

YALOVA ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KARBON ELYAF TAKVİYELİ YÜKSEK YOĞUNLUKLU POLİETİLENİN
ISIL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hayrettin ÇELİKÇİ

Polimer Mühendisliği Anabilim Dalı

Polimer Mühendisliği Programı

TEMMUZ 2013

YALOVA ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KARBON ELYAF TAKVİYELİ YÜKSEK YOĞUNLUKLU POLİETİLENİN
ISIL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Hayrettin ÇELİKÇİ
115101002**

Polimer Mühendisliği Anabilim Dalı

Polimer Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Hüseyin YILDIRIM

TEMMUZ 2013

YALOVA Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 115101002 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Hayrettin ÇELİKÇİ**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**KARBON ELYAF TAKVİYELİ YÜKSEK YOĞUNLUKLU POLİETİLENİN ISIL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Hüseyin YILDIRIM
Yalova Üniversitesi

Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Hüseyin YILDIRIM
Yalova Üniversitesi



Yrd. Doç. Dr. E. Hilal MERT
Yalova Üniversitesi



Yrd. Doç. Dr. Hüseyin ESEN
Yalova Üniversitesi



Teslim Tarihi : 21 Haziran 2013

Savunma Tarihi : 3 Temmuz 2013

ÖNSÖZ

Çalışmalarım boyunca yardımlarını eksik etmeyen danışmanım Prof. Dr. Hüseyin YILDIRIM' a

Destekleriyle beni yönlendiren kıymetli hocalarım Yrd. Doç. Dr. E. Hilal MERT ve Öğr. Gör. Burcu KEKEVİ' ye

Enjeksiyon cihazının kullanılmasında değerli vakitlerini ayırarak yardımlarını esirgemeyen Umut YERLEŞEN' e

Tez çalışmam boyunca her zaman yanımda olup destek veren meslektaşım ve yol arkadaşım Gizem GENÇ' e

Kendimi her zaman güvende ve şanslı hissettiren CANIM AİLEM' e

TEŞEKKÜR EDERİM.

Temmuz 2013

Hayrettin Çelikçi
(Kimya Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER.....	vii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	xi
KISALTMALAR.....	xiii
SEMBOLLER.....	xv
ÖZET.....	xvii
SUMMARY.....	xix
1.GİRİŞ.....	1
2.POLİMERLER.....	5
2.1.Polimer Kimyasının Gelişimi.....	5
2.2.Polimerlerin Sınıflandırılması.....	7
2.2.1. Molekül kütlelerinin büyüklüklerine göre polimerler.....	7
2.2.2. Oluşumuna göre polimerler.....	8
2.2.3. Kaynağına göre polimerler.....	8
2.2.4. Zincir yapısına göre polimerler.....	8
2.2.5. Monomer kompozisyonuna göre polimerler.....	9
2.2.6. Fiziksel durumuna göre polimerler.....	10
2.2.7. Uygulamaya göre polimerler.....	10
2.3. Polimerlerin Molekül Ağırlığı ve Dağılımı.....	12
2.4. Polimerizasyon Yöntemleri.....	15
2.4.1. Yığın polimerizasyonu.....	15
2.4.2. Çözelti polimerizasyonu.....	15
2.4.3. Süspansiyon polimerizasyonu.....	15
2.4.4. Emülsiyon polimerizasyonu.....	16
2.5. Polimerlerin Sentezi.....	17
2.5.1. Basamaklı polimerizasyon.....	17
2.5.2. Katılma polimerizasyonu.....	17
2.6. Endüstride Kullanımına Göre Plastikler.....	18
2.6.1. Genel amaçlı plastikler.....	18
2.6.1.1. Polietilen.....	18
2.6.1.2. Polipropilen.....	25
2.6.1.3. Polistiren.....	29
2.6.1.4. Poli (vinil klorür).....	30
2.6.2. Mühendislik plastikleri.....	31
2.6.2.1. Polikarbonat.....	31
2.6.2.2. Poli (metil metakrilat).....	32
2.6.2.3. Akrilonitril-Bütadien-Stiren.....	32
2.6.3. Performans plastikleri.....	33
2.6.3.1. Poli (tetrafloretilen).....	33
2.6.3.2. Poli (fenilen sülfür).....	33

3. KOMPOZİTLER.....	35
3.1. Kompozitlerin Sınıflandırılması.....	36
3.1.1. Matris yapısına göre sınıflandırma.....	36
3.1.1.1. Polimer matrisli kompozitler.....	36
3.1.1.2. Metal matrisli kompozitler.....	39
3.1.1.3. Seramik matrisli kompozitler.....	39
3.1.2. Takviye malzemesine göre sınıflandırma.....	40
3.1.2.1. Elyaf takviyeli kompozitler.....	40
3.1.2.2. Tanecik takviyeli kompozitler.....	44
3.1.2.3. Tabakalı kompozitler.....	44
3.1.2.4. Karma kompozitler.....	44
3.2. Polimer Kompozitlerin Kullanım Alanları.....	45
3.3. Polimer Kompozitlerin Üretim Metodları.....	46
3.3.1. Ekstrüzyon.....	47
3.3.2. Enjeksiyon.....	50
4. DENEYSEL YÖNTEMLER.....	53
4.1. DeneYlerde Kullanılan Malzemeler.....	53
4.2. Elyaf Takviyeli Kompozitlerin Üretimi.....	53
4.3. Kompozitlerin Karakterizasyonu.....	55
4.3.1. Çekme.....	56
4.3.2. Darbe.....	56
4.3.3. Sertlik.....	56
4.3.4. SEM.....	57
4.3.5. DSC.....	57
5. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMALAR.....	59
5.1. Çekme.....	59
5.2. Darbe.....	64
5.3. Sertlik.....	66
5.4. SEM.....	68
5.5. DSC.....	71
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	73
KAYNAKLAR.....	75
ÖZGEÇMİŞ.....	79

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1: Bazı sentetik polimerlerin ticari üretimlerinin başladığı tarihler.....	7
Çizelge 3.1: Cam elyaf üretiminde kullanılan cam çeşitleri ve bileşimleri (% ağırlıkça).....	41
Çizelge 5.1: Karbon elyaf ve cam elyaf takviyeli YYPE nin çekme testi sonuçları..	59
Çizelge 5.2: Karbon elyaf ve cam elyaf takviyeli YYPE nin darbe testi sonuçları...	65
Çizelge 5.3: Karbon elyaf ve cam elyaf takviyeli YYPE nin DSC analizi sonuçları..	71

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1: Zincir yapısına göre polimerler.....	9
Şekil 2.2: Homopolimer.....	9
Şekil 2.3: Alternatif kopolimer.....	9
Şekil 2.4: Blok kopolimer.....	9
Şekil 2.5: Triblok kopolimer.....	10
Şekil 2.6: Rastgele kopolimer.....	10
Şekil 2.7: Graft kopolimer.....	10
Şekil 2.8: Molekül ağırlığı ve mekanik dayanımı grafiği.....	12
Şekil 2.9: Molekül ağırlığı ve ağırlık kesri grafiği.....	14
Şekil 2.10: Phillips Slurry Prosesi.....	21
Şekil 2.11: BP Amoco Gaz Faz Prosesi (YYPE/LAYPE).....	22
Şekil 2.12: AYPE Üretim Prosesi (Otoklav Reaktör).....	24
Şekil 2.13: AYPE Üretim Prosesi (Tubuler Reaktör).....	25
Şekil 2.14: İzotaktik polipropilen.....	26
Şekil 2.15: Sindiyotaktik polipropilen.....	26
Şekil 2.14: Ataktik polipropilen.....	27
Şekil 2.15: Homo polimer.....	27
Şekil 2.16: Kopolimer.....	27
Şekil 2.17: Random kopolimer.....	28
Şekil 3.1: Takviye malzemesine göre kompozit malzemelerin sınıflandırılması.....	45
Şekil 3.2: Ekstrüderin genel görünümü.....	47
Şekil 3.3: Ekstrüder vidasının geometrik görünüşü.....	48
Şekil 3.4: Tek vidalı ekstrüder.....	49
Şekil 3.5: Çift vidalı ekstrüder.....	49
Şekil 3.6: Çift vidalı ekstrüder tipleri.....	50
Şekil 3.7: Konik çift vidalı ekstrüder.....	50
Şekil 4.1: 16mm çift vidalı ekstrüder.....	54
Şekil 4.2: Enjeksiyonla kalıplama.....	55
Şekil 4.3: Çekme test cihazı.....	56
Şekil 4.4: Darbe testi cihazı.....	56
Şekil 4.5: Sertlik testi cihazı.....	57
Şekil 4.6: SEM in şematik gösterimi.....	57
Şekil 4.7: DSC nin şematik gösterimi.....	58
Şekil 5.1: YYPE-karbon elyaf kompozitlerinin kopma uzaması değerleri.....	60
Şekil 5.2: YYPE-karbon elyaf ve cam elyaf kompozitlerinin kopma uzaması değerleri.....	61
Şekil 5.3: YYPE-karbon elyaf kompozitlerinin elastik modülü değerleri.....	62
Şekil 5.4: YYPE-karbon elyaf ve cam elyaf kompozitlerinin elastik modülü değerleri.....	63
Şekil 5.5: YYPE-karbon elyaf kompozitlerinin darbe dayanımı değerleri.....	65

Şekil 5.6: YYPE-karbon elyaf ve cam elyaf kompozitlerinin darbe dayanımı değerleri.....	66
Şekil 5.7: YYPE-karbon elyaf kompozitlerinin Shore D sertliği değerleri.....	67
Şekil 5.8: YYPE-karbon elyaf ve cam elyaf kompozitlerinin Shore D sertliği değerleri.....	67
Şekil 5.9: % 5 Karbon elyaf takviyeli YYPE kompozitinin SEM görüntüleri.....	68
Şekil 5.10: % 10 Karbon elyaf takviyeli YYPE kompozitinin SEM görüntüleri.....	68
Şekil 5.11: % 15 Karbon elyaf takviyeli YYPE kompozitinin SEM görüntüleri.....	69
Şekil 5.12: % 20 Karbon elyaf takviyeli YYPE kompozitinin SEM görüntüleri.....	69
Şekil 5.13: YYPE-Karbon elyaf ve cam elyaf kompozitlerinin farklı oranlardaki SEM görüntüleri.....	70

KISALTMALAR

YYPE	: Yüksek yoğunluklu polietilen
OYPE	: Orta yoğunluklu polietilen
AYPE	: Alçak yoğunluklu polietilen
DAYPE	: Doğrusal alçak yoğunluklu polietilen
PE	: Polietilen
PP	: Polipropilen
PS	: Polistiren
PVC	: Poli(vinil klorür)
LAYPE	: Lineer alçak yoğunluklu polietilen
PP-g-MAH	: Maleik anhidrit graft polipropilen
DSC	: Diferansiyel taramalı kalorimetre
SEM	: Taramalı elektron mikroskobu
PC	: Polikarbonat
PMMA	: Poli(metil metakrilat)
ABS	: Akrilonitril-Bütadien-Stiren
PTFE	: Poli(tetrafloretilen)
PPS	: Poli(fenilen sülfür)
PAN	: Poli(akrilonitril)

SEMBOLLER

T_g	: Camı geçiş sıcaklığı
T_m	: Erime sıcaklığı
ΔH	: Erime entalpisi
ΔX	: Kristalizasyon derecesi
\bar{M}	: Ortalama moleköl ağırlığı
\bar{M}_w	: Ağırlıkça-ortalama moleköl ağırlığı
\bar{M}_z	: Z - ortalama moleköl ağırlığı
\bar{M}_n	: Sayıca-ortalama moleköl ağırlığı
\bar{M}_v	: Viskozite-ortalama moleköl ağırlığı

KARBON ELYAF TAKVİYELİ YÜKSEK YOĞUNLUKLU POLİETİLENİN ISIL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

ÖZET

Günümüzde elyaf takviyeli polimer matrisli kompozitlerin kullanımı yaygınlaşmaktadır. Elyaf takviyesi olarak en çok kullanılan cam elyaf yerini karbon elyaf takviyesine bırakmaktadır. Karbon elyaf diğer tüm elyaflar arasındaki en önemli özelliği yüksek çekme direnci ve elastik modülüdür. Matris malzemesi olarak ise en çok kullanılan termoset matrisler yerini termoplastik matrislere bırakmaktadır. Termoplastik matrislerin termoset matrislere göre en önemli özelliği geri dönüştürülebilir ve hammaddelerinin raf ömrünün daha uzun olmasıdır. Bu çalışmada matris malzemesi olarak termoplastikler arasında en çok kullanılanlardan biri olan yüksek yoğunluklu polietilen seçilmiştir. Takviye malzemesi olarak seçilen karbon elyaf ise kesikli olarak kullanılmıştır. Seçilen yüksek yoğunluklu polietilen matrise karbon elyaf ağırlıkça değişik yüzdelerde takviye edilmiştir.

Tez çalışmasında karbon elyaf takviyeli yüksek yoğunluklu polietilenin ısı ve mekanik özelliklerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla malzemeler ekstrüzyonla harmanlama ve enjeksiyonla kalıplama teknikleriyle kompozit haline getirilmiştir. Hazırlanan kompozit numunelerin mekanik karakterizasyonu için darbe, sertlik ve çekme testleri yapılmıştır. Kompozit numunelerin ısı özelliklerinin belirlenmesi için diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) ve yüzeylerinin karakterizasyonu için ise taramalı elektron mikroskopu (SEM) kullanılmıştır. Karbon elyaf polimerik matrise ağırlıkça % 5, 10, 15 ve 20 olmak üzere 4 farklı oranda takviye edilmiştir. Ayrıca karşılaştırma esaslı olması için cam elyafta polimerik matrise ağırlıkça % 10 ve 20 olmak üzere 2 farklı oranda takviye edilmiştir.

Ağırlıkça karbon elyaf miktarının artmasıyla sertlik, darbe direnci ve elastik modülü değerlerinde paralel bir artış, kopma uzaması değerlerinde ise paralel olarak bir azalış gözlenmiştir. Ağırlıkça karbon elyaf takviyesinin artması ise DSC sonuçlarını

pek fazla etkilemediği gözlenmiştir. SEM görüntülerine bakılacak olursa da matris ile elyaf arasında yapışmanın çok iyi olmadığını görölmektedir.

Çekme testleri sonucunda çekme direncinin elastik modülü kadar etkilenmediği gözlenmiştir. Bunun sebebi olarak ise elastik modülünün karbon elyaf takviye oranına bağlı olduğu, ancak çekme direncinin ise karbon elyaf takviye oranından ziyade son elyaf boyundan daha çok etkilendiği belirtilmiştir. Yapılan araştırmalarda elyaf takviyesinin artmasıyla bahsedilen son elyaf boyunun daha da kısaldığı bulunmuştur. Ayrıca karbon elyaf takviyesinin cam elyaf takviyesine oranla son elyaf boyunu daha da kısalttığı bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: YYPE, karbon elyaf, karakterizasyon, kompozit

CHARACTERIZATION OF CARBON FIBER REINFORCED HIGH DENSITY POLYETHYLENE

SUMMARY

Nowadays, using of fiber-reinforced polymer in matrix composites is becoming very common. The discriminative properties of carbon fiber has been constraining fiberglass "the most used material in reinforcing" to leave its place forever. Its high tensile strength and tensile modulus make it very distinctive comparatively to the other fiber materials. Regarding to matrix composites, it seems that shelf life and recyclable properties have been highlighting the worth of using thermoplastic matrix instead of the very common thermoset matrix. In this study, high density polyethylene "the most common thermoplastic material" has been chosen as a matrix material, chopped carbon fiber as a reinforcing material. The chosen high density polyethylene matrix has been reinforced by using different percentages by weight of carbon fiber.

In this thesis, investigation of thermal and mechanical properties of carbon fiber-reinforced high-density polyethylene was aimed. With this purpose, the composites were by handling the materials with extrusion compounding and injection molding techniques. Impact test, hardness test, and tensile test were done for the mechanical characterization of the prepared composite samples. Differential scanning calorimetry (DSC) was used to determine the thermal properties of the composite samples, and scanning electron microscopy (SEM) for surfaces characterization. Polymeric matrix was reinforced by handling with four by weight different percentages of carbon fiber (5%, 10%, 15%, and 20%). In addition, comparatively, polymeric matrix was also reinforced by handling with two by weight different percentages of fiberglass (10% and 20%).

It was observed that hardness, impact strength and tensile modulus values were increased simultaneously by increasing the amount of carbon fiber, unlike elongation which showed the opposite reaction. Increasing in weight of carbon fiber doesn't

make a salient change on DSC's results. However, SEM showed that adhesion between the fibers and the matrix is not very good.

Tensile tests' results have observed that tensile strength hasn't been effected as much as tensile modulus did and that because, tensile modulus is dependent on carbon fiber volume fraction, while tensile strength is dependent on mean fiber's length. Studies show that the mean length of fiber becomes shorter with fiber reinforcing, studies also observed that mean length of fibers is being shortened much more when we use carbon fiber in reinforcing than when we use fiberglass.

Key Words: High density polyethylene, carbon fiber, characterization, composite

1.GİRİŞ

İlk modern sentetik plastiklerin 1900'lerin başında geliştirilmesinin ardından, 1930'ların sonunda plastik malzemelerin özellikleri metal, seramik gibi diğer malzeme çeşitleri ile boy ölçüşür düzeyde gelişmeye başlamıştır. Kolay biçim verilebilir olması, metallere oranla düşük yoğunlukta olması, düşük maliyeti, kolay üretim prosesi, üstün yüzey kalitesi ve korozyona karşı dayanımı plastiğin yükselmesine neden olan en önemli özelliklerdir. Birçok üstün özelliğinin yanı sıra mekanik özellikler açısından değerlendirildiğinde sertlik, dayanıklılık gibi özelliklerinin düşük olması plastik malzemelerin güçlendirilmesi ve geliştirilmesi için çeşitli çalışmalar yapılmasına neden olmuştur. Plastiklerin istenen özellikleri doğrultusunda geliştirilmesi kopolimerizasyon ve takviyelendirme işlemleri ile sağlanır. Kopolimerizasyonda polimer zincirinde tekrarlanan monomer dayanıklılık verecek başka bir monomer ile polimerizasyona uğratarak istenen özelliklere sahip yeni bir polimer elde edilir. Takviyelendirmede ise plastik matrisi dayanıklı malzemeler ile karıştırılarak kompozit malzemeler oluşturulur. İlk kez 1950'lerde kullanılmaya başlanan kompozitler, özellikle polimer kompozitler yüksek mukavemet, boyut ve termal kararlılık, sertlik, aşınmaya karşı dayanıklılık gibi özellikleriyle pek çok avantajlar sunarlar. Ayrıca kompozit malzemeler dayanıklılık ve sertlik yönünden metallerle yarışabilecek olmasının yanında çok da hafiftirler. Polimer kompozitlerin oluşturulmasında plastik matrisin takviyelendirilmesinde elyaf, parçacık veya tabaka kullanılmaktadır. Karbon elyaf, elyaf takviyeli polimer kompozitlerin üretiminde kullanılan önemli bir elyaf türüdür. 1960'lı yılların ikinci yarısından itibaren kullanılmaya başlamış olan bu elyafların, düşük yoğunluğuna karşın çekme dayanımı ve modülü yüksektir. Karbon elyafların tüm diğer elyaflara göre en önemli avantajı yüksek modülü özelliğidir [1,2].

Yılmaz ve Aytaç, karbon elyaf takviyeli poliamid 6 kompozitlerini eriyik karıştırma metodu kullanarak hazırlamışlardır. Karbon elyaf takviyeli poliamid 6 kompozitlerin mekanik, termal ve morfolojik özelliklerine elyaf uzunluğunun ve içeriğinin

etkilerini araştırmışlardır. Çalışmanın mekanik test sonuçları artan karbon elyaf içeriği ile çekme direnci, modül ve sertlik değerinin arttığını ancak kopma uzaması değerlerinin azaldığını göstermiştir. Ayrıca karbon elyaf içeriği ve uzunluğunun kompozitlerin T_g ve T_m değerlerini önemli ölçüde arttırmadığı belirlenmiştir. Bununla birlikte, artan karbon elyaf içeriğiyle kompozitlerin erime entalpis ve bağlı kristalinite derecesi değerlerinin azaldığı tespit edilmiştir [3].

Al Maadeed ve arkadaşları ise üç tip polietilen (düşük yoğunluklu DYPE, orta yoğunluklu OYPE, yüksek yoğunluklu YYPE) kullanarak zincir dallanmasının cam elyaf takviyeli polimer kompozitlerin dağılma ve yapışmasına etkisini araştırmışlardır. Yapılan bu çalışmada polietilen matris ve cam elyaf arasındaki etkileşimi, farklı koşullardaki  polimer kompozit arasındaki mekanik davranışların değişimi, morfolojik karakteristikleri, reolojik ve termal özelliklerini incelenmiştir. Çalışmada, polietilene cam elyafın takviyesi ile polimer zincirinin yapısına bağlı olarak çekme direnci ve elastik modülünün önemli ölçüde arttığı bulunmuştur. Cam elyaf takviyesinin YYPE ve OYPE için daha da önemli ölçüde çekme direncini etkilediğini göstermiş, bu durumu bu iki polimerin yüksek kristalliliği ile açıklamışlardır [4].

Yılmaz ve Aytabir başka çalışmalarında ise, maleik anhidrit grafit polipropilenin (PP-g-MAH) kısa karbon elyaf takviyeli polipropilen kompozitlerin özelliklerine etkisini belirlemeyi amaçlamışlardır. Kompozitleri, eriyik karıştırma ve enjeksiyonla kalıplama teknikleriyle değişik yüzdelerde karbon elyaf takviyelendirerek hazırlamışlardır. Hazırlanan kompozitlerin fiziksel ve morfolojik özellikleri çekme testi, sertlik, diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) ve taramalı elektron mikroskopu (SEM) ile karakterize edilmiştir. SEM fotoğraflarındaki değişikliklerle, karbon elyaf ve polipropilen matris arasındaki ara yüzey yapışmasının PP-g-MAH ile geliştiğini gözlemişlerdir. Modifiyeli polipropilen kompozitlerin çekme direnci, sertliği ve elastik modülü değerlerinin karbon elyaf takviyeli polipropilen kompozitlerine kıyasla daha yüksek olduğu belirtilmiştir. Bütün kompozitlerin erime sıcaklığının artan karbon elyaf içeriğiyle önemli ölçüde değişmediğini; bunun yanı sıra artan karbon elyaf içeriğiyle kristalinite derecesinin azaldığını gözlemlemişlerdir [5].

Fu ve arkadaşları, kısa cam elyaf takviyeli ve kısa karbon elyaf takviyeli polipropilen kompozitlerini ekstrüzyonla harmanlama, enjeksiyonla kalıplama teknikleriyle hazırlamışlar ve bu kompozitlerin çekme özelliklerini araştırmışlardır. Ağırlıkça elyaf oranını ve ortalama elyaf uzunluğunu göz önünde bulundurarak kısa cam elyaf takviyeli ve kısa karbon elyaf takviyeli polipropilen kompozitlerinin çekme gerilimi ve elastik modülüne birlikte etkilerini çalışmayı amaçlamışlardır. Sonuçlara bakıldığında, son çekme özelliğini belirlemede yardımcı olan ortalama elyaf uzunluğunun cam ve karbon elyafların ağırlıkça oranlarının artması ile birlikte hem cam hem de karbon elyaf için azaldığını bulmuşlardır. Kompozitlerin çekme gerilimi, ortalama elyaf uzunluğu veya elyaf en-boy oranına, ağırlıkça elyaf oranından daha fazla bağlıdır. Elastik modülünün de belirleyici etken ise çekme gerilimin tam tersine elyaf uzunluğundan çok ağırlıkça elyaf oranıdır. Elyaf etkinlik faktörü için kompozitlerin çekme gerilimi ve elastik modülleri, sırasıyla kısa cam elyaf/PP ve kısa karbon elyaf/PP kompozitler için çalışmışlardır. Kısa cam elyaf için değerlendirildiğinde, ağırlıkça elyaf oranı arttıkça çekme gerilimi ve elastik modül için elyaf etkinlik faktörleri azaldığını ancak kısa karbon fiber ile kıyaslandığında, kısa cam elyafın sahip olduğu elyaf etkinlik faktörünün daha yüksek olduğu belirlemişlerdir [6].

Bu tez çalışmasının amacı, günümüzün en sık kullanılan genel amaçlı plastiklerinden olan YYPE'nin yüksek modüle sahip karbon elyaf ile farklı oranlarda takviyelendirilmesi ve elyaf içeriğinin YYPE'nin mekanik özellikleri üzerine etkisinin belirlenmesidir. Karbon elyaf takviyeli YYPE ekstrüzyonla harmanlama yöntemiyle hazırlanıp, testlerin gerçekleştirilmesine uygun hale getirilebilmek için enjeksiyonla kalıba basılmışlardır. Hazırlanan kompozitlerin mekanik özellikleri çekme gerilimi, elastik modülü, kopma uzaması ve darbe testleri, ısıl özellikleri diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC), yüzey özellikleri ve fazlar arası etkileşimleri taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile belirlenmiştir.

2. POLİMERLER

Polimer, iki ya da daha çok monomerin kovalent bağlarla birbirine bağlanarak oluşturdukları yüksek molekül ağırlıklı maddelerdir. Monomerler yapısında çifte bağ veya en az iki fonksiyonel grup bulunduran düşük molekül ağırlıklı organik bileşiklerdir. Monomer molekülleri, yapılarında bulunan gruplara bağlı olarak polimerizasyon tepkimeleri üzerinden birbirlerine bağlanırlar ve polimer molekülüne dönüşürler. Monomerlerden oluşan uzun polimer molekülü bir zincire, monomer molekülleri ise zinciri oluşturan halkalara benzetilebilir. Bu nedenle, polimer molekülü yerine çoğu kez polimer zinciri kavramı kullanılır. Bir polimer molekülünde onlarca, yüzlerce, binlerce monomerden gelen birim bulunabilir. Polimer molekülleri için büyüklüklerinden dolayı makromolekül adlandırması da sıkça yapılmaktadır.

2.1. Polimer Kimyasının Gelişimi

Endüstriyel olarak kullanımı ve yapısının kabulü 19. yüzyıla dayanan polimerler aslında doğada birçok alanda karşımıza çıkan maddelerdir. İlk çağlardan bu yana insanoğlunun tekstilde dokumada kullandığı malzemelerden olan yün, doğal ipek, pamuk ve keten doğal polimerlerdendir. Yine, ağaçların yapısında bulunan ve dayanıklı liflerden olan selüloz doğadaki polimerlere örnek olarak verilebilir. Bunların dışında yumurta ve ette bulunan protein, karbonhidratların temelini oluşturan nişasta günlük yaşantımızda en çok karşılaştığımız polimerlerdir. Aztekler gibi eski Güney Amerika uygarlıkları, doğal kauçuğu (hevea brasiliensis) elastik ve su geçirmez malzemeler yapımında kullanmışlar; kaplumbağa kabukları, hayvan boynuzları biçimlendirilerek değişik malzemeler yapmışlardır. Bu örnekler, belki de polimerlerin işlenmesine ve şekillendirilmesine yönelik ilk uygulamalardır.

Polimerlerin modifikasyonuna yönelik ilk uygulamalara, pişirmeyle et içerisindeki proteinin ve yumurta albümininin denatüre edilmesi örnek verilebilir. 18. Yüzyılda ise, boynuz ısıtılarak şeffaf hale getirilerek cam yerine kullanılmıştır.

1770' de Prisetly'in kağıt üzerindeki işaretleri sildiği için silgi (rubber) dediği doğal kauçuk ancak 1839 yılında Amerika'da Charles Goodyear tarafından kükürt ile vulkanize edilerek kullanışlı hale getirilebilmiştir. Böylece su geçirmez botlar, yağmurluklar, dayanıklı taşıma aracı aletleri vb. gibi çeşitli ürünlerin üretimi başlamıştır. Doğal kauçuğun bu modifiye formlarının kullanımı, otomotiv endüstrisindeki hızlı gelişime paralel olarak artmıştır.

Polimerlerin ikinci büyük grubu olan plastiklerin ilk ürünü 1868'de Amerika'da John Wesley Hyatt tarafından üretilen selüloiddir. Araştırmacı pamuk selülozunu nitrik asit ve kamfor ile etkileştirerek, plastik teknolojisinin ilk ürünü olan bu yarı sentetik polimeri hazırlamıştır. Yeryüzünde önemli bir rezerve sahip olan selülozun bu yeni şekli ilk yıllarda bilardo topu, fotoğraf filmi vb. gibi malzemelerin yapımında kullanılmıştır.

Amerikalı bilim adamı Leo Hendrick Baekeland, 1907'de tamamen sentetik ilk polimer olan fenol-formaldehit reçinelerinin üretimini başarmıştır. Bakelit adıyla anılan bu polimer ilk yıllarda telefon ahizeleri gibi birçok plastik parçanın üretiminde değerlendirilmiştir.

Hermann Staudinger'in 1924'de 'Makromolekül Hipotezini' ileri sürmesiyle, polimer teknolojisi önemli bir ufuk kazanmıştır. Doğal kauçuğun ve polistirenin, küçük birimlerin bir arada bulunduğu uzun zincirli moleküllerden oluştuğunu ileri sürerek polimer üretiminin deneme yanılma yaklaşımından kurtulmasına neden olan araştırmacı, bu çalışmalarıyla Nobel ödülü almıştır.

Makromolekül hipotezi sonraki yıllarda birçok polimerin üretimine ışık tutmuştur. 1927'de selüloz asetat ve poli (vinil klorür), 1928'de poli (metilmetakrilat), 1929'da üre-formaldehit reçineleri üretilmiştir.

1930'da ilk defa üretilen polistiren ve sonraki yıllarda, özellikle 2.Dünya Savaşında önem kazanan stiren-bütadien kopolimeri (SBR sentetik kauçuğu) polimer teknolojisinde önemli ürünler olmuşlardır. 1931'de yine bir sentetik kauçuk olan neopren üretimi başlamıştır [7].

Bazı sentetik polimerlerin ise ticari üretimlerinin başladığı tarihler Çizelge 2.1 de verilmiştir.

Çizelge 2.1 Bazı sentetik polimerlerin ticari üretimlerinin başladığı tarihler [8].

Yıl	Polimer
1935	poli (metil metakrilat)
1936	poli (vinil asetat) ve poli (vinil bütiral)
1937	polistiren
1938	naylon 6-6
1939	açak yoğunluklu polietilen
1947	epoksi reçineleri
1950	poliester
1957	yüksek yoğunluklu polietilen, polipropilen ve polikarbonat
1965	poliimitler
1971	aromatik poliamitler (aramitler)

2.2. Polimerlerin Sınıflandırılması

Polimerleri molekül kütlelerinin büyüklüklerine, oluşumuna, kaynağına, zincir yapısına, monomer kompozisyonuna, fiziksel durumuna ve uygulamaya göre 7 başlık altında sınıflandırabiliriz. Bu bölümde polimerleri 7 başlık altında sınıflandırarak özelliklerinden bahsedilecektir.

2.2.1. Molekül kütlelerinin büyüklüklerine göre polimerler

Molekül kütlelerinin büyüklüklerine göre oligomer ve makromolekül olmak üzere 2 şekilde sınıflandırılır.

Oligomerler, kovalent bağlar ile birbirine bağlanmış birkaç tekrarlanan birim içeren küçük molekül kütleli dimer, trimer, tetramer, vb. 10^2 ye kadar tekrarlanan birim içeren moleküllere denir. Yaklaşık 10^2 den büyük polimerleşme derecesine sahip olan moleküllere polimer veya makromolekül denir [9].

2.2.2. Oluşumuna göre polimerler

Oluşumuna göre polimerler doğal, yarı sentetik ve sentetik olmak üzere 3 şekilde sınıflandırılır.

Doğal polimerler doğada kendiliğinden bulunan polimerlerdir (Selüloz, doğal kauçuk, proteinler (aminoasitler)). Yarı sentetik polimerler kimyasal tepkimelerle doğal polimerlerden elde edilir (Selüloz türevleri, vulkanize doğal kauçuk). Sentetik polimerler ise monomer denilen küçük moleküllü bileşiklerden polimerleşme tepkimeleri ile elde edilen polimerlerdir [9].

2.2.3. Kaynağına göre polimerler

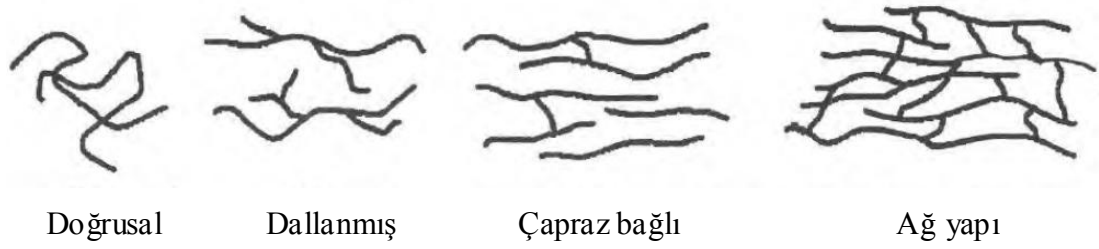
Kaynağına göre polimerler organik ve inorganik olmak üzere 2 şekilde sınıflandırılır.

Organik polimerler, organik monomerlerden sentezlenen veya organik doğal polimerlerdir. İnorganik polimerler ise ana zincirde C içermeyen, moleküler iskeleti karbona dayalı olmayan polimerlerdir (Polisiloksan) [9].

2.2.4. Zincir yapısına göre polimerler

Zincir yapısına göre polimerler Şekil 2.1 de gösterildiği gibi doğrusal, dallanmış, çapraz bağlı ve ağ yapılı olmak üzere 4 şekilde sınıflandırılır.

Ana zincirleri üzerindeki atomlara yalnız yan grupların bağlı olduğu polimerlere, doğrusal polimerler denir. Doğrusal polimerlerin ana zincirleri, kovalent bağlarla başka zincirlere de bağlı değildir. Uygun çözücülerde çözümler ve eritilerek defalarca yeniden şekillendirilebilirler. Dallanmış polimerler adı verilen bir başka polimer grubunda, ana zincirler üzerinde kendi kimyasal yapısıyla özdeş, kovalent bağlarla bağlı ve dal görüntüsünde başka zincirler bulunur. Dallanmış polimerlerin özellikleri genelde doğrusal yapılarına yakındır. Çapraz bağlı polimerler adı verilen polimerlerde ana zincirler birbirlerine değişik uzunluktaki zincir parçalarıyla kovalent bağlar üzerinden bağlıdır. Çapraz bağın yoğun olması halinde ağ-yapılı polimer yapısı elde edilir. Çapraz bağlı polimerler çözünmezler, ancak uygun çözücülerde belli oranda şişebilirler [9].



Şekil 2.1 Zincir yapısına göre polimerler [10].

2.2.5. Monomer kompozisyonuna göre polimerler

Monomer kompozisyonuna göre polimerler homopolimer ve kopolimer olarak 2 şekilde sınıflandırılır.

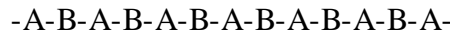
Homopolimer, Şekil 2.2 de gösterildiği gibi birbirini takip eden tekrarlanan birimlerin kimyasal yapısı aynı olan polimerlerdir.



Şekil 2.2 Homopolimer.

Kopolimer ise birbirini takip eden tekrarlanan birimlerin kimyasal yapısı farklı olan polimerlerdir. Kopolimerler ise kendi arasında sırasıyla Şekil 2.3 - Şekil 2.7 arasında gösterildiği gibi alternatif, blok, triblok, rastgele ve grafit kopolimer olmak üzere beş gruba ayrılır [9].

Alternatif kopolimer, monomer birimleri birbiri ardına gelen kopolimerdir.



Şekil 2.3 Alternatif kopolimer.

Blok kopolimer, farklı homopolimerlerin uzun segmentlerini içeren bir kopolimerdir.



Şekil 2.4 Blok kopolimer.

-A-A-A-A-B-B-B-B-A-A-A-A-

Şekil 2.5 Triblok kopolimer.

Rastgele kopolimer, farklı monomerlerin düzensiz birleşmesinden oluşan kopolimerdir.

-A-B-A-A-A-B-B-A-B-A-A-A-B-

Şekil 2.6 Rastgele kopolimer.

Graft kopolimer, mevcut bir polimer zinciri üzerinde bir dallanma olarak ikinci bir monomer içeren kopolimerdir.

-A-A-A-A-A-A-A-A-A-A-A-A-A-
|
-B-B-B-B-B-B-

Şekil 2.7 Graft kopolimer.

2.2.6. Fiziksel durumuna göre polimerler

Polimerler fiziksel durumuna göre amorf, yarı kristal ve kristal olmak üzere 3 şekilde sınıflandırılır.

Amorf polimerlerde moleküller kendi aralarında rastgele bağlanmış olup, kristalleşme ya da çapraz bağ yoktur. Yarı kristal polimerlerin ise polimerik yapının bazı bölümleri kristalin bazı bölümleri amorf yapıdadır. Kristal polimerlerde ise polimer zincirlerinin tamamı belli bir düzene girmiş veya kristalleşmiştir. Kristalin polimerler sadece T_m , amorf polimerler sadece T_g , yarı-kristalin polimerler ise hem T_g hem de T_m gösterirler [9].

2.2.7. Uygulamaya göre polimerler

Polimerler uygulamaya göre fiberler, elastomerler ve plastikler olmak üzere 3 şekilde sınıflandırılır.

Elyafar çok sayıda iplikçiklerden oluşın ve boyu çapının en az 100 katı olan malzemelerdir. Elyaf, ergitilmiş polimerin ekstrüderde çok sayıda delikli kafadan basılması ile iplikçikler şeklinde elde edilir. Polimer elyafı oluşturan iplikçiklerden belirli sayıda yan yana geldiğinde sürekli elyaf, daha büyük birimlerin bir araya gelmesi ile ise polimer elyaf elde edilir. Polimer elyaf, başta tekstil olmak üzere endüstrinin çeşitli alanlarında kullanılır.

Elastomerler bütadien ve türevleri olup, tersinir uzama gösteren polimerlerdir. Elastomer olarak sınıflandırılan polimerler oldukça küçük gerilmelerle esnek bir uzama gösterirler. Bu uzama elastomer örneğinin başlangıçtaki boyunun 5-10 katına kadar tersinir olarak sağlanabilir. Bir polimerin elastomer özellikleri gösterebilmesi için camsı geçiş sıcaklığının düşük olması ve tümü ile amorf olması gerekir. Bunun yanı sıra moleküler yapıda yer alan moleküller arası çekim kuvvetlerinin düşük olması elastomerik yapıyı sağlar.

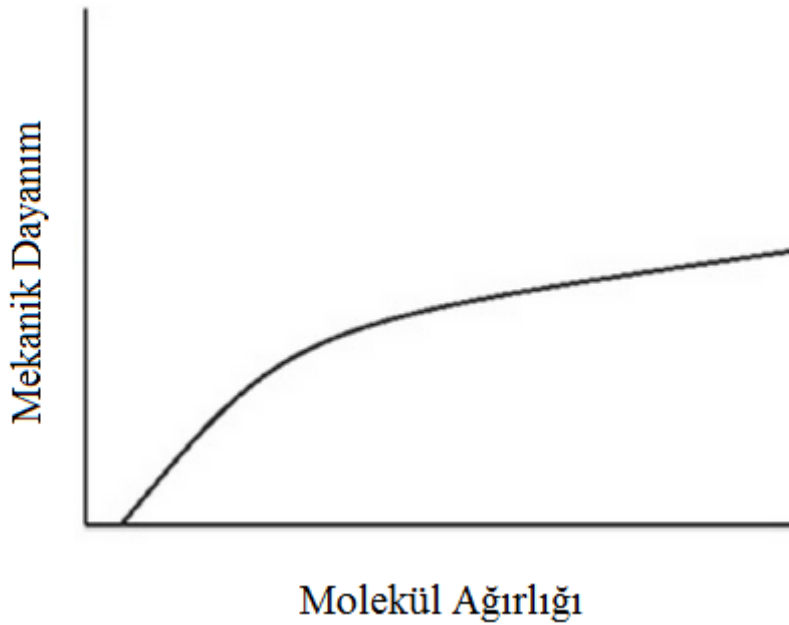
Plastikler ise ısıll şekillendirilmelerine göre termoset ve termoplastik olarak 2 gruba ayrılırlar.

Plastik işleme karışımları şekillendirilirken, öncelikle plastik karışıma ısıll işlem uygulanır. Karışıma ısıll verildiğinde, polimer zincirlerinin hareketliliğinde artışlar meydana gelir ve polimer zincirleri belli bir ergime sıcaklığında sıvı hale geçer. Sıvı hale geçen bu karışım daha sonra soğutulup kalıptan çıkarılacak ve nihai şeklini almış olacaktır. Ancak bazı plastiklerde bu katı plastik ürüne tekrar ısıll işlem uygulandığında plastik tekrar ergiyebilir ve yeniden şekillendirilebilir. Böyle plastiklere termoplastikler denir ve bu tür plastik malzemeler geri dönüşümle yeniden kullanılabilir. En yaygın termoplastikler PE, PVC, PS'dir.

Termoplastiklerin yanı sıra ısıll ile farklı davranış gösteren diğeri bir plastik sınıfı ise termosetlerdir. Termoset malzemeler bir kez şekillendirildikten sonra ısıya maruz kaldıklarında yeniden ergimezler ve yeniden şekillendirilemezler. Termoset plastikler termoplastikler gibi klasik ısıtılıp-soğutma yöntemiyle şekillendirilemezler. Bu malzemeler özel olarak kalıp içerisine konulurlar ve kalıpta tepkimeye sokularak çapraz bağlı termoset yapı oluşturulur. En çok kullanılan termoset malzemeler ise, fenolik reçinelerdir [11].

2.3. Polimerlerin Molekül Ağırlığı ve Dağılımı

Bir polimerin molekül ağırlığı, o polimerin endüstride kullanım alanı ve uygulanmasında büyük önem gösterir. Polimerlerin mekanik ve fiziksel özellikleri polimerin molekül ağırlığına göre değişir. Molekül ağırlığı 5000-10000'in altında olan polimerlerin mekanik dayanımları azdır. Bu değerlerin üstünde mekanik özellikler hızla artar ancak çok büyük değerlere ulaşıldıktan sonra Şekil 2.8 de gösterildiği gibi değer ne kadar artarsa artsın mekanik özellikler değişmez.



Şekil 2.8 Molekül ağırlığı ve mekanik dayanımı grafiği [12].

Basamaklı polimerizasyon tepkimelerinde polimerlerin zincir uzunluğu sıcaklık, basınç, derişim gibi tepkime koşullarının iyi kontrol edilmesi ve eşdeğer gram oranlarının doğru belirlenmesine bağlıdır. Zincir polimerizasyonlarında ise, iki radikal zincirinin sonlanma şekline bağlı olarak molekül ağırlığı değişir. Ancak her iki durumda da tek bir molekül ağırlığından söz edilemez, ortalama molekül ağırlığından söz edilir.

Bir polimerin ortalama molekül ağırlığını belirlemek için farklı yöntemler uygulanır ancak her bir yöntem ile aynı ortalama molekül ağırlığı dağılımı elde edilemez. Polimerler için dört tip ortalama molekül ağırlığı vardır [11].

Molekül ağırlığı sayı ortalaması (\overline{M}_n) bir polimer örneğinde bulunan bütün zincirlerin toplam ağırlığını zincir sayısına bölmekle bulunur.

Burada toplam hesaplanırken, i birden sonsuza kadar polimer zincirinde yer alan bütün moleküller dahil edilir. N_i , ağırlığı M_i olan moleküllerin sayısını gösterir, W_i ise bu moleküllerin toplam ağırlığını gösterir. O halde;

$$\overline{M}_n = \frac{\sum N_i M_i}{\sum N_i} = \frac{\sum w_i}{\sum \frac{w_i}{M_i}} \quad 2.1$$

Polimerlerin molekül ağırlığı sayı ortalaması, donma noktası alçalması, kaynama noktası yükselmesi, osmotik basınç ve buhar basıncı düşmesi gibi koligatif özelliklerin ölçülmesine dayanır.

Molekül ağırlığı ağırlık ortalaması (\overline{M}_w) ışık saçılması, ultrasantrifüj gibi dağılımda büyük moleküllerin taşıdığı ağırlığı gösteren yöntemlerle belirlenir. Molekül ağırlığı ağırlık ortalaması,

$$\overline{M}_w = \frac{\sum N_i M_i^2}{\sum N_i M_i} = \frac{\sum W_i M_i}{\sum W_i} \quad 2.2$$

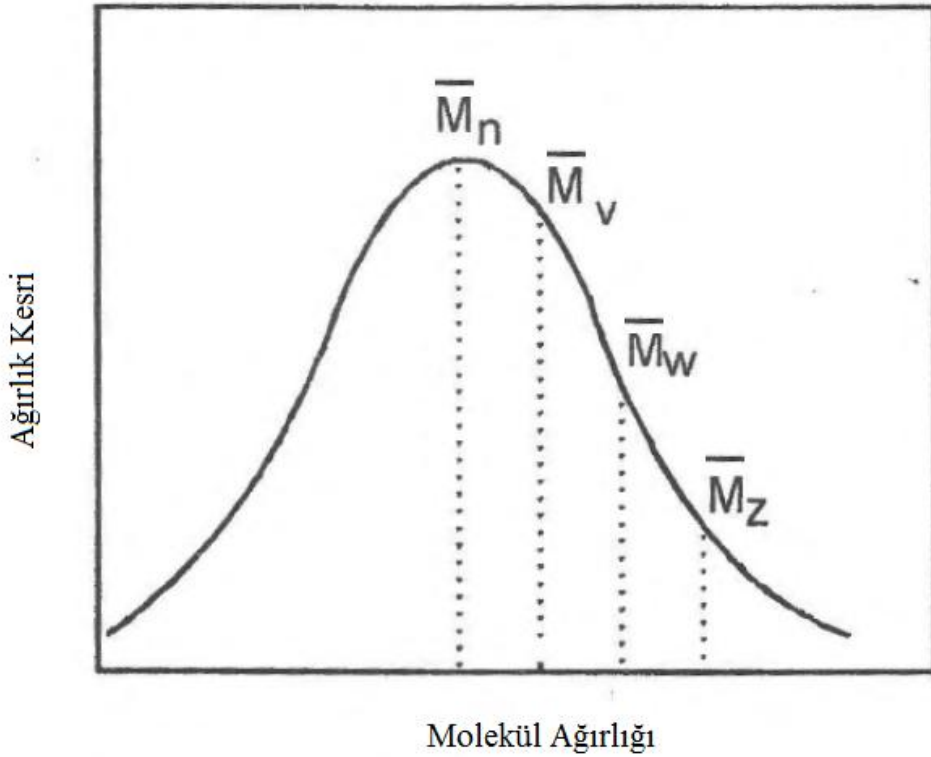
Molekül ağırlığı viskozite ortalaması (\overline{M}_v), viskozite ölçümlerinden elde edilir ve aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır:

$$\overline{M}_v = \left[\sum w_i M_i^a \right]^{1/a} = \left[\frac{\sum N_i M_i^{a+1}}{\sum N_i M_i} \right]^{1/a} \quad 2.3$$

Molekül ağırlığı z-ortalaması, ultrasantrifüj yöntemi ile elde edilir. Ultrasantrifüj, havası boşaltılmış bir kap içerisinde yüksek hızla dönme yapmaktadır. Santrifüj edilecek polimer çözeltisi küçük bir tüp içerisine konur ve sıvı düzeyini görmek için yararlanılan pencerelerden ışık göndererek ölçüm alınır. Işık ile molekül ağırlığı belirlenirken, çözeltinin ışık absorpsiyonu veya kırılma indisinden yararlanılır. İdeal polimer çözeltisi için ultrasantrifüj yöntemiyle z-ortalaması molekül ağırlığının belirlenmesi Eşitlik 2.4'de olduğu şekildedir:

$$\overline{M}_z = \frac{\sum_{i=1}^{\infty} N_i M_i^3}{\sum_{i=1}^{\infty} N_i M_i^2} = \frac{\sum_{i=1}^{\infty} W_i M_i^2}{\sum_{i=1}^{\infty} W_i M_i} \quad 2.4$$

Molekül ağırlığı dağılımını gösteren bir polimer örneğinde $\overline{M}_w/\overline{M}_n$ oranı heterojenlik indisi olarak ifade edilir ve bu değer molekül ağırlığı dağılım eğrisinin genişliği hakkında bilgi sağlar. Monodispers bir polimer örneği sentezlemek için polimerin heterojenlik indisinin bir olması gerekir. Heterojenlik indisi 2-5 arasında değer aldığımda polimer dar dağılım gösterirken; 5- 20 arasında değer aldığımda geniş dağılım gösteriyor demektir [11].



Şekil 2.9 Molekül ağırlığı ve ağırlık kesri grafiği [10].

Polimerizasyon derecesi; polimer zincir uzunluğu, zincirdeki tekrar edilen birimin sayısı ile karakterize edilir ve buna polimerizasyon derecesi denir [11].

$$\overline{DP}_n = \frac{\sum w_i}{\sum \frac{w_i}{M_i}} \quad 2.5$$

2.4. Polimerizasyon Yöntemleri

Polimerlerin üretiminde kullanılan endüstriyel teknikler, polimerizasyon ortamının özelliklerine bağlı olarak kendi içlerinde, yığın polimerizasyonu, çözelti polimerizasyonu, süspansiyon ve emülsiyon polimerizasyonu olarak 4 sınıfa ayrılır.

2.4.1. Yığın polimerizasyonu

Yığın polimerizasyonu, monomerlerin doğrudan başlatıcı, ısı, ışın vb. polimerizasyonu başlatıcı etkenler yardımıyla polimerleştirildiği tekniktir.

Yığın polimerizasyonu diğer polimerizasyon teknikleri ile kıyaslandığında bir takım üstünlükler göstermektedir. Kısaca değinilecek olunursa, uygulaması daha kolay ve ekonomiktir. Polimerizasyon hızı ve dönüşümü daha yüksektir. Ayrıca elde edilen polimerler daha temiz ve doğrudan işlenebilir [8].

2.4.2. Çözelti polimerizasyonu

Sıvı haldeki monomerlerin yığın polimerizasyonunda yüksek viskozite ve ısı aktarımı sorunlarıyla karşılaşılır. Bu iki sorunu birlikte giderme yollarından birisi, polimerizasyonu monomeri çözen bir sıvıda yürütmektir.

Çözelti polimerizasyonunun ısı aktarımının ve sıcaklık kontrolünün kolay olması, viskozitesinin düşük olması, ürünün doğrudan kullanılabilir olması gibi avantajları bulunmaktadır. Fakat bu avantajların yanı sıra çözücüye zincir transfer gerekliliği, yüksek maliyetli ve eğer doğrudan kullanılmayacak ise bozunmalara neden olabilen çözücünün polimerden uzaklaştırılması işlemleri gibi problemler yaratabilir. Ayrıca kanserojen ve zehirli özelliklere sahip olabilen çözücülerden dolayı meydana gelen çevre kirliliği gibi dezavantajları da vardır [8].

2.4.3. Süspansiyon polimerizasyonu

Yığın polimerizasyonunda karşılaşılan yüksek viskozite ve ısı aktarım sorunları çözelti polimerizasyonu tekniği ile giderilmektedir. Ancak, çözelti polimerizasyonu bir çözücü içerisinde gerçekleştirilir ve genelde monomerler organik karakterde olduğu için çözücüler de organik kimyasallardır. Polimerizasyon sonunda çözücünün

ortamdan alınması ve polimerde kalan çözücünün uzaklaştırılması, çözelti polimerizasyonun zorunlu basamaklarıdır.

Süspansiyon polimerizasyonunun avantajlarına bakıldığında ısı aktarımı ve sıcaklık kontrolü kolaydır. Viskozitesi düşüktür. Ürünün doğrudan kaplama, yapıştırıcı ve boya olarak kullanılabilmesi gibi özellikleri vardır. Polimer taneciklerinin boyutu, emülsiyon polimerizasyonundan daha iyi kontrol edilebilmektedir. Polimerin mol kütlesi dağılım aralığı dardır. Organik çözücü kullanılmamaktadır. Ayrıca, yığın ve çözelti polimerizasyonundan daha emniyetlidir. Fakat bunun yanında bazı dezavantajları da vardır. Camsı geçiş sıcaklığı polimerizasyon sıcaklığının altında olan polimerlerin üretiminde kullanılamamaktadır. Suyun ve stabilizatörün polimerden uzaklaştırılması, polimerin kurutulması gibi yan işlemler gerektirmektedir. Ortamdaki maddelerden kaynaklanan polimer daha çabuk kirlenmesi gibi durumlar dezavantajlara örnek verilebilir [8].

2.4.4. Emülsiyon polimerizasyonu

Emülsiyon polimerizasyonu, süspansiyon polimerizasyonu gibi su ortamında gerçekleştirilen bir polimerizasyon tekniğidir. Süspansiyon polimerizasyonundan ayrıldığı temel nokta, emülsiyon polimerizasyonunda organik değil su fazında çözünen bir başlatıcı kullanılmasıdır.

Emülsiyon polimerizasyonunun diğer polimerizasyon tekniklerinden üstün olduğu önemli iki nokta, polimerizasyon hızının yüksekliği ve yüksek mol kütleli polimer eldesidir. Emülsiyon polimerizasyonunun avantajlarına bakıldığında tıpkı süspansiyon polimerizasyonunda olduğu gibi ısı aktarımı ve sıcaklık kontrolü kolaydır. Viskozitesi düşüktür. Ürünün doğrudan kaplama, yapıştırıcı ve boya olarak kullanılabilmesi gibi özellikleri vardır. Polimer taneciklerinin boyutu, emülsiyon polimerizasyonundan daha iyi kontrol edilebilmektedir. Polimerin mol kütlesi dağılım aralığı dardır. Organik çözücü kullanılmamaktadır. Ayrıca, yığın ve çözelti polimerizasyonundan daha emniyetlidir. Ancak polimerden misel yapıcının uzaklaştırılması zordur ve bu özellik emülsiyon polimerizasyonu için önemli bir dezavantajdır [8].

2.5. Polimerlerin Sentezi

Polimerlerin sentezinde farklı kimyasal tepkimelerden yararlanılır. Bu tepkimeler genel işleyiş mekanizmaları açısından;

- basamaklı polimerizasyon
- katılma polimerizasyonu adı verilen iki temel polimerizasyon yöntemi altında toplanırlar.

Basamaklı polimerizasyonda polimerizasyon ortamında bulunan her boy molekül birbiri ile tepkimeye girebilir. Polimer zincirleri adım adım ve yavaş bir şekilde büyürler ve yüksek mol kütleli polimer polimerizasyonun sonlarına doğru elde edilir. Katılma polimerizasyonunda ise monomerler aktif merkezlere birer birer katılarak polimer zincirlerini büyütürler, polimerizasyon süresince zincir büyüklüğü fazlaca değişmez.

2.5.1. Basamaklı polimerizasyon

Basamaklı polimerizasyonda polimer zincirleri, fonksiyonel gruplar üzerinden ilerleyen tepkimelerle adım adım ve yavaş bir şekilde büyürler. Örneğin glisin polikondensasyonundaki ilk tepkimede, iki glisin molekülü birleşerek bir dimere dönüşürler. Dimer daha sonra glisin molekülü veya kendisi gibi bir başka dimer ile tepkimeye girer ve benzer tepkimelerin yinelenmesiyle zincir büyümesi sürdürülür. Polimerizasyonun başlamasından sonra belli bir aşamada ortamda monomer, dimer türü küçük moleküller kalmaz, yüksek mol kütleli polimer ise ancak polimerizasyonun sonlarına doğru elde edilir [8].

2.5.2. Katılma polimerizasyonu

Katılma polimerizasyonunda monomer molekülleri aktif bir merkeze birer birer katılarak polimer zincirini oluştururlar. Zincir büyümesi ve sonlanması birlikte ilerlediği için polimerizasyonun her aşamasında ortamda yalnız yüksek mol kütleli polimer ve tepkimeye girmemiş monomer bulunur.

Katılma polimerizasyonunu başlatma yöntemlerinden birisi, serbest radikallerden (çiftleşmemiş elektronu bulunan bileşikler) yararlanmaktır (radikalik katılma

polimerizasyonu). Serbest radikaller kimyasal maddeler kullanılarak veya ısı, ışın gibi fiziksel etkenlerden yararlanılarak polimerizasyon ortamında oluşturulabilir. Katılma polimerizasyonu radikaller dışında iyonik karakterdeki aktif merkezler üzerinden de gerçekleştirilebilir (iyonik katılma polimerizasyonu). İyonik katılma polimerizasyonu zincir büyümesini sağlayan aktif merkezin türüne göre ayrıca katyonik katılma polimerizasyonu ve anyonik katılma polimerizasyonu şeklinde iki başlık altında incelenir.

Katyonik polimerizasyon, zincir büyümesinden katyonik merkezlerin (genellikle karbonyum), anyonik polimerizasyon ise zincir büyümesinden anyonik merkezlerin (genellikle karbanyon) sorumlu olduğu iyonik polimerizasyon türüdür [8].

2.6. Endüstride Kullanıma Göre Plastikler

Plastikler endüstride kullanımına göre genel amaçlı, mühendislik ve performans plastikleri olmak üzere 3 kısma ayrılır. En çok kullanılanlarından bazıları ise aşağıda bahsedilmiştir.

2.6.1. Genel amaçlı plastikler

Sanayide en çok kullanılan plastiklere PE (YYPE, AYPE), PP, PS, PVC örnek verilebilir. Ayrıca bu polimerler kısaca 5 kardeş olarak da tabir edilir. Aşağıda bu polimerler kısaca tanıtılacaktır.

2.6.1.1. Polietilen

Etilen gazının polimerizasyonu ile sentezlenen polietilen (PE), toplam termoplastikler içerisinde %34 lük oranla en fazla tüketilen ticari polimerdir. PE in endüstriyel üretiminin başlama tarihi 1939 dur. PE'nin ilk üretimi zincirlerdeki yoğun dallanmalar nedeniyle düşük yoğunlukludur ve aynı polimer günümüzde de alçak yoğunluklu polietilen (AYPE, LDPE) adı altında üretilmektedir. PE ana zincirindeki dallanmalar, zincir içi transfer tepkimelerinden kaynaklanır. Yan dal zincirleri kısadır ve genelde etil, propil, bütil vb alkil gruplarıdır. Molekül ağırlığı 5000 - 40000 arasında değişen AYPE, üretimi 3 000 atm gibi yüksek basınçlarda yapıldığından yüksek basınç polietileni de denir.

1957 yılında Ziegler-Natta katalizörleri kullanılarak koordinasyon polimerizasyonu üzerinden 1-10 atm gibi düşük basınçlarda yüksek yoğunluklu polietilen (düşük basınç polietileni, YYPE, HDPE) sentezlenmiş ve bu gelişme PE için önemli bir sıçrama noktası olmuştur. PE üretimindeki bir diğer önemli gelişme ise doğrusal alçak yoğunluklu PE üretimidir (DAYPE, LLDPE). DAYPE düşük basınçta sentezlenir, kristalitesi düşüktür ve zincirlerindeki dalların boyu AYPE den daha kısadır. Bu üç farklı PE türü nedeniyle günümüzde kristaliteleri (yoğunlukları), mol kütleleri ve özellikleri farklı PE çeşitleri üretilir ve kullanılır. Toplam polietilen üretimi içerisinde DAYPE payı % 36, AYPE payı % 36 ve YYPE payı % 28 kadardır.

Genel olarak PE; düşük fiyatlı, kimyasallara dayanıklı, farklı yöntemlerle işlenebilen ve farklı yoğunluklarda üretilebilen bir polimerdir. Bu özelliklerinden dolayı değişik yerlerde kullanılır. PE nin uygulamaları arasında ev eşyaları, oyuncak, boru, hortum, tüp, şişe vb malzemelerin yapımı, kablo kılıflama, kumaş ve metallerin kaplaması sayılabilir. En önemli kullanım yeri ise polimerik film üretimidir. Sera örtüsü, ambalaj filmi, alış-veriş poşetleri gibi ürünler PE filmlerden yapılır. YYPE daha çok kap, kutu, plastik şişe, gaz tankı, film vb ürünlerin yapımında tüketilir [8].

Yüksek Yoğunluklu Polietilen; Polietilen en yaygın olarak termoplastik malzemelerde kullanılır ve etilenden oluşur. İki ana tipi; Yüksek Yoğunluklu Polietilen (YYPE) ve Alçak Yoğunluklu Polietilendir (AYPE).

YYPE teknolojisine ait gelişmeler son yıllara kadar devam etmiş ve konu ile ilgili olarak çok sayıda patent yayınlanmıştır. Teknolojik araştırma faaliyetlerinin şu alanlarda yoğunlaştığı gözlenmiştir.

- Polimerin bünyesinde önemsiz ölçüde kalıntı bırakan çok yüksek aktiviteli katalizörlerin geliştirilmesi ve böylece reaksiyon sonrası katalizör kalıntısı ayırma işlemlerinin kaldırılması.
- Katalizör bileşimi ve reaktör koşullarını değiştirmek suretiyle ürün özelliklerinin kontrolü.
- Tek hat kapasitelerinin yükseltilmesi

YYPE üretim teknolojisinde katalizörler konusunda çok sayıda patent yayınlanmış olmasına rağmen ticari olarak yaygın şekilde kullanılan katalizörler; Krom esaslı katalizör sistemleri ve Titanyum/Alkil Alüminyum esaslı katalizör sistemleri olmak üzere iki tiptir.

Bugün için en çok kullanılan proses, Titanyum /Alkil Alüminyum katalizör sistemi sıvı faz “slurry” prosesidir. Sıvı faz proseslerinin çoğunda reaksiyon sonrası ayırma işlemini gerektirmeyen yüksek aktiviteli katalizör sistemleri kullanılmaktadır.

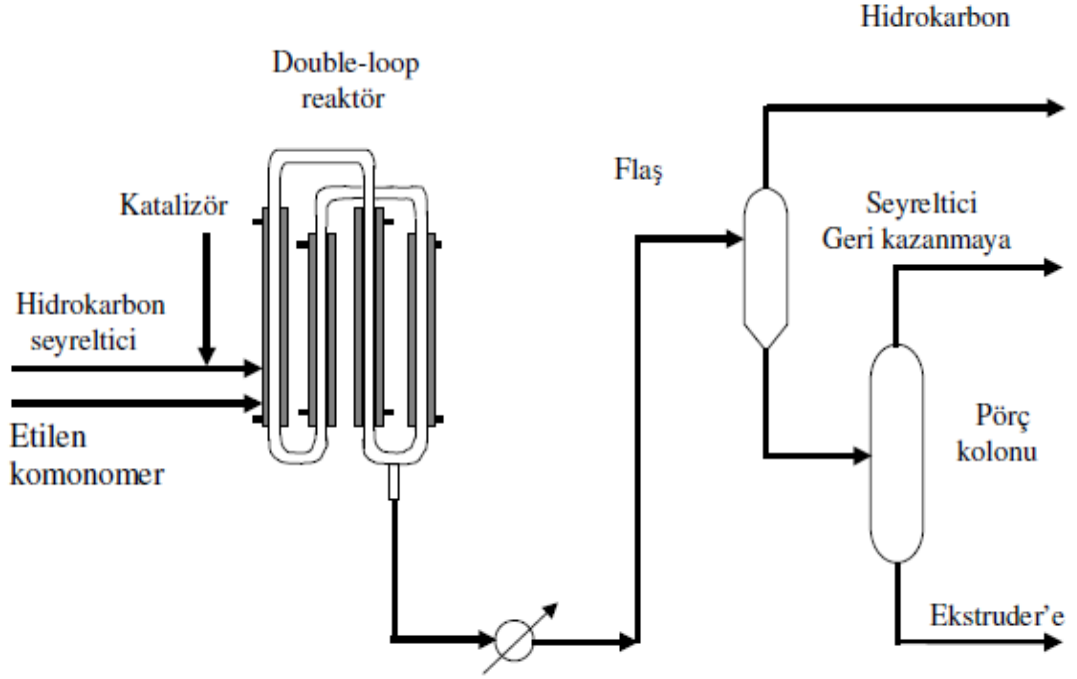
Bugün için YYPE üretiminde kullanılan prosesleri reaksiyon sistemleri bakımından 3 grupta toplamak mümkündür.

- Polimerin çözünme noktasının altında, erime noktasının çok altında kalan sıcaklıklarda, bir slurry (çamur) halinde olduğu, sıvı faz prosesi (Şekil 2.10).
- Polimerin erime noktasının çok altında kalan sıcaklıklarda katı tanecikler halinde olduğu, gaz faz prosesi (Şekil 2.11).
- Polimeri çözünme ve erime noktasının üzerinde kalan sıcaklıklarda çözelti içinde olduğu, sıvı faz prosesi [13].

Slurry Prosesi; Ziegler tipi katalizör sistemi kullanılarak dar molekül ağırlığı dağılımına sahip ürünler, Phillips’in krom katalizörleri kullanılarak ise geniş molekül ağırlığı dağılımına sahip ürünler üretilebilmektedir.

Proseste inert bir hidrokarbona katı fazdaki katalizörler eklenir ve oluşan süspansiyon etilen ve bir komonomerin beslendiği reaktöre gönderilir. Polimerizasyon sonucu oluşan slurry’den polimer ürün ayrılır, içindeki hidrokarbon kalıntısı azotla uzaklaştırılır ve ekstrüdere gönderilir. Tek geçişte etilen dönüşümü %97’inin üzerindedir.

Metalosen katalizörlerin kullanımıyla Phillips’in slurry loop prosesinde lineer alçak yoğunluklu polietilen’de (LAYPE) üretilebildiği belirtilmektedir.



Şekil 2.10 Phillips Slurry Prosesi [13].

Gaz Faz Prosesi; gaz faz prosesinde etilen, komonomer, hidrojen ve azot karışımının bulunduğu akışkan yataklı bir reaktörde polimerizasyon gerçekleştirilir. Katalizör reaktöre enjekte edilir.

Reaktörden çıkan gazla birlikte taşınan küçük polimer tanecikleri bir siklonda tutularak reaktöre geri gönderilir. Reaksiyona girmemiş gaz soğutulur, sıvı hidrokarbon ayrılır ve basınçlandırılarak reaktöre geri gönderilir. Sıvı hidrokarbon ise nozzle sistemin üzerinden reaktöre pompalanır. Sıvı buharlaşırken polimerizasyon ısını da aldığı için reaktörden ısı uzaklaştırılmasındaki limitler azalmış olur (Condensing mode).

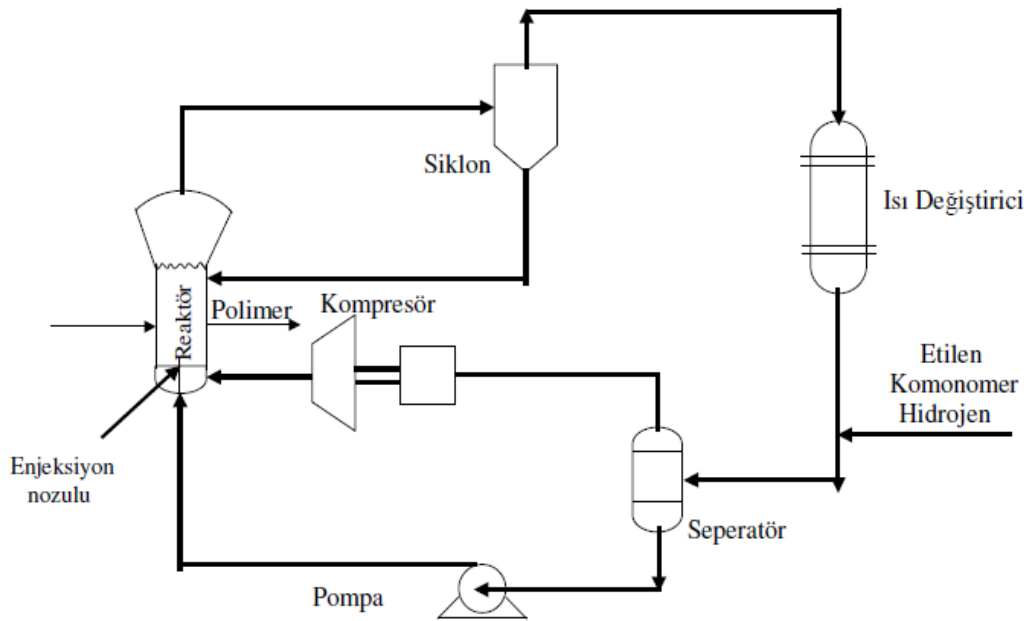
Toz halindeki polimer reaktörden yatay bir boşaltım sistemiyle çekilir, gaz alınır ve ekstrudere gönderilir.

Ziegler-Natta katalizörleri kullanılarak dar molekül ağırlığı dağılımına sahip, krom katalizörler kullanılarak ise geniş molekül ağırlığı dağılımına sahip ürünler üretilmektedir.

Bu prosesle slurry ve çözelti proseslerine göre çok daha yüksek tek hat kapasitelerine çıkabilmektedir. Proses yüksek miktarda az sayıda türün üretilmesine uygundur.

Exxon'ın "super condensed mode" olarak adlandırılan gaz faz prosesinde (sıvı ağırlıkça yüzdesi 20-40 arasında) reaktör verimliliği prosesin durumuna ve kullanılan katalizöre bağlı olarak %200'e kadar artırılabilir.

Gaz faz prosesi ile metallocen katalizörleri birleştirmek amacıyla Dow Chemical (Insite metallocen katalizörleri) ile BP Chemicals (Innovene gaz faz teknolojisi) ve Exxon (Exxpol metallocen katalizörleri) ile Union Carbide (Unipol gaz faz teknolojisi) teknoloji ortaklıkları kurmuşlardır.



Şekil 2.11 BP Amoco Gaz Faz Prosesi (YYPE/LAYPE) [13].

Çözelti Prosesi; etilen ve bir komonomer katı Ziegler tipi katalizör ile bir çözücü içinde polimerize edilir. Polimerizasyon tamamlandıktan sonra çözücü geri kazanılır, polimer ürün ekstrude edilir. Tek geçişte etilen dönüşümü %90'ın üzerindedir.

Bu proseste polimer zinciri boyunca yan grupların dağılımı iyi kontrol edilebilmektedir. Ancak bu proses yüksek molekül ağırlığına sahip ürünler üretilmesine uygun değildir.

Alçak Yoğunluklu Polietilen; polietilen, yüksek ve alçak basınç prosesleri olmak üzere iki temel yöntemle üretilir. Yüksek basınç prosesi ile alçak yoğunluklu polietilen ve kopolimerleri; düşük basınç prosesiyle ise yüksek yoğunluklu polietilen ve yeni geliştirilmiş olan lineer AYPE üretilir. Ayrıca yeni geliştirilen düşük basınç proseslerinde orta yoğunluklu polietilen üretilmekte olup, istenildiğinde aynı proseste hem yüksek yoğunluklu hem alçak yoğunluklu polietilen üretmek mümkündür.

Alçak Yoğunluklu Polietilen (AYPE), yaygın olarak 1200-2650 atm basınç altında, 170-300 °C sıcaklık aralığında etilenin polimerizasyonu sonucu elde edilmektedir.

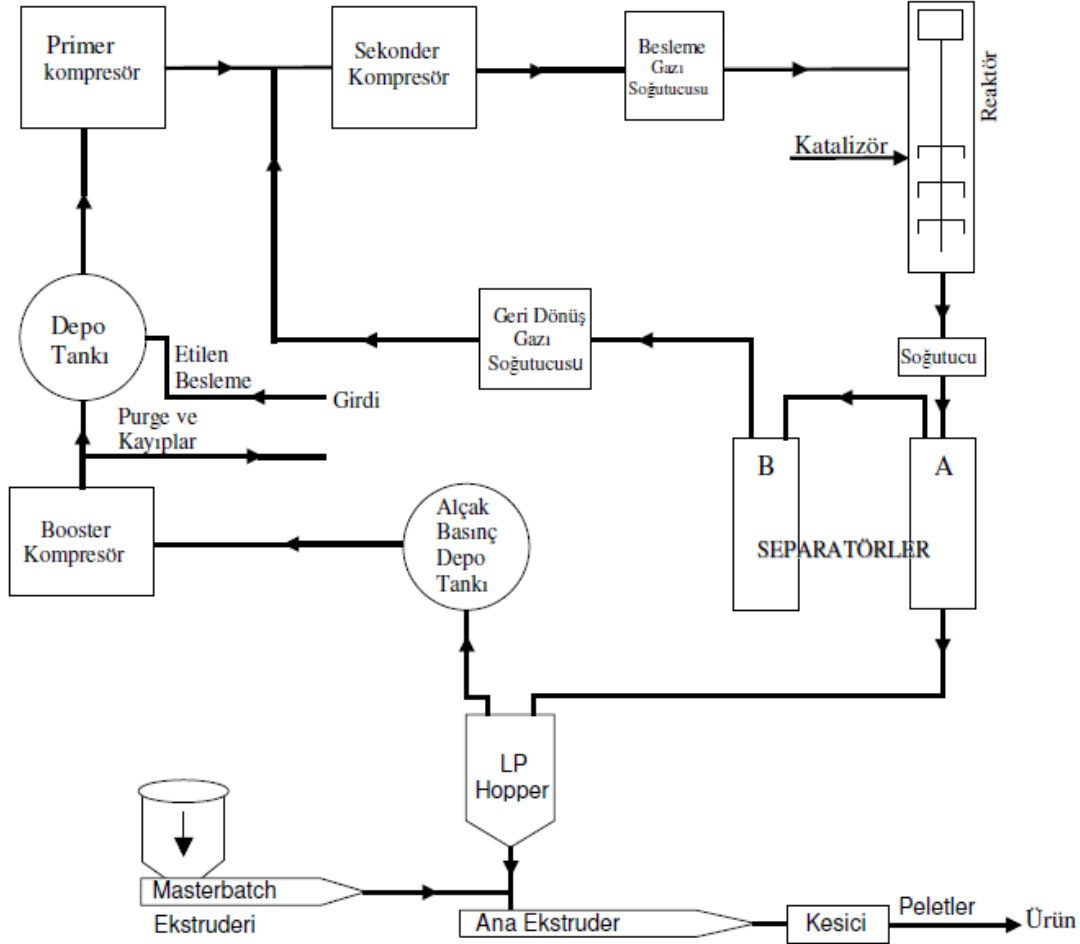
AYPE üretiminde başlıca iki yöntem kullanılmaktadır [13].

- Otoklav Reaktör Üretim Prosesi (Şekil 2.12)
- Tubuler Reaktör Üretim Prosesi (Şekil 2.13)

Otoklav Reaktör Üretim Prosesinde; polimerizasyon reaksiyonu, içinde bir karıştırıcısı olan 2200 atm. basınca dayanıklı silindirik bir reaktörde gerçekleştirilir. Reaktörün üst bölümünde 170 °C olan reaksiyon sıcaklığı alt bölmeye doğru 300 °C'ye kadar yükselir. Etilen gazının reaktörde kalış süresi 30 saniye, dönüşüm oranı ise % 20'dir. Reaktörden çıkan gaz-polimer karışımının sıcaklığı 260 °C'ye, basıncı ise 300 atm'e düşürülerek polimerin gazdan ayrılması sağlanır. Etilen gazı geri besleme hattı ile tekrar reaktöre verilir. Polimer ise ekstrudere gönderilir ve pelet halde elde edilir.

Dünya'daki AYPE kapasitesinin % 35-40'inde bu proses kullanılmaktadır. Otoklav reaktörlü üretim prosesi dünyada daha çok yüksek oranda vinil asetat içeren EVA kopolimeri ile ekstruzyon kaplamaya uygun AYPE türlerinin üretiminde kullanılmaktadır.

Petkim'in Aliağa AYPE fabrikasında bu proses (Şekil 2.12) kullanılmaktadır.

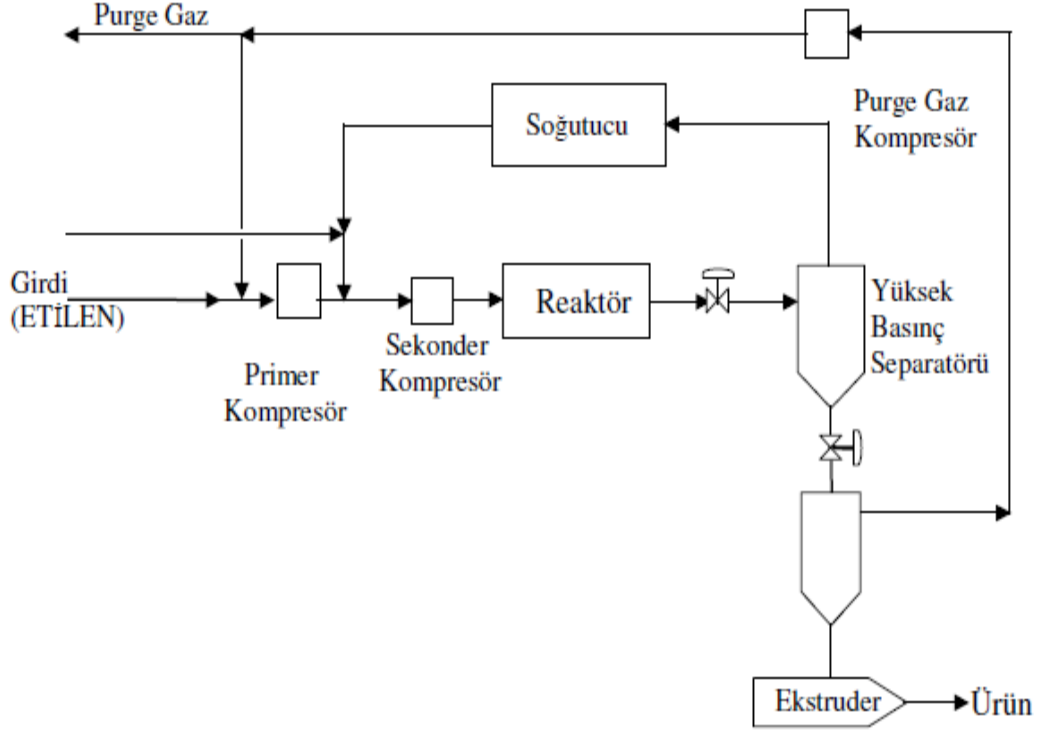


Şekil 2.12 Otoklav Reaktör ile AYPE Üretim Prosesi [13].

Tubuler Reaktör Üretim Prosesini; otoklav reaktörlü AYPE üretim prosesinden ayıran en önemli fark kullanılan reaktör tipinden kaynaklanmaktadır. Bu süreçte kullanılan reaktörler fabrika üretim kapasitesine göre 800-2500 metre uzunluğunda, 1"-3" çapında boru demeti şeklinde reaktörlerdir. Reaktör çalışma basınçları 2500-2650 atm. , çalışma sıcaklığı ise 170-300 °C civarındadır. Dönüşüm oranı ürün cinsi ve reaksiyon şartlarına bağlı olarak % 27-% 37 arasındadır.

Prosesde taze etilen ve geri dönüş hatlarından gelen etilen, primer ve sekonder kompresörlerle reaksiyon basıncına sıkıştırılır ve reaktöre beslenir. Reaktörde oluşan polimer yüksek ve alçak basınç separatörlerinde ayrılır. Her iki separatörden çıkan reaksiyona girmemiş gaz geri dönüş hatlarına verilir. Alçak basınç separatöründen alınan erimiş polimer ekstrudere beslenir ve polimer peletleri silolara transfer edilir. Bu prosesle genellikle dar molekül ağırlığı dağılımına sahip AYPE üretilmektedir.

Dünyadaki AYPE kapasitesinin % 60-65'inde bu proses uygulanmaktadır (Şekil 2.13). Bu yöntem ile en çok film uygulamasında kullanılan AYPE üretimi gerçekleştirilmektedir [13].



Şekil 2.13 Tubuler Reaktör ile AYPE Üretim Prosesi [13].

2.6.1.2. Polipropilen (PP)

Polipropilen, propilenin polimerizasyonu ile üretilen yarı sert, şeffaf, kolay şekillendirilen, pahalı olmayan bir polimerdir. Monomer olan propilen, petrolden sağlanır.

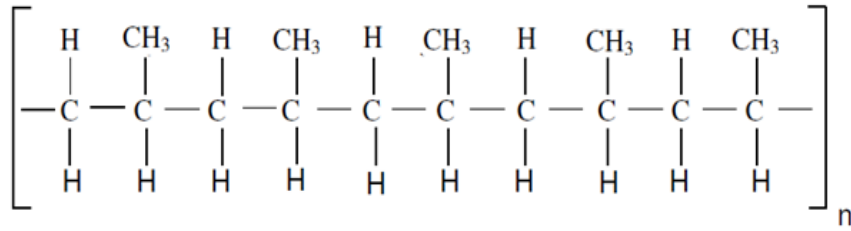
PP nin önemi, üretiminde Ziegler-Natta katalizörlerinin kullanılmasından sonra hızla artmıştır ve günümüzde katalizör tipine bağlı olarak kristalitesi yüksek, farklı özelliklerde izotaktik ve sindiyotaktik PP hazırlanabilmektedir.

PP, bazların, asitlerin ve tuzların sulu çözeltilerinden etkilenmez, alkollere ve deterjan çözeltilerine karşı dayanıklıdır. Deniz suyundan etkilenmediği için denizcilikte kullanıma uygun bir polimerdir. Aromatik ve halojenli hidrokarbonlarda, yüksek sıcaklıkta yağlarda şişer. Görünür bölge ışınlarına dayanıklı olmakla birlikte, UV ışınları PP den yapılan malzemelerin yüzeylerini bozar. Polimerin oksidasyonu

sıcaklıkla yükselir, oksidasyonu önlemek amacıyla içlerine katılan karbon siyahı ise polimerin ısı yaşlanmasını hızlandırır.

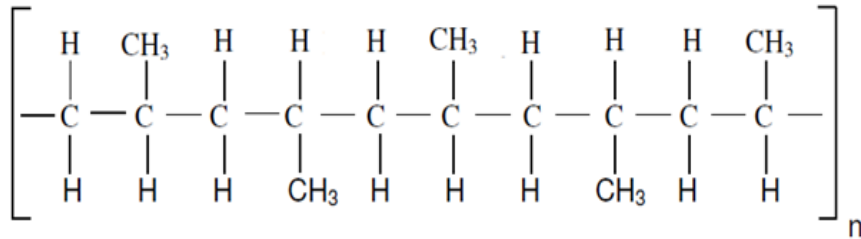
PP daha çok valiz, bavul, çanta, tıraş kremi, diş macunu vb tüpleri, steril sağlık gereçleri, akü kutuları, plastik raf, hava filtresi, plastik kaplar, şişeler, gösterge çizelgeleri, güneşlik, test tüpleri, taşıma kapları, depolama kapları, kasa, bant, şeffaf ambalaj, bahçe mobilyası, termos yapımında kullanılır [8].

İzotaktik polipropilen de tüm – CH₃ alkileri üç boyutlu düzeyde tek tarafa sıralanır. Alt düzlemde – H alkileri bulunur (Şekil 2.12). Kristal yapıda bir polimerdir.



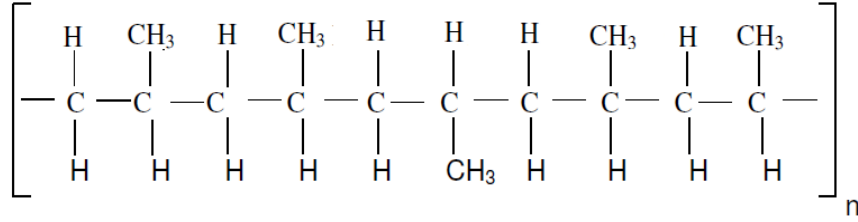
Şekil 2.14 İzotaktik polipropilen.

Sindiyotaktik polipropilende ise – CH₃ alkileri üç boyutlu düzeyde bir üst düzlemde bir alt düzlemde yer alır. Aralarda ise – H alkileri bulunur (Şekil 2.13). Bu da kristal yapıda bir polimerdir.



Şekil 2.15 Sindiyotaktik polipropilen.

Ataktik polipropilen ise – CH₃ alkileri üç boyutlu düzeyde her iki tarafta da gelişigüzel yerleşmiştir (Şekil 2.14). Amorf yapıda bir polimerdir. Heptan ve hekzanda çözünür.



Şekil 2.16 Ataktik polipropilen.

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

Ataktik polimer, slurry faz üretimlerde kullanılan heptan ve heksanda çözünüp polimerden ayrıldığı için, bu polimerin son üründeki miktarı % 0,5'den azdır. Saf izotaktik polimer ticari olarak mevcut değildir.

Polipropilen türleri ilk olarak üç ana gruba ayrılır.

- H - Homo polimerler
- C - kopolimerler
- RC - Random kopolimerler

Homo polimerler propilen birimlerinin tekrarlanması ile elde edilir (Şekil 2.15) .



Şekil 2.17 Homo polimer.

Kopolimerler ise propilenin polimerizasyonundan sonra türe göre % 4 - 14 arası etilenin polimerizasyonundan elde edilir (Şekil 2.16).



Şekil 2.18 Kopolimer.

Random kopolimerlerde ise etilen oranı % 4'ün altındadır. Propilen ve etilenin kopolimerizasyonundan elde edilir (Şekil 2.17).

--- PPPEEPPPEE ---- PPPEEPPPEE ---

Şekil 2.19 Random kopolimer.

Ayrıca etilen oranı % 15 ile % 45 arasında değişen Etilen-Propilen Kauçukları (EPR) elde edilir.

Polipropilenin kullanım alanlarını homo polimer, kopolimer ve random kopolimerin kullanımları olarak üç ana başlığa ayrılabilir.

Homo polimerlerin kullanım alanlarından bahsedilirse;

Enjeksiyonluk: Enjeksiyon ve şişirme kalıplamaya uygundur. Plastik koli bandı, film kutusu, elektrik süpürgesi parçaları, oyuncak, mutfak eşyaları, endüstriyel parçalar, keçeli kalem kabı, elektrik düğme ve prizleri, televizyon kasası, plastik kutu, araba parçaları(tampon, direksiyon, ön konsol, benzin deposu vs.),tüfek ve tabanca kabzası, elektrikli ev eşyaları, teyp ve video kasetleri, enjektör, banyo eşyaları, piknik ve yemek takımları, sise kapağı, limon sıkacağı üretiminde kullanılır.

Film: Genel amaçlı film imalatı gerçekleştirilir (Tubular film, düz film imalatı).

Elyaf: Genel elyaf üretimine uygundur. Halı, trikotaj, peruk, dekoratif şerit, masa örtüsü, Hasır örgü, kumaş, giyim eşyası, iplik üretiminde kullanılmaktadır.

Düz iplik: İplik, çuval, Bigbag, halat, ambalaj ipliği ve ambalaj malzemesi üretiminde kullanılır.

Kopolimerlerin kullanım alanlarından bahsedilirse;

Enjeksiyonluk: Enjeksiyon ve şişirme kalıplamaya uygundur. Darbe mukavemeti yüksek ve ısıya dayanıklıdır. Meşrubat, meyve, ekmek, sebze ve balık kasası, gaz ve benzin bidonları, otomobil farı ve tamponu, su boruları, banyo küveti, kova, leğen, vantilatör, çamaşır makinesi kazanı, plastik dişli, banyo ve mutfak eşyaları, akü ve pil kutuları, vantilatör parçaları, çamaşır makinesi merdanesi, televizyon kasası, buzdolabı iç aksamı ve buharlaşma paneli ve vantilatör parçalarının yapımında kullanılır.

Film: Düşük ısıya dayanıklıdır. Yırılmaz. Soğukta dondurulacak ve korunacak gıdaların paketlenmesinde, iç çamaşır imalatında kullanılır.

Random kopolimerlerin kullanım alanlarından bahsedilirse;

Vakumlu ve/veya oluklu levha, boru (mavi, yeşil, gri, beyaz ve sarı boru), profil, plaka üretiminde kullanılır.

Polipropilen imalat proseslerinde lineer stereospesifik katalizör sistemleri kullanılır. Propilen molekülü çifte bağyla asimetrik bir yapıya sahiptir. Katalizör, kristal yapılı izotaktik bir polimer üretmek için tutarlı bir molekül yönlenmesi sağlar. Polipropilen üretimindeki en büyük gelişme katalizör sistemi aktivitesinin yükseltilmesi ve stereo spesifikliğinin artırılması olmuştur. Bu durum katalist atıklarını ve ataktik polimeri ayırt etmek için gereken operasyonlara gereksinimi ortadan kaldırmış ve maliyeti düşürmüştür.

Polipropilen dünyada temel olarak üç tip prosesle üretilir. Bunlar gaz faz, bulk faz ve slurry faz polipropilen üretim prosesidir [13].

2.6.1.3.Polistiren (PS)

Polistiren; kırılğan, sert, şeffaf, pahalı olmayan, kokusuz ve işlenmesi kolay bir polimerdir. Stirenin polimerizasyonu ile elde edilir.

PS in zayıf noktalarından birisi darbe dayanımının düşüklüğüdür. PS üretimi sırasında polimerizasyon ortamına küçük parçalar halinde elastomerler karıştırılarak PS nin darbe dayanımı artırılır. Bu şekilde hazırlanan polimere, yüksek darbe dayanımlı polistiren veya antişok polistiren denir.

PS, bazlara ve su çözeltilerine dayanıklı bir polimerdir; eterler, ketonlar, aromatik ve klorlu hidrokarbonlar, esterler ise polimeri çözerler veya etkilerler. UV ışınları PS in bozunmasına neden olur ve bu özelliğinden dolayı uzun süreli dış ortamda kullanıma uygun değildir. Dış ortamda, UV-ışınları ve nem etkisiyle belli bir süre sonra parlaklığını kaybeder, rengi sararır, mekanik özellikleri de zayıflar.

PS den yoğurt kapları, mücevher kutuları, yemek tabakları, bölmeli plastik kaplar, taşıma kasaları, oyuncak, teyp bantları, mutfak aletleri, röle parçaları, hoparlör parçaları, yiyecek saklama kapları, emniyetli jiletler, buzdolabı kapları, elbise askıları yapılır. PS köpükler, PS nin bir başka uygulama alanıdır. PS köpükler yaygın olarak ambalajlama, ses ve ısı yalıtımı vb yerlerde tüketilirler [8].

Stiren, fenil grubunun elektron veren ve alan merkez olarak davranabilmesinden dolayı, anyonik, katyonik, koordinasyon (Ziegler-Natta) ve serbest radikal polimerizasyon yöntemleri ile polimerizasyona uğrar. Serbest radikal prosesinin endüstriyel önemi vardır. Anyonik polimerizasyon, dar molekül ağırlıklı ürün üretimi için laboratuvar düzeyinde uygulanmaktadır. Bu ürünler enstrüman kalibrasyonlarında ve teorik çalışmalarda kullanılmaktadır. Ticari olarak sadece stiren bütadien blok kopolimeri üretiminde kullanılmaktadır. Katyonik polimerizasyon, yapışkan ve kaplama amacı ile kullanılan düşük molekül ağırlıklı polistiren üretiminde kullanılmaktadır. Ticari olarak enjeksiyon ve ekstrüzyon amaçlı üretilen polistirenlerin molekül ağırlıkları 100.000 ve 400.000 arasında değişmekte ve serbest radikal polimerizasyon yöntemi ile üretilmektedir.

Stiren monomerin polimerizasyonu ile elde edilen polistiren üretiminde yaygın olarak 4 polimerizasyon prosesi kullanılmaktadır. Bu prosesler; emülsiyon, çözelti, kütle ve süspansiyon polimerizasyonudur [13].

2.6.1.4.Poli (vinil klorür) (PVC)

PVC; vinil klorür monomerinden elde edilen önemli bir ticari polimerdir. Monomer olan vinil klorür, tuzun elektrolizinden elde edilen klor ile petrokimya tesislerinden sağlanan etilen arasındaki tepkimeyle üretilir.

PVC üretildiği haliyle işlenmeye yatkın bir polimer değildir; içerisine ısı stabilizörler, dolgu maddesi, alevlenmeyi önleyici, renklendirici, plastikleştirici vb katkı malzemeleri katıldıktan sonra şekillendirilirler.

PVC, kimyasal direnci iyi sayılabilecek bir polimerdir ve orta derişimdeki asit ve bazlardan, yağlardan, tuz çözeltilerinden etkilenmez. Ancak; alkollere, eterlere, esterlere, aromatik, hidrokarbonlara, kuvvetli asit ve bazlara karşı dayanıklı değildir. Plastikleştirici katılmış polimerin kimyasal direnci daha da azalır. UV stabilizatörleri PVC de kullanılan diğer önemli bir katkı malzemesidir.

Uygulamada sert PVC ve yumuşak PVC (plastikleştirici katılmış) şeklinde iki gruba ayrılırlar. PVC daha çok sert haliyle tüketilmektedir.

Sert PVC nin kullanım sıcaklığı -5 °C ile 60 °C arasındadır. Bu polimerlerden; atık su boruları, ızgara, oluk, su tesisatı parçaları, pencere çerçeveleri ve kasaları, basınç

boruları, havalandırma boruları, vantilatör, yağ ve içecek kapları gibi malzemeler yapılır.

Yumuşak PVC nin kullanım sıcaklığı, içerisine katılan plastikleştirici miktarına bağlı olarak -50 °C ile 60 °C arasında değişir. Yumuşak PVC; priz, oyuncak, fiş, boru, el çantası, conta, yapışkan film, top, büro gereçleri, kırtasiye malzemesi, hortum yapımında ayrıca ısı ve ses izolasyonu, kablo kılıflaması ve kaplama amacıyla kullanılır [8].

PVC üretiminde ticari olarak 4 polimerizasyon proses tekniği kullanılmaktadır. Bu proses teknikleri; kütle, emülsiyon, mikro süspansiyon ve süspansiyon polimerizasyonudur [13].

2.6.2. Mühendislik plastikleri

2.6.2.1. Polikarbonat (PC)

Polikarbonatlar karbonik asitten türemiş poliestlerlerdir. İlk ve önemli mühendislik plastiklerinden birisidir. Genel termoplastik işleme yöntemlerinin çoğu ile şekillendirilebilir. Erimiş halinin yüksek viskozitesi nedeniyle enjeksiyonla kalıplamada yüksek sayılabilecek basınçlar uygulanır ve kalıpların cidarları kalın yapılır. İşlenme sıcaklığı 280-320 °C arasındadır, boyutsal kararlılığını 125 °C ye kadar koruyabilir. Asitlere, yükseltgenmeye, indirgenmeye, tuz çözeltilerine, çoğu yağlara, metil alkol dışındaki alkollere dayanıklıdır. Bazlardan, amonyaktan, benzen toluen gibi aromatik hidrokarbonlardan, aminlerden, ozon ve etilen klorürden etkilenirler.

PC' in optik özellikleri iyidir. Lens, mikroskop parçaları, panjur, CD kabı, sokak ve araç lambaları koruyucusu, projektör parçaları, çakmak, kahve filtresi, beyaz eşya parçaları, koruyucu kask, alet koruyucuları, trafik işaretleri, gözlük, biberon gibi malzemelerin yapımında kullanılır. Üretilen PC' nin % 80 i optik alanında, plastik cam yapımında ve elektrik-elektronik sanayinde tüketilmektedir [8].

2.6.2.2.Poli (metil metakrilat) (PMMA)

PMMA metil metakrilatın polimerizasyonu ile üretilen bir polimerdir. PMMA' ın optik özellikleri çok iyidir ve cam şeffaflığına yakındır, ışığın % 92 sini geçirir. Ayrıca; atmosfer koşullarına dayanıklı, su absorpsiyonu düşük, boyutsal kararlılığı iyi, mekanik dayanımı yüksek ve serttir. Bu özellikleri nedeniyle camın yerine kullanılır ve uçak camları, gözlük camları, lens, mercek, otomobillerin sinyal lambaları, abajur vb. ürünler yapılır.

PMMA sıcaklık değişimlerinden fazla etkilenmeyen bir polimer olmakla birlikte saf halinde 65 °C gibi düşük sıcaklıklara kadar dayanır. Kullanım sıcaklığı içerisinde ısı stabilizatörü katılarak 100 °C ye kadar yükseltilebilmektedir. Alifatik hidrokarbonlar, siklik bileşikler, yağlar ve seyreltik asitlere dayanıklı olan PMMA, ketonlar, esterler, eterler ve aromatik bileşiklerden etkilenir.

PMMA daha çok enjeksiyon, ekstrüzyon, vakum şekillendirme, döküm, şişirerek kalıplama yöntemleri ile şekillendirilir. Enjeksiyon kalıplama 200-250 °C, ekstrüzyonla kalıplama 180-250 °C sıcaklıkları arasında yapılır. Erimiş halde akıcılığı düşüktür. Bu nedenle enjeksiyonla kalıplamada yüksek basınçlar uygulanır ve enjeksiyon hızı düşük tutulur [8].

2.6.2.3.Akrilonitril-Bütadien-Stiren (ABS)

ABS; akrilonitril ve stiren monomerlerinin polibütadien yanında polimerizasyonu ile sentezlenen bir terpolimerdir. Akrilonitril ve stiren kopolimeri, polibütadien ana zincir üzerinde yan dallar halinde bulunur. Akrilonitril bileşeni polimere kimyasal direnç ve ısı kararlılık, bütadien vurma dayanımı, stiren ise sertlik özellikleri kazandırır.

Yüksek sıcaklıklara dayanıklı olan ABS'nin, yumuşama sıcaklığı polistirenden yüksektir. Su adsorpsiyonu düşük olan polimer -40 °C ye kadar kararlıdır ve hafiftir. Dış ortamda kullanıma yatkın değildir ve atmosfer koşullarında hızla bozunur.

Boru, su tesisatı malzemeleri, yiyecek kapları, telefon, otomobil gövde parçaları, koruma amaçlı kaplar, deniz araçları gövdesi ABS ürünlerin kullanıldığı bazı alanlardır [8].

2.6.3. Performans plastikleri

2.6.3.1.Poli (tetrafloretilen) (PTFE)

PTFE, tetrafloroetilenin radikalik emülsiyon polimerizasyonu ile sentezlenen ve ilk ticari adı olan Teflon ile bilinen bir polimerdir. PTFE' in önemli özelliklerinden birisi geniş bir sıcaklık aralığında kimyasallara karşı dayanıklı olmasıdır. Polimerin önemli diğer özellikleri arasında UV ışınlarına dayanıklılığı, yanmaması ve aşınmaya karşı üstün direnci sayılabilir. Kimyasallarla etkileşime girmemesi nedeniyle yapışkan değildir, soğuk veya sıcak sudan etkilenmez. Bu üstünlüklerine karşın PTFE yeterince sert olmayan, mekanik dayanımı zayıf ve sürünmeye yatkın bir polimerdir [8].

2.6.3.2.Poli (fenilen sülfür) (PPS)

PPS, diklorobenzenin sodyum sülfür (Na_2S) ile polar bir çözücü içinde tepkimeye girmesi ile oluşur. Bu tepkime sonucunda elde edilen ürüne poli (tiyo-1,4-fenilen) ya da poli (fenilen sülfür) adı verilir.

PPS, iyi kimyasal direnç gösterir ve yanmaya karşı dayanıklıdır. Bu polimer sert olması ve mekanik özelliklerini çok yüksek sıcaklıklarda koruyabilmesi nedeniyle, kalıplama ve kaplama uygulamalarında iyi sonuç verir. Dolgu maddesi olmaksızın, normal sıcaklıkta sert bir madde olup, yüksek gerilme dayanımına sahiptir. Ayrıca karbon elyaf gibi dolgu maddeleri ilavesi ile bu özelliklerinde önemli derecede artış meydana gelir.

PPS, bilgisayar parçalarının yapımında, yüksek voltaj alanlarında, mekanik güç, yüksek ısı kararlılık ve kimyasal direncin gerektiği, su altı aletlerinde; santrifüj, pervane kanadı ve dişli pompaların yapımında kullanılmaktadır [14].

3. KOMPOZİTLER

Kompozitler, kendi sınırlarını koruyan, aynı ya da farklı cins, iki veya daha çok sayıdaki malzemenin makro düzeyde birleştirilmesinden oluşan yeni ve yapay malzemelerdir. En basit kompozit malzeme, takviye edici ve matris adı verilen iki bileşenden oluşur. Matris malzeme kompozitin sürekli fazını oluştururken, takviye edici ise kesikli fazı oluşturmaktadır. Takviye edici, kompozitin mekanik dayanıklılığından sorumludur ve dayanıklılığı arttırıcı etkisi çoğu kez kompozit içerisindeki hacmi % 10 u geçtiğinde gözlenmeye başlar. Kompozitin matris bileşeni, takviye maddesini bir arada tutma yanında takviye ediciyi dış etkilerden korur, ayrıca kompozitin şeklini belirler. Ancak bu iki bileşen arasında birincil kimyasal etkileşimler bulunmaz. Takviyelendirici olarak kullanılan elyaf ve matrisin rolü doğru bilindikten sonra kompozitlerin yapı ve davranımları daha iyi anlaşılmaktadır. Kompozit malzemelere dayanım, sertlik, ısıl denge gibi özelliklerin sağlanması ve yük taşınımının %70-%90'ı elyaflar tarafından gerçekleştirilmektedir. Kullanılmakta olan bu elyaf çeşitlerine göre de kompozitlerin termal iletkenlik ve yalıtım özellikleri gelişmektedir [8,15].

Pek çok fonksiyon matris malzemesi ile kazanılmaktadır. Yapının performansı için bu fonksiyonlar oldukça önemlidir. Kompozitlerin yapısında bulunan matrislerin önemi aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Elyafların birbirine bağlanmasını sağlayan matris malzemesi kompozitlerin yapılarına rijitlik ve şekil kazandırarak kompozite uygulanan yükün elyaflara aktarımına yardımcı olur.
- Elyafları izole ederek her birinin farklı davranışlar kazanmasını sağlar. Bu sayede kompozitte meydana gelebilecek herhangi bir çatlakın ilerlemesini yavaşlatır veya durdurur.
- Kompozitlerin yüzey özelliğini iyileştirir.
- Kimyasal veya mekanik hasarlara karşı elyafları korur.

- Matris malzemesinin değişimine göre süneklik, darbe dayanımı gibi karakteristik performans özellikleri etkilenir. Matrisin sünek olması, kompozit yapısının sertliğini artırır bu da tercih edilme sebepleri arasındadır [15].

3.1.Kompozitlerin Sınıflandırılması

Kompozitler farklı yaklaşımlarla kendi içlerinde sınıflandırılabilirler. Kompozitlerin sınıflandırılmasında en yaygın tercih edilen yöntem takviye malzemesi ve matris türüne göre yapılan sınıflandırmadır. Matris türüne göre kompozitler polimer, metal ve seramik matrisli olarak sınıflandırılırken takviye malzemesine göre ise kompozitler elyaf takviyeli, parçacık takviyeli, tabaka takviyeli ve karma kompozitler olarak sınıflandırılırlar [16].

3.1.1. Matris yapısına göre sınıflandırma

Kompozit malzemelerin matris türüne göre sınıflandırılmasında matris malzemesini cinsi belirler. Matris yapısına göre kompozitler polimer matrisli kompozitler, metal matrisli kompozitler ve seramik matrisli kompozitler olarak sınıflandırılırlar.

3.1.1.1.Polimer matrisli kompozitler

Kompozitler arasında en sık kullanılanıdır. Polimerler, matris olarak kullanımı en yaygın olan ve uygulama çeşitliliği bulunan gruptur. Polimerlerin kolay temin edilebilir olması, ucuzluğu, hafifliği ve kolay üretilebilir olması bu malzemeleri metal ve seramiklere göre üstün kılar. Polimerik kompozitlerde, takviye malzemeleri kompozite mukavemet ve rijitlik sağlarken, matris malzemesi korozyon dayanımını arttırmak, gelen yükün dağıtılması ve yapının bütünlüğü gibi roller üstlenmektedir. Halen polimer matrisli kompozitlerle ilgili rijitliğin optimize edilmesi ve dayanımın artırılması konularında çalışmalar yapılmaktadır. Polimer matrisli kompozitlerin üretimi, metal, seramik ve diğer kompozit çeşitlerine göre daha kolaydır. Bunun en önemli nedeni, kompozitlerin üretimi için gerekli olan sıcaklığın düşük olmasıdır [17].

Polimer matrisler ara yüzey özellikleri sayesinde kompozitlere gelen yükün elyaflara yayılarak aktarılmasını sağlar ve çevresel etkilere karşı elyafları korur [18].

Polimer matrisli kompozitlerin dezavantajları arasında ise çalışma sıcaklıklarının düşük aralıklarda olması, yüksek termal genleşme katsayıları, nem tutması ve belirli yönlerde düşük elastik özellik göstermesi sayılabilir [19].

1960'lı yıllarda kompozit malzemeler, polimer matrisli kompozitlerin üretilmeye başlanmasıyla piyasada rağbet görmeye başlamıştır. O yıllardan sonra polimer matrisli kompozitler ortak mühendislik malzemesi olmuş ve spor eşyaları, tüketim malları, otomotiv, havacılık ve uzay, denizcilik ve petrol taşıma gibi alanlarda uygulanmak üzere üretilmişlerdir [15].

Kompozit sektörünün ilk yıllarında polimer matris malzemesi olarak doymamış polyesterler kullanılırdı. İlerleyen zamanda bu malzemelerin yerini başka termoset polimerler aldı. Daha sonraki yıllarda ise geri dönüştürülebilirlik özelliği sayesinde kompozit üretiminde termoplastik polimerler kullanıldı ve şu an hala termoplastik matrisli kompozitlerin ilerleyişi termosetlerden daha hızlı gelişim göstermektedir.

Termoplastik matrisli kompozitler oda sıcaklığında katı halde bulunan ve polimer zincirleri arasında zayıf bağlara sahip olan termoplastikler matris olarak kullanılırlar. Termoplastiklerin viskoziteleri sıcaklık artışı ile düşer ve ısı artışı ile yumuşamaya başlayıp ergime ile sonlanırlar. Soğuduğu zaman katılaştıran termoplastiklerin şekil alması kolaydır ve kaynak yapıldığında, tekrar ısıtılıp soğutulduğunda, herhangi bir hasara maruz kalmadan tekrardan işlemlerden geçirilebilir. Termoplastiklerin makromolekül zincirini oluşturan monomerlerin özellikleri ve molekül ağırlığı üzerinde değişime gidilerek mekanik özellikleri değiştirilebilir. Termoplastik zincirinde yer alan moleküller kısmi düzen gösteren yarı kristalin veya yüksek yoğunluklu ve karmaşık yapı gösteren amorf yapıdadırlar. Yarı kristalin yapıdaki termoplastikler ısıtıldığı takdirde kristalin faz erir ve viskoz bir sıvı haline alır. Amorf yapıya sahip termoplastikler ısıtıldığında sert katıdan, viskoz bir sıvı haline geçerler [20].

Tüm plastik malzemeler göz önüne alındığında termoplastikler % 80'lik bir payla en çok kullanım oranına sahiptirler. Özellikle geri dönüşüm kavramına verilen önemin arttığı günümüzde termoplastik malzemelerin uygulamaları gün geçtikçe daha da artmaktadır.

Matris malzemesi olarak kullanılan termoplastik malzemelerin avantajları ise şu şekilde sıralanabilir:

- Isıya maruz kaldığında ergiyebildikleri için, kaynak, ısı ile şekillendirme gibi işlemlerde kullanılabilirler.
- Geri dönüştürülebilirler.
- Üretim sürecindeki çevrim zamanları çapraz bağlanma tepkimelerinin olmaması sebebiyle oldukça kısadır.
- Termosetlerle kıyaslandığında üretim süreçlerini takip etmek daha kolaydır.
- Termoplastiklerin petrol türevi ürünlere, kuvvetli kimyasallara ve çevresel etkilere karşı dirençleri oldukça yüksektir.
- Üretim proseslerinden önce olması gerektiği şekilde kurutuldukları takdirde, herhangi bir su buharı ya da gaz salınımı yapmazlar.

Ancak tüm bu artıların yanında termoplastik polimerlerle işlem yapılırken dikkate alınması gereken bazı olumsuzluklar da mevcuttur. Bu polimerler çapraz bağlanmaya gitmedikleri için yüksek sıcaklıklara dayanımları düşük ve ergime eğilimleri fazladır. Ayrıca sıvı faz geçtiği zaman termoplastiklerin birçok çalışma koşuluna uyum sağlaması zordur [21].

Termoset matrisli kompozitler ise sıvı halde çeşitli kimyasal tepkimeler geçirip çapraz bağlı bağların meydana gelmesiyle katılaştıran üç boyutlu ağ yapısına sahip termoset polimerlerden oluşurlar. Bu malzemelerin mekanik ve fiziksel özellikleri sahip olduğu ağ yapısının özelliklerine ve moleküller arası bağlara göre şekillenir. Fiziksel ve mekanik özellikler polimerizasyon esnasındaki çapraz bağlanma süreci ile kontrol edilebilir. Termosetler ısı ve sıcaklıktan etkilenmeyen, esnek olmayan rijit malzemelerdir. Termoplastiklerle kıyaslandığı zaman daha kırılğandır ve termoplastiklerden birkaç kat daha fazla dayanım sergilerler.

Polimer matrisli ilk kompozitler, termoset polimerlerle yapılmıştır. Termoset malzemelerin matris olarak kullanımında yüksek performans göstermesi istenen kompozitlerde polimerizasyon işlemi esnasında oluşabilecek çekme ve soğuma sürecince olabilecek ve istenmeyen hatalara sebebiyet verebilecek iç gerilmelere dikkat edilmesi gerekmektedir [22].

Polimerik kompozitlerin matris malzemesi olarak endüstriyel alanda en sık kullanılan termoplastik polimerler polietilen, polipropilen, polivinil klorür, akrilonitril bütadien

stiren, poliasetal, poliamid ve polikarbonat; termoset polimerler ise doymamış poliester reçineleri ve epoksi şeklinde sıralanabilir.

3.1.1.2.Metal matrisli kompozitler

Bazı metallerin, liflerle veya taneciklerle eritme vakum emdirme, sıcak presleme ve difüzyon kaynağı gibi ileri teknikler uygulanarak takviye edilmesi ile üretilirler. Metal matrisli kompozitler dış etkilere ve yüksek sıcaklıklara dayanıklılıkları, yüksek modül ve akma dayanımı değerleri, kimyasal ve mekaniksel yöntemlerle geliştirilebilen dayanıklılıkları nedeniyle polimerik kompozitlerden üstündürler. Bu özelliklerinden dolayı uzay mekiklerinin, uçakların, elektronik aletlerin, otomobillerin bazı parçalarının yapımında metal matrisli kompozitlerden yararlanılır. Örneğin; Tungsten alaşımından yapılan liflerle takviye edilmiş metal alaşım kompozitleri 1000°C gibi yüksek sıcaklıklara dayanabilmektedir ve bu kompozitlerden jet motorları yapılmaktadır. Ancak yoğunluklarının ve işleme sıcaklıklarının yüksek oluşu ve lif-metal ara yüzeylerinde görülen korozyona eğilim metal kompozitlerin kullanımını kısıtlamaktadır.

Metal matrisli kompozitler içerisinde matris olarak en çok alüminyum ve alaşımları kullanılmaktadır. Saf alüminyum, korozyona karşı direncin arandığı alanlarda, alüminyum alaşımları ise birim kütle başına yüksek dayanımın özelliğinin arandığı alanlarda yararlıdır [8].

3.1.1.3.Seramik matrisli kompozitler

$Li_2O_2-Al_2O_3-SiO_2$, SiO_2 ve $BaO-SiO_2-Al_2O_3-Si_3N_4$ (SiC ile) gibi seramik matrislerden hazırlanır. Takviye edici olarak ise daha çok Al_2O_3 , SiC, Si_3N_4 vb maddeler kullanılır. Bu bileşikler değişik yapılarda olup amaca göre bir ya da bir kaçını beraber kullanılarak seramik matrisli kompozitler elde edilir. Yüksek sıcaklık dayanımı, yüksek kimyasal dayanım, aşınma dayanımı, sertlik ve bunun yanında kırılma özelliğine sahip seramik kompozitlerin içerisinde boşlukların bulunma olasılığı yüksektir. Bu boşluklardan geçen takviye lifleri, matris ile çevrilmemiş haldedirler ve kompozite uygulanacak yüklemelerde eğilebilir veya kırılabilirler. Bu sorun seramik kompozitler içerisine bağlayıcı adı verilen maddeler katılarak giderilir. Bağlayıcılar, kompozitteki boşlukları doldurmanın yanı sıra, matris ile takviye lifleri ara yüzeyinde esnek bir tabaka oluşturarak matris-takviye edici yapışma düzeyini

yükselterek kompozitlerin dayanıklılığını arttıırırlar. Seramik matrisli kompozitler sandviç zırhlar, çeşitli askeri amaçlı parçalar ve uzay araçlarının imalinde kullanılırlar [8].

3.1.2. Takviye malzemesine göre sınıflandırma

Kompozitler takviye malzemesine göre elyaf takviyeli, parçacık takviyeli, tabaka takviyeli ve karma kompozitler olarak sınıflandırılırlar.

Burada elyaf takviyeli kompozitleri de;

- a) Sürekli elyaf takviyeli kompozitler,
- b) Kesikli elyaf takviyeli kompozitler olarak alt sınıflara ayrılabilir.

3.1.2.1.Elyaf (Lif) takviyeli kompozitler

Elyaf takviyeli kompozit malzemeler genellikle yeterli basınç dayanımına oranla çekme, eğilme, çarpma dayanımları çok düşük düzeyde kalan veya zayıf yapılı, kırılğan malzemenin zayıf olan yönlerinin iyileştirilmesi, kırılğanlığın giderilmesi, malzemenin sünekleştirilmesi gibi amaçlarla bu özellikleri iyileştirecek nitelikte elyaflarla donatılmasıyla üretilen kompozitlerdir. Elyaf, makroskobik açıdan homojen, boyu kesitinin en az 100 katı kadar esnek olan malzemeler olarak tanımlanır. Elyaf takviyeli kompozitlerde dışarıdan yapılan yüklemeleri karşılayan ana bileşen elyaftır, polimer matris ise elyafları istenilen geometride bir arada tutan çevreyi oluşturur. Bu kompozitlerin üretiminde takviye malzemesi olarak cam elyafı, aramid alyafı, karbon elyaf gibi çeşitli elyaflar kullanılabilir [22].

Cam Elyaf; SiO₂, kolemanit, alüminyum oksit, soda, magnezyum oksit gibi hammaddelerin bileşiminden elde edilir. Hammadde karışımı çok ince öğütülerek, homojen bir karışım elde etmek üzere karıştırılır ve yaklaşık 1550 °C sıcaklıkta çalışan bir eritme fırınından eritilir. Erimiş cam platin/radyum alaşımından yapılmış 1250 °C'de kontrol edilen kovanlara beslenir ve 1-2 mm çapındaki deliklerden serbest akış ile bağlayıcı huzmesinden geçirilerek demetler halinde sarılır. Bağlayıcı huzmesinde malzeme kimyasal bileşim ile kaplanır. Bu kaplama ile üretim sırasında hareket kolaylığı sağlanır ve elyafların matrise tutunması için gerekli olan fonksiyonel gruplar elyafa bağlanmış olur. Elyaf üretimi amacıyla çok değişik bileşimde cam mineralleri kullanılmaktadır. En önemli cam elyaflar Çizelge 3.1 de çeşitleri ve ağırlıkça bileşenleri verilen E, C ve S camlarıdır. Elektriksel özellikli camı ifade

eden E camları, camlar içerisinde maliyeti en düşük olanı ve en çok kullanılanıdır. İyi mukavemet, modül ve elektriksel özelliklerinden dolayı kullanılır ve elyaf üretimi oldukça kolaydır [23].

Çizelge3.1. Cam elyaf üretiminde kullanılan cam çeşitleri ve bileşimleri (% ağırlıkça) [24].

Bileşen	E Camı	C Camı	S Camı
SiO ₂	52,4	64,4	64,4
Al ₂ O ₃ .Fe ₂ O ₃	14,4	4,1	25,0
CaO	17,2	1,4	-
MgO	4,6	3,3	10,3
Na ₂ O.K ₂ O	0,8	9,6	0,3
Ba ₂ O ₃	10,6	4,7	-
BaO	-	0,9	-

C camı kimyasal korozyona karşı oldukça dirençlidir ancak mekanik özellikleri E camına göre daha düşüktür. Bunun yanında C camının maliyeti de yüksektir. Hem E hem de C camından daha yüksek maliyete sahip olan S camı yüksek mukavemet ve elastik modül istenen yerlerde tercih edilir. S camı yüksek sıcaklıkta bile mukavemetini muhafaza edebilir [23].

Aramid Elyafı; 1970'li yılların başlangıcında aramid elyaf ticari alanlarda ilk kullanılmaya başlandığında, ticareti yapılan diğer takviye malzemelerinden çok daha fazla mukavemet-ağırlık oranına sahiptiler. Aramid elyaf, ticari adı Kevlar olarak E.I. Du Pont de Nemours & Company tarafından üretilmiştir. Kullanım amacı ilk başlarda otomobil lastiği ve plastikler için takviye malzemesi olsa da sahip oldukları yüksek mukavemet, hafiflik, yüksek sertlik gibi özellikler sayesinde kompozit, balistik, araç lastiği, kablo, halat, yanmaz malzemelerin, koruyucu giysi gibi uygulamaların gelişmesine sebep olmuş ve zamanla yerine kullanılmaya başlanmıştır. Aramid elyafın işlenmesi kolaydır. Farklı şekillerde üretilmesi

mümkündür. Artan sıcaklıkla sürünme dayanımları yüksek olsa da basma dayanımları düşüktür ve ısıtıldıkça kısalmaktadır. Bu durum, aramid elyafların kullanım alanlarını kısıtlamaktadır. Bir diğer dezavantaj ise kolay eğilmeleridir ki bu durum da kesme işlemlerini zorlaştırmaktadır [24].

Karbon Elyafı; cam elyafının günümüzde en çok kullanılan ve geçerli takviye malzemesi olmasına rağmen gelişmiş kompozit malzemelerde genellikle saf karbonun elyafı kullanılmaktadır. Karbon elyafı cam elyafına oranla daha güçlü ve hafif olmasına rağmen üretim maliyeti daha fazladır. Hava araçlarının iskeletlerinde ve spor araçlarında metallerin yerine kullanılmaktadır.

Karbon elyafı ilk kez cam elyafın sertliğinin 3-5 kat artırılması amacı ile karbonun çok iyi bir elektrik iletkeni olduğu bilinmesinden dolayı üretilmiştir. Karbon elyafları piyasada iki biçimde bulunmaktadır:

-Sürekli Elyaf: Dokuma, örgü, tel bobin uygulamalarında, tek yönlü bantlarda ve önceden reçine emdirilmiş elyaflarda kullanılmaktadır. Bütün reçinelerle kombine edilebilirler.

-Kırılmış Elyaf: Genellikle enjeksiyon kalıplamada ve basınçlı kalıplarda makine parçaları ve kimyasal valf yapımında kullanılırlar. Elde edilen ürünler mükemmel korozyon ve yorgunluk dayanımının yanı sıra yüksek sağlamlık ve sertlik özelliklerine de sahiptirler.

Karbon, yoğunluğu 2.268 gcm^{-3} olan kristal yapıda bir malzemedir. Karbon elyaflar cam elyaflardan daha sonra gelişen ve çok yaygın olarak kullanılan bir elyaf grubudur. Karbon elyafın üretiminde çoğunlukla ham madde olarak PAN, Selüloz (Rayon) ve Zift (Pitch) olarak kullanılır. Karbon elyaf tipleri de üretildikleri maddelere göre isim alırlar. Günümüzde rayon sadece çok düşük modüllü elyaflar için kullanılır. Bu hammadde inert bir atmosferde $1000 - 3000^{\circ}\text{C}$ civarına ısıtılır ve aynı zamanda çekme kuvveti uygulanır. Bu işlem mukavemet ve tokluk sağlar. Ancak yüksek maliyet nedeniyle rayon elyaflar çok tercih edilmezler. Elyaf imalatında genellikle rayonun yerine poli (akrilonitril) (PAN) kullanılır. PAN bazlı elyaflar 2413 ile 3102 MPa değerinde çekme mukavemetine sahiptirler ve maliyetleri düşüktür. Petrolün rafinesi ile elde edilen zift bazlı elyaflar ise 2069 MPa değerinde

çekme mukavemetine sahiptirler. Mekanik özellikleri PAN bazlı elyaflar kadar iyi değildir ancak maliyetleri düşüktür.

Karbon elyafların gerçek özellikleri üretim metoduna bağlıdır. Endüstriyel olarak karbon elyaf üretimi termal oksidasyon ve organik katalizör kullanılarak yapılan grafitleme işlemleridir. PAN tabanlı karbon elyaf kompozitleri malzemeleri daha sağlam ve daha hafif olmaları için sürekli geliştirilmektedir.

PAN tabanlı karbon elyaflar birbirini takip eden dört aşamada sentezlenmektedir;

Oksidasyon; Bu aşamada elyaflar hava ortamında 300°C’de ısıtılır. Bu işlem, elyaftan H’nin ayrılmasını daha uçucu olan O’nin eklenmesini sağlar. Ardından karbonizasyon aşaması için elyaflar kesilerek grafit teknelerine konur. Polimer, merdiven yapısından kararlı bir halka yapısına dönüşür. Bu işlem sırasında elyafların rengi beyazdan kahverengiye, ardından siyaha dönüşür.

Karbonizasyon; Elyafların yanıcı olmayan atmosferde 3000°C’ye kadar ısıtılmasıyla liflerin 100 % karbonlaşması aşamasıdır. Karbonizasyon işleminde uygulanan sıcaklık üretilen elyafların sınıfını belirler.

Yüzey iyileştirmesi; karbonun yüzeyinin temizlenmesi gerçekleştirilir ve elyaf kompozit malzemenin reçinesine yapışabilmek üzere elektrolitik banyoya yatırılır.

Kaplama; Elyafı sonraki işlemlerden (prepreg gibi) korumak için yapılan nötr bir sonlandırma işlemidir. Elyaf reçine ile kaplanır. Genellikle bu kaplama işlemi için epoksi kullanılır.

Karbon elyafların tüm diğer elyaflara göre en önemli avantajı yüksek modülüs özelliğidir. Karbon elyafı bilinen tüm malzemelerle eşit ağırlıklı olarak karşılaştırıldığında en sert malzemedir. Karbon lifleri liflerle donatılı kompozitlerin üretiminde kullanılan önemli bir lif türüdür. 1960’lı yılların ikinci yarısından itibaren kullanılmaya başlanmış olan bu liflerin, düşük yoğunluğuna karşın çekme dayanımı ve elastik modülü yüksektir [2].

3.1.2.2.Tanecik takviyeli kompozitler

Polimerik kompozitlerin hazırlanmasında takviye amacıyla lifler dışında, tanecikli malzemeler de kullanılmaktadır. Bunlar arasında karbonatlar, kil, mika, silikatlar, mikroküreler, tarımsal atıklar, metal tozları veya parçaları, pudra sayılabilir.

Tanecikli takviye ediciler ucuzdurlar ve bu tip kompozitlerinin yapımı kolaydır, ayrıca karmaşık geometrili ürünlerde sorun yaratmazlar. Ancak tanecik takviyeli kompozitlerin mekanik özellikleri elyaf takviyeli kompozitlere göre daha zayıftır. Bu nedenle, daha çok mekanik dayanımın önemli olmadığı süs ve dekoratif eşyaların, genel amaçlı ürünlerin ve yük etkisinde kalmayacak diğer tür malzemelerin yapımında yararlanır.

Tanecik takviye ediciler, kompozit kalitesini artırmak amacıyla genelde bir ön yüzey işleminden geçirilirler. Yüzey işleminden geçirilmiş killerin saflığı, beyazlığı, modülü, esneme dayanımı, eğilme direnci artmaktadır. Mısır koçanları, mısır unu, buğday unu vb. takviye ediciler ise organik yapıda olan takviye ediciler olarak tanecik takviyeli kompozitlerde kullanılırlar [8].

3.1.2.3.Tabakalı kompozitler

Tabakalı kompozitler, farklı özelliklere sahip en az iki tabakanın bir araya gelmesinden oluşmaktadır. Tabakalar ince filmler ve levhalardan oluşurlar. Üretilen malzemenin kalınlığına göre sandviç şeklinde tekrarlı olarak dizilmektedirler. Tabakaların uyumu göz önünde bulundurulduğunda farklı özellikler ve yönlerde kompozitler elde edilebilir. Tabakalı kompozit malzemelerin, polimer-cam, metal-seramik, seramik-polimer kombinasyonlarından biri veya birkaçı ile üretilmesi mümkündür. En çok tercih edilen tabakalar ise polimer levhalar ile cam levhaların kombinasyonudur [25].

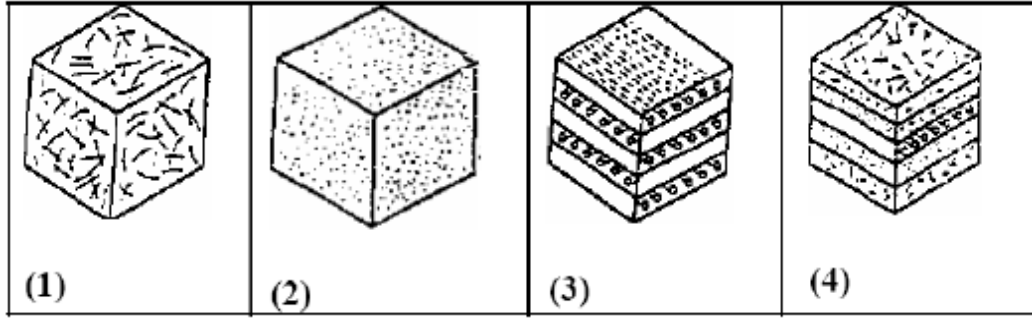
3.1.2.4.Karma kompozitler

Karma kompozitlerin gelişimi günümüzde devam eden en yeni kompozit çeşididir. Bu kompozit çeşidi kompozit malzeme ve bir başka malzemenin bir araya gelmesinden oluşabilir. Bunun yanı sıra birden çok takviye malzemesinin kompozit malzemelerde kullanılması ile de oluşturulabilmektedir. Karma malzemelerin en avantajlı özelliği, kendini oluşturan malzemelerin özelliklerini tek bir malzeme

toplayabilmesidir. Bu davranış ile kompozitlere benzemektedirler fakat karma yapıyı meydana getiren bileşenlerden birinin kompozit olabilmesinden dolayı da kompozit malzemelerin bir sonraki adımı olarak yorumlanabilmektedir. Karma kompozitlerin en çok kullanılan örnekleri, polimer matrisli kompozitlerin metal malzeme ile birlikte oluşturdukları karma (sandviç) kompozitlerdir [26].

Karma kompozitler diğer kompozitlerle kıyaslandığında kısıtlı uygulama alanına sahiptir fakat yapısal uygulamalarda sağladığı avantajları düşünüldüğünde gelecekte kullanımlarının hızla artacağı görülmektedir [26].

Takviye malzemesine göre kompozit malzemelerin sınıflandırılması Şekil 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.1 Takviye malzemesine göre kompozit malzemelerin sınıflandırılması [2].

(1) Elyaf takviyeli, (2) Parçacık takviyeli, (3) Tabakalı, (4) Karma kompozitler

3.2. Polimer Kompozitlerin Kullanım Alanları

Polimerik kompozitler korozyona dirençli, uzun süreli kullanımlara yatkın, işlenmeleri kolay, hafif, karmaşık geometrilerde biçimlendirilebilen, birim kütle başına yük taşıma özellikleri yüksek malzemelerdir. Bu üstün özelliklerinden dolayı aşağıda örnekleri verilen alanlarda kullanılırlar.

Havacılık ve askeri amaçlı: Elyaf takviyeli kompozitler, havacılık ve askeri uygulamalarda hafiflikleri ve birim kütle başına yüksek yük taşıma özellikleri nedeniyle tercih edilirler. Uçakların kanatları, gövdeleri ve bazı parçaları aramidler ve karbon elyaflarla takviye edilmiş polimerlerden yapılır. Uçaklarda en yaygın kullanılan matris polimer epoksilerdir ve örneğin karbon veya aramit takviyeli epoksi

kompozitleri uçak ağırlığının yaklaşık %70 ine kadar çıkabilmektedir. Elyaf takviyeli epoksit polimerlerinden ayrıca ticari ve askeri helikopterlerin pervaneleri yapılır.

Uzay uygulamaları: Elyaf takviyeli kompozitlerin uzay araçlarında kullanılmalarının en önemli nedeni hafiflikleridir. Uzay mekiklerinde aramit elyaflarla takviye edilen yüksek performanslı polimerlerden yapılmış basınç kapları kullanılır. Elyaf takviyeli kompozitlerin uzay araçlarında uzay teknolojisinde kullanılmalarının bir diğer nedeni, geniş sıcaklık aralığında boyutsal kararlılıklarını koruyabilmeleridir. C-tipi cam takviyeli epoksiler yapay uydularda, uzay teleskoplarında kullanılmaktadır.

Otomobil sanayi: Otomobillerin dış yüzeylerinde kullanılan parçalarda (kapıların dış paneli, motor kaputu, tamponlar gibi) darbe dayanımı ve görünüş gibi özellikler önemlidir. Kompozitler bu özellikleri karşılayabilecek malzemelerdir. C-cam elyaf ve aramit takviyeli kompozitler otomobillerde kullanım açısından günümüz koşullarında pahalıdır, bu nedenle otomobillerde kullanımları sınırlıdır. Otomobillerin bazı parçaları daha ekonomik olan E-cam elyaf takviyeli poliesterler veya vinil esterlerden hazırlanan kompozitlerden yapılır.

Spor malzemeleri: Kompozitlerin yaygın kullanıldığı ve potansiyel kullanım yerlerinin artacağı önemli bir alan spor malzemeleridir. Tenis raketleri, hokey sopaları, sörfler, balık oltaları, golf sopaları, kar ve su kayakları kompozitlerden yapılan spor malzemelerine örneklerdir. Kompozitlerin ağırlığı azaltma, titreşimlere dayanma ve tasarım esnekliği gibi özellikleri, spor malzemeleri açısından kompozitleri çekici yapan noktalardır.

Deniz araçları: Cam elyaflarla takviye edilmiş poliester kompozitler deniz araçlarında kullanılan en yaygın kompozittir ve özellikle tekne gövdeleri bu kompozitten yapılır [8].

3.3. Polimer Kompozitlerin Üretim Metodları

Kısa elyaf takviyeli polimerik (SFRP) kompozitler üretim, ekonomi ve üstün mekanik özellikleri nedeni ile tercih edilmektedirler. SFRP' nin üretiminde ekstrüzyonla harmanlama ve enjeksiyonla kalıplama metotları uygulanmaktadır [6].

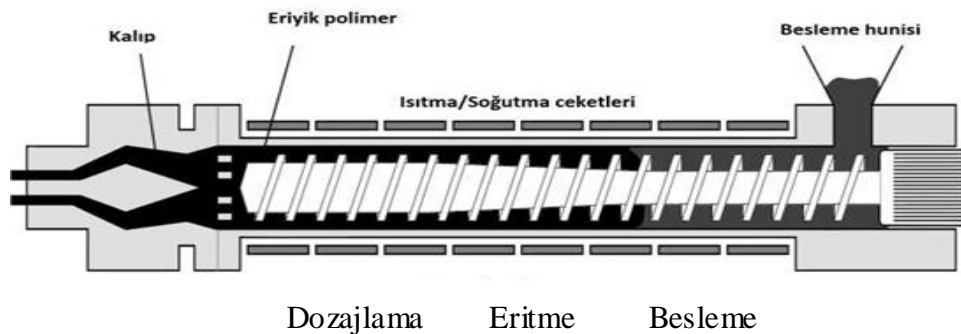
3.3.1. Ekstrüzyon

Ekstrüzyon işlemi genel anlamda, akışkan hale getirilen bir maddenin, amaca uygun şekillendirilmiş bir kafadan, basınç altında sürekli geçirilerek biçimlendirilmesidir. Ekstrüzyon uzun yıllardır özellikle metal boruların yapımında kullanılmış, daha sonraları polimerlere uyarlanmış ve polimerlerden belli geometrilere sürekli ürünlerin hazırlanmasında yararlanılan önemli ve yaygın bir yöntem olmuştur.

Bir ekstrüder makinesi, besleme hunisi, vida, kovan ve kafa olmak üzere dört ana kısımdan oluşur.

Polimer besleme hunisine genelde granül veya toz halinde konur. Granüller besleme hunisine elle doldurulabileceği gibi otomatik doldurma yapan sistemlerde bulunmaktadır. Besleme hunisinde kovan girişine geçen polimer, sonsuz vida yardımıyla kovan boyunca taşınarak kafaya doğru hareket ettirilir. Bu sırada kovan etrafındaki elektrikli ısıtıcılar, polimerin erimesini sağlarlar ve şekillendirilebilir hale getirirler. Ayrıca polimerin viskoz akış sırasında aldığı enerji de polimerin ısınmasına katkıda bulunur. Erimiş polimer ekstrüder kafasına vidanın itmesi nedeniyle belli bir basınç altında gelir ve kafa geometrisinde dışarı çıkar. Polimer kafa çıkışında yumuşaktır. Bu nedenle bir çekme sistemi ile sürekli çekilir ve boyutlandırma elemanından geçtikten sonra su dolu kanaldan geçirilerek soğutulup katılaştırılır. Son aşamada uygun boyutlarda kesilir [8].

Ekstrüderin genel görünümü Şekil 3.2 de gösterilmektedir.



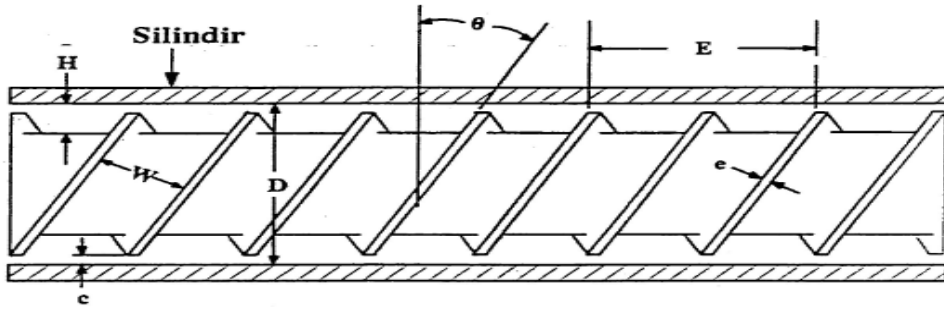
Şekil 3.2 Ekstrüderin genel görünümü [14]

Besleme bölgesi; vidanın huniden malzeme aldığı kısımdır. Bu bölgenin görevi huniden aldığı granül veya toz hammaddeyi vida kanalına aktarmaktır. Genellikle bölgede hatve derinliği sabittir. Bu hatveler sayesinde plastik malzeme belirli bir basınç artışı sağlanarak besleme hunisinden alınarak ileriye doğru itilir. Bu bölgede hammaddenin ilerlemesi, vida üzerinde kaymasına ve kovana sürtünerek tutunmasına bağlıdır.

Eritme bölgesi; temel görevi beslenen plastiği eritmektir. Bu bölge boyunca granüller halindeki hammadde eriyerek bir eriyik havuzu halini alır. Klasik vidalarda hammadde, bölge boyunca kovana doğru bastırılarak eritme sağlanır. Böylece plastik sıkıştırılıp basıncı artırılarak dozajlama bölgesine gönderilir.

Dozajlama bölgesi; vidanın en önemli bölgesidir. Eritilen plastiğin kalıptan çıkması için gereken basıncı oluşturur. Normal 3 bölgeli vidalarda basınç çıkışta maksimuma erişir fakat kalıp karşı basıncına göre hassas olup kapasite düşebilir [27].

Ekstrüder vidasının geometrik görünümü ise Şekil 3.3'te gösterilmektedir.



Şekil 3.3 Ekstrüder vidasının geometrik görünüşü [28].

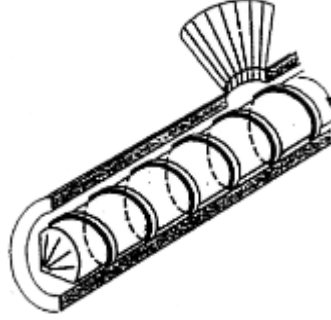
H : kanal derinliği , c : vida dişi ile gövde iç yüzeyi arasındaki mesafe

W : kanal genişliği , D : silindirik gövdenin iç çapı, e : diş kalınlığı

E : vida dişinin tam bir dönüşte aksenal doğrultuda kat ettiği mesafe, θ : Helis açısı

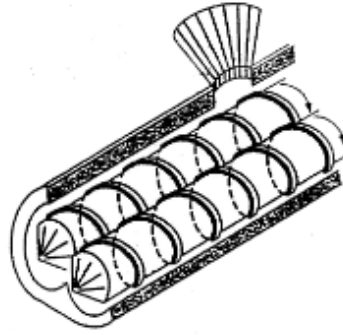
Vidanın dışarıdan aldığı tahrik ile hareketi sayesinde, hammadde hatve kanallarında taşınır, ısıtıcıların da etkisi ile eritilir, karıştırılır ve kalıba doğru iletilir.

Vida ekstrüderin en önemli parçasıdır. Ekstrüderler vida sayısına göre genel olarak ikiye ayrılırlar. Tek vidadan oluşan ekstrüderlere tek vidalı ekstrüder denir. Tek vidalı ekstrüder Şekil 3.4 de gösterilmektedir.



Şekil 3.4 Tek vidalı ekstrüder [28].

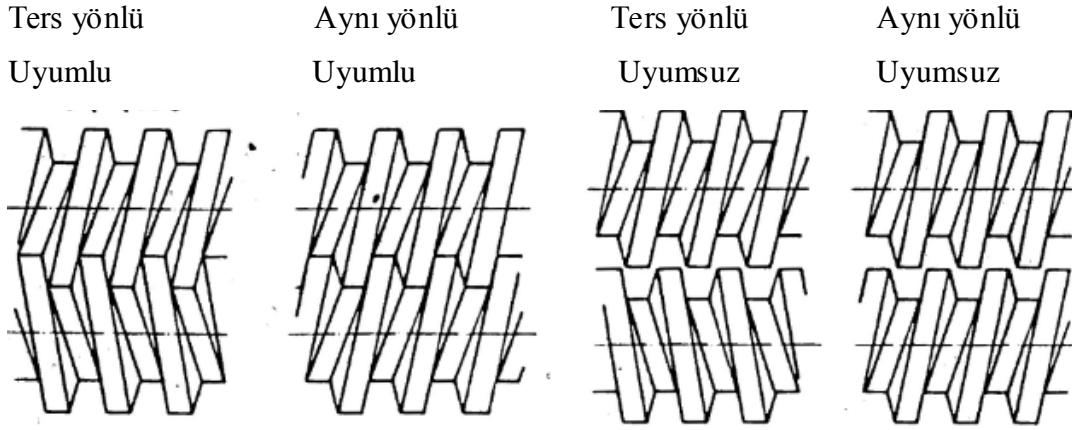
Birden fazla vidadan oluşan ekstrüderlere ise çok vidalı ekstrüder denir. Çok vidalı ekstrüderler arasında en çok çift vidalı ekstrüder kullanılır. Çift vidalı ekstrüder ise Şekil 3.5 de gösterilmektedir.



Şekil 3.5 Çift vidalı ekstrüder [28].

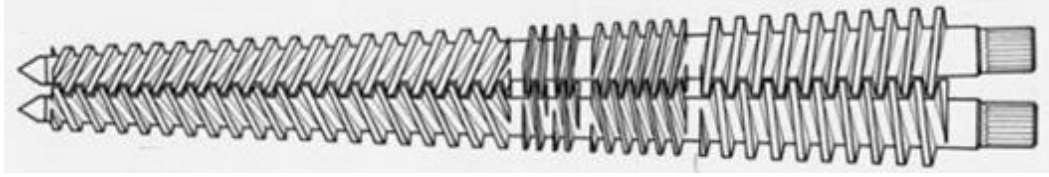
Çift vidalı ekstrüderlerde dönme yönüne göre ikiye ayrılır. Vidaların ikisinde aynı yönde dönen ekstrüderlere, aynı yöne dönen (co-rotating) çift vidalı ekstrüder denir. Aynı yöne dönen vidalar sayesinde daha yüksek vida hızlarında çalışılabilir. İki vidanın da ters döndüğü çift vidalı ekstrüderlere ters yönde dönen (counter-rotating) çift vidalı ekstrüder denir.

Çift vidalı ekstrüder tipleri Şekil 3.6 da gösterilmektedir.



Şekil 3.6 Çift vidalı ekstrüder tipleri [28].

İçeriğinde farklı katkı maddeleri bulunduran blend halindeki malzemeler ve özellikle işlenmesi zor olan toz PVC malzemelerde, yüksek eriyik kalitesi ve yüksek kapasitenin sağlanabilmesi için konik çift vidalar kullanılır. Konik çift vida Şekil 3.7 de gösterilmektedir [27].



Şekil 3.7 Konik çift vida [28].

Termoplastikler ekstrüzyonla şekillendirilmeye en uygun polimerlerdir, termoplastik karakterli tüm polimerler ekstrüzyon yöntemi ile işlenebilir. Polietilen, polistiren, poli (vinil klorür), polipropilen ekstrüzyonla şekillendirilen önemli ticari polimerlerdir. Polietilen özellikle boru, hortum ve film yapımında kullanılır. Yumuşak ve esnek ürünlerde alçak yoğunluklu polietilen; sert ürünlerde yüksek yoğunluklu polietilen uygundur. Yüksek yoğunluklu polietilenden küçük çaplı borular yanında çapı 1,6 metreye ulaşan borular çekilebilir [8].

3.3.2. Enjeksiyon

Enjeksiyon yönteminde, akışkan haldeki polimer basınç altında kapalı bir kalıp içerisine doldurulur ve soğutma işleminden sonra kalıp açılarak ürün alınır. Sözü

edilen adımlar sürekli yinelenerek karmaşık geometrilerdeki parçalar, kısa sayılabilecek sürelerde üretilirler. Şekillendirilmiş parçalar, çapak alma gibi ileri işlemlerden sonra doğrudan kullanıma sunulur.

Enjeksiyon yöntemi, ekstrüzyonla birlikte termoplastik polimerlerin şekillendirilmesinde kullanılan en yaygın yöntemdir. Ayrıca bazı değişikliklerle, termosetlerin, kauçukların ve kompozitlerin şekillendirilmesinde de kullanılmaktadır. Enjeksiyon kalıplama, enjeksiyon makinesi adı verilen sistem kullanılarak yapılır ve tipik bir enjeksiyon makinesi; enjeksiyon sistemi, hidrolik sistem, kalıp sistemi, itici sistem ve kontrol sistemi olmak üzere beş kısma ayrılır.

Enjeksiyon sistemi: Besleme hunisi, kovan ve vida bulunur.

Hidrolik sistem: Sonsuz vidanın dönmesi, itme sisteminin çalışarak kalıbı kapatması ve kalıbı basınç altında tutması için gerekli gücü sağlar.

Kalıp sistemi: Kalıbın bağlantı elemanları ve parçaların, soğutma elemanlarını, kalıp boşluğunu, enjeksiyon deliğini içerir.

İtici sistem: Kalıbı açıp kapatır ve kalıbın hareketli parçasını taşır.

Kontrol paneli: Sıcaklık, basınç, enjeksiyon hızı, vida konumu ve dönme hızı gibi işlem parametrelerini denetler ve ayarlar.

Enjeksiyon makinesi çalışırken; polimeri eritme, erimiş polimerin kalıba enjeksiyonu, ürünün soğutulması ve alınması şeklinde dört ana işlem gerçekleşir.

Besleme hunisinden kovan girişine alınan polimer vida yardımıyla kovan boyunca kalıbın bulunduğu yöne doğru taşınır. Bu sırada kovan etrafındaki elektrikli ısıtıcılar ve viskoz akış nedeniyle polimer ısınır ve erir, ayrıca karışım homojenleşir.

Ekstrüzyon makinelerinden farklı olarak, enjeksiyon makinelerinin kovanlarının sonunda, erimiş malzemenin toplanabileceği bir boşluk vardır. Vida hareketiyle getirilen erimiş polimer bu kısmı doldurur ve vidayı geri itmeye başlar. Bu aşama, kalıplama için yeterli erimiş polimerin toplandığı andır.

Termoplastiklerin ve termoset yapıdaki polimerlerin şekillendirilmesi bazı noktalarda birbirinden ayrılır. Bu farklılıklar aşağıda sıralanmıştır:

1. Termoplastikler genelde kalıplanmadan önce toz veya granül halindedirler, eritilerek kalıplanırlar. Termosetler ise genelde düşük mol kütleli sıvı, toz ya da hamur halinde şekillendirilirler.
2. Her iki tür polimer genelde birden fazla parçalı kalıplar içerisinde şekillendirilirler. Eski ya da hatalı kalıplarda, kalıp parçalarının birbiri üzerine kapandığı yerlerde çapak denilen ve daha sonra tıraşlanarak polimerik üründen uzaklaştırılan atık kısımlar oluşur. Benzer şekilde kalıpların girişinde, yolluklarda her zaman atık polimer kalacaktır. Termoplastiklerin atıkları toplanarak öğütülür ve yeniden eritilerek şekillendirilebilir, termoset polimerlerin atıklarının yeniden işlenmesi ve başka bir ürüne dönüştürülmesi söz konusu değildir.
3. Termoplastiklerin kalıplanmaları sırasında ileri kimyasal tepkimeler gerçekleşmez. Erimiş termoplastik şekillendirildikten sonra soğutulularak yeniden katılaştırılır. Termosetler, kalıplama sırasında gerçekleşen ileri polimerizasyon ve çapraz bağlanma tepkimeleri sonucu sertleşirler.
4. Termoplastikler üretildikleri haliyle genelde renksizdirler ve işlenmeleri sırasında içlerine karıştırılan boya ile istenilen renkler verilir. Enjeksiyon ve ekstrüzyon gibi yöntemlerde işleme sırasında ayrıca iyi bir karıştırma yapıldığından, boya polimer içerisinde homojen dağılır ve kaliteli boyanmış ürünler elde edilir. Termosetlerin bazı türleri dışında boyanmaları zordur.
5. Termoplastiklerin kalıplanması sırasında şekillendirme yöntemine bağlı olarak belli düzeyde zincir yönlenmeleri gerçekleşebilir. Termosetlerde zincir yönlenmesi önemsizdir [8].

4. DENEYSEL YÖNTEMLER

Karbon elyaf takviyeli YYPE kompozitlerinin hazırlandığı bu tez çalışması iki temel aşamadan meydana gelmiştir. İlk aşamada % 5, 10, 15 ve 20 lik karbon elyaf takviyeli YYPE kompozitler ile % 10 ve % 20 oranlarda cam elyaf takviyeli YYPE kompozitleri hazırlandı. İkinci aşamada ise ekstrüzyonda hazırlanan kompozitler enjeksiyonda basılarak ısıl, mekanik ve yüzey özellikleri belirlendi.

4.1 Deneyleerde Kullanılan Malzemeler

YYPE : Erime akış hızı (190 °C,2160 g) 0,4 g/10dk , yoğunluk (23 °C) 0,951 g/cm³ olan yüksek yoğunluklu polietilen kullanılmıştır.

Karbon Elyaf : AKSACA / AC 0101 ürün kodlu çekme direnci 4200MPa, elastik modülü 240 GPa, kopma uzaması % 1,8 olan ve %1,5 poliüretan esaslı, kırma boyu 11mm kesikli karbon elyaf kullanılmıştır.

Cam Elyaf : CAM ELYAF GLASS FIBER / PP4 ürün kodlu E cam tipi, %0,65 silan kaplı, kırma boyu 4,5 mm olan kesikli cam elyaf kullanılmıştır.

4.2 Elyaf Takviyeli Kompozitlerin Üretimi

Karbon elyaf takviyeli ve cam elyaf takviyeli kompozitlerin hazırlanması ekstrüzyon yöntemiyle gerçekleştirildi. Analizi yapılmak üzere numunelerin hazırlanması ise enjeksiyon yöntemi ile yapıldı.

Elyaf takviyeli kompozitlerin üretimi Şekil 4.1 de gösterilen Gülnar Makine firması tarafından üretilen L/D oranı 24 olan, 16 mm lik co-rotating çift vidalı ekstruderde gerçekleştirildi.



Şekil 4.1 16 mm çift vidalı ekstrüder [29].

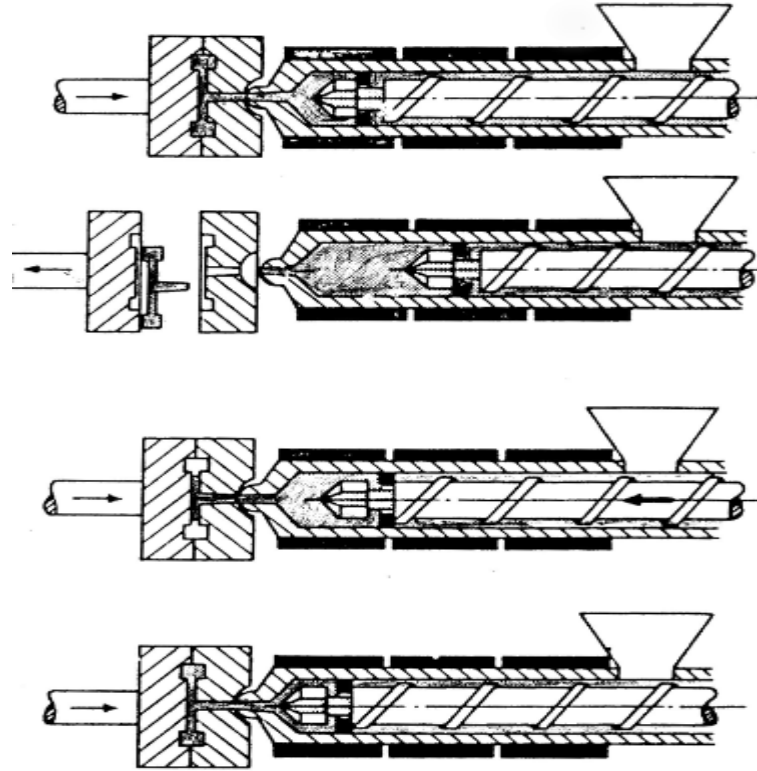
Kompozitlerin hazırlanması anlatılacak olunursa, ilk olarak önceden belirlenen yüzdelere göre hazırlanan karışımlar besleme hunisine aktarılır. Besleme hunisi yardımıyla ekstrüdere ulaşan karışım sıcaklık bölge ayarı 40°C, 200°C, 205°C ve 210°C olan ekstrüderden 100 rpm vida hızında geçirildi. Kalıptan sıcak olarak çıkan karışım soğutma suyundan geçirilerek 15 rpm kesme hızında çalışan granülatörde granül haline getirildikten sonra elyaf takviyeli YYPE kompozitleri elde edilmiş olur.

Ekstruderde granül şeklinde elde edilen karbon elyaf takviyeli YYPE ve cam elyaf takviyeli YYPE kompozitleri mekanik, ısıl ve yüzey analizlerinde kullanılmak üzere dog bone (köpek kemiği) veya sanayi dilinde papyon şeklinde enjeksiyonda basıldı. Karbon elyaf takviyeli ve cam elyaf takviyeli kompozitlerin enjeksiyonda hazırlanması aşağıda verilmiştir:

1. Enjeksiyon işlemine alınan karışımlar besleme hunisi yardımıyla kalıba basılması için enjeksiyona konulur.
2. Besleme hunisinden enjeksiyona ulaşan karışım sıcaklık ayarı 3 bölge için sırasıyla 200°C, 205°C ve 210 °C, basıncı ise 80 bar olarak ayarlanmış olan enjeksiyondan geçirilerek kalıba basılma işlemine geçilmiştir.

3. Kalıba basılmasında ise kalıp sıcaklığı 40 °C, kalıpta bekleme süresi 15 sn olarak belirlenmiştir.
4. Karakterizasyon işlemine uygun şekilde daha önceden hazırlanmış olan kalıplar sırasıyla enjeksiyona takılır.
5. Farklı kalıplarda üretilen numuneler çıkarılarak karakterizasyon aşamasına geçilir.

Aşağıda enjeksiyonla kalıplamada daha farklı bir kalıbın kapanış ve açılışı Şekil 4.2 de verilmiştir.



Şekil 4.2 Enjeksiyonla kalıplama [28].

4.3. Kompozitlerin Karakterizasyonu

Tez çalışması kapsamında hazırlanan karbon elyaf takviyeli ve cam elyaf takviyeli yüksek yoğunluklu polietilen kompozitlerinin ısı, mekanik ve yüzey özelliklerinin incelenmesi amacıyla çekme, darbe, sertlik, SEM ve DSC analizleri yapılmıştır.

4.3.1. Çekme

Karbon elyaf takviyeli YYPE ve cam elyaf takviyeli YYPE kompozitlerinin çekme analizleri Şekil 4.3 de gösterilen Zwick/Roell Z020 Model cihazı ile ISO 527 standartında belirtilmiş değerler göz önüne alınarak hazırlanmış numuneler 50 mm.dk⁻¹ çekme hızında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.3 Çekme testi cihazı [30].

4.3.2. Darbe

Şekil 4.4 de gösterilen Instron Ceast 9050 cihazı ile ISO 180 standartına göre hazırlanmış test çubuklarına uygulanan deney koşulları için sıcaklık 23°C ve çekiç düşme açısı 150° olarak ayarlanmıştır. Izod testine uygun olarak ise numunelere 2 mm çentik açılmıştır.



Şekil 4.4 Darbe testi cihazı [31].

4.3.3. Sertlik

Şekil 4.5 de gösterilen Zwick/Roell test cihazı ile ISO 868 test standartına göre termoplastik malzemelerin sertlikleri Shore D sertliğine göre ölçülmüştür. Numunenin farklı noktalarından alınan değerlerin ortalaması alınmıştır.

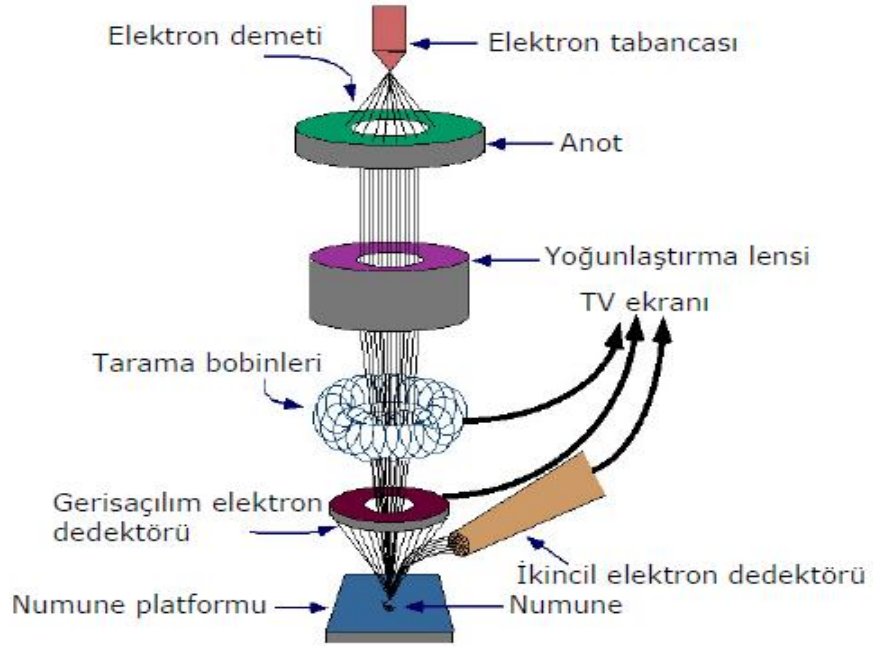


Şekil 4.5 Sertlik testi cihazı [30].

4.3.4. SEM

Örneklerin darbe testi sonucunda oluşan kırılma yüzeylerinden FEI-Philips XL30 ESEM-FEG marka SEM cihazı ile 5 farklı büyütme oranında SEM görüntüleri elde edilmiştir.

Ayrıca SEM analizi şematik olarak Şekil 4.6 da gösterilmiştir.

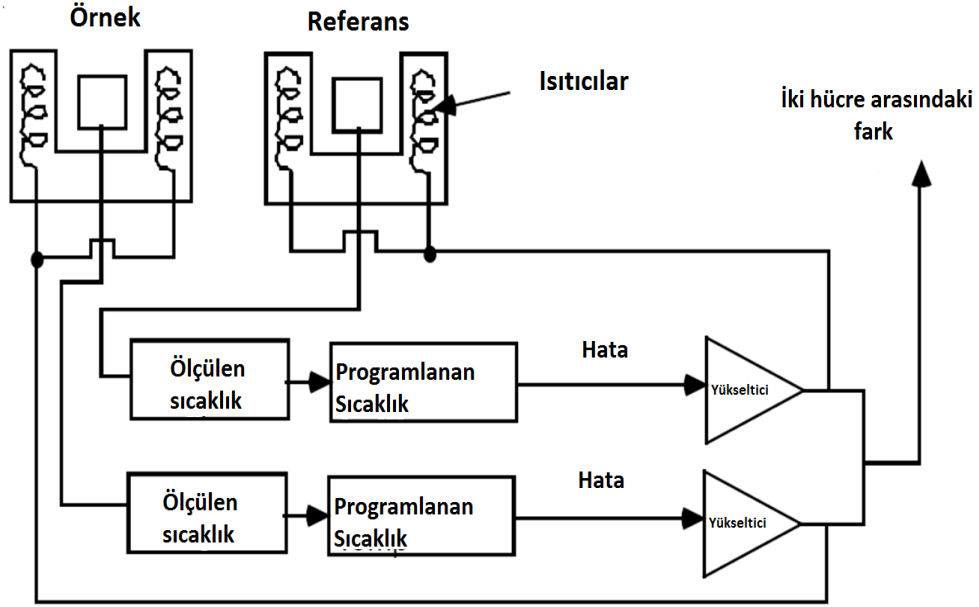


Şekil 4.6 SEM in şematik gösterimi [14].

4.3.5. DSC

DSC analizi Exstar 7020 SII cihazıyla -40°C ile 250°C arasında gerçekleştirilmiştir. Isıtma-soğutma hızları ise $10^{\circ}\text{C}.\text{dk}^{-1}$ olarak belirlenmiştir.

Ayrıca DSC analizi şematik olarak Şekil 4.7 de gösterilmiştir.



Şekil 4.7 DSC nin şematik gösterimi [14].

5. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMALAR

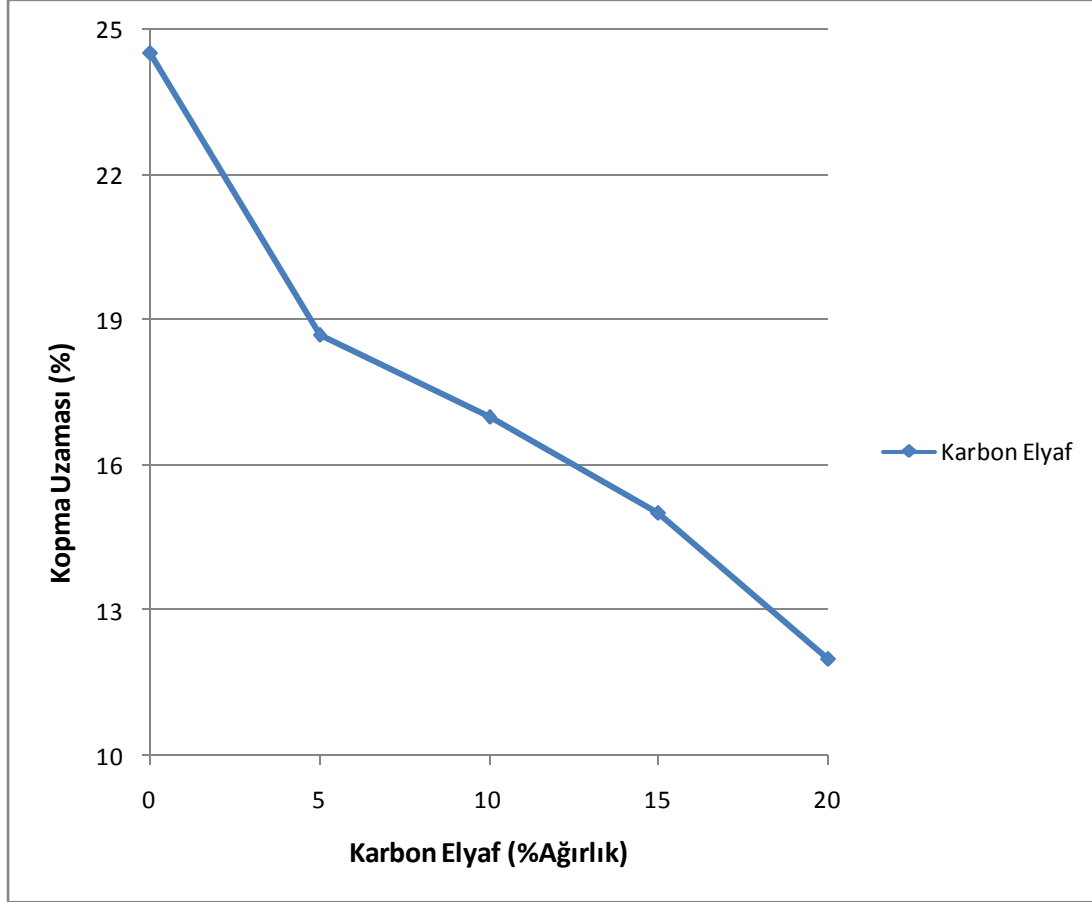
5.1. Çekme Testi

Karbon elyaf ve cam elyaf takviyeli YYPE kompozitlerinin çekme testi sonuçları Çizelge 5.1’ de gösterildi.

Çizelge 5.1 Karbon elyaf ve cam elyaf takviyeli YYPE’ nin çekme testi sonuçları

Ağırlıkça % Elyaf	Çekme Gerilimi (MPa)	Elastik Modülü (MPa)	Kopma Uzaması (%)	
Saf YYPE	32,0	245,0	24,5	
Karbon Elyaf	5	31,5	377,0	18,7
	10	29,5	388,0	17,0
	15	29,0	436,0	15,0
	20	30,0	469,0	12,0
Cam Elyaf	10	29,0	383,0	18,3
	20	31,5	439,0	12,3

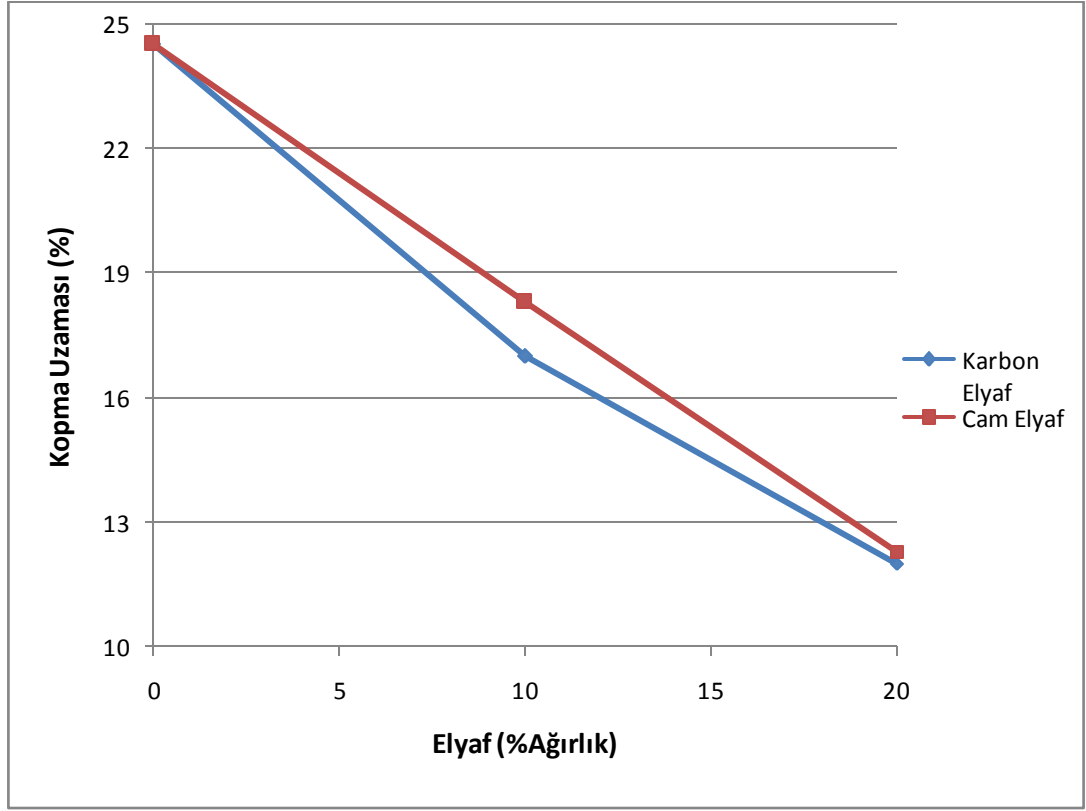
Ağırlıkça karbon elyaf takviyeli YYPE kompozitlerinin kopma uzaması değerleri Şekil 5.1 de gösterildi.



Şekil 5.1 YYPE-karbon elyaf kompozitlerinin kopma uzaması değerleri

Ağırlıkça karbon elyaf takviyesiyle elastik modülün artışına bağlı olarak kopma uzaması değerlerinin azaldığı tespit edildi. Ağırlıkça % 20 karbon elyaf takviye oranındaki kompozitlerin kopma uzaması değerlerinin takviyesiz olanlara göre yaklaşık 2 kat azaldığı görüldü. Kopma uzaması değerlerinin azalma oranının, artan karbon elyaf takviyesiyle birlikte düştüğü gözlemlendi.

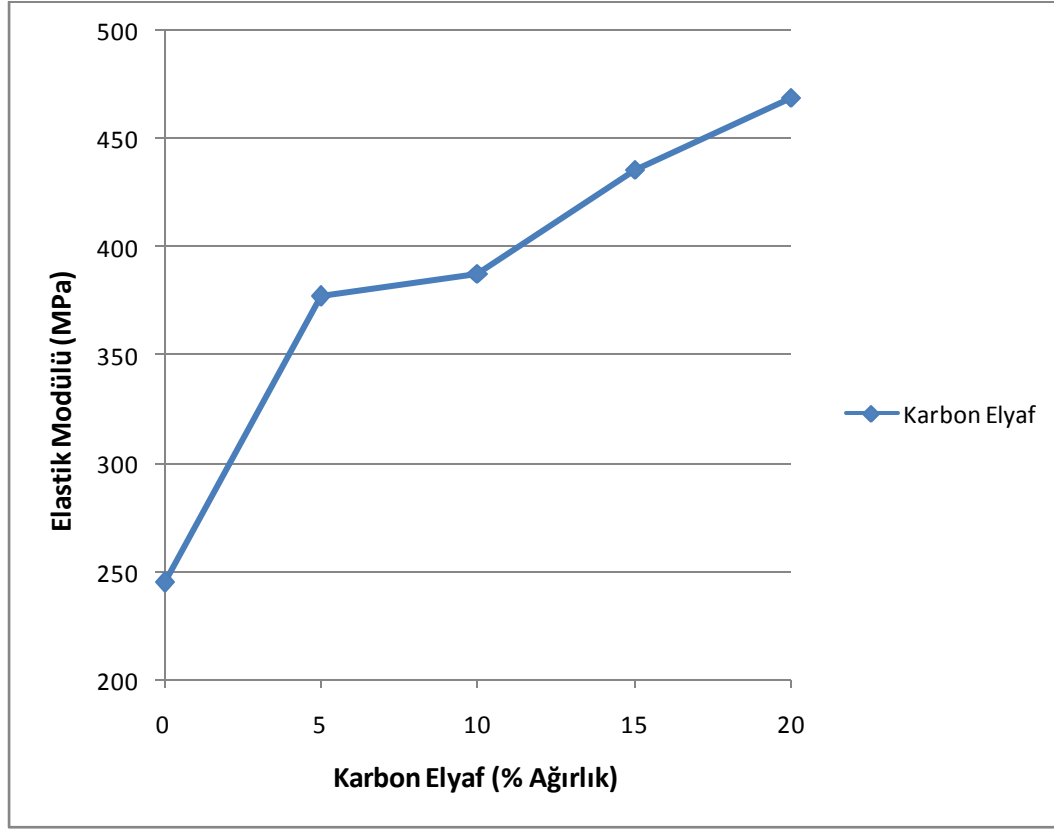
YYPE – karbon elyaf ve cam elyaf kompozitlerinin ağırlıkça oranlarına karşı kopma uzaması değerleri Şekil 5.2 de verilmektedir.



Şekil 5.2 YYPE-karbon elyaf ve cam elyaf kompozitlerinin kopma uzaması değerleri

Karbon elyaf ve cam elyafın eşit oranlarda takviyelendirilmesiyle oluşan kompozitlerin kopma uzaması değerleri incelendi ve cam elyafın karbon elyaftan farklı olarak doğrusal bir şekilde azalma gösterdiği bulundu. Bunun sonucu olarak ise elyaf takviye oranları arttıkça kopma uzaması değerleri birbirine yaklaşmaya başladı.

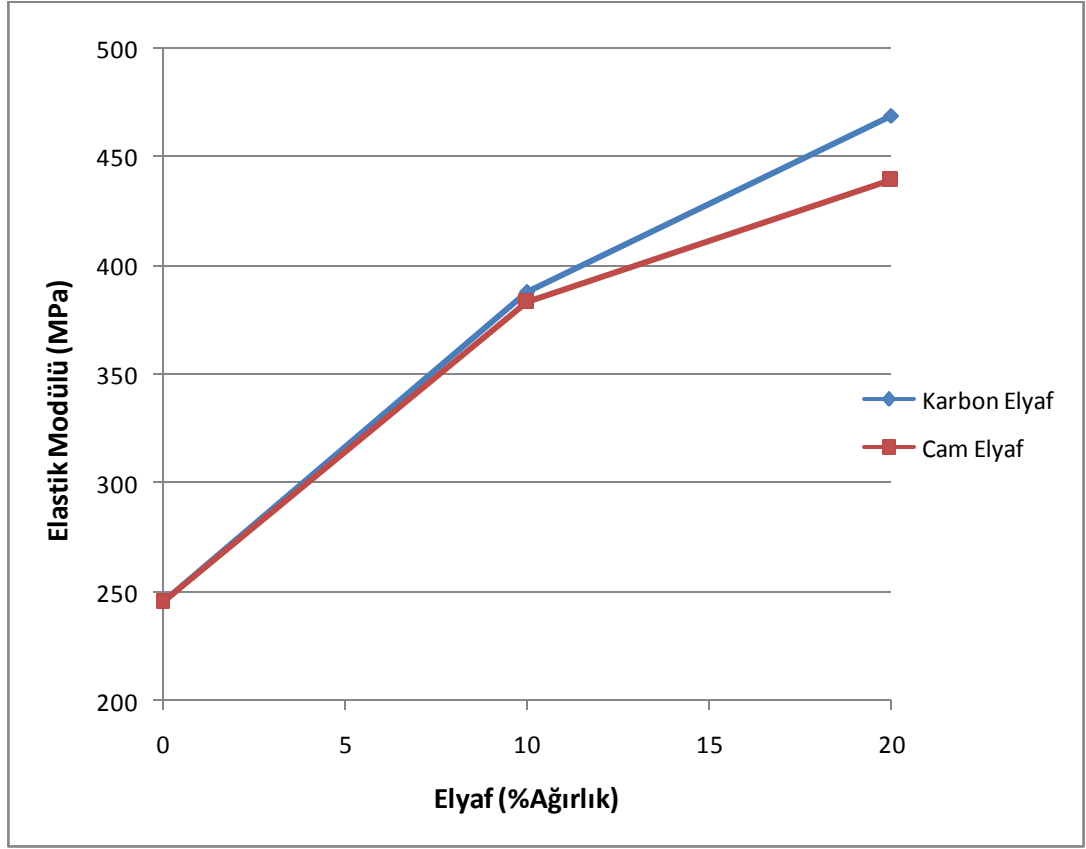
Ağırlıkça karbon elyaf takviyeli YYPE kompozitlerinin elastik modülü değerleri Şekil 5.3 de gösterildi.



Şekil 5.3 YYPE-karbon elyaf kompozitlerinin elastik modülü değerleri

Elastik modülün, ağırlıkça artan karbon elyaf takviyesiyle birlikte doğru orantılı olarak arttığı tespit edildi. En büyük artış miktarı % 5 karbon elyaf takviyeli kompozitlerde gerçekleşti. Bunun sonucunda % 10 karbon elyaf takviyeli kompozitlerin elastik modülündeki artışın azaldığı gözlemlendi. Elastik modülü artış oranının, ağırlıkça %10 karbon elyaf takviyesinden sonra tekrardan arttığı gözlemlendi. Ağırlıkça % 20 karbon elyaf takviyesindeki elastik modülün takviyesiz olan yüksek yoğunluklu polietilene oranla yaklaşık 2 kat arttığı saptandı.

YYPE – karbon elyaf ve cam elyaf kompozitlerinin ağırlıkça oranlarına karşı elastik modülü değerleri ise Şekil 5.4 de verilmektedir.



Şekil 5.4 YYPE-karbon elyaf ve cam elyaf kompozitlerinin çekme modülü değerleri

Cam elyaf takviyeli kompozitlerde ise artan takviye oranı ile birlikte elastik modülün arttığı görüldü. Ancak elyaf takviye oranı arttıkça elastik modülün artış miktarı azaldı. Aynı takviye oranındaki karbon elyaf takviyeli kompozitler ile kıyaslandığında küçük takviye oranlarında karbon elyafların etkisinin önemli ölçüde üstün olmadığı gözlemlendi. Ancak takviye yüzdeleri arttıkça karbon elyafların daha üstün özellikleriyle birlikte cam elyaftan daha yüksek elastik modülüne sahip olduğu saptandı.

Üretilen kompozitlerde, elyafın enjeksiyonla kalıplama sırasında, akış yönünde yönlendiği göz önünde bulundurulduğu takdirde kompozitlerin çekme gerilimi üzerindeki etkinin büyük ölçüde elyaf uzunluğundan kaynaklandığı görüldü.

Ekstrüzyonla harmanlama ve enjeksiyonla kalıplama yöntemiyle hazırlanan kısa karbon elyaf takviyeli kompozitlerde süreç boyunca elyaf kırılmaları meydana gelir. Bu elyaf kırılmalarının sebebi elyaf-elyaf etkileşimi, elyaf-polimer etkileşimi ve elyafın üretim yapılan cihazın yüzeyiyle etkileşimidir. Dolayısıyla kompozitlerde artan elyaf miktarıyla birlikte elyaf-elyaf ve elyaf-cihaz etkileşimi artacağından son elyaf uzunluklarında azalma meydana gelir. Elyafın kompozit içinde etkili olabilmesi için minimum bir kritik uzunluğa sahip olması gerekmektedir. Bu uzunluğa “kritik elyaf boyu” adı verilir. Eğer elyaf uzunluğu bu değerden az olursa çekme sırasında elyaf yerinden çıkar ve etkili olmaz [14].

Dolayısıyla elyafın takviye etkinliği de azalmış olur. Bu durum artan elyaf miktarıyla çekme geriliminde beklenen artışın neden gerçekleşmediğini açıklar. Sonuç olarak kompozitlerin elastik modülleri üzerinde elyaf yükleme miktarı daha etkiliyken çekme gerilimi üzerinde ise son elyaf boylarının daha etkili olduğu görülür.

Cam elyaf takviyeli kompozitlerin karbon elyaf takviyeli kompozitlerden daha iyi bir çekme geriliminin olma sebebi de son elyaf boyundan yani elyaf etkinlik faktöründen kaynaklanmaktadır. Cam elyafın artan elyaf miktarıyla elyaf etkinlik faktörü karbon elyafa kıyasla daha az etkilenir.

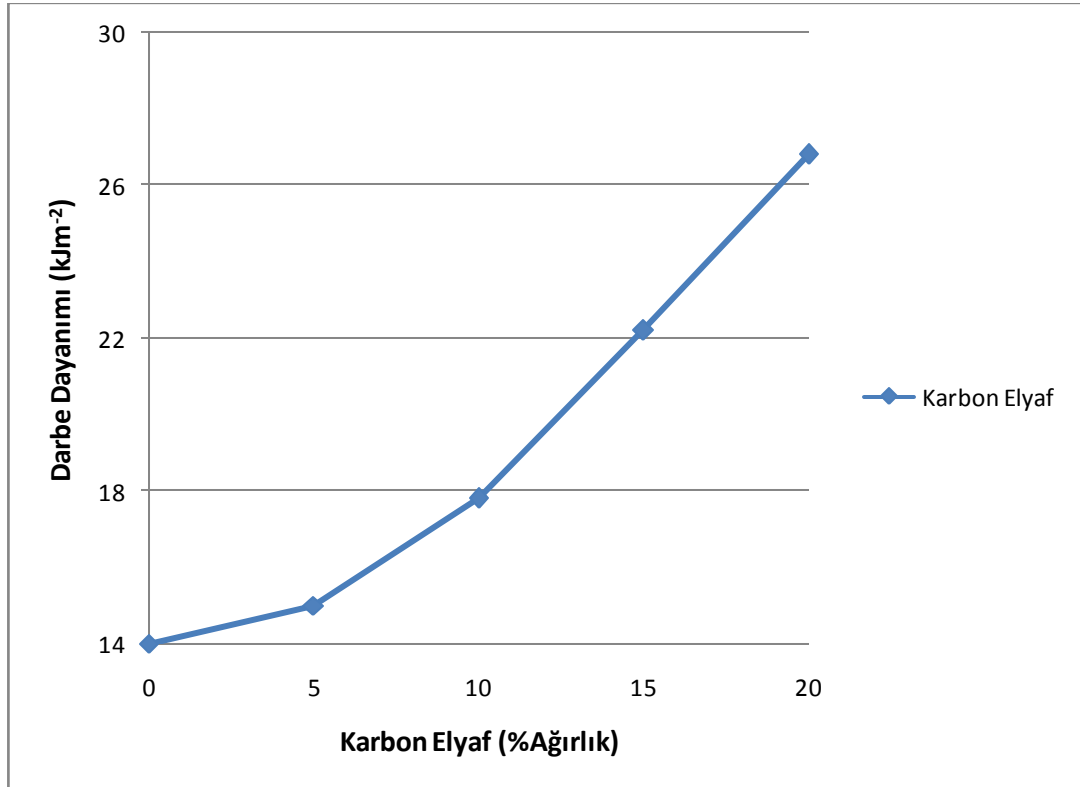
5.2. Darbe Testi

Karbon elyaf ve cam elyaf takviyeli YYPE kompozitlerinin darbe testi sonuçları Çizelge 5.2’ de verilmiştir.

Çizelge 5.2 Karbon elyaf ve cam elyaf takviyeli YYPE nin darbe testi sonuçları

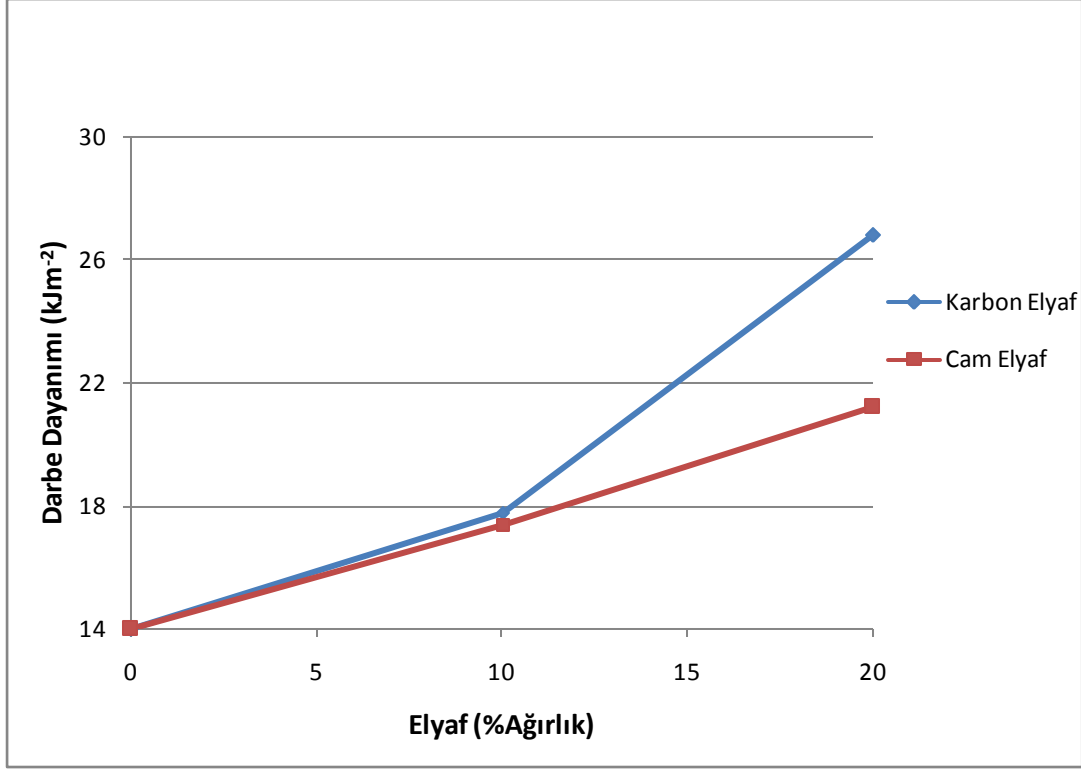
Ağırlıkça % Elyaf		Darbe Dayanımı (kJ.m ⁻²)
Saf YYPE		14,0
Karbon Elyaf	5	15,0
	10	17,8
	15	22,2
	20	26,8
Cam Elyaf	10	17,4
	20	21,2

YYPE-Karbon elyaf ile YYPE-Karbon elyaf ve cam elyaf kompozitlere karşı darbe dayanımı değerleri sırasıyla Şekil 5.5 ve Şekil 5.6 da verilmiştir.



Şekil 5.5 YYPE-karbon elyaf kompozitlerinin darbe dayanımı değerleri

Darbe dayanımının ağırlıkça karbon elyaf miktarı ile artış gösterdiği gözlemlendi. Bu artış incelenecek olursa, başlangıçta darbe dayanımının karbon elyaf takviyesiyle artışı çok düşük olsa da artan karbon elyaf takviyesiyle sürekli olarak artış miktarının çoğaldığı görüldü.

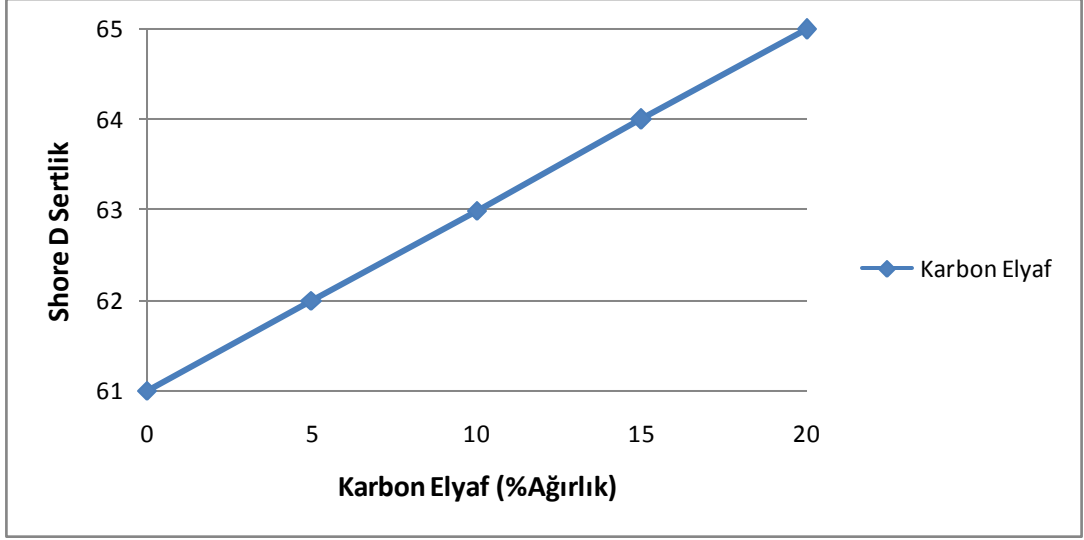


Şekil 5.6 YYPE-karbon elyaf ve cam elyaf kompozitlerinin darbe dayanımı değerleri

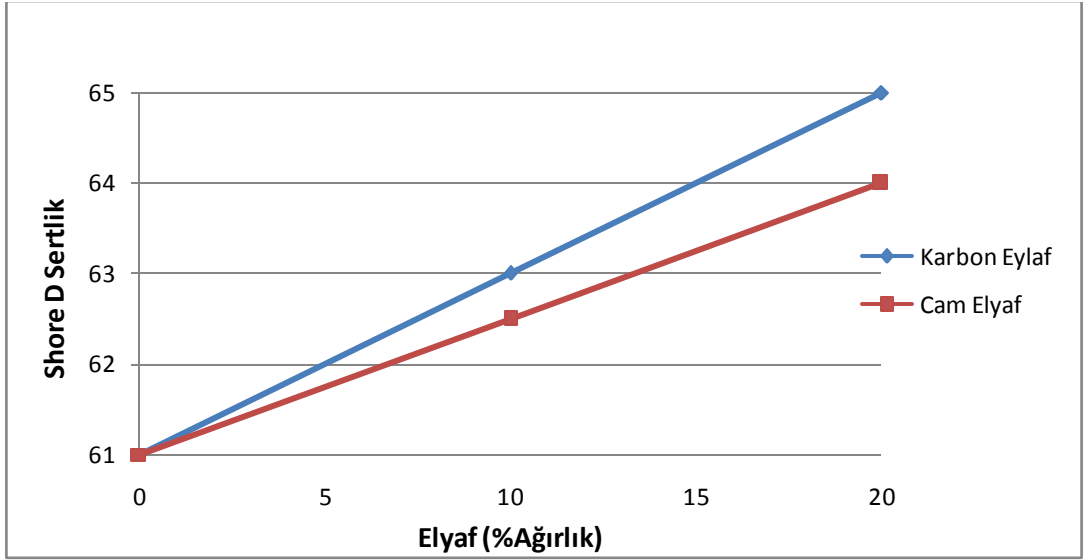
Darbe dayanımı, cam elyaf takviyeli kompozitlerde eklenen ağırlıkça cam elyaf miktarına bağlı olarak doğrusal bir şekilde artış gösterdi. Karbon elyaf takviyeli kompozitler ile karşılaştırıldığında, bahsedildiği üzere karbon elyaf takviye oranı arttıkça darbe dayanımındaki artışın çoğaldığı görüldü. Bunun sonucu olarak özellikle %10 takviye oranından sonra karbon elyafın cam elyafa olan üstünlüğü açığa çıktı.

5.3. Sertlik

YYPE-Karbon elyaf ile YYPE- Karbon elyaf ve cam elyaf takviyeli kompozitlerin sertlik değerleri sırasıyla Şekil 5.7 ve Şekil 5.8' de verilmiştir.



Şekil 5.7 YYPE-karbon elyaf kompozitlerinin Shore D sertliği değerleri

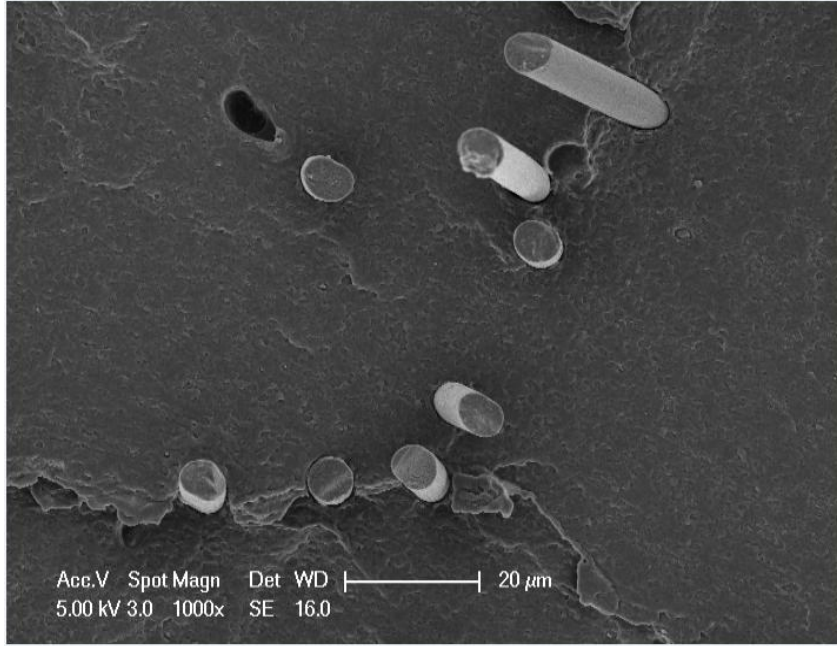


Şekil 5.8 YYPE-karbon elyaf ve cam elyaf kompozitlerinin Shore D sertliği değerleri

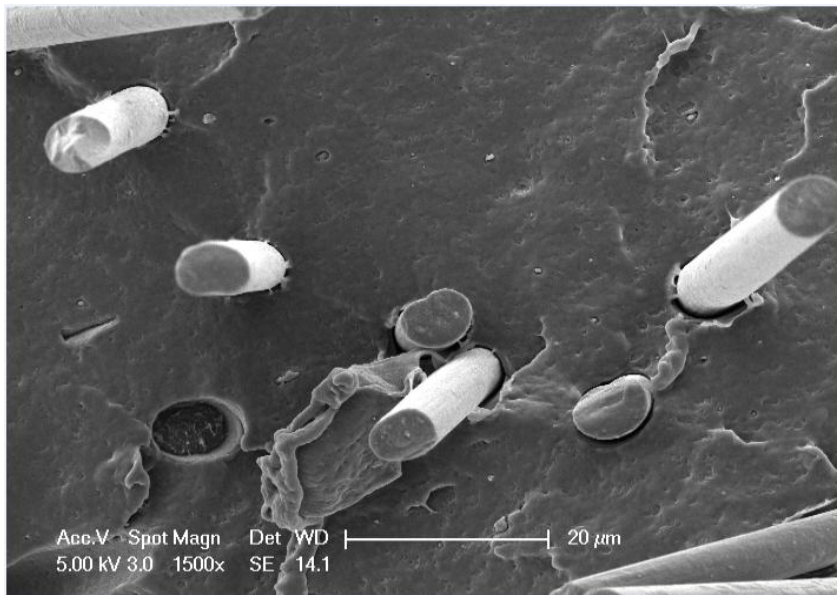
Kompozitlerin elastiklik modülünü arttıran elyaf takviyesinin aynı şekilde sertlik değerlerini de arttırması beklenir. Sertlik deneyi sonuçlarına bakıldığında, artan karbon elyaf takviyesiyle kompozitlerin Shore D sertlik değerleri beklenen şekilde paralel bir artış gözlemlendi. Ayrıca cam elyaf takviyeli kompozitlerle kıyaslandığında ise karbon elyaf takviyeli kompozitlerin sertlik değerinin daha çok arttığı görüldü.

5.4. SEM

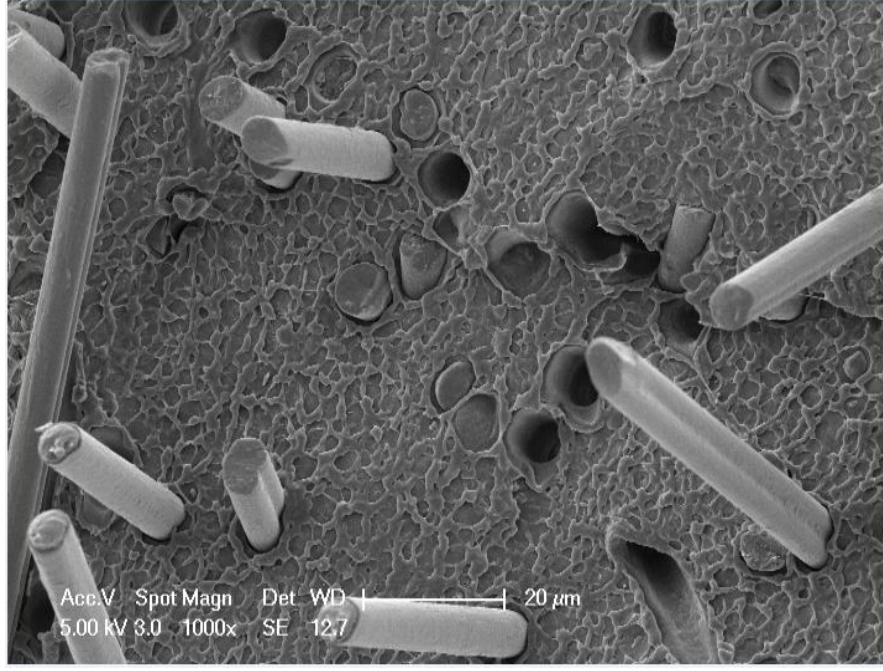
Ağırlıkça %5, %10, %15 ve %20 karbon elyaf takviyeli yüksek yoğunluklu polietilen kompozitlerinin SEM görüntüleri sırasıyla Şekil 5.9, Şekil 5.10, Şekil 5.11 ve Şekil 5.12’ de verilmiştir.



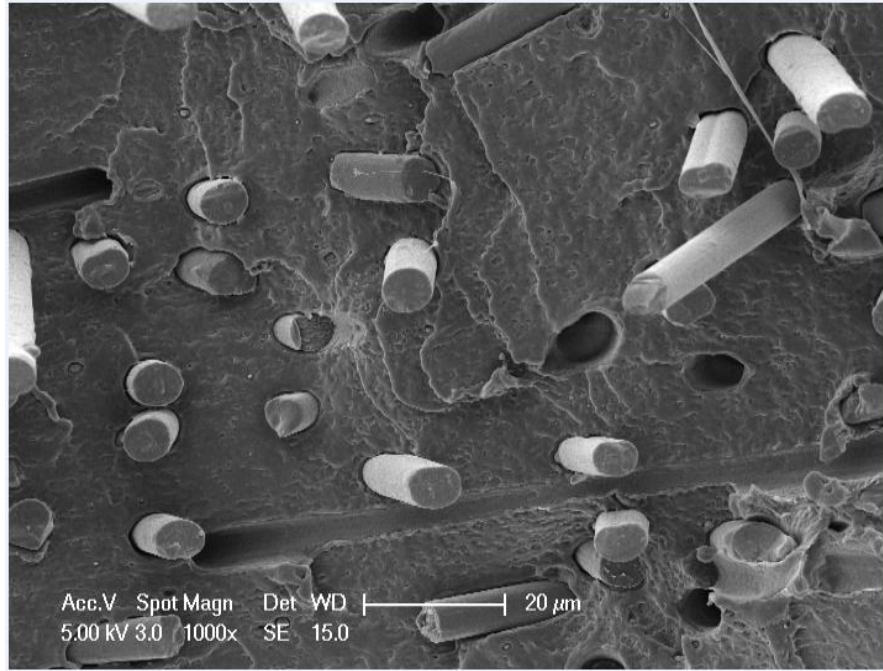
Şekil 5.9 % 5 Karbon elyaf takviyeli YYPE kompozitinin SEM görüntüleri



Şekil 5.10 % 10 Karbon elyaf takviyeli YYPE kompozitinin SEM görüntüleri



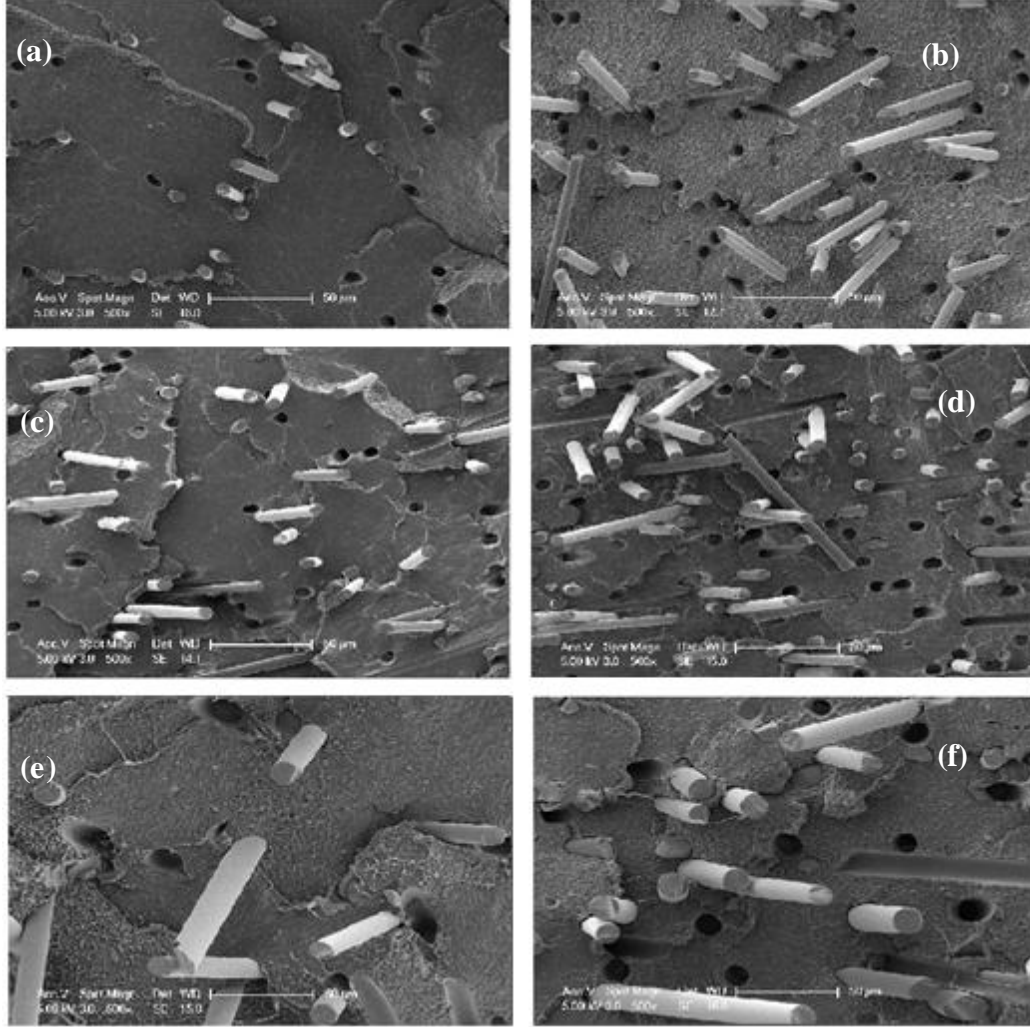
Şekil 5.11 % 15 Karbon elyaf takviyeli YYPE kompozitinin SEM görüntüleri



Şekil 5.12 % 20 Karbon elyaf takviyeli YYPE kompozitinin SEM görüntüleri

Karbon elyaf takviyeli YYPE kompozitlerinin SEM görüntüleri incelendiğinde darbe testi sonucu kopmadan önce elyafların matristen ayrıldığı gözlemlendi. Bunun nedeni, karbon elyaf ile YYPE matrisin fazlar arası uyumluluğunun iyi olmamasıdır.

Karbon elyaf ve cam elyaf takviyeli yüksek yoğunluklu polietilen kompozitlerinin farklı takviye oranlarındaki $\times 500$ büyütme SEM görüntüleri Şekil 5.13' de verilmiştir.



Şekil 5.13 YYPE-Karbon elyaf ve cam elyaf kompozitlerinin farklı oranlardaki SEM görüntüleri (a) %5 karbon elyaf ($\times 500$), (b) %15 karbon elyaf ($\times 500$), (c) %10 karbon elyaf ($\times 500$), (d) % 20 karbon elyaf ($\times 500$), (e) %10 cam elyaf ($\times 500$), (f) % 20 cam elyaf ($\times 500$)

YYPE-Karbon elyaf ve cam elyaf takviyeli kompozitlerin SEM görüntüleri birlikte incelendiğinde ise cam elyaf takviyeli olan kompozitlerde elyaf-matris uyumluluğunun karbon elyaf takviyelilere göre daha iyi olduğu görüldü. Farklı takviye oranlarındaki tüm kompozitlerin elyafların matris içerisine dağılımının homojen olduğu görüldü.

5.5. DSC

Karbon elyaf ve cam elyaf takviyeli YYPE kompozitlerinin DSC sonuçları Çizelge 5.3' de verilmiştir.

Çizelge 5.3 Karbon elyaf ve cam elyaf takviyeli YYPE nin DSC analizi sonuçları

Ağırlıkça % Elyaf		T _m (°C)	ΔH _f (J)	Δx (%)
Saf YYPE		134,0	34,0	-
Karbon Elyaf	5	133,5	32,4	-4,70
	10	130,1	33,8	-0,59
	15	130,9	14,9	-56,20
	20	132,0	27,0	-20,50
Cam Elyaf	10	130,4	26,4	-22,35
	20	132,2	28,6	-15,90

Yüksek yoğunluklu polietilen-karbon elyaf kompozitlerinin DSC analizleri sonucu T_m ve erime entalpi değerleri tayin edildi. Bunun sonucuna göre kompozitlerin kristalizasyon derecelerindeki bağıl derişim değerleri (Δx, %) aşağıdaki denklik kullanılarak hesaplandı.

$$\Delta X_i(\%) = \frac{\Delta H_{f,i} - \Delta H_0}{\Delta H_0} \times 100 \quad (5.1)$$

Bu formülde ΔH_{f,i} üretilen yüksek yoğunluklu polietilen kompozitlerinin erime entalpilerini, ΔH₀ ise saf yüksek yoğunluklu polietilenin erime entalpisini ifade etmektedir.

Kompozitlerde elyaf ile matris uyumlu ise elyaf ve matris arasındaki yapışmanın iyi olması yapıdaki kovalent bağların sayısının artmasını sağlar. Artan kovalent bağ sayısı ile kompozitlerin kristalinitesi artar bu da T_m değerinin artmasına neden olur [14].

Karbon elyaf ve cam elyaf ile hazırlanan yüksek yoğunluklu polietilen kompozitlerinin DSC sonuçları incelendiğinde elyaf yükleme miktarıyla kompozitlerin T_m değerlerinde herhangi bir değişiklik olmadığı görüldü. Bu durum karbon ve cam elyaf ile yüksek yoğunluklu polietilen arasında herhangi bir kovalent bağın oluşmadığını gösterdi.

Kompozitlerin erime entalpileri ve kristalizasyon derecelerindeki bağlı değişim değerleri ise elyaf takviye oranına paralel bir şekilde olmasa da azaldığı saptandı.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

DSC sonuçları incelendiğinde;

YYPE-Karbon Elyaf kompozitleri

- Ağırlıkça farklı oranlarda karbon elyaf takviyesinin T_m değerini önemli ölçüde etkilemediği
- Karbon elyaf takviyesiyle birlikte kristalizasyon derecelerindeki bağıl değişimin takviye oranıyla orantılı olmasa da azaldığı görüldü.

Cam elyaf takviyesiyle kıyaslayacak olursak;

- T_m değerinin aynı şekilde karbon elyaf takviyesinde olduğu gibi cam elyaf takviyesinde de önemli ölçüde etkilemediğini yani T_m değerini cam veya karbon elyaf takviyesinin önemli ölçüde etkisinin bulunmadığı görüldü.

Çekme testi sonuçları incelendiğinde;

YYPE-Karbon Elyaf kompozitleri

- Ağırlıkça farklı oranlarda karbon elyaf takviyesinin çekme modülü üzerinde önemli ölçüde etki ettiği ve takviye oranına paralel bir şekilde artış gösterdiği
- Aynı şekilde kopmada uzama değerleri üzerine de önemli ölçüde etki ettiği yalnız takviye oranına paralel şekilde azalış gösterdiği
- Çekme dayanıma etkisinin ise önemli ölçüde olmadığı bulundu. Hatta artan karbon elyaf takviyesiyle orantılı olmasa da azaldığı görüldü.

Cam elyaf takviyesiyle kıyaslayacak olursak;

- Ağırlıkça farklı oranlarda cam elyaf takviyesi değerlendirildiğinde, çekme modülünün karbon elyaf takviyesinde olduğu gibi arttığı, kopmada uzama değerlerinin ise azaldığı görüldü.
- Cam elyaf takviyesi aynı oranlarda ki karbon elyaf takviyesiyle kıyaslandığında karbon elyafın daha fazla etkide bulunduğu tespit edildi.
- Kompozitlerin çekme dayanımı değerleri cam elyaftan çok fazla etkilenmemiştir.

Darbe testi sonuçları incelendiğinde;

YYPE-Karbon Elyaf kompozitleri

- Ağırlıkça farklı oranlarda karbon elyaf takviyesinin darbe dayanımını arttırdığı,
- Karbon elyaf takviye oranlarının artışıyla birlikte darbe dayanımın daha yüksek oranlarda arttığı gözlemlendi.
- Cam elyaf takviyesinin de karbon elyaf takviyesinin etkilerini gösterdiğini ancak aynı yüzdelere bakacak olursak karbon elyafın cam elyaftan daha fazla darbe dayanımını arttırdığı bulundu.

Sertlik testi sonuçları incelendiğinde;

- Ağırlıkça farklı oranlarda karbon elyaf takviyesi doğrultusunda sertlik değerleri paralel bir şekilde artış gösterdiği görüldü.
- Aynı oranlarda hazırlanan kompozitlerde karbon elyaf takviyesinin cam elyaftan daha fazla sertlik değerini arttırdığı bulundu.

SEM sonuçları incelendiğinde;

- Karbon elyaf ve cam elyaf takviyeli yüksek yoğunluklu polietilen kompozitlerinin SEM görüntüleri karbon ve cam elyaf birlikte incelendiğinde elyaf ve matris arasında yapışmanın çok iyi olmadığı ve kırılma anında elyafların matristen ayrıldığı gözlemlendi.

KAYNAKLAR

- [1] **Arıcasoy, O.**, 2006: Kompozit Sektör Raporu, İstanbul Ticaret Odası, Aralık 2006, İstanbul.
- [2] **Demirel, A.** 2007: Karbon elyaf takviyeli epoksi kompozit malzemelerin karakterizasyonu, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- [3] **Karsli, N. G., Aytac, A.**, 2013: Tensile and thermomechanical properties of short carbon fiber reinforced polyamide 6 composites, *Composites: Part B*, 51, 270–275.
- [4] **AlMaadeed, M.A., Ouederni, M., Khanam, P. N.**, 2012: Effect of chain structure on the properties of Glass fibre/polyethylene composites, *Materials and Design*, 47, 725–730.
- [5] **Karsli, N. G., Aytac, A.**, 2011: Effects of maleated polypropylene on the morphology, thermal and mechanical properties of short carbon fiber reinforced polypropylene composites, *Materials and Design*, 32, 4069–4073.
- [6] **Fu, S.-Y., Lauke, B., Mäder, E., Yue, C.-Y., Hu, X.**, 2000: Tensile properties of short-glass-fiber- and short-carbon-fiber-reinforced polypropylene composites, *Composites: Part A*, 31, 1117–1125.
- [7] **Pişkin, E.**, 1987: Polimer teknolojisine giriş, İnkılap Kitabevi, 199, İstanbul.
- [8] **Saçak, M.**, 2005: Polimer teknolojisi, Gazi Kitabevi, 431, Ankara.
- [9] **Şen, S.**, 2011: Polimerlerin ısıl ve mekanik özellikleri ders notu, Yalova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yalova.
- [10] **Saçak, M.**, 1998: Polimer kimyasına giriş, A.Ü.F.F. Döner Sermaye İşletmesi Yayınları No:50, Ankara.
- [11] **Baysal, B.**, 1981: Polimer kimyası cilt-I polimerizasyon reaksiyonları, Orta Doğu Teknik Üniversitesi.
- [12] **Odian, G.**, 2004: Principles of polymerization, 4th edition, Willey-Interscience, New York.

- [13] **Devlet Planlama Teşkilatı Müsteşarlığı**, 2005: Kimya Sanayii Özel İhtisas Komisyonu Petrokimya Çalışma Gurubu Raporu, Dokuzuncu Kalkınma Planı, 2007-2013.
- [14] **Karlı-Yılmaz, G.**, 2011: Karbon Elyaf Takviyeli Termoplastik Karmaların Üretimi ve Özelliklerinin İncelenmesi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli.
- [15] **Mazumdar, S. K.**, 2001: Composites Manufacturing: Materials, Product and Process Engineering, CRC Press.
- [16] **Dekker, M., Kumar, A., Gupta, R.**, 2003: Fundamentals of Polymer Engineering, 693, USA.
- [17] **Chung, D. D. L.**, 1994: Carbon Fiber Composites, Butterworth-Heinemann, 215, USA.
- [18] **Peters, S. T.**, 1998: Handbook of Composites 2nd Edition, Chapman & Hall, 1118.
- [19] **Kaw, A. K.**, 2010: Mechanics of Composite Materials, Second Edition, Taylor & Francis, 496, USA.
- [20] **Marşoğlu, M.**, 1986: Plastik Malzemeler, Arpaz Matbaacılık Tesisleri, İstanbul.
- [21] **Biron, M.**, 2007: Thermoplastics and Thermoplastic Composites: Technical Information for Plastics Users, Elsevier, 944, U.K.
- [22] **Şahin, Y.**, 2006: Kompozit malzemelere giriş, Seçkin Yayıncılık San. ve Tic. A.Ş., 424, Ankara.
- [23] **Budinski, K. G., Budinski M. K.**, 2010: Engineering Materials: Properties and Selection, Prentice Hall PTR, 774.
- [24] **Chang, K. K.**, 2001: Aramid Fibers, ASM Handbook – Volume 21: Composites, ASM International, Material Park, Ohio.
- [25] **Schwartz, M. M.**, 1994: Composite Materials Handbook, McGraw-Hill Companies, 651, USA.
- [26] **Kickelbick, G.**, 2006: Hybrid Materials: Synthesis Characterization and Applications, Willey-VCH, 516, Weinheim.
- [27] **Meriç, A., Akcan, A., Arcan, G., Çayır, F.**, 2011: Plastikler, Enjeksiyonlar ve Ekstruderler Kovan-Vida Sistemlerinin Bakım ve Montaj Yönergeleri, Enformak Plastik Teknolojileri Sanayi Ticaret A. Ş., 153.
- [28] **Altınyuva, T.**, 2012: Polimerlerin Şekillendirilmesi ders notu, Yalova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yalova

- [29] www.gulnarmakina.com.tr/sayfalar.aspx?s=4&id=24, alındığı tarih:21/04/2013
- [30] www.alfaplastik.com.tr/index.html#!page-services, alındığı tarih:21/05/2013
- [31] www.instron.com.tr/wa|product/CEAST-9050-Series-Pendulums.aspx, alındığı tarih:21/05/2013

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Hayrettin Çelikçi

Doğum Yeri ve Tarihi: Bakırköy / 24.08.1989

E-Posta: hayrettin114@hotmail.com

Lisans: Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümü