki farklı modelde) ve eğme testi (eğme testi için gerekli olan destek çapları 5mm olarak kullanılmaktadır) özellikle cihazlar kullanılmıştır. Ayrıca

aynı cihazda hem çekme testi hemde eğme testi yapılmıştır (aynı cihazda numune tutma çeneleri değiştirilerek kullanılabilir). Takviye miktarının artış sırasıyla numuneler ayrı ayrı testleri yapılmıştır.

3.6.1. Çekme testi

Üretilen kompozit malzemelerin mekanik özelliklerini incelemek amacıyla çekme deneyleri yapılmıştır. Çekme deneyi Zwick Avrasya test sistemleri San. ve Tic. Ltd. Şti'deki laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Şirketin test için kullanılmasına izin verilen cihaz Zwick Roell Z010 modelinde yapılmıştır. Çekme Testi standartlarına uygun şekilde (ASTM D638) uygulanmıştır. İlgili standarda uygun ölçüler Şekil 3.16.'da gösterilmektedir.

Çekme deneylerinin tatbikinde elde edilen çekme mukavemet ve elastik modülü değerleri, çekme cihazına bağlı bir bilgisayar aracılığı ile hesaplanmıştır. Bu bilgisayarda deney esnasında elde edilen verileri değerlendiren, gerekli hesaplamaları yapan ve Zwick firması tarafından geliştirilen yazılım programı mevcuttur. Çekme deneyi ile eş zamanlı olarak cihaza entegre edilmiş Zwick marka ekstansometre cihazı ile elastik modül değerleri tespit edilmiştir. Ekstansometre cihazının markası da yine Zwick olup, yukarıda adı geçen yazılıma bağlantılıdır. Yazılım programı çekme mukavemet değerlerini hesaplarken temelde (denklem 3.1)'i kullanmaktadır. Burada “ σ_{ϕ} ” numunenin çekme mukavemet değeri (MPa), “ N_m ” numunenin taşıyabileceği maksimum kuvvet ve “ A_0 ” numunenin ilk kesit ölçüsüdür.

$$\sigma_{\phi} = N_m / A_0 \quad (3.1)$$

Malzemeler düşük gerilmeler altında çoğunlukla lineer elastik davranış gösterirler. Lineer elastik davranışta gerilmelerle şekil değiştirmeler doğru orantılıdır ve şekil değiştirmeler tersinirdir. Bu durum (denklem 3.2)'deki “Hooke Kuralı” ile ifade edilir. Burada “E” elastik modül, “ σ ” gerilmenin birimi (N/mm^2) ve “ ϵ ” şekil değiştirme oranı (N/mm^2)'dir. Elastik bölgede malzemeler yay gibi davranır. Elastik

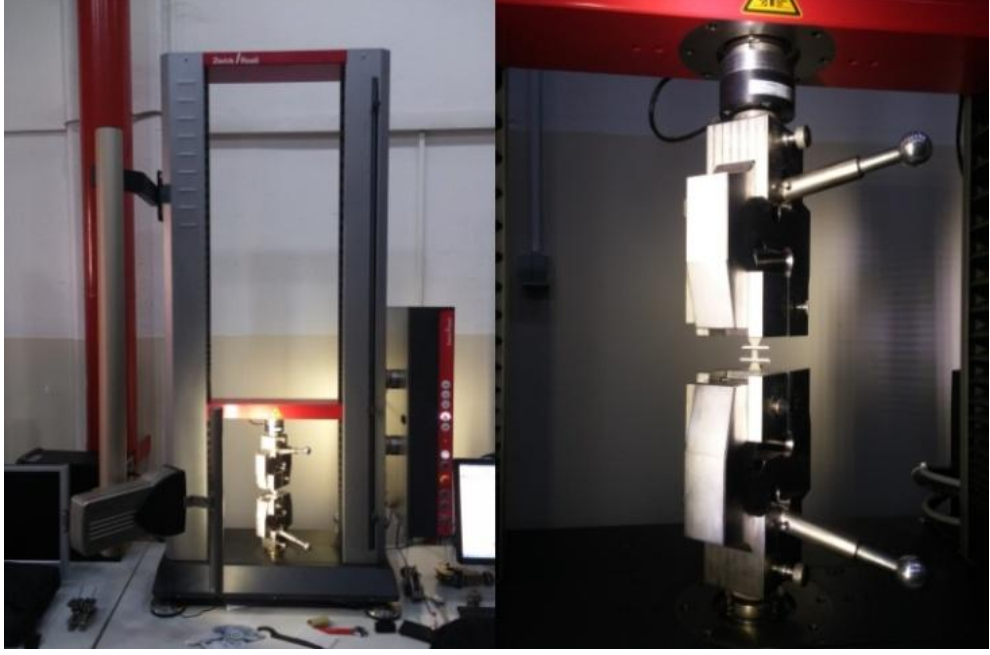
modülü malzemenin elastik şekil değiştirmeye karşı gösterdiği direnç veya rijitlik anlamına gelmektedir.

$$\sigma = \varepsilon \cdot E \quad (3.2)$$

Gerilme etkisinde malzemelerin boyutları değişir, çekme halinde malzemelerin boyu uzamakta, eni ise daralmaktadır. Çekme etkisinde şekil değiştirme aksenal ve yanal olmak üzere iki şekilde hesaplanır. Boyutlardaki değişme, şekil değiştirme oranı ile belirtilmektedir. Aksenal şekil değiştirmenin hesaplanmasında; “l” son boydan “l₀” ilk boy çıkartılır ve ilk boya bölünür, sonuçlar % olarak belirtilir. Yanal şekil değiştirmenin hesaplanmasında; “A” son alan değerinden “A₀” ilk alan değeri çıkartılır ve ilk alan değerine bölünür, sonuçlar yine % olarak belirtilir. “ε_a” aksenal şekil değiştirme oranının belirlenmesinde (denklem 3.3) ve “ε_y” yanal şekil değiştirme oranının belirlenmesinde ise (denklem 3.4) kullanılır. Şekil 3.18.’de Çekme cihazı gösterilmektedir.

$$\varepsilon_a = (l - l_0) / l_0 = \Delta l / l_0 \quad (3.3)$$

$$\varepsilon_y = (A - A_0) / A_0 = \Delta A / A_0 \quad (3.4)$$



Şekil 3.18. Çekme cihazı ve numune bağlama çeneleri

3.6.2. Eğme testi

Eğme deneylerinde genelde iki ucundan mesnetlenmiş dikdörtgen plakalar veya dairesel kesitli çubuklar kullanılır. Kompozitlerin eğme deneylerinde numuneler dikdörtgen plakalar şeklinde hazırlanmıştır. Başlangıçta düşük yükler altında oluşan gerilmeler lineerdir. Numunenin en alt bölgesinde “ $+\sigma_m$ ” en yüksek çekme gerilmesi, üst bölgesinde “ $-\sigma_m$ ” en yüksek basma gerilmesi etkir. Ortada ise tarafsız eksen üzerinde gerilme sıfırda en yüksek σ_m gerilmelerinin değeri denklem (3.5)’de verilen bağıntı yardımı ile hesaplanır. Burada “P” yük, “l” mesnetler arası mesafe, “b” numunenin eni ve “h” numunenin yüksekliğidir. Eğme testi standardına (ASTM D790) uygun şekilde hazırlanıp uygulanmıştır. Şekil 3.19.’de Eğme cihazı ve numune bağlama çeneleri gösterilmektedir.

$$\sigma_m = (3Pl / 2bh^2) \quad (3.5)$$



Şekil 3.19. Eğme cihazı ve numune bağlama çeneleri

3.6.3. Sertlik testi

Bu çalışmada üretilen kompozit malzemeleri Shore D sertlik testine maruz bırakmak için Tronic marka taşınabilir cihaz kullanılmıştır. Cihazı Dumlupınar Üniversitesi Simav teknoloji fakültesi laboratuvarından alınarak yapılmıştır. Cihaz 1.1./1.4 mm çapında sertleştirilmiş mil çeliği, 30° konik açılı 0.1 çaplı uça sahip ve uygulanan ön yük ise 44.64 N'dur (<https://en.wikipedia.org>). Sertlik testi ASTM D2240 standardı ile yapılmıştır. Şekil 3.20.'de Shore D sertlik testi cihazı gösterilmektedir. Her bir takviye oranının onar adet sertlik ölçümleri yapılmış ve ortalamaları alınmıştır.



Şekil 3.20. Shore D sertlik testi cihazı

3.7. Fiziksel Testler

3.7.1. Arşimet prensibi yöntemiyle yoğunluk testi

Arşimet prensibiyle yapılan yoğunluk testi genellikle seramik malzemelerin açık veya kapalı gözeneklerinin hacme etkisini anlamak amacıyla yapılmaktadır. Bu çalışmada ise kompozit malzeme içersine kil (bentonit) minerali katılması nedeniyle üretim esnasında ya da bentonitin nemle etkileşimi sebebiyle gözenek oluşma riski olması sonucunda yoğunluk farkı olabilir. Bentonit takviyesinin matriks malzemenin yoğunluğundan büyük olması sebebiyle yoğunluk testi yapılmasını ve hesaplanması gerekmektedir. Kısaca Arşimet prensibiyle yapılan testin formülü ise aşağıda (denklem 3.6) gösterilmektedir.

- W_k : Kuru numunelerin havadaki ağırlığı (g)
- W_a : Sıvı emdirilmiş numunenin su içindeki ağırlık (g)
- W_d : Sıvı emdirilmiş numunenin havadaki ağırlığı (g)
- $\rho_{sıvı}$: Kullanılan sıvı yoğunluğu (C_2H_6O -Etanol=0,789 g/cm³)

- ρ_{bulk} : Kullanılan numunenin bulk (yığınsal) yoğunluğu (g/cm^3)

$$\rho_{\text{bulk}} = [W_k \div (W_d - W_a)] \times \rho_{\text{sıvı}} \quad (3.6)$$

Örnek olarak bir Arşimet terazisi ise Şekil 3.21.'de gösterilmektedir.



Şekil 3.21. Arşimet terazisi (www.labor.com.tr, 2015)

3.7.2. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) analizi

Taramalı elektron mikroskobu ile mikroyapı incelemelerinde topografik, kompozisyon ve gölgeleme görüntüleme sistemine sahip ve 8X ile 300.000X arası 146 adımlı büyütme yapabilen JEOL JSM marka 6060LV tip cihaz kullanılmıştır ve Şekil 3.22.'de gösterilmiştir. Çekme testi sonrası test numunelerinin kopma yüzeylerine Baltec SCD005 Sputter Coater marka altın kaplama cihazında 30 mA'lık altın tabakası ile kaplanmıştır ve Şekil 3.23.'de gösterilmiştir. Kaplama sayesinde daha net ve anlaşılır resimler elde edilmiştir. Bu çalışmada SEM görüntülerinde X100 büyütme, X250 büyütme, X500 büyütme ve X1000 ile görüntüler elde edilmiştir.



Şekil 3.22. SEM cihazı

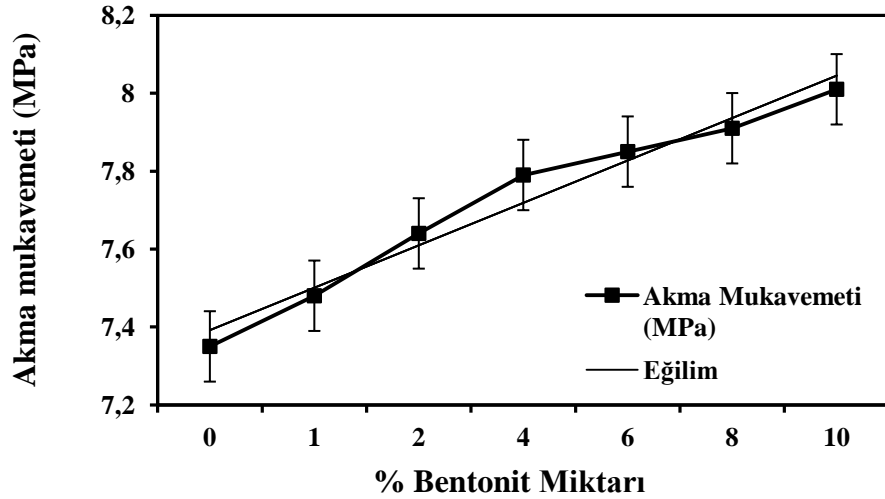


Şekil 3.23. Altın kaplama cihazı

BÖLÜM 4. DENEYSEL SONUÇLAR

4.1. Çekme Testi Sonuçları

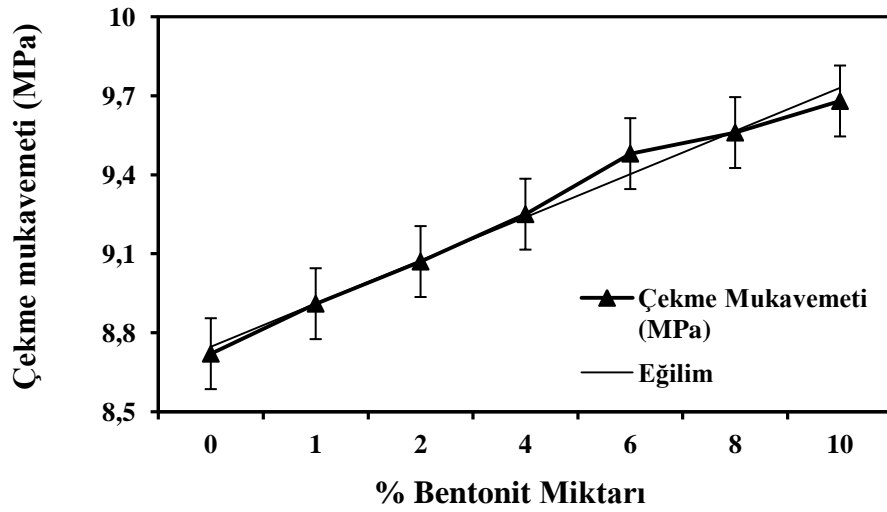
Şekil 4.1.'de çekme deneyi sonrası elde edilen akma mukavemeti sonuçları verilmiştir. Şekil 4.1. incelendiğinde, artan bentonit miktarına bağlı olarak akma mukavemet değerleri artmıştır. AYPE'e ilave edilen %2 orandaki bentonit akma mukavemetini %4 oranında artırmıştır. AYPE polimerinin 7,35 MPa olan akma mukavemet değeri %6 bentonit eklendiğinde %7 oranında artarak 7,85 MPa elde edilmiştir. AYPE polimerine %8 bentonit ilave edildiğinde ise akma mukavemeti %8 oranında artmıştır. En yüksek çekme mukavemeti 8,01 MPa değeri ile %10 bentonit takviyeli AYPE kompozitinde elde edilmiştir.



Şekil 4.1. Akma mukavemeti grafiği

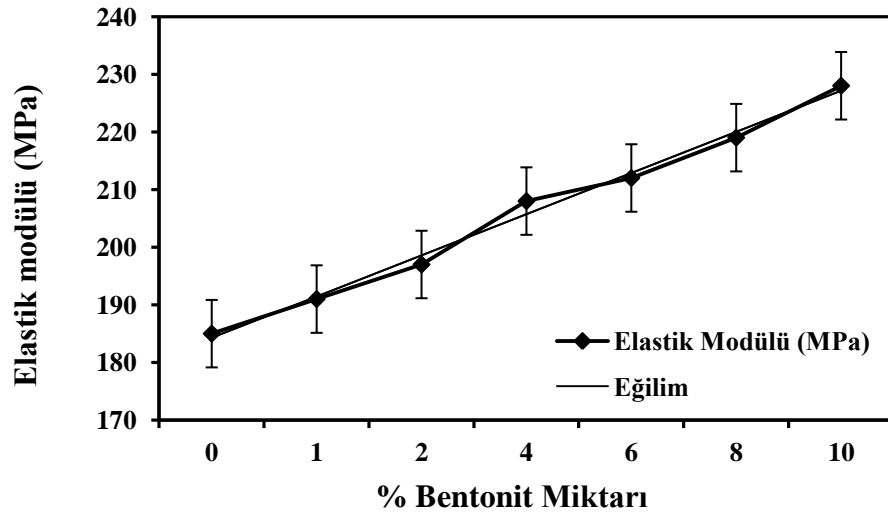
Şekil 4.2.'deki çekme deneyi sonrası elde edilen çekme dayanımları verilmiştir. Şekil 4.2.'ye bakıldığında, bentonit miktarının artışına bağlı olarak çekme dayanım değerleri artmıştır. Alçak yoğunluklu polietilene ilave edilen %1 orandaki bentonit,

çekme dayanımını %2,2'lik oranda yükselme göstermiştir. Alçak yoğunluklu polietilen polimerinin 8,72 MPa olan çekme dayanımı %4 bentonit eklendiğinde %6 oranında yükselerek 9,25 MPa değeri elde edilmiştir. Alçak yoğunluklu polietilen polimerine %8 bentonit ilave edildiğinde ise çekme dayanımı %9,6 oranında yükselmiştir. En yüksek çekme dayanımı 9,68 MPa değeri ile %10 bentonit takviyeli alçak yoğunluklu polietilen kompozitinde elde edilmiştir.



Şekil 4.2. Çekme mukavemeti grafiği

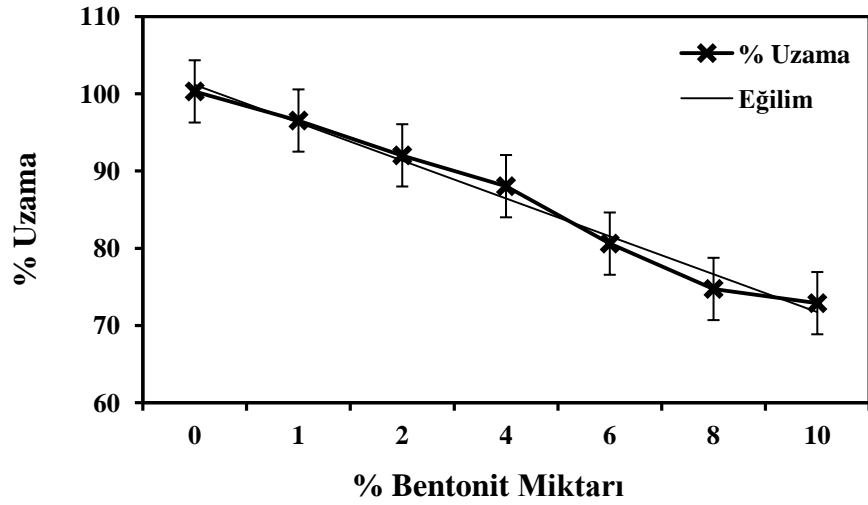
Şekil 4.3.'de çekme deneyi sonrası elde edilen elastiklik modülü sonuçları verilmiştir. Şekil 4.3. incelendiğinde, artan bentonit miktarına bağlı şekilde elastiklik modül değerleri de artmıştır. AYPE'e takviye edilen %2 oranındaki bentonit elastiklik modülünü %6,5 oranında artırmıştır. AYPE polimerinin 185 MPa olan elastiklik modül değeri %4 bentonit eklendiğinde %12 oranda artış göstererek 208 MPa elde edilmiştir. AYPE polimerine %6 bentonit ilavesi edildiğinde ise elastiklik modülü %14 oranında artmıştır. En yüksek elastiklik modül değeri 228 MPa ile %10 bentonit takviyeli AYPE kompozitinden elde edilmiştir.



Şekil 4.3. Elastiklik modülü grafiği

Şekil 4.4.'de çekme deneyi sonrası elde edilen %uzama sonuçları verilmiştir. Şekil 4.4.' e bakıldığında, artış gösteren bentonit miktarına bağlı olarak %uzama değerleri azalmıştır. AYPE takviye edilen %1 oranındaki bentonit %uzama değerini %4 azaltmıştır. AYPE polimerinin 100,03 olan %uzama değeri %4 bentonit eklendiğinde %13 oranında azaltarak 88,03 sonucu elde edilmiştir. AYPE polimerine %6 bentonit ilavesi edildiğinde ise %uzama %20 oranında azalmıştır. En düşük %uzama miktarı 72,88 ile %10 bentonit takviyeli kompozitte elde edilmiştir.

%Uzamanın azalmasının sebebi ise takviye malzemesinin tam olarak bağ yapmadan matriks malzeme içersinde bulunmasıdır. Ayrıca matriks malzeme plastik şekil değiştirebilirken takviye elemanları bu yüklerde plastik deformasyon göstermemektedir. İyi bir ara yüzey bağı oluşturulsaydı katılan sert takviye elemanı hem matriksin plastik deformasyonunu önleyebilirdi hem de kompozitin mukavemetini artırabilirdi (Kaştan, 2015).



Şekil 4.4. %Uzama grafiği

Srinath ve arkadaşları, PA6 matrisli malzemeye %5 oranında kil takviyesi (mikron) yapılmış ve çekme mukavemet değerlerinde %14 lük bir artış sağlanmıştır (Srinath ve ark., 2007). Peng ve arkadaşları, kil takviye edilen bir diğer çalışmada ise epoksi içerisine SM-MMT (modifiye edilmiş kil) takviye edilerek çekme mukavemet değerlerinde iyileşme gözlemlenmiştir. Ancak nano kil takviyeli kompozit üretimi yapılmış bir çalışmada ise PVDF (polivinilidenflorit) matrisli modifiye edilmiş nanokil takviyesi (%1, 2, 5 oranlarında) yapılarak çekme değerlerinde azalma gözlemlenmiştir (Peng ve ark., 2009). Sezavar ve arkadaşları, PMMA (Polimetilmetakrilat) matrisli nano alümina takviyeli (%5, 10, 15) kompozit eldesinde çekme mukavemeti değerlerinde azalma gözlemlenmiştir (Sezavar ve ark., 2015).

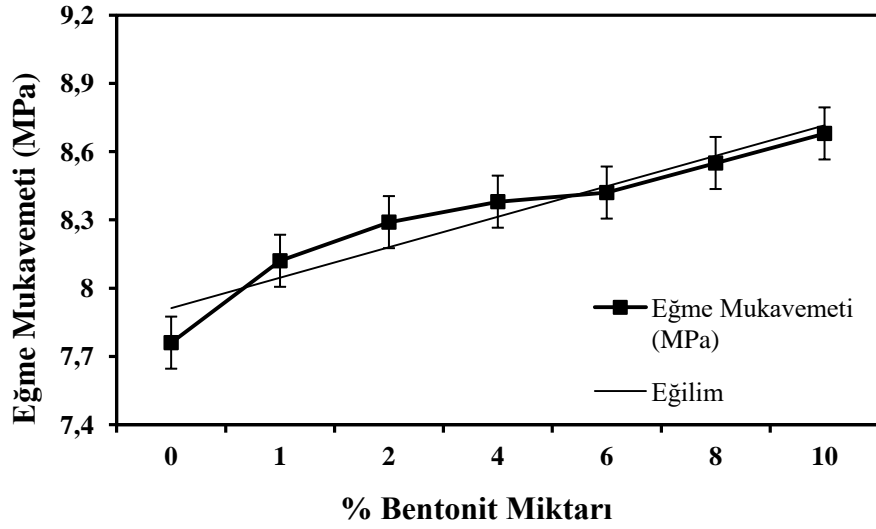
Çalışmadaki her bir kompozit malzemenin takviye miktarına (%1, 2, 4, 6, 8 ve 10) göre beşer adet test numunelerinin ölçümleri yapılarak ortalamaları alınmış ve standart sapma değerleri ile birlikte sonuç değerleri de Tablo 4.1.'de gösterilmiştir.

Tablo 4.1. Takviye miktarına göre çekme testiti sonuçları

Mekanik Özellikleri				
Kompozit Takviye Oranları	Elastiklik Modülü (MPa)	Akma Mukavemeti (MPa)	Çekme Mukavemeti (MPa)	%Uzama
%0 Bentonit	185±6,31	7,35±0,132	8,72±0,066	100,03±2,909
%1 Bentonit	191±13,45	7,48±0,223	8,91±0,275	96,53±5,263
%2 Bentonit	197±11,71	7,64±0,079	9,07±0,109	92,02±3,571
%4 Bentonit	208±12,73	7,79±0,056	9,25±0,127	88,03±3,799
%6 Bentonit	212±13,63	7,85±0,085	9,48±0,207	80,59±4,129
%8 Bentonit	219±14075	7,91±0,095	9,56±0,118	74,72±2,226
%10 Bentonit	228±9,3	8,01±0,123	9,68±0,221	72,88±2,634

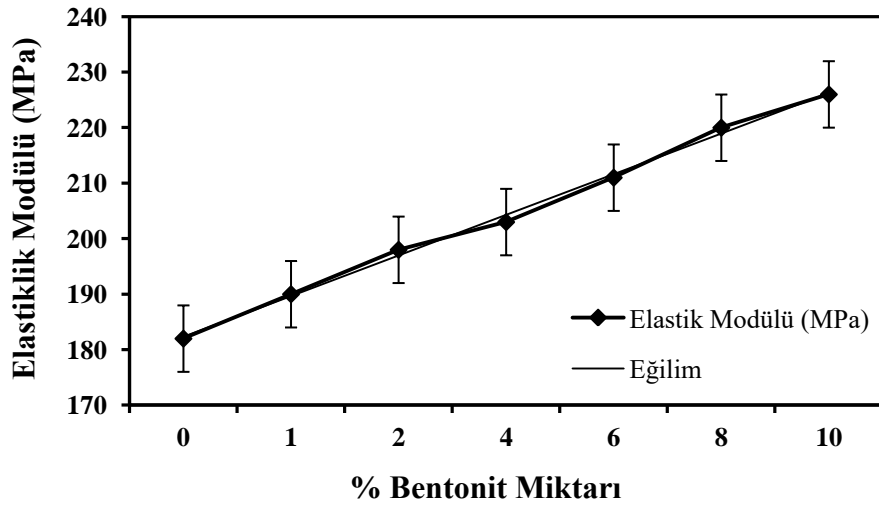
4.2. Eğme Testi Sonuçları

Şekil 4.5.'de eğme deneyi sonrası elde edilen eğme mukavemetinin sonuçları verilmiştir. Şekil 4.5. incelendiğinde, artan bentonit miktarına bağlı olarak eğme mukavemet değeri de artmıştır. Alçak yoğunluklu polietilene takviye edilen %2 oranındaki bentonit eğme mukavemetinin %6,8 oranda artmıştır. Alçak yoğunluklu polietilen polimerin 7,76 MPa eğme mukavemet değeri %6 bentonit eklendiğinde %8,5 oranında artarak 8,42 MPa elde edilmiştir. Alçak yoğunluklu polietilen polimerine %8 bentonit ilavesi edildiğinde ise eğme mukavemeti %10,2 oranında artmıştır. En yüksek eğme mukavemeti değeri 8,68 MPa ile %10 bentonit takviyeli alçak yoğunluklu polietilen kompozitte elde edilmiştir.



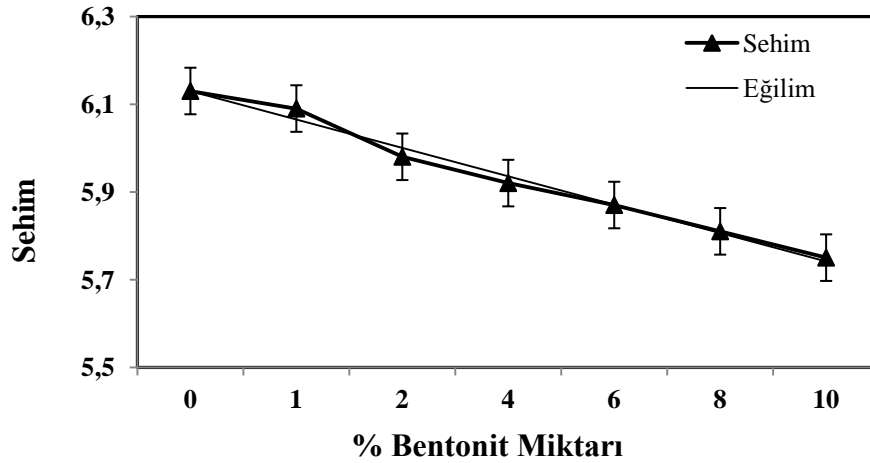
Şekil 4.5. Eğme mukavemeti grafiği

Şekil 4.6.'da eğme deneyi sonrası elde edilen elastiklik modülü sonuçları verilmiştir. Şekil 4.6.'a bakıldığında, artan bentonit miktarına bağlı olarak elastiklik modül değerleri artmıştır. AYPE ilave edilen %1 oranında bentonit elastiklik modülü %4,4 oranında artırmıştır. AYPE polimerin 182 MPa olan elastiklik modülü değeri %4 bentonit eklendiğinde %11,5 oranında yükselerek 203 MPa elde edilmiştir. AYPE polimerine %8 bentonit ilave edildiğinde ise elastiklik modülü %20,9 oranında artmıştır. En yüksek elastiklik modül değeri 226 MPa ile %10 bentonit takviyeli AYPE kompozitte elde edilmiştir.



Şekil 4.6. Elastiklik modülü grafiği

Eğme testi grafiğinde Şekil 4.7.'de görüldüğü gibi %bentonit miktarının artışı ile sehim miktarında azalma görülmüştür. Sehim miktarında en fazla azalma ise %10 bentonit takviyeli kompozit malzemede görülmüştür. Alçak yoğunluklu polietilenin sehim değeriyle, %10 bentonit takviyeli kompozit malzemenin sehim değerleri karşılaştırıldığında %6,2'lik azalma elde edilmiştir.



Şekil 4.7. Sehim grafiği

Akıncı'nın çalışmasında alçak yoğunluklu polietilen içersine katılan silika kumu katarak eğme testine tabi tuttuğunda eğme mukavemetinde artışa ek olarak sertlik yoğunluk ve elastiklik modül değerinde de artış tespit etmiştir (Akıncı, 2010). Kompozit üretiminde genellikle kil tabakaları ile polimer arasındaki etkileşimlerin ve kil dağılımının iyi olduğu kompozit malzemeye uygulanan gerilim, polimer zincirlerinden tabakalar üzerine çok daha etkin olarak aktarılabilir. Kompozitlerde, dolgu maddesi miktarındaki artış kompozit malzemenin esneklik ve işlenebilirlik özelliklerinde oldukça önemli kayıplara sebep olmakta, malzeme sertleşmekte, kırılma dayanımı azalmakta ve gelen darbenin enerjisini absorbe yeteneği azalmaktadır (Durmuş, 2006).

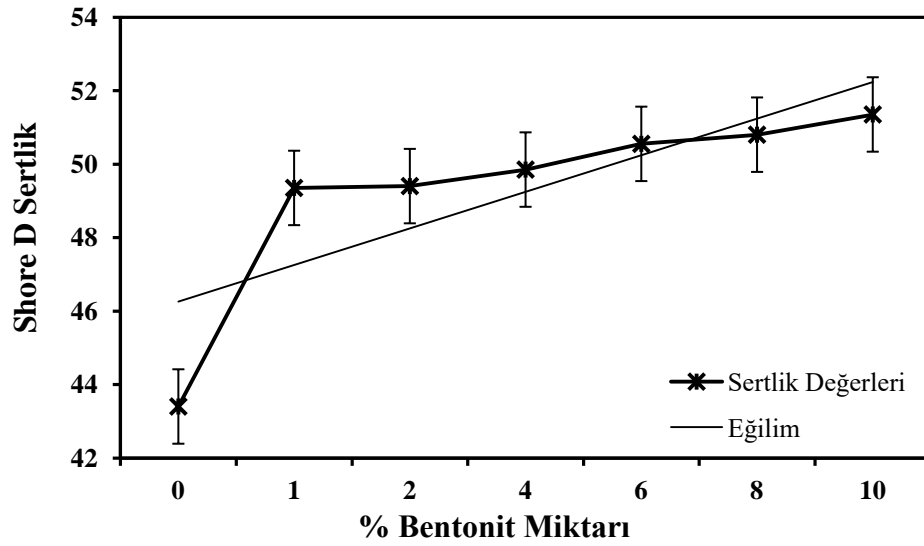
Çalışmadaki bentonit takviyeli (%1, 2, 4, 6, 8 ve 10) üretilmiş kompozitlerin her bir takviye miktarından beşer adet eğme testi yapılmıştır. Test sonuçlarının ortalamaları alınmış ve standart sapma değerleri de yanlarına Tablo 4.2.'de yazılmıştır.

Tablo 4.2. Takviye miktarına göre eğme testinin sonuçları

Mekanik Özellikler			
Kompozit Takviye Oranları	Elastik Modülü (MPa)	Eğme Mukavemeti (MPa)	Sehim
%0 Bentonit	182±10,64	7,76±0,136	6,13±0,149
%1 Bentonit	190±16,26	8,12±0,163	6,09±0,228
%2 Bentonit	198±18,21	8,29±0,185	5,98±0,156
%4 Bentonit	203±14,54	8,38±0,134	5,92±0,155
%6 Bentonit	211±15,64	8,42±0,134	5,87±0,118
%8 Bentonit	220±16,36	8,55±0,164	5,81±0,056
%10 Bentonit	226±10,27	8,68±0,177	5,75±0,069

4.3. Sertlik Testi Sonuçları

Polimer kompozitlerin sertlik değerleri takviye malzemesinin homojen dağılımı ile yakından ilişkilidir. Suresha ve arkadaşları ise şu şekilde açıklanmıştır; sıkıştırma kuvveti altında termoplastik faz (PP fazı) ve katı katkı fazı birlikte baskı yerler ve iki faz birbirlerine temas ederek gelen kuvvete karşı koyarlar. Böylece, arayüzey bağı zayıf olsa bile, arayüzey yükü daha verimli şekilde transfer eder. Bu sonuçla katkılı kompozitlerin sertlik değeri artar (Suresha ve ark., 2010). Akıncı' nın çalışmasında ise, AYPE içersine silisyum kumu ilavesinde sertliğin artışını şöyle açıklamıştır; Sertlik artışı ilave edilen dolgu malzemesinin polietilen zincirlerinin hareketini kısıtlaması olarak ifade etmiştir (Akıncı, 2010). Şekil 4.8.' de görüldüğü gibi Shore D testinden elde edilen sonuçlar verilmiştir. En yüksek ölçülen sertlik sonucu, AYPE polimerine %10 bentonit takviyesi ile sertlik değerinde %18 oranında artış görülmüştür.



Şekil 4.8. Sertlik testi sonuçlarının dağılım grafiği

Cho ve arkadaşları, polivinil asetat (PVA) içersine mikro kristalin selüloz (MCC) takviyesi (%1, 3, 5, 7) yaparak mukavemet değerlerine baktığında en ideal oranın %5 olduğunu göstermiştir (Cho ve ark., 2011). Swain ve arkadaşları ise poliüretan (PU) matriks içersine nano silika ve nano alümina takviye (%0,1- %0,5- %1,0- %1,5- %3,0- %5,0) ederek morfoloji, su emilim, mekanik ve termal özellikleriyle karşılaştırmıştır. Kompozit yapıların testleri yorumlanmasıyla ideal oranlar nano silika takviyesi olarak %0,5 belirlenmiş ve nano alümina takviyesi olarak %1- %1,5 belirlenmiştir (Swain ve ark. 2013). Tablo 4.3.'de Shore D sertlik testi sonuçları gösterilmiştir.

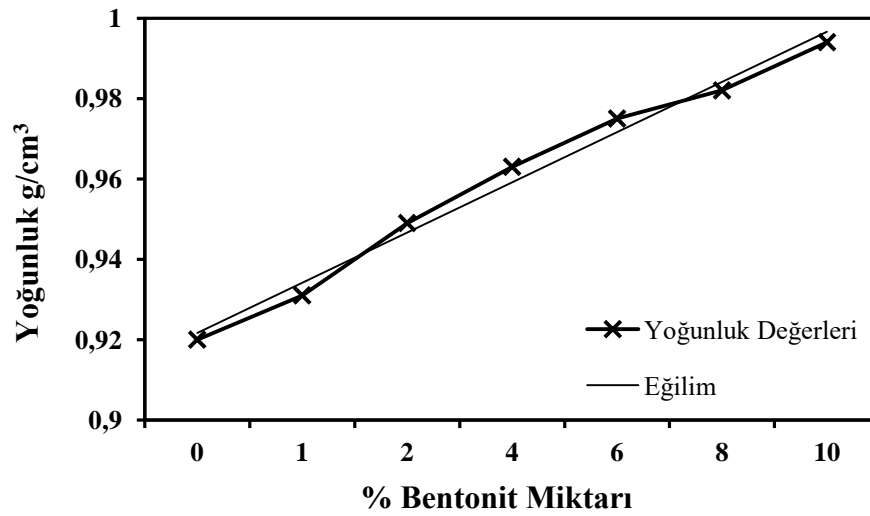
Genel itibariyle eğme testi, çekme testi ve sertlik testi değerlerine bakıldığında takviye miktarının artmasıyla mekanik özelliklerde iyileşme gözlenmiştir. Bu yüzden bentonit takviyeli kompozit malzemenin mukavemet değerleri açısından en iyi oranı %10 olarak belirlenmiştir.

Tablo 4.3. Sertlik testi sonuçları

Ölçüm sayısı	%0 Bentonit	%1 Bentonit	%2 Bentonit	%4 Bentonit	%6 Bentonit	%8 Bentonit	%10 Bentonit
1.	42	48	49	51,5	51	50	51
2.	43	49	50	51	51	50	52,5
3.	44,5	51	48,5	49	50	50	52
4.	42,5	47,5	45	48	51,5	52,5	51,5
5.	42,5	50	49,5	50	51,5	51	51,5
6.	44	50	50	50,5	49	51,5	52,5
7.	43,5	49,5	51	50	50,5	50,5	50
8.	44	50	50	49,5	50	51	50
9.	44,5	50	51	50	50	51,5	51,5
10.	43,5	48,5	50	49	51	50	51
Ortalama değer	43,4	49,35	49,4	49,85	50,55	50,8	51,35

4.4. Yoğunluk Testi Sonuçları

Arşimet prensibi ile yapılan testde matriks malzemenin yoğunluğu $0,920 \text{ g/cm}^3$ ölçüldü. Bentonitin yoğunluğu ise $1,8 \text{ g/cm}^3$ olarak bilinmektedir. Takviye miktarları ve yoğunluk değerleri Tablo 4.4.'de görülmektedir. %10 Bentonit takviyeli kompozit malzemenin yoğunluğu ise $0,994 \text{ g/cm}^3$ ölçülmüştür ve %8'lik bir yoğunluk artışı tespit edilmiştir. Sonuç olarak takviye miktarının artışıyla kompozit malzemenin yoğunluğunun da arttığı Şekil 4.9.'da gözlemlenmiştir. Bunu sebebi takviye malzemesinin yoğunluğunun yüksek olması matriks fazıyla olan karşımı ile kompozit malzemenin yoğunluğunda artışa neden olmuştur.



Şekil 4.9. Yoğunluk değerlerinin dağılım grafiği

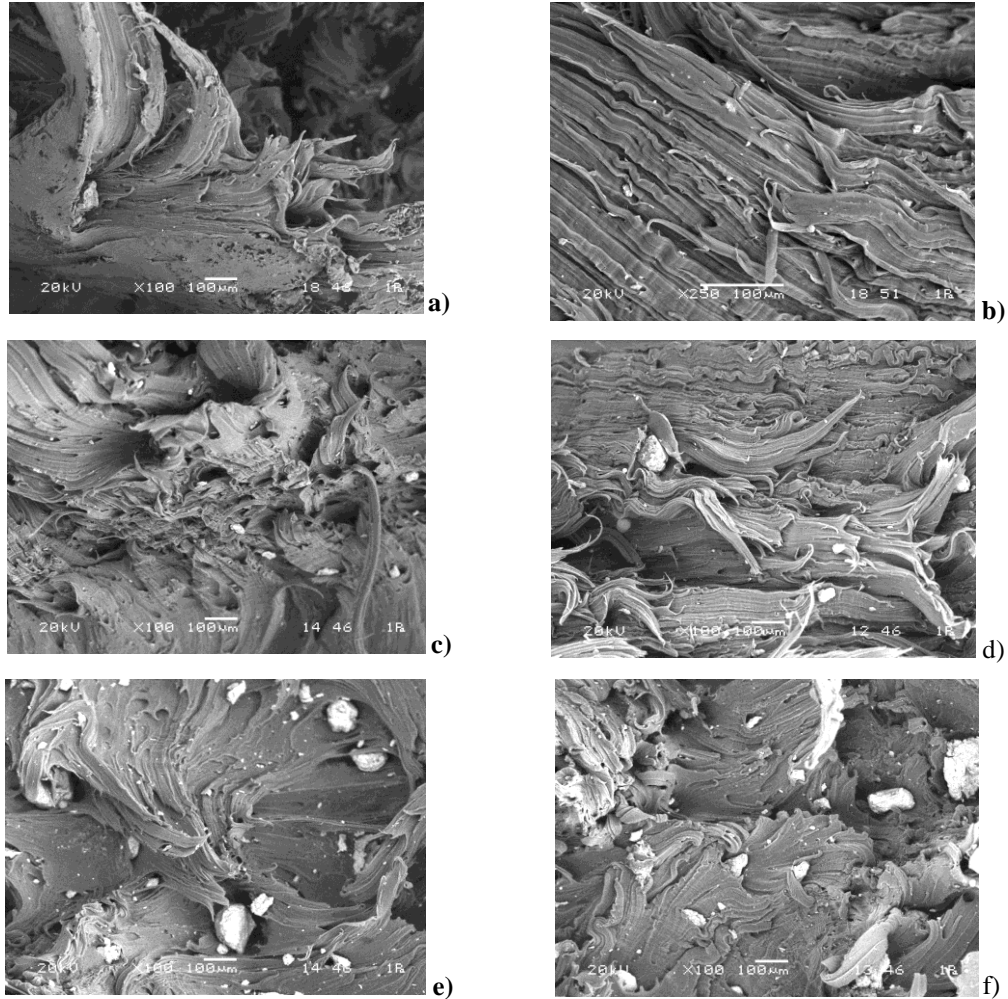
Tablo 4.4. Yoğunluk testi sonuçları

Malzeme	Bulk yoğunluk değeri (g/cm ³)
AYPE	0,920
% 1 Bentonit/AYPE	0,931
% 2 Bentonit/AYPE	0,949
% 4 Bentonit/AYPE	0,963
% 6 Bentonit/AYPE	0,975
% 8 Bentonit/AYPE	0,982
% 10 Bentonit/AYPE	0,994

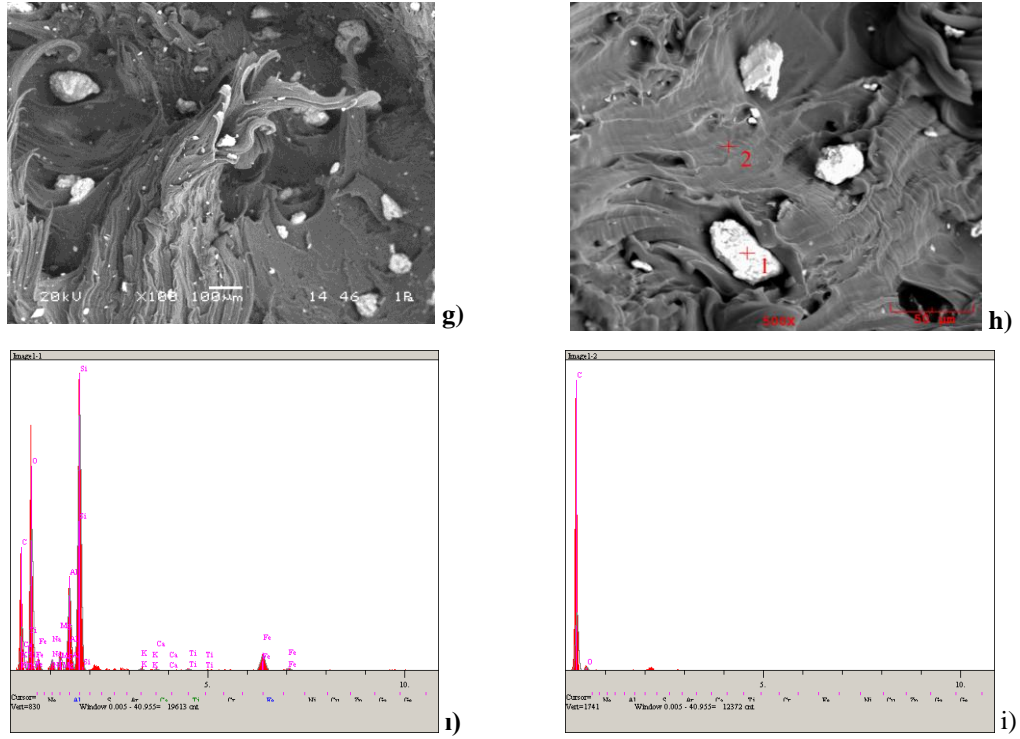
4.5. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM-EDS) Analizi

SEM analizi yapılan kompozit malzemenin görüntüleri Şekil 4.10.'da görülmektedir. Sünek malzeme olan AYPE polimerine bentonit ilavesi ile kompozit yapı gevrek hale gelmiştir. Ayrıca da iyi bir bağ yapmadığı gözlemlenmiştir. Çalışmaya benzer Suresha ve arkadaşları PA66/PP (poliamid/polipropilen) matriks içerisine nano kil, mikron boyutta grafit ve kısa cam fiber takviyeleri yaparak elde edilen kompozit yapılar içerisinde takviye türlerinin dağılımlarını incelemişlerdir. Sonuç olarak Suresha ve arkadaşları mikro yapı içerisinde dağılımın önemli olduğunu ve homojenliğin kompozit yapı üzerinde etkisinin çok fazla olduğunu söylemektedir (Suresha ve ark., 2010).

Soyubol ve arkadaşları, YYPE (yüksek yoğunluklu polietilen) matriks malzeme içersine kil takviye etmiş ve uyumlaştırıcı amacıyla PE-g-MA (Maleik anhidrit) ve Pe-co-MA (ko-meta krilik asit) kullanmıştır ve homojen dağılım elde edilmiştir (Soyubol ve ark., 2010). Benzer olarak uyumlaştırıcı katılmış bir araştırmada ise, PA6+YYPE matriks içersine nano kil takviyesi ilave etmiş ve uyumlaştırıcı olarak PE-g-MA kullanılmıştır (Kaştan ve ark., 2015). Bu yapılmış çalışmada ise uyumlaştırıcı kullanılmadan en ideal karışım olarak %5 nanokil takviyesi belirlenmiştir. Ayrıca da uyumlaştırıcılı kompozit yapıda benzer olarak %5 nanokil takviyesi ideal oran seçilmiştir.



Şekil 4.10. SEM görüntüleri a)AYPE ,b)%1 bentonit ,c)%2 bentonit ,d)%4 bentonit ,e)%6 bentonit ,f)%8 bentonit ,g)%10 bentonit ,h)SEM EDS analiz resmi ,ı)1. Nokta EDS analiz diyagram ve i) 2. Nokta EDS analiz diyagramı



Şekil 4.10. (Devamı)

SEM EDS analizi sonucunda beklentiler olumlu sonuç vermiştir. Şekil 4.10. i)'da incelendiğinde 1. noktanın elementsel analizi görülmektedir. Analiz sonucunda oluşan pik değerlerine karşılık gelen elementler sırasıyla (en yüksek dalga boyundan en düşüğe); Si, O, C, Al, Mg, Na, Fe, K, Ca ve Ti'dur. Sonuç itibariyle malzemenin karakterizasyonu için yapılan XRD analizi sonucunda çıkan kristal yapılarının (kalsit-(Ca,Mg)CO₃, muskovit-KAl₃Si₃O₁₀(OH)₂, kaolinit-Al₂Si₂O₅(OH)₄ ve diopsit-CaMgSi₂O₅), SEM EDS analizi sonuçlarındaki elementsel değerler ile birbirlerini desteklemiştir. Şekil 4.10. i)'de 2. noktanın elementsel analizi incelendiğinde analiz sonucunda pik değerlerine karşılık gelen elementler sırasıyla; C, H ve O'dir. Yani daha koyu gözükten alçak yoğunluklu polietilen ((-CH₂-CH₂-)_n) matriks fazının, 2. noktadan alınan SEM EDS analizi elementlerine karşılık gelmesiyle doğrulanmıştır.

BÖLÜM 5. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Genel olarak test sonuçlarında görüldüğü üzere Alçak yoğunluklu polietilenin mukavemetiyle %10 bentonit takviyeli kompozit malzemenin arasında çekme mukavemetinde, eğme mukavemetinde, elastik modülünde ve sertlik değerlerinde belirgin ölçüde artış gözlemlenmiştir. Bu artışla birlikte takviye edilen bentonit miktarı arttıkça mukavemet ve sertlik değerleri de artmıştır. Ancak bentonit miktarının artışı kompozit malzemenin sünekliliğini düşürmesiyle %uzama miktarlarını da azaltmıştır. Sonuç olarak kompozit malzemenin içerisinde takviye miktarının artışı matriks malzemenin elastiklik modülünü artırarak daha az esneyen bir malzeme elde edilmiştir. Bu elastikiyetin artışıyla birlikte akma, çekme, eğme mukavemetlerinde ve sertlik sonuçlarında yükselme gözlenmiştir.

Çekme ve eğme testinde elastik modülleri aynı çıkarken çekme mukavemeti ile eğme mukavemet değerleri farklılık göstermiştir. Sonuç olarak eğme mukavemet sonuçları çekme mukavemet sonuçlarından daha yüksek çıkmaktadır. Bu sonuçla polimer matriks içerisinde seramik takviye elemanları bulunmasından dolayı (seramik malzemelerin basma dayanımı, polimer malzemelere göre yüksek olması) üç nokta eğme testindeki sonuçların, çekme testinde elde edilen sonuçlara göre yüksek olmasının sebebini açıklamaktadır.

Kompozit üretimini daha kolay hale getirmek için alçak yoğunluklu polietilen matriks tanelerinin yüzeyleri alkol ile ıslatıldıktan sonra bentonit taneleri ilave edilmiştir ve çift vidalı ekstrudere konulmuştur. Bu alkol ilavesi ekstruder imalatı yapan işletmelerde PE-g-MA kullanılsaydı 250 g' mın satın alma fiyatı yaklaşık olarak 200 tl ödemiş olacaktı. Ancak metil alkolün satın alma fiyatı ise 1 lt' si 12

tl'dir. Bu sayede üretim aşamasında maliyeti 1. ölçüde azaltılmıştır. Yapılan araştırmalarda bentonit tozu olarak nano boyutlar kullanılmıştır. Nano bentonit tozunun satın alma maliyeti ise yaklaşık olarak 1 tonu 1200 tl olarak görülmüştür. Ancak mikron boyutta bentonit tozunun satın alma fiyatına baktığımızda ise 1 tonu 240 tl olarak görülmüştür. Bu üretim aşamasında mikron bentonit tozu seçilerek maliyeti 2. ölçüde de azaltılmıştır. Sonuç olarak bentonit takviyeli kompozit malzemenin üretim maliyeti azaltılmıştır ve bu az maliyet ile üretim kolay hale gelmiştir.

Bu çalışmada alçak yoğunluklu polietilen malzemenin genel olarak kullanım alanlarına bakıldığında; besin saklama, laboratuvar kapları, tepsiler ve genel amaçlı kaplar, temizlik ve kozmetik ürünlerinin ambalajında kullanılmaktadır. Özellikle kozmetik ve besin saklama kaplarında ve ambalajlarında ürünün doğallığından bahsedilirken kapların da doğallığı sağlanabilmektedir. Kısaca özetlenirse alçak yoğunluklu polietilen matriks içerisine takviye edilen bentonit ile üretilmiş kompozit malzeme de doğal olmuştur. Bu elde edilmiş kompozit doğal ambalaj ve kapların daha az sentetik malzeme içeriği elde edilmiştir.

5.2. Öneriler

Bu çalışmada alçak yoğunluklu polietilen matriks içerisinde bentonit tane boyutları homojen değildir. Bunu sebebi bentonit tozu elek analizinden geçirilmiş olsaydı daha homojen tane boyutları elde edilebilirdi. Bu homojen tane boyutları sayesinde iri tanelerin oluşturdukları boşluklar daha az görülür ve mukavemet değerleri daha yüksek çıkabilirdi.

Ara yüzeylerde uyumluluğu sağlayacak katkıları kullanılabilir. Bu uyum sağlayıcı yapıya örnek verecek olursak matriks yapısı alçak yoğunluklu polietilen malzeme olduğundan dolayı uyumlaştırıcı tercihi de polietilen maleik anhidrat (PE-g-MA) olmalıdır. Eğer yapıya PE-g-MA katılsaydı kompozit yapı içerisinde bulunan bentonit taneleri ile alçak yoğunluklu polietilen lifleri daha kuvvetli bağ kurabilir ve mukavemet değerleri artabilirdi.

KAYNAKLAR

- Adams, J.M. 1978. The reactionary character of clay. *Spectrum*, 158, 8-11.
- Akbulut, H. 1995. Alümina fiber takviyeli al-si metal matriksli kompozitlerin üretimi ve mikroyapı - özellik ilişkilerinin incelenmesi. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi
- Akbulut, H. 2007. Kompozit Malzemeler Ders Notları, Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü.
- Akçay D. 2006. Poli (metil metakrilat)/bentonit nanokompozitin kütle polimerizasyonu yöntemiyle sentezlenmesi ve karakterizasyonu. İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Akıncı A., 2010. DYPE Matriksli Sio2 Dolgulu Kompozit Yapı Malzemeleri, Sakarya Üniversitesi, İMO Teknik Dergi, 5065-5068, Yazı 331, Kısa Bildiri.
- Altınkök, N. 2002. Otomotiv endüstrisinde kullanılan Al₂O₃/SiC partikül destekli metal matriks kompozit üretimi ve mekanik davranışlarının incelenmesi. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi.
- Ambroise, J.A., Gniewek, I., Dejean, J. and Pera, J. 1987. *American ceramic society bulletin*, 66, 1731-1733.
- Anonim. 2001. 8. Beş Yıllık Kalkınma Planı Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu. Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Genel Endüstri Mineralleri Çalışma Grubu Raporu, Cilt IV, Ankara.
- Anuar K., Muralı S., Farız A., Ekramul M.N.H., 2004. Conducting polymer / Clay Composites: Preparation and Characterization, Department of Chemistry, Faculty of Science and Environmental Studies, University Putra Malaysia, ISSN 1392–1320 *Materials Science (Medziagotyra)*. Vol. 10, No. 3. 2004.
- Arı, G. 2009. Polimer nanokompozitlerin özelliklerine değişik nanopartiküllerin etkisinin incelenmesi. İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Bölümü, Doktora Tezi.
- Arıcasoy, O. 2006. Kompozit Sektör Raporu, İTO-0017049, İstanbul Ticaret Odası Yayınları, 25-29.

- Atmaca, A. 2006. Çelik Fiber Takviyeli Alüminyum Metal Matriksli Kompozit Plakaların Elosto-Plastik Gerilme Analizi. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- B. Suresha a., B.N. Ravi Kumar., M. Venkataramareddy., T. Jayaraju., Role of micro/nano fillers on mechanical and tribological properties of polyamide 66/polypropylene composites. *Materials and Design* 31 1993–2000, 2010.
- B. Wetzel, F. Hauptert, K. Friedrich, M.Q. Zhang, M.Z. Rong, 2001, Mechanical and tribological properties of microparticulate and nanoparticulate reinforced polymer composites, in: Y. Zhang (Ed.), *Proceedings of the ICCM-13*, Wan Fang Digital Electronic Publisher, Beijing, ID 1021.
- Barrer, R.M. 1978. Zeolites and clay minerals as sorbents and molecular sieves.
- Beşergil, B. 2008. Polimer Kimyası. 2. Baskı Ankara: Gazi. 9789758640355.
- Bradley, W.F. and Grim, R.E. 1951. High temperature thermal effects of clay and related materials. *American Mineralogist*, 36, 182-201.
- Breen, C., Watson, R., Madejova, J., Komadel, P. and Klapyta, Z. 1997. Acid activated organoclays: Preparation, characterization and catalytic activity of acid- treated tetraalkylammonium exchanged smectites. *Langmuir*, 13, 6473-6479.
- Brindley, G.W. 1978. Thermal reactions of clay and clay minerals. *Ceremica*, 24, 217- 224.
- Buytoz, S.1999. Alüminyum Matriksli Al₂O₃ Takviyeli Kompozit Malzemelerin Katı Hal Birleştirme Teknikleri ile Kaynak Edilebilirliğinin Araştırılması. Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- C.Y. Lai, A. Groth, S. Gray, M. Duke, 2014, Preparation and characterization of poly(vinylidene fluoride)/nanoclay nanocomposite flat sheet membranes for abrasion resistance, *Water Res.* 57 56–66.
- Cazes, J. 1989. A Question of Molecular Weight. <http://www.ampolymer.com/A%20Question%20of%20Molecular%20Weight.pdf>, Erişim tarihi 17.05.2012.
- Ceylan, H., Yıldız, A. and Sarıkaya, Y. 1993. Investigation of the adsorption of fatty acids on two different clay using IR, DTA and TGA techniques. *Turkish Journal of Chemistry*, 17, 267-272.
- Chawla, N. 2006. *Metal Matrix Composites*, Birkhäuser, Springer.

- Ching, Y.C.; Ashiqur, R.; Yong, K.C.; Nazatul, L.S.; Cheng, H.C. 2015. Preparation and characterization of polyvinyl alcohol-based composite reinforced with nanocellulose and nanosilica. *BioResources* , 10, 3364–3377.
- Chitnis, S.R. and Sharma, M.M. 1997. Industrial applications of acid treated clays as catalysts. *Reactive and Functional Polymers*, 32, 93-115.
- Cho, M, J., and Park, B, D. 2011. Tensile and thermal properties of nanocellulose reinforced poly(vinyl alcohol) nanocomposites. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry* 17 36–40.
- Clarke, G. (Ed.) 1989. *Industrial Clays: A Special Review*. Industrial Minerals, London.
- Clarke, G. (Ed.) 1989. *Industrial Clays: A Special Review*. Industrial Minerals, London.
- Çalın, R. 2006. Magnezya parçacık takviyeli al matrisli kompozitin vakum infiltrasyon yöntemi ile üretilmesi ve özelliklerinin incelenmesi. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi.
- Çelik M., Önal M., 30 Nisan – 2 Mayıs 2008, Polianilin/Na-montmorillonit nanokompozitlerinin hazırlanması ve karakterizasyonunu, Harran Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, 2. Ulusal Polimer Bilim ve Teknolojisi Kongresi ve Sergisi, PK-10.
- Çelik, M., Önal, M. 2004. Synthesis and Characterization of Poly(glycidylmethacrylate)/Na-Montmorillonite Nanocomposites, *Journal of Applied Polymer Science*, 94: 1532-1538.
- Çengel, Ö. 2013. Peroksitlerin alçak yoğunluklu polietilen (AYPE) üzerine etkisi, mekanik ve fiziksel özelliklerinin incelenmesi. Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.
- Çengel, Ö. 2013. Peroksitlerin Alçak Yoğunluklu Polietilen (Aype) Üzerine Etkisi, Mekanik Ve Fiziksel Özelliklerinin İncelenmesi. Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.
- Çetinel H., 2000, Polietilen ve polipropilenin mekanik özelliklerinin incelenmesi, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, Cilt: 2, Sayı: 3, sh. 79-87 Ekim 2000.
- Ding, C., et al. 2005. Preparation and Structure of Highly Confined Intercalated Polystyrene/Montmorillonite Nanocomposite Via a Two-Step Method, *European Polymer Journal* 41:1781–1786.
- Durmuş, A. 2006. Poliolenin nonokompozitlerin hazırlanması, Doktora tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

- Düşünceli N., Çolak Ö.Ü., 2007. İmalat yöntemlerinin yüksek yoğunluklu polietilen tek eksenli çekme davranışı üzerindeki etkisi, 8. Uluslar Arası Kırılma Konferansı, 7-9 Kasım 2007.
- Enşici, A. 2004. Polimer esaslı kompozit malzemeler ve ürün tasarımında kullanımları, http://www.turkcadcam.net/rapor/kompozit_malzemeler/index.html, Erişim Tarihi: 18.01.2008.
- Eroğlu, T. 2011. AYPE-T Fabrikası İşletme Eğitim Kitabı. Petkim.
- Ersoy, H., Ersoy Y. 2001. Kompozit Malzeme, Literatür Yayınları, İstanbul.
- Gay, D., Hoa, S. 2007. Composite materials, Boca Raton, FL: CRC Press.
- Gillson, J.L. 1960. Industrial Minerals and Rocks. The American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers, New York.
- Gillson, J.L. 1960. Industrial Minerals and Rocks. The American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers, New York.
- Gojny, F.H., Wichmann, M.H.G., Fiedler, B., Kinloch, I.A., Bauhofer, W., Windle, A.H., Schulte, K. 2006. Evaluation and identification of electrical and thermal conduction mechanisms in carbon nanotube/epoxy composites, *Polymer*, 47; 2036-2045.
- Gregg, S.J. and Sing, K.S.W. 1982. Adsorption surface area and porosity, 2nd ed., Academic Press, London.
- Gregory, B. H. 2009. Polyethylene Film Extrusion: A Process Manual. USA:Trafford. 9781426918100.
- Grim, R.E. 1962. Applied Clay Mineralogy, McGraw-Hill, New York.
- Grim, R.E. 1962. Applied clay mineralogy, McGraw-Hill, New York.
- Grim, R.E. 1988. The history of the development of clay mineralogy. *Clays and Clay Minerals*, 36, 97-101.
- Grim, R.E., Güven, N. 1978. Bentonites-Geology, Mineralogy, Properties and Uses. *Developments in Sedimentology*, 24, Elsevier, New York, p. 256.
- Güler, Ç. and Sarier, N. 1990. Kinetics of the thermal dehydration of acid-activated montmorillonite by the rising temperature technique. *Thermochimica Acta*, 159, 29-33.
- Gültekin, D. 2007. Metal Matriksli Kompozit Fren Diski, Balatası Üretimi ve Karakterizasyonu. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.

- Gündoğdu, H. 2010. AYPE Fabrikası Eğitim Notları. Petkim.
- Haa, S, R., Ryub, S, H., Park S, J., Rheed, K, Y. 2007. Effect of clay surface modification and concentration on the tensile performance of clay/epoxy nanocomposites, *Materials Science and Engineering A* 448 264–268.
- Hancıoğlu, Ç. 2015, Kaolin ve bentonit killerde nulan silikaların belirlenmesi. Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.
- <http://www.labor.com.tr/KERN-PR-A02-YOGUNLUK-KITI,PR-11306.html>, Erişim Tarihi: 31.12.2015.
- https://en.wikipedia.org/wiki/Shore_durometer, Erişim Tarihi: 23.02.2017.
- Ismail, H., Pasbakhsh, P., Fauzi, M, N, A., Bakar, A. 2008. Morphological, thermal and tensile properties of halloysite nanotubes filled ethylene propylene diene monomer (EPDM) nanocomposites. *Polymer Testing* 27 841–850.
- Ivanov, I., Cheshkov, V., Natova, M. 2001. *Polymer composite materials*. Dordrecht: Kluwer Academic.
- İpekoğlu, B., Kurşun, İ., Bilge, Y. ve Barut, A. 1997. Türkiye bentonit potansiyeline genel bir bakış. 2. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, 51-56, İzmir.
- Jo B.W., Park S.K., Kim D.K., 2008. Mechanical properties of nano-MMT reinforced polymer composite and polymer concrete, *Construction and Building Materials*, 22, 14-20.
- Joshi, R.C., Achari, G., Horfield, D. and Nagaraj, T.S. 1994. Effect of heat treatment on strength of clays. *Journal of Geotechnical Engineering*, 120, 1080-1088.
- Karabağ, S. 2011. Rüzgâr Türbini Kanadı İmalatı, Rüzgâr Sempozyumu ve Sergisinde sunuldu, İzmir.
- Kaştan, A. 2015. PA 6/ PE / Nano-Kil kompozitlerin özelliklerinin incelenmesi. Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi.
- Kingery, W.D., Bowen, H.K. and Uhlmann, D.R. 1976. *Introduction to Ceramics*, Second Edition, John Wiley and Sons, p.1032, New York.
- Koltuksuz, H., Germen, O., Eskimeren, S. ve Korkmaz, G. 2011. Yüksek Yoğunluk Polietilen Fabrikası Eğitim Notu. Petkim.
- Köysüren Ö., Yeşil S., Bayram G. Haziran 2006. 1. Ulusal polimer bilim ve teknoloğisi kongresi ve sergisi, Ankara, ILP-017.

- Kurnaz, S.C. 1993. δ -Alümina (Saffil) Takviyeli ZA 12 esaslı kompozit malzemelerin infiltrasyon yöntemi ile üretim ve özelliklerinin incelenmesi. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi.
- Kurt A., Yavuz R., Bozdağ G. Şubat 2013. Polistiren-kil nanokompozitlerin sentezi, termal ve optik özelliklerinin incelenmesi, Adıyaman üniversitesi, fen bilimleri Dergisi 3, 58-78.
- Laird, D.A. and Shang, C. 1997. Relationship between cation exchange selectivity and crystalline swelling in expanding 2:1 Phyllosilicates. *Clays and Clay Minerals*, 45, 681-689.
- Laszlo, P. 1987. Chemical reactions on clays. *Science*, 235, 1473-1477.
- Law, P.F. and Morgheim, J.F. 1979. The swelling of clay; I. Basic concepts and empirical equations. *Soil Science Society of America Journal*, 43, 473-480.
- Law, P.F., Morgheim, J.F. 1979. The swelling of clay; I. Basic concepts and empirical equations. *Soil Science Society of America Journal*, 43, 473-480.
- Loos, M, R., Pezzin, S, H., Amico, S, C., Bergmann, C, P., Coelho, L, A, F. 2008. The matrix stiffness role on tensile and thermal properties of carbon nanotubes /epoxy composites. *J Mater Sci* 43.6064–6069.
- Loughnan, F.C. 1969. *Chemical weathering on the silica minerals*, Elsevier, New York.
- Luckham, P.F. and Rossi, S. 1999. The colloidal and rheological properties of bentonite suspensions. *Advanced colloid and interface science*, 82; 43-92.
- Madakbaş S., Kahraman M.V., Şen F., Esmer K. Mart 2013. Polipirol ve poliakrilonitril/kil kompozitlerin hazırlanması ve termal özelliklerinin incelenmesi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Dergisi, 25 134-139.
- Mingelgrin, U., Kliger, L., Gal, M. and Saltzman, S. 1978. The effect of grinding on the structure and behaviour of bentonites. *Clays and Clay Minerals*, 26, 299-307.
- Mingelgrin, U., Kliger, L., Gal, M., Saltzman, S. 1978. The effect of grinding on the structure and behaviour of bentonites. *Clays and Clay Minerals*, 26, 299- 307.
- Mozas, T., Bruque, S. and Rodriguez, A. 1980. Effect of thermal treatment on lanthanide montmorillonites: Dehydration. *Clay Minerals*, 15, 421-428.
- Murray, H.H. 1991. Overview-clay mineral applications. *Applied Clay Science*, 5, 379- 395.
- Murray, H.H. 1999. *Applied clay mineralogy today and tomorrow*. *Clay Minerals*, 34, 39-49.

- Murray, H.H. 2000. Traditional and new applications for kaolin, smectite, and palygorskite: A general overview. *Applied Clay Science*, 17, 207-221.
- Nguyen T. Q., Baird G. D. 2006. Preparation of polymer-clay nanocomposite and their properties, *Advances in Polymer Technology*, Vol. 25 No. 4, 270-285.
- Noyan, H. 2001. Isıl işlem ve asit aktivasyonu ile Çankırı bentonitinin gözenekli yapısının geliştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Ozsoy, I., Demirkol, A., Mimaroglu, A., Unal, H., Demir, Z. 2015. The Influence of Micro- and Nano-Filler Content on the Mechanical Properties of Epoxy Composites. *Journal of Mechanical Engineering* 61 10 601-609.
- Ögel, B. 1997. Kompozit Malzemelerde Son Gelişmeler ve İleriye Dönük Beklentiler, 9. Uluslararası Metalürji ve Malzeme Kongresi, C1, TMMOB, İstanbul, 33, 639-650.
- Önal, M. and Sarıkaya, Y. 2007. The effect of heat treatment on the paracrystallinity of an opal-CT found in a bentonite. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 353, 4195-4198.
- Önal, M. and Sarıkaya, Y. 2007. Thermal behavior of a bentonite. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. 90(1), 167-172.
- Önal, M., Çelik, M. 2006. Polymethacrylamide/Na-montmorillonite Nanocomposites Synthesized by Free-Radical Polymerization, *Materials Letters*, 60: 48-52.
- Özdemir, A. ve Özcan, E. 2007. Bentonitin sondaj mühendisliği özellikleri. *Jeofizik Bülteni*, Sayı: 54, s. 352-357.
- Özdemir, H. and Sezer, İ. 1988. Clay potential of Turkey. *Industrial Minerals Supplement*, March issue, 35-39.
- Paradas, G.E., Sanchez, V.M. and Campo, C.A. 1993. Influence of physicochemical properties and acid-activated bentonite in bleaching of olive oil. *Journal of Chemical Technology&Biotechnology*, 57-213, 216.
- Parfitt, G.D., and Sing, K.S.W. 1976. *Characterization of powder surface*. Academic Press, London.
- Peng, Q, Y., Cong, P, H., Liu, X, J., Liu, T, X., Huang, S., LI, T, S. 2009. The preparation of PVDF/clay nanocomposites and the investigation of their tribological properties. *Wear* 266 713–720.
- Petkim Petrokimya A.Ş., 2004. Alçak Yoğunluklu polietilen ürün özellikleri ve işletme koşulları. Kalite kontrol ve teknik servis müdürlüğü, Yayın No:2
- Pinnavaia, T.J. 1983. Intercalated clay catalysts. *Science*, 220, 365-371.

PlasticsEurope, 2011. Plastics - the Facts 2011 An analysis of European plastics production, demand and recovery for 2010.

<http://www.plasticseurope.org/Document/plastics-the-facts-2011.aspx> Erişim Tarihi: 13.05.2012.

Rajkumar, K., Kumari, N., Ranjith, P., Chakraborty, S, K., Thavamani, P., Pazhanisamy., P.Jeyanthi, P. 2011. High Temperature Resistance Properties of NBR Based Polymer Nanocomposites, International Journal of ChemTech Research, Vol. 3-.3, 1343-1348.

Reichle, W.T. 1985. Catalytic reactions by thermally activated synthetic, anionic clay minerals. Journal of Catalysis, 94, 547-557.

Saçak, M. 2004. Polimer Kimyası. 2.Baskı Ankara:Gazi. 9758640275.

Safadi, B., Andrews, R., Grulke, E, A. 2002. Multiwalled Carbon Nanotube Polymer Composites: Synthesis and Characterization of Thin Films. Journal of Applied Polymer Science, Vol. 84 2660–2669.

Sarıkaya, Y. 1987. Killerin önemi ve özellikleri. III. Ulusal Kil Sempozyumu Bildirileri: 13-32 (eds. A.G. Türkmenoğlu ve O. Akıman) ODTÜ Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Ankara.

Sarıkaya, Y., Aybar, S. 1978. The adsorption of NH₃, N₂O and CO₂ gases on the 5A molecular sieve. Communications, Fac. Sci. Uni., Ankara. 24B/5, 33-39.

Sarıkaya, Y., Önal, M., Baran, B. and Alemdaroğlu, T. 2000. The effect of thermal treatment on some of the physicochemical properties of a bentonite. Clays and Clay Minerals, 48(5), 557-562.

Sarıkaya, Y., Önal, M., Baran, B. and Alemdaroğlu, T. 2000. The effect of thermal treatment on some of the physicochemical properties of a bentonite. Clays and Clay Minerals, 48(5), 557-562.

Sato, T., Watanabe, T. and Qtuska, R. 1992. Effects of layer charge, charge location and energy change on expansion properties of dioctahedral smectites. Clays and Clay Minerals, 40, 103-113.

Sezavar, A., Zebarjad, S., Seyed M., Sajjadi, A. 2015. A Study on the Effect of Nano Alumina Particles on Fracture Behavior of PMMA. Technologies. 3, 94-102; doi:10.3390- technologies3020094.

Slade, P.G., Quirk, J.P. and Norrish, K. 1991. Crystalline swelling of smectite samples in concentrated NaCl solutions in relation to layer charge. Clays and Clay Minerals. 39, 234-238.

Soy, U. 2014. 1000 Soruda Malzeme Bilimi, Değişim Yayınları.

- Soyubol G., Durmuş A., Ercan N., Kaşgöz A., 2010. YYPE/Kil nanokompozitlerinin hazırlanması, termal, reolojik ve gaz geçirgenlik özelliklerinin incelenmesi, 9. Ulusal Kimya Mühendisliği Kongresi, ANKARA, 22-25 Haziran 2010, ss.253-254.
- Srinath G., Gnanamoorthy, R. 2005. Effect of nanoclay reinforcement on tensile and tribo behaviour of Nylon 6, Journal of Materials Science 40 2897 – 2901.
- Strong, A. Brent. 2008. Fundamentals of Composites Manufacturing - Materials, Methods, and Applications (2nd Edition).
- Suquet, H., De la Calle, C. and Pezerat, H. 1975. Swelling and structural organization of saponite. Clays and Clay Minerals, 23, 1-9.
- Swain, S., Sharma, R, A., Bhattacharya, S., Chaudhary, L. 2013. Effects of Nano-silica/Nano-alumina on Mechanical and Physical Properties of Polyurethane Composites and Coatings. Transactions On Electrical And Electronic Materials Vol. 14, No. 1, Pp. 1-8.
- Şahin, İ., Akdoğan, A. 2006. SiC partikül takviyeli AlSi₇Mg₂ matriksli kompozit malzemelerin talaşlı şekillendirilmesinde takım aşınması ve talaş oluşumunun incelenmesi, Proceedings of 11th International Materials Symposium, April 19-21, s: 169-173, Denizli.
- Şen F., Palancıoğlu H., ALDAŞ K. 2010. Polimerik nanokompozitler ve kullanım alanları, Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi Cilt: 7 No: 1, 2010 (111-118).
- Teixeira, S., M. Moreira, M., Lima, A., Santos, L., da Rocha, B., & de Lima, E. et al. 2006. Composites of high density polyethylene and different grades of calcium carbonate: Mechanical, rheological, thermal, and morphological properties. Journal Of Applied Polymer Science, 101(4), 2559-2564.
- Tonbul, Y. and Yurdakoç, K. 2001. Thermogravimetric investigation of the dehydration kinetics of KSF, K10 and Turkish bentonite. Turkish Journal of Chemistry, 25, 333-339.
- Tonbul, Y. ve Yurdakoç, M.K. 1997. Killerin dehidrasyonu ve dehidroksilasyon kinetiklerinin termogravimetrik analiz yöntemleriyle incelenmesi. VIII. Ulusal Kil Sempozyumu DPÜ, Kütahya.
- Toptan, F. 2006. Alüminyum Matrisli B₄C Takviyeli Kompozitlerin Döküm Yöntemi ile Üretimi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.

- Ulcay Y., Akyol M., Gemici R. 2002. Polimer esaslı lif takviyeli kompozit malzemelerin arabirim mukavemeti üzerine farklı kür metotlarının etkisinin incelenmesi, Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Cilt 7, Sayı 1.
- Ünal, O. 2005. Kompozit Malzemeler, Yapı Malzemesi Ders Notları, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Yapı Eğitimi Bölümü.
- Vasile, C., Pascu, M. 2005. Practical guide to polyethylene. Shrewsbury: Rapra Technology.
- Wang, R., Zheng, S., Zheng, Y. 2011. Polymer matrix composites and technology. Oxford: Woodhead Pub.
- www.camelyaf.com.tr, Erişim Tarihi: 08.07.2014.
- www.maden.org.tr, Erişim Tarihi: 25.12.2014.
- www.mta.gov.tr/v2.0/default.php?id=maden_yataklari, Erişim Tarihi: 17.12.2014.
- www.webcitation.org, Erişim Tarihi: 08.07.2014.
- www.webcitation.org/query?url, Erişim Tarihi: 08.07.2014.
- www.xengineer.net, Erişim Tarihi: 13.01.2009.
- Yasmin, A., Luo, J.J., Abot, J.L., Daniel, I.M. 2006. Mechanical and thermal behavior of clay/epoxy nanocomposites Composites Science and Technology 66; 2415-2422
- Yasmin, A., Luo, J.J., Daniel, I.M. 2006. Processing of expanded graphite reinforced polymer nanocomposites, Composites Science and Technology 66; 1182-1189.
- Yaylalı, G., Değirmenci, S., Şirin, B. ve Akarlar, N. 2001. Türkiye’de döküm bentonitlerinin 2000’lerde iyileştirilmesi. T.M.M.O.B. Metalurji Mühendisleri Odası Dergisi, 126, 12-19.
- Zhong, Y., Zhu, Z., Wang, S. 2005. Synthesis and Rheological Properties of Polystyrene/Layered Silicate Nanocomposite, Polymer, 46, 3006-3013.

ÖZGEÇMİŞ

Mustafa Türker UZUN 27.04.1990'da Erzurum'da doğdu. İlk okul eğitimini Mersin'de ve Çankırı'da tamamladı. Orta okul eğitimini ise Çankırı'da tamamladı. 2007 yılında Çankırı Lisesi'nden mezun oldu. 2008 yılında başladığı Dumlupınar Üniversitesi Seramik Mühendisliği Bölümü'nü 2012 yılında bitirdi. 2012 yılında ikinci lisansını Sakarya Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü'nü 2014 yılında bitirdi. 2013 yılında ikinci lisansı okurken İmalat Mühendisliği Bölümü'nde Yüksek lisans programına kayıt yaptırdı. 2014 – 2015 yılı bahar yarı yılında Sakarya Üniversitesi Meslek Yüksek Okulu'nda Sözleşmeli Öğretim Görevlisi olarak Bilgisayar Destekli Tasarım dersi ve Sakarya Üniversitesi Arifiye Meslek Yüksek Okulu'nda da Sözleşmeli Öğretim Görevlisi olarak Kaynaklı Gemi İmalatı ve Malzeme Seçimi derslerini verdi.