

T.C
MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DEĞİŞİK PARTİKÜL BOYUTLARINDAKİ $Mg(OH)_2$
KATKILI POLİPROPİLEN (PP) NANOKOMPOZİTİNİN
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Yasemin SAÇAKLI

YÜKSEK LİSANS TEZİ
METAL EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN
Doç. Dr. Münir TAŞDEMİR

İSTANBUL 2011

T.C
MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DEĞİŞİK PARTİKÜL BOYUTLARINDAKİ $Mg(OH)_2$
KATKILI POLİPROPİLEN (PP) NANOKOMPOZİTİNİN
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Yasemin SAÇAKLI
(522609002)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
METAL EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN
Doç. Dr. Münir TAŞDEMİR

İSTANBUL 2011

TEŞEKKÜR

Meslek deneyimlerimi kazanma yolunda yapmış olduğum çalışmamda, engin görüş ve tecrübesiyle bana ışık tutarak büyük sabır gösteren ve desteklerini esirgemeyen değerli hocam ve danışmanım Doç. Dr. Münir TAŞDEMİR'e,

Lisans ve Yüksek Lisans metal/plastik eğitimim sırasında bana emeği geçen bütün bölüm hocalarıma,

Laboratuar çalışmalarımın çeşitli safalarında bana yardımları olan Teknik Öğretmen Bilge Hilal Alkış, Arş. Gör. Sezgin ERSOY, Ablam Dr. İrem SAÇAKLI SAÇILDI' ya,

Saygı ve hoşgörölü yaklaşımıyla manevi olarak yüksek lisans yapmam konusunda beni destekleyen Teknik Öğretmen Halef GEZİCİ'ye,

Eğitim hayatım boyunca her daim beni bilinçlendiren, var olmasıyla ve bana güvenmesiyle beni yücelten Canım Babam'a,

Yaşamda aldığım tüm kararlarda bana güvenen ve destekleyen, bugüne kadar sevgisini ve şefkatini her konuda hissettiğim Canım Annem'e, en içten teşekkürlerimi sunarım.

Kasım,2011

YASEMİN SAÇAKLI

İÇİNDEKİLER

	SAYFA
TEŞEKKÜRLER	i
İÇİNDEKİLER	ii
ÖZET	vi
ABSTRACT	vii
SEMBOLLER	viii
KISALTMALAR.....	x
ŞEKİLLER	xii
TABLolar	xvi
BÖLÜM I. GİRİŞ VE GENEL BİLGİLER.....	1
I.1 GİRİŞ	1
I.2 GENEL KISIMLAR.....	3
I.2.1 Nanoteknoloji.....	3
I.2.1.1. Nanoteknoloji Tanım	3
I.2.1.2. Nanoteknolojinin Doğuşu	4
I.2.1.3. Nanoteknolojinin Gelişimi.....	6
I.2.1.4. Nanoteknolojide Son Gelişmeler.....	9
I.2.1.5. Nanoteknoloji Uygulamaları.....	10
I.2.2 Malzemeler	11
I.2.2.1. Tanımlar	11
I.2.2.2. Malzemelerin Sınıflandırılması.....	12
I.2.2.2.1. Organik Malzemeler	12
I.2.2.2.2. Metalik Malzemeler	13
I.2.2.2.3. Seramik Malzemeler	13
I.2.2.2.4. Polimerik Malzemeler	13
I.2.3 Kompozit Malzemeler.....	25
I.2.3.1. Kompozit Malzeme Türleri.....	26
I.2.3.1.1. Polimer Kompozitler	26

I.2.3.1.2. Metal Kompozitler	26
I.2.3.1.3. Seramik Kompozitler	27
I.2.3.2. Kompozit Malzemelerin Avantajları ve Dezavantajları	27
I.2.4 Nanokompozitler.....	28
I.2.4.1. Nanokompozitlerin Tarihsel Gelişimi ve Önemi	29
I.2.4.2. Nanokompozitlerin Üstün Özellikleri.....	30
I.2.4.3. Nanokompozitlerin Sınıflandırılması	30
I.2.4.3.1. Seramik ve Metalik Nanokompozitler	31
I.2.4.3.2. Polimerik Nanokompozitler	31
BÖLÜM II. POLİMER NANO KOMPOZİT ÜZERİNE	
YAPILAN LİTERATÜR ÇALIŞMALARI	36
BÖLÜM III. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	60
III.1 DENEYSEL ÇALIŞMADA KULLANILAN MALZEMELER.....	60
III.1.1 Polipropilen (PP)	61
III.1.1.1. Polipropilenin Yapısı	62
III.1.1.1.1. İzotaktik Polipropilen.....	62
III.1.1.1.2. Sindiotaktik Polipropilen.....	63
III.1.1.1.3. Ataktik Polipropilen.....	63
III.1.1.2. Polipropilenin Genel Özellikleri	63
III.1.1.3. Polipropilen Türlerinin Sınıflandırılması.....	65
III.1.2 Dolgu Maddesi.....	66
III.1.2.1. Dolgu Maddelerinin Özellikleri ve Malzemeye Etkisi.....	66
III.1.2.2. Dolgu Maddeleri Katılırken Dikkat Edilen Özellikler	67
III.1.2.3. Dolgu Maddesi Olarak Magnezyum Hidroksit Mg(OH) ₂	68
III.1.3 Kaydırıcı	70
III.2 DENEY NUMUNELERİNİN HAZIRLANMASINDA KULLANILAN	
CİHAZLAR VE MAKİNELERDE NUMUNELERİN ELDE	
EDİLMESİ	71
III.2.1 Terazî.....	71
III.2.2 Mekanik Karıştırıcı	71
III.2.3 Ekstrüzyon	72
III.2.3.1. Ekstrüzyon ile Malzeme Kalıplama	72

III.2.3.2. Mg(OH)₂ Katkılı Polipropilen (PP) Nanokompozitin	
Ekstrüzyon Makinesinde Elde Edilmesi	73
III.2.4 Etüv Cihazı	74
III.2.5 Enjeksiyon Makinesi	75
III.2.5.1. Mg(OH)₂ Katkılı Polipropilen (PP) Nanokompozitin	
Enjeksiyon Makinesinde Elde Edilmesi	76
III.3 DENEY NUMUNELERİNİN HAZIRLANMASINDA	
KULLANILAN TEST CİHAZLARI	76
III.3.1 Durometre Sertlik Ölçme Cihazı	77
III.3.2 Çentik Açma Cihazı	78
III.3.3 Izod Darbe Mukavemeti Test Cihazı	79
III.3.4 Ergime Akış İndeksi Testi	81
III.3.5 Hassas Terazî	83
III.3.6 Çekme Deney Test Cihazı	83
III.3.7 Aşınma Deneyi.....	84
III.3.8 Isıl Çarpılma Sıcaklığı (HDT) ve Vicat Yumuşama Sıcaklığı	86
III.3.9 Taramalı Elektron Mikroskop Cihazı (SEM)	87
BÖLÜM IV. DENEYSEL BULGULAR	90
IV.1 DENEYSEL BULGULARIN İRDELENMESİ	90
IV.1.1 Mg(OH)₂ Katkılı Polipropilen (PP) Nanokompozitin Mekanik	
Değerleri	90
IV.1.1.1. Elastiklik Modülü	90
IV.1.1.2. Akma Mukavemeti	92
IV.1.1.3. Çekme Mukavemeti.....	94
IV.1.1.4. Kopma Uzaması	96
IV.1.1.5. Sertlik	98
IV.1.1.6. Çentikli Izod Darbe Mukavemeti	99
IV.1.1.7. Aşınma Oranı.....	101
IV.1.1.8. Erime Akış İndeksi (MFI).....	103
IV.1.1.9. Vicat Yumuşama Sıcaklığı.....	104
IV.1.1.10. Isıl Çarpılma Sıcaklığı (HDT).....	105
IV.1.2 Değişik Partikül Boyutlarındaki Mg(OH)₂ Katkılı Polipropilen (PP)	
Nanokompozitin SEM İkroyapı İncelemesi	107

IV.1.2.1. Katkısız Polipropilen (PP) (Grup 1)	107
IV.1.2.2. 50nm Boyutundaki Karışımlar (Grup 2,5,8 ve 11).....	108
IV.1.2.3. 1.5µ Boyutundaki Karışımlar (Grup 3,6,9 ve 12)	109
IV.1.2.4. 2.6µ Boyutundaki Karışımlar (Grup 4,7,10 ve 13).....	111
IV.1.3 SEM Genel Bakış ve EDAX Grafiği Değerlendirilmesi	112
BÖLÜM V.SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	115
V.1 SONUÇLAR	115
V.2 ÖNERİLER	118
KAYNAKLAR.....	119
EKLER	125
ÖZGEÇMİŞ	

ÖZET

DEĞİŞİK PARTİKÜL BOYUTLARINDAKİ MAGNEZYUM HİDROKSİT ($\text{Mg}(\text{OH})_2$) KATKILI POLİPROPİLEN (PP) NANOKOMPOZİTİNİN ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Polimer matris nanokompozitleri akademik ve endüstriyel olarak oldukça ilgi çekmektedir, çünkü nano ölçeğin özelliklere olan önemli derecedeki iyileştirici etkisini darbe direnci, modüller, ısısal kararlık ve yanma direncine bakılıp saf polimerle karşılaştırıldığında söylemek mümkün olmaktadır. Buna ek olarak, polimerler, katkısız polimerlerin engel olan özelliklerini iyileştirmek ya da son ürünün maliyetini düşürmek için iri parçacıklı dolgu maddesi ile çoğunlukla doldurulur.

Bu çalışmada, farklı partikül boyutlarında ve oranında mikro $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 'in iki çeşidi ve nanomagnezyum hidroksit tozu ekstrüzyon ve enjeksiyon teknikleriyle dolgu maddesi olarak seçildi ve izotaktik polipropilen (iPP) ile karıştırıldı. Elde edilen sonuçlara göre, partikül boyutunun düşmesi ile polimer kompozitinin elastiklik modülleri, sertliği, aşınma oranı ve Izod darbe mukavemeti yükseldi.

Kasım, 2011

Yasemin SAÇAKLI

ABSTRACT

EFFECTS OF PARTICLE SIZE ON MECHANICAL AND MORPHOLOGICAL PROPERTIES OF NANO-MAGNESIUM HYDROXIDE POWDER $Mg(OH)_2$ FILLED PP POLYMER COMPOSITES

Polymer matrix nanocomposites have attracted considerable academic and industrial interest because nanoscale effects have potential to afford significant improvements in properties such as impact resistance, modulus, thermal stability and flame resistance compared with those of pure polymers. In addition, Polymers are often filled with particulate fillers in order to improve the barrier properties of the neat polymer or reduce the cost of the final product.

In this study, a nanomagnesium hydroxide powder and two kinds of micro- $Mg(OH)_2$, with different particle sizes and ratios, were chosen as fillers and mixed with isotactic polypropylene (iPP) to form a series of composites by a extrusion and injection processing technique. The results showed that the elasticity modulus, hardness, wear rate, izod impact strength of composites improved with decreasing particle size.

Kasım, 2011

Yasemin SAÇAKLI

SEMBOLLER

σ	: gerilme kuvveti
τ	: uzama
μ	: mikron
Δm	: Ağırlık kaybı(g)
ρ	: Yoğunluk (g/ cm ³)
L	: Mesafe-Yol (m)
F_N	: Yük
kg	: Kilogram
phr	: parts per hundred
MPa	: Megapascal
$^{\circ}C$	: Santigrat
nm	: Nanometre
m	: Metre
mm	: Milimetre
kJ	: Kilojoule
cm	: Santimetre
eV	: Electro Volt
kV	: Kilovolt
T_g	: Camı Geçiş Sıcaklığı
T_m	: Erime Sıcaklığı
CH_3	: Metil grubu
$TiCl_3$	: Titanyum triklorür
SiO_2	: Silisyum dioksit
$CaCO_3$	: Kalsiyum Karbonat
B_4C	: Bor karbür
Al_2O_3	: Alüminyum Oksit
Si_3N_4	: Silisyum Nitrür
$Mg(OH)_2$	: Magnezyum Hidroksit
SiC	: Silisyum Karbür
TiC	: Titanyum Karbür

TiB : Titanyum Borür
TiN : Titanyum Nitrür
AlN : Alüminyum Nitrür

KISALTMALAR

ABS	: Akrilonitril Bütadien Stiren
AKM	: Atomik Kuvvet Mikroskobu
ASTM	: Amerikan Test ve Malzeme Derneği
CA	: Kaplama Ajanı
CA	: Selüloz Asetat
CBN	: Kübik Bor Nitrür
CMC	: Seramik Matrisli Kompozitler
CNC	: Seramik Nanokompozitler
CPE	: Klorlanmış Polietilen
CTP	: Cam Elyaf Takviyeli Polyester
Dak	: Dakika
DMF	: Poliüretan-dimetil Formamid
DNA	: Deoksiribonükleik asit
DSC	: Diferansiyel Taramalı Kalorimetre
DTA	: Diferansiyel Termal Analiz
EP	: Epoksi Reçine
EPDM	: Etilen- Propilen- Dien- Monomeri
H	: Hidrojen
HDT	: Isıl Çarpılma Sıcaklığı
ISO	: Uluslararası Standardizasyon Organizasyonu
MFI	: Ergime Akış İndeksi
MMC	: Metal Matrisli Kompozitler
MMT	: Montmorillonite
MNC	: Metalik Nanokompozitler
NC	: Nanokompozitler
OMMT	: Organo-Montmorillonite
Org-MMT	: Organo-Montmorillonite
PA	: Poliamid
PC	: Polikarbonat
Pd	: Paladyum

PE	: Polietilen
PEEK	: Polietereterketon
PMMA	: Poli(metil metakrilat)
PNC	: Polimerik Nanokompozitler
POM	: Polioksimetilen
PP	: Polipropilen
PP-g-AA	: Akrilik Asit ile Modifiye Edilmiş Polipropilen
PP-g-GMA	: Glisidil Metakrilat Aşılanmış Polipropilen
PP-g-MAH	: Maleik Anhidrit Aşılanmış Polipropilen
PS	: Polistiren
PU	: Poliüretan
PUH	: Poliüretan-hektorit
PVC	: Polivinil Klorür
SAN	: Stiren Akrilonitril
SBR	: Stiren-bütadien kauçuğu
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
Si	: Silikon
TEM	: Geçirmeli Elektron Mikroskobu
TGA	: Termogravimetrik Analiz
TSE	: Türk Standardları Enstitüsü
TTM	: Taramalı Tünelleme Mikroskobu
XRD	: X-Işını Difraktometre

ŞEKİLLER

	<u>SAYFA NO</u>
Şekil I.1 Teknolojinin Değişimi	2
Şekil I.2.1.1 Nanoyapı	3
Şekil I.2.1.2 Nano Boyutlu Yapı	5
Şekil I.2.1.3 Nanobilimin Doğuşu.....	6
Şekil I.2.1.3.1 Nano-Malzemelerin ABD Pazarında 2002–2020 Yılları Arasında Öngörülen Büyümesi	8
Şekil I.2.1.4 Nano Malzeme Kullanımının Sektöre Göre Dağılımı	9
Şekil I.2.1.5 Bir Sineğin Bacağı Boyutundaki Nanoteknolojik Mekanik Parçalar.....	10
Şekil I.2.1.5.1 Saç Kılı ve Elektrik Kablosu	11
Şekil I.2.1.5.2 Yusufçuk Böceği Örnek Alınarak Tasarlanmış Nanoteknolojik, Mikro Robot	11
Şekil I.2.2.2.4 Üretiminde Polimerler Kullanılan Malzemeler	13
Şekil I.2.2.2.4.1 Polimer Oluşum Şeması	14
Şekil I.2.2.2.4.2 Polipropilen Polimeri	16
Şekil I.2.2.2.4.3 Silikon Polimerler	17
Şekil I.2.2.2.4.4 Termoplastik Granüller	17
Şekil I.2.2.2.4.5 Termoset Granüller	19
Şekil I.2.2.2.4.6 Elastomer Granülü	21
Şekil I.2.2.2.4.7 Polimerik Malzemelerde Gerilme-Uzama Eğrileri.....	23
Şekil I.2.2.2.4.8 Polimerlerin Gerilme - Uzama Eğrisinin İncelenmesi.....	24
Şekil I.2.3 Kompozit Malzemeler	25
Şekil I.2.3.1.1 Üretiminde %50 Polimer Matrisli Kompozit Malzeme Kullanılan Eurofighter Uçağı	26
Şekil I.2.4 Nanokompozit Uygulamaları	28
Şekil I.2.4.3.2.1 Polimerik Nanokompozitlerin Çeşitli Kullanım Alanları	33
Şekil II.1 PP/Kil Nanokompozitin X-Işınları Eğrisi ve TEM Fotoğrafı	36
Şekil II.2 PP ve PP/Kil Nanokompozitin TGA Sonuçları.....	37

Şekil II.3 PVC/Nano-CaCO ₃ Nanokompozitinin CPE Eklenmemiş ve Eklenmiş Halinin Çekme Direnci ve Kırılma Uzaması	38
Şekil II.4 CPE Eklenmemiş ve Eklenmiş PVC/CaCO ₃ Nanokompozitinin Young Modülü.....	38
Şekil II.5 Nano-CaCO ₃ Partiküllerinin TEM Cihazında Görünümü	39
Şekil II.6 PVC/Nano-CaCO ₃ Nanokompozitine CPE Eklenmemiş ve Eklenmiş Halinin Izod Darbe Mukavemeti.....	39
Şekil II.7 Organo-Montmorillonite nanokompozitinin TEM görüntüsü (Oran: 2/100)	40
Şekil II.8 Organo-Montmorillonite nanokompozitinin TEM görüntüsü (Oran: 5/100)	41
Şekil II.9 Saf PP ve Nanokompozitlerin Darbe Direncinin Mekanik Özellikleri.....	41
Şekil II.10 Saf PP ve Nanokompozitlerin Eğilme Modülünün Mekanik Özellikleri.....	42
Şekil II.11 Saf PP ve Nanokompozitlerin Gerilme-Uzama İlişkisi	42
Şekil II.12 PP/CaCO ₃ Nanokompozitlerinin TEM Görüntüleri a) Az Büyütülmüş ve b) Çok Büyütülmüş Hali	43
Şekil II.13 PP ve PP/CaCO ₃ Nanokompozitlerinin DSC Eğrileri.....	44
Şekil II.14 Saf PP ve PP/CaCO ₃ Nanokompozitlerinin Mekanik Özellikleri.....	44
Şekil II.15 PPC-1'in Darbe- Kırılma Yüzeyinin SEM Fotoğrafları a) x500 Büyütme ve b) x1000 Büyütme	45
Şekil II.16 PPC-2'nin Darbe-Kırılma Yüzeyinin SEM Fotoğrafları a) x500 Büyütme ve b) x1000 Büyütme	45
Şekil II.17 Kil ve Nanokompozitlerin X-Işını Desenleri	46
Şekil II.18 PUH7'nin SEM Görüntüsü ve PUH7'nin TEM Görüntüsü.....	47
Şekil II.19 PU ve Nanokompozitlerinin TGA Sonuçları	48
Şekil II.20 Saf PP Eriyiğinin Viskozite-Zaman Grafiği	50
Şekil II.21 Değişik Gerilme-Uzama Oranlarında Eriyik Halde Uyumlaştırılmayan Nanokompozitin Viskozite-Zaman Grafiği	50
Şekil II.22 Farklı Uzama Gerilimi Oranında Uyumlaştırıcı Eriyik Nanokompozitleri	51
Şekil II.23 PP Nanokompozitlerinin TEM Görüntüleri a) PP/ PP-g-MA, b) PP/PP –g- GMA, c)PP/PP-g-AA.....	53
Şekil II.24 WAXD Değerleri	54

Şekil II.25 DSC Eğrisi.....	54
Şekil II.26 Nano-CaCO ₃ /EPDM/PP'nin Faz Yapılarının TEM Görüntüleri	56
Şekil II.27 Nano-CaCO ₃ /EPDM/PP Kompozitlerinin Izod Darbe Mukavemeti	56
Şekil II.28 PP/ PA ₆ Polimer Nanokompozitin TEM Görünümleri.....	58
Şekil II.29 a)DSC Diyagramı b)XRD Diyagramı.....	59
Şekil III.1.1 Polipropilen (PP)	61
Şekil III.1.1.1.1 İzotaktik Polipropilenin Yapısı.....	62
Şekil III.1.1.1.2 Sindiotaktik Polipropilenin Yapısı	63
Şekil III.1.1.1.3 Ataktik Polipropilenin Yapısı.....	63
Şekil III.1.2.3 Magnezyum Hidroksit Tozu	68
Şekil III.1.3 Kaydırıcı	70
Şekil III.2.1 Terazî	71
Şekil III.2.2 Mekanik Karıştırıcı.....	72
Şekil III.2.3.1 Ekstrüzyon Makinesinin Başlıca Parçaları	73
Şekil III.2.3.2 Ekstrüder Makinesi.....	73
Şekil III.2.4 Etüvde Malzemenin Kurutulması.....	74
Şekil III.2.5 Enjeksiyon Makinesinin Şematik Gösterimi.....	75
Şekil III.2.5.1 Enjeksiyon Makinesi ve Test Numuneleri.....	76
Şekil III.3.1 Sertlik Ölçümü	78
Şekil III.3.1.1 Durometre Sertlik Ölçme Cihazı.....	78
Şekil III.3.2 Çentik Açma Cihazı.....	79
Şekil III.3.3 Darbe Deneyinin Şematik Olarak Gösterimi	79
Şekil III.3.3.1 Geçiş Sıcaklığının Belirlenmesi için Elde Edilmiş Sıcaklık- Kırılma Enerjisi Diyagramı	80
Şekil III.3.3.2 Izod Darbe Mukavemeti Test Cihazı.....	81
Şekil III.3.4 MFI Cihazının Şematik Görünümü	81
Şekil III.3.4.1 Ergime Akış İndisi Ölçüm Cihazı	82
Şekil III.3.5 Hassas Terazî	83
Şekil III.3.6 Çekme Test Cihazı	84
Şekil III.3.7 Aşınma Test Cihazı Şematik Gösterimi	85
Şekil III.3.7.1 Aşınma Test Cihazı.....	85
Şekil III.3.8 Isıl Çarpılma Sıcaklığı (HDT) ve Vicat Yumuşama Sıcaklığı.....	87
Şekil III.3.9 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM).....	89
Şekil IV.1.1.1 Elastik Modülünün Gerilme-Uzama Grafiği.....	90

Şekil IV.1.1.1.1 Çekme Test Sonucu Elde Edilen Elastiklik Modülü Değerleri	91
Şekil IV.1.1.2 Akma Mukavemetinin Gerilme-Uzama Grafiği.....	92
Şekil IV.1.1.2.1 Çekme Test Sonucu Elde Edilen Akma Mukavemeti Değerleri	93
Şekil IV.1.1.3 Çekme Mukavemetinin Gerilme-Uzama Grafiği	94
Şekil IV.1.1.3.1 Çekme Test Sonucu Elde Edilen Çekme Mukavemeti Değerleri.....	95
Şekil IV.1.1.4 Kopma Uzamasının Gerilme-Uzama Grafiği.....	96
Şekil IV.1.1.4.1 Çekme Test Sonucu Elde Edilen Kopma Uzaması Değerleri	97
Şekil IV.1.1.5 Sertlik Deneyi Test Sonucu Elde Edilen Sertlik Değerleri	98
Şekil IV.1.1.6 Izod Darbe Mukavemeti Test Sonucu Elde Edilen Izod Darbe Mukavemeti Değerleri	100
Şekil IV.1.1.7 Aşınma Test Sonucu Elde Edilen Aşınma Oranı Değerleri	101
Şekil IV.1.1.8 Erime Akış İndeksi Değerleri.....	103
Şekil IV.1.1.9 Vicat Yumuşama Sıcaklığı Değerleri	105
Şekil IV.1.1.10 Isıl Çarpılma Sıcaklığı Değerleri	106
Şekil IV.1.2.1 Grup1(%100 PP) SEM Görüntüleri.....	107
Şekil IV.1.2.2 Grup2 (% 98PP/%2 Mg(OH) ₂) SEM Mikroyapısı (x1000, x2000).....	108
Şekil IV.1.2.2.1 Grup5 (% 96PP/%4 Mg(OH) ₂) SEM Mikroyapısı	108
Şekil IV.1.2.2.2 Grup8(% 94PP/%6 Mg(OH) ₂) SEM Mikroyapısı	109
Şekil IV.1.2.2.3 Grup11 (% 90PP/%10 Mg(OH) ₂) SEM Mikroyapısı	109
Şekil IV.1.2.3 Grup3 (% 98PP/%2 Mg(OH) ₂) SEM Mikroyapısı	109
Şekil IV.1.2.3.1 Grup6 (% 96PP/%4 Mg(OH) ₂) SEM Mikroyapısı	110
Şekil IV.1.2.3.2 Grup9 (% 94PP/%6 Mg(OH) ₂) SEM Mikroyapısı	110
Şekil IV.1.2.3.3 Grup12 (% 90PP/%10 Mg(OH) ₂) SEM Mikroyapısı.....	111
Şekil IV.1.2.4 Grup4 (% 98PP/%2 Mg(OH) ₂) SEM Mikroyapısı	111
Şekil IV.1.2.4.1 Grup7 (% 96PP/%4 Mg(OH) ₂) SEM Mikroyapısı.....	111
Şekil IV.1.2.4.2 Grup10 (% 94PP/%6 Mg(OH) ₂) SEM Mikroyapısı.....	112
Şekil IV.1.2.4.3 Grup13 (% 90PP/%10 Mg(OH) ₂) SEM Mikroyapısı.....	112
Şekil IV.1.3 Değişik Partikül Boyutlarındaki Mg(OH) ₂ Katkılı Polipropilen (PP) Nanokompozitin SEM Fotoğraflarının Genel Olarak Görünümü	113
Şekil IV.1.3.1 EDAX Sonucu Elde Edilen Grafik	114

TABLÖLAR

	<u>SAYFA NO</u>
Tablo I.2.2.2.4 Kaynağına Göre Polimerler	15
Tablo II.1 PP/Kil Nanokompozitinin Isısal Değerleri	37
Tablo II.2 Saf PP ve Nanokompozitin Çekme Özellikleri.....	43
Tablo II.3 Çekme Mukavemeti Sonuçları	48
Tablo II.4 Mekanik Özellik Tablosu.....	52
Tablo II.5 Polimer Nanokompozitin Mekanik Özellikleri	54
Tablo II.6 TGA Verileri	55
Tablo II.7 PP/ PA ₆ Karışımları ve Nanokompozitlerin Mekanik Özellikleri ve Kristallik Derecesi	58
Tablo III.1 Mg(OH) ₂ Katkılı Polipropilen (PP) Nanokompozitin Karışım Oranları	60
Tablo III.1.1.2 PP'nin Özellikleri.....	64
Tablo IV.1.1.1 Çekme Test Sonucu Elde Edilen Elastiklik Modülleri (MPa)	91
Tablo IV.1.1.2 Çekme Test Sonucu Elde Edilen Akma Mukavemetleri (MPa)	92
Tablo IV.1.1.3 Çekme Test Sonucu Elde Edilen Çekme Mukavemetleri (MPa).....	94
Tablo IV.1.1.4 Çekme Test Sonucu Elde Edilen Kopma Uzunlukları (%).....	96
Tablo IV.1.1.5 Sertlik Deneyi Test Sonucu Elde Edilen Sertlikleri (Shore D).....	98
Tablo IV.1.1.6 Izod Darbe Mukavemeti Test Sonucu Elde Edilen Izod Darbe Mukavemetleri (kJ/m ²).....	99
Tablo IV.1.1.7 Aşınma Test Sonucu Elde Edilen Aşınma Oranı (cm ³ /Nm).....	101
Tablo IV.1.1.8 Eriyik Akış İndeksi Verileri (g/10dak).....	103
Tablo IV.1.1.9 Vicat Yumuşama Sıcaklığı (°C)	105
Tablo IV.1.1.10 Isıl Çarpılma Sıcaklığı Verileri (°C)	106

BÖLÜM I

GİRİŞ VE GENEL BİLGİLER

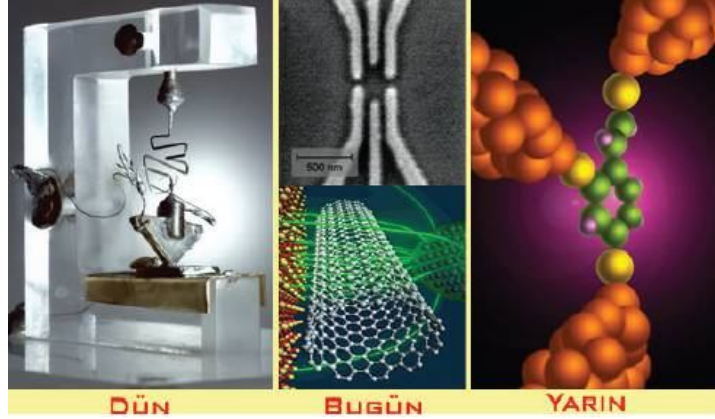
I.1 GİRİŞ

Plastikler, teknolojiideki yeni gelişmelerin bir sonucu olarak çeşitli fiziksel ve kimyasal özellikleri nedeniyle hızlı bir gelişme göstererek bütün endüstri dallarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Plastiklerin özelliklerinin laboratuvar koşullarında bile değiştirilmesi, mekanik ve fiziksel özelliklerinin geliştirilmesinin sınırsız olması, bunların geleceğin malzemesi olarak algılanmasına neden olmaktadır. Plastiklerin mekanik özelliklerinin metallerden düşük olması bir dezavantaj gibi görülse de değişik katkı, dolgu ve takviye maddelerinin yapılarına (antioksidant, talk, cam) katılması ile fiziksel ve mekanik özelliklerinin geliştirilmesi sağlanarak yeni kullanım alanlarına kaymaktadır. Her geçen gün metallerin yerini alarak motor, uçak gövdeleri, makine parçaları ve mühendislik malzemeleri üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır. Hatta yeni geliştirilen plastiklerin mekanik özellikleri giderek artmakta ve bunlardan üretilen değişik karışım ve kompozitlerin mekanik ve kimyasal özellikleri metallerin mekanik özelliklerine yaklaşmakta ve zaman zaman üzerine çıkmaktadır. Ayrıca atmosferik koşullara, kimyasallara ve korozyona karşı daha dirençli olmalarından dolayı metallere üstünlük sağlarlar [1].

Teknolojiideki ilerlemeler sebebiyle endüstriyel ürünler geleneksel maddelere kıyasla hafif ve doğayı koruyan veya minimum düzeyde zarar verme gibi çeşitli özelliklere sahiptir. Otomotiv, endüstri, sağlık ve ambalaj gibi sektörler bu alanda milyarlarca yatırım yapmaktadır [2].

Dünyada nanometre ölçeğinde tanecik çapına sahip katkı maddelerinin plastiklerde kullanımı giderek artmaktadır [3]. Nano-teknoloji alanında, maddenin temel yapısında birtakım değişiklikler yapılarak geliştirilmiş özellikli maddeler elde edilmektedir. Maddenin boyutlarını küçültüp, kimyasal özelliklerinin yanında biyolojik ve fiziksel özelliklerini de değiştirerek nanoteknoloji malzemeleri yapılmaktadır [2].

Ekonomistler nanoteknolojinin yeni bir sanayi ve bilgi devrimi olarak 21. yüzyıla damgasını vuracağına inanıyorlar. Yakın bir gelecekte, bir ülkenin nanoteknolojideki seviyesi o ülkenin gücünün bir göstergesi olabilecek. Nanoteknolojinin öncelikle malzeme ve biyoteknoloji alanlarında gelişeceği, ancak 10–15 yıl sonra elektronik ve spintronikte, özellikle moleküler elektronikte ağırlığını hissettireceği beklenmektedir [4].



Şekil I.1 Teknolojinin Değişimi [4]

Nanomalzemelerin olağanüstü özellikleri hemen hemen her alanda; savunma sanayinde, tekstilde, otomotiv sanayinde, inşaat, yeni tedavi yöntemlerinde ve ilaç sanayinde devrim yaratacaktır. Sürtünmesiz yüzeyler sayesinde taşıtlarda motor yağı değiştirme sorunu ortadan kalkabilecek, kir tutmayan kumaşlar belki çamaşır makinelerini ortadan kaldıracaktır. Binalardaki betonarme kolonların kesitleri küçülüp elastik özellikler kazanacak; bu sayede deprem binalarımıza daha az tahribat yapabilecektir.

Son yıllarda ülkemizde bilim ve teknolojiye aktarılan kaynakların beklenmedik bir şekilde artması bu durumun önümüzdeki yıllarda iyi yönde değişeceği konusunda bizlere ümit vermektedir. Ayrıca gerekli insan gücünün yetiştirilmesi açılan programlar sayesinde insana yapılan yatırımın meyvelerini ülkemiz kısa süre içerisinde toplamaya başlayacaktır. Nanoteknoloji alanında da ülkemizde yatırımlar başlamış olup, kısa süre içerisinde altyapının tamamlanması beklenmektedir [4].

I.2 GENEL KISIMLAR

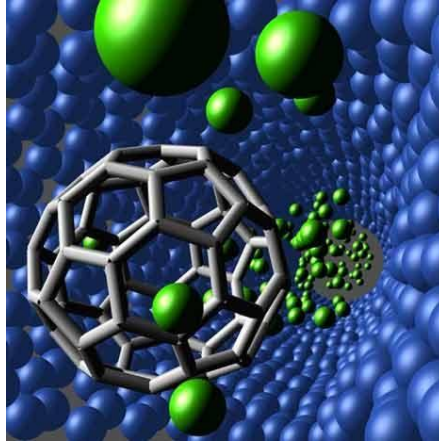
I.2.1 Nanoteknoloji

I.2.1.1. Nanoteknoloji Tanımı

“Nano” sözcük olarak, bir fiziksel büyüklüğün bir milyarda biri anlamına gelir. Bir nanometreyse, metrenin bir milyarda birine eşit bir uzunluk birimidir.

$$1\text{nm} = 10^{-9} \text{ m} = 10^{-6} \text{ mm}$$

İnsan saç telinin çapının yaklaşık 100.000 nanometre olduğu düşünülürse ne kadar küçük bir ölçekten bahsedildiği daha rahat anlaşılır. Yaklaşık 100–1000 atom bir araya gelerek nano ölçeklerde bir nesneyi oluşturur. Buna nano yapı denir [5].



Şekil I.2.1.1 Nanoyapı [6]

Nanoteknoloji genel anlamıyla ifade edilmek gerekirse; nano boyutta molekül yapısı yeniden düzenlenmiş yeni malzemeler elde etmektir [2]. Başka şekilde tanımlamak gerekirse: Maddeler üzerinde 100 nanometre ölçeğinden küçük boyutlarda gerçekleştirilen işlem, ölçüm, modelleme ve düzenleme gibi çalışmalar nano-teknoloji çalışmaları olarak nitelenir [7].

I.2.1.2. Nanoteknolojinin Doğuşu

20. yüzyılın başlarında maddeyi oluşturan parçacıklardan olan elektronların hem parçacık hem de dalga gibi davrandığını ortaya çıkaran kuantum mekaniği sayesinde atom ve moleküller doğru olarak algılanıp anlaşıldı. Kuantum mekaniği temel bilimler ve ilgili teknolojiler hızla gelişti. Kuantum mekaniği sayesinde, atomun enerji durumlarının neden kesikli olduğu, katıların klasik parçacık kuramı kullanarak hesaplanan bazı temel elektronik ve manyetik özelliklerinin neden gözlemlerden büyük sapmalar gösterdiği, artık bir bilmece olarak kalmaktan kurtuldu.

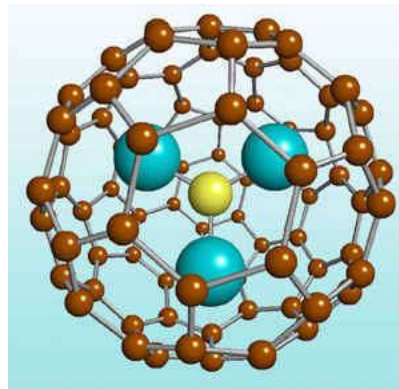
Kuantum mekaniğine paralel olarak 20. yüzyılın ilk ve ikinci çeyreğinde makine imalat sanayinde de önemli gelişmeler yaşandı. Bu gelişmelerden daha sonra yeni bir sanayi devrimi ortaya çıktı. Klasik mekaniğin geçerli olduğu imalat sanayinde kullanılan malzemelerin atomsal yapısı, mekanik, elektronik ve manyetik özellikleri ancak kuantum mekanik sayesinde anlaşıldı. Bu bilgiler ışığında yeni malzemeler de geliştirildi. En önemlisi, yarıiletken malzemeler, özellikle silisyum teknolojisi önem kazanıp, mikro elektronik sanayi hızla gelişmeye başladı. Mikro elektronik, iletişim teknolojilerinden başlayıp her alanda uygulama buldu. Özellikle bilgisayarların ve bilişim teknolojilerinin yaygın kullanımı, mikro elektronik başta olmak üzere, optoelektronik, fotonik teknolojilerinin gelişmesinde itici kuvvet rolünü üstlendi. Bilgisayar kullanımının her alanda getirdiği hız, daha hızlı ve daha küçük bilgisayarlara olan talebi canlı tuttu. Bu sayede bilgisayarlar yaklaşık her 18 ayda işlemci hızlarını ikiye katlayarak gelişimlerini sürdürmekte. Günümüzde bilgisayarlarda aygıt boyutları 50 nanometrenin altına inerken, mevcut teknolojilerin çözemeyeceği ısınma problemleri ortaya çıkmaktadır. Bunun yanında daha küçük boyutlarda elektronik aygıtların işleyişindeki yarı klasik fizik kuramları geçerliliğini yitirip, kuantum olaylar önem kazanmaya başlamaktadır.

Bilgisayarın, daha sonra internetin yaygın kullanımı, yaşam tarzımızı da çeşitli yönlerden etkiledi ve zamanla kullanılan teknolojiler yetersiz kalmaya başlamıştır. Yaşantımızı ve sağlığımızı yakından ilgilendiren, fakat daha önce hayal bile edilemeyen birçok gelişmenin kişisel kullanıma sunulması gündeme gelmiştir. Yeni teknolojilerin sağlık hizmetlerinde başarıyla uygulanması, DNA'yla ilgili teknolojilerin gelişmesi bilim insanları ve mühendisleri her gün daha küçük boyutlara inmeye, daha az yer kaplayan, daha az enerji harcayarak daha hızlı çalışabilen aygıtlar yapmaya zorlamıştır.

Bir aygıtta kullanılan malzemenin boyutu küçüldükçe çalışma hızı da artmıştır ve o malzemenin yeni özellikleri ortaya çıkmıştır. Boyutlar nanometre ölçeklerine yaklaşırken malzemenin fiziksel özellikleri kuantum mekaniğinin kontrolüne girmiştir, elektron durumlarının fazı ve enerji spektrumunun kesikli yapısı daha belirgin hale gelmektedir. Daha da önemlisi, malzemeyi oluşturan atom sayıları 100'ler düzeyine inince, atomsal yapının geometrisi, hatta atom sayısının kendisi bile fiziksel özelliklerin belirlenmesinde etken olmaktadır. Nano ölçeklerdeki bir yapıya yeni eklenen her atomun fiziksel özelliklerde neden olduğu değişiklikler, bu atomun cinsine, nano yapının türüne ve geometrisine bağlı olarak belirginleşmektedir. Örneğin, nano yapının iletkenliği, o yapıya tek bir atom eklense bile değişebilmektedir.

Benzer şekilde, nano ölçeklerde atomlar arası bağ yapısı da değişikliğe uğrayabilmekte; mekanik olarak malzeme güçlenirken ya da zayıflarken, elektronik olarak iletkenlik özelliği tümüyle değişebilmektedir. Örneğin, yarıiletken olarak bilinen ve çağımızın en önemli malzemesi olan silisyumdan yapılan bir telin çapı nanometreye yaklaşırken tel iletken bir karakter sergilemektedir.

Diğer ilginç bir malzeme de karbon elementi. Yapıtışını karbon atomunun oluşturduğu elmas kristali, bilinen en sert ve yalıtkan malzemedir. Kurşun kalemlerden tanıdığımız, 2 boyutlu, düzlemsel grafit tabakalarıysa karbon atomunun yumuşak ve iletken bir yapısıdır. Bir boyuttaysa, karbon atomları çelikten çok daha yüksek bir çekme mukavemetine sahip olan ve normal koşullarda çok iyi bir iletken olan kararlı sicimleri (atom zincirlerini) yapmaktadırlar. Teknolojinin yeni taleplerine yanıt verebilen bu olağanüstü özellikler, nanometre boyutlarında yapay malzeme sentezlenmesini özendirmektedir [5].

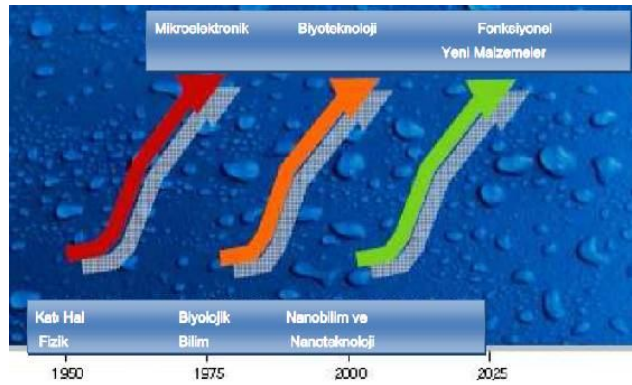


Şekil I.2.1.2 Nano Boyutlu Yapı [8]

I.2.1.3. Nanoteknolojinin Gelişimi

Nanoyapıların olağanüstü özellikleri çok öncelerden tahmin edilmekteydi. 1960'lı yıllarda, Feynman nanoyapıların bu yönünü vurgulayarak bilim insanlarının dikkatlerini nanometre boyutlarına çekmek için çaba gösterdi. O sıralarda kimyacılar da mikro elektronik sanayine seçenek oluşturmak üzere moleküllerden transistor yapmayı önerdiler. Moleküler transistor yapımının başarılması, Bell Laboratuvarları'nda 1940'lı yıllarda Shockley, Bardeen ve Brattain tarafından yapılan ve bir yumruk büyüklüğünde olan katı hal transistorun boyutunun, yaklaşık yüz milyonda bir küçülmesi anlamına gelmektedir.

Ancak, moleküler transistorların birbirlerine iletken tellerle bağlanmaları ve bu transistorlardan bütünleşik devre yapılması, çözümü zor problemleri de beraberinde getirmektedir. Bu nedenle silisyum mikro elektronik teknolojisi hâlâ egemenliğini sürdürebilmektedir [5].



Şekil I.2.1.3 Nanobilimin Doğuşu [9]

1980'li yıllarda peş peşe gelen Nobel Fizik Ödüllerine konu olan çeşitli bilimsel çalışmalar hem nanometre ölçeklerinde saklı yeni davranışları ortaya çıkardı, hem de atomu görüp onu istediğimiz yere taşıyabilmemizi olanak verecek yeni gelişmelere yol açmaktadır. Kuantum Hall etkisi ve düşük boyutlu elektron sistemlerinde gözlenen yeni kuantumlaşmalar, yeni süper iletkenlik mekanizmaları, bilimsel araştırmaları kuantum kuyularına, kuantum telleri ve noktalarına yöneltti.

Bu araştırmalar, büyüklükler nanometre düzeyine inince elektron enerjinin kuantumlaşmasının elektrik ve ısı iletkenliği gibi fiziksel özelliklere yansıtacağını ve yeni kuantumlaşmalara neden olacağını gösterdi. Önce taramalı tünelleme mikroskopunun (TTM) daha sonra atomik kuvvet mikroskopunun (AKM) keşfi, yüzeyde bulunan atomların ve moleküllerin gözlenmesine, atomsal düzeyde tepkimelerin izlenmesine olanak tanıdı.

Dr Eigler yüzeyde bulunan bir atomun TTM ucuyla başka bir yere nasıl taşınabileceğini, yüzeyle uç arasında atomun isteğe bağlı olarak hareket ettirilerek nasıl akım şiddetini ayarlayan atom-anahtarı yapılacağını gösterdi. Böylece 20. yüzyılın son çeyreğinde, doğada bulunmayan yeni nanoyapıların atomsal düzeyde tasarlanarak sentezlenmesi devri başladı.

İnsanlık, 60 yıl içinde metre-milimetre büyüklüğünde malzemeyi kesici takımlarla işleyen ya da yüksek sıcaklıklarda kalıplara dökerek ya da döverek şekillendiren imalat teknolojisinden, atomsal düzeyde malzemeyi tasarlayıp yeni moleküller oluşturmaya yönelik bir imalat yöntemine geçti ve nanoteknolojiyle tanıştı. Nanoteknoloji nanoölçeklerde malzeme tasarlayıp üretmeyi, bu malzemelerden yeni yöntemlerle aygıt, alet üretmeyi amaçlamaktadır.

Bu bağlamda nanoteknolojide kullanılan yöntemler, bilinen yöntemlerden çok farklı olabilmektedir. ABD’de mevcut teknolojiler doyum noktasına yaklaşırken ve uluslararası rekabet karşısında kâr payları düşerken, nanoteknolojide oluşabilecek pazar ve elde edilecek kârı çok iyi değerlendirebilen ekonomistler, Dönemin Başkanı Clinton’a baskı yapıp nanoteknolojiyi öncelikli alan olarak ilan ettirdiler. O günden bu günlere gelirken ABD’de kurumlar yeniden yapılanmaya giderek yeni yatırımlar yapıldı, çok sayıda laboratuvar kuruldu.

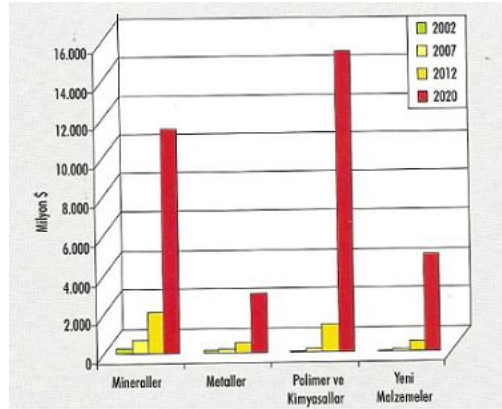
2015 yılında ABD’de nanoteknoloji ürünlerinin satışlarının 1–3 trilyon dolar dolaylarında gerçekleşeceği tahmin edilmektedir. ABD’de üniversite ve araştırma merkezleri kendi aralarında örgütlenerek kaynakları daha etkin kullanmak üzere “araştırma üçgenleri” oluşturmuş bulunuyorlar.

Günümüzde ABD dışında Japonya, Avrupa Birliği ülkeleri, İsrail, Çin ve Kore’de nanoteknolojiye önem verilmektedir. Çin’de nanoteknoloji konusunda bir milyon uzman ve araştırmacı yetiştirmek üzere yeni bir program başlatılmış durumdadır. Avrupa Birliği 2010 yılında ABD ve Japonya’yı yakalamak için 6. Çerçeve Programında nanoteknolojiyi öncelikli alan ilan etmiştir. Son zamanlarda ABD ve Avrupa’da çok sayıda nanoteknoloji araştırma merkezi, ayrıca üniversitelerde bu alanda yüksek lisans programları açılmıştır [5].

Nanobilim ve nanoteknoloji araştırmaları için gelişmiş ülkelerde kamu sektörü 2005 yılında yaklaşık 6 milyar ABD Doları yatırım yapmaktadır. Son yıllarda ABD, Japonya, AB lkeleri, Kore, İsrail, Güney Afrika Birliği, Kanada gibi ülkelerde her biri 100 milyon doların üzerinde harcama yapılarak, çok sayıda Ulusal Araştırma merkezleri kurulmuştur. ABD’de Stanford, Harvard, Cornell gibi tanınmış 13 üniversitede kamu tarafından nanoteknoloji merkezleri kurulmuştur.

Benzer şekilde 2005 yılında Argonne, ONRL, Lawrence-Berkeley, Sandia, Brokhaven Ulusal merkezlerde de dev Nanoteknoloji Araştırma Laboratuvarları Enerji Bakanlığı tarafından kurulmuş; devlet ve özel üniversitelerin yönetimine bırakılmıştır.

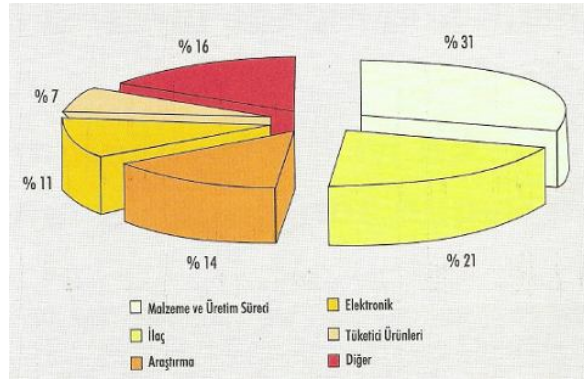
Nanoteknoloji ye bu kadar yatırım yapan ABD’de 2015’lerde nanoteknoloji ürünlerinin satışlarının 3 trilyon dolara erişmesi beklenmektedir. İran’da Sharif niversitesi’nde 2005 yılında kurulan ulusal Nanobilim ve Nanoteknoloji Enstitüsü’nde, disiplinler arası doktora programıyla birlikte bilimsel araştırmalar da yürütülmektedir. Çeşitli konularda ellinin üzerinde nanoteknoloji şirketinin kurulduğu İsrail’de, hkmet nanoteknolojiye yapacağı desteği 230 milyon dolara çıkarmıştır. Bu teknoloji devriminde yer almak ve gelişen pazardan pay kapmak için, ülkeler adeta birbirleriyle yarışmaktadır [5].



şekil I.2.1.3.1 Nanomalzemelerin ABD Pazarında 2002–2020 Yılları Arasında ngrlen Büyümesi [10]

I.2.1.4. Nanoteknolojide Son Gelişmeler

Nanoteknolojinin önümüzdeki 10 yıl içinde yeni bir teknoloji devrimi olarak ortaya çıkacağına inanılmaktadır. Teknolojide ilerlemiş ülkeler nanoteknolojiye odaklanarak, bu devrimin içinde yer almalarını sağlayacak programlar üzerinde ciddi çalışmalar yapmaktadırlar. Bütün bu çabaların altında teknoloji yarışında geri kalma endişesi yatmaktadır. 20. yüzyılın başından beri gelişmekte olan ve her alanda, bilgi işlem den akıllı malzemelere ve mikro elektroniğe kadar çok gelişmiş teknolojileri kullanan otomotiv endüstrisinde rekabet nedeniyle son yıllarda kâr payları çok düşmüş durumdadır. Gelişmiş ülkeler otomotiv sanayi ve benzer sanayileri daha az gelişmiş ülkelere bırakıp rekabetsiz bir ortamda yüksek kârlı teknolojilere yönelmekteler [5].



Şekil I.2.1.4 Nanomalzeme Kullanımının Sektöre Göre Dağılımı [10]

Günümüzde tekstil sanayi de benzer sıkıntıları yaşamaktadır. İşçiliklerin çok yüksek olduğu gelişmiş ülkelerin tekstil sanayi, gelişmekte olan ülkelerin, özellikle Çin'in ucuz iş gücüne dayalı rekabeti karşısında yok olmaya yüz tutmaktadır. Şimdi İngiltere ve ABD'de yüksek teknoloji kullanılarak tekstil sanayilerinin yeniden canlandırılması için ciddi adımlar atılmaktadır. Ancak, Çin'de de tekstil sanayinde uygulanacak nanoteknoloji ürünleri hızla geliştirilmektedir.

Çin'de geliştirilen kirlenmeyen kumaşlar ve dokuma ürünleri nedeniyle, çamaşır makinesi üreten kuruluşların stoklarını eritip kapasite indirimine gideceklerinden bahsedilmektedir. Aslında nanoteknolojinin tekstil sanayinde çok önemli işlevinin olacağı bilinmektedir.

Dokumada kullanılacak elektronik fiberler sayesinde, istenildiğinde renk değiştirebilen, vücudumuzu zararlı ışıklardan koruyan, güneş enerjisinden elektrik üreterek yazın soğutan, kışın ısıtabilen giysilerin vitrinlere görülmesi olası durumlardandır. Özel polimerler sayesinde terin emilip vücudumuzun kuru kalmasını sağlayan, su tutmayan giysiler şimdiden geliştirildi.

Nanobilim ve nanoteknolojide araştırma çalışmaları çok çeşitli alanlarda sürdürülüyor. Son zamanlarda nanometre boyutlarında ortaya çıkan çeşitli kuantum olaylar, ısı ve elektrik iletkenliğinin kuantumlaşması, spine bağlı elektron taşınması, faz tutarlılığı, kararlılık ve denge dışı fiziksel olaylar çok sayıda kuramsal ve deneysel çalışmalara konu oldu.

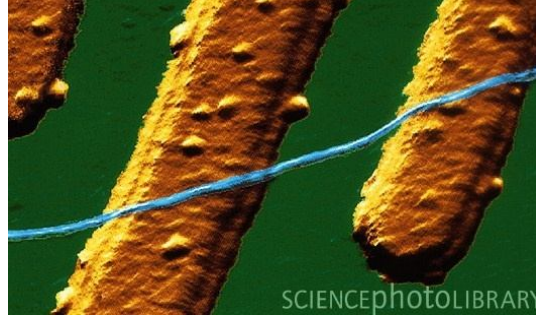
Nanotellerde kuantum iletkenlikle tel kesiti arasında gözlemlenen ilginç ilişkiler, nanoölçeklerde tel çapının ve bir bakıma kesitte bulunan atom sayısının bile kesikli olarak değişeceğini göstermektedir. Böylece nesne büyüklüklerinin de kuantumlaşabileceği sorusu gündeme gelmektedir [5].

I.2.1.5. Nanoteknoloji Uygulamaları



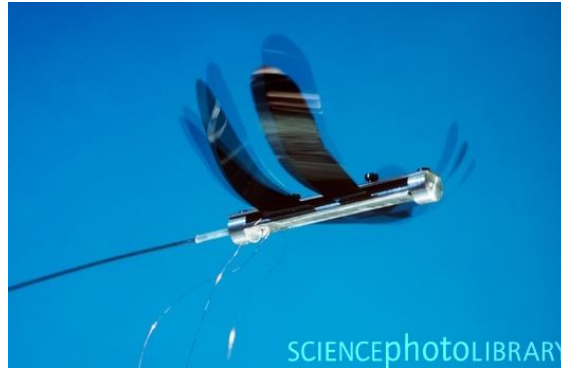
Şekil I.2.1.5 Bir Sineğin Bacağı Boyutundaki Nanoteknolojik Mekanik Parçalar [11]

Şekilde görüldüğü üzere, bir sineğin bacağı boyutunda, mekaniksel parçalar üretilabiliyor [11].



Şekil I.2.1.5.1 Saç Kılı ve Elektrik Kablosu [11]

Bir saç kılından çok daha ince üretilabilen elektrik kablosu [11].



Şekil I.2.1.5.2 Yusufçuk Böceği Örnek Alınarak Tasarlanmış Nanoteknolojik, Mikro Robot [11]

I.2.2 Malzemeler

I.2.2.1. Tanımlar

Malzeme: Bir amacı gerçekleştirmek için kullanılan her madde **malzeme** adını alır. Başka bir ifade ile belirli ön işlemlerden geçerek insanların ihtiyaçlarını karşılayan her maddeye **malzeme** denir.

Maddeler işlenerek malzemeyi, malzemeler de işlenerek eşyaları meydana getirir. Dişli yapımında kullanılan çelik, iletken olarak kullanılan bakır, uçak endüstrisinde kullanılan alüminyum, ısı yalıtımında kullanılan asbest, inşaatta kullanılan çimento vb. maddeler bir amaç için kullanılan malzemelerdir.

Atom: Nötron ve protonlardan oluşan bir çekirdek ve çekirdeğin etrafında dönen elektronlardan meydana gelen maddenin en küçük birimidir.

Element: Aynı cins atomlardan meydana gelen ve her noktasında aynı özellikleri taşıyan saf maddedir.

Bileşik: İki veya daha fazla elementin kimyasal bir tepkime ile birleşerek oluşturduğu maddedir.

Karışım: İki veya daha fazla elementin homojen veya heterojen olarak karıştırılması sonucunda meydana gelen maddedir.

Saf madde: Bütün özellikleri her noktasında aynı olan maddedir. Saf madde element, karışım veya bileşik şeklinde olabilir.

Organik madde: Genellikle karbonun diğer elementlerle yaptığı bileşiklerdir.

İnorganik madde: Genellikle karbon dışındaki elementlerin yaptığı bileşiklerdir [12].

I.2.2.2. Malzemelerin Sınıflandırılması

Endüstride kullanılan malzemeleri genel olarak altı ana gruba ayrılır.

- Organik malzemeler,
- Metalik malzemeler,
- Seramik malzemeler,
- Polimer malzemeler,
- Kompozit malzemeler ve
- Nanokompozit malzemelerdir [2].

I.2.2.2.1. Organik Malzemeler

Doğal ve yapay olmak üzere iki ana gruba ayrılırlar. Doğal organik malzemeler, doğada hazır olarak bulunur, yapay organik malzemeler ise organik malzemelerin kimyasal işlemler ile değiştirilmesiyle elde edilir. Buna en iyi örnek plastikler, elastomerler ve fiberlerdir. Organik malzemeler ucuza mal edilmelerinin yanında sıcaklığa karşı dayanımları da düşüktür [2].

I.2.2.2.2. Metalik Malzemeler

Çelik, alüminyum, bakır, çinko, dökme demir, titanyum ve nikeli kapsayan metal ve alaşımlar genellikle iyi termal ve elektrik iletkenliğine nispeten yüksek dayanıma, kolay şekillendirilebilme özelliğine ve yüksek darbelere dayanan malzemelerdir. Saf metaller zaman zaman kullanılmalarına rağmen genellikle alaşımlar adı verilen metal karışımları arzu edilen belirli bir özellikte gelişme sağlamak veya daha iyi özellikler elde etmek için kullanılır. Alüminyum çevre dostu bir metaldir. Para yapımında kullanılan metal alaşımının %30'u bakır, %70'i nikeldir. Çelik sac üzerine çinko kaplama galvanizleme, kalay kaplı sac ise teneke olarak bilinir [13].

I.2.2.2.3. Seramik Malzemeler

Tuğla, cam, porselen refrakterler ve aşındırıcılar gibi seramik malzemeler düşük elektrik ve termal iletkenliklere sahiptirler. Dolayısıyla yalıtkan olarak da kullanılabilirler. Seramik malzemeler sert olmalarına rağmen darbe dayanımları zayıftır. Buna karşın pek çok seramik korozyon şartlara ve yüksek sıcaklığa karşı mükemmel bir direnç göstermektedir [13].

I.2.2.2.4. Polimerik Malzemeler

Kimyada temel birim moleküldür. Sıvı ya da gaz halindeki bir maddenin binlerce molekül, kimyasal ve fiziksel yollarla bir değişime uğratılırsa bunlar ısı, basınç ve katalizörler yardımıyla ucuca eklenerek uzun bir zincir molekül ya da polimer şeklini alabilirler [14].

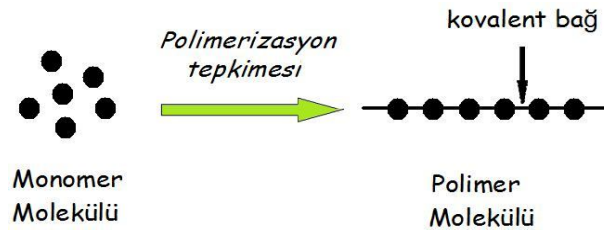


Şekil I.2.2.2.4 Üretimde Polimerler Kullanılan Malzemeler [15]

Polimer, gaz ya da etilen gibi sıvıların uzun molekül zincirlerinin uç uca eklenmesinden ve kimyasal ya da fiziksel usulde modifiye edilmesi suretiyle meydana gelen katı maddedir.

Monomer, molekül zincirinin tekrar eden en küçük yapısal parçasıdır.

Kopolimer, değişik moleküllerin monomerleri örneğin etilen ve propilen gibi, kimyasal yolla birleştirilirse bu olaya polimerizasyon, meydana gelen birleşme kopolimer adını alır [14].



Şekil I.2.2.2.4.1 Polimer Oluşum Şeması [16]

Lastik, plastik ve birçok yapıştırıcıyı içeren polimerler, polimerizasyon denilen bir işlemle organik moleküllerden büyük moleküllerin üretilmesiyle elde edilirler. Polimerler, düşük elektrik ve termal iletkenliklere sahiptirler, yüksek sıcaklıklarda kullanılmazlar.

1. Düşük yoğunluktadırlar,
2. Düşük elastiklik modülüne sahiptirler,
3. Genelde 120°C dereceye kadar kullanılabilirler,
4. Isıyı iyi iletmez,
5. Isıl genleşme katsayıları büyüktür,
6. Kimyasal etkilere karşı üstün dayanıklılık özellikleri vardır [13].

Polimerik Malzemelerin Sınıflandırılması

Polimerler Bileşiklerinin Kaynağına Göre Sınıflandırılması

Tablo I.2.2.2.4 Kaynağına Göre Polimerler [17]

<u>DOĞAL</u>	<u>YARI SENTETİK</u>	<u>SENTETİK</u>
Kauçuk	Selüloz asetat	Polietilen
Proteinler	Selüloz nitrat	Polistiren
Selüloz		Polivinilklorür
		Politetrafloretilen

- **Doğal Polimerler**

Doğada canlı varlıkların yapılarında oluşan polimerlerdir, dolayısıyla organik yapı gösterirler. Bu polimerleri çok çeşitli alanlarda kullanmaktayız. Örneğin; Kauçuk, Proteinler, Selüloz gibi... [17].

- **Sentetik Polimerler**

Her gün gelişen yeni polimer sentez yöntemleri sayesinde elde edilmiş binlerce polimere yenileri ilave edilmektedir. Bazı uygulamalarla doğal polimerlerin kimyasal yapıları değiştirilerek yeni özelliklere sahip polimerler hazırlanır.

Ayrıca günümüzde kullanılan en önemli polimer kaynakları arasında da mutlaka petrolü saymalıyız. Dünyada işlenen petrolün %2 kadarı polimer sanayinde kullanılmaktadır.

Birçok sentetik polimerin yapımında kaynak olarak petrol kullanılmaktadır. Bu polimerler monomerlerden başlayarak endüstride sentezlenir. Küçük moleküllerden yola çıkılarak hazırlanan ilk sentetik polimer fenol ve formaldehitten sentezlenen bakalittir. Bakalit ticari bir ürün haline getirilerek vana parçaları, bıçak, alet sapları, düğme gibi kalıplanarak hazırlanan parçaların yapımında kullanılmıştır. Örneğin; Polietilen, Polivinilklorür, Politetrafloretilen (Teflon) gibi... [17].

- **Yarı Sentetik Polimerler**

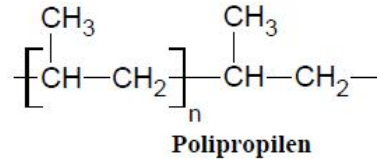
Doğal polimerlerin yapılarının değiştirilmesiyle elde edilen polimerlere yarı-sentetik polimerler denir. Örneğin selülozun nitrolanmasıyla selüloid elde edilmiştir. Polimerler; doğal, yarı sentetik ya da sentetik olmasına bakılmaksızın son ürün haline gelirken içlerine çoğu kez boya, dolgu maddeleri, antioksidan v.b. gibi katkı maddeleri karıştırılır [17].

Polimerlerin Kimyasal Yapılarına Göre Sınıflandırılması

- **Organik Polimerler**

Yapılarında karbon yanında genelde hidrojen atomu bulunmaktadır. Günlük hayatta kullanılan polimerlerin çoğunun ana zincirinin temel bileşeni karbon atomudur. Sentetik ve doğal polimerlerin çok büyük bir kısmı organik polimerlerden oluşmuştur.

Polietilen, polyesterler, poliamidler, polipropilen, doğal kauçuk, proteinler, selüloz v.b. gibi polimerleri organik polimerlere örnek olarak verebiliriz [17].

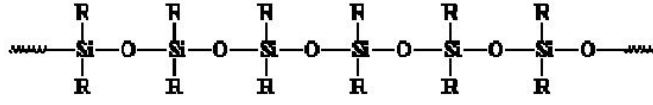


Şekil I.2.2.2.4.2 Polipropilen Polimeri [17]

- **İnorganik Polimerler**

Polimerlerin birçoğunun ana zincirinin temel bileşeni karbon atomudur. Ancak bazı polimerlerde ana zincirde karbon atomu yerine silisyum, fosfor, sülfür gibi başka atomlar bulunabilir. Ana zincirinde karbon atomu bulunmayan (yan grupta bulunabilir) polimerlere inorganik polimerler denir.

İnorganik polimerler yapılarında organik kısımda içerebilir. Silikon bu polimer tipine örnektir [17].



Şekil I.2.2.2.4.3 Silikon Polimerler [17]

Sıcaklık Altındaki Davranışlarına Göre Sınıflandırılması

• Termoplastik Polimerler



Şekil I.2.2.2.4.4 Termoplastik Granülleri [18]

Isıtıldıkları zaman yumuşar ve akar, soğutulunca sertleşirler, katılaşır. Bu olay termoplastikler için tekrar edilebilir bir özelliktir. Bu şekillendirme esnasında hiçbir kimyasal değişime uğramazlar. Genel de polimerizasyon adı verilen kimyasal işlemle elde edilirler. Yüksek sıcaklıklarda zincirler arası bağlar zayıflar. Pek çok termoplastik yapıdaki polimerler lineer polimer şeklindedir ve bir miktar da dallı yapıdadırlar.

En önemlileri;

ABS ve SAN: ABS; sert, rijit ve tok bir malzemedir. Yüksek darbelere dayanıklıdır. Darbe sonu kırılması sünektir. Yüksek ısıya dayanıklı, aleve dayanıklıdır. Uzun süre güneş etkisinde kalırsa rengi, darbe mukavemeti, sünekliliği azalır. SAN ise sert, rijit ve şeffaf bir plastiktir. Çok iyi kimyasal mukavemeti vardır. Tıp şırıngaları, vakum temizliyecileri, buzdolabı bölmeleri, bulaşık makinelerinin yapımında kullanılırlar.

ASETAL (POM): Yüksek kristalinlik değerine sahiptir. Sert, rijit, iyi nem mukavemetine, ısı ve çözücü mukavemetine sahiptir. Uzun süre yüksek sıcaklıklarda kararlı kalırlar. Asetalin kopolimerleri kuvvetli asitlerden etkilenirler. Asetalin homopolimerleri ile kopolimerleri cam elyafı ile enjeksiyonla kalıplama ürünleri olarak imal edilmektedirler.

AKRİLİK (PMMA): Kristal gibi parlak görünen, açık havada yıpranmaya karşı dayanıklı, ağırlığı cam ağırlığının yarısı kadar olan bu plastiğin darbe mukavemeti de yüksektir.

SELÜLOZ ASETAT (CA): Saydam, yarı saydam, opak veya inci renginde olabilirler. Geniş sıcaklık aralığında tokluğunu muhafaza eder. Isıl iletkenlik çok düşük, su emme özelliği düşüktür. Havada sürekli kalmaya elverişli değildir.

NAYLON -POLİAMİD (PA): Naylon'un Naylon 6, Naylon 6.6, Naylon 6.10, Naylon 6.12, Naylon 11 gibi çeşitleri vardır. Naylon'un en kötü tarafı su emme özelliğinin yüksek olmasıdır. Tüm naylon çeşitleri elyaf ile takviye edilirler. Naylon kristalin yapıya sahiptir. Naylon 6, döküme gelen bir yapıdadır. Diğerleri zor aktığından yüksek basınç gerektiren enjeksiyon ve ekstrüzyon yöntemlerini kullanırlar. İyi mekanik ve tribolojik özelliklere sahip olan naylon dişli çark, kam, kaymalı yatak malzemesi olarak kullanılır

POLİKARBONAT (PC): Aleve dayanıklı, besin maddeleri ve ilaçlarla direkt temasları iyi olan, havaya ve ultraviyole ışınlara dayanıklı, darbe mukavemeti parça kalınlığına bağlı olan, kalınlık arttıkça azalan ancak 6,5 mm kalınlıkta bile hala mukavemetini koruyan bir malzemedir.

POLİETERETERKETON (PEEK): Kısmi kristalli, tel kaplama ve kompozit malzemeler için uygun bir reçinedir. Oda sıcaklığında tok, rijit uzun sürede aşınmaya karşı çok dayanıklı bir plastiktir. Sulu ortama ve çözücülere karşı mukavemetlidir. Bu plastik uçak, askeri, nükleer santral gibi alanlarda kullanılan tel ve kablo için yalıtım malzemesi olarak kullanılmaktadır.

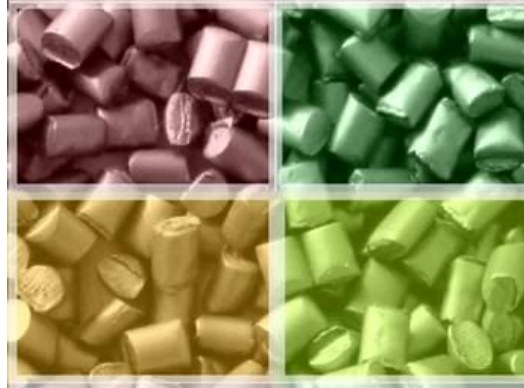
POLİETİLEN (PE): Piyasada en çok kullanılan plastiklerden birisidir. Alçak yoğunluklu ve yüksek yoğunluklu cinsleri vardır. Bu malzeme kimyasallara dirençli, aşınmalara dirençli, elektrik özelliği, çentik darbe mukavemeti yüksek, nem emme özelliği hemen hemen sıfır olan bir malzemedir.

POLİSTİREN (PS): Bu plastik amorf bir yapıdadır. Parlak ve berrak bir görüntüsü vardır. Genişleyen polistiren adı verilen bir cinsi vardı ki enerji söndürmede çok elverişlidir. Yiyecek ve içeceklerle karşı çok dayanıklıdır. Düğme, ışık düğmeleri, içecek şişeleri ve paketleme malzemesi olarak çok kullanılır.

POLİVİNİL KLORÜR (PVC): Bu plastik piyasada en çok kullanılan malzemelerden biridir. Bir rijit PVC bir de yumuşak PVC cinsi mevcuttur. Hücreli PVC cinsi de vardır. Köpük olarak kullanılır. Ateşe dayanıklıdır, kendi kendini söndürebilir, elektrik yalıtkanlığı çok iyi; fakat kimyasallara dayanıklılığı az olan bir malzemedir. Su boruları, cam çerçeveleri, tel ve kablo izolasyonu olarak, su şişesi olarak kullanılır.

POLİPROPİLEN (PP): Bu plastik süt beyaz rengindedir. Çok iyi boyanma kabiliyeti vardır. Isı, kimyasal ve elektrik özellikleri ne çok iyi ne çok kötü sınırlı nispettedir. İlaç, kozmetik, besin endüstrisinde çok kullanılır [19].

• Termoset Polimerler



Şekil I.2.2.2.4.5 Termoset Granülleri [20]

Isıtıldıkları zaman sürekli bir katılaşma meydana gelir. Bir daha asla tekrar, tekrar ısıtılıp sertleştirilemezler. Tıpkı yumurtayı pişirdikten sonra katılaştırıp yeniden yumuşatamadığımız gibi. Genelde polikondenzasyon yöntemi ile üretilirler. Isıtma esnasında kovalent çapraz bağlanma oluşmuştur. Bu tip bağlanma eğme ve dönme hareketlerini engeller. Daha sert ve aynı zamanda gevreklerir.

En önemlileri;

ALKİDLER: Bu plastiklerin en önemli özellikleri çok düşük su emme, çok iyi elektrik özelliği gösterirler, fiyatları oldukça düşüktür. Alkalilerden etkilenir; fakat zayıf asitlere dayanıklıdır. Özellikle elektrik malzemelerinde çok kullanılırlar.

AMİNO (MELAMİN, ÜRE): Oda sıcaklığında sıvı, katı ve kuvvetlendirilmiş olarak bulunurlar. Bir katalizör, ısı altında malzeme sert ve mukavim hale gelir. Amino plastikler üre ve melaminden elde edilirler. Amino reçineleri, sert, rijit, aşınmaya dayanıklı, yük altında çok az şekil değiştirirler. Elektrik yalıtkanlığı süperdir ve yiyeceklere koku vermezler. Aleve karşı dayanıklılıkları iyidir. Ağaç yapıştırıcıları, kaplamalar da kullanılırlar. Düğme, tabak, bardak, elektrik parçaları olarak yapılırlar.

EPOKSİ REÇİNE (EP): Termik özellikleri ve kimyasal mukavemetleri çok iyidir. Havada dayanıklılıkları iyidir. Oldukça düşük olan mukavemetleri lifli güçlendiricilerle iyileştirilir

FENOLİKLER: Genel amaçlı, katkısız, darbeye karşı mukavemetli, ısıya mukavemetli, iyi elektrik özelliği olan malzemelerdir. Elektrik parçaları, düğme, açık havada çalışan pompa gövdeleri, elektrik süpürge parçaları, yapıştırma, emdirme, kaplama gibi alanlarda kullanılır.

POLYESTER: Genellikle termoset polyester cam ile kuvvetlendirilmiş olarak cam elyaf takviyeli polyester (CTP) şeklinde kullanılır. Bu reçineler kütle kalıplama ve levha kalıplama şeklinde de bulunurlar. Mekanik özellikleri katkı elemanlarına göre çok farklılıklar gösterir. Tekne, mimari paneller, atletizm elemanları, su depoları, sandalye, mobilya yapımında kullanılırlar.

POLİÜRETAN: Bu reçine termoset veya termoplastik şeklinde bulunur. Yoğunluğu çok düşük derecelerden rijit derecelere kadar değişir. Sıvı şeklindeki poliüretanlar termosetlerdir. Esnek, rijit ve tam kabuklu köpük çeşitleri vardır [19].

• Elastomerler



Şekil I.2.2.2.4.6 Elastomer Granülü [21]

Elastomerler, çok fazla uzatılabilirler sonra elastik olarak yay gibi gerilerek orijinal uzunluklarına geri dönerler. Bu davranış lastikte çok bariz bir şekilde vardır. Bir polimerin elastomer yapı olması için bazı kriterlerin olması gerekir.

*Bu yapı kristalleşmeye karşı direnir. (Elastomerler amorf yapıdadırlar.)

*Nispeten serbest zincir dönmeleri gözlenir. Üzerlerinde gerilme olmayan elastomerler sarılı, kıvrımlı vaziyette iken; üzerlerine gerilme uygulanmış elastomerler deformasyon esnasında uzamış vaziyettedirler [19].

Polimerik Malzemelerin Özellikleri

Isıl Özellikleri

Temel olarak karbon, hidrojen, oksijen ve azot gibi elementlerden oluşan küçük molekül ağırlıklı organik moleküller ve polimerler ancak belirli sıcaklıklara kadar yapı ve özelliklerini koruyabilmektedirler. Polimerlerin pek çoğunun kullanılabilir sıcaklık aralığı 1000–2000°C'a kadardır. Bazı özel durumlarda bu sıcaklık limitleri birkaç yüz derece daha arttırılabilir. Genel olarak sıcaklık 5000°C veya daha yükseğe çıkartılacak olursa, organik yapılar bozunur ve nispeten küçük molekül ağırlıklı parçalara bölünürler.

Polimerlerin Camsı Geçiş Sıcaklığı (T_g) ve Erime Sıcaklığı (T_m) maddelerin kullanılabilirlik limitlerini belirleyen önemli büyüklüklerdir. Kısmen kristal bir polimerin katı bir madde olarak kullanılabilmesi için çalışma sıcaklığı hem T_g , hem de T_m 'in altında olmalıdır. Öte yandan bir polimer lastik olarak kullanılacaksa daima T_g 'nin üzerindeki ve T_m 'in altındaki bir sıcaklıkta bulunmalıdır. T_m 'de bir polimer katı halden sıvı hale dönüşür, T_g 'de ise katı halden elastik konuma dönüşme yer alır.

Isıl geçişleri saptamak amacı ile polimerlerin çeşitli özelliklerinin sıcaklıkla değişimini incelemek mümkündür. Örneğin spesifik hacmin, kırılma indisinin, dielektrik sabitinin sıcaklıkla değişimi camlaşma ve erime sıcaklıklarında kesiklikler olarak ortaya çıkar ve böylece iki büyüklük saptanmış olur. Ancak, T_g ve T_m 'nin saptanmasında çabuk ve kolay sonuç alınan termal yöntemler giderek daha çok kullanılmaktadır. Bu yöntemler arasında Diferansiyel Termal Analiz (DTA) ve Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) en çok kullanılan iki tekniktir.

Polimerlerin ısı ile yapısal değişim sıcaklıklarını pratikte saptamanın değişik birkaç yolu daha vardır. Bunlar Vicat Yumuşama Sıcaklığı ve ısıl deformasyon sıcaklıklarının HDT ölçümüdür [22].

Reolojik Özellikler

Polimer malzemenin dıştan gelen bir etkiye karşı göstereceği mekanik davranış iki şekilde olabilir.

- 1) Tersinir Deformasyon (Elastik Deformasyon)
- 2) Tersinmez Deformasyon (Viskoz Deformasyon)

Elastik deformasyon gerilimin fonksiyonudur. En önemli özelliği, kullanılan enerjinin geri kazanılmasıdır. Bir lastik kauçuğun uzatılıp serbest bırakılması tersinir bir davranış göstermektedir. Cam macununun belli bir gerilim alanındaki davranışı ise genellikle viskoz davranış göstermektedir.

İkinci türde akmanın sürekliliği, enerjinin sürekliliğine bağımlıdır. İş, mekanik olarak geri kazanılmaz ve ısı olarak yok olmaktadır. Tersinmez deformasyon gerilimin fonksiyonudur, ancak yalnız akma ile uygulanan gerilimi dengede tutmaktadır.

Polimerlerin viskozite değişimi oldukça geniş bir alanı kapsamaktadır. Bu durum viskoz davranıştan elastik özelliğe veya elastik davranıştan viskoz özelliğe geçiş ve geçiş aralıkları oluşmasına neden olmaktadır. Bu davranış şekillerini dört grupta inceleyebiliriz.

a)Viskoz Akma: Erime sıcaklığının üstündeki polimerin tersinmez deformasyonudur. Polimerlerde hiçbir zaman ideal viskoz akma gözlenmez. Ancak yinede belirli şartlar altında ideale yakın viskoz akma sağlanabilir.

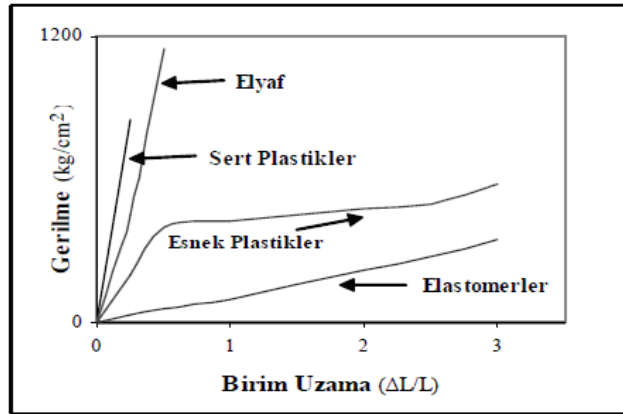
b)Elastik: Polimer zincirlerinin hareketleri tamamıyla kısıtlanmıştır. Mikro düzeyde, polimer zincirleri arasındaki bağların gerilmesi ve bağ açılarının deforme olması beklenen hareketlerdir. Polimer cam gibi kırılğan özellik gösterir ve mekanik davranışı ideal elastik deformasyondur.

c)Kauçuksal Elastiklik: Camısı Geçiş Sıcaklığı ile erime sıcaklığı arasındaki bölgede, yüksek molekül ağırlıklı amorf polimerlerde gözlenmektedir. Polimer zincirleri belirli bir hareket özgürlüğüne sahiplerdir; fakat bu hareket zincirler arasındaki çapraz bağlar nedeniyle kısmen önlenmiştir.

d)Vizkoelastiklik veya Elastoviskozluk: Polimerin zamana bağımlı deformasyonu (viskoz) ile zamana bağımlılık göstermeyen (elastik) deformasyonlarının birlikte oluşumu sonucu ortaya çıkan mekanik davranış türüdür. Polimerde zamana bağımlı deformasyon, polimer moleküllerinin denge konumundan ayrılıp yeni konumlar kazanmasıyla olmaktadır [22].

Mekanik Özellikler

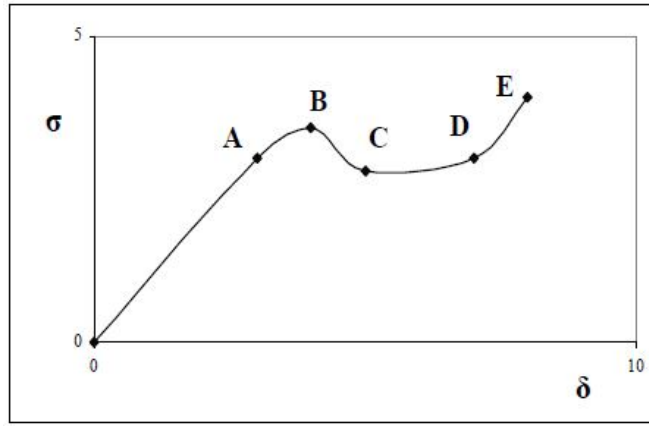
Polimerik malzemelerin mekanik özellikleri gerilme-uzama (stress-strain) davranışları ile belirlenebilmektedir. Standart numuneler belirli bir yönde gerdirilerek, davranışları kaydedilmektedir. Şekil I.2.2.2.4.7’de değişik polimerik maddelerin gerilme uzama eğrileri verilmektedir [22].



Şekil I.2.2.2.4.7 Polimerik Malzemelerde Gerilme-Uzama Eğrileri [22]

Bu davranışa göre polimerik maddeler elyaf, sert plastikler, esnek plastikler ve elastomerler olarak dört gruba ayrılabilir. Her grup içerisinde çok miktarda polimer yer almaktadır.

Polimerik malzemelerin gerilme-uzama eğrilerini daha ayrıntılı incelemek için camsı geçiş sıcaklığının üstünde sabit hızla çekme deneyi yapılmış ve Şekil I.2.2.2.4.8'deki grafik elde edilmiştir. Grafikteki harflere göre polimerin gösterebileceği davranışlar belirtilmiştir [22].



Şekil I.2.2.2.4.8 Polimerlerin Gerilme - Uzama Eğrisinin İncelenmesi [22]

O-A: Gerilme kuvveti (σ) - uzama (δ) eğrisi düzgün doğrudur. Bu davranış elastik deformasyondur. Doğrunun eğimi elastik modülüsü verir.

A-B: Gerilme kuvveti artışı, uzamanın artmasına karşın azalmıştır. B noktasında bu değer maksimuma ulaşmıştır. B noktası polimerin akma noktasıdır.

B-C: Polimerde boyun oluşmasının olduğu bölgedir. Plastik deformasyon ve akma boyun üzerinden çekme sürdürükçe devam eder. Boyun oluşması C noktasında tamamlanır.

C-D: Gerilme kuvveti hemen hemen sabittir. Zincirler akma gösterir. Uzama devam ettiği sürece zincirler çekilme doğrultusunda yönlenirler. Bu tür işleme soğuk çekme veya soğuk akma denir. D noktasında daha düzenli bir hal alır.

D-E: Soğuk çekmenin veya plastik akmanın bittiği ve deformasyon sertleşmesi sonucu polimerde gerilim direncinin hızla arttığı bölgedir.

E: Bu noktada kopma meydana gelir [22].

I.2.3 Kompozit Malzemeler



Şekil I.2.3 Kompozit Malzemeler [23]

İstenen amaç için tek başlarına uygun olmayan farklı iki veya daha fazla malzemeyi istenen özellikleri sağlayacak şekilde belirli şartlar ve oranlarda fiziksel olarak, makro yapıda bir araya getirilerek elde edilen malzemeye kompozit malzeme denir.

İçyapıları çıplak gözle incelendiğinde yapı bileşenlerinin seçilip ayırt edilmesi mümkündür. Yapılarında birden fazla sayıda fazın yer aldığı klasik alaşımlar ise makro ölçüde homojen olmalarına rağmen mikro ölçüde heterojen malzemelerdir.

Kompozit malzemelerde yapıyı oluşturan bileşenler birbiri içinde çözünmezler, kimyasal olarak inert davranırlar. Ancak özellikle metalik sistemlerde düşük oranlarda bile olsa, bir miktar çözünme bileşenler arasında kompozit özelliklerini etkileyebilen ara yüzey reaksiyonları görülebilir. Kompozit malzemelerde çekirdek olarak kullanılan bir fiber malzeme bulunmakta, bu malzemenin çevresinde hacimsel olarak çoğunluğu oluşturan bir matris malzeme bulunmaktadır.

Bu iki malzeme grubundan, fiber malzeme kompozit malzemenin mukavemet ve yük taşıma özelliğini, matris malzeme ise plastik deformasyona geçişte oluşabilecek çatlak ilerlemelerini önleyici rol oynamakta ve kompozit malzemenin kopmasını geciktirmektedir. Matris olarak kullanılan malzemenin bir amacı da fiber malzemeleri yük altında bir arada tutabilmek ve yükü lifler arasında homojen olarak dağıtmaktır. Böylece fiber malzemelerde plastik deformasyon gerçekleştiğinde ortaya çıkacak çatlak ilerlemesi olayının önüne geçilmiş olur [24].

I.2.3.1. Kompozit Malzeme Türleri

I.2.3.1.1. Polimer Kompozitler

Liflerle pekiştirilmiş polimer kompozitler endüstride çok geniş kullanma alanına sahiptir. Pekiştirici olarak cam, karbon kevlar ve boron lifleri kullanılır. Polimer kompozitlerde kullanılan en önemli bağlayıcı malzeme polyester ve epoksidir.

Pekiştirici liflerin miktarı arttıkça kompozitin mukavemeti yükselir. Polimer kompozitlerin en önemli özellikleri yüksek özgül mukavemet (mukavemet/ özgül ağırlık) ve özgül elastisite modülüdür. Dolayısıyla bu özelliklerden dolayı diğer malzemelere üstün durumundadırlar.

Örneğin yüksek mukavemetli çeliklerde özgül mukavemetin 110 Nm / gr olmasına karşın cam lifi – polyesterlerde 620 Nm/gr'dır. Diğer taraftan karbon lifi epoksida 700 Nm/gr ve kevlar epoksida 886 Nm/gr'dır. Diğer taraftan karbon liflerinin özgül elastisite modülü alüminyumunkinin 5 katı kadardır. Bu üstünlüklerinden dolayı polimer kompozitler uçak ve uzay endüstrisinde alüminyum alaşımlarına tercih edilir [25].



Şekil I.2.3.1.1 Üretiminde %50 Polimer Matrisli Kompozit Malzeme Kullanılan Eurofighter Uçağı [26]

I.2.3.1.2. Metal Kompozitler (Metal Matrisli Kompozitler-MMC)

Bir metalik fazın bazı takviye malzemeleri ile eritme vakum emdirmeye, sıcak presleme ve difüzyon kaynağı gibi ileri teknikler uygulanarak MMC'ler elde edilirler. MMC'ler daha çok uzay ve havacılık alanlarında, mesela uzay teleskopu, platform taşıyıcı parçalar, uzay haberleşme cihazlarının reflektör ve destek parçaları vs. yerlerde kullanılır [25].

I.2.3.1.3. Seramik Kompozitler (Seramik Matrisli Kompozitler-CMC)

Bu amaçla yapısal ve fonksiyonel nitelikli yüksek teknoloji seramikleri kullanılmaktadır. Başlıcaları Al_2O_3 , SiC, Si_3N_4 , B_4C , CbN, TiC, TiB, TiN, AlN' dir. Bu bileşikler değişik yapılarda olup amaca göre bir ya da bir kaç birer kullanılarak CMC'ler elde edilir. Sandviç zırhlar, çeşitli askeri amaçlı parçalar imali ile uzay araçları bu ürünlerin başlıca kullanım yerleridir [25].

I.2.3.2. Kompozit Malzemelerin Avantajları ve Dezavantajları

Kompozit malzemelerin birçok özelliklerinin metallerinkine göre çok farklılıklar göstermesinden dolayı, metal malzemelere göre önem kazanmışlardır. Kompozitlerin özgül ağırlıklarının düşük oluşu hafif konstrüksiyonlarda kullanımda büyük bir avantaj sağlamaktadır. Kompozit malzemelerin dezavantajlı yanlarını ortadan kaldırmaya yönelik teorik çalışmalar yapılmakta olup, bu çalışmaların olumlu sonuçlanması halinde kompozit malzemeler metalik malzemelerin yerini alabilecektir.

Yüksek Mukavemet: Kompozitlerin çekme ve eğilme mukavemeti birçok metalik malzemeye göre çok daha yüksektir. Ayrıca kalıplama özelliklerinden dolayı kompozitlere istenen yönde ve bölgede gerekli mukavemet verilebilir. Böylece malzemeden tasarruf yapılarak, daha hafif ve ucuz ürünler elde edilir.

Kolay Şekillendirebilme: Büyük ve kompleks parçalar tek işlemle bir parça halinde kalıplanabilir. Bu da malzeme ve işçilikten kazanç sağlar.

Elektriksel Özellikler: Uygun malzemelerin seçilmesiyle çok üstün elektriksel özelliklere sahip kompozit ürünler elde edilebilir. Bugün büyük enerji nakil hatlarında kompozitler iyi bir iletken ve gerektiğinde de başka bir yapıda, iyi bir yalıtkan malzemesi olarak kullanılabilirler.

Korozyona ve Kimyasal Etkilere Karşı Mukavemet: Kompozitler, hava etkilerinden, korozyondan ve çoğu kimyasal etkilere zarar görmezler. Bu özellikleri nedeniyle kompozit malzemeler kimyevi madde tankları, boru ve aspiratörler, tekne ve diğer deniz araçları yapımında güvenle kullanılmaktadır. Özellikle korozyona karşı mukavemetli olması, endüstride birçok alanda avantaj sağlamaktadır.

Isıya ve Ateşe Dayanıklılığı: Isı iletim katsayısı düşük malzemelerden oluşabilen kompozitlerin ısıya dayanıklılık özelliği, yüksek ısı altında kullanılabilmesine olanak sağlamaktadır. Bazı özel katkı maddeleri ile kompozitlerin ısıya dayanımı arttırılabilir.

Kalıcı Renklendirme: Kompozit malzemeye, kalıplama esnasında reçineye ilave edilen pigmentler sayesinde istenen renk verilebilir. Bu işlem ek bir masraf ve işçilik gerektirmez.

Titreşim Sönümlendirme: Kompozit malzemelerde süneklik nedeniyle doğal bir titreşim sönümleme ve şok yutabilme özelliği vardır. Çatlak yürümesi olayı da böylece minimize edilmiş olmaktadır. Bütün bu olumlu yanların dışında kompozit malzemelerin uygun olmayan yanları da şu şekilde sıralanabilir:

- Kompozit malzemelerdeki hava zerrecikleri malzemenin yorulma özelliklerini olumsuz etkilemektedir.
- Kompozit malzemeler değişik doğrultularda değişik mekanik özellikler gösterirler.
- Aynı kompozit malzeme için çekme, basma, kesme ve eğilme mukavemet değerleri farklılıklar gösterir.
- Kompozit malzemelerin delik delme, kesme türü operasyonları liflerde açılmaya neden olduğundan, bu tür malzemelerde hassas imalattan söz edilemez.

Görüldüğü gibi kompozit malzemeler, bazı dezavantajlarına rağmen çelik ve alüminyuma göre birçok avantaja sahiptir. Bu özellikleri ile kompozitler otomobil gövde ve tamponlarından deniz teknelerine, bina cephe ve panolarından komple banyo ünitelerine, ev eşyalarından tarım araçlarına kadar birçok sanayi kolunda problemleri çözümleyecek bir malzemedir [27].

I.2.4 Nanokompozitler



Şekil I.2.4 Nanokompozit Uygulamaları [28]

Nanokompozit fikri ilk defa 1950 yılında ortaya atılmış, 1985 yılında da Toyota araştırma grubunun poliamid-kil karışımları çalışmalarıyla ilerlemeler kaydetmiştir. Grubun o zamanki hedefi, metalden daha hafif ve ısıya dayanıklı otomobil aksamı malzemesi bulmaktır. Günümüzde ise nanokompozitler polimer sanayinin her kesiminden ilgi görmektedir. Tatbikat alanları da otomotivden paketlenmeye, elektronik aksamı, ev aletlerine ve alev dayanıklı her çeşit ürüne uzanmaktadır[29].

Nanoteknolojinin özü, moleküler boyutta çalışarak, moleküler yapısı yenilenmiş büyük yapılar elde etmektir. Malzemelerin nanometrik boyuttaki özellikleri, aynı malzemenin makro boyuttaki özelliklerine göre değişiklik göstermektedir. Nano kompozitler, bir matris içerisinde nanometre büyüklüğünde parçacıkların dağılması ile oluşan malzemelerdir. Bir taneciğin nano olarak isimlendirilmesi için en az bir boyutunun nanometre düzeyinde olması gerekir. Nano kompozitlerin malzemeye getirdiği üstünlükler; modülü arttırması, güçlendirmesi, ısı direncini arttırması, malzemeye gaz sızmasını engellemesi, yanıcılığını azaltması olarak sıralanabilir [30].

1.2.4.1. Nanokompozitlerin Tarihsel Gelişimi ve Önemi

Polimerlerin büyük ticari öneminden dolayı parçacık, fiber ve tabakalı inorganik katkı ile kuvvetlendirilen polimer kompozitlerinin araştırılmasına büyük önem verilmektedir. Özel olarak tabakalı inorganik dolgular içerisinde talk ve mika geleneksel olarak en çok ilgiyi çekmiştir. Buna rağmen polimer/kil ve polimer tabakalı silikat nanokompozit malzeme konularında meydana gelen son gelişmeler neredeyse tüm polimerler içerisinde bunların disperse edilme çabasını ortaya çıkarmıştır.

Bu çalışmalarda genellikle inorganik dolgunun polimer içerisinde tamamen dağılması ile polimerin en yüksek performansına erişmesi beklenmektedir. Uzun zamandır polimerlerin uygun şekilde modifiye edilmiş mineral ve sentetik killer ile karıştırılabildiği bilinmesine rağmen polimer/kil nanokompozitleri üzerine çalışmalar son zamanlarda büyük ivme kazanmıştır. Bu malzemenin gelişiminde iki öncü çalışma çok büyük önem taşımaktadır. Toyota Ar-Ge'sinin yayımladığı naylon-6/montmorillonit malzemesi ile ilgili raporudur.

Burada çok az bir inorganik katkı ile malzemenin termal ve mekanik özellikleri belirgin bir şekilde iyileştirilmiştir. İkincisi, Giannelis'in (1996) organik çözücü kullanmadan inorganik maddeyi, polimerin eriyiğine karıştırma yöntemidir. Endüstriyel gelişim vaat eden bu çalışmalar diğer malzemeler üzerinde tabakalı inorganik dolguların disperse edilmesine yönelik sayısız yeni çalışmanın ilki olmuştur.

Nanokompozit yapısından kaynaklanan bu iyileştirmeler, genellikle çok geniş bir yelpazede polimer için uygun görülmektedir. Ayrıca, bu yeni nano ölçekli malzemelerle elde edilen bazı özellikler, örneğin; alev geciktiricilik özelliği ve bariyer özelliklerinde etkin bir iyileştirme geleneksel dolgular ile elde edilememektedir [31].

I.2.4.2. Nanokompozitlerin Üstün Özellikleri

- Metaller ve dolgu kompozitlerden daha parlaktır.
- Daha düşük maliyetle elde edilirler.
- Taşımada büyük yakıt ve enerji kazanımı sağlarlar.
- Yüksek gerilme modülü ve boyut stabilitesi gibi mekanik özellikler gösterirler.
- Nanokompozit yapıda su ve hidrokarbonlar, gaz geçirgenliği azalır.
- Termal stabiliteyi artırır ve ısı bozulma sıcaklığını yükseltir.
- Yanma dayanımı daha fazladır.
- Kimyasal etkenlere dayanıklılığı yüksektir.
- Elektrik iletkenlik daha fazladır.
- Konvansiyonel dolgulu polimerlerle kıyaslandığında optik geçirgenlik özellikleri daha iyidir [32].

I.2.4.3. Nanokompozitlerin Sınıflandırılması

Matris yapısına göre, NC'ler üç kategoride toplanabilir

- Polimerik Nanokompozitler (PNC)
- Seramik Nanokompozitler (CNC)
- Metalik Nanokompozitler (MNC)

Nanopartikülleri ise şu şekilde sıralayabiliriz:

- Katmanlı
- Lifli
- Borusal
- Küresel
- Diğer

İzometrik olmayan partiküllerden mekanik ve bariyer özellikleri geliştirmek için özellikle katmanlı olanlar, sertlik ve sağlamlığı geliştirmek için ise lifli olanlar tercih edilir. Optik, elektriksel iletkenlik vb. gibi özellikler için de küresel ve diğer partiküller kullanılabilir [33].

I.2.4.3.1. Seramik ve Metalik Nanokompozitler

Alüminyum, magnezyum, titanyum, bakır ve süper alaşımlar sıkça kullanılan matris yapılarıdır. Takviye çeşitli parçacık veya fiber (sürekli, süreksiz) şeklinde uygulanmaktadır. Sürekli fiber olarak kullanılanlar SiC, alümina ve karbon şeklindedir. Metal matrisli kompozitlerin başlıca uygulama alanları otomotiv ve havacılık sanayi gösterilebilir. Metal matrisli kompozitlerin polimer matrisli kompozitlere göre avantajları çok daha yüksek sıcaklıklarda çalışabilmesi, alev almaması ve organik akışkanlara karşı korozyon ve erozyon dayanımının daha yüksek olması sayılabilir.

Seramik matrisli kompozitler üzerinde çok geniş çalışmalar yapılmasa da seramik kompozitleri öne çıkaran yüksek sıcaklık ve kritik gerilme uygulamalarının yanı sıra kesici takım olarak sert metal alaşımlarının kesilmesinde kullanılırlar [33].

I.2.4.3.2. Polimerik Nanokompozitler

Polimerik nanokompozitler genelde % 1–3 oranında nanopartikül içermektedir ve tek bileşen ve tek faz gibi davranan materyallerdir. PNC'ler saydamlık, düşük yoğunluk, yanıcılığı azaltma, düşük geçirgenlik, mekanik özelliklerinin gelişimi gibi özellikler içerir.

Ayrıca polimer karışımlarında, genel kompozitlerde ve köpüklerde, katkı maddeleriyle kolaylıkla modifikasyonları yapılabilir ve düzenli polimerlerin yerini alabilirler. Polimerik nanokompozitlerin sınıflandırılmasında çeşitli metotlar bulunmaktadır ve polimer matrise dağıtılan partiküllerin nanometrik düzeyde boyut sayısına göre şu şekilde sınıflandırılır:

1. Tek boyut

Bu boyuttaki nanopatiküller bir ya da birkaç nanometre kalınlığı ile yüzlerce ya da binlerce nanometre uzunluk ve genişliğe sahip kâğıt şeklinde maddelerdir ve bu yüzden polimer katmanlı kristal nanokompozitler olarak adlandırılırlar.

2. İki boyut

Bu nanopartiküllere lifler, nanotüpler ya da kil kristalleri, vb. örnek olarak verilebilir. Polimerik nanokompozitler bir-duvarlı ya da iki-duvarlı karbon nanotüpler içerirler ve bu konuda geniş çalışmalar yapılmaktadır.

3. Üç boyut

Genelde izo-boyutsal küresel partiküller olarak geçerler. Sol-gel ve polimerizasyon yöntemleriyle direkt olarak yüzeylerinden elde edilirler [33]. Polimerik nanokompozit malzemeler geleneksel mikro ve makro kompozitlere oranla nispeten yüksek özellikler gösterirler. Bu özellikler, yüksek elastiklik modülü, yüksek mukavemet, ısı kararlılık, düşük gaz geçirgenliği ve biyobozunur polimerlerin kullanılması ile artan biyobozunurluk özellikleridir. Bunların yanında, bu malzemelerin çok iyi elektriksel özellikleri de sağlanabilmektedir. Bu üstün özellikleri nedeni ile polimerik nanokompozitler hem endüstriyel alanda hem de akademik olarak oldukça önemlidir. Günümüzde, polimer nanokompozitler üzerine yapılan çalışmalar daha üstün özelliklere sahip yeni malzemeler hazırlamak ve daha kısa sürede, yüksek verimle nanokompozitler elde etmek üzere iki temele ayrılabilir [34].

Polimerik Nanokompozitlerin Üretimi ve Kullanım Alanları

Polimer matrisli nanokompozit malzeme üretmek amacıyla çeşitli üretim yöntemleri üzerinde çalışmalar sürdürülmektedir. Bunlar, eriyik harmanlama, yerinde polimerizasyon ve diğer tekniklerdir. Bu yöntemlerden her biri, amaçlanan kompozit özelliklerine ve üretim verimliliğine uygun olarak tercih edilir

Birçok araştırmacı tarafından genellikle eriyik harmanlama, ekstrüzyon ve basınçlı kalıplama yöntemlerinin birleşimi genel olarak tercih edilmektedir. İstenen özellikte polimer matrisli nanokompozit numune elde edebilmenin ön koşulu taneciklerin matris içerisinde düzenli dağılmış olmalarıdır. Polimer matris nano boyuttaki çeşitli malzemeler ile takviye edilebilmektedir.

Örneğin, doğal olarak tabakalı yapıda olan kilin polimer içinde dağıtılabilmesi nedeniyle çok iyi katkı malzemesi olabilecekleri anlaşılmıştır; böylece kil/nanokompozitlerinin hazırlanması, karakterizasyonları ve özelliklerinin belirlenmesiyle ilgili çalışmalar başlamıştır.

Polimerik kompozitler daha çok elektronik elemanlar, otomotiv sanayi, uçak sanayi alanlarında kullanılmaktadır. Örneğin, elektronik elemanlarda kullanılan polimerlerin yüksek ısı iletkenliğe sahip olmaları istenmektedir, bu yüzden ısı iletken olan polimerler üzerine çalışmalar yapılmaktadır.

Örneğin, nanokompozitler günümüzde otomobillerde kullanılmaya başlanmıştır (dış şasi paneli, vs.). Çok düşük dolgu maddesi içerikli malzemelerde geleneksel talk dolgulu kompozitlere göre 10 kat daha hafif ve 10 kat daha mukavemetli durumdadır. Bu önemli özellik bu malzemeleri otomotiv için çok uygun kılmaktadır [34].



Şekil I.2.4.3.2.1 Polimerik Nanokompozitlerin Çeşitli Kullanım Alanları [35]

Polimerik Nanokompozitlerin Mekanik Özellikleri

Nanokompozitler, saf polimerlerle karşılaştırıldığında önemli derecede geliştirilmiş mekanik, termal, optik ve fizikokimyasal özellikler sergilemektedirler. İlk olarak Toyota araştırma geliştirme grubunun, poliamid-6 ve montmorillonit kullanarak oluşturduğu polimer nanokompozit malzemenin mekanik ve bariyer özelliklerinde çok önemli gelişmeler sağlanmıştır.

Genel mikro mekanik teoriler, kompozit malzemelerin esneklik katsayısı, çekme dayanımı gibi efektif özelliklerini, matris ve taneciklerinin hacimsel oranları, taneciklerin şekil ve düzeni, matris-tanecik ara yüzü varsayımlarını kullanarak elde ederler.

Bu teoriler, kompozit malzemelerin özelliklerini katkı taneciklerinin boyutlarından bağımsız olarak tahmin etmektedirler. Takviye fazının elastiklik, ısı genleşme gibi fiziksel özellikleri kompozitin mekanik özelliklerini etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Ayrıca ana yapı içerisindeki parçacık büyüklüğü de kompozitin mukavemetini etkiler. Parçacık takviyeli kompozitler ana yapıya göre oldukça yüksek mukavemet özelliği gösterirler [34].

Polimerik Nanokompozitlerin Termal Özellikleri

Birçok uygulamada, polimerik malzemenin farklı sıcaklıklarda ve uzun zamanlı kullanımda önemli oranda boyutunu değiştirmemesi, yani ısı kararlı olması arzu edilmektedir. Dolayısıyla, nanokompozitlerin önemli avantajlarından biri de nanoboyutlu inorganik katkı maddelerinin ısı kararlılığını artırmasıdır. Polimerlerin ısı iletkenliklerinin artırılması amacıyla uygulanan değişik yöntemler vardır. Bunlardan birisi, şekillenme esnasında polimerlere ısı iletkenliği yüksek olan tanecik veya lifler katılmasıdır. Bu tanecik katkıları sayesinde polimerin ısı iletkenliği artmaktadır; fakat bazı durumlarda polimerin mekanik özelliklerinde zayıflamalar meydana gelmektedir [34].

Polimerik Nanokompozitlerin Elektrik Özellikleri

İletken polimer kavramı; kendi örgüsü içindeki elektronlarla yeterli düzeyde elektrik iletkenliği sağlayan polimerler için kullanılır. Bu bir elektronik iletkenliktir. Ancak iletkenliğin metaller seviyesinde olmaması, hem konjugasyonun yüksek düzeyde iletkenliğe yeterli olmadığını hem de polimerlerin yarı-iletken sınıfına dâhil olduğunu göstermektedir.

İletken polimerlerin özelliklerini iyileştirmek için, başlıca kimyasal ve elektrokimyasal yöntemlerle; kopolimer, kompozit veya blendler hazırlanarak iletken polimerler geliştirilmektedir. Bir başka ifadeyle, üretim esnasında yapılan çeşitli işlemlerle, polimerik nanokompozitler, elektriksel özellikleri iyi malzemeler olarak üretilabilmektedir.

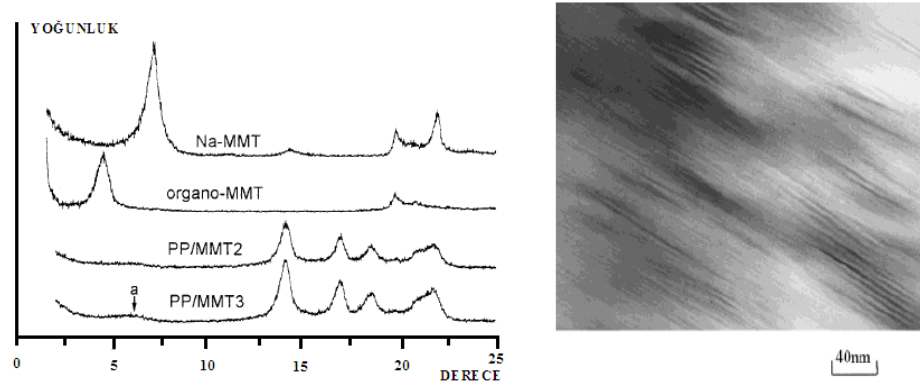
Örneğin, epoksi matrise sahip bir polimerik nanokompozit malzemede, katyonik ve anyonik katalitik kürleştiricilerin kürleşme prosesi sırasında, Lewis asit ya da bazın kürleşmesiyle reçinenin homopolimerizasyonu başlar.

Bu tip kürleştiriciler yardımıyla malzemenin elektriksel ve fiziksel özellikleri iyileştirilir. İletken polimerlerin kullanım alanlarından birisi de, güneş ışığından elektrik enerjisi üreten yarı iletken devre elemanları olan fotovoltaiik hücrelerdir. Ayrıca, iletken polimerlerin yaygın olarak kullanıldığı alanlar; şarj olabilen pil yapımı, elektronik alet (transistor, kapasitör, sensor) yapımı, iyon seçici elektrot yapımı, korozyon önleme, biyokimyasal analizler, foto elektrokimyasal hücreler ve elektroeolojik çalışmalardır [34].

BÖLÜM II

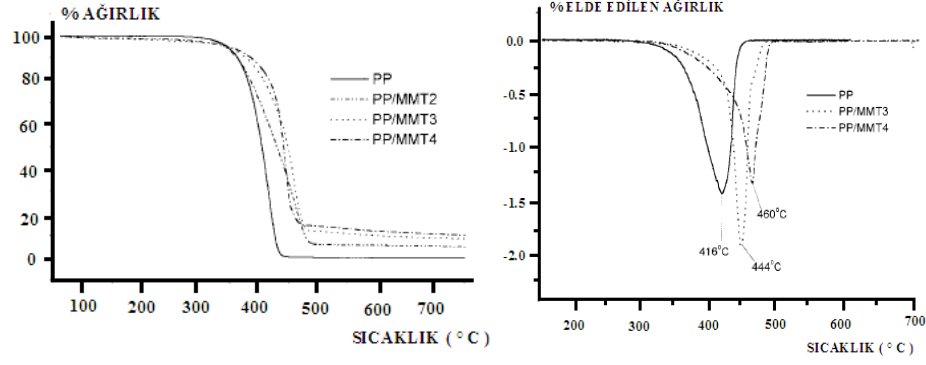
POLİMER NANOKOMPOZİT ÜZERİNE YAPILAN LİTERATÜR ÇALIŞMALARI

1) Jisheng Ma, Zongneng Qi, Youliang Hu 2000 yılında PP/kil (MMT) nanokompozitlerin sentezi ve karakterizasyonu üzerine bir çalışma yapmışlardır. PP/kil nanokompozitlerini sentezleyerek yapmış oldukları bu çalışmada X-ışınları ve TEM sonuçlarına dayanarak PP/kil nanokompozitinin içindeki kilin nanometrik boyutta ayrıştığını ve dağılımın PP matrisi içinde eşit oranda olduğunu belirtmişlerdir. Aşağıdaki şekilde X-ışınları ve TEM çalışması sonuçları verilmiştir.



Şekil II.1 PP/Kil Nanokompozitin X-Işınları Eğrisi ve TEM Fotoğrafı [36]

Şekil II.2’de PP/kil ve saf PP’in TGA sonuçları incelendiğinde; PP/kil nanokompozitin saf PP ile ısı çözülme sıcaklığı karşılaştırılırsa, nanokompozitin ısı kararlılığının, saf PP’den yüksek çıktığı anlaşılmaktadır. Dolayısıyla nanokompozit içerisindeki kilin ısı kararlılığı etkisinin öneminin büyük olduğu sonucu ortaya çıkmaktadır.



Şekil II.2 PP ve PP/Kil Nanokompozitin TGA Sonuçları [36]

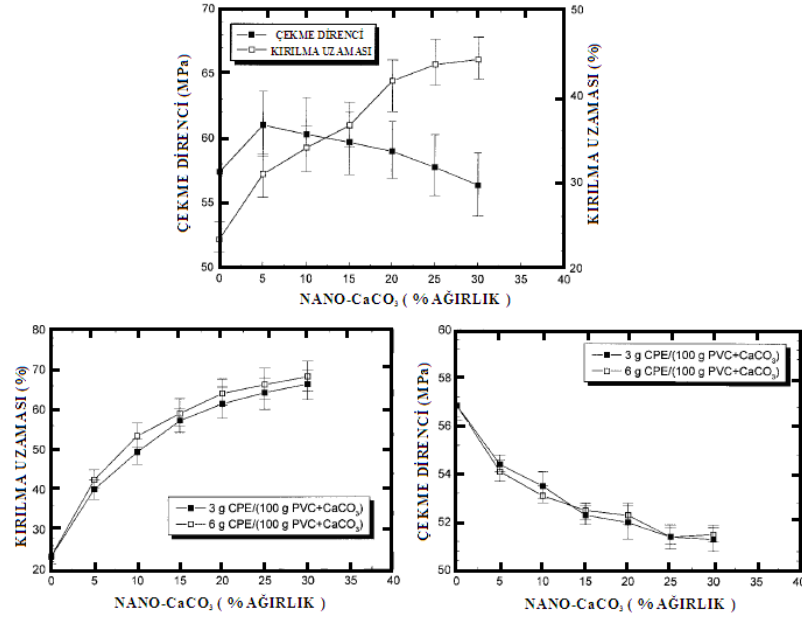
Ayrıca şekilde maksimum ağırlık kaybını PP, 416°C’de; PP/MMT3 444°C’de, PP/MMT4 460°C’de verdiği görülmekte. Dolayısıyla kil oranları değişen nanokompozitlerin farklı sıcaklıklarda ağırlıklarında kayıp olduğu gözlemlenmiştir.

Kilin miktarının artmasıyla değişen HDT değerleri Tablo II.1’de verilmiştir. İçinde kil olan nanokompozitin HDT değerleri yüksektir. T_g değerinin de kil oranının artmasıyla artış göstermiştir [36].

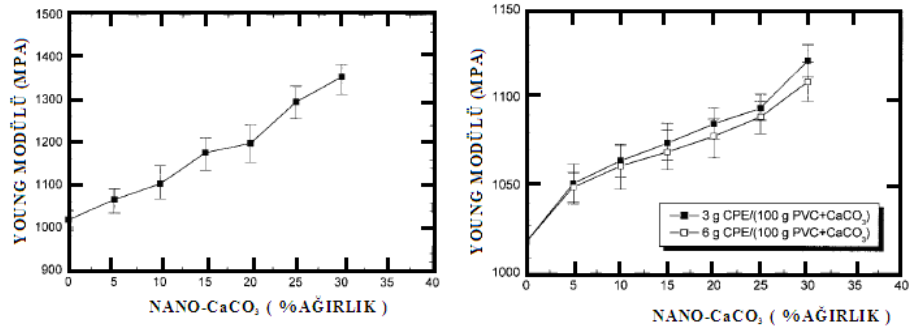
Tablo II.1 PP/Kil Nanokompozitinin Isısal Değerleri [36]

NUMUNELER	-40°C	20°C	80°C	120°C	T_g (°C)	HDT (°C)
PP	1.42	0.38	0.21	0.12	6.2	110
PP/MMT1 (2.5 wt %)	2.08	0.76	0.36	0.24	12.1	138
PP/MMT2 (4.6 wt %)	2.22	0.82	0.46	0.28	9.0	144
PP/MMT3 (8.1 wt %)	2.43	0.98	0.54	0.36	8.0	151

2) Dezhen Wu, Xiaodong Wang, Yongzhi Song, Riguang Jin 2003 yılında yapmış oldukları çalışmada Polivinilklorür nanokompozitleri ve nanometrik CaCO_3 partiküllerinin klorlanmış PE’nin mekanik özelliklerine, morfolojisine ve reolojisine etkisini incelemişlerdir. Şekil II.3’de PVC/nano- CaCO_3 kompozitinin CPE eklenmemiş ve eklenmiş halinin çekme direnci ve % uzama davranışları verilmiştir.



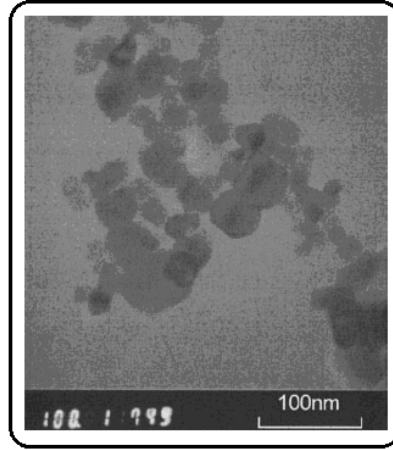
Şekil II.3 PVC/Nano-CaCO₃ Nanokompozitinin CPE Eklenmemiş ve Eklenmiş Halinin Çekme Direnci ve Kırılma Uzaması [37]



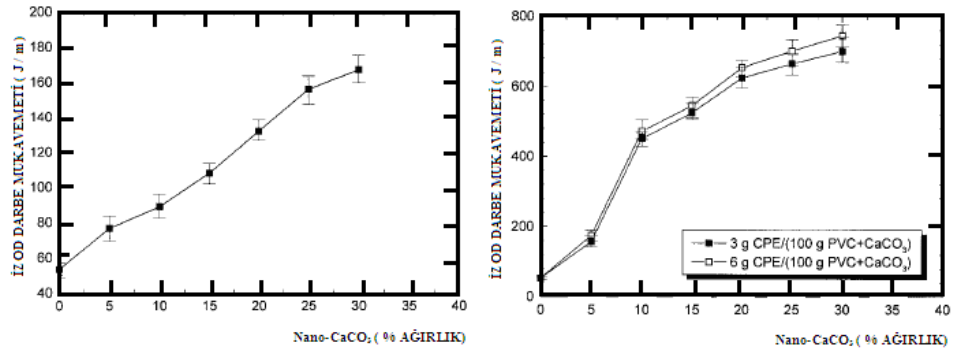
Şekil II.4 CPE Eklenmemiş ve Eklenmiş PVC/CaCO₃ Nanokompozitinin Young Modülü [37]

PVC/CPE/CaCO₃ nanokompozitinin çekme direnci ve young modülü, saf PVC'den daha düşüktür. Başlangıçtaki CPE, esnek olarak nitelendirilebilen yumuşak kompozit polimerdir. PVC/CPE/CaCO₃ nanokompozitlerinin çekme direnci düşüktür. Bu da çekme direncinin zayıf olduğunu gösterir. CPE, PVC ile kolayca karıştırılabilir. Böylece mekanik özellikleri biraz artmıştır. Aynı şekilde, nano-CaCO₃ içeren karışımın kırılma uzaması ve young modülü değerleri yükseldiği için mekanik özelliklerinin artığı söylenebilir.

Sonuç olarak, kırılma uzaması ve young modülü yükselmiştir. TEM cihazında PVC matrisi içerisinde bulunan nano- CaCO_3 partikülleri eşit oranda dağılmıştır ve bir kısım partiküllerin yığılmış halde olduğu gözlenmiştir. Çok büyük kırılma enerjisi geçirdiği için PVC üzerindeki nano- CaCO_3 partikülleri kabarcıklar oluşturmuş halde gözlenmiştir.



Şekil II.5 Nano- CaCO_3 Partiküllerinin TEM Cihazında Görünümü [37]



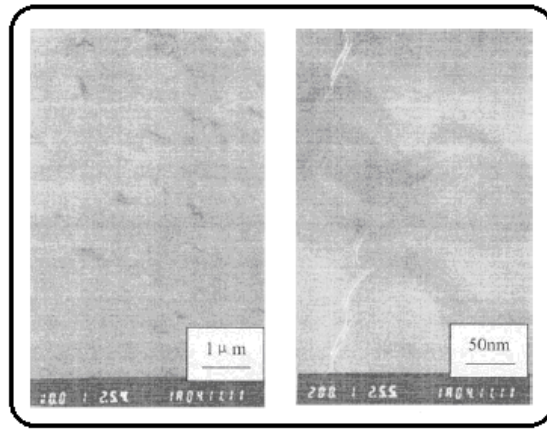
Şekil II.6 PVC/Nano- CaCO_3 Nanokompozitine CPE Eklenmemiş ve Eklenmiş Halinin Izod Darbe Mukavemeti [37]

Çentikli izod darbe mukavemetinin etkisi CPE'nin eklenmesiyle daha belirgin hal almıştır. CPE etkisiyle PVC/CPE/ CaCO_3 nanokompozitleri Izod Darbe Mukavemeti Şekil II.6'daki görünümünü kazanmıştır. PVC/ CaCO_3 ile PVC/CPE/ CaCO_3 nanokompozitlerinin Izod Darbe Mukavemeti karşılaştırılırsa, PVC/CPE/ CaCO_3 nanokompozitlerinin etkisinin daha fazla olduğu görülmektedir.

Fazla CPE içerenin darbe mukavemeti fazla olur. Bu da CPE'nin nanokompozit üzerinde önemli etkisi olduğunu gösterir. CPE, PVC için iyi bir modifiyedir. CPE içeren PVC'nin ağırlığı %15 'e ulaştığında sertleşme etkisi yapabilir. PVC/ CPE/ nano-CaCO₃ nanokompozitleri tipik sertleşmiş kauçuk plastikler mekanizması için yapılmıştır [37].

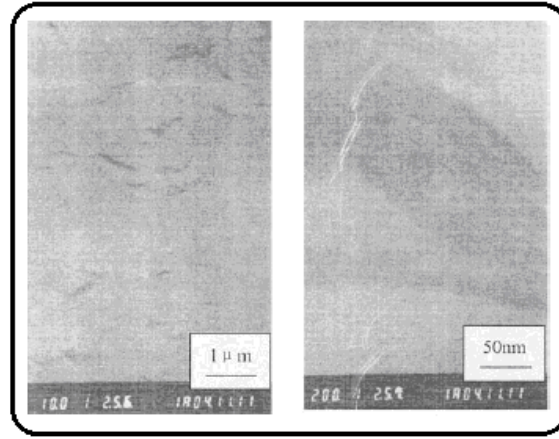
3) Wang Wenyi, Zeng Xiaofei, Wang Guoquan, Chen Jianfeng 2005 yılında yapmış oldukları çalışmada Organo-Montmorillonite nanokompozitler ile takviyeli PP'nin özellikleri ve hazırlanmasını incelemişlerdir.

PP esaslı nanokompozitler çift vidalı extruder sayesinde eriyik karışım eklenmesiyle hazırlandı. Polar olmayan PP makromolekülü ara tabakaya eklenebilir haldedir. Nanokompozitin mekanik özelliklerinde artış gözlenir. Şekil II.7. ve Şekil II.8. 'de nanokompozitlerin yapısı TEM cihazında görülmüştür.

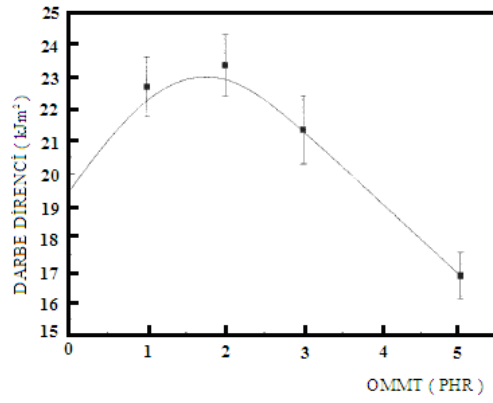


Şekil II.7 Organo-Montmorillonite nanokompozitinin TEM görüntüsü (Oran: 2/100)

[38]

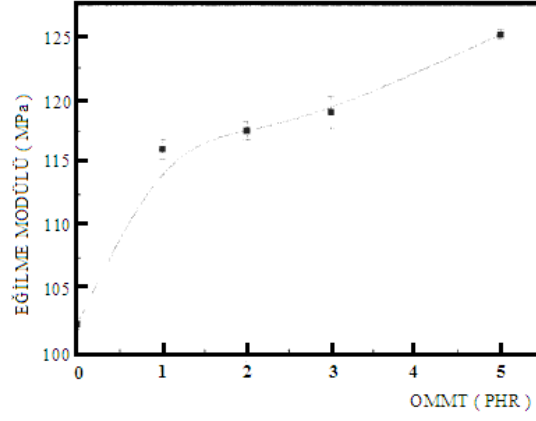


Şekil II.8 Organo-Montmorillonite nanokompozitinin TEM görüntüsü (Oran: 5/100)
[38]



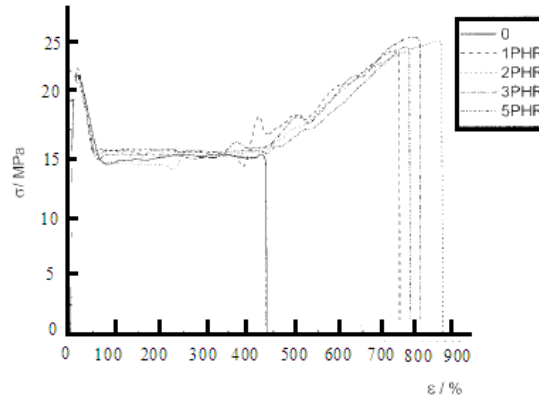
Şekil II.9 Saf PP ve Nanokompozitlerin Darbe Direncinin Mekanik Özellikleri [38]

Şekil II.9’da görülen nanokompozitin darbe mukavemetinin eğrisi görülmektedir. Eğride Org-MMT eklenmiş haldedir. Org-MMT; 0’dan 3,5 phr değerine kadar eklendiğinde, nanokompozitin darbe özelliklerinde artış olduğu gözükmemektedir. Org-MMT; 3,5 phr’dan fazla eklendiğinde, darbe özelliklerinde azalma gözlenmiştir. Org-MMT; 2 phr iken darbe mukavemeti maksimumdur.



Şekil II.10 Saf PP ve Nanokompozitlerin Eğilme Modülünün Mekanik Özellikleri [38]

Şekil II.10'da görülen nanokompozitin eğilme modülünün eğrisi görülmektedir. Eğri Org-MMT eklenmesiyle oluşturulmuştur. Eklenen Org-MMT ile eğilme modülü yükselmiştir. Saf PP 'nin eğilme modülü 102,3 MPa'dır. Org- MMT önce 1 phr değerinde eklendiğinde eğilme modülü 116,1 MPa'dır. Org-MMT phr değeri fazlalaştırarak eklendiğinde, eğilme modülü 125,2 MPa'dır. Genellikle, matriks elastomer yardımıyla sertleşir. Sistemin eğilme modülü azalmıştır ve bu önlenemez problemidir. Matriks içinde belirgin şekilde dayanıklılık ve rijitlik yükselmiştir.



Şekil II.11 Saf PP ve Nanokompozitlerin Gerilme-Uzama İlişkisi [38]

Şekil II.11'de Org-MMT 'nin eklenmesiyle, hibridin kırılma uzaması oranı önemli ölçüde yükselmiştir. Çekme-akma direnci değişmemiştir.

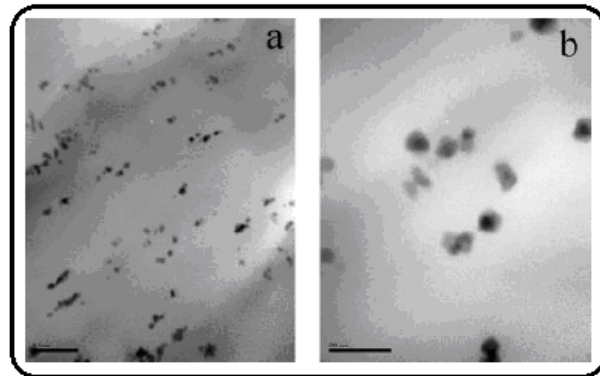
Tablo II.2 Saf PP ve Nanokompozitin Çekme Özellikleri [38]

Numuneier	Çekme direnci (MPa)	Kırılma uzaması Oranı(%)	Çekme - akma direnci(MPa)
1	15.4 ± 0.97	434 ± 22	22.1 ± 0.30
2	24.2 ± 1.03	732 ± 32	22.7 ± 0.32
3	25.0 ± 1.33	827 ± 31	21.6 ± 0.27
4	25.4 ± 1.39	778 ± 30	22.4 ± 0.29
5	24.5 ± 1.26	731 ± 24	22.5 ± 0.44

Org-MMT'nin eklenmesiyle, nanokompozitin çekme direnci yükselmiştir. PP/Kil hibridlerinin ısı kararlılığı TGA cihazıyla analiz edilmiştir. Isıl kararlılığı yükselmiştir. Kompozitin kristallik özellikleri DSC' de test edilmiştir. Kristallik azalmıştır; ama kristallik hızı artmıştır. Böylece eriyik karışım katılarak PP/kil nanokompoziti üretilmiştir [38].

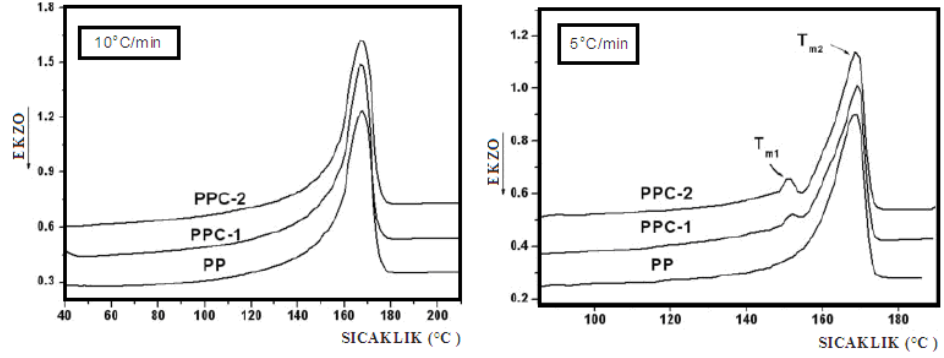
4) Weitao Wan, Demei Yu, Yunchuan Xie, Xiusheng Guo, Wandu Zhou, Jiping Cao 2005 yılında yapmış oldukları çalışmada PP/CaCO₃ nanokompozitlerinin kristalizasyon davranışı ve mekanik özelliklerinin iyileştirilmesinde nanopartikül boyutunun etkisini incelemiştir.

CaCO₃ molekülü CA-1 ve CA-2 modifiye edilerek, eriyik karışım yardımıyla hazırlanmıştır. TEM çalışmalarında PP matrisindeki nanopartiküllerde CA-2'nin dağılımı CA-1'den daha iyidir.

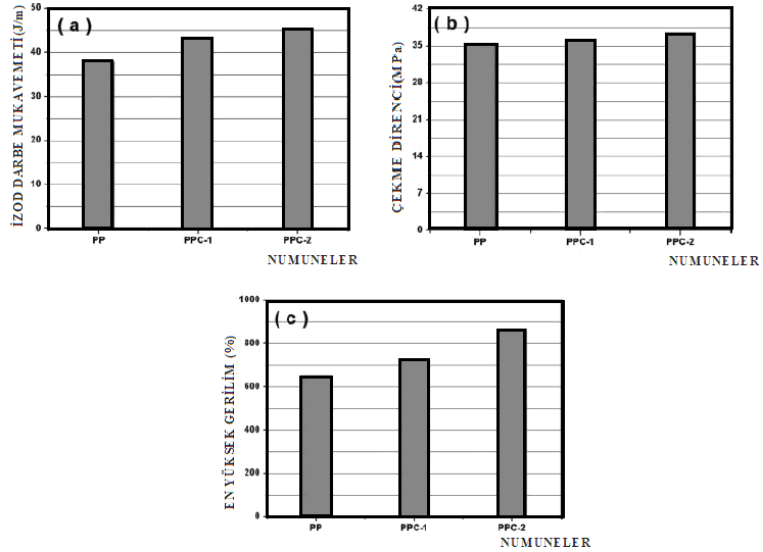


Şekil II.12 PP/CaCO₃ Nanokompozitlerinin TEM Görüntüleri a) Az Büyütülmüş ve b) Çok Büyütülmüş Hali [39]

DSC çalışmaları PPC-2'nin başlangıçtaki kristalizasyon sıcaklığı yaklaşık 3°C'den azdır. CaCO₃ nanopartikülleri karakterizasyon yöntemini etkilemektedir. Bu da kristallliği engellemektedir. Bu nedenle, önemli derecede farklılıklar görülmemektedir. PPC-2; PPC-1 ve saf PP 'den daha küçük sferulit yapı gösterir



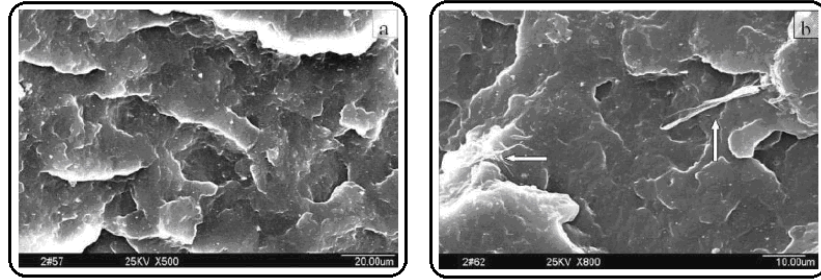
Şekil II.13 PP ve PP/CaCO₃ Nanokompozitlerinin DSC Eğrileri [39]



Şekil II.14 Saf PP ve PP/CaCO₃ Nanokompozitlerinin Mekanik Özellikleri [39]

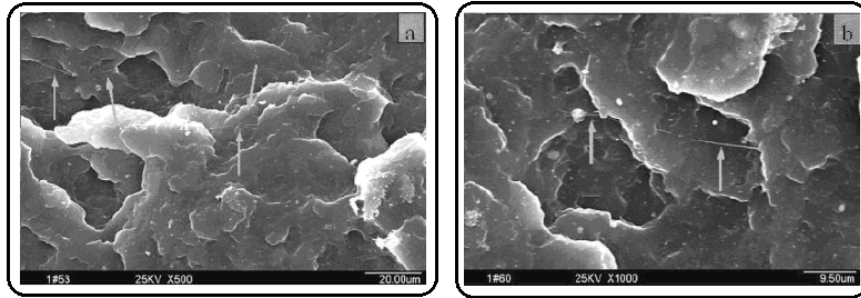
Saf PP ile PP/CaCO₃ nanokompozitlerinin mekanik özellikleri kıyaslandığında tümü iyileştirebilir. PPC-2'nin darbe mukavemeti, çekme direnci ve gerilimi yükselmiştir. PP matrisinde CaCO₃ nanokompozitleri sertleştirme ve güçlendirme etkisine sahiptir.

Şekil II.13'de PPC-2'nin darbe mukavemeti, çekme direnci ve gerilimi PPC-1'den yüksektir. CA-2 katkılı CaCO₃ nanopartikülleri PP/CaCO₃ nanokompozitlerinin sertleştirilmesiyle iyileştirilebilir etkiye sahiptir. Şekil II.15 ve II.16'da daha fazla bilgiye ulaşılabilir.



Şekil II.15 PPC-1'in Darbe- Kırılma Yüzeyinin SEM Fotoğrafları a) x500 Büyütme ve b) x1000 Büyütme [39]

Şekil II.15a'da 100nm boyutunun altında olan nanopartiküller eşit oranda PP matrisinde dağılmıştır. Nanokompozitin mikro yapısı faz ayrışmasını gerçekleştirir. Şekil II.15a'da stres - konsantrasyon bölgeleri kırılan yüzeylerde açıkça görülür. Nanokompozitlerin sertleşmesinde azalmaya sebep olur.



Şekil II.16 PPC-2'nin Darbe-Kırılma Yüzeyinin SEM Fotoğrafları a) x500 Büyütme ve b) x1000 Büyütme [39]

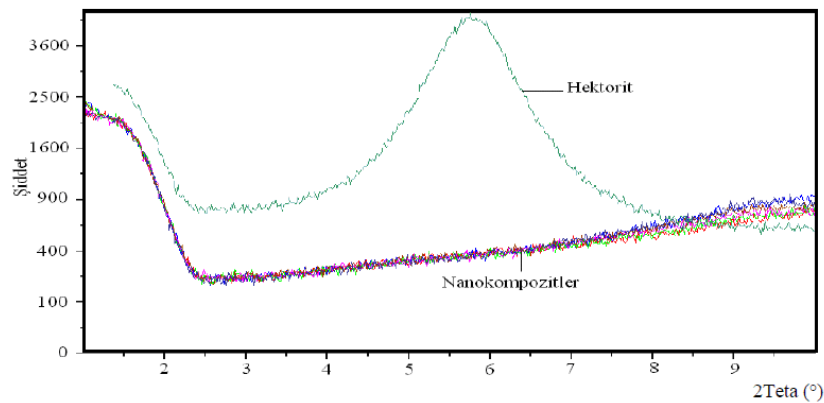
Şekil II.15a ile Şekil II.16a karşılaştırıldığında CaCO_3 , kırılan yüzeyde neredeyse kalmamıştır ve stres-konsantrasyon bölgeleri incelenmiştir. Ayrıca, araştırılan mikrogörüntünün adı ‘drawing silk’ olduğu belirtilmiştir.

PPC-2’de PP ve nanopartikül arasındaki arayüzey etkileşimi de iyidir. PP esaslı nanokompozitin sertliği direkt olarak sferilitlerin küçük boyutlu olması ve β -faz kristal oluşurmasıyla alakalıdır. Küçük sferilit boyutlu olan yüklenen darbe enerjisini absorblar. PP’nin β -faz kristal yapısı, α -faz kristal yapıdan daha büyüktür.

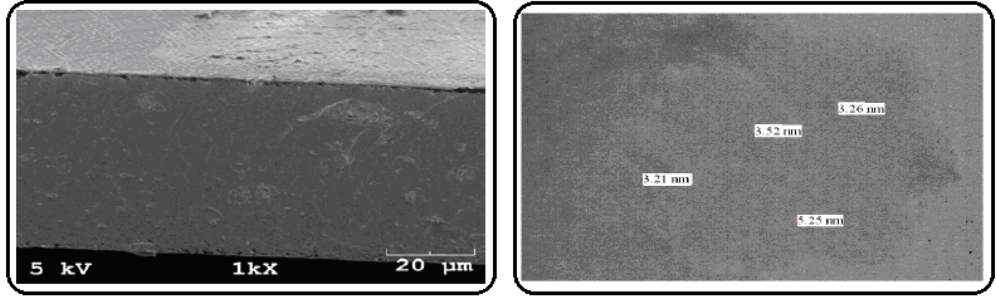
Mekanik özellik sonuçlarına göre, PPC-2 sertliği PPC-1’den daha iyidir. XRD analizde CA-2 ile modifiye edilmiş CaCO_3 nanopartikülleri sinerjik etki gösterirler ve zayıf sferulit morfolojiye sahiptir. Mekanik özelliklerinin iyileştirilmesiyle β - faz kristal yapı göstermesine sebep olurlar [39].

5) M. Özgür Seydibeyoğlu, F. Seniha Güner 2009 yılında yapmış olduğu çalışmada Poliüretan-hektorit nanokompozitlerinin hazırlanması ve karakterizasyonu ile ilgili araştırmalar yapmıştır.

Çalışmadan elde edilen en önemli sonuçlardan biri poliüretan-hektorit nanokompozitlerinin, hektoritin saflaştırılmadan ve modifiye edilmeden hazırlanabilmesidir. Bir diğer önemli sonuçta, birçok polimer-kil çalışmasının aksine %10 ve %15 gibi kil oranının yüksek olduğu kompozitlerde de delamine yapının elde edilmesidir. X-ray, SEM ve TEM analizleri ile kilin delamine şekilde polimer yapısına katıldığı gösterilmiştir.



Şekil II.17 Kil ve Nanokompozitlerin X-Işını Desenleri [40]



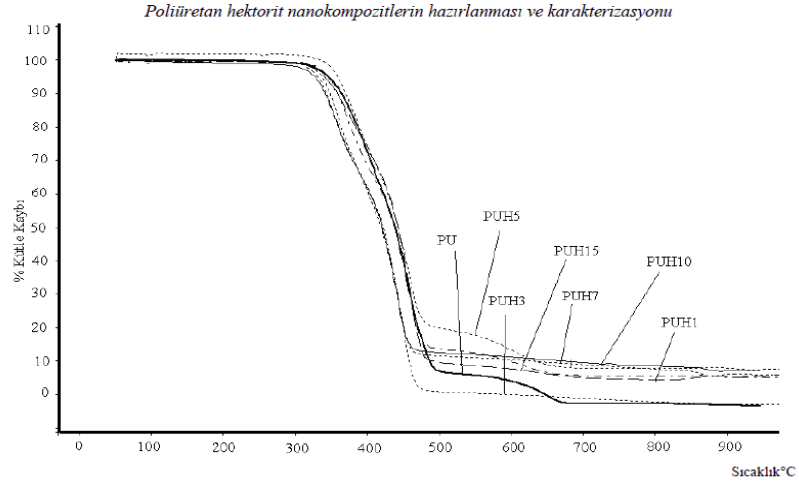
Şekil II.18 PUH7'nin SEM Görüntüsü ve PUH7'nin TEM Görüntüsü [40]

Kil tabakalarının poliüretanda dağılması ile ilgili bilgi X-ışınları analizi yöntemiyle elde edilmiştir.

Şekil II.17'de gösterilen X-ışınları desenlerinde 5.6° 'de kil piki görülmüştür. Tüm kil konsantrasyonlarında kil pikinin polimer-kil kompozitlerinde görülmemesi kil tabakalarının polimerde tamamen dağıldığının bir göstergesi olarak yorumlanabilir. Kırınım elde edilebilmesi için gerekli olan kristal yapı, kil tabakalarının polimer içerisinde dağılmasıyla bozulmuştur. Bu sonuçlardan delamine nanokompozitler elde edildiği sonucuna varılabilir. Bu sonuçlar SEM ve TEM çalışmalarıyla desteklenmiştir.

Ağırlıkça % 7 hektorit içeren SEM fotoğrafı ve TEM fotoğrafı Şekil II.18.'de görülmektedir. SEM fotoğrafında kil taneciklerinin görülmemesi ve TEM fotoğrafında kil tabakalarının dağınık yapısı, hazırlanan kompozitin tamamen delamine yapıya sahip olduğunu göstermektedir. Tüm konsantrasyonlar için benzer sonuçlar elde edilmiştir.

Herhangi bir organik yüzey aktifiyle modifiye edilmeden, hektoritin poliüretanda dağılarak delamine yapıları nanokompozit hazırlanabilmesinde iki etmenin çok önemli olduğu düşünülmektedir. Poliüretan-hektorit nanokompozit hazırlanabilmesinde birinci önemli etken, hektoritin DMF ile şişebilme özelliğinde olmasıdır. İkinci önemli etmen ise poliüretanın, poliolefinlerin aksine hidrofilik olmasıdır.



Şekil II.19 PU ve Nanokompozitlerinin TGA Sonuçları [40]

Yapılan TGA çalışmasında, 300-600°C arasındaki sıcaklıklarda poliüretan nanokompozitlerinin katkısız poliüretana göre kalan nihai kütle miktarı, artan kil miktarı ile artmaktadır

Tablo II.3 Çekme Mukavemeti Sonuçları [40]

Numune	Çekme Mukavemeti (MPa)
PU	508.642
PUH1	557.971
PUH3	727.273
PUH5	884.058
PUH7	108.586
PUH10	913.636
PUH15	667.098

Hektorit katkılı ve katkısız malzemelerin çekme mukavemeti test sonuçları Tablo II.3’de verilmiştir. Bu sonuçlara göre en iyi mukavemete %7 kil içeren nanokompozitin sahip olduğu görülür. Saf poliüretanla karşılaştırıldığında % 7 katkılı kompozitte mukavemet yaklaşık %113.5 artmıştır. Bunun nedeni poliüretan ile hektoritin oluşturduğu güçlü hidrojen bağlarıdır.

Mekanik değerlerin artış göstermesi poliüretan malzemesinin kullanım sahasının arttırılmasına neden olacaktır. %7’den sonra kilin kompozitteki oranı artmasına rağmen mukavemet değerleri düşmektedir. Bunun da sebebi killerin yoğunlaşması ve polimerin yapısını bozmasından kaynaklanmaktadır.

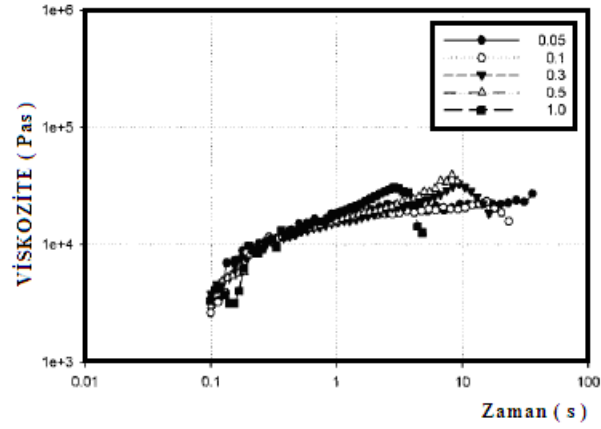
Başarılı delamine polimer-kil nanokompozit yapısı elde edilmesiyle polimerin mekanik mukavemeti artmış, ısıl özellikleri gelişmiştir. %3 kil eklenmesiyle polimerin mukavemeti %43, %7 kil eklenmesiyle ise %113 artmıştır.

En yüksek mukavemet değerine sahip nanokompozitin % 7 hektorit içeren PUH7 olduğu belirlenmiştir. Bu çalışmanın sonuçları endüstriyel ürünlerin üretimi için kullanıldığında hem ürün özellikleri hem de Türkiye’nin kaynaklarının kullanılması bakımından büyük kazançlar sağlanacaktır [40].

6) Seung Hwan Lee, EunNaRi Cho, Jae Ryoun Youn 2006 yılında yapmış oldukları çalışmada uzama ve kayma akışında eriyik karışımı yardımıyla PP/tabakalı silikat nanokompozitlerin reolojik davranışlarının hazırlanmasını incelemişlerdir.

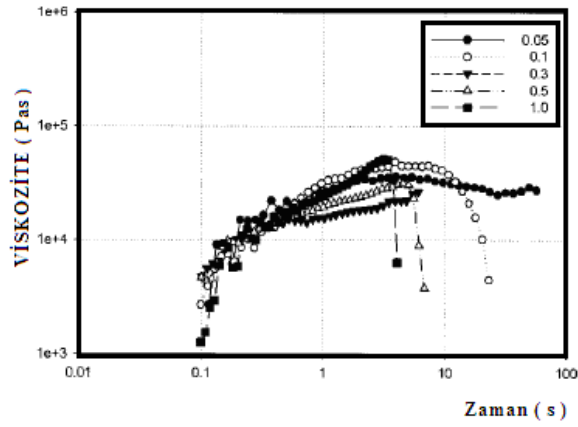
Ayrılmış olan eriyik nanokompozitlerinin işlenebilirliği, reolojisi ve morfolojisinin araştırılması için PP-g-MAH uyumlaştırıcı kullanılarak PP/tabakalı silikat nanokompozitleri hazırlandı.

Reolojik zelliklerine bakıldığında sağlam olduğu ve kayma viskozitesine sahip olduğu görüldü. Uyumlaştırıcı kullanılarak oluşturulan eriyik reoloji, düşük kayma oranı ve akışı ile organik kil dağılımının 3 boyutlu durumunu mikroyapıda gösterdiler. Yüksek kayma oranları, kırılmalar ve materyaller eğilme davranışı göstermiştir. PP/tabakalı silikat nanokompozitler, üstün katılaşma davranışı gösterirler ve eriyik işlenebilirliği yükselmiştir. Katılaşmayla tabakalı silikat ve PP matrisinde moleküllerin ve uyumlaştırmanın iyi dağılımı sağlanmıştır. Molekül arası bağ PP reçinesinde polimer zincirinin hareketini sınırlandırabilir. Eriyik akışı ve viskoziteyi etkiler.



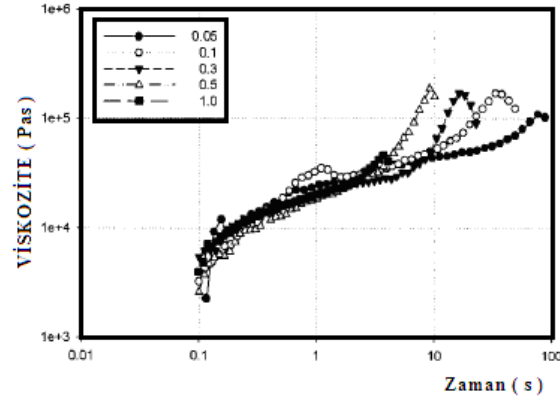
Şekil II.20 Saf PP Eriyiğinin Viskozite-Zaman Grafiği [41]

Uzama viskozitesi doğrusal olarak yükselir ve sabit duruma ulaşamaz. Gerilme-sertleşme olmamıştır.



Şekil II.21 Değişik Gerilme-Uzama Oranlarında Eriyik Halde Uyumlaştırılmayan Nanokompozitin Viskozite-Zaman Grafiği [41]

Uyumlaştırılmayan kompozitin süreksiz uzama viskozitesidir. Saf polimer matrisi, uyumlaştırılmayan sıradan kompozitin gerilme- sertleşme davranışdır.



Şekil II.22 Farklı Uzama Gerilimi Oranında Uyumlaştırıcı Eriyik Nanokompozitleri [41]

Uyumlaştırılan kompozitin lineer olmayan viskozitesidir. Uzama viskozite eğrisi ilk başta basittir ve lineer viskozite görülür. Deformasyondan sonra, eğri eğim verir ve hızlanarak yükselir. Uyumlaştırılan kompozitin gerilme-sertleşme davranışı farklı uzama oranlarındaki davranışı gösterir. Akış içerisinde PP matrisi ve organokil partikülleri ile etkileşerek yükselir.

Lineer PP'nin uzama viskozitesi gerilme-sertleşme davranışı gösterememiştir. 3 boyutlu yapı üretildiği sırada karışım eriyikti, eriyik içinde engeller olmuştur ve oran azalmıştır.

Genel olarak, daha fazla ağ zincire eklendi. Bu da yüksek gerilme-sertleşme davranışı demektir. Uyumlaştırılan nanokompozitin viskozitesinin gerilme-sertleşme davranışı azalmıştır. Gerilme-sertleşme davranışı işlenebilirlikle alakalıdır [41].

7) M. L. López-Quintanilla, S. Sánchez-Valdés, L. F. Ramos de Valle, F. J. Medellín-Rodríguez 2005 yılında yapmış oldukları çalışmada PP/kil nanokompozitlerin kil dağılımının uyumlaştırıcıların üzerindeki etkisini incelemişlerdir.

Modifiye PP nanokompozitleri elde edilmiştir ve 3 farklı kil kullanılmıştır. PP-g-GMA ve PP-g-MA, PP-g-AA göre daha iyi uyum sağlanmıştır.

Tablo II.4 Mekanik Özellik Tablosu [42]

NUMUNELER	MODÜLLER (MPa)	ÇEKME MUKAVEMETİ (MPa)	KIRILMA UZAMASI (%)	İZOD DARBE MUKAVEMETİ (J/m)
PP	1182 ± 28	32 ± 0.7	85	12.0 ± 0.3
PP/PP-g-MA	1190 ± 19	30 ± 1.0	90	13.2 ± 0.5
PP/PP-g-GMA	1188 ± 37	32 ± 0.5	85	12.5 ± 0.8
PP/PP-g-AA	1197 ± 31	31 ± 0.7	85	13.2 ± 0.3
PP/PP-g-MA4,Na+	1259 ± 42	32 ± 0.4	35	11.6 ± 0.2
PP/PP-g-MA2, 20A	1523 ± 15	35 ± 0.3	70	18.9 ± 0.3
PP/PP-g-MA4, 20A	1630 ± 21	38 ± 0.9	65	18.6 ± 0.5
PP/PP-g-MA6, 20A	1650 ± 35	39 ± 0.7	65	17.5 ± 0.8
PP/PP-g-MA4, 30B	1395 ± 32	34 ± 0.5	55	12.1 ± 0.3
PP/PP-g-GMA4, Na+	1308 ± 39	32 ± 0.9	45	12.9 ± 0.8
PP/PP-g-GMA 2, 20A	1519 ± 24	34 ± 0.5	70	18.5 ± 0.2
PP/PP-g-GMA 4, 20A	1602 ± 41	36 ± 0.6	60	17.7 ± 0.4
PP/PP-g-GMA 6, 20A	1629 ± 19	38 ± 0.7	55	16.8 ± 0.7
PP/PP-g-GMA4, 30B	1351 ± 22	33 ± 0.2	55	13.2 ± 0.5
PP/PP-g-AA 2, 20A	1289 ± 20	31 ± 0.4	55	15.3 ± 0.3
PP/PP-g-AA 4, 20A	1400 ± 25	33 ± 0.4	50	14.9 ± 0.7
PP/PP-g-AA 6, 20A	1425 ± 33	34 ± 0.7	50	13.5 ± 0.5

Uyumlaştırıcı, nanokiller ve uygulama yöntemi mekanik özellikler hakkında bilgi verir. Young modülünün değeri %2-6 kil içeriği ile yükselir.

Mekanik performansa kil etki eder. Poliolefinin natürel halinin önemi ve kilin iyileştirilmesi yöntemi mekanik performansta farklılık oluşturabilir. MA ve GMA her ikisinde, AA'dan daha polardır. MA ve GMA iyi uyumlaştırıcı etki gösterir.

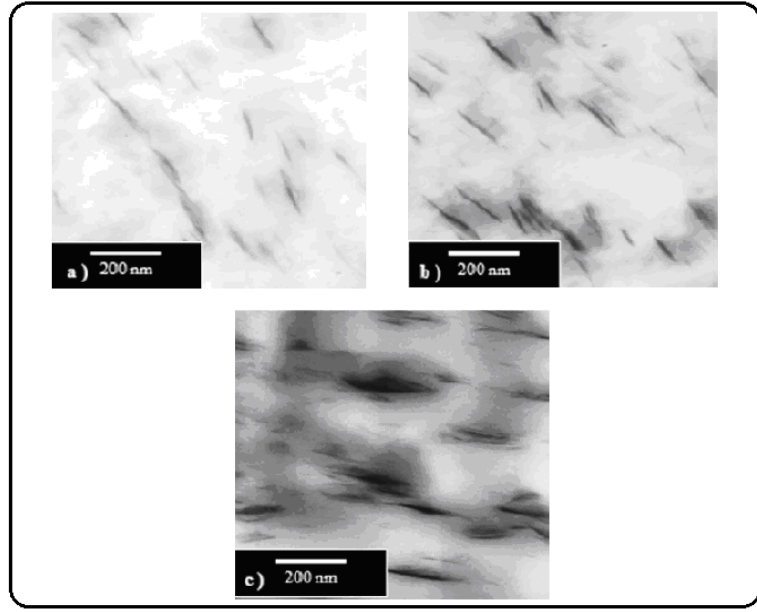
Kırılma uzaması değerleri genellikle polimerlerin kullanım süresini düşürür ve nanokompozitin uzamasındaki azalmayı gösterir ve bu davranış geneldir. Kil, deformasyon kapasitesini olumsuz etkiler. PP 'ye kil eklenmesiyle çekme modülü ve çekme mukavemetini iyileştirilir; fakat kırılma uzamasında mutlaka ikili ajanlar kullanılır.

Çentikli Izod Darbe Mukavemeti değerleri genellikle nanokompozitin darbe mukavemetini de yükseltir. Darbe direncinde yüksek değerler görülür. Darbe direncinde kilin etkisi vardır.

Nanokompozitlerin mekanik özelliklerinin analizinde uyumlaştırıcı ajanların etkisi görülür. GMA ve MA, AA'dan çok uyumlaştırıcı etki gösterir. Çünkü farklı polarlık sahip olduklarından iyi mekanik performans young modülünde ve darbe mukavemetinde kendini gösterir.

Organokilin direkt vulkanizasyonunda soyulma oluşmuştur. Mekanik özellikleri yönünden iyi uyuma göstermiştir; fakat kil tabakaları soyulmuştur. MA ve GMA numunelerinde tek tabaka halinde yayılır.

MA ve GMA nanokompozitlerinde yüksek derecedeki çatlak yapı görülür ve AA'ya göre tabaka halinde soyulan yapıya sahiptir. Soyulma gerçekleştiği için PP-g-MA, PP-g-GMA 'ya tercih edilir. Şekil II.23'deki fotoğrafta da PP-g-MA ve PP-g-GMA kullanılmıştır ve zayıf istiflenmiş tabaka yapısı ince ince ayrılmıştır.



Şekil II.23 PP Nanokompozitlerinin TEM Görüntüleri
a) PP/ PP-g-MA, b) PP/PP –g- GMA, c)PP/PP-g-AA [42]

PP matrisi içerisindeki kil birleşimi ısı kararlılığı arttırmıştır. Kil dağılımı ve arayüzey adhezyonu, matris modifikasyonuna etki etmiştir. Kil modifikasyonu ve yönteminin ikisinde de kil tabakalarının nanometrik ve homojen dağılımı sağlanmıştır. Polar grupların saflığı ve reaktifliği, iyi arayüzey adhezyonu ve sonraki mekanik performansı hakkında bilgi verir. Bir sefer karıştırmada pul pul dökülme gösterirken, iki defa karıştırmada iyi dağılım gösterdiği görülür [42].

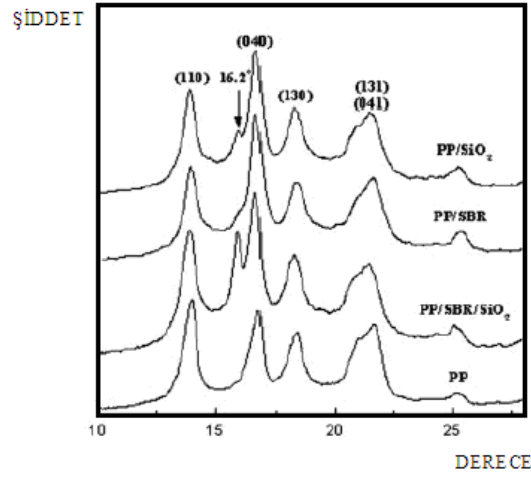
8) Wei-Zhi Wang, Tianxi Liu 2007 yılında yapmış oldukları çalışmada Stren-butadien kauçuğu ve silika nanopartikülleri ile PP kompozitlerinin sinerjistik olarak takviyelendirilmesinin mekanik özellikleri ve morfolojisini incelemişlerdir.

PP içindeki SiO₂ ve SBR nanopartiküllerinin sinerjistik olarak birleşmesi matrisin mekanik özelliklerini özellikle çentikli Izod Darbe Mukavemetini önemli ölçüde geliştirerek etkilemiştir. Nanopartiküllerin dağılımı darbeyi artırır.

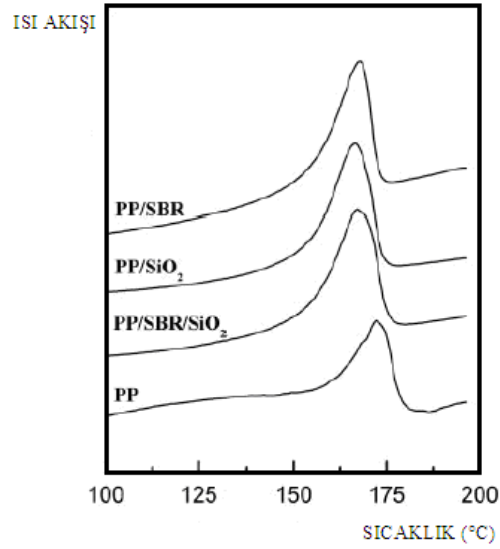
Tablo II.5 Polimer Nanokompozitin Mekanik Özellikleri [43]

NUMUNELER	KARIŞIM AĞIRLIĞI (g)			ÇEKME DİRENCİ (MPa)	KIRILMA UZAMASI (%)	MODÜLLER (MPa)	DARBE MUKAVEMETİ (kJ/m ²)
	PP	SiO ₂	SBR				
PP/SiO ₂ /SBR	80	5	7	38.8	84	841	10.3
PP/SiO ₂	80	5	0	44.0	40	1005	7.8
PP/SBR	80	0	7	34.1	324	820	6.0
PP	100	0	0	34.0	28	812	3.0

X- ışınları verileri PP/SBR/SiO₂ nanokompozitin darbe mukavemetinin oluşumu için β -tipi kristal yapı rol oynar.



Şekil II.24 WAXD Değerleri [43]



Şekil II.25 DSC Eğrisi [43]

PP/SBR, PP/SiO₂ ve PP/SBR/SiO₂ nanokompozitleri için DSC eğrilerinin sıcaklıkları 100–200°C üzerinden başlar. Nanopartiküllerin eklenmesiyle PP kristallliği bozulmuştur. PP/SBR/SiO₂ nanokompozitleri kristallliğe etkisi çoktur. PP’de SiO₂ ve SBR nanopartiküllerinin birleşimi, matris içerisinde dağılarak iyileştirilmiştir. PP kristallliği mükemmeldir.

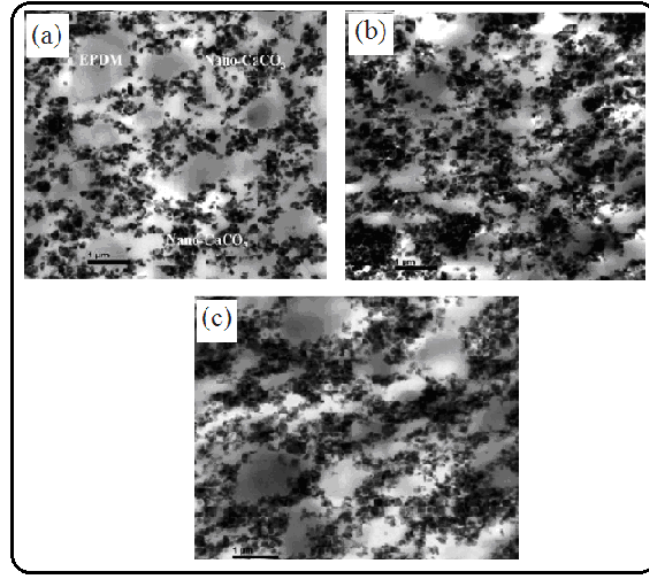
SEM cihazında kompozitlerin kırılma yüzeyinde gösterdiği PP/SBR/SiO₂ kompozitinde SiO₂ ve SBR nanopartiküllerinin dağılımı homojendir. Isısal analiz sonuçları PP/SBR/SiO₂ nanokompozit yöntemi, PP/SiO₂ ve PP/SBR’nin ısısal kararlılığından yüksektir [43].

Tablo II.6 TGA Verileri [43]

NUMUNELER	KARIŞIM AĞIRLIĞI (g)			ÇEKME MUKAVEMETİ (MPa)	KIRILMA UZAMASI (%)	MODÜLLER (MPa)	DARBE MUKAVEMETİ (kJ/m ²)
	PP	SiO ₂	SBR				
PP/SiO ₂ /SBR	80	5	7	38.8	84	841	10.3
PP/SiO ₂	80	5	0	44.0	40	1005	7.8
PP/SBR	80	0	7	34.1	324	820	6.0
PP	100	0	0	34.0	28	812	3.0

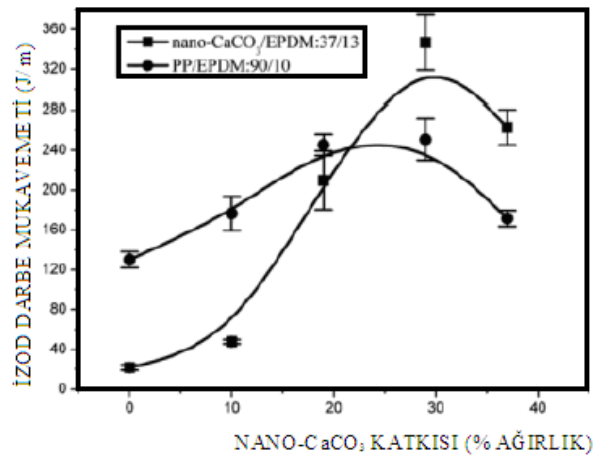
9) Xu Wang, Ke-Jie Xu, Xiang-Bin Xu, Soo-Jin Park, Seok Kim 2008 yılında yapmış oldukları çalışmada yüksek nano-CaCO₃ içeren nano-CaCO₃/EPDM/PP polimerinin partikül dağılımı ve mekanik özelliklerini incelemişlerdir.

Yüksek nano-CaCO₃ içeren nano-CaCO₃/EPDM/PP kompozitleri 2 defa karıştırılmıştır. Darbe mukavemeti, faz morfolojisi ve arayüzey gerilimi araştırılmıştır. TEM verilerinde, EPDM’den PP matrisine ilk nano-CaCO₃ partikülleri taşınmakta olduğu görülmektedir ve sonra PP’den EPDM ‘ye 2. defa karıştırıldığında azalan karışımla faz dağılmıştır.



Şekil II.26 Nano-CaCO₃/EPDM/PP'nin Faz Yapılarının TEM Görüntüleri [44]

İki defa karışım yapılmış nano-CaCO₃/EPDM/PP kompozitlerin Şekil II.26.'da gösterilmiştir. Açık renkli olan kısımlar PP matrisini gösterir. Gri ve koyu renkli kısımlar EPDM faz dağılımını ve nano-CaCO₃ partiküllerini gösterir. Şekil II.26. (a) 5 dk karıştırıldıktan sonra biraz EPDM fazı civarında dağılmışken nano-CaCO₃, PP matrisinde bulunur. Şekil II.26.(b) karıştırılma süresi artırıldığında, nano-CaCO₃ partikülleri PP matrisinden EPDM'ye göç eder. Şekil II.26.(c) 25dk sonrasında, iki kere karıştırılır. Nano-CaCO₃ partikülleri EPDM fazının etrafında dağılmış haldedir. TEM sonuçlarında, EPDM fazın etrafında dağılmışken, arayüzey de fibrilize olmuştur ve adhezyon kaybı olarak mikromekanik deformasyon olarak görülmüştür.



Şekil II.27 Nano- CaCO₃/EPDM/PP Kompozitlerinin Izod Darbe Mukavemeti [44]

Nano-CaCO₃ içeren darbe mukavemetinin etkisi, iki defa karıştırılarak şekilde gösterilmiştir. Nano-CaCO₃ yüklenmesinin artmasıyla 3'lü kompozitin darbe mukavemeti ve Izod Darbe Mukavemeti önemli ölçüde artmıştır. Sonuç olarak, nano-CaCO₃/EPDM/PP kompozitlerinde nano-CaCO₃ partikülleri ile EPDM arasında sinerjistik sertleşme etkisi olmuştur.

Mikro morfoloji bakıldığında nano-CaCO₃ arasında arayüzeyde ve PP matriste nano fibriller fazladır ve gösterilmiştir. Enerji dağılması olmuştur. Nano-CaCO₃ ve Izod Darbe Mukavemeti arasındaki konsantrasyon incelenmiştir. Azalan nano-CaCO₃ konsantrasyonu, üçlü konsantrasyonun sertliğini azaltır. Nano-CaCO₃ %29 ağırlık içerirken nano-CaCO₃/EPM/PP kompozitlerinin darbe mukavemeti maksimum değerlere ulaşır [44].

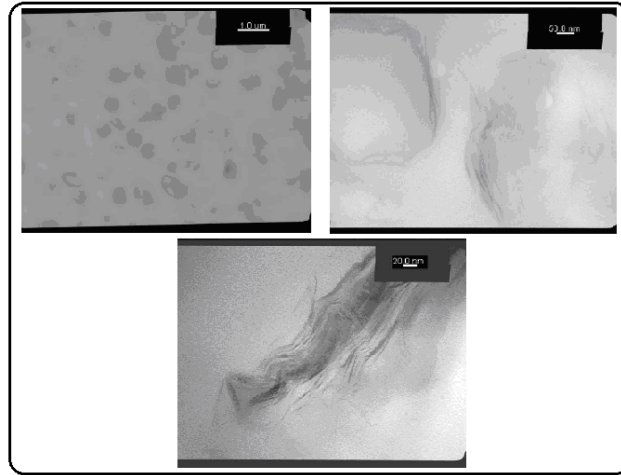
10) A. Somwangthanaroj, W. Ubankhlong, W. Tanthapanichakoon 2009 yılında yapmış oldukları çalışmada Polipropilen/Naylon6/kil Nanokompozitlerinin katı halde mekanik özelliklerini incelemişlerdir.

İstenilen şekilde sonuç alınmış olan çalışmada uyumlaştırıcı ve organokil kullanımı mekanik, ısısal, termomekanik ve reolojik özellikler üzerinde önemli etkiye sahiptir. Bunun yanı sıra nanokompozitlerin mikro yapısına da etkisi vardır. Uyumlaştırıcılar PP ve PA₆ fazlarının kristalizasyonunu kısıtlandırmıştır; fakat kristal yapısında değişiklik olmamıştır. Bu nedenle, arayüzey adezyonları arasındaki polimer fazlar tarafından iyileştirilir. Katı halde nanokompozitin mekanik özellikleri önemli ölçüde iyileştirilmiştir. PP-MA'nın düşük molekül ağırlığı ve maleik anhidritin ayrılmasına rağmen PP-MA uyumlaştırıcılar yükseldikçe nanokompozitin Camsı Geçiş Sıcaklığı (T_g) düşmüştür. Organokilin birleşmesi, çekme modülünü iyileştirir. OMMT az yüklenmesiyle Camsı Geçiş Sıcaklığı (T_g) yükselmiştir.

Tablo II.7 PP/ PA₆ Karışımları ve Nanokompozitlerin Mekanik Özellikleri ve Kristallik Derecesi [45]

NUMUNELER	PP'nin Kristallik Derecesi (%)	PA ₆ 'nın Kristallik Derecesi (%)	Çekme Modülleri (GPa)	Çekme Direnci (MPa)	Kırılma Uzaması (%)	Eğilme Modülleri (GPa)	Eğilme Direnci (MPa)	Darbe Enerji (J/m)
S/0/0	59.31	38.79	1.21 ± 0.04	33.8 ± 1.03	8.22 ± 1.20	1.93 ± 0.05	30.35 ± 0.69	9.85 ± 0.23
S/0.5/0.5	42.10	9.12	1.58 ± 0.05	37.8 ± 0.96	7.60 ± 1.57	2.36 ± 0.06	35.05 ± 0.99	8.55 ± 0.56
S/1/0.5	45.19	8.75	1.56 ± 0.03	37.4 ± 0.58	7.64 ± 0.41	2.42 ± 0.04	35.46 ± 0.62	9.89 ± 1.36
S/2/0.5	42.07	8.17	1.51 ± 0.03	36.8 ± 0.74	7.15 ± 0.61	2.66 ± 0.06	41.27 ± 0.71	8.96 ± 0.53
S/3/0.5	41.07	8.35	1.46 ± 0.04	36.3 ± 0.21	6.95 ± 0.47	2.47 ± 0.05	36.78 ± 0.50	9.99 ± 0.70
S/2/0	45.72	9.57	1.46 ± 0.03	34.0 ± 0.38	16.13 ± 0.95	2.54 ± 0.07	38.59 ± 0.77	10.27 ± 0.67
S/2/1	41.95	7.98	1.68 ± 0.03	39.9 ± 0.29	5.12 ± 0.17	2.68 ± 0.05	41.24 ± 1.11	8.06 ± 0.29
S/2/1.5	44.52	7.91	1.89 ± 0.06	34.0 ± 0.73	4.16 ± 0.15	2.77 ± 0.05	38.23 ± 1.08	7.75 ± 0.44

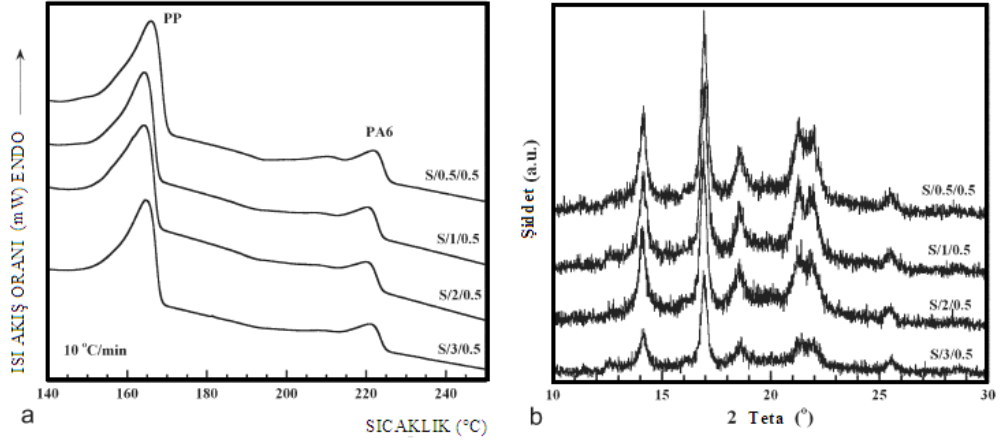
Nanokompozitlerin mekanik özellikler üzerinde organo (OMMT) etkisine göre örnek olarak çekme, eğilme ve darbe özellikleri tabloda verilmiştir. Eklenmiş OMMT nanokompozitlerinin çekme modülü artmıştır. Yükselen çekme modülü, stres altındaki polimer zincirinin molekül hareketliliğini azaltır. Diğer taraftan eklenmiş organokil, kırılma uzamasını azaltmıştır.



Şekil II.28 PP/ PA₆ Polimer Nanokompozitin TEM Görünümleri [45]

XRD ve TEM cihazında, kalan tabakalı silikat yığılmıştır ve PP/PA₆ arayüzeyine dayanmıştır. Sonuçta, kırılma uzaması düşmüştür. Tablo II.5'deki listede nanokompozitin darbe testi değerleri, kırılmadan önce enerjinin absorblanma yeteneğine sahip olduğunu gösterir. Malzeme serttir. OMMT'in artması, nanokompozitlerin darbe enerjisini düşürmüştür.

Eklenmiş OMMT, nanokompozitlerin homojen olmayan yapı göstermesi ile esnekliğin azalmasına sebep olur. Farklı OMMT içeren eğilme modülü ve eğilme direnci Tablo II.5.'de verilmiştir. Eğilme modülü, aynı çekme modülü gibi yükselmiştir. Nanokompozitin eğilme modülü sürekli olarak iyileşmesine rağmen eğilme mukavemeti OMMT içeriğinin yükselmesiyle düşer. Sonuç itibariyle eğilme modülü düşmüştür [45].



Şekil II.29 a)DSC Diyagramı b)XRD Diyagramı [45]

BÖLÜM III

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

III.1 DENEYSEL ÇALIŞMADA KULLANILAN MALZEMELER

Bu çalışmada, 50 nm, 1.5 μ ve 2.6 μ boyutlarındaki Mg(OH)₂ tozunu İzotaktik polipropilen (iPP) ile Tablo III.1 de görüldüğü üzere %2, %4, %6 ve %10 oranlarında ilave edilerek bir polimer kompoziti elde edilmiştir.

Tablo III.1 Mg(OH)₂ Katkılı Polipropilen (PP) Nanokompozitin Karışım Oranları

GRUPLAR	% P P	1.tip Mg(OH) ₂ (50 nm)	2.Tip Mg(OH) ₂ (1.5mikron)	3. tip Mg(OH) ₂ (2.6mikron)
1	100	-	-	-
2	98	2	-	-
3	98	-	2	-
4	98	-	-	2
5	96	4	-	-
6	96	-	4	-
7	96	-	-	4
8	94	6	-	-
9	94	-	6	-
10	94	-	-	6
11	90	10	-	-
12	90	-	10	-
13	90	-	-	10

III.1.1 Polipropilen (PP)



Şekil III.1.1 Polipropilen (PP) [46]

Polipropilen yarı şeffaf beyaz katı bir maddedir. 121°C'ye kadar sıcaklıklarda uzun süre kullanılabilir. Erime noktası 175 °C'dir. Bu nedenle polipropilen malzemeler sterilize edilebilir. Soğuk organik çözücülerde çözünmez, sıcak çözücülerde yumuşar. Birçok bükülmeden sonra dahi sertliğini korur. Antioksidant katılmadığı zaman ısı ve ışığın etkisi ile bozulur. Kolay bir şekilde renklendirilmez. İyi bir elektriksel dirence sahiptir. Düşük su absorpsiyonu ve geçirgenliği vardır. - 9.4°C'nin altında kırılmalıdır. Mantarlara ve bakterilere karşı dayanıklıdır. 60°C'ye kadar kuvvetli asitlere ve bazlara dayanıklıdır. Klor, nitrik asit ve diğer kuvvetli oksitleyiciler tarafından etkilenir. Yakılabilir fakat yavaş yanar. Zehirsizdir. Gıda tüzüğüne uygundur. Uygun şekilde modifiye edildiğinde iyi bir ısı dayanımına sahiptir. Metal kaplanarak, enjeksiyon veya şişirme kalıplama ve ekstrude edilerek kullanılır. Bugün dünyada 150 'den fazla polipropilen türü bulunmaktadır. Bu geniş tür dağılımının bulunması yaygın bir kullanım alanını da beraberinde getirir.

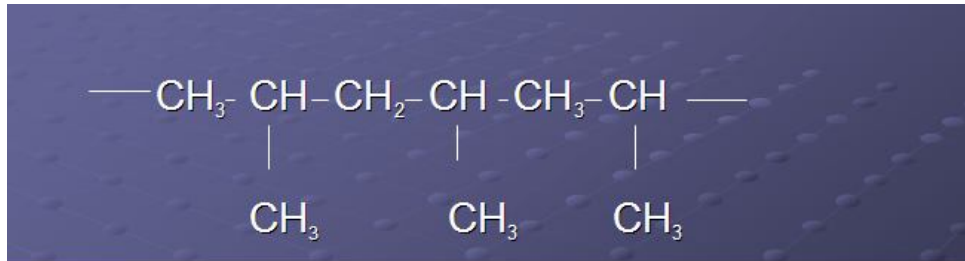
Polipropilen piyasada, paketlenme filmi, otomobil parçası, çeşitli el aletleri, ev eşyası, tel ve kablo kaplamasında gıda maddesi ambalajında, kaplama ve laminasyon malzemesi olarak, PVC ile şişelerde, baskı plakalarında, halı ve yer döşemesi yapımında halat ve çuval lifi üretiminde akü kabı imalatında, meşrubat şişesi kasalarında, laboratuvar donanımı yapımında, oyuncak yapımında, radyatör ızgaralarında, hassas cihaz kutularında, sentetik çim yapımında, plastik boru üretiminde, özel giysi üretiminde, balık ağlarında, şerit yapımında, sentetik kâğıt üretiminde mühendislik plastiği uygulamalarında, atılabilir filtre imalatında optik ve elektrik malzemeleri, seyahat eşyaları, profil, levha, halı, keçe, paspas ve ilaç ambalaj sanayinde yaygın olarak kullanılmaktadır [47].

III.1.1.1. Polipropilenin Yapısı

Polipropilen 1954 yılında Natta tarafından bulunmuştur. Monomer propilenin atomik yapısı $\text{CH}_2 = \text{CH}-\text{CH}_3$ şeklindedir. Ziegler-Natta katalizörleri olarak bilinen TiCl_3 katalizörü etkisinde aradaki çift bağ açılarak açık kalan uçlara $-\text{CH}_3$ ve $-\text{H}$ radikallerinin bağlanması sonucu polimer oluşur. Oluşan zincirin sonuna $-\text{H}$ radikali bağlandığı zaman zincir oluşumu sona erer. Buradan da anlaşılabildiği gibi polimerizasyon ortamında fazla hidrojen varsa polimer zincir uzunluğu kısa olur. Hidrojen azaldıkça oluşan zincir uzun olur. Zincir uzadıkça erime akış indeksi (MFI) azalır. MFI polimerin diğer bir anlamda viskozitesidir. MFI değeri arttıkça polipropilen yumuşar ve elastikiyeti artar. Polipropilenin yapısında atomlar dizili 5000 ile 10000 üniteden oluşur. Polimerizasyon esnasında üç tür polimer oluşur [47].

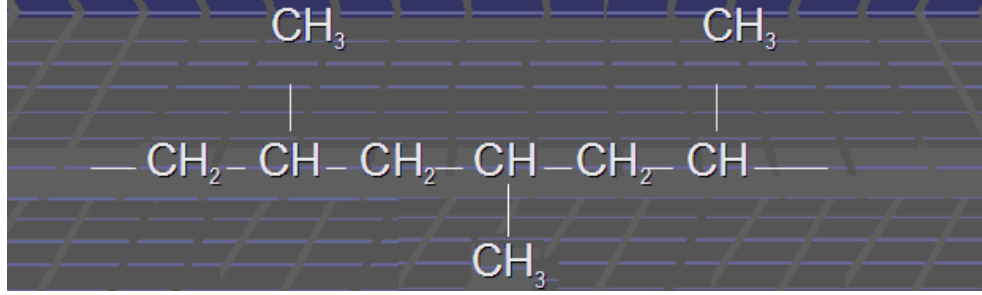
Bu polimerler;

III.1.1.1.1. İzotaktik Polipropilen: Tüm $-\text{CH}_3$ radikalleri üç boyutlu düzeyde tek tarafa sıralanır, alt düzlemde $-\text{H}$ radikalleri bulunur. Kristal yapıda bir polimerdir [47].



Şekil III.1.1.1.1 İzotaktik Polipropilenin Yapısı [48]

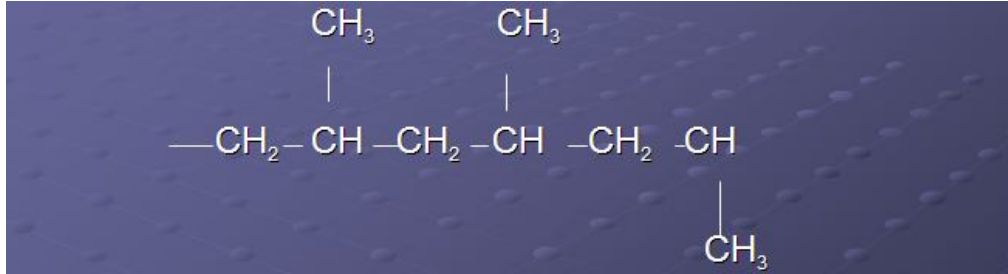
III.1.1.1.2. Sindiotaktik Polipropilen : - CH₃ radikalleri üç boyutlu düzeyde bir üst düzlemde bir alt düzlemde yer alır. Aralarda ise - H radikalleri bulunur. Bu da kristal yapıda bir polimerdir [47].



Şekil III.1.1.1.2 Sindiotaktik Polipropilenin Yapısı [48]

III.1.1.1.3. Ataktik Polipropilen : -CH₃ radikalleri üç boyutlu düzeyde her iki tarafta da gelişigüzel yerleşmiştir. Amorf yapıda bir polimerdir. Heptan ve hekzanda çözünür.

Polimerizasyon sırasında Ziegler-Natta katalizörlerinin aktivitesine bağlı olarak bu üç tür polimer de oluşur. Ortalama bir değer verilecek olursa %93 civarında izotaktik polimer, % 5.5 civarında sindiotaktik polimer ve % 1.5 civarında da ataktik polimer oluşur [47].



Şekil III.1.1.1.3 Ataktik Polipropilenin Yapısı [48]

III.1.1.2. Polipropilenin Genel Özellikleri

Polipropilenin özgül ağırlığı şu anda ticari olarak kullanılmakta olan tüm plastik malzemelere nazaran daha düşüktür. Aynı kalıba döküldüğünde polipropilen malzemeler daha hafiftir. MFI değeri artıkça çekme dayanımı artar. Bununla birlikte uzama ve darbe dayanımı azalır. Polipropilenin sıcaklıkla genleşmesi ve soğudukça büzülmesi polietilenlere nazaran çok küçüktür. Bundan dolayı nadiren deforme olurlar veya çatlarlar.

Polietilenler 80°C'de, polipropilen 120°C'de akmaya başlar. Polipropilenin su direncinin ise iyi olması neticesinde ürün buharla sterilize edilmeye uygundur. 120°C altındaki sıcaklıklarda uzun süre hizmet verir. Polipropilen oldukça iyi kimyasal dirence sahiptir. Konsantre sülfürik asit, nitrik asit, potasyum dikromat, kerosen ve karbon teraklörür haricinde tüm kimyasallara karşı dirençlidir. Polipropilen kristalin bir malzeme olmasına rağmen polietilenlerle kıyaslandığında daha iyi berraklığa sahiptir. 1.0 mm' ye kadar parlak bir görünüme sahiptir. 1.0mm' yi aşan enjeksiyon kalıplamalarda iç kısma doğru yetersiz soğutma meydana gelebilir. İç kısma doğru küresel kristaller oluşur, gelen ışık dağınık ve berraklık etkilenir. Bunu engellemek için ftalik anhidrit veya karboksilik radikallere sahip katkı maddeleri polipropilene katılmalıdır. Tablo III.1.1.2'de PP'nin özellikleri verildi [47].

Tablo III.1.1.2 PP'nin Özellikleri [47]

Özellik	Birim	Değeri	Test Metodu
Özgül ağırlığı	gr/cm ³	0.90-0.91	ASTM-D-1501
Kütleesel yoğunluğu	gr/cm ³	0.4-0.5	ASTM-D-392
Akmada genilme direnci	Kg / cm ² (23 °C)	300 - 350	ASTM-D-638
Kopma noktasında uzama	%	600 - 700	ASTM-D-638
Bükülme mukavemeti	Kg / cm ² (23 °C)	7500 - 8000	ASTM-D-747
Rockwell	R-Scale (23 °C)	90-94	ASTM-D-785
Su absorpsiyon hızı	% ağırlık kazancı	<0.03	ASTM-D-570
Dielektrik sabiti	x 10 ⁶ CS (10 °C)	2.2-2.3	ASTM-D-150
Dielektrik kaybı	x 10 ⁶ CS (18 °C)	0.0003-0.0010	ASTM-D-150
Voltaj direnci	Kv/mm	30-32	ASTM-D-149
Spesifik hacim direnci	Ohm-cm	<10 ¹⁰	ASTM-D-257
Termal iletkenlik	Kcal/ cm /cm ² sn /°C	2.7x10 ⁻⁷	
Spesifik ısı	grCal/gr/°C	0.46	
Termal genleşme katsayısı	mm/mm/°C	110 x 10 ⁶	ASTM-D-695
Deformasyon noktası	°C	120-130	ASTM-D-648
Yumuşama noktası	°C	165- 172	ASTM-D-648
Aside karşı direnci		Mükemmel	
Alkaliye karşı direnci		Mükemmel	
Çözücüye karşı direnci		Mükemmel	

III.1.1.3. Polipropilen Türlerinin Sınıflandırılması

Polipropilen türleri ilk olarak üç ana gruba ayrılır.

- Homopolimerler
- Kopolimerler
- Random kopolimerler

Homopolimerler sadece propilenin polimerizasyonundan elde edilirler.

Yapısı — P P P P P P P P P P —

Kopolimerler ise propilenin polimerizasyonundan sonra türe göre %4 – 14 arası etilenin polimerizasyonundan elde edilir.

Yapısı — P P P P P P P E E E E E —

Random Kopolimerlerde ise etilen oranı % 4'ün altındadır. Propilen ve etilenin beraber polimerizasyonundan elde edilir.

Yapısı — P P P E E P P P E E —

Polipropilen türleri ikincil olarak üç ana grubun altında MFI değerlerine göre ayrılır. MFI değeri ise reaktörde hidrojen konsantrasyonuna bağlıdır. Hidrojenin yanı sıra peletleme kısmında katkı maddelerine ilaveten organik peroksitler katarak MFI değeri ayarlanabilmektedir. MFI değeri aynı zamanda erimiş polimerin viskozitesidir. Düşük MFI olan türler daha serttir, MFI değeri yükseldikçe yumuşaklık artar. MFI değeri çok düşük olan uzun zincirli polimer reaktör sonrası organik peroksit ile kırılarak MFI değeri yüksek, iyi akıcılığı olan, dar molekül ağırlık dağılımlı türlerde üretilebilir [47].

III.1.2 Dolgu Maddesi

III.1.2.1. Dolgu Maddelerinin Özellikleri ve Malzemeye Etkisi

Dolgu maddeleri, yapı ve bileşimleri ile polimerlerden farklı olan ve plastiklere katı halde karıştırılan katkılardır. Polimerlerde kullanılan dolgu maddeleri, polimerlerin içinde;

- Çözünemeyen partiküllerden oluşur
- Uçucu olmayan
- İşleme derecesinde polimerle etkileşmeye girmeyen maddelerdir.

Bu tür katkılar başlangıçta sadece maliyeti düşürmek amacıyla kullanılmışlarsa da giderek takviye edici özelliklere sahip olanları da geliştirilmiştir.

Dolgu maddesinin polimerik yapıya etkileri şöyle özetlenebilir;

1. Kullanılan dolgu maddesinin yapısına ve miktarına bağlı olarak elastik modülü artar.
2. Polimerik yapının boyutsal kararlılığı artar.
3. Plastiklerin dolgu maddesi ile ıslanma bağlanma derecesi, dolgu maddesinin yapı ve şekline bağlı olarak da çekme gerilmeleri artar.
4. Plastiğin genleşme katsayısını düşürür ve kalıpta büzülmeyi azaltır.
5. Çarpma, yırtılma ve aşınma direnci artar. Sürünme azalır.
6. Camsı ve yüksek kristalin polimerlerde dolgu maddelerinin mekanik özelliklere önemli bir katkısı yoktur.
7. Isı ve elektrik iletkenliği istenilen yönde ayarlanabilir.
8. Ürün fiyatı önemli oranda düşer.
9. Plastiğin görünüşü değişir. Matlık-parlaklık verir. (partikül büyüklüğü arttıkça işlenmiş plastiğin yüzeyi matlaşır. Beyaz renkli dolgu maddesinin partikül büyüklüğü azaldıkça beyazlık artar.
10. Polimerin reolojik özellikleri değişir.

Bu katkılar genellikle inorganik maddelerdir.

Bu katkılar

- İnert
- Reaktif (etkin) olmak üzere ikiye ayrılır.

İnert dolgu maddeleri plastiklerin miktarını arttırmak ve fiyatı düşürmek amacıyla katılırlar. Buna karşılık reaktif (etkin) dolgu maddeleri plastiğe katıldıklarında bazı fiziksel ya da mekanik özelliklerin iyileştirilmesini ve gelişmesini sağlarlar. Bu nedenle reaktif dolgu maddelerine takviye edici (pekiştirici) katkılarda denmektedir.

Dolgu maddeleri sertleşme prosesi esnasında ve sertleşmiş halde reçine sisteminin özelliklerini değiştirmek için kullanılır. Dolgu maddelerinin kullanımından en üst düzeyde fayda sağlayabilmek için kalıplama prosesini ve son kullanım amacını göz önüne alarak dolgu tip ve gerekli miktar dikkatlice seçilmelidir.

En çok kullanılan dolgu maddeleri, tebeşir, arduvaz, kuartz kil gibi doğal kaynaklardan elde etmek, bunlar kuru veya yaş prosesle öğütülebilir ve ya kimyasal işlemlerle saflaştırılabilir.

Kullanılan diğer dolgu maddeleri arasında metal tozlar, cam kürecikleri ve pulları bulunmaktadır. Dolgu malzemesi seçiminde başlıca faktörler maliyet, yoğunluk, reçinenin dolgu maddesi miktarı, partikül çapı dağılımıdır. Dolgu maddesinin sıvı veya sertleşmiş reçine sisteminin özellikleri göz önünde bulundurulması gereken bir diğer faktördür [49].

III.1.2.2. Dolgu Maddeleri Katılırken Dikkat Edilen Özellikler

1. Dolgu maddesi toz halinde ise, uygun tane büyüklüğü ve dağılımı göstermelidir. Bu husus dolgu maddesinin kolay akması, tozutmaması gibi işleme sırasında arzu edilen bazı parametreleri etkilediği gibi içine katıldığı plastiğin fiziksel ve mekanik özelliklerinde yaratacağı etki açısından da önemlidir.
2. Dolgu maddesinin yüzey fiziği ve kimyası, içine katıldığı plastikte iyi bir etkileşim yaratacak şekilde olmalıdır. Zaman zaman dolgu maddeleri özel kimyasal maddelerle etkileştirilerek/ kaplanarak (coupling agents) yüzey kimya ve fiziksellere istenilen sonuçların alınmasını sağlayacak şekilde değiştirilmektedir.
3. İşleme sırasında, işleme makinesinin iç yüzeylerine aşındırıcı bir etki yapmamalıdır.
4. Plastik matris içinde homojen bir biçimde dağılabilmelidir.

5. İşlenmiş ürüne arzu edilen fiziksel ve mekanik özellikleri kazandırmalıdır.
6. Plastiğe katılması sırasında aşırı tozlaşma ve buna bağlı olarak ortaya çıkabilecek tehlikelerde olduğu gibi işçi ya da işyeri sağlığı ve güvenliğine ters düşecek özellikler taşımamalıdır.
7. Yeterince ucuz olmalıdır. Zira söz konusu maddelerin bir kısmı sırf maliyetin azaltılması amacıyla plastiğe katılmalıdır. Eğer aynı zamanda plastiğin özelliklerinin iyileştirilmesi söz konusu ise, sağlayacağı özellik iyileştirilmesi ile dolgu maddesinin fiyatı arasında iyi bir denge bulunmalıdır.

Yukarıda belirtilen özellikler içinde maliyet, en önemli unsuru oluşturmaktadır. Maliyeti yükselten bir dolgu maddesi, ancak zorunlu hallerde, plastiğin başka hiçbir biçimde takviye edilmediği durumlarda kullanılabilir [49].

III.1.2.3. Dolgu Maddesi Olarak Magnezyum Hidroksit $Mg(OH)_2$



Şekil III.1.2.3 Magnezyum Hidroksit Tozu [50]

Metal tozları olarak; alüminyum, bakır, kurşun, çinko, pirinç vs. metal tozları genellikle reçinelere katılır. Katı polimerlere katılması halinde polimerin toz halinde olması ve iyi bir karışım yapılması gerekir. Metal tozlarının plastiğe katılmasının amacı, ısı ve elektrikli özellikleri arttırmak ve plastiğin darbe dayanımını artırmaktır. Bunun dışında dekoratif amaçlar için katılır. Pul veya toz halinde çeşitli metaller ticari olarak bulunabilir.

Birçok mineral dolgu malzemelerinde daha pahalı oldukları için metal dolgu maddeleri ancak spesifik avantajlar sağladıkları zaman kullanılabilirler. Kitlesel yoğunlukları, partikül çapları ve biçimlerine bağlıdır ve yoğunluklarında çok düşük değerlerde olabilir.

Metalik dolgu malzemelerinin epoksi reçine sistemlerinin sertleşme mekanizmasında etkileri çok azdır ve hiç yoktur; fakat polyester reçine sistemlerinde sertleşmeyi çabuklaştırır ve ya geciktirir. Bundan dolayı dolgu olarak kullanılacak dolgu maddesinin sertleşme derecesi ve sertleşme özellikleri üzerindeki etkilerini göz önüne almak gerekir. Metal oksitleri olarak, alüminyum oksit, titan dioksit, çinko oksit, demir oksit, magnezyum oksit, antimon üç oksit vs. kullanılır.

Metal oksitleri de plastiğin sertliğini, ısıya karşı mukavemeti ve elektrik iletkenliği arttırmak için kullanılır. Polimer sistemlerinde çeşitli metal oksit dolgu maddesi olarak kullanılırlar [49].

Magnezyum hidroksit $Mg(OH)_2$; Magnezyum elementinin elde edilmesinde kullanılan bir cevherdir. Toprak Alkali Metallerinden Magnezyum ile Hidroksit iyonunun sentez reaksiyonu ile oluşur. Oldukça kuvvetli bir baz olup kimyagerler tarafından sıkça kullanılan başlıca kuvvetli bazlardan biridir. Suda %100 çözünürken, iyonlaşma oranı %99,87'dir. Titrasyonlarda ve iyonlaşmalarda 2 değerliklidir. Sentez reaksiyonları dışında Magnezyum metalinin hidritasyon yoluyla yükseltgenmesi sonucu da elde edilebilir. Ancak bu reaksiyonda tepkime veriminin düşük olması ve reaksiyon sonunda şiddetli hidrojen gazı çıkması nedeniyle bilim adamları Magnezyum Hidroksiti sentez reaksiyonu ile elde etmeyi tercih etmektedir [51]. $Mg(OH)_2$ 'in termal dekompozisyonunun yaklaşık $380^{\circ}C$ 'de başladığı ve $500^{\circ}C$ 'de tamamlandığı görülmektedir. $120^{\circ}C$ deki küçük endotermik pik, OH tabakası arasında tutulan absorbe suyun uzaklaşması nedeniyledir[52].

Magnezyum hidroksit organik birleşiktir. Süt görünümlü olduğu için sıklıkla magnezyum sütü olarak adlandırılır. Magnezya terimi, Charles Henry Phillips tarafından 1880 yılında kullanılmıştır ve Phillips'in magnezyum sütü olarak pazarlanmıştır. Magnezyum hidroksit ince beyaz toz halindedir. Hiçbir dolgu maddesi içermez. Topaklanmayı önleyici madde içerisinde bulunur. Magnezyum hidroksitin her molekül ağırlığında %42 magnezyum bulunur [53].

III.1.3 Kaydırıcı



Şekil III.1.3 Kaydırıcı [54]

İşlenebilirlik, kimyasal karakteristikleri ve son ürünün fiziksel özelliklerini etkileyen maddelerdir. Viskozitenin temeli polimer moleküllerinin arasındaki çekme kuvvetine dayanır. Kaydırıcılar bu kuvveti zayıflatır. Kaydırıcılar genellikle 2 sınıfa ayrılır;

- a) Dış etkili kaydırıcılar
- b) İç etkili kaydırıcılar

Dış etkili kaydırıcı metal yüzeyi ile polimer yüzeyi arasında bir film meydana getirir. İç etkili olanların en büyük özelliği plastiğin metalden ayrılmasını sağlamaktır. Ayrıca, kaydırıcılar polimer partikülleri arasındaki bağlayıcı kuvvetleri de azaltırlar. Bu şekilde kaydırıcılarca azaltılan sürtünmeden dolayı erimiş polimer kalıp üzerinden kolaylıkla kayar. Partiküller arası kuvvetlerde azaldığından, her polimer partikülü birer bilye gibi biri diğeri üzerinden kayarak polimerin erime viskozitesini azaltırlar.

Dış etkili kaydırıcılar iç ve dış sürtünmeyi azaltmak bakımından çok etkilidir. İç sürtünmenin (viskozitenin) azaltılması polimerin erimesini geciktirme bakımından pek pratik değildir. İç etkili kaydırıcılar polimer içerisinde iyi bir çözünürlük sağlar. Polimer molekülleri arasındaki bağa saldırarak, moleküller arası sürtünmeyi azaltırlar. Bu sebepten dolayı, polimerin akışını arttırdıkları gibi üretimin de fazla olmasını sağlarlar. Plastiklerde kaydırıcılar çok önemlidir. Doğrudan doğruya üretimi ve kaliteyi etkilediğinden katılan kaydırıcının miktarının çok iyi bilinmesi gerekmektedir. Aksi halde plastik işleme makinesinin verimi düşeceği gibi yeni bir formülasyon için geçecek zaman üretim kaybına sebep olacaktır [49].

III.2. DENEY NUMUNELERİNİN HAZIRLANMASINDA KULLANILAN CİHAZLAR VE MAKİNELERDE NUMUNELERİN ELDE EDİLİŞLERİ

III.2.1 Terazî

Bir cismin veya maddenin kütlesini ölçmeye yarayan aletlere terazi denir. Günümüzde kullanılan hassas teraziler, laboratuvarlarda, ilaç ve kimya sanayi gibi sektörlerde kullanılır. Kütleyi doğrudan doğruya ibre üzerinden okumak mümkündür.

Işıklı rakamlar bu kütleyi belirterek okumada kolaylık sağlar [55]. Çalışmamızda karışım oranları hazırlamak için kullanılan DENSİ marka DS-05 model terazi kullanıldı. Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Plastik Laboratuvarında bulunan bu terazi Şekil III.2.1’de görülmektedir.



Şekil III.2.1 Terazî

III.2.2 Mekanik Karıştırıcı

Mekanik karıştırıcılar küçük katı parçacıkların topaklanmasını önler. Karıştırmanın önemi maddelerin homojen bir karışım hâlinde temas etmelerini sağlamaktır [56]. Çalışmada kullanmış olduğumuz toz haldeki $Mg(OH)_2$, PP polimeri ve kaydırıcıyı mekanik karıştırıcıda 10 dakika karıştırıldı. Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Plastik Laboratuvarında bulunan bu mekanik karıştırıcı Şekil III.2.2’de görülmektedir.



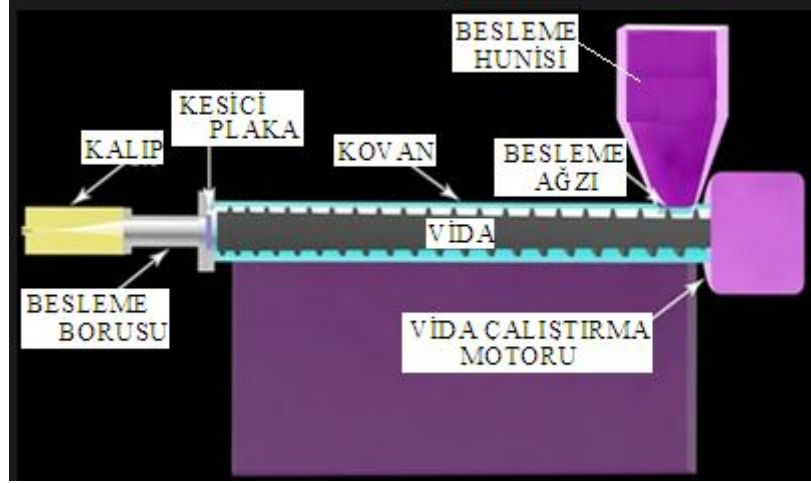
Şekil III.2.2 Mekanik Karıştırıcı

III.2.3 Ekstrüzyon

Ekstrüzyon ile iyi kalitede plastik ürünlerin devamlı (kesiksiz) olarak eldesi sağlanır. Ekstrüzyon ile boru, profil, çubuk, yassı ve yuvarlak film, levha, kablo kılıflama gibi ürünler elde edilir. Ekstrüzyon ile aynı kesitte hassas ölçülerde ve istenilen uzunlukta kesiksiz ürünler elde edilebilme avantajı yanında; ekstrüder sisteminin pahalı olması, ürüne ekstrüder çıkışından sonra (ikincil) ek işlemlerin yapılması gibi dezavantajları vardır [57].

III.2.3.1. Ekstrüzyon ile Malzeme Kalıplama

Beslenme hunisinden gelen plastik hammaddesi sonsuz vida yardımıyla ısıtıcılara getirilir. Katı halde bulunan hammadde burada ergiyerek sıvı (akışkan) hale gelir. Sıvı hale gelmiş plastik sonsuz vida yardımıyla yüksek basınç altında kalıba itilir. Soğutma tertibatı yardımıyla sıvı haldeki plastik kalıp içerisinde katılaşır ve kalıbın şeklini alır. Kalıpta bir sıvı plastik girişi birde katılaşmış (kalıplanmış) plastik çıkışı vardır. Kalıplama işlemi akış halinde devam eder ve istenilen uzunlukta ve şekilde ürünler elde edilir [49].



Şekil III.2.3.1 Ekstrüzyon Makinesinin Başlıca Parçaları [58]

III.2.3.2. $Mg(OH)_2$ Katkılı Polipropilen (PP) Nanokompozitin Ekstrüzyon Makinesinde Elde Edilmesi

Her bir grup yüzdelik oranlarına göre terazide tartıldı. Toplamda 2’şer kg’lık karışımlar mikserde 10 dak. karıştırıldı. Homojenize karışım için numuneler 190–230°C sıcaklık altında, 20–30 Bar basınçta ve 25 dev/dak.’lık vida devir ile dönen Mikrosan marka tek vidalı ekstrüderde (L/D =30 Çap:25) granül haline getirildi. Polimer kompozitinin oranları Tablo III.2.3.2. de verildi.

Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi plastik laboratuvarında bulunan Şekil III.2.3.2’de de görülen ekstrüderde elde edilen karışım kesilerek granül haline getirildi.



Şekil III.2.3.2 Ekstrüder Makinesi

III.2.4 Etüv Cihazı

Etüvler, kuru hava ile sterilizasyon işlemlerinin gerçekleştirilmesinde ve 50°C-250°C sıcaklık aralığında çok amaçlı ısıtma ve kurutma işlemlerinde kullanılır. Birçoğunun hassas çalışma aralığı 100°C–250°C arasındadır. 100 °C kadar olan aralıklardaki hassasiyetleri; marka, model ve ebada göre 10 /15 °C’ye kadar çıkabilir [59]. Ekstrüzyon makinesinin hemen ardından kesme makinesinde granül boyutunda kesilen malzemeler Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi plastik laboratuvarında bulunan şekilde görülen Binder marka cihaz ile 105°C’de 1 saat kurutuldu.



Şekil III.2.4 Etüvde Malzemenin Kurutulması

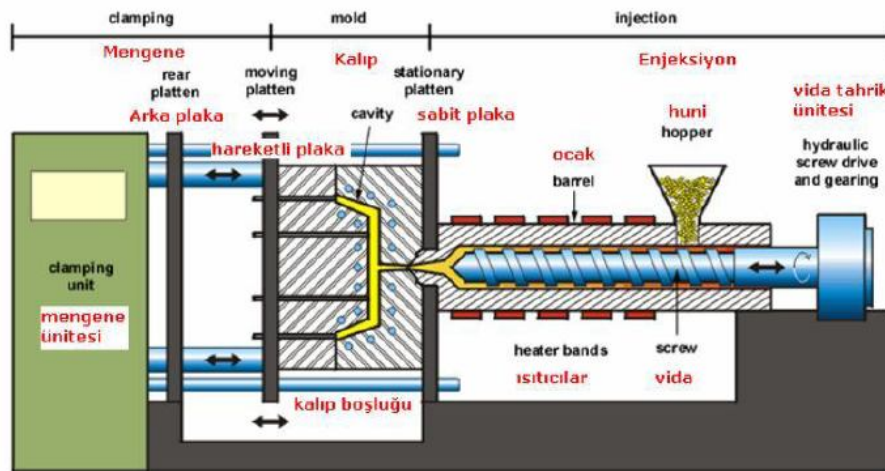
III.2.5 Enjeksiyon Makinesi

Enjeksiyon makinesi rezistans sıcaklıkları, mengene hızları, kontrol sıcaklıkları ve kontrol basınçları girildikten sonra mal alma hunisine toz, granül gibi hammaddelerin yerleştirilmesi ile çalışmaya hazır hale getirilir. Tabi makinenin belli bir sıcaklığa kadar ısıtılması yani plastiğin erime sıcaklığına erişildikten sonra çalışmaya başlayabiliriz.

Kovanın üzerindeki ısıtıcılar vidayı ve hammaddeyi ısıtır. Vida geri doğru harekete başlar. Vida dönerken hammaddeyi alır ve hammadde hatvelerin arasına sıkışarak ısı oluşturur. Oluşan bu ısı ile rezistans ısıları plastiğin erimesini sağlar. Hidromotor vidayı istediğimiz süratte çevirir.

Dönen vidanın üzerindeki hammadde yavaş yavaş eriyerek, vidanın ucundaki roket grubundan geçer ve vidanın önünde birikmeye başlar. Öne dolan mal sıkışır ve vidayı geri itmeye başlar. Geri basınç yatağı vidanın geri basıncını alır. Vida geri dönerek giderken öne kayar ve rokete dayanır. Yüksük ve bileziğin arasından geçerek vidanın önünde depo edilir. Yeteri kadar mal alındığı sviçler vasıtasıyla öğrenilince vidanın dönmesi ve geri gitmesi durur. Bu sefer enjeksiyon silindiri programlanmış bir sürat ile vidayı ileri iter. Bilezik geri kaçarak yüksüğe basar ve malın geri kaçmasını önler. Mal memeden ve yolluktan geçerek kalıbı doldurur.

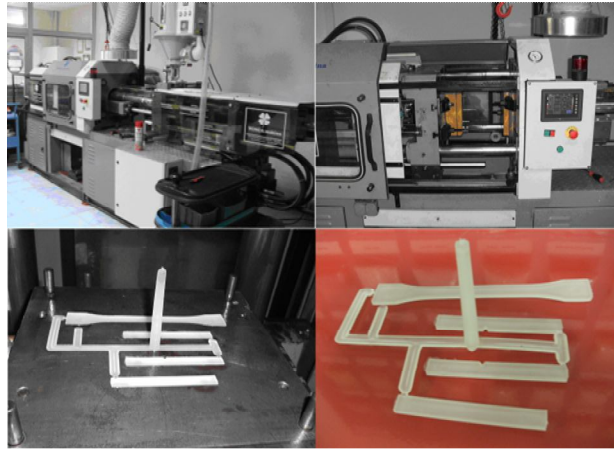
Kalıptaki soğuma esnasında çökmeyi ve çekmeyi önlemek için belli bir basınç belli bir süre uygulanır. Bu süre dolduktan sonra basınç kesilir. Malzemenin donma zamanında vida yeniden dönmeye başlar ve geri giderek yeniden mal alır. Aynı işlemler devam edip gider [57]. Şekil III.2.5’de Enjeksiyon makinesinin şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil III.2.5 Enjeksiyon Makinesinin Şematik Gösterimi [60]

III.2.5.1. Mg(OH)₂ Katkılı Polipropilen (PP) Nanokompozitin Enjeksiyon Makinesinde Elde Edilmesi

Kurutma işlemi tamamlandıktan sonra sıcaklık, hız, basınç kontrolleri yapılan enjeksiyon makinesinin belli bir sıcaklığa erişmesi beklenmiştir. Sonra mal alma hunisinden granül halde olan malzeme yerleştirilmiştir. Vida geri doğru hareket ederek granülü aldı ve eğritmeye başladı. Erimiş olan polimer vida sayesinde önde birikti ve kalıba transfer edildi. Soğuduktan sonra da test numuneleri kalıptan çıkartıldı. Şekil III.2.5.1’de Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi plastik laboratuvarında bulunan enjeksiyon makinesinin resmi ve kalıptan çıkan test numuneleri görülmektedir.



Şekil III.2.5.1 Enjeksiyon Makinesi ve Test Numuneleri

III.3 DENEY NUMUNELERİNİN HAZIRLANMASINDA KULLANILAN TEST CİHAZLARI

Polimerleri tanımlamada bazı fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikler kullanılır. Bunların belirlemek için çok sayıda standart deney vardır. Bu deneylerin yardımıyla, üretici, işletici ve kullanıcılar; bu malzemelerin özelliklerini ortak bir dille azaltmakta ve aralarındaki ilişkileri düzenlemektedir. Bu deneylerin hepsi, ulusal ve uluslararası deney standartları olarak bilinmekte ve kullanılmaktadır.

Polimer malzemelerle ilgili standart deneyler, genellikle dinamik bir yapıdadır. Yıllarca uygulanıp kullanıcılar tarafından benimsenseler dahi değiştirilmeye, geliştirilmeye ve eklemeler yapılmaya açıktır. Ülkemizde standart deneyleri saptayan ve geliştirme çalışmaları yapan kurum TSE’dir.

Doğal olarak bir deneyin doğru sonuç vermesi, tekrarlanabilir ve değişik laboratuvarlarda aynı hassasiyette uygulanabilir olması esastır. Özellikle plastik deneylerinde sonuçların doğruluğu, deneyin yapıldığı laboratuvarın sıcaklığı, nem oranı, deney örneklerinin hazırlanış yöntemi ve şekli vs gibi çeşitli parametrelerden etkilendiğinden, standart deneylerde bu parametrelerin de belli bir standartta olması zorunludur [61].

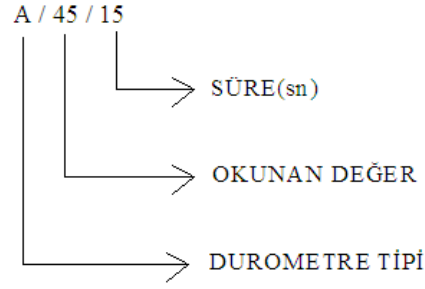
III.3.1 Durometre Sertlik Ölçme Cihazı

Plastik malzemelerde 2 tip durometre kullanılarak batma sertlik değerinin belirlenmesinde kullanılan bir yöntemdir. A tipi durometre yumuşak plastikler, D tipi durometre ise sert plastikler için kullanılabilir. Bu metotlar belirli şartlarda maddeye batırılan belirli bir ucun batma miktarı ölçülür. Sertlik batma miktarı ile ters orantılıdır ve maddenin esneklik modülü ile viskoelastik özelliklerine bağlıdır. Batıcı ucun şekli ve uygulanan kuvvet elde edilen sonuçları etkiler.

Deney parçası; düz, yatay ve sert bir yüzeye yerleştirilir. Durometre dik durumda ve batıcı uç deney parçası kenarlarından en az 12mm olacak şekilde (içerisinde) tutulur. Baskı ayağı, deney parçasının yüzeyine paralelliği korunarak darbesiz, mümkün olduğu kadar hızlı şekilde uygulanır.

Baskı ayağının deney parçasına tamamen değmesini sağlayacak kadar bir basınç uygulanmalıdır. 15 ± 1 saniye sonunda gösterge okunur. Ani bir ölçüm isteniyorsa, baskı ayağı deney parçasına tamamen deyince 1 saniye içinde gösterge okunur. Sertlik değeri ölçmeleri, en az 6mm aralıkla deney parçasının 5 ayrı yerinde yapılır ve aritmetik ortalaması alınır.

A tipi durometre, yumuşak plastikler için kullanılır. A tipi durometre için uygulanan kuvvet 1 kg'dır. A tipi durometre ile elde edilen değerler 90'nın üzerinde ise, ölçmeleri D tipi durometre ile elde edilen değerler 20'nin altında ise ölçmeler A tipi durometre ile yapılır [61].



Şekil III.3.1 Sertlik Ölçümü [61]

Üretilen numuneler ASTM-D-2240 test standartlarına göre shore D durometre ile sertlikleri ölçülmüştür [62]. Zwick marka durometre sertlik cihazı Şekil III.3.1’de görülmektedir.

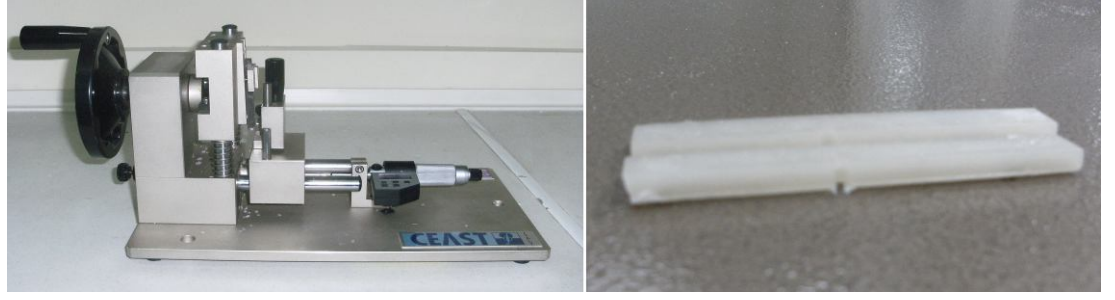


Şekil III.3.1.1 Durometre Sertlik Ölçme Cihazı

III.3.2 Çentik Açma Cihazı

Çentikler uzunlamasına ve eksene dik olarak açılmalıdır. İlgili madde mamul standardında belirtilmemişse, çentikli olarak kalıplanmış deney parçaları da kullanılabilir. Çentikli olarak kalıplanmış deney parçaları ile elde edilen deney sonuçları, çentiği sonradan açılmış deney parçalarıyla kıyaslama yapılmamalıdır [61].

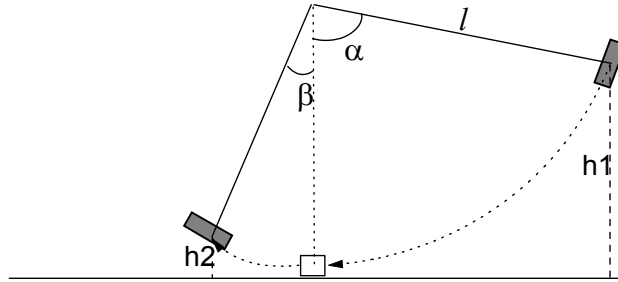
Çentikli Izod darbe testi için gerekli çentik ASTM D256 standartlarında belirtilen şartlarda Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi plastik laboratuvarında bulunan CEAST marka çentik cihazı kullanılarak açılmıştır [63]. Bu cihaza ait resim Şekil III.3.2’de verilmiştir.



Şekil III.3.2 Çentik Açma Cihazı

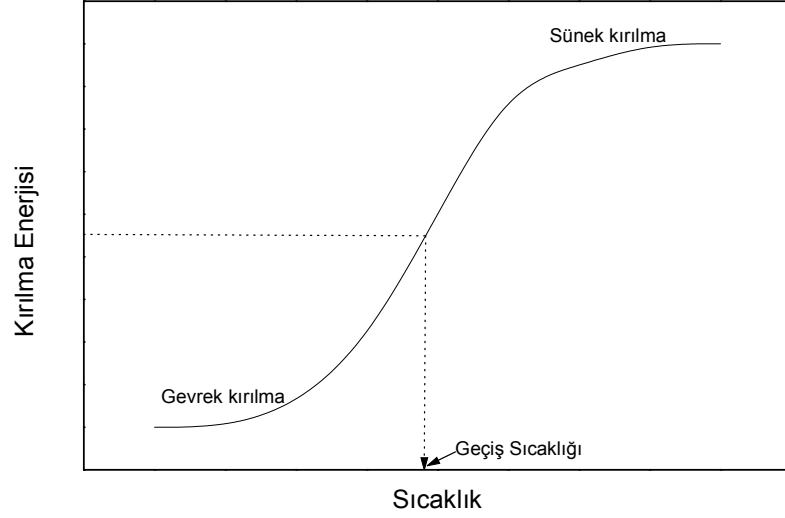
III.3.3 Izod Darbe Mukavemeti Test Cihazı

Malzemenin dinamik yüklere karşı kırılma enerjisini belirlemek için yapılan bir deneydir. Bu deneyin temel prensibi Şekil III.3.3’de şematik olarak gösterildiği gibi, bir “ l ” uzunluğundaki sarkacın ucundaki belli bir G ağırlığına sahip çekiç belli bir “ h_1 ” yüksekliğinden numuneyi kırması için serbest bırakılıyor. Serbest bırakılmadan önce çekicinin potansiyel enerjisi “ $G.h_1$ ” iken numune kırıldıktan sonra belli bir “ h_2 ” yüksekliğine çıkan çekicinin potansiyel enerjisi “ $G.h_2$ ” olur [64].



Şekil III.3.3 Darbe Deneyinin Şematik Olarak Gösterimi [64]

Malzemelerin kırılma enerjileri sıcaklık karşısında da değişim göstermektedir. Malzemelerin kırılma enerjisi sıcaklık düştükçe düşer. Kırılma enerjisinin farklı sıcaklıklarda yapılmasıyla malzemenin geçiş sıcaklığı belirlenir. Geçiş sıcaklığı malzemenin sünek kırılmadan gevrek kırılmaya geçişin olduğu sıcaklıktır. Bu genellikle malzemede % 50 gevrek % 50 sünek kırılmanın olduğu noktadaki sıcaklık olarak bilinir. Şekil III.3.3.1.’de sıcaklığa bağlı olarak bir malzemenin geçiş sıcaklığı gösterilmiştir [64].



Şekil III.3.3.1 Geçiş Sıcaklığının Belirlenmesi için Elde Edilmiş Sıcaklık-Kırılma Enerjisi Diyagramı [64]

Bir malzemede geçiş sıcaklığının düşük olması istenir. Çünkü o malzemenin kullanıldığı ortam sıcaklığı çok düşük olabilir. Bu durumda oda sıcaklığında normal bir darbe (kırılma) direnci gösterse bile geçiş sıcaklığının altında kırılma riski önemli ölçüde artacaktır. Bu nedenle tasarım mühendisleri bu durumu dikkate alarak geçiş sıcaklığı düşük olan malzeme seçimi yapmak zorundadırlar. Malzemenin sertlik ve dayanımı yüksek olması o malzemenin kırılma direncinin daha az olabileceğine işaret eder. Kırılma enerjisi (veya direncini) artırılması için o malzemenin yüksek süneklik göstermesi gerekir [64].

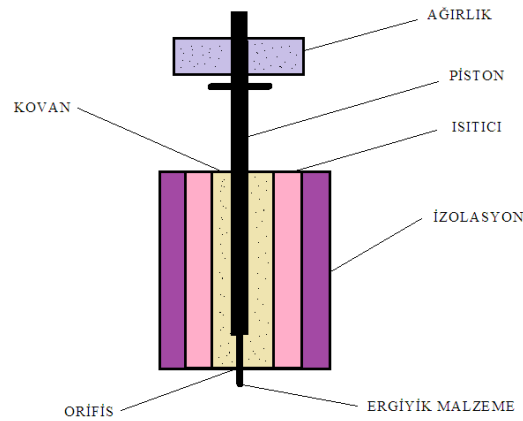
Hazırlanan malzemelerinin kırılmalık dayanımlarının tespiti için kullanılan Izod darbe testi ASTM D256 standartlarına göre kalıptan çıkarılan numuneler üzerine 5.4 kJ'lük sarkacın düşürülmesiyle yapıldı [63]. Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi plastik laboratuvarında bulunan Zwick marka cihaz kullanılmıştır. Bu cihaza ait resim Şekil III.3.3.2'de verilmiştir.



Şekil III.3.3.2 Izod Darbe Mukavemeti Test Cihazı

III.3.4 Ergime Akış İndeksi Testi

Ergime akış indeksi (MFI), polimer ergimiş halde belli bir sürede ne kadar aktığını gösteren değerdir. MFI, özellikle polimer üreticileri tarafından ürün polimerinin aynılığının belirlenmesi için kullanılan çok basit ve oldukça önemli bir yöntemdir. MFI verileri, plastiklerin işlenmesi sırasındaki akma olayını belirlemekte çok yararlıdır. Düşük akma hızlarının kullanıldığı ekstrüzyon ve şişirme ile kalıplamada olsun, yüksek akma hızına gerek olan enjeksiyon kalıplama olsun, MFI değerleri çalışma şartlarını önceden ayarlama yardımcı olur. MFI ölçümleri yapmak için oldukça basit bir düzenek gereklidir. ASTM D1238 standardı tüm polimer üreticileri tarafından benimsenmiştir [61].



Şekil III.3.4 MFI Cihazının Şematik Görünümü [61]

Polimer önceden istenilen sıcaklığa getirilmiş hazneye doldurulur ve piston haznenin girişine yerleştirildikten sonra pistonun üstüne ağırlık konulur, piston ve üstüne konulan ağırlığın toplamı, yapılacak MFI deneyine göre 2.16, 5.00 gibi... kg olur. Ağırlığın baskısıyla, ergimiş polimer haznenin altındaki orifisten akmaya başlar. Belirli zaman aralıklarıyla akan polimer miktarı tartılarak sonuçlar g/10 dk. şeklinde verilir [61].

$$MFI = \frac{M \times 600}{T} \quad (III.1)$$

M= toplam ağırlık (g)

T= toplam süre (sn)

Tüm karışımların akışkanlık testleri ISO 1133 standardında belirtilen şartlardadır. (230°C-2.16kg) [65]. Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi plastik laboratuvarında bulunan Şekil III.3.4.1’de verilen Zwick marka MFI cihazı ile yapıldı.



Şekil III.3.4.1 Ergime Akış İndisi Ölçüm Cihazı

III.3.5 Hassas Terazi

Çok düşük miktarları bile tartmakta kullanılan terazilerdir. Örneğin kimyasal maddelerin tartımında, eczacılıkta ve kuyumculukta kullanılan teraziler hassas terazilerdir [66]. Çalışmalarda laboratuvar tipi precisa 205A scs marka 15–30 °C aralığında çalışmaya uygun ve 0,0001g hassasiyetle tartım yapma imkânına sahip terazi kullanılmıştır. Hassas terazinin kapasitesi 610 g'dır. Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi plastik laboratuvarında bulunan hassas terazi Şekil III.3.5’de verildi.



Şekil III.3.5 Hassas Terazi

III.3.6 Çekme Deney Test Cihazı

Çekmeye maruz kalacak bir plastik malzemenin, mekanik özelliklerini belirlemede kullanılır. Bu özellikler elastiklik modülü, çekme mukavemeti, yüzde boyut değişimi gibi değerlerdir. Malzemenin cinsine göre ya enjeksiyonla kalıplama ile veya düz bir levhadan kalıplarla kesmeyle bir numune hazırlanır. Malzemenin kullanım sıcaklığına göre test ortamının sıcaklığı ayarlanır. Bu test genelde oda sıcaklığında yapılmaktadır. Numune test cihazının çenelerine bağlanır. Yine numunenin cinsine göre çekme hızı ayarlanır. Çeneler numuneye yük uygularken, cihaz numunenin gerilim-boyut değiştirme grafiğini çizer. Bu grafiğe ve numunenin kendisi üzerinde yapılan ölçümlere göre numunenin mekanik özellikleri hakkında bir yargıya varılır [61].

Malzemelerinin çekme testi ASTM D 412 standardına uygun olarak Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi plastik laboratuvarında bulunan ve Şekil III.3.6’da verilen Zwick Z010 marka çekme cihazı kullanılarak yapıldı. Tüm numunelerin çekme testlerinde aşağıdaki parametreler sabit tutulmuştur. Ön yükleme zamanı 50 sn. ön yük 1N/mm^2 ön yükleme zamanı 3 mm/dak, test hızı 5mm/dak E modülü tespit hızı 1 mm/dak test hızı: 5mm/dak LE boyuna dönüş hızı 50 mm/dak’dır [67]. Bu cihaza ait resim Şekil III.3.6’de verildi.



Şekil III.3.6 Çekme Test Cihazı

III.3.7 Aşınma Deneyi

Katı malzemenin yüzeyinden mekanik sürtme, kazıma ve erozyon gibi etkiler nedeniyle sürekli parça kopması miktarını belirleme işlemidir. Bir silindir üzerine sarılmış 500 numara zımpara kâğıdı ısınmaya neden olmayacak hızda sabit duran polimeri aşındırır. Numune zımpara kâğıdı üzerine 10 Newton (1kg) luk kuvvet ile başlatılır. Test numunenin cinsine göre 10, 20 ve 40 metrelik mesafelerden birine göre yapılır. Test sonunda malzemenin aşınma direnci hesaplanır. Aşınma direnci, aşınan malzemede belli bir süre sonucunda oluşan hacim kaybı veya aşınma kaybı olarak verilir [61].

Şekil III.3.7.1’de aşınma test cihazı görülmektedir. Cihaz çalıştırılarak test başlatılır. Test parçası bu tambur üzerinde 40 metre yol alacak şekilde cihaz 84 devir yapınca test sonlandırılır. 40 m’den sonra cihazın numune takılı olan kafası kendiliğinden kalkar. Test parçasından geride kalan kısım tutucudan çıkartılarak yeniden tartılır. Bu işlemler beş numuneye de uygulandıktan sonra hesaplamalara başlanır [69].

Aşınma testi öncesi malzeme numunesi tartılır. Aşınma testinden sonra numune tekrar tartılır, aradaki fark ağırlık kaybını verir. Ağırlık kaybı malzemenin yoğunluğu, aldığı yol ve yükün çarpımına bölününce aşınma oranını verir.

$$A.ORANI = \frac{\Delta m}{\rho \times L \times F_N} \quad (III.2)$$

Aşınma oranı: cm^3 / Nm , Δm =Ağırlık kaybı (g), ρ =Yoğunluk (g / cm^3), L =Mesafe-Yol (m), F_N =Yük (N).

III.3.8 Isıl Çarpılma Sıcaklığı (HDT) ve Vicat Yumuşama Sıcaklığı

Plastik malzemelerin ısıl bozulma sıcaklığı (HDT) ve yumuşamaya başladığı sıcaklık (Vicat) değerini belirlemek amaçtır. Isıl çarpılma sıcaklığı testi plastik malzemelerin sabit yük altında deformasyona uğrama sıcaklık dayanım noktasının tespiti işleminde kullanılır [70]. Vicat Yumuşama Sıcaklığı testi plastik malzemelerin sabit yük altında yumuşama sıcaklık dayanım noktasının tespiti işleminde kullanılır [71].

Her iki deneyde de deney düzeneği sabit sıcaklıkta bir yağ banyosu ve ucunda düz iğnesi olan bir batırma kolundan oluşur. Sistem 50°C altında ısıtılmış yağ banyosunun sıcaklığı, belirlenmiş bir hızla arttırılır. (genellikle $50^\circ\text{C} / \text{saat}$) 1 kg’lık bir yükü batırılan iğnenin 1 mm^2 ’lik bir yüzeye 1mm girdiği sıcaklıktır [72]. Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi plastik laboratuvarında bulunan Devotrans marka cihaz kullanıldı [71]. Bu cihaza ait resim Şekil III.3.8’de verildi.



Şekil III.3.8 Isıl Çarpılma Sıcaklığı (HDT) ve Vicat Yumuşama Sıcaklığı

III.3.9 Taramalı Elektron Mikroskop Cihazı (SEM)

Temel olarak taramalı elektron mikroskobu, Tungsten katottan ortaya çıkan elektronların kullanımı incelenecek malzeme yüzeyine gönderilmesi sonucu oluşan etkileşmelerden yararlanılması esasına dayanır. SEM'ler genel olarak bu elektron enerjisi 200–300 eV dan 100 keV a kadar değişebilir. Bu amaçla, yoğunlaştırıcı elektromanyetik merceklerle toplanan, objektif merceklerle odaklanan elektron demeti, yine elektromanyetik saptırıcı bobinlerle örnek yüzeyinde tarama işlemini gerçekleştirir. Bir taramalı elektron mikroskobunda görüntü oluşumu temel olarak; elektron demetinin incelenen örneğin yüzeyi ile yaptığı fiziksel etkileşmelerin (elastik, elastik olmayan çarpışmalar ve diğerleri) sonucunda ortaya çıkan sinyallerin toplanması ve incelenmesi prensibine dayanır. Bunlardan ilki, gelen elektron demetindeki elektronların, malzemedeki atomlarla yapmış olduğu elastik olmayan çarpışma sonucu (yani, örnek yüzeyindeki atomlardaki elektronlara enerjilerini transfer ederek) ortaya çıkan ikincil elektronlardır (secondary electrons). Bu elektronlar örnek yüzeyinin yaklaşık 10 nm'lik bir derinliğinden ortaya çıkarlar ve bunların tipik enerjileri en fazla 50 eV civarındadır. İkincil elektronlar foto çoğaltıcı tüp yardımıyla toplanıp, örneğin tarama sinyali konumuyla ilişkilendirilerek yüzey görüntüsü elde edilir. Elektron demeti ile incelenen örnek yüzeyindeki malzeme arasındaki etkileşimde ortaya çıkan diğer bir elektron grubu ise geri saçılma elektronları (backscattered electrons) adı verilen elektronlardır.

Geri saçılma elektronları, yüzeyin derin bölgelerinden (yaklaşık 300 nm'ye kadar) gelen daha yüksek enerjili elektronlardır. Bu enerjideki elektronlar bir foto çoğaltıcı tüp tarafından tespit edilemeyecek kadar yüksek enerjiye sahip olduklarından, genellikle quadrant foto dedektörlerle (yani katı hal dedektörleri) yardımıyla tespit edilir. Bilindiği üzere bu tür dedektörler üzerine gelen elektronların indüklediği elektrik akımının şiddetine göre çıkış sinyali verirler. Gelen elektron demetinin incelenen örnek yüzeyi ile yapmış olduğu diğer bir etkileşme ise (yaklaşık 1000 nm derinlik civarında), karakteristik X ışınlarının çıktığı durumdur (enerjileri keV mertebesinde). Buna göre örneğe çarpan elektron, örnekteki atomun iç yörüngesinden bir elektron kopmasına neden olunca, enerji dengelenmesi gereği bir üst yörüngedeki elektron bu seviyeye geçer ve geçerken de ortama bir X ışını yayar ve buna da karakteristik X ışını adı verilir.

Bu X ışını mesela 10 mm² çapındaki bir Si dedektörle algılanır, ortaya çıkan sinyal yükselticiye, oradan çok kanallı analizöre ve daha sonra da SEM sistemin bilgisayarına gönderilir. Sonuçta ortaya çıkan karakteristik X ışını (ki bu ışının enerjisi her atoma özeldir), SEM'de incelenen malzemenin element bakımından muhtevasının nitel ve nicel olarak tespit edilmesine yardımcı olur [73]. X-ışını difraksiyonu, malzemelerin kristallografik özelliklerinin ve içerdikleri fazların belirlenmesini sağlayan hasarsız analiz yöntemidir. Toz numunelere uygulanan X-ışını difraksiyonu sonucu kristal yapısının yanı sıra, tane boyutu ve tercihli yönlenme gibi özellikler belirlenebilir. Aynı zamanda, içerdikleri fazlar hakkında bilgi sahibi olunmayan numunelerin analizi sonucunda elde edilen verilerin ilgili veri tabanı ile karşılaştırılması sonucu numunenin içerdikleri fazlar belirlenebilir. Rietveld analizi gibi yöntemlerin kullanılmasıyla numunenin içerdikleri bileşiklerin göreceli olarak miktarsal oranları belirlenebilir [74].

Özetle, Yüksek çözünürlükte ve yüksek büyütme oranlarında görüntü sağlayan SEM tekniği ile örneklerin gaz morfolojileri incelenebilmekte, kırılma ve deformasyon mekanizması hakkında bilgi alınabilmektedir. Örneklerinin kırık yüzeyleri taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılarak incelenmiştir. Çekilen mikro-yapı görüntülerin bütün kırık yüzeyleri temsil etmesi amacıyla sırayla 250, 500, 1000, 2000 ve 5000 büyütme oranları kullanılmıştır.

Kompozitlerin kırılan yüzeyleri Polaron SC 7620 (Gala Instrumente GmbH, Bad Schwalbach-Germany) yardımıyla elektrik yükünü engellemek için yaklaşık 10nm kalınlığında altın (Au)(%80)/ paladyum (Pd)(%20) alaşımıyla kaplanmıştır. Hazırlanan numunelerin yüzeyleri Jeol-JSM 5910 LV (Jeol Ltd. ,Tokyo, Japan) SEM cihazında hızlandırılmış 20 kV voltajda gözlenmiştir.

Marmara Üniversitesi Mühendislik Fakültesinde bulunan taramalı elektron mikroskobu Şekil III.3.9’de verildi.



Şekil III.3.9 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)

BÖLÜM IV

DENEYSEL BULGULAR

IV.1 DENEYSEL BULGULARIN İRDELENMESİ

IV.1.1 Mg(OH)₂ Katkılı Polipropilen (PP) Nanokompozitinin Mekanik Değerleri

IV.1.1.1. Elastiklik Modülü

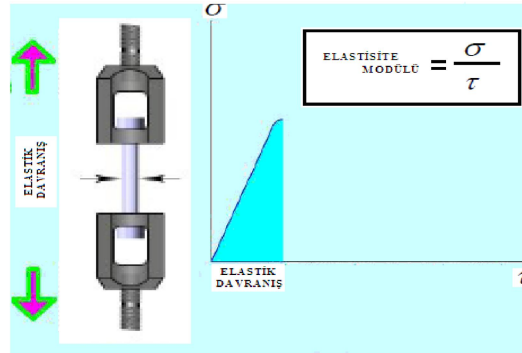
Elastisite modülü, malzemenin dayanımının (mukavemetinin) ölçüsüdür. Birim uzama ile normal gerilme (çekme ya da basma gerilmesi) arasındaki doğrusal ilişkinin bir sonucu olup bir birim uzama başına gerilme olarak tanımlanır [75].

σ =gerilme kuvveti

τ = uzama

σ/τ = elastisite modülü

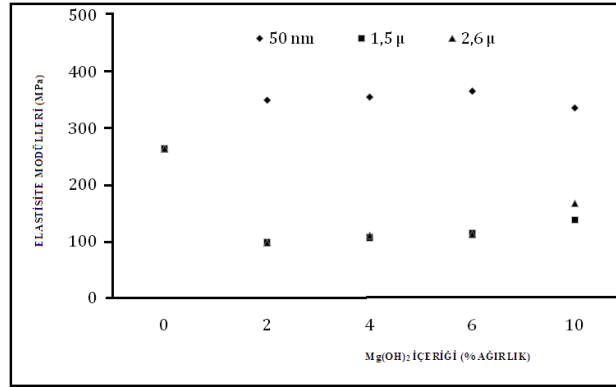
Bu oran ne kadar yüksek olursa malzeme o kadar sağlam veya mukavemetli olur [76].



Şekil IV.1.1.1 Elastik Modülünün Gerilme-Uzama Grafiği [77,78]

Tablo IV.1.1.1 Çekme Test Sonucu Elde Edilen Elastiklik Modülleri (MPa)

	%0	%2	%4	%6	%10
50nm	263.3±21	349.9±24	355.4±29	365.8±9	336.3±25
1.5µ	263.3±21	98.8 ±17	106.6 ±7	113.7±21	137.3 ±9
2.6µ	263.3±21	97.6 ±13	110.6±22	112.6±11	167.1±16

**Şekil IV.1.1.1.1 Çekme Test Sonucu Elde Edilen Elastiklik Modülü Değerleri**

Yapmış olduğumuz verilere dayanarak 3 partikül boyutunda Şekil IV.1.1.1’de görünen grafik elde edilmiştir. Genel itibariyle 50 nm boyutundaki PP/ Mg(OH)₂ nanokompozit karışımında elastik modülünün yüzde oranlarının artmasıyla elastik modülünün arttığını ve daha sonra neredeyse belli bir değere ulaşarak sabitlenmiştir. En yüksek yüzde karışımında çok az da olsa düştüğünü görülmektedir. 50nm için elastik modülüne dayanarak malzememizin dayanımının iyi olduğunu söylemek mümkündür. 1.5µ bahsedecek olursak Mg(OH)₂’nin yüzde oranı artışıyla elastik modülünde yine artış olduğu gözlenir. Bu değerler bize malzemenin dayanımının arttığını gösteriyor. 2.6µ ‘da 1.5µ’ e benzer durumdan söz edilebilir. Yine malzemenin dayanımının artışı açıkça ortadadır.

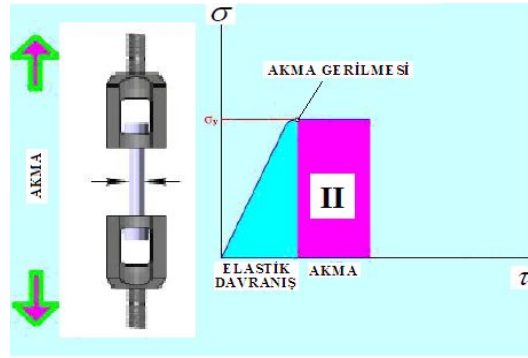
Saf PP’nin elastik modül değeri 263.3 MPa olduğu tespit edilmiştir. PP içerisine 50 nm boyutundaki %2 Mg(OH)₂ tozunun ilavesiyle bu değer 349.9 MPa’ya çıkmıştır. Dolayısıyla % 33 ‘lük bir artış olmuştur. %2 oranında 1.5µ ve 2.6µ boyutlarında Mg(OH)₂ tozunun ilavesiyle yaklaşık % 62 azalma görülmüştür. Oran artırılıp incelendiğinde PP içerisine 50 nm boyutundaki %4 Mg(OH)₂ tozunun ilavesiyle bu değer 355.4 MPa’ya çıkmıştır.

Dolayısıyla % 35 ‘lik bir artış olmuştur. % 4 oranında 1.5 μ ve 2.6 μ boyutlarında Mg(OH)₂ tozunun ilavesiyle yaklaşık % 58 azalma görülmüştür. Tekrar oran artırılıp bakıldığında PP içerisine 50 nm boyutundaki % 6 Mg(OH)₂ tozunun ilavesiyle bu değer 365.8 MPa’ya çıkmıştır. Dolayısıyla % 39 ‘luk bir artış olmuştur. % 6 oranında 1.5 μ ve 2.6 μ boyutlarında Mg(OH)₂ tozunun ilavesiyle yaklaşık % 57 azalma görülmüştür.

Son olarak oran artırılması sonucunda PP içerisine 50 nm boyutundaki Mg(OH)₂ tozunun %10 ilavesiyle bu değer 336.3 MPa’ya çıkmıştır. Dolayısıyla % 28 ‘lik bir artış olmuştur. %10 oranında 1.5 μ boyutlarında Mg(OH)₂ tozunun ilavesiyle % 48 azalma görülmüştür. 2,6 μ boyutlarında Mg(OH)₂ tozunun ilavesiyle % 37 azalma görülmüştür.

IV.1.1.2. Akma Mukavemeti

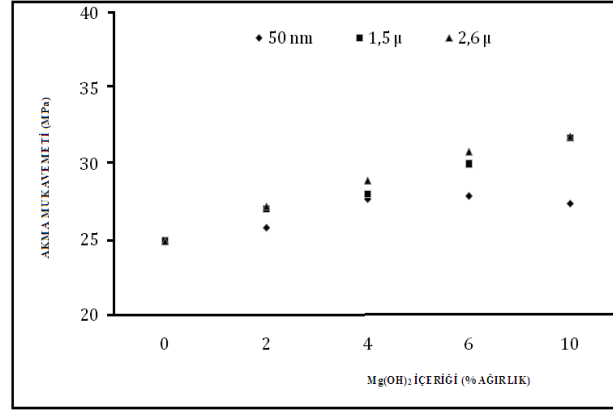
Akma mukavemeti bir malzemenin her iki ucundan çekme gerilmeleri ile çekildiğinde, malzemenin plastik deformasyonun başladığı noktadaki gerilmesidir [79]. Plastik deformasyon yük altında ani oluşan ancak yük kaldırıldığında geri dönmeyen yani kalıcı olan deformasyon türüdür [80].



Şekil IV.1.1.2 Akma Mukavemetinin Gerilme-Uzama Grafiği [77,78]

Tablo IV.1.1.2 Çekme Test Sonucu Elde Edilen Akma Mukavemetleri (MPa)

	%0	%2	%4	%6	%10
50nm	24.9 ±2	25.8 ±3	27.7 ±2	27.9 ±1	27.4 ±3
1.5μ	24.9 ±2	27.0 ±4	28.0 ±4	30.0 ±2	31.7 ±2
2.6μ	24.9 ±2	27.2 ±3	28.9 ±3	30.8 ±2	31.8 ±3



Şekil IV.1.1.2.1 Çekme Test Sonucu Elde Edilen Akma Mukavemeti Değerleri

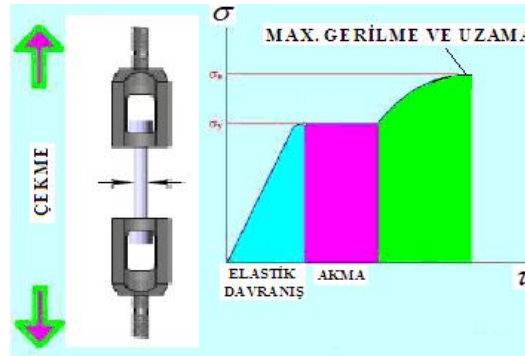
50nm boyutunda bulunan PP/Mg(OH)₂ karışımı Mg(OH)₂ tozunun yüzde oranı artıkça akma mukavemeti değeri yükselmiştir. Bu durumda plastik deformasyona uğramasında düşme göstermesi olasıdır. 50nm ile 1,5 μ boyutuyla benzer olarak yine artıştan söz edebiliriz. Değerlerdeki artış kalıcı deformasyonun ardı ardına gelen oranlarla daha geç başladığını gösterir. 2.6 μ'da Mg(OH)₂ tozunun %10 oranına kadar değerlerinde artış olduğu gözlenmiştir; fakat % 10 değerinde bir azalma gözlemlenmiştir. Bu durumu açıklamak gerekirse, belli bir yüzde artışına kadar plastik deformasyonun bir önceki değere göre geç görüldüğünü ve % 10 değere ulaştığında değer düşmesiyle beraber deformasyonun daha düşük değerlerde başladığı gözlemlenmiştir.

Saf PP'nin akma mukavemeti değeri 24,9 MPa olduğu tespit edilmiştir. PP içerisine 50 nm boyutundaki %2 Mg(OH)₂ tozunun ilavesiyle bu değer 25,8 MPa'ya çıkmıştır. Dolayısıyla % 4 'lük bir artış olmuştur. % 2 oranında 1,5μ ve 2,6μ boyutlarında Mg(OH)₂ tozunun ilavesiyle yaklaşık % 9 artma görülmüştür. Oran artırarak incelendiğinde PP içerisine 50 nm ve 1,5μ boyutundaki % 4 Mg(OH)₂ tozunun ilavesiyle bu değer % 12 'lik bir artış olmuştur. % 4 oranında 2,6 μ boyutlarında Mg(OH)₂ tozunun ilavesiyle yaklaşık % 16 artma görülmüştür.

Oran tekrar artırılarak bakıldığında PP içerisine 50 nm boyutundaki % 6 $Mg(OH)_2$ tozunun ilavesiyle 27,9 MPa değerinde % 12 'lik bir artış olmuştur. % 6 oranında 1,5 μ ve 2.6 μ boyutlarında $Mg(OH)_2$ tozunun ilavesiyle yaklaşık % 22 artma görülmüştür. Son olarak oran artması sonucunda PP içerisine 50 nm boyutundaki %10 $Mg(OH)_2$ tozunun ilavesiyle 27,4 MPa değerinde %10 'luk bir artış olmuştur. %10 oranında 1,5 μ ve 2,6 μ boyutlarında $Mg(OH)_2$ tozunun ilavesiyle yaklaşık % 28 artma görülmüştür.

IV.1.1.3. Çekme Mukavemeti

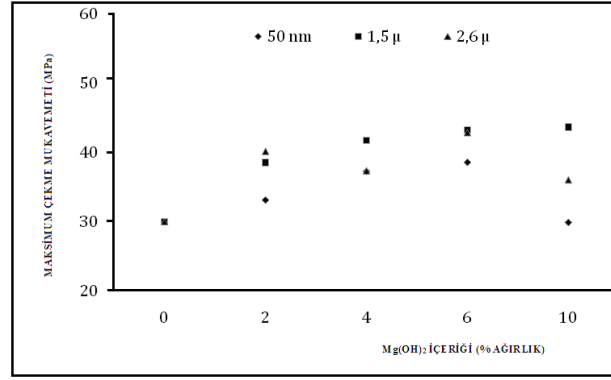
Akma noktasından sonra malzemeye kuvvet uygulamaya devam edilirse gerilme ve uzama en yüksek değere ulaşır. Bu noktada ulaşılan kuvvetin kesit alana oranı çekme mukavemetini verir [81]. Bir başka deyişle, malzemeye her iki ucundan çekme kuvveti uygulanması sonucu, kopmadan önceki ulaştığı maksimum gerilmeye denir [82].



Şekil IV.1.1.3 Çekme Mukavemetinin Gerilme-Uzama Grafiği [77,78]

Tablo IV.1.1.3 Çekme Test Sonucu Elde Edilen Çekme Mukavemetleri (MPa)

	%0	%2	%4	%6	%10
50nm	30.0±3	33.1±1	37.2±4	38.5±3	29.9±1
1.5μ	30.0±3	38.5±1	41.7±0	43.2±1	43.6±2
2.6μ	30.0±3	40.1±2	37.3±2	42.8±3	36.0±1



Şekil IV.1.1.3.1 Çekme Test Sonucu Elde Edilen Çekme Mukavemeti Değerleri

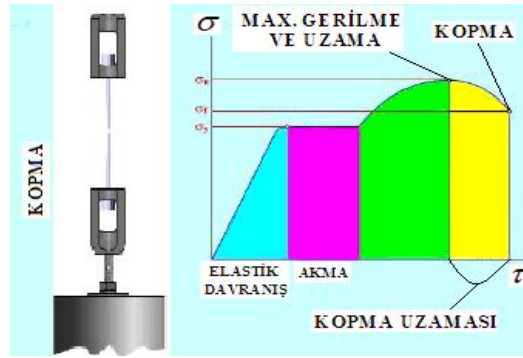
PP/Mg(OH)₂ karışımının en yüksek çekme değerleri Mg(OH)₂ tozunun yüzde oranına bağlı olarak Şekilde görüldüğü gibi değişiklik göstermiştir. 50nm boyutunda olan karışımda %10 oranına kadar artış gözükmemektedir. Bu da kopmadan önceki maksimum gerilme ve uzamanın bir öncekinden daha geç ulaştığını gösterir. % 10 oranında ise değer düşüğünü söylemek mümkündür. Kopmaya daha erken ulaşacağı anlamına geldiği söylenebilir. 1.5μ'da değerlerin karışım oranların artırılmasıyla daha düşüğü açıkça görülür. Malzeme kopmayı daha erken görecektir. 2.6μ bakıldığında, %2' de 40,1 MPa olan değer, %4 'te 37,3 MPa değerini almıştır. Değerde düşme vardır. Bir sonraki % 6 oranındaki değerde artış olduğun görülmektedir. En son % 10'da değer artış gösterdiği de görülmektedir. Bu da malzemenin kopma değerlerinin değişik oranlarda farklılaştığını ve kopma geçirmeden önceki maksimum değerlerini gösteriyor.

Saf PP'nin çekme mukavemeti değerinin 30 MPa olduğu tespit edilmiştir. PP içerisine 50 nm boyutundaki %2 Mg(OH)₂ tozunun ilavesiyle bu değer 33,1 MPa'ya çıkmıştır. Dolayısıyla % 10 'luk bir artış olmuştur. % 2 oranında 1,5μ boyutlarında Mg(OH)₂ tozunun ilavesiyle 38.5 MPa olan değerde % 28 artma görülmüştür. %2 oranında 2.6μ boyutlarında Mg(OH)₂ tozunun ilavesiyle 40.1 MPa olan değer % 34 artma görülmüştür. Oran arttırılarak incelendiğinde PP içerisine 50 nm ve 2,6μ boyutundaki %4 Mg(OH)₂ tozunun ilavesiyle bu değer 37.3MPa'ya çıkmıştır. Dolayısıyla % 24 'lük bir artış olmuştur. %4 oranında 1,5μ boyutlarında Mg(OH)₂ tozunun ilavesiyle % 39 artma görülmüştür. Oran tekrar arttırılarak bakıldığında PP içerisine 50 nm boyutundaki %6 Mg(OH)₂ tozunun ilavesiyle bu değer 38.5MPa'ya çıkmıştır.

Dolayısıyla % 28 'lik bir artış olmuştur. %6 oranında 1,5 μ ve 2,6 μ boyutlarında Mg(OH)₂ tozunun ilavesiyle % 44 artma görülmüştür. Son olarak oranın artırılması sonucunda PP içerisine 50 nm boyutundaki %10 Mg(OH)₂ tozunun ilavesiyle bu değer hemen hemen saf PP ile aynıdır. %10 oranında 1,5 μ boyutlarında Mg(OH)₂ tozunun ilavesiyle 43,6 MPa olan değer % 45 artma görülmüştür. %10 oranında 2,6 μ boyutlarında Mg(OH)₂ tozunun ilavesiyle % 20 artma görülmüştür.

IV.1.1.4. Kopma Uzaması

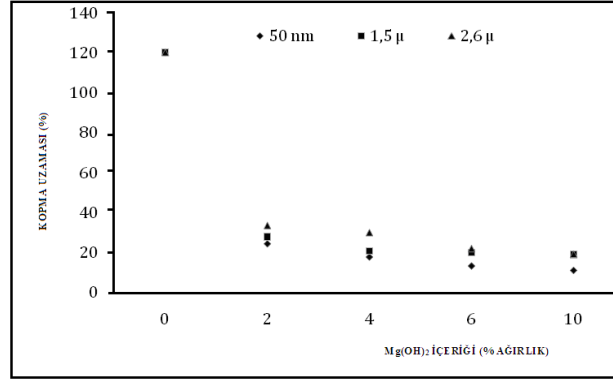
Numunenin koptuğu zaman meydana gelen uzama miktarının ilk boy oranına kopma uzaması denilir [83]. Malzemenin sünekliğini ölçmenin yollarından birisi de kopma uzama miktarına bakmaktır. İyice uzamışsa malzeme sünektir. Malzemenin kopmadan önce ki plastik Şekil değiştirme eğilimidir. Gevrek malzemeler ise ani kopmalar yaparlar. Mühendislikte her zaman malzemenin sünek olması istenir [84].



Şekil IV.1.1.4 Kopma Uzamasında Gerilme-Uzama Grafiği [77,78]

Tablo IV.1.1.4 Çekme Test Sonucu Elde Edilen Kopma Uzamaları (%)

	%0	%2	%4	%6	%10
50nm	120.2±21	24.4 ±3	17.8 ±2	13.3 ±1	11.1 ±1
1.5 μ	120.2±21	27.8 ±3	20.8 ±4	19.8 ±1	18.9 ±2
2.6 μ	120.2±21	33.5 ±7	29.9 ±5	21.9 ±2	19.1 ±2



Şekil IV.1.1.4.1 Çekme Test Sonucu Elde Edilen Kopma Uzaması Değerleri

50 nm boyutunda malzemede karışım oranı artırıldıkça kopma uzama değeri düşmüştür. Dolayısıyla sünek davranış özelliği gösterme kabiliyeti azalmıştır. 1,5μ ve 2,6μ'da yine aynı davranış göstermeye devam etmiştir. Özetlemek gerekirse, kopma uzamasının değerinin azalması malzemenin sünekliğini kaybetmeye başladığını gösterir.

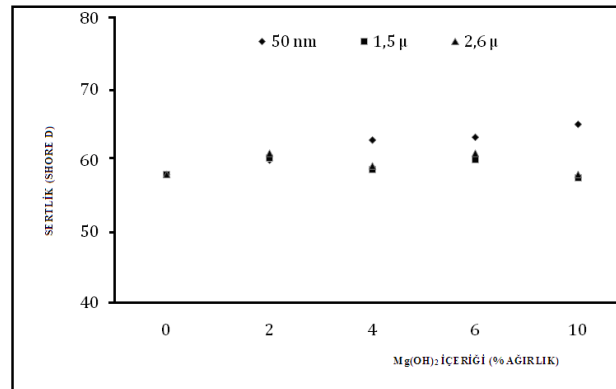
Saf PP'nin kopma uzaması değeri 120,2 MPa olduğu tespit edilmiştir. PP içerisine 50 nm boyutundaki %2 Mg(OH)₂ tozunun ilavesiyle bu değer 24,4 MPa'ya düşmüştür. Dolayısıyla % 80 'lik bir azalma olmuştur. %2 oranında 1,5μ boyutlarında Mg(OH)₂ tozunun ilavesiyle % 77 azalma görülmüştür. 2.6 μ boyutlarında Mg(OH)₂ tozunun ilavesiyle % 72 azalma görülmüştür. Oran artırılarak incelendiğinde PP içerisine 50 nm ve 1,5μ boyutundaki %4 Mg(OH)₂ tozunun ilavesiyle yaklaşık % 85 'lik bir azalma olmuştur. 2.6 μ boyutlarında Mg(OH)₂ tozunun ilavesiyle % 75 azalma görülmüştür. Oran tekrar artırılarak bakıldığında PP içerisine 50 nm boyutundaki % 6 Mg(OH)₂ tozunun ilavesiyle bu değer 13,3 MPa'ya düşmüştür. Dolayısıyla % 89 'luk bir azalma olmuştur. % 6 oranında 1,5μ ve 2,6μ boyutlarında Mg(OH)₂ tozunun ilavesiyle yaklaşık % 82 azalma görülmüştür. Son olarak oran artırılması sonucunda PP içerisine 50 nm boyutundaki %10 Mg(OH)₂ tozunun ilavesiyle bu değer 11,1 MPa'ya düşmüştür. Dolayısıyla % 91 'lik bir azalma olmuştur. %10 oranında 1,5μ ve 2,6μ boyutlarında Mg(OH)₂ tozunun ilavesiyle yaklaşık % 84 azalma görülmüştür.

IV.1.1.5. Sertlik

Cisimlerin en önemli mekanik özellikleri basma, çekme, kesme ve eğilme dayanımlarıdır. İkinci derecede önem taşıyabilen bazı özellikler, çoğunlukla birinci derecedeki önemli özelliklere bağlıdır. Örneğin, basma dayanımı yüksek olan bir malzemenin çoğunlukla sertlik derecesi de fazladır. Sertlik, malzeme yüzeyinin kalıcı Şekil değiştirmeye gösterdiği direnç olarak tanımlanabilir. Sert bir cisim, genellikle yumuşak olmayan ve başka bir cismin kuvvet altında o malzeme içine girmesine büyük direnç gösteren bir malzemedir. Sertlik izafi bir ölçü olup sürtünmeye, çizmeye, kesmeğe ve plastik deformasyona karşı direnç olarak tarif edilir ve malzemelerin plastik deformasyona karşı gösterdiği dirençtir [85].

Tablo IV.1.1.5 Sertlik Deneyi Test Sonucu Elde Edilen Sertlik Değerleri (Shore D)

	%0	%2	%4	%6	%10
50nm	58.0 ±2	60.0 ±1	62.8 ±2	63.2 ±2	65.0 ±0
1.5µ	58.0 ±2	60.3 ±0	58.7 ±1	60.1 ±1	57.5 ±2
2.6µ	58.0 ±2	61.0 ±0	59.2 ±2	61.0 ±1	58.0 ±1



Şekil IV.1.1.5 Sertlik Deneyi Test Sonucu Elde Edilen Sertlik Değerleri

50 nm boyutunda olan karışımda sertlik değerinin artışından söz edebiliriz. Bu durum karışım oranlarının artışıyla daha sert malzeme elde edildiğini gösteriyor. 1.5µ ve 2,6µ'da süreklilik olmamakla beraber %4, %2'e göre ve %10, %6'a göre daha az sertlik gösterir. Sertlik mukavemet anlamındadır ve birçok mekanik özelliğe direkt olmasa da etki etmektedir.

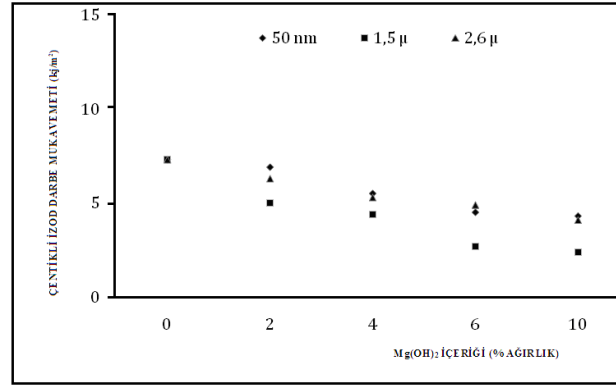
Saf PP'nin sertlik değeri 58 olduğu tespit edilmiştir. PP içerisine 50 nm, 1,5 μ ve 2,6 μ boyutundaki %2 Mg(OH)₂ tozunun ilavesiyle yaklaşık % 4'lük bir artış olmuştur. PP içerisine 50 nm boyutundaki %4 Mg(OH)₂ tozunun ilavesiyle bu değer 62,8'ye çıkmıştır. Dolayısıyla % 8 'lik bir artış olmuştur. %4 oranında 1,5 μ ve 2,6 μ boyutlarında Mg(OH)₂ tozunun ilavesiyle yaklaşık % 2 artma görülmüştür. PP içerisine 50 nm boyutundaki %6 Mg(OH)₂ tozunun ilavesiyle bu değer 63,2'ye çıkmıştır. Dolayısıyla % 33 'lük bir artış olmuştur. %6 oranında 1,5 μ ve 2,6 μ boyutlarında Mg(OH)₂ tozunun ilavesiyle yaklaşık % 5 artma görülmüştür. Son olarak oran artırılması sonucunda PP içerisine 50 nm boyutundaki %10 Mg(OH)₂ tozunun ilavesiyle bu değer 65'e çıkmıştır. Dolayısıyla % 12 'lik bir artış olmuştur. %10 oranında 1,5 μ ve 2,6 μ boyutlarında Mg(OH)₂ tozunun ilavesiyle saf PP'ye göre hemen hemen aynı kaldığı görülmüştür.

IV.1.1.6. Çentikli Izod Darbe Mukavemeti

Darbe deneyinde, numunenin dinamik bir zorlama altında kırılması için gereken enerji miktarı tayin edilir. Bulunan değer, malzemenin darbe direnci (darbe mukavemeti) olarak tanımlanır [86].

Tablo IV.1.1.6 Izod Darbe Mukavemeti Test Sonucu Elde Edilen Izod Darbe Mukavemetleri (kJ/m²)

	%0	%2	%4	%6	%10
50nm	7.3 $\pm$ 1	6.9 $\pm$ 1	5.5 $\pm$ 0	4.5 $\pm$ 1	4.3 $\pm$ 1
1.5μ	7.3 $\pm$ 1	5.0 $\pm$ 0	4.4 $\pm$ 1	2.7 $\pm$ 1	2.4 $\pm$ 2
2.6μ	7.3 $\pm$ 1	6.3 $\pm$ 2	5.3 $\pm$ 2	4.9 $\pm$ 0	4.1 $\pm$ 1



Şekil IV.1.1.6 Izod Darbe Mukavemeti Test Sonucu Elde Edilen Izod Darbe Mukavemeti Değerleri

Genel itibariyle 3 partikül boyutuna bakarsak karışım oranı artan $\text{Mg}(\text{OH})_2$ tozunun darbe mukavemeti düşmüştür. Dolayısıyla herhangi bir yük altında kalan malzemenin direnci az olacaktır. Saf PP'nin Izod darbe mukavemeti değeri $7,3 \text{ kJ/m}^2$ olduğu tespit edilmiştir. PP içerisine 50 nm boyutundaki $\text{Mg}(\text{OH})_2$ %2 tozunun ilavesiyle bu değer $6,9 \text{ kJ/m}^2$ 'ya düşmüştür. Dolayısıyla % 5 'lük bir azalma olmuştur. %2 oranında $1,5\mu$ boyutlarında $\text{Mg}(\text{OH})_2$ tozunun ilavesiyle $5,0 \text{ kJ/m}^2$ olan bu değerde % 32 azalma görülmüştür. %2 oranında $2,6\mu$ boyutlarında $\text{Mg}(\text{OH})_2$ tozunun ilavesiyle $6,3 \text{ kJ/m}^2$ olan değerde % 11 azalma görülmüştür.

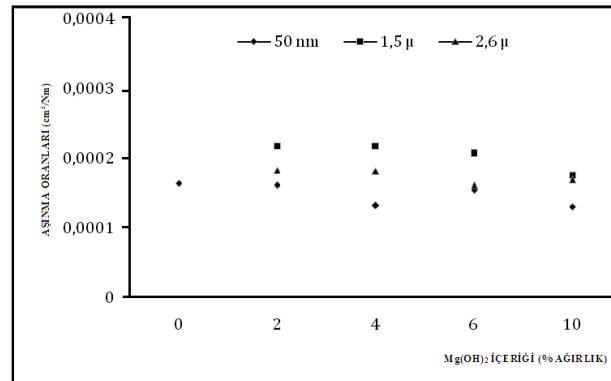
Oran artırılarak incelendiğinde PP içerisine 50 nm boyutundaki %4 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ tozunun ilavesiyle bu değer $5,5 \text{ kJ/m}^2$ 'ya çıkmıştır. Dolayısıyla % 25 'lük bir azalma olmuştur. %4 oranında $1,5\mu$ boyutlarında $\text{Mg}(\text{OH})_2$ tozunun ilavesiyle $5,0 \text{ kJ/m}^2$ olan bu değerde % 40 azalma görülmüştür. %4 oranında $2,6\mu$ boyutlarında $\text{Mg}(\text{OH})_2$ tozunun ilavesiyle $5,3 \text{ kJ/m}^2$ olan değerde % 27 azalma görülmüştür. Oran tekrar artırılarak bakıldığında PP içerisine 50 nm boyutundaki %6 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ tozunun ilavesiyle bu değer $4,5 \text{ kJ/m}^2$ 'ya düşmüştür. Dolayısıyla % 38 'lük bir azalma olmuştur. %6 oranında $1,5\mu$ boyutlarında $\text{Mg}(\text{OH})_2$ tozunun ilavesiyle $2,7 \text{ kJ/m}^2$ olan bu değerde % 63 azalma görülmüştür. %6 oranında $2,6\mu$ boyutlarında $\text{Mg}(\text{OH})_2$ tozunun ilavesiyle $4,9 \text{ kJ/m}^2$ olan değerde % 33 azalma görülmüştür. Son olarak oran artırılması sonucunda PP içerisine 50 nm boyutundaki %10 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ tozunun ilavesiyle bu değer $4,3 \text{ kJ/m}^2$ 'ya düşmüştür. Dolayısıyla % 41 'lik bir azalma olmuştur. %10 oranında $1,5\mu$ boyutlarında $\text{Mg}(\text{OH})_2$ tozunun ilavesiyle $2,4 \text{ kJ/m}^2$ olan bu değerde % 67 azalma görülmüştür. %10 oranında $2,6\mu$ boyutlarında $\text{Mg}(\text{OH})_2$ tozunun ilavesiyle $4,1 \text{ kJ/m}^2$ olan değerde % 44 azalma görülmüştür.

IV.1.1.7. Aşınma Oranı

Aşınma sürtünen yüzeylerde malzeme kaybı olarak tanımlanır. Aşınma miktarı malzemenin türüne, sürtünen yüzeylerin biçimine, sürtünme koşullarına ve çevrenin kimyasal etkilerine bağlıdır. Belirli bir kuvvet etkisinde belirli bir süre deneye tutulan parçalarda aşınma miktarı ağırlık veya hacim azalması veya boyut azalması ile ölçülür [87].

Tablo IV.1.1.7 Aşınma Test Sonucu Elde Edilen Aşınma Oranı (cm^3/Nm)

	%0	%2	%4	%6	%10
50nm	0.000164	0.000161	0.000132	0.000154	0.000130
1.5 μ	0.000164	0.000217	0.000217	0.000206	0.000175
2.6 μ	0.000164	0.000182	0.000181	0.000161	0.000169



Şekil IV.1.1.7 Aşınma Test Sonucu Elde Edilen Aşınma Oranı Değerleri

50 nm boyutunda olan karışımda saf PP' ye göre %2 karışım oranında biraz azalma görülmüştür. Buna göre % 4 oranı %2 karışım oranına göre bariz bir şekilde düşme göstermiştir, %6 oranı %4 oranına göre artma gösterirken, %10 oranı % 6'ya göre yine azalma göstermiştir. Malzemenin sertliğine göre aşınma değerleri değişmiştir. 1.5 μ 'da, %2 ve %4 karışım oranlarında değerin aynı kaldığı görülmüştür; fakat onu takip eden oranlarda azalma gözlemlenmiştir.

2.6 μ 'da ise, %10 kadar düşme gözlemlenir. %10 oranı karıştırıldığında aşınma oranında bir artış olmuştur. Oranın azalması malzemedeki pürüzlülüğün az olmasına göre değişebilir. Mümkün olasılıkla malzemenin pürüzlülüğüne sebep olan parametrelere bağlı olarak aşınma oranında değişiklikler görmek mümkündür.

Saf PP'nin aşınma oranı değeri 0,000164 cm³/Nm olduğu tespit edilmiştir. PP içerisine 50 nm boyutundaki %2 Mg(OH)₂ tozunun ilavesiyle bu değer 0,000161 cm³/Nm'ya düşmüştür. Dolayısıyla % 2 'lik bir azalma olmuştur. %2 oranında 1,5 μ boyutlarında Mg(OH)₂ tozunun ilavesiyle 0,000217 cm³/Nm olan bu değerde % 32 artma görülmüştür. %2 oranında 2,6 μ boyutlarında Mg(OH)₂ tozunun ilavesiyle 0,000182 cm³/Nm olan değerde % 11 artma görülmüştür. Oran artırılarak incelendiğinde PP içerisine 50 nm boyutundaki %4 Mg(OH)₂ tozunun ilavesiyle bu değer 0,000132 cm³/Nm'ya düşmüştür. Dolayısıyla % 20 'lik bir azalma olmuştur. %4 oranında 1,5 μ boyutlarında Mg(OH)₂ tozunun ilavesiyle 0,000217 cm³/Nm olan bu değerde % 68 azalma görülmüştür. %4 oranında 2,6 μ boyutlarında Mg(OH)₂ tozunun ilavesiyle 0,000181 cm³/Nm olan değerde % 10 artma görülmüştür.

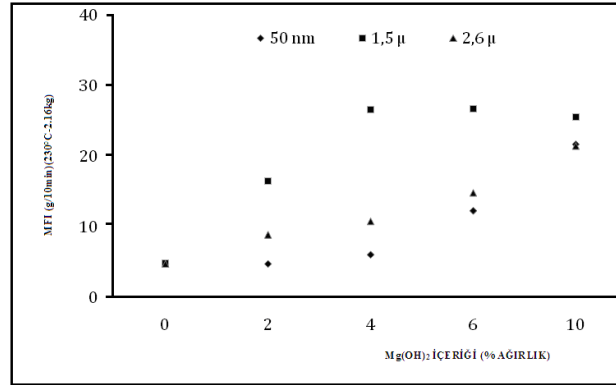
Oran tekrar artırılarak bakıldığında PP içerisine 50 nm boyutundaki %6 Mg(OH)₂ tozunun ilavesiyle bu değer 0,000154 cm³/Nm'ya düşmüştür. Dolayısıyla % 6 'lık bir azalma olmuştur. %6 oranında 1,5 μ boyutlarında Mg(OH)₂ tozunun ilavesiyle 0,000206 cm³/Nm olan bu değerde % 26 artma görülmüştür. %6 oranında 2,6 μ boyutlarında Mg(OH)₂ tozunun ilavesiyle 0,000161 cm³/Nm olan değerde % 2 azalma görülmüştür. Son olarak oranın arttırılması sonucunda PP içerisine 50 nm boyutundaki %10 Mg(OH)₂ tozunun ilavesiyle bu değer 0,000130 cm³/Nm'ya düşmüştür. Dolayısıyla % 21 'lik bir azalma olmuştur. %10 oranında 1,5 μ boyutlarında Mg(OH)₂ tozunun ilavesiyle 0,000175 cm³/Nm olan bu değerde % 7 artma görülmüştür. %10 oranında 2,6 μ boyutlarında Mg(OH)₂ tozunun ilavesiyle 0,000169 cm³/Nm olan değerde % 3 artma görülmüştür.

IV.1.1.8. Erime Akış İndeksi (MFI)

Belirli sıcaklık ve basınç koşulları altında erimiş plastik granüllerin akışkanlıkları g/10 dk. olarak tayin edilir. Akışkanlık, ürünün işlenmesinde ve kalıplanmasında kritik bir öneme sahip olan, bu nedenle de kontrolü oldukça önemli parametrelerden biridir [88]. Polimer eriyiklerin akışını tanımlayan yöntemlerden biri olan eriyik akış indeksi, pratikte çok yaygın kullanılmaktadır. Eriyik akış indeksi, akıcılığı tanımlayan bir indekstir. Belirli bir sürede akan polimerin ağırlığı ise akış indeksini verir. Kısmen kristalli termoplastikleri alt gruplara ayırmada eriyik akış indeksi MFI kullanılır. MFI değeri düşükse M_w (molekül ağırlığı) değeri yüksektir [89].

Tablo IV.1.1.8 Eriyik Akış İndeksi Verileri (g/10dak)

	%0	%2	%4	%6	%10
50nm	4.8 ±2	4.8 ±1	6.1 ±1	12.3 ±1	21.7 ±1
1.5μ	4.8 ±2	16.5 ±5	26.6 ±0	26.7 ±1	25.5 ±1
2.6μ	4.8 ±2	8.9 ±0	10.8 ±1	14.8 ±1	21.4 ±4



Şekil IV.1.1.8 Erime Akış İndeksi Değerleri

50 nm boyutunda olan karışımın MFI değeri karışım oranları artıkça artmıştır. Bu durumda akıcılığın arttığını söylemek mümkündür. Akıcılığı artan malzemenin molekül ağırlığında düşme gözlenir. 1.5 μ 'da %10 oranına kadar artış gözlenmiştir. %10 da değerin çok azalmamakla birlikte biraz düştüğü görülmüştür. Akıcılığın iyi olduğu söylenebilir. 2.6 μ 'da ise 50nmdeki gibi karışım oranlarının artışına göre akıcılığın artışı gözlenmiştir.

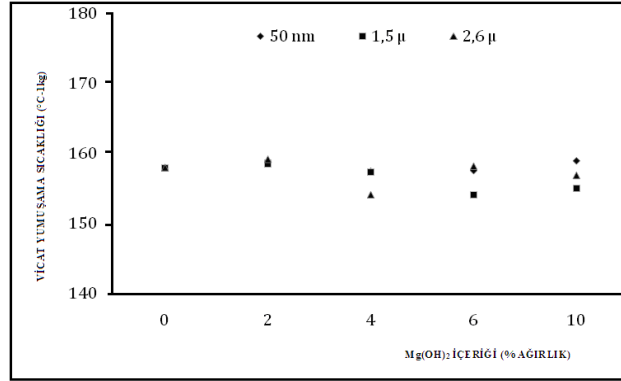
Saf PP aşınma oranı 4,8 g/10dak değerinde olduğu görülmüştür. PP içerisine 50 nm boyutundaki %2 Mg(OH)₂ tozunun ilavesiyle saf PP 'ye göre hemen hemen aynıdır. PP içerisine 1,5 μ boyutundaki %2 Mg(OH)₂ tozunun ilavesiyle 3.43 katı artmıştır. PP içerisine 2,6 μ boyutundaki %2 Mg(OH)₂ tozunun ilavesiyle %85 artmıştır. Oran artırılarak incelendiğinde PP içerisine 50 nm boyutundaki %4 Mg(OH)₂ tozunun ilavesiyle %27 artma olmuştur. 1.5 μ boyutundaki %4 Mg(OH)₂ tozunun ilavesiyle 5,54 kat artmıştır. 2.6 μ boyutundaki %4 Mg(OH)₂ tozunun ilavesiyle saf PP 'ye göre 2.25 artış olmuştur. Oran tekrar arttırıldığında PP içerisine 50 nm boyutundaki %6 Mg(OH)₂ tozunun ilavesiyle saf PP 'ye göre 2,56 kat artmıştır. 1.5 μ boyutundaki %6 Mg(OH)₂ tozunun ilavesiyle 5,55 kat artmıştır. 2.6 μ boyutundaki %6 Mg(OH)₂ tozunun ilavesiyle 3.08 kat artmıştır. Son olarak oran artırılması sonucunda PP içerisine 50 nm boyutundaki %10 Mg(OH)₂ tozunun ilavesiyle saf PP 'ye göre 4.52 kat artmıştır. 1.5 μ boyutundaki %10 Mg(OH)₂ tozunun ilavesiyle 5.31 kat artmıştır. 2.6 μ boyutundaki %10 Mg(OH)₂ tozunun ilavesiyle 4.45 kat artmıştır.

IV.1.1.9. Vicat Yumuşama Sıcaklığı

Vicat termoplastiğin yumuşamaya başladığı sıcaklıktır. Vicat, termoplastik maddelerin ve bileşiklerin yumuşama özellikleriyle ilgili farklılıklarını tanımlamak için kullanılır [90]. Yumuşama sıcaklığı esasen sadece malzemenin ön seçiminde bir bilgi vermektedir [91].

Tablo IV.1.1.9 Vicat Yumuşama Sıcaklığı (°C)

	%0	%2	%4	%6	%10
50nm	157.9 ±2	158.7 ±1	157.4 ±0	157.5 ±0	158.9 ±1
1.5µ	157.9 ±2	158.5 ±0	157.3 ±0	154.0 ±1	155.0 ±1
2.6µ	157.9 ±2	159.1 ±1	154.0 ±1	158.1 ±0	156.8 ±0



Şekil IV.1.1.9 Vicat Yumuşama Sıcaklığı Değerleri

3 boyutta olan karışımlarda genellikle 154–158 °C dolaylarında yumuşama sıcaklığı tespit edilmiştir.

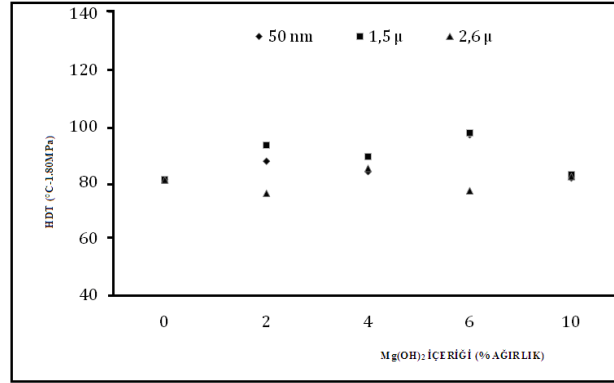
Saf PP Vicat yumuşama sıcaklığı 157,9 °C olduğu görülmüştür. PP içerisine 50nm, 1,5µ ve 2.6µ boyutundaki Mg(OH)₂ tozunun %2,%4,%6ve %10 ilavesiyle saf PP ‘ye göre hemen hemen aynıdır.

IV.1.1.10. Isıl Çarpılma Sıcaklığı (HDT)

HDT’de test numunesi eğilir ve belirlenmiş bir sıcaklık artışıyla ısıtılır. Numune standartlarda belirtilen eğilme değerine ulaştığında, HDT sıcaklığına erişilmiş olunur. HDT, maddelerin ısıya karşı dayanımları ve polimerlerin termal davranışları hakkında bilgi verir [90].

Tablo IV.1.1.10 Isıl Çarpılma Sıcaklığı Verileri (°C)

	%0	%2	%4	%6	%10
50nm	80.8 ±3	87.3 ±1	83.6 ±4	96.7 ±0	81.3 ±2
1.5µ	80.8 ±3	93.0 ±5	89.1 ±4	97.4 ±1	82.5 ±0
2.6µ	80.8 ±3	76.1 ±1	84.9 ±2	77.0 ±1	82.0 ±3



Şekil IV.1.1.10 Isıl Çarpılma Sıcaklığı Değerleri

50 nm boyutundaki karışımda %2, %4'e göre düşme göstermiştir.%6'a bakıldığında yükselme göstermiştir. Akabinde %10'luk karışımda yine azalma olmuştur. 1.5µ'da %2'deki değerine göre %4 azalmış, sonra %6'da artmıştır ve %10'da azalma göstermiştir. 2.6µ ise %2 değeri, %4'e göre artmıştır. %6'da düşmüş ve %10'da yükselme göstermiştir. Bu durumlar değişik oranlarda malzemenin ısıya karşı dayanıklılığıdır.

Saf PP'nin HDT değeri 80,8 °C olduğu tespit edilmiştir. PP içerisine 50 nm boyutundaki %2 Mg(OH)₂ tozunun ilavesiyle bu değer 87,3 °C'ya çıkmıştır. Dolayısıyla % 8 'lik bir artış olmuştur. %2 oranında 1,5µ boyutundaki %2 Mg(OH)₂ tozunun ilavesiyle %15 artış olmuştur. 2.6µ boyutlarında %2 Mg(OH)₂ tozunun ilavesiyle yaklaşık % 6 azalma görülmüştür.

Oran arttırılarak incelendiğinde PP içerisine 50 nm boyutundaki %4 Mg(OH)₂ tozunun ilavesiyle bu değer 83,6 °C'ye çıkmıştır ve %3 artma olmuştur. 1.5µ boyutundaki %4 Mg(OH)₂ tozunun ilavesiyle %10 artma olmuştur. 2.6µ boyutundaki %4 Mg(OH)₂ tozunun ilavesiyle %5 artmıştır. Oran tekrar artırılarak bakıldığında PP içerisine 50 nm ve 1,5µ boyutundaki %6 Mg(OH)₂ tozunun ilavesiyle %20 artma olmuştur. 2.6µ boyutundaki %6 Mg(OH)₂ tozunun ilavesiyle %5 azalma olmuştur. Son olarak oranın artırılması sonucunda PP içerisine 50 nm, 1,5µ ve 2.6µ boyutundaki %10 Mg(OH)₂ tozunun ilavesiyle yaklaşık %2 artmıştır.

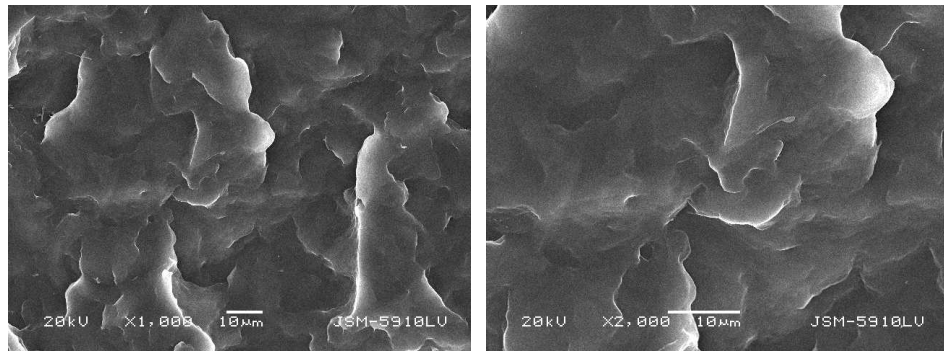
IV.1.2 Değişik Partikül Boyutlarındaki Mg(OH)₂ Katkılı Polipropilen (PP) Nanokompozitin Mikroyapı İncelemesi

Değişik partikül boyutlarındaki Mg(OH)₂ katkı Polipropilen (PP) nanokompozitin mikro yapıları SEM yardımıyla incelendi. Polimerlerin kırılan yüzeyine (%80) altın, (%20) paladyum alaşımı ile 10 nm kalınlığında kaplandı. 500.000 X büyötmeye sahip, 20 Kv'lık gerilim altında çalışan mikroskop kullanıldı.

Çalışmamızda 13 grup bulunmaktadır. 1.grupta saf PP bulunmakta olup, diğer gruplarda değişik oranlarda Mg(OH)₂ karıştırılmıştır. 2.,5.,8. ve 11. gruplarına sırasıyla %2,%4.%6 ve %10 oranlarında 50nm boyutunda; 3.,6.,9. ve 12. gruplarına sırasıyla %2,%4.%6 ve %10 oranlarında 1.5µ boyutunda; 4.,7.,10. ve 13. gruplarına sırasıyla %2,%4.%6 ve %10 oranlarında 2.6µ boyutunda karışımlar elde edilmiştir.

IV.1.2.1. Katkısız Polipropilen (PP- 1. Grup)

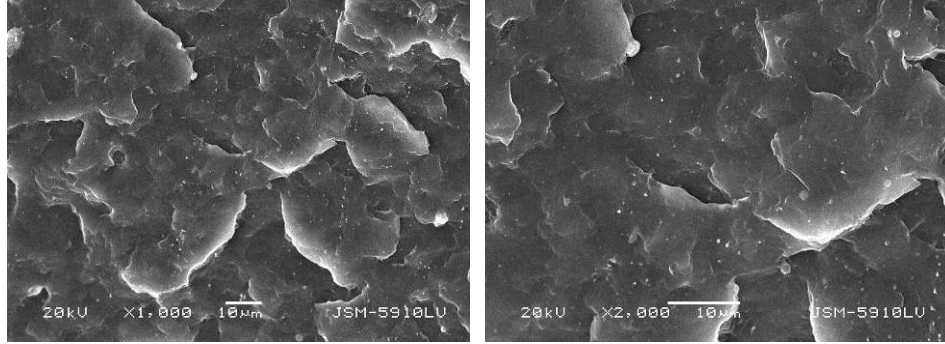
Çalışmamıza 1.grup olan saf PP ile başladık ve SEM'de Mg(OH)₂ olmadan fotoğrafları elde ettik. Şekil IV.1.2.1. PP in mikroyapı fotoğrafı görölmektedir.



Şekil IV.1.2.1 Grup1(%100 PP) SEM Görüntüleri

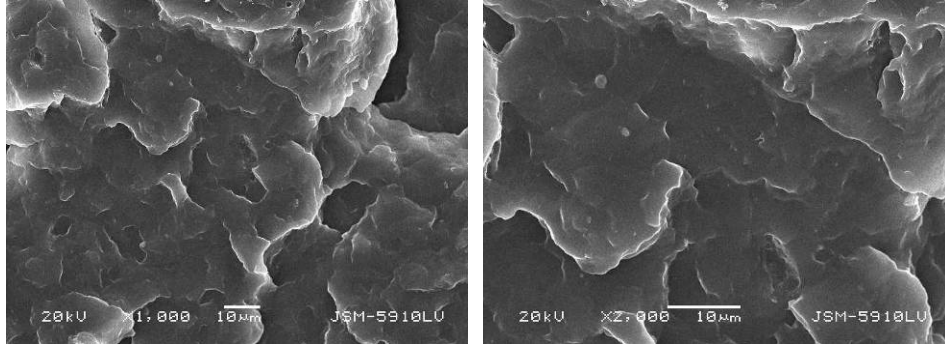
IV.1.2.2. 50 nm boyutlarındaki karışımlar (2.,5.,8. ve 11. Gruplar)

Grup 2, %2 Mg(OH)₂ katılan karışım 50nm boyutundadır ve SEM mikroyapısı Şekil IV.1.2.2’de görülmektedir. Görüntüler incelendiğinde homojen bir görüntü elde edilmiştir; fakat topaklanma az olsa da görülmektedir.



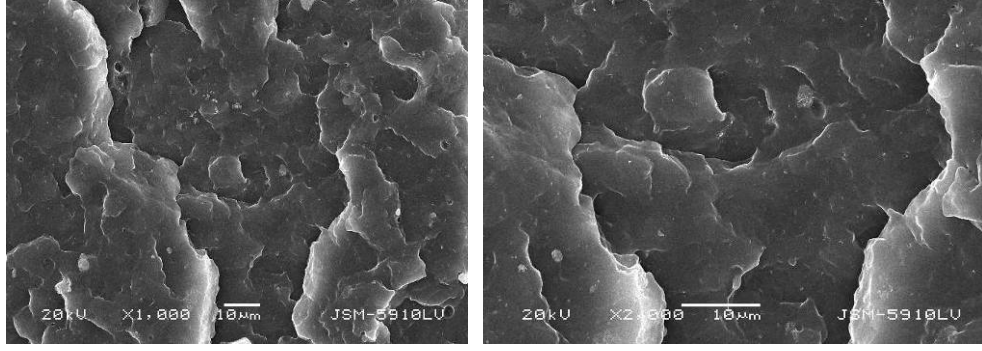
Şekil IV.1.2.2 Grup2 (% 98PP/%2 Mg(OH)₂) SEM Mikroyapısı (x1000, x2000)

Grup 5, %4 Mg(OH)₂ katılan karışım 50nm boyutundadır ve SEM mikroyapısı Şekil IV.1.2.2.1’de görülmektedir. Görüntüler incelendiğinde homojen bir görüntü elde edilmiştir; fakat topaklanma %2’den biraz daha net görülmektedir.



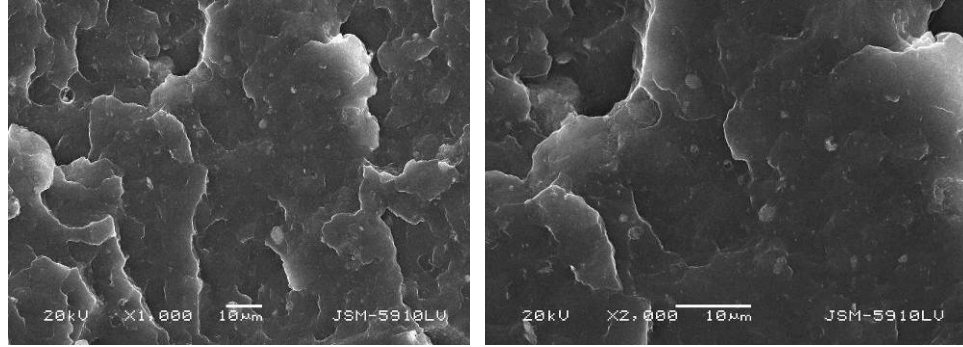
Şekil IV.1.2.2.1 Grup5 (% 96PP/%4 Mg(OH)₂) SEM Mikroyapısı (x1000, x2000)

Grup 8, %6 Mg(OH)₂ katılan karışım 50nm boyutundadır ve SEM mikroyapısı Şekil IV.1.2.2.2’da görülmektedir. Görüntüler incelendiğinde burada da homojen bir görüntü elde edilmiştir; fakat topaklanmanın daha da arttığı görülmektedir.



Şekil IV.1.2.2.2 Grup8 (% 94PP/%6 Mg(OH)₂) SEM Mikroyapısı (x1000, x2000)

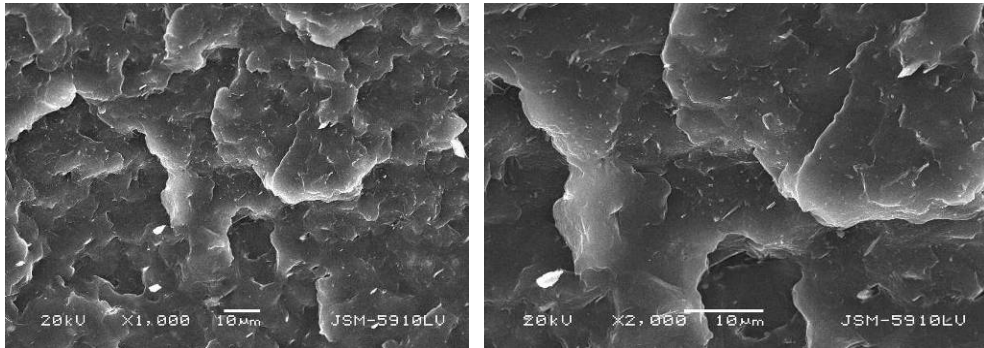
Grup 11, %10 Mg(OH)₂ katılan karışım 50nm boyutundadır ve SEM mikroyapısı Şekil IV.1.2.2.3’da görülmektedir. Görüntüler incelendiğinde homojen bir görüntü elde edilmiştir; fakat topaklanma burada da görülmektedir.



Şekil IV.1.2.2.3 Grup11 (% 90PP/%10 Mg(OH)₂) SEM Mikroyapısı (x1000, x2000)

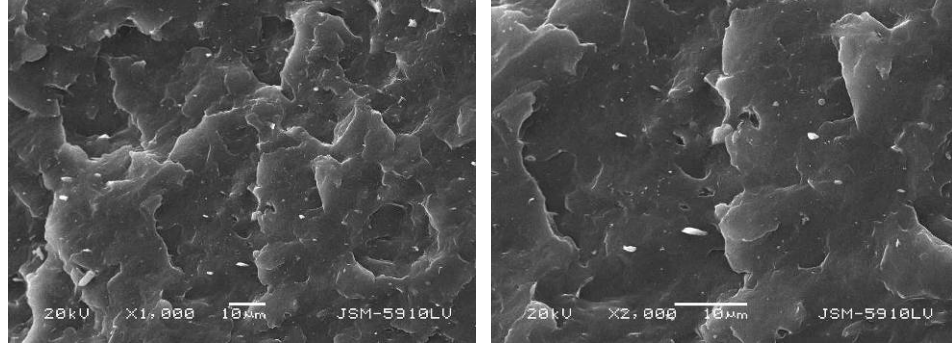
IV.1.2.3. 1.5µ boyutlarındaki karışımlar (3.,6.,9. ve 12. Gruplar)

Grup 3 , %2 Mg(OH)₂ katılan karışım 1.5µ boyutundadır ve SEM mikroyapısı Şekil IV.1.2.3’de görülmektedir. Görüntüler incelendiğinde homojen bir görüntü elde edilmiştir.



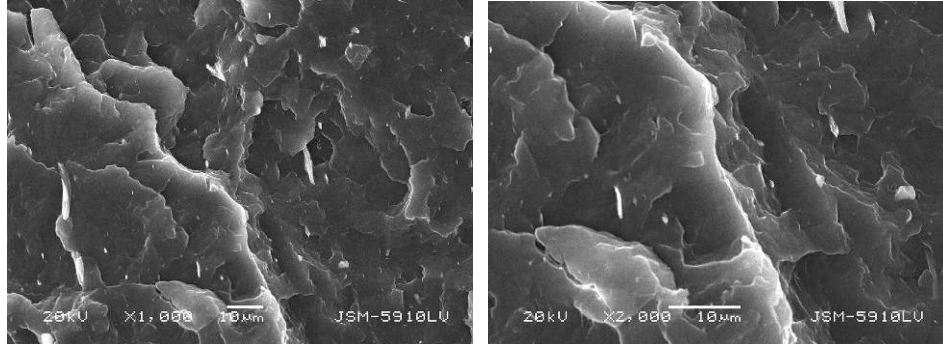
Şekil IV.1.2.3 Grup3 (% 98PP/%2 Mg(OH)₂) SEM Mikroyapısı (x1000, x2000)

Grup 6 , %4 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ katılan karışım 1,5 μ boyutundadır ve SEM mikroyapısı Şekil IV.1.2.3.1’de görülmektedir. Görüntüler incelendiğinde homojen bir görüntü elde edilmiştir; fakat topaklanmanın başladığı görülmektedir.



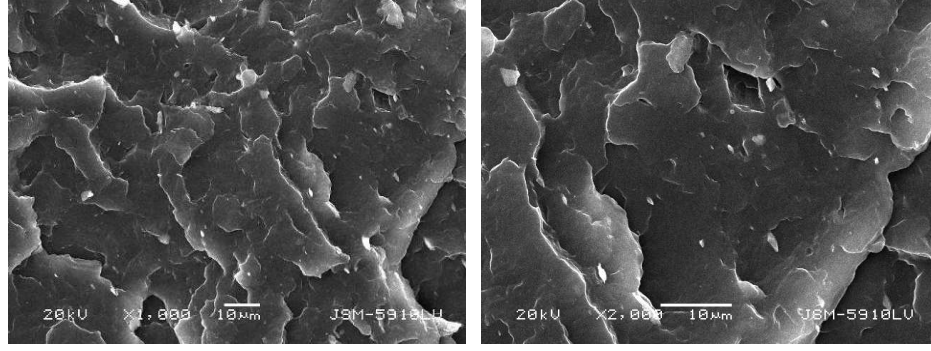
Şekil IV.1.2.3.1 Grup6 (% 96PP/%4 $\text{Mg}(\text{OH})_2$) SEM Mikroyapısı (x1000, x2000)

Grup 9 , %6 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ katılan karışım 1,5 μ boyutundadır ve SEM mikroyapısı Şekil IV.1.2.3.2’da görülmektedir. Görüntüler incelendiğinde homojen bir görüntü elde edilmiştir; fakat topaklanma %4’den daha fazla olduğu görülmektedir.



Şekil IV.1.2.3.2 Grup9 (% 94PP/%6 $\text{Mg}(\text{OH})_2$) SEM Mikroyapısı (x1000, x2000)

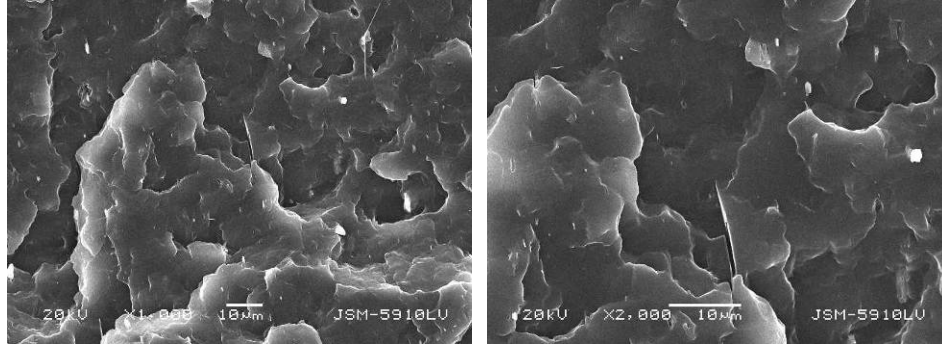
Grup 12 , %10 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ katılan karışım 1,5 μ boyutundadır ve SEM mikroyapısı Şekil IV.1.2.3.3.’da görülmektedir. Görüntüler incelendiğinde homojen bir görüntü elde edilmiştir; fakat topaklanmanın da arttığı görülmektedir.



Şekil IV.1.2.3.3 Grup12 (% 90PP/%10 Mg(OH)₂) SEM Mikroyapısı (x1000, x2000)

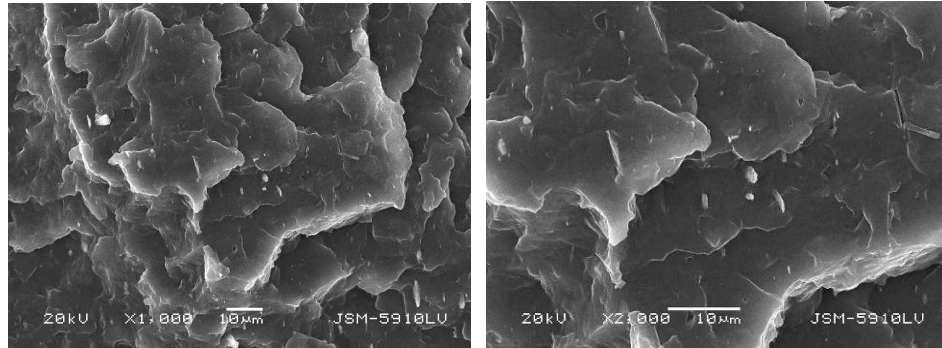
IV.1.2.4. 2,6µ boyutlarındaki karışımlar (4.,7.,10. ve 13. Gruplar)

Grup 4 , %2 Mg(OH)₂ katılan karışım 2,6µ boyutundadır ve SEM mikroyapısı Şekil IV.1.2.4’de görülmektedir. Görüntüler incelendiğinde homojen bir görüntü elde edilmiştir.



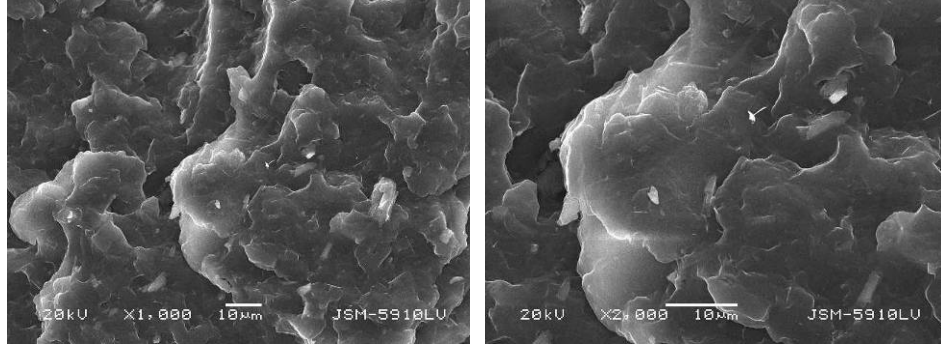
Şekil IV.1.2.4 Grup4 (% 98PP/%2 Mg(OH)₂) SEM Mikroyapısı (x1000, x2000)

Grup 7 , %4 Mg(OH)₂ katılan karışım 2,6µ boyutundadır ve SEM mikroyapısı Şekil IV.1.2.4.1’de görülmektedir. Görüntüler incelendiğinde homojen bir görüntü elde edilmiştir; topaklanma %2’den biraz daha net görülmektedir.



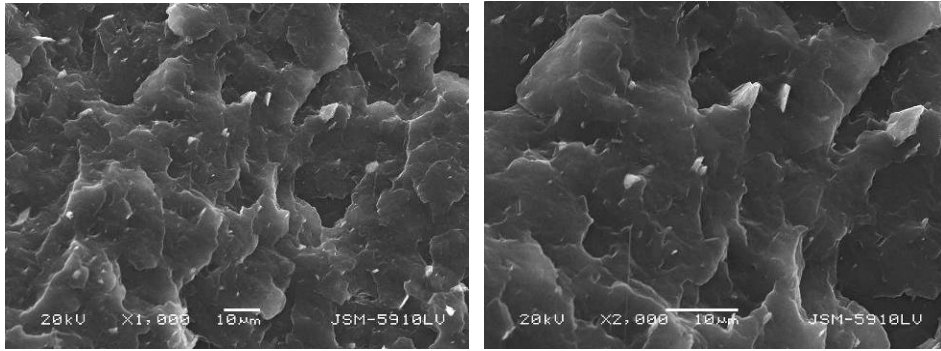
Şekil IV.1.2.4.1 Grup7 (% 96PP/%4 Mg(OH)₂) SEM Mikroyapısı (x1000, x2000)

Grup 10 , %6 $Mg(OH)_2$ katılan karışım $2,6\mu$ boyutundadır ve SEM mikroyapısı Şekil IV.1.2.4.2’da görülmektedir. Görüntüler incelendiğinde homojen bir görüntü elde edilmiştir; topaklanma %4’den daha da fazla olduğu görülmektedir.



Şekil IV.1.2.4.2 Grup10 (% 94PP/%6 $Mg(OH)_2$) SEM Mikroyapısı (x1000, x2000)

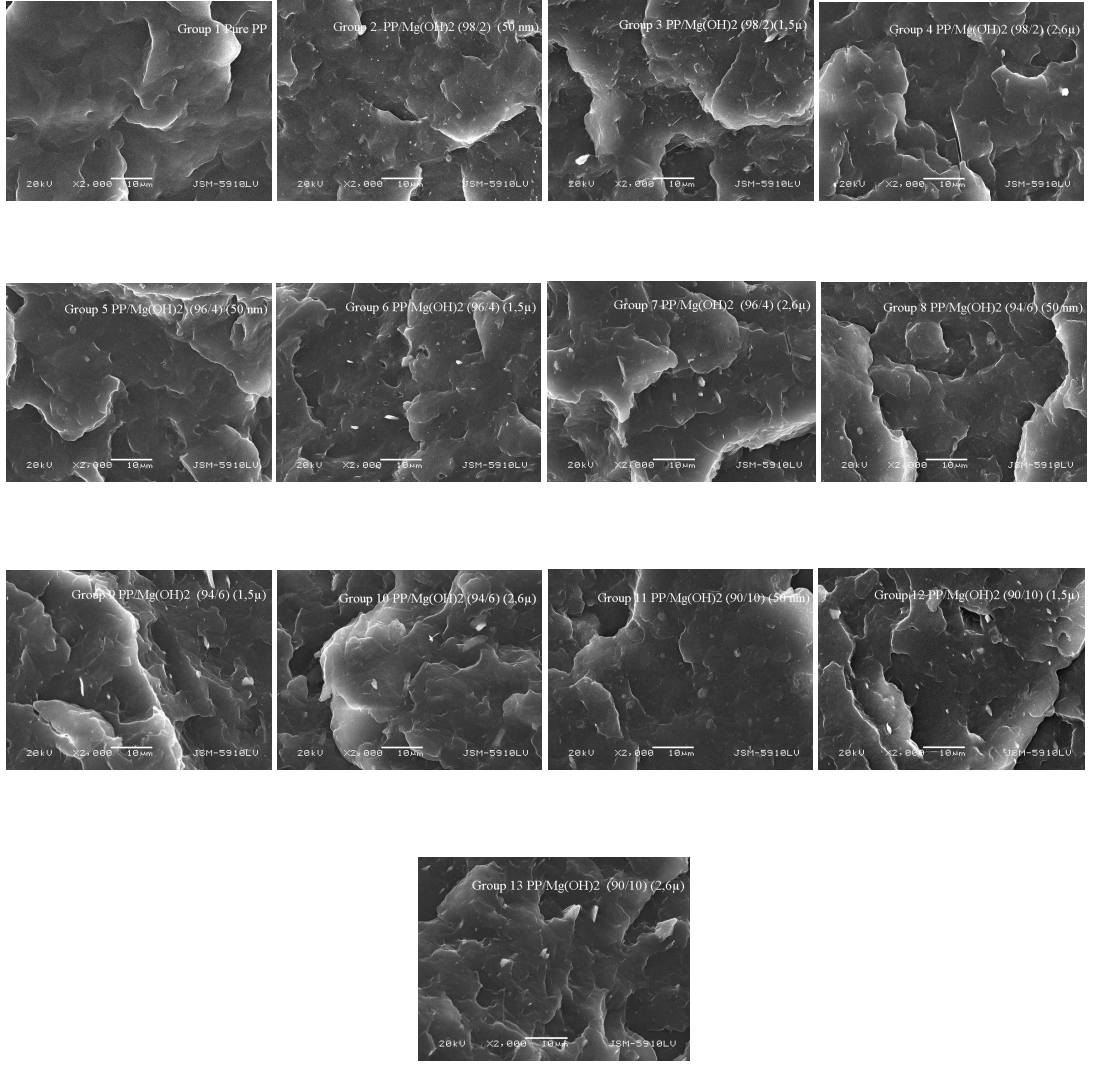
Grup 13, %10 $Mg(OH)_2$ katılan karışım $2,6\mu$ boyutundadır ve SEM mikroyapısı Şekil IV.1.2.4.3’da görülmektedir. Görüntüler incelendiğinde homojen bir görüntü elde edilmiştir; fakat burada da topaklanma görülmektedir.



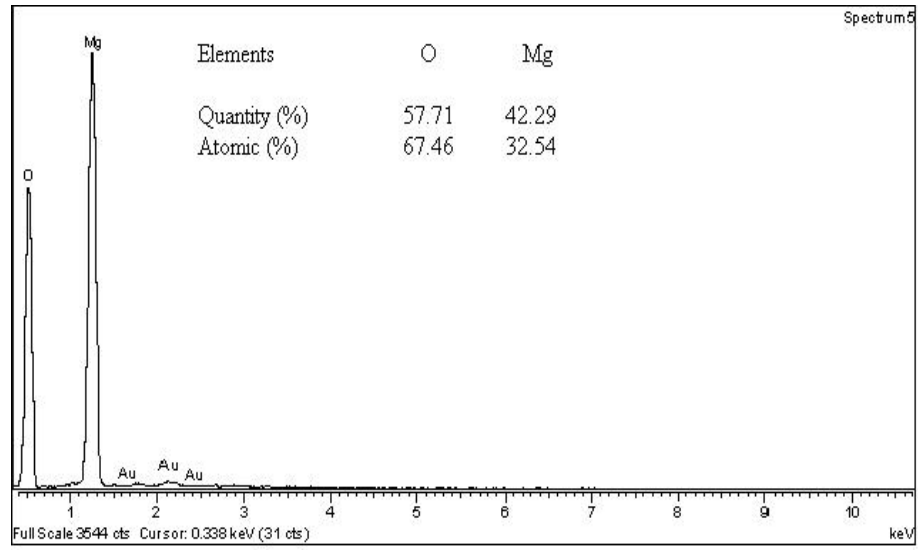
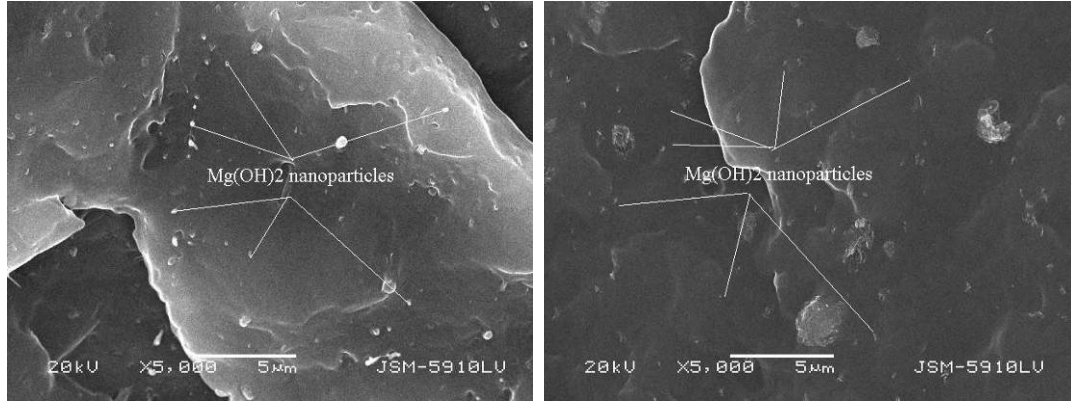
Şekil IV.1.2.4.3 Grup13 (% 90PP/%10 $Mg(OH)_2$) SEM Mikroyapısı (x1000, x2000)

IV.1.3 SEM Genel Bakış ve EDAX Grafiği Değerlendirmesi

SEM fotoğraflarında karışım oranı artıkça topaklanma fazla olduğu açıkça görülüyor. Bunun yanında homojen dağılım olduğunu söylemek mümkündür. Topaklanma miktarı toz miktarının artmasıyla tüm gruplarda artış göstermiştir. Kullanılan tozun yüzeyinin SEM için kaplanmamış olması bu topaklanmayı oluşturmaktadır. Bu tez çalışmasında kullanılan tozun kaplanmamış olarak seçilmesinin özel bir nedeni de topaklanmanın tespitinin belirlenmesidir.



Şekil IV.1.3 Değişik Partikül Boyutlarındaki Mg(OH)_2 Katkılı Polipropilen (PP) Nanokompozitin SEM Fotoğraflarının Genel Olarak Görünümü



Şekil IV.1.3.1 EDAX Sonucu Elde Edilen Grafik

Şekil IV.1.3.1' de görüldüğü gibi kullanılan tozun cinsinin belirlenmesi amacıyla EDAX analizi yapılmıştır. Yukarıdaki grafikte de görüldüğü gibi değişik yerlerden yapılan EDAX analizi sonucunda yapıda oksijen ve magnezyum'un olması kullanılan tozun $Mg(OH)_2$ olduğunu belirtmektedir.

BÖLÜM V

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

V.1 SONUÇLAR

50 nm, 1.5 μ ve 2.6 μ boyutlarında ve % 2,% 4,% 6 ve %10 oranlarında kullanılan Mg(OH)₂ tozunun polipropilene eklenmesiyle elde edilen polimer kompozitinin Elastiklik Modülü, Akma Mukavemeti, Çekme Mukavemeti, Kopma Uzaması, Sertlik, Çentikli Izod Darbe Mukavemeti, Aşınma Oranı, Eriyik Akış İndisi (MFI), Vicat Yumuşama Sıcaklığı, Isıl Çarpılma Sıcaklığı (HDT) ve mikro yapısal özelliklerindeki değişimler incelenmiştir. Mg(OH)₂ tozunun üniform olarak PP içerisinde dağıtılması zordur. Bunun için bir bağlayıcı ajan maddesi kullanılması gereklidir. Biz bu ajan maddeyi kullanmadan polimer kompoziti elde etmeye çalıştık. Tabi burada kullanılan bağlayıcı ajan maddenin bir takım mekanik ve ısısal değerlerde değişimler göstereceğini söylemek gerekir. Amaçlarımızdan bir tanesi de bu ajan madde kullanılmadan ne kadar homojen bir dağılım ve değerlerde, nasıl bir etki elde edebileceğimizi tespit etmek idi.

Dolgu maddeleri, yapı ve bileşimleri ile polimerlerden farklı olan ve plastiklere katı halde karıştırılan katkılardır. Genelde maliyet düşürücü olarak kullanılsalarda, bu çalışmamızda Mg(OH)₂ tozunun takviyelendirici özellikleri ön plandadır. Dolgu maddelerinin kullanılmasıyla elde edilen polimer kompozitinin göz ile yapılan incelemesinde renginde bir değişimin olduğu tespit edilmiştir. Tüm gruplarda oran arttıkça sararmanın da arttığı tespit edilmiştir. Partikül büyüklüğü arttıkça elde edilen polimer kompozitinin yüzeyinde matlaşma görülmüştür . Beyaz renkte olan Mg(OH)₂ tozunun partikül büyüklüğü azaldıkça da beyazlık artmıştır.

Elastiklik Modülü, malzemenin dayanımı hakkında bilgi vermektedir. Yapmış olduğumuz çalışmada $Mg(OH)_2$ tozunun polipropilene ilavesiyle Elastik Modülü değerlerinde artış belirlenmiştir. Özellikle 50 nm boyutundaki tozun tüm oranlardaki elastiklik modül değerleri diğer partikül boyutlarındakilerden büyük çıkmıştır. Bununla beraber daha homojen dağılım ve partikül boyutunun çok küçük olmasından kaynaklandığını söylemek mümkündür. Buna ek olarak 1.5 ve 2.6 mikron boyutlarındaki tozun ilavesiyle elde edilen polimer kompozitinin elastiklik modül değerleri benzer sonuçlar vermiştir.

Akma ve Çekme Mukavemetlerine baktığımızda inorganik dolgu maddesinin oranının artmasıyla arttığı tespit edilmiştir. Burada partikül büyüklüğünün düşük oranlarda bu değerler üzerinde etkisinin çok az ama yüksek oranlardaki etkisinin ise fazla olduğu görülmektedir. $Mg(OH)_2$ tozunun polipropilene ilavesiyle elde edilen kompozitin kopma uzaması değerlerine baktığımızda bu değerlerde ciddi bir düşüşün olduğu tespit edilmiştir. Kopma Uzaması, malzemenin sünekliğini ölçmenin yollarından biridir. Uzama miktarının artması sünek malzeme olduğunun ve kısa olması gevrek olduğunun gösterir. $Mg(OH)_2$ polipropilen ile zayıf bağlanma özelliğinden dolayı kazandığı olumsuz etki neticesinde, dolgu maddesi olarak kullanımı ile polipropilenin kopma uzaması değerinde azalmaya neden olmaktadır. Sertlik değerlerine baktığımızda inorganik dolgu maddesinin oranının artmasıyla bir miktar arttığı tespit edilmiştir. Sertlik, malzeme yüzeyinin kalıcı şekil değiştirmeye gösterdiği dirençtir. Dolayısıyla bir cismin kuvvet altında o malzeme içine girmesine büyük direnç göstermesidir. Burada da partikül boyutunun düşük olması daha yüksek sertlik değeri vermiştir. Tabii topraklanma ve homojen dağılım da sertlik değerlerini etkilemiştir. $Mg(OH)_2$ polipropilen ile zayıf bağlanma özelliğinden dolayı kazandığı olumsuz etki neticesinde kopma uzamasında da olduğu gibi, dolgu maddesi olarak kullanımı ile polipropilenin darbe mukavemeti değerinde azalmaya neden olmaktadır. Partikül boyutunun bu değerlerde önemli bir etkisinin olmadığı tespit edildi. Literatürde de %10 'a kadar olan dolgu maddesi ilavelerinde de bu değerler üzerinde pek etkisinin olmadığı konusunda tespitler bulunmaktadır. Aşınma, sürtünen yüzeylerde malzeme kaybıdır. Aşınma oranı hesaplanarak aşınma miktarının ağırlık veya hacim azalması veya boyut azalmasını anlamak mümkündür. $Mg(OH)_2$ tozunun düşük oranlardaki ilavesinde aşınma oranının yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Aynı zamanda partikül boyutunun küçük olması da aşınma oranının düşük çıkmasına sebebiyet vermektedir. $Mg(OH)_2$ 'in polipropilen ile zayıf bağlanma özelliğinden dolayı, dolgu maddesi olarak kullanımı ile elde edilen polimer kompozitinin erime akış indisi değerinde artışa neden olmuştur. Bunların dışında $Mg(OH)_2$ tozunun ilavesiyle enjeksiyonla kalıplamada büzülmelerin de azaldığı görülmektedir. Vicat Yumuşama Sıcaklığı, termoplastik maddelerin ve bileşiklerin yumuşama özellikleriyle ilgili farklılıklarını tanımlar. Bu çalışmada yumuşama sıcaklıkları hemen hemen aynı kaldığı (154–158 °C arası) görülmüştür.

Isıl Çarpılma Sıcaklık sonuçları partikül boyutuna ve oranına bağlı olarak çok değişik değerler vermiştir. Bu verilere baktığımızda partikül boyutunun ve oranının HDT değerlerine nasıl bir etki yaptığını kesin bir dille söylemek zordur. Ama ilginç bir tespit olarak her üç boydaki tozun %10 ilavesi ile HDT değerinin neredeyse aynı olduğu tespit edilmiştir (81,3-81 °C arası).

SEM fotoğrafları incelemesi sonucunda tozun oranı artıkça topaklanmanın da arttığı açıkça görülüyor. Bunun yanında homojen dağılım olduğunu söylemek mümkündür. Topaklanma miktarı toz miktarının artmasıyla tüm gruplarda artış göstermiştir. Çalışmada kullanılan tozun yüzeyinin kaplanmamış olması bu topaklanmayı oluşturmaktadır. Bu tez çalışmasında kullanılan tozun kaplanmamış olarak seçilmesinin özel bir nedeni de topaklanmanın tespitinin belirlenmesidir.

Tüm bu veriler sonucunda, yapılan deneysel çalışmalar arasında partikül boyutunun ve oranının etkileri göz önünde bulundurularak, optimum grubun 8. ve 10. grubun (partikül boyutu: 50 nm ve oranı: % 6 ve % 10) olduğunun söylemek mümkündür. Çünkü Elastiklik Modülü, Akma Mukavemeti, Çekme Mukavemeti ve Sertlik değerleri bu gruplarda yüksek çıkmıştır. Literatürde partikül boyutunun küçük olması özellikle Elastiklik Modülü değerinin yüksek çıkmasına dair birçok çalışma da mevcuttur. Dolayısıyla çalışmada bulunan sonuçlar da literatür ile paralellik göstermektedir.

V.2 ÖNERİLER

- İleriki çalışmalarda polimer alaşım oranları ve boyutları değiştirilerek mekanik özellikler üzerine etkileri incelenebilir.
- Deneysel çalışmalarda kullanılan Magnezyum Hidroksit yerine başka dolgu malzemesi kullanılabilir.
- Polimer alaşımları için Polietilen, polikarbonat gibi diğer termoplastik malzemeler de kullanılabilir.
- Üretim yöntemleri değiştirilerek mekanik özellikler üzerine etkileri incelenebilir.
- Proses şartları (sıcaklık, basınç, zaman vb.) değiştirilerek nanokompozit üzerindeki etkileri incelenerek optimum şartlar tespit edilebilir.
- Kullanılan $Mg(OH)_2$ tozunun yüzeyi kaplanmış çeşidi (matrise yüksek bağlanma özelliği) de kullanılarak mekanik, ısısal ve yapısal farklılıklar belirlenebilir ve kıyaslama yapılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] Öksüz, M.: “EPDM/EVA/Polipropilen/Yüksek Yoğunluklu Polietilen Karışımlarının Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi”, *Pagev Plastik Dergisi*, Eylül-Ekim Sayısı, (2002) 122
- [2] Karakuş, S.: “Polivinil klorid / bentonit nanokompozitin hazırlanması ve karakterizasyonu (Synthesis and characterization of poly(vinily choloride) / bentonite nanocomposites)”, *Yüksek Lisans Bitirme Tezi*, Kimya Anabilimdalı, Fiziksel Kimya Programı, İstanbul Üniversitesi,(2006) 1-8
- [3] İşler, R. : “Çok İnce Tanecik Yapısına Sahip Katkı Maddelerinin Plastiklerin Performansına Sağladığı Katkıları”, *Pagev Plastik Dergisi*, Mart-Nisan sayısı ,(2003) 117
- [4] Çıracı, S.; Süzer, Ş.; Erdemir, A.; Dağ, Ö.; Bengü, E.; Bayındır, M.; İlday, F. Ö.; Senger, T.; Dana, A.; Aydınli, A.; Gemici, Z.; Yılgör, İ.; Özgür, H.; Yeşilyurt, Ö.; Durgun, E.; Kocabaş, A.; Köylü, Ö.; Gürsen, İ. : “Türkiye’de Nanoteknoloji”, *Bilim ve Teknik Dergisi*, Aralık Sayısı, (2006) 3-20
- [5] Çıracı, S.; Özbay E.; Gülseren O.; DEMİR H.V.; Bayındır M.; Oral A.; Senger T.; Aydınli A.; Dana A.: “Türkiye’de Nanoteknoloji”, *Bilim ve Teknik Dergisi*, Ağustos Sayısı, (2005) 4-23
- [6] <http://kimya.uzerine.com/index.jsp?objid=1078> (2011)
- [7] www.cocuk.anadolu.edu.tr/veriler/dokumanlar/dok_80.pdf (2011)
- [8] <http://www.harikaresim.net/img759.htm> (2011)
- [9] Baunemann, R.: “NANOTECHNOLOGIES AND PLASTICS”, *Pagev – Plastics Industry Congress*, İstanbul, (2010) 9
- [10] Vatansever, N.; Polat Ş.: “Nano-Malzemelerin Kullanım alanları ve geleceği”, *Pagev Plastik Dergisi*, Mart Nisan Sayısı (2005) 94-96
- [11] <http://nanotech.blogcu.com/nano-teknoloji-uygulama-resimleri/5129728> (2011)
- [12] Karagöz, S.: *Malzeme Bilgisi Ders Notu*, Adnan Menderes Üniversitesi, Aydın Meslek Yüksekokulu, Makine Resim Konstrüksiyon Programı, Aydın, (2008) 8

- [13] Toplan, N.: *Elektriksel Malzemeler Ders Notları*, Sakarya Üniversitesi, (2006-2007) 1-2
- [14] Taşdemir, M.: *Polimer bilimi ders notları*, Marmara Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Göztepe, İstanbul, (2010)
- [15] <http://www.yalova.edu.tr> (2011)
- [16] Saçaklı, Y.: “Polimerin Yapısı”, *Bitirme Tezi*, Marmara Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, (2009)
- [17] MEGEP(Meslekî Eğitim Ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi); “Kimya Teknolojisi Polimer Kavramları Ve Özellikleri2”, Ankara, (2008) 3-10
- [18] http://termofleks.com/UrunDetay/3/52/Termo_Plastik_Granul.html#(2011)
- [19] <http://w3.balikesir.edu.tr/~ay/lectures/pm/plastikte.mek2.pdf> (2011)
- [20] <http://www.sacanplastik.com/default.aspx?pid=54799&nid=44148> (2011)
- [21] <http://www.ua.all.biz/tr/g244728/>
- [22] Kansu, Y.: “Cam Küre, Caco3 ve Talk Dolgulu Polipropilen Hibrit Kompozitlerin Mekanik Ve Fiziksel Özelliklerinin İncelenmesi”, *Yüksek Lisans Tezi*, Kimya Anabilim Dalı, Organik Kimya Programı, İstanbul, (2005) 6-10
- [23] <http://www.yildiz.edu.tr> (2011)
- [24] <http://w3.balikesir.edu.tr/~demirhan/malzeme%20II.htm> (2011)
- [25] <http://www.haddemetal.com/tr> (2011)
- [26] <http://www.google.com.tr/> (2011)
- [27] <http://www.obitet.gazi.edu.tr> (2011)
- [28] <http://www.rtpcompany.com/products/structural/nano.htm> (2011)
- [29] Kaya, M.: “Plastik Nanokompozitler”, *Pagev Plastik Dergisi*, Mart-Nisan Sayısı, (2003) 84
- [30] www.polymer.hacettepe.edu.tr/webim/msen/.../nano_composites2.pdf (2011)
- [31] Erkan, İ.: “Resadiye Bentonitinin Amin İle Modifikasyonu Ve Epoksi Bazlı Nanokompozit Malzeme Üretimi”, *Yüksek Lisans Tezi*, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, (2008) 29-30
- [32] Akçay, D.: “Poli(metil metakrilat)/Bentonit Nanokompozitin Kütle Polimerizasyonu Yöntemiyle Sentezlenmesi ve Karakterizasyonu”, *Yüksek Lisans Tezi*, kimya anabilim dalı, fiziksel kimya programı (2006) 19

- [33] Üner, R .: “Nanopartiküller İle Hazırlanan Polimerik Nanokompozitlerin Özellikleri Ve Uygulama Alanları”, *Lisans Bitirme Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi, **(2006-2007)** 3-4
- [34] <http://www.bilesim.com.tr/yazdir.php?t=3&id=3583&sn=2> **(2011)**
- [35] Şen, F.; Palancıoğlu, H.; ALDAŞ, K.: “Polimerik Nanokompozitler ve Kullanım Alanları”, *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, Aksaray Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü, Aksaray, 111-118, **(2010)** 113
- [36] Jisheng Ma.; Zongneng Qi.; Youliang Hu.: “Synthesis and Characterization of Polypropylene/Clay Nanocomposites”, *Journal of Applied Polymer Science*, China, **(2001)** 3611–3617
- [37] Dezhen Wu.; Xiaodong Wang.; Yongzhi Song.; Riguan Jin.: “Nanocomposites of Poly(vinyl chloride) and Nanometric Calcium Carbonate Particles: Effects of Chlorinated Polyethylene on Mechanical Properties, Morphology, and Rheology”, *Journal of Applied Polymer Science*, China, **(2004)** 2714–2723
- [38] Wang Wenyi.; Zeng Xiaofei.; Wang Guoquan.; Chen Jianfeng.: “Preparation and Properties of Polypropylene Filled with Organo-Montmorillonite Nanocomposites”, *Journal of Applied Polymer Science*, China, , **(2006)** 2875–2880
- [39] Weitao Wan.; Demei Yu.; Yunchuan Xie.; Xiusheng Guo.; Wandu Zhou.; Jiping Cao.: “Effects of Nanoparticle Treatment on the Crystallization Behavior and Mechanical Properties of Polypropylene/ Calcium Carbonate Nanocomposites”, *Journal of Applied Polymer Science*, China, **(2006)** 3480–3488
- [40] Seydibeyoğlu, M. Ö.; Güner, F. S.: “Poliüretan-hektorit nanokompozitlerinin hazırlanması ve Karakterizasyonu”, *İtÜ/ d Serisi Mühendislik Dergisi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İleri Teknolojiler Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Programı, Ayazağa, İstanbul, **(2009)** 73-82
- [41] Seung Hwan Lee.; EunNaRi Cho.; Jae Ryoun Youn.: “Rheological Behavior of Polypropylene/Layered Silicate Nanocomposites Prepared by Melt Compounding in Shear and Elongational Flows”, *Journal of Applied Polymer Science*, Korea, **(2006)** 3506–3515
- [42] López-Quintanilla, M. L.; Sánchez-Valdés, S.; Ramos de Vale, L. F.; Medellín-Rodríguez, F. J. : “Effect of Some Compatibilizing Agents on Clay

- Dispersion of Polypropylene-Clay Nanocomposites”, *Journal of Applied Polymer Science*, México, **(2006)** 4748–4756
- [43] Wei-Zhi Wang.; Tianxi Liu.: “Mechanical Properties and Morphologies of Polypropylene Composites Synergistically Filled by Styrene-Butadiene Rubber and Silica Nanoparticles”, *Journal of Applied Polymer Science*, China, **(2008)** 1654–1660
- [44] Xu Wang.; Ke-Jie Xu,.; Xiang-Bin Xu.; Soo-Jin Park.; Seok Kim.: “Selective Particle Distribution and Mechanical Properties of Nano-CaCO₃/Ethylene-Propylene-Diene Terpolymer/Polypropylene Composites with High Content of Nano-CaCO₃”, *Journal of Applied Polymer Science*, China, **(2009)** 2485–2491
- [45] Somwangthanaroj, A.; Ubankhlong, W.; Tanthapanichakoon, W.: “Solid-State Mechanical Properties of Polypropylene/Nylon 6/Clay Nanocomposites”, *Journal of Applied Polymer Science*, Thailand, **(2010)** 538–546
- [46] <http://www.google.com.tr> **(2011)**
- [47] <http://www.belgeler.com/blg/29if/kompozit> **(2011)**
- [48] Kaşmer, N.: *Polipropilen Sunumu*, Balıkesir Üniversitesi, Necatibey Eğitim Fakültesi, Balıkesir, (2006-2007)
- [49] Öksüz, M.: *Plastik İşleme Teknolojisi 2 Ders Notları*, Marmara Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Göztepe, İstanbul, **(2007-2008)**
- [50] <http://purebulk.com/images/Image.Magnesium-Hydroxide.jpg> **(2011)**
- [51] http://tr.wikipedia.org/wiki/Magnezyum_hidroksit
- [52] Evcin, A.: *Toz Üretim Teknikleri Ders Notları*, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon, **(2008)** 3
- [53] <http://translate.google.com.tr> **(2011)**
- [54] <http://www.turkishexporter.net> **(2011)**
- [55] <http://www.turkcebilgi.com/terazi/ansiklopedi> **(2011)**
- [56] T.C. MİLLÎ EĞİTİM BAKANLIĞI(M.E.B.): *Reaktör Kullanma Notları*, Kimya Teknolojisi, , Ankara, **(2010)** 6-7
- [57] Taşdemir, M.: *Polimer Ders Notları*, Marmara Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Göztepe, İstanbul, **(2010)** 110-114
- [58] <http://www.premier-product-design.co.uk/manufacturing> **(2011)**
- [59] <http://www.labomar.net/etuv.html> **(2011)**

- [60] Koyun, Ç.: “Bilgisayar Destekli Plastik Enjeksiyon Kalıp Tasarımı ve Analizi”, *Yüksek Lisans Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Konstrüksiyon Programı, İstanbul, (2005) 22
- [61] Taşdemir, M.: *Plastik Malzeme Muayene Yöntemleri Ders Notları*, Marmara Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Göztepe, İstanbul, (2009-2010) 1-73
- [62] ASTM D 2240.: “Standard Test Method for Rubber Property—Durometer Hardness”, *American National Standards Institute*, Washington, ABD (2000)
- [63] ISO 180.: “Plastics--Determination of Izod Impact Strength of Rigid Materials”, *International Organization for Standardization*, Geneva, Switzerland, (1993)
- [64] <http://docs.google.com> (2011)
- [65] ISO 1133.: “Plastics -- Determination of the melt mass-flow rate (MFR) and the melt volume-flow rate (MVR) of thermoplastics”, *International Organization for Standardization*, Geneva, Switzerland, (2005)
- [66] http://www.ebilge.com/113345/Hassas_terazi_nedir.html (2011)
- [67] ASTM D638.: “Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics”, *American National Standards Institute*, Washington, ABD (2010)
- [68] Uluğ, E.: “SEBS/PS, SIS/PS ve SBR/PS Polimer Karışımlarının Ayakkabı Taban Malzemesi Olarak Üretilmesi ve Özelliklerinin İncelenmesi”, *Yüksek Lisans Tezi*, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metal Eğitimi Anabilim Dalı, İstanbul, (2011) 45
- [69] TS 11007.: “Lastikler-Döner Bir Bilindir Tambur Yardımıyla Aşınma Direnci Tayini”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Necatibey Caddesi No. 112 Bakanlıklar, Ankara,(1993)
- [70] ISO 75-2.: “Plastics - Determination of Temperature of Deflection under Load”, *International Organization for Standardization*, Geneva, Switzerland, (2004)
- [71] ISO 306.: “Plastics -- Thermoplastic materials -- Determination of Vicat softening temperature (VST)”, *International Organization for Standardization*, Geneva, Switzerland, (2004)
- [72] <http://cygm.meb.gov.tr> (2011)

- [73] <http://www.taek.gov.tr/anasayfa/130-malzeme-teknolojisi/486-taramali-elektron-mikroskobu-sem-nasil-calisir-.html> (2011)
- [74] <http://www.cercom.itu.edu.tr/xrd.html> (2011)
- [75] http://www.turkcebilgi.com/elastisite_modülü/ansiklopedi#ansiklopedi (2011)
- [76] <http://www.turkcebilgi.org/kimya/polimer-kimyasi/polimerlerin-mekanik-ozellikleri-50892.html> (2011)
- [77] <http://burakdikici.com> (2011)
- [78] <http://w3.balikesir.edu.tr/~ay/lectures/iy2/lecture2.pdf> (2011)
- [79] <http://www.serki.com/index.php?bolumsec=terimler&id=5r6rra>(2011)
- [80] <http://www.serki.com/index.php?bolumsec=terimler&id=o0rara> (2011)
- [81] <http://www.serki.com/index.php?bolumsec=terimler&id=56o7ra> (2011)
- [82] <http://www.serki.com/index.php?bolumsec=terimler&id=56o7ra> (2011)
- [83] Ün, H.: *Bahar Şekil Değiştirme Malzeme Bilgisi 4 Sunumu*, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, (2007) 56
- [84] <http://www.itusozluk.com/goster.php/s%FCneklik> (2011)
- [85] Ün, H.: *Malzeme Bilgisi 5 Sertlik Ders Notları Sunumu*, Pamukkale Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Denizli, (2007) 2-3
- [86] <http://www.teknolojikarastirmalar.com> (2011)
- [87] <http://www.belgeler.com/blg/a34/asinma-deneyi> (2011)
- [88] <http://www.gemapolimer.com> (2011)
- [89] MEGEP(Meslekî Eğitim Ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi): *Plastik Teknolojisi-Polimerlerin Fiziksel Özellikleri2 Notları* , Ankara, (2006) 30
- [90] <http://www.plasmot.com.tr/detayy.php?id=86&kategori=Laboratuvar> (2011)
- [91] <http://www.yildiz.edu.tr/~akdogan/lessons/plastikmalzeme/Polimerler.pdf> (2011)

EKLER

PM in Barcelona - Expanding PM Possibilities

Proceedings Volume 2

Euro PM2011 Powder Metallurgy Congress & Exhibition

- Powder Manufacturing & Processing
- Powder Injection Moulding
- Miniaturization & Nanotechnology
- PM Lightweight & Porous Materials
- Non Ferrous PM Materials
- PM Biomaterials



**EURO
PM2011**
congress & exhibition

9th - 12th October 2011

CCIB Congress Centre, Barcelona, Spain

www.epma.com/PM2011

Organised and Sponsored by
EPMA
european powder metallurgy association

**SPONSORED AND ORGANISED BY
EUROPEAN POWDER METALLURGY ASSOCIATION**

2nd Floor, Talbot House
Market Street, Shrewsbury SY1 1LG, UK
Tel: +44 1743 248899 Fax: +44 1743 362968
Email: info@epma.com Web: www.epma.com

All manuscripts contained in these proceedings have been peer reviewed
by members of the PM2011 Technical Programme Committee

The Conference Organiser is not responsible for the statements and opinions
advanced in this publication or for any errors contained therein.

Copyright © 2011
European Powder Metallurgy Association

Volume 2: ISBN 978-1-899072-21-7

All rights reserved – no part of this book may be reproduced in any form without permission in
writing from the Publisher.

Effects of Particle Size on Mechanical and Morphological Properties of Nano-Magnesium Hydroxide Powder $[Mg(OH)_2]$ Filled PP Polymer Composites

Yasemin SAÇAKLI^A Münir TAŞDEMİR^B

yasemin_sacakli@hotmail.com

munir@marmara.edu.tr

^A Marmara University, Ins. for Graduate Studies in Pure and Appl. Sci., Goztepe 34722, Ist. Turkey

^B Marmara University Technology Faculty, Department of Metallurgical and Materials Engineering, Ist. 34722, Turkey

Abstract

Polymer matrix nanocomposites have attracted considerable academic and industrial interest because nanoscale effects have the potential to afford significant improvements in properties such as impact resistance, modulus, thermal stability and fire resistance compared with those of pure polymers. In addition, Polymers are often filled with particulate fillers in order to improve the barrier properties of the neat polymer or reduce the cost of the final product.

In this study, three kinds of $Mg(OH)_2$, with different particle sizes and ratios, were chosen to investigate the influence of particle sizes and ratios on the mechanical, thermal and morphological properties of polypropylene (PP) composites. The structure and properties of the composites are characterized using a scanning electron microscopy (SEM), Differential scanning calorimeter (DSC) and Energy dispersive X-ray spectroscopy (EDS). Furthermore, PP composites were subjected to examinations to obtain their tensile strengths, yield strengths, elasticity modulus, percent elongation, Izod impact strength and hardness.

Key words: Magnesium hydroxide, particle size, polypropylene, nanocomposites

Correspondence to: Tasdemir, M. (munir@marmara.edu.tr)

INTRODUCTION

Isotactic polypropylene (PP) is a commodity plastic widely used in many areas, such as automobiles, household appliances and electrical parts owing to its excellent formability, high corrosion resistance, balanced mechanical properties and low cost [1,2]. Unfortunately, PP is highly flammable greatly limiting its wider applications [3]. Moreover, nanofilled polypropylene exhibits an attractive combination of low-cost, low-weight materials and better properties [4]. With the development of nanotechnology, a greater variety of the types of nanoparticles are available. Nanoscale hydroxide is now commercially available. In theory, the reinforcement of nanofiller in rubber is better than that of microfiller [5]. There is growing interest in magnesium hydroxide as a flame-retardant filler that does not evolve toxic, gaseous, and corrosive substances upon combustion. Moreover, magnesium hydroxide can be used at higher processing temperatures, and it is well known that inorganic filler can affect the mechanical properties of a polymer matrix [6].

In the last few decades, work has been reported on many aspects of PP/ $Mg(OH)_2$ polymer composites, including its flame retardancy, mechanical properties, preparation and processing, crystallization and morphology, thermal oxidative degradation, rheology, interface and microstructure, and functional modification [7], but there are a few reports on the effects of particle size. Zhang et al. reported that effect of particle size on the properties of $Mg(OH)_2$ filled rubber composites [5]. Mishra et al. investigated the effect of nano- $Mg(OH)_2$ on the mechanical and flame retarding properties of PP composites [6]. Patil et al. investigated the effect of nano-magnesium hydroxide on mechanical and flame retarding properties of styrene butadiene rubber and polybutadiene rubber [8]. Sheng et al. reported that dispersion, thermal and mechanical properties of polypropylene/magnesium hydroxide nanocomposites compatibilized by SEBS-g-MA [9].

In this study, three kinds of $Mg(OH)_2$, with different particle sizes and ratios, were chosen to investigate the influence of particle sizes and ratios on the mechanical and morphological properties of composites. The structure and properties of the composites are characterized using a scanning electron microscopy (SEM) and energy dispersive X-ray spectroscopy (EDS). Furthermore,

PP/Mg(OH)₂ polymer composites were subjected to examinations to obtain their elasticity modulus, yield strengths, strength at break, elongation at break and hardness.

EXPERIMENTAL

Compositions and Materials:

Thirteen different polymer composites were prepared. Compositions of PP/Mg(OH)₂ polymer composites that were formed are given in Table 1.

Table 1 Composition of the different composite formulations

Groups	PP (wt %)	[Mg(OH) ₂] (50 nm) (wt %)	[Mg(OH) ₂] (1.5 µm) (wt %)	[Mg(OH) ₂] (2.6 µm) (wt %)
1	100	-	-	-
2	98	2	-	-
3	98	-	2	-
4	98	-	-	2
5	96	4	-	-
6	96	-	4	-
7	96	-	-	4
8	94	6	-	-
9	94	-	6	-
10	94	-	-	6
11	90	10	-	-
12	90	-	10	-
13	90	-	-	10

Polypropylene (PP) (Ecolen HZ10K) was supplied by Hellenic Petroleum (Maroussi-Greece). Specific gravity is 0,9000 g/cm³. Melt flow rate is 3.2 g/10 min (230°C–2.16 Kg). Yield strength is 34,0 MPa and notched izod impact (23°C) is 45 J/m. Magnesium hydroxide nanopowder (MKN-Mg(OH)₂-050) was supplied by MKNano (Ontario - Canada). Its purity is 99 %. Particulate size is centered on 50 nm. Magnesium hydroxide micro powder (Hydrofy G1.5) was supplied by Nuova Sima Srl (Genga - Italy). Its bulk density is 0.35 g/cm³. Surface area is 9 m²/g. Its moisture is 0.50% and appr. particule size is 1.5 µm. The other magnesium hydroxide micro powder (Securoc B9) was supplied by Ankerpoort (Maastricht- Netherlands). Appr. particule size is 2.6 µm, powder form specific gravity is 0.4 g/cm³ and specific surface area is 8-10 m²/g.

Composite Preparation:

Mg(OH)₂ was dried in a Yamato vacuum oven ADP-31 (Yamato/VWR Scientific Products, Japan) at 105 °C for 24 hours before being blended with PP. Mechanical premixing of solid compositions was done using a LB-5601 liquid-solids blender (The Patterson-Kelley Co., Inc. east Stroudsburg, PA - USA) brand batch blender for 15 min. Samples with various proportions of PP/Mg(OH)₂ polymer composites were produced between 190-230 °C at 20-30 bar pressure, and a rotation rate of 25 rpm, with a Microsan co-rotating twin-screw extruder (Microsan Instrument Inc. Kocaeli - Turkey). L/D ratio is 30, Ø: 25 mm. Polymer composites were also dried in vacuum oven at 110 °C for 4 hours after extrusion. Subsequently, test samples were molded in injection molding machine. Extrusion and injection conditions are given in Table 2.

Table 2 Extrusion and injection conditions of the PP/Mg(OH)₂ polymer composites

Process	Extrusion	Injection
Temperature (°C)	190–230	190–230
Pressure (bar)	20-30	100–130
Waiting time in mold (s)	-	10
Screw speed (rpm)	25	25
Mould temperature (°C)	-	40

Test Procedure:

Composite specimens were conditioned at 23°C and 50% humidity for 24 h before testing (ASTM D618). Tensile tests were performed according to ASTM D638 specification. They were carried out using a Zwick Z010 (Zwick GmbH, Ulm-Germany) testing machine with a load cell capacity of 10 kN at a cross-head speed of 50 mm/min. The elastic modulus, yield strength, strength at break and percent elongation was determined from the stress-strain curves. The hardness test was done according to the ASTM D2240 method with Zwick hardness measurement equipment. To investigate fracture behavior, Izod impact test (notched) was done at room temperature according to the ASTM D256 method with Zwick B5113 impact test device (Zwick GmbH & Co. KG Ulm, Germany). The fractured surfaces of the composites were coated to an approximate thickness of 10 nm of a gold (Au) (80%)/palladium (Pd) (20%) alloys to prevent electrical charging by Polaron SC 7620 (Gala Instrumente GmbH, Bad Schwalbach-Germany). The surfaces of the prepared samples were observed by the JEOL-JSM 5910 LV (JEOL Ltd., Tokyo, Japan) scanning electron microscopy (SEM) at an acceleration voltage of 20 kV. Elemental analysis was done using Energy dispersive X-ray spectroscopy (EDS) (Inca-sight- model: 7274- Oxford Instruments, England). Seven samples were tested in each set and the average value was reported.

RESULTS AND DISCUSSION***Mechanical properties of the nano and micro Mg(OH)₂ filled PP***

Mechanical properties of the PP/Mg(OH)₂ polymer composites are given in Figure 1.

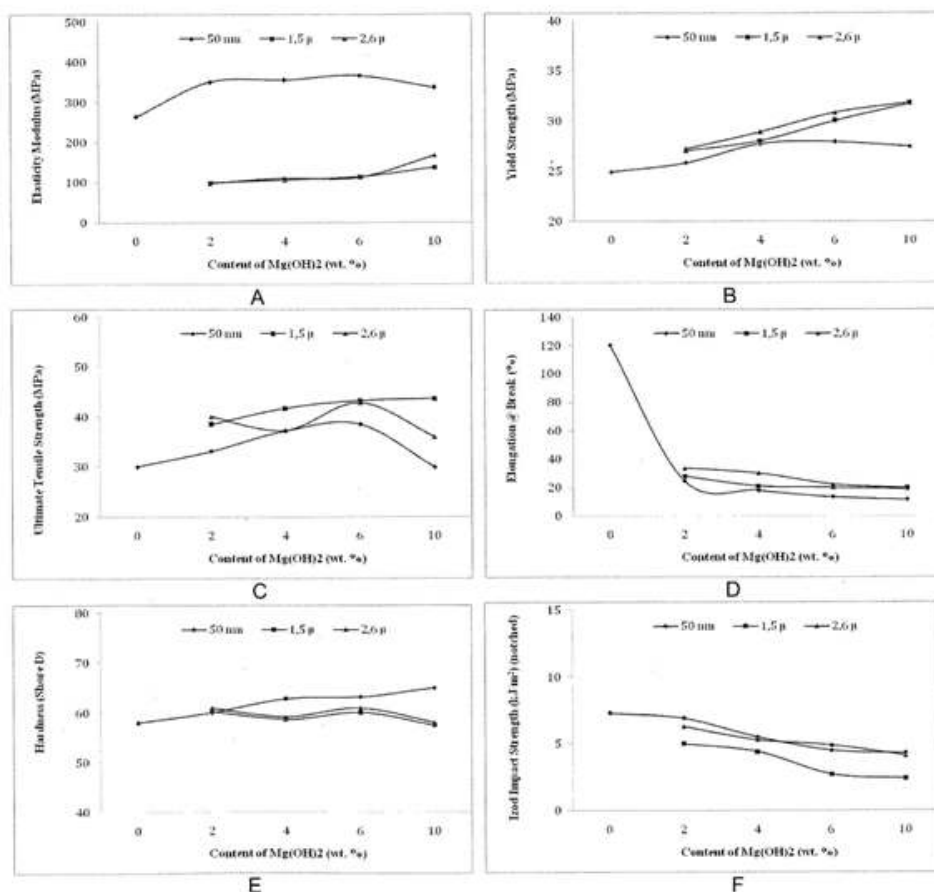


Figure 1 Mechanical properties of the PP/Mg(OH)₂ polymer composites

Elasticity modulus

The relationship between the elasticity modulus and the percentage of the filler of PP composites is shown in the Figure 1-A. The elasticity modulus of PP/nano-Mg(OH)₂ composites increases as the filler concentration increases from 0 to 6 wt %. This was due to the uniform distribution of nano-Mg(OH)₂ in the PP matrix. Above 6 wt %, a decrease in elasticity modulus is observed coinciding with the agglomeration of nanoparticles at higher percentage of Mg(OH)₂. The maximum elasticity modulus is observed at the 6 wt % nano-Mg(OH)₂ concentration for PP. In comparison with the elasticity modulus of virgin PP, the elasticity modulus increased by 39% for the composites with a 6 wt % filler concentration. On the other hand, the elasticity modulus of PP/micro-Mg(OH)₂ composites (particle size: 1.5 µm and 2.6 µm) shows an increment as the filler concentration increases from 2 to 10 wt %. The maximum elasticity modulus is observed at the 10 wt % micro-Mg(OH)₂ concentration. However, the micro-composite blends show a lower elasticity modulus than the virgin PP. In addition, the results showed that the elasticity modulus of composites improved with decreasing particle size. Patil et al. [8] found similar results.

Yield strength

The yield strength of nano-Mg(OH)₂ filled composites was measured, as shown in Figure 1-B. The yield strength of the nano-Mg(OH)₂ composites increased with increasing nanofiller content from 0 to 6 wt %. Subsequently, above 6 wt %, there was a reduction in the yield strength. This decrease was attributed to a possible agglomeration of the nanoparticles. The maximum yield strength is observed at the 6 wt % nano-Mg(OH)₂ concentration for PP. The yield strength of the micro-Mg(OH)₂ composites (1.5 µm and 2.6 µm) increased linearly with increasing microfiller content from 0 to 10 wt %. In comparison with the yield strength of virgin PP, the yield strength of the micro-Mg(OH)₂ composites (1.5 µm and 2.6 µm) increased by 27% for the composites with a 10 wt % filler concentration.

Ultimate tensile strength

The relationship between the ratio percentage of the filler and ultimate tensile strength of PP composites is shown in the Figure 1-C. Ultimate tensile strength of composites shows an increment as the filler concentration increases from 0 to 6 wt %. This was due to the uniform distribution of nano-Mg(OH)₂ in the PP matrix. Above 6 wt % the results were not that good because the nanoparticles agglomerated at a higher percentage of Mg(OH)₂. The maximum ultimate tensile strength is observed at the 6 wt % nano-Mg(OH)₂ concentration for PP. In comparison with the elasticity modulus of virgin PP, the ultimate tensile strength increased by 28% for the composites with a 6 wt % filler concentration. On the other hand ultimate tensile strength of PP/micro-Mg(OH)₂ composites (1.5µm) shows an increment as the filler concentration increases from 2 to 10 wt %. The maximum ultimate tensile strength is observed at the 10 wt % micro-Mg(OH)₂ concentration for PP.

Elongation at break

The elongation at break of Mg(OH)₂ filled composites was measured, as shown in Figure 1-D. With increased loading, the elongation at break of three composites filled with different particle size Mg(OH)₂ is decreased for all. The minimum elongation at break is observed at the 10 wt % nano-Mg(OH)₂ concentration for PP. In comparison with the elongation at break of virgin PP, the elongation at break decreased by 109 % for the composites with a 10 wt % filler (particle size: 50 nm) concentration.

Hardness

The relationship between the Mg(OH)₂ content and the hardness of the polymer composites is shown in Figure 1-E. The hardness of the nanocomposites increased (from 0 to 10wt %) linearly with an increase weight percentage of Mg(OH)₂. This was due to the uniform distribution of nano-Mg(OH)₂ in the PP matrix. The maximum hardness is observed at the 10 wt % nano-Mg(OH)₂ concentration for PP. In comparison with the hardness of virgin PP, the hardness increased by 12% for the composites at a 10 wt % filler concentration. On the other hand hardness of PP/micro-Mg(OH)₂ composites (1.5 µm and 2.6 µm) shows a decrease as the filler concentration increases from 4 and 10 wt %. The results showed that the hardness of composites improved with decreasing particle size.

Izod impact strength

Figure 1-F illustrates the effect of $\text{Mg}(\text{OH})_2$ on the Izod impact strength (notched) of PP/ $\text{Mg}(\text{OH})_2$ composites. The impact strength decreased as the nano and micro particle concentration increased from 2 to 10 wt % $\text{Mg}(\text{OH})_2$. Fracture propagation was more pronounced with the addition of the nanoparticles. It is possible that nano- $\text{Mg}(\text{OH})_2$ agglomerated easily into large particles, which could be sites for crack propagation, and acted as a micro-crack initiator. However, at a larger $\text{Mg}(\text{OH})_2$ concentration, the value of the impact strength was not much reduced.

Morphological properties of the nano and micro $\text{Mg}(\text{OH})_2$ filled PP

The filler dispersion and the phase morphology of neat PP filled with various content of particle were studied by SEM and shown in Figures 2, and energy dispersive X-ray spectroscopy (EDS) spectrums of the polymer composite are given in Figure 3.

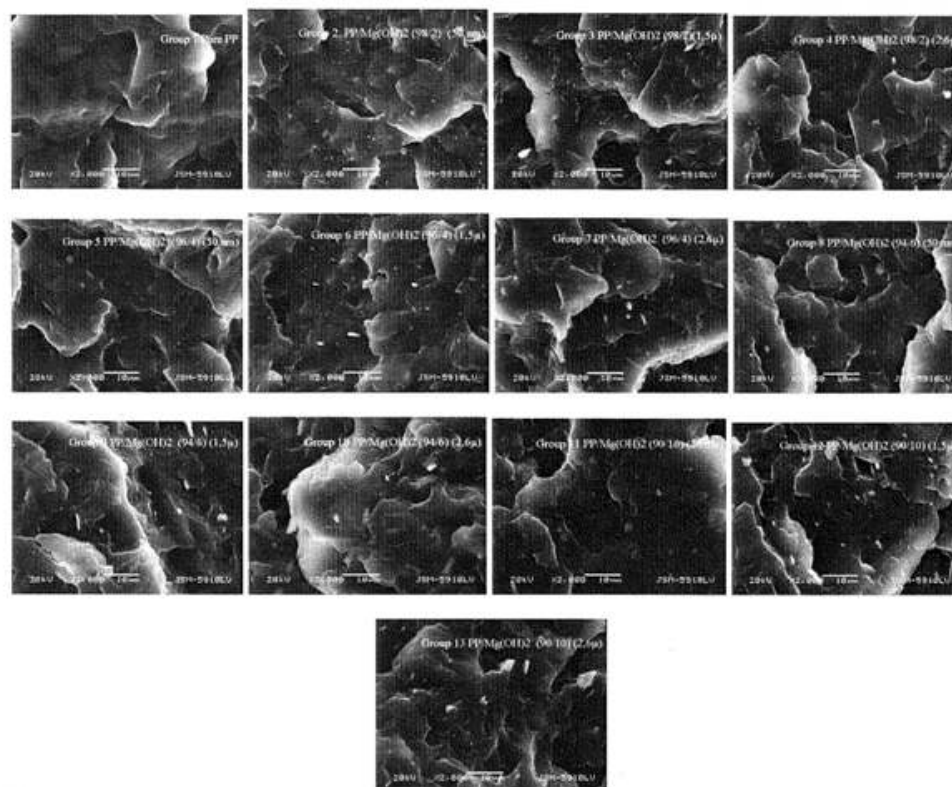


Figure 2 SEM micrographs of the PP/ $\text{Mg}(\text{OH})_2$ polymer composites

The boundaries and the contrast can be obviously seen between the two phases of $\text{Mg}(\text{OH})_2$ particles and PP matrix. The micrographs indicate that the $\text{Mg}(\text{OH})_2$ particulates are homogeneously dispersed on the fractured surfaces of polymer matrix. When the content of $\text{Mg}(\text{OH})_2$ particles reaches 6 wt %, particle began to form small agglomerates dispersed in PP matrix and this can be seen in Figure 2 (groups 8-9-10). When the content of $\text{Mg}(\text{OH})_2$ particles reaches 10 wt %, particles began to form larger agglomerates, which contact each other and this can be seen in Figures 3 (groups 11-12-13). The increasing severity of particle agglomeration at higher wt % accounts for the increasing deviations of the experimental values of the mechanical properties of composites resulting from the poor adhesion between the agglomerate and polymer phases.

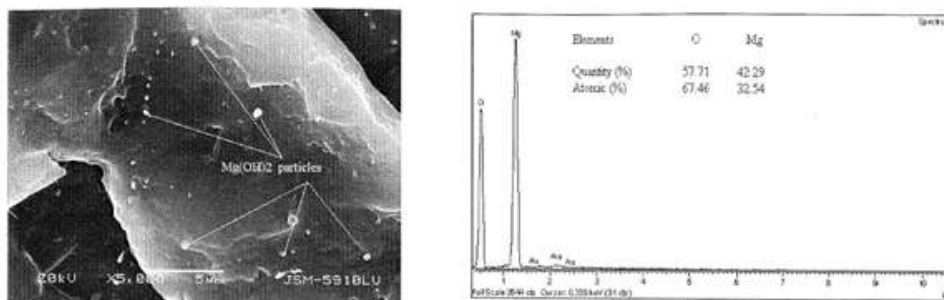


Figure 3 Energy dispersive X-ray spectroscopy (EDS) spectra of the polymer composites

CONCLUSIONS

Substantial improvements in the mechanical properties were obtained by the addition of nano-Mg(OH)₂. The results showed that the elasticity modulus, hardness and izod impact strength of composites improved with decreasing particle size. Above 6 wt %, the agglomeration of nanoparticles results in a decrease in the observed mechanical properties. The micrographs indicate that the Mg(OH)₂ particulates are homogeneously dispersed on the fractured surfaces of polymer matrix at up to 4 wt%. When the content of Mg(OH)₂ particles reaches 6 wt %, particles began to form small agglomerates dispersed in PP matrix.

The increasing severity of particle agglomeration at higher wt % accounts for the increasing deviations of the experimental values of the mechanical properties of composites resulting from the poor adhesion between the agglomerate and polymer phases.

ACKNOWLEDGEMENTS

This work has been supported by the Scientific Research Project Program of Marmara University (Project no: FEN-C- YLP-031210-0298). The authors are grateful to Marmara University for their financial support and the provision of laboratory facilities.

REFERENCES

- [1] Karian HG. Handbook of Polypropylene and Polypropylene Composites, Marcel Dekker: New York, 2003.
- [2] Karger-Kocsis J. Polypropylene: structure, blends and composites, Chapman-Hall, London, 1995.
- [3] Zhang, S, Horrocks, A.R. Prog Polym Sci 2003, 28, 1517.
- [4] Kaempfer, D., Mulhaupt, R.R., Polymer 2002, 43, 2909.
- [5] Zhang, Q., Tian, M., Wu, Y., Lin, G., Zhang, L., J App Pol Sci 2004, 94, 2346.
- [6] Mishra, S., Sonawane, S.H., Singh, R.P., Bendale, A., Patil, K., J Appl Poly Sci 2004, 94, 116.
- [7] Chen, D., Zhang, H., Zheng, Q., Liu, F., Xu, K., Chen, M., Poly for Adv Tech 2008, 19, 1353.
- [8] Patil, C.B., Kapadi, U.R., Hundiwale, D.G., Mahulikar, P.P., Poly Plast Tech and Eng 2008, 47, 1174.
- [9] Sheng, P.L., Ying, J.R., Zhou, X.P., Xie, X.L., Mai, Y.W., Comp Sci and Tech 2009, 69, 1873.

ÖZGEÇMİŞ



1986 yılında, İstanbul’da doğdu. İlk ve orta eğitimini Beşiktaş İlköğretim Okulunda tamamladı. Lise eğitimini 2000-2004 yılları arasında Bingöl Erdem Süper Lisesi’nde tamamladı. Lisans eğitimini 2005-2009 yılları arasında Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metal Öğretmenliği bölümünde tamamladı. Yüksek Lisans eğitimine 2009 yılında Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Metal Eğitimi Anabilim Dalı’nda başladı. Halen Marmara Üniversitesi’nde öğrenim hayatına devam etmektedir.

Kasım,2011

YASEMİN SAÇAKLI