

YALOVA ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**FONKSİYONLANMIŞ VE SİLİLANLANMIŞ KARBON ELYAF TAKVİYELİ
POLİAMİD KOMPOZİTLERİN İSİL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Kadir ÇATAK

Polimer Mühendisliği Anabilim Dalı

Polimer Mühendisliği Programı

EKİM 2016

YALOVA ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**FONKSİYONLANMIŞ VE SİLİMLANMIŞ KARBON ELYAF TAKVİYELİ
POLİAMİD KOMPOZİTLERİN İSİL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Kadir ÇATAK
(105101001)**

Polimer Mühendisliği Anabilim Dalı

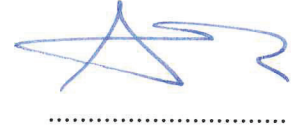
Polimer Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Hüseyin YILDIRIM

EKİM 2016

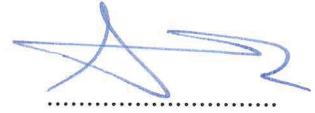
YALOVA Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 10511001 numaralı Yüksek Lisans / Doktora Öğrencisi **Kadir ÇATAK**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "**FONKSİYONLANMIŞ VE SİLİMLANMIŞ KARBON ELYAF TAKVİYELİ POLİAMİD KOMPOZİTLERİN İSİL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**" başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Hüseyin YILDIRIM**
Yalova Üniversitesi



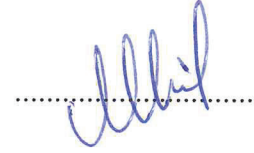
.....

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Hüseyin YILDIRIM**
Yalova Üniversitesi



.....

Yrd. Doç. Dr. M. Arif KAYA
Marmara Üniversitesi



.....

Yrd. Doç. Dr. İlyas KARTAL
Marmara Üniversitesi



.....

Teslim Tarihi : 28 Ağustos 2016
Savunma Tarihi : 10 Ekim 2016



Eşime ve aileme,



ÖNSÖZ

Başta bu çalışmada emeği geçen, bana yön gösteren ve engin bilgisini bizden esirgemeyen danışman hocam Prof. Dr. Hüseyin YILDIRIM'a,

Numunelerin yapım aşamasında bize Marmara Üniversitesi laboratuvarında çalışma imkanı sağlayan ve desteklerini esirgemeyen Prof. Dr. Mustafa ÖKSÜZ'e,

Gerek literatür araştırması konusunda gerekse tez yazım aşamasında bize yol gösteren, hiçbir sorumuzu cevapsız bırakmayan Doç. Dr. M. Atilla TAŞDELEN'e,

Kompozitlerin üretim aşamasında gerekli yardım ve desteği sağlayan Yrd. Doç. Dr. Mehmet Arif KAYA'a,

Dersler ve polimerler ile ilgili diğer konularda bilgilerini esirgemeyen tüm Polimer Mühendisliği bölümü hocalarıma,

Yüksek lisans eğitimimde desteklerinde dolayı FOMPAK Ar-Ge Merkezi yönetimine,

Her zaman yanımda olan ve hiçbir zaman desteklerini esirgemeyen canım aileme,
Bir süre önce hayatımı birleştirdiğim ve sonsuza kadar benim yanımda olmasını istediği eşim Çiğdem ÇATAK'a,

Desteklerinden dolayı

SONSUZ TEŞEKKÜRLER....

Eylül 2016

Kadir ÇATAK
(Kimya Mühendisi)



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	xv
SUMMARY	xvii
1. GİRİŞ	1
1.1 Kompozit Malzemeler	1
1.2 Kompozit Malzemenin Yapısı	2
Kompozitlerde kullanılan yaygın elyaf türleri;.....	3
1.3 Polimerler	4
Termoset ve Termoplastiklerin Karşılaştırılması.....	8
1.4 Poliamidler, PA (Naylonlar)	8
2. TERMOPLASTİK KOMPOZİT ÜRETİMİ.....	12
2.1 Cam Elyaf.....	12
2.2 Karbon Elyaf	14
2.2.1 Karbon Elyafın Modifikasyonu	19
2.3 Ekstruder	21
2.4 Enjeksiyonla Kalıplama	24
2.5 Kompozit Malzemelerin Karakterizasyon Yöntemleri	25
2.5.1 Diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC).....	25
2.5.2 Taramalı elektron mikroskopu (SEM)	26
2.5.3 Çekme testi.....	27
2.5.4 Darbe Testi.....	28
2.5.5 Sertlik Testi	29
3. LİTERATUR ÖZETİ	30
3.1 Karbon Elyaflı Kompozitler.....	30
3.1.1 Konuyla İlgili Bazı Çalışmalar	33
4. DENEYSEL YÖNTEM	35
4.1 Malzemeler.....	35
4.1.1 Cam elyaf	35
4.1.2 Karbon Elyaf	35
4.1.3 Poliamit 6	37
4.2 Kullanılan Cihazlar	37
4.2.1 Ekstruder	37
4.2.2 Enjeksiyon.....	38
4.2.3 Çekme – Kopma Test Cihazı	39
4.2.4 DSC Test Cihazı.....	40
4.2.1 Darbe Test Cihazı.....	41
4.2.2 Sertlik Test Cihazı.....	42
5. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	43

5.1 Çekme Testleri.....	43
5.2 Darbe Testleri	49
5.3 Sertlik Testleri	49
5.4 DSC Testleri	49
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	55
KAYNAKLAR.....	57
ÖZGEÇMİŞ.....	61



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Karbon elyaf çeşitlerinin karbonizasyon sıcaklıkları ve modül değerleri	18
Çizelge 2.2 : Yüzey oksidasyonu ve kaplama işleminin karbon elyafın özellikleri...	21
Çizelge 4.1 : Kullanılan cam elyaf özellikleri.....	35
Çizelge 4.2 : DowAksa Karbon Elyaf Özellikleri.....	36
Çizelge 4.3 : Feddersen Karbon Elyaf Özellikleri.....	36
Çizelge 4.4 : Kullanılan Pa 6 özellikleri.....	37
Çizelge 5.1 : Çekme Testi Sonuçları (%20 Karbon Elyaf).....	44
Çizelge 5.2 : Çekme Testi Sonuçları (%15 Karbon Elyaf).....	44
Çizelge 5.3 : Çekme Testi Sonuçları (%10 Karbon Elyaf).....	45
Çizelge 5.4 : Çekme Testi Sonuçları (%5 Karbon Elyaf).....	45
Çizelge 5.5 : Çekme Testi Sonuçları (%10 Cam Elyaf).....	46
Çizelge 5.6 : Çekme Testi Sonuçları	47
Çizelge 5.7 : Doğrulama çalışması test sonuçları.....	48



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Polimer Zinciri	4
Şekil 1.2 : Polimer oluşumu	5
Şekil 1.3 : Polimer Zincir Yapıları	6
Şekil 1.4 : PA 6 oluşum reaksiyonu	9
Şekil 1.5 : PA 6 oluşum reaksiyonu	9
Şekil 1.6 : PA 6 oluşum reaksiyonu	9
Şekil 1.7 : PA 6 oluşum reaksiyonu	10
Şekil 1.8 : PA 6 oluşum reaksiyonu	11
Şekil 1.9 : PA 6 üretim Şeması	11
Şekil 2.1 : Cam Elyaf Üretimi	13
Şekil 2.2 : Grafit karbonlarının paralel kristalografik düzlemlerdeki yapısı	15
Şekil 2.3 : a) Karbon elyafı, b) Karbon elyaf dokuması, c) Karbon elyaf/polimer önkarışımı, d) Karbon elyaf dış aksamı araç	16
Şekil 2.4 : İnsan saçı (açık renk) ve karbon elyafının (koyu renk) elektron mikroskop görüntüsü	16
Şekil 2.5 : PAN temelli ve zift temelli KE üretim şeması	16
Şekil 2.6 : Ekstruder kesiti	22
Şekil 2.7 : Tek vida	22
Şekil 2.8 : Çift vida	23
Şekil 2.9 : Ters yönde dönen vidalar (a) tamamen iç içe geçmiş vidalar (b) kısmen iç içe geçmiş vidalar (c) tamamen ayrı vidalar	24
Şekil 2.10 : Konik çift vidalı ekstruder	24
Şekil 2.11 : Enjeksiyon kalıplama	25
Şekil 2.12 : DSC Şematik Gösterim	26
Şekil 2.13 : DSC	26
Şekil 2.14 : SEM Çalışma Şekli	27
Şekil 2.15 : Çekme Test Cihazı	28
Şekil 2.16 : Darbe Test Cihazı	29
Şekil 2.17 : Shore Sertlik Test Cihazı	29
Şekil 4.1 : Karbon Elyaf	36
Şekil 4.2 : İlk çalışmada kullanılan ekstruderler	38
Şekil 4.3 : İkinci çalışmada kullanılan ekstruderler	38
Şekil 4.4 : Enjeksiyon cihazı	39
Şekil 4.5 : Yalova Üniversitesi çekme test cihazı	39
Şekil 4.6 : Fompak çekme test cihazı	40
Şekil 4.7 : Yalova Üniversitesi DSC test cihazı	40
Şekil 4.8 : Fompak DSC test cihazı	41
Şekil 4.9 : Darbe test cihazı	41
Şekil 4.10 : Sertlik test cihazı	42
Şekil 5.1 : Çekme testi %20 Karbon Elyaf	44

Şekil 5.2 : Çekme testi %15 Karbon Elyaf	44
Şekil 5.3 : Çekme testi %10 Karbon Elyaf	45
Şekil 5.4 : Çekme testi %5 Karbon Elyaf	45
Şekil 5.5 : Çekme testi %10 Cam Elyaf	46
Şekil 5.6 : Çekme testi PA 6	47
Şekil 5.7 : %10 Karbon Elyaf İçeren PA	47
Şekil 5.8 : %15 Karbon Elyaf İçeren PA	48
Şekil 5.9 : %20 Karbon Elyaf İçeren PA	49
Şekil 5.10 : Karbon Elyaf Sonuçları	50
Şekil 5.11 : PA 6 ve PA6 / Cam elyaf DSC sonuçları	51
Şekil 5.12 : %20 Karbon Elyaf İçeren PA	52
Şekil 5.13 : %10 Karbon Elyaf İçeren PA	52



FONKSİYONLANMIŞ VE SİLANLANMIŞ KARBON ELYAF - POLİAMİT 6 KOMPOZİTLERİNİN ISIL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

ÖZET

Kompozitler, farklı maddelerin istenilen özelliklere yönelik, belli bir düzende bir araya getirilmesi ile hazırlanan malzemelerdir. Kompozit malzemelerin hazırlanmasındaki temel amaç, değişik maddelerin iyi özelliklerini bir malzemede toplamaktır.

Polimer kompozitlerde, polimerin organik, takviyenin ise inorganik olmasından dolayı çıkan uyum problemi, takviyenin çeşitli işlemlerden geçirilmesi ile aşılabilmektedir. Poliamit 6 (PA 6) - karbon elyaf kompozitlerinde, yüksek mekanik dayanıma sahip karbon elyafın bu özelliğinin hazırlanan kompozite aktarılması için karbon elyaf (KE) yüzeyinin PA 6 ile uyum sağlaması gerekmektedir. Bu nedenle KE yüzeyine fonksiyonlama ve silanlama işlemleri uygulanarak PA 6 ile KE yüzeyinde oluşan fonksiyonların kimyasal bağ yapması sağlanır. Böylelikle PA 6 ile KE arasında güçlü bir uyum sağlanarak KE özelliklerinin kompozite geçmesi sağlanabilir. Yüzeyi silanlanmış ve PA uyumlu fonksiyonlanmış KE ile farklı oranlarda hazırlanan kompozitlerin ısı ve mekanik özellikleri incelenmiş elde edilen sonuçlar cam elyaf (CE) ile hazırlanan kompozit ile karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: karbon elyaf, kompozitler, poliamit 6



THERMAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF COMPOSITES PREPARED BY POLYAMIDE-6 REINFORCED WITH SILANIZED AND FUNCTIONALIZED CARBON FIBER

SUMMARY

A composite material is made by combining two or more materials – often ones that have very different properties. The two materials work together to give the composite unique properties.

In this thesis, investigation of thermal and mechanical properties of carbon fiber-reinforced polyamide 6 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 performed 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. In addition, comparatively, polymeric matrix was also reinforced by handling with two by weight different percentages of fiberglass. 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 remarkable 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: carbon fiber, composite, polyamide 6



1. GİRİŞ

Hammadde sektörü, ihtisatta tüm faaliyetlere girdi sağlayan ana, yayılğan (jenerik) sektörlerden biridir. Bu özelliği ile mikro-elektronik, biyo teknoloji ve nano teknoloji ile beraber sanayi üretimin karakterini değiştirecek ana teknolojik sektörlerden biri olarak kabul görmektedir. Savunma, uçak, mikro-elektronik, iletişim ve otomotiv sektörlerinde kullanılacak gelişmiş kompozitlerin ortaya çıkışı, malzeme biliminin bu ihtiyaçlarını giderebilecek çok disiplinli, süreç ağırlıklı bir alana dönüşmesiyle birlikte gelişmektedir.[1]

Bu konuda polimerik ve kompozit malzemeler, akıllı ve geliştirilmiş malzemeler, optoelektronik malzemeler gibi gelecek senelerde önemli cazibe alanları oluşturacak ileri malzeme sektörleri, ülkemizde de dikkatle takip edilmesi gereken fırsat alanlarıdır. Birbiri içinde karışmayan iki veya daha çok katının birleşimiyle oluşan katı malzemelere "kompozit malzeme" denir. Tabiattaki maddelerin çoğu "kompozit" olarak adlandırılan bileşik yapılı maddelerden oluşur. Bu bileşimin özelliği, kendini oluşturan hammaddelerin niceliklerinden çok daha üstündür. En önemli örnek, artık günümüzde oldukça yaygınlaşmaya başlayan ve "fiberglas" olarak bilinen polyester içerikli polimerik reçinelerin cam elyaf ile takviyesiyle üretilen malzemelerdir. Fakat bugün ileri kompozitler grubunda daha üstün mekanik, kimyasal ve ısıl özelliklere sahip elyaflar kullanılmaktadır. Bu malzemeler yüksek tokluk (çekme ve basma dayanımı), yüksek elastisite modülü ve yüksek dayanıma sahiptirler.[1]

1.1 Kompozit Malzemeler

Sentetik polimerlerin 1900'lerin başında geliştirilmesinin ardından, 1930'ların sonunda polimerik malzemelerin nicelikleri diğer malzeme çeşitleri ile yarışır düzeyde gelişmeye başlamıştır. Kolay şekil verilebilir olması, metallere göre yoğunluğunun düşük olması, muazzam yüzey kalitesi ve korozyona karşı direnci polimerlerin kullanımının artmasında en önemli özelliklerdir. Birçok gelişmiş nicelikte sertlik ve tokluk özelliklerin istenilenden düşük olması polimerik malzemelerin güçlendirilmesi için bazı çalışmaların yapılmasını gerektirmiştir. Bu konudaki açığın

giderilmesi amacıyla 1950'lilerde polimer esaslı kompozit geliştirme çalışmaları başlamıştır.[1]

Polimer kompozitler, diğer kompozitler gibi yüksek dayanım, boyut ve ısı stabilite, sertlik, korozyona karşı dayanıklılık gibi özellikleriyle pek çok avantajlar sunarlar. Kompozitler dayanıklılık ve sertlik açısından metallerle boy ölçüşebilecek özelliklerde olmasının yanında çok da hafiftirler. Kompozitlerin üç ana elemanı bulunmaktadır. Bunlar:

a. Matriks: Termoplastik veya termoset polimer hammadde olarak devamlı fazı oluşturur. Termoset olarak oran olarak daha fazla poliyesterler kullanılır. Bununla birlikte vinil ester / bisfenol, fenolik reçine ve epoksi reçinelerin kullanımı da günden güne yaygınlaşmaktadır.[3]

Termoplastiklerin grubunda genel olarak polipropilen ve poliamid kullanımını oldukça fazladır (yaklaşık % 68), bunlarla birlikte hibrid yapıda polietilen ve PBT, PEEK ve polietersulfon gibi polimerlerinde kullanımı da dikkat çekmektedir.[3]

b. Takviye: karbon, aramid, boron, grafit, silisyum karbür (SiC), alüminyum, cam ve polietilen hammadeler kısa veya uzun süreli elyaf biçiminde kullanıldığı ve matriksi hemen hemen % 60 hacim oranında birleştirici işlevi olan malzemelerdir.[3]

c. Katkılar: Dolgu maddeleri, kimyasal güçlendiriciler ve diğer katkıları matrikse özelliklerine göre özelliklerin geliştirilmesi amacıyla eklenebilirler. Bu alandaki kompozit malzemeler havacılık, uzay, savunma, inşaat, tüketim mallarında, korozyona dayanımlı uygulamalarda, denizcilik, elektrik-elektronik, kara taşımacılığında ve özel amaçlı malzeme uygulamalarda kullanılmaktadır. Özellikle taşımacılık sektöründe giderek artan ve % 6'ya varan bir uygulama artış hızı görülmektedir.[3]

1.2 Kompozit Malzemenin Yapısı

Elyaf içerikli kompozit malzemelerin mikro yapısı, yaygın olarak elyaf, bağlayıcı matris ve ara fazdan oluşur. Kompozit malzemeyi oluşturan bileşenlerin arasındaki ara yüzeyleri kapsadığı düşünülen ara bölge, literatürde "ara yüzey" olarak tanımlanmaktadır. Buradan ara yüzey (veya ara bölge), bağlayıcı ve takviye hammadde arasındaki bağı oluşturan, önemsenecek oranda bir değişime uğramış kimyasal bileşim olarak adlandırılabilir. Ara yüzeydeki mikro yapı özellik münasebeti,

başarılı bir dizayn ve kompozit malzemenin uygunluğu için önemli bir anahtardır. Ara yüzey nitelikleri, iki bileşenin morfolojik yapısı ve fiziksel - termodinamik etkileşimine bağlıdır ve bu tür kompozitin genel performansını etkilerler. Kompozit mekanik niceliklerinin artırılması amacıyla ara yüzeyin yeterince kontrolü, her bir lif/matris sistemine özgü olan adezyon mekanizmasının anlaşılmasını ve ara yüzeyin fizikokimyasal niceliklerini gerektirir. Yapışma, mekanik uyum, çekim kuvveti ve ıslanma, elektrostatik çekimler, kimyasal bağlar, reaksiyon bağı ve değişim reaksiyonu bağı gibi mekanizmalarla değişir. Bu ana mekanizmalar ile birlikte, van der Waals kuvvetleri hidrojen bağı ve düşük enerji kuvvetleri de göz önüne alınabilir.[11]

Lif - matris arasındaki adezyonu öngörmek ve incelemek amacıyla geliştirilen yarı empirik yaklaşımları araştırılmıştır. Burada ara yüzey birleşme dayanımının kontrolü iki ana değişkenle mümkün olabilir: Bağlayıcının kimyasal formülü ve yapışma yüzeyinin kimyası ve morfolojisi. Örnek olarak, bağlayıcı sadece Lifshitz-van der Waals moleküller arası etkileşimlere uygun olabileceği gibi, asidik-bazik veya asit-baz çift fonksiyonlu olabilir ya da birleşme yüzeyi ile kovalent etkileşim yapabilir. Katkı maddeleri kullanılarak birleştiricinin yüzey gerilimi düşürülebilir ya da akışkanlığı değiştirilebilir. Birçok bağlayıcı polimeriktir ve molekül kütlesi ile yapısı (dallanmış linear, vs) önemli olabilir. Termoset birleştiriciler (poliüretan, epoksi, bismal imid gibi) iç çapraz bağ oluşturarak yapışma dayanımı arttırabilir, ayrıca yapışma yüzeyi ile kovalent bağlar oluşturabilirler. Yapışma yüzeyinin yapısı pürüzlülük oluşturarak (asitle fonksiyonlama, anodizasyon, kumlama, kimyası ise korona ve plazma işlemleri ile farklı son işlemler, dönüştürme kaplamaları ve primerler ya da uyumlatıcı ajanlar ile yüzeye fiziksel adsorpsiyon, kaplama veya kovalent bağlanma yoluyla değiştirilebilir.[11]

Kompozitlerde kullanılan yaygın elyaf türleri;

- Cam elyafı (Fiber Glass)
- Karbon elyaf, (PAN ve zift kökenli)
- Aramid elyafı, (Kevlar-DuPont)
- Boron elyafı
- Oksit elyaflar
- Yüksek molekül ağırlıklı polietilen elyafları

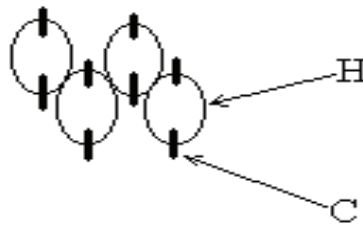
- Naylon elyafı
- Polyester elyafları
- Organik elyaflar.[6]

1.3 Polimerler

Metaller ve seramiklerle birlikte yapılarda kullanılan **büyük molekül ağırlıklı** malzemelerdir. Kimyasal bileşenleri bakımından polimerler ailesine dahildir. Polimerler aynı kimyasal yapılarının çok yüksek sayıda tekrarından oluşan büyük moleküllerdir. Burada monomerlerin birbirleriyle birleşmesi sonucunda elde edilen büyük moleküllerin içeriğindeki mer sayısına bağlı olarak gaz, sıvı ya da katı halde bulunabilirler. Plastik bir sıfat olmasına karşın bu malzeme türünü belirtir. Kuvvet altında şekil değiştirebilen madde olarak tanımlanmaktadır. Örnek olarak: bakır plastik bir cisimdir fakat polimer değildir. Diğer taraftan bakalit polimerdir, kırılğan yapısından dolayı plastik malzeme sayılmaz. Endüstride plastiğin manası üretimlerinin belli aşamalarında akışkan veya kıvam almaları ve basınçla dolduruldukları kalıbın şeklini alabilen ürünlerdir. Plimer sınıfına giren malzemeler doğal ve sentetik olmak üzere iki türdür. Bazı bitkiler, hayvan ve insan derisi, yün vb.. malzemeler doğal polimerlerdir. Bunların dışında endüstride kullanılan Polimerler sentetik polimerlerdir.[14]

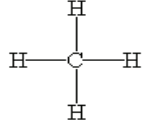
Polimer iki kelimeden oluşur. Poli, çok anlamında, mer ise birim tanecik anlamındadır. Birim molekülün birbirine eklenmesi sonucu polimer meydana gelir.[14]

Yüksek kuvvetler ile şekil değişimlerinde bozulmayan polimerlere de *elastomer* adı verilir. Sentetik polimerler ve doğal polimerler genel olarak bu gruba girer.[14]

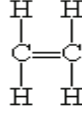


Şekil 1.1 Polimer Zinciri

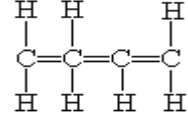
Polimerizasyon: Düşük monekül kütleli monomerlerden büyüklerini oluşturma işlemine *polimerizasyon* adı verilir. Polimeri oluşturan en bilinen bileşiklerden biri metandır.



Metan CH₄



Etilen (monomer)



Polietilen (polimer)

Şekil 1.2 Polimer oluşumu

Polimerizasyon derecesi: Zincirin ulaştığı büyüklüğü ortalama olarak tarif eder. Polimer tek tip monomer içerirse polimerizasyon derecesi zincirde bulunan moleküller veya monomerlerin ortalama sayıdır. Ticari olarak kullanılan plastiklerde bu sayı 75 ile 750 arasında değer alır.[25]

$$\text{Polimerizasyon Derecesi} = \frac{\text{Polimerin molekül ağırlığı}}{\text{Merin molekül ağırlığı}}$$

Polimerik malzemeler genel olarak çevre koşullarına ve korozyona karşı dayanıklıdır, suda çözünmezler ancak ateşe karşı dayanıksızdır. Polimerler genel olarak 80°C'nin üzerinde yumuşamaya başlarlar. Polimerlerin özgül ağırlıkları oldukça düşük olup 1-2gr/cm³ arasında değerlere sahiptir.[25]

Polimerler ısı etkisiyle davranışları yönünden endüstride *termoplastikler polimerler* (lineer polimerler) ve *termoset polimerler* (uzay ağı polimerleri) olmak üzere iki grupta toplanır. [23]

Termoplastikler genel olarak *lineer polimerler* olup sıcaklıkla yumuşarlar, düşük sıcaklıktada sertleşirler. Termoplastikler genellikle esnekler. Mekanik nicelikleri yükleme hızına, süresine ve sıcaklığa bağlı olarak değişirler. Genel olarak oda sıcaklığında sabit gerilme altında sürekli şekil değiştirirler.[12]

Termoplastikler yumuşak ve Sıcaklık arttıkça plastikleşen polimerlerdir. Sıcaklık azaldığında tekrar ilk sertliklerine dönebilirler. Polimerlerin üretim teknolojisinde

süreç olarak sıcaklık, basınç, ışınlama, katalizör ilavesi gibi metodlar kullanılır. Genellikle sıcaklık ve basınç bir arada uygulanır. Bunlar üç gruba ayrılabilir.[17]

1. Sellülozikler

- Polieter
- Poliesterler

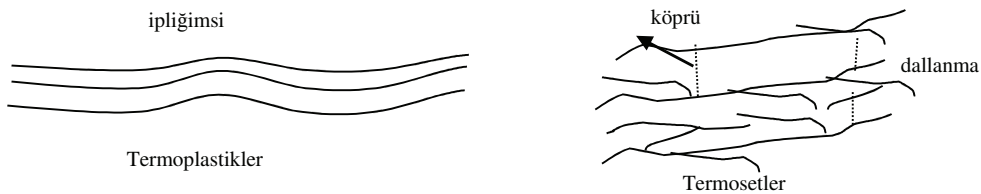
2. Polyamitler (Nylon)

3. Vinilikler

- Polialkoller
- Poliesterler
- Polivinilklorür
- Polikarbürler

Termoset plastikler ise polimerizasyon sonunda sertleşirler, bir daha yumuşama olmaz. Genel olarak lineer polimerler molekül zincirleri arasında kürleşme sonucu çapraz kovalent bağ oluşumu gerçekleşir ve *uzay ağı polimerlerine* dönüşürler. Polimerlerin bu farklı davranış şekilleri moleküllerin kimyasal yapısından kaynaklanmaktadır. Bu da molekülün büyüklüğüne(mer sayısına), moleküllerin diziliş şekline ve moleküller arası oluşan kuvvetli bağlara bağlı değişir. Termoset Polimerler kırılğan olup plastik şekil değiştirme olmadan kırılırlar. Sıcaklık arttıkça dayanım azalır. Termosetlerde moleküller dallanmış, diğer moleküller arasında çapraz bağ köprüleri oluşmuştur. Mekanik dirençleri yükselir. Dallanma işlemi makro molekülün yerine başka bir makro molekül eklenerek oluşur. Kürleşmede ise polimerlerin korozyonuna sebep olurlar.[12]

Termoplastik malzemelerde ise moleküller uzun, doğrusal yapıda, birbirleriyle bağ yapmamış moleküllerdir. Termoplastikler kolayca eğilirler, kaymaya direnç göstermezler.[12]



Şekil 1.3 Polimer Zincir Yapıları

Polimerlerin elastikiyet modülleri metallere göre oldukça düşük olup yaklaşık olarak metallerin %1'i civarındadır. Sabit kuvvet altında şekil değiştirmenin zamanla artması

durumuna *viskos* şekil değiştirme, zamana bağlı şekil ile elastik toparlanmanın birlikte olduğu duruma da *viskoelastik davranış* , bu davranışa sahip polimerlere de *viskoelastik polimerler* adı verilir. Lineer polimer malzemeler viskoelastik polimerler grubuna girer.[17]

Polimerlere organik madde denmesinin başlıca nedeni bileşimindeki temel elemanın C oluşudur. Birbiri arasında zincir şeklinde kovalent bağ oluşturan C atomu polimerlerin bel kemiğidir. Tek başına çekme mukavemeti 3100Mpa civarında olan saf C atomu yüksek dayanımlı malzemelerden biridir. C zincirlerine bağ oluşturan atomlardan en önemlisi H dır. Polimerlerde moleküler yapı, polimerizasyon derecesi, dallanma ve çapraz bağ oluşumu proses koşullarına bağlı olarak çok büyük oranda değişebilir, bu sebeple kesin değerler verilemez. Polimerlerin kütle veya reçine durumundaki dayanımı diğer malzemelere göre oldukça düşük olmakla beraber elyaf haline getirilip kompozit malzeme üretiminde kullanıldığında büyük oranda değişebilir.

Polimerler sınıfında yer alan malzemelerin bir kısmı doğal organik malzemeler, (Ahşap, mantar, bitki kökleri ve deri gibi) diğerleri ise sentetik olarak üretimi gerçekleştirilen polimerlerdir.[17]

Termoset polimerler sıcaklıkla belli bir orana kadar sertleşen daha sert ve dayanıklı polimerlerdir. Çapraz bağ ağı polimeri olan termoset polimerlerin mukavemetleri, toklukları, kullanım sıcaklık sınırları ve dış etkilere karşı dayanırlıkları yönünden termoplastiklerden daha üstündürler, ancak tekrar kullanılmazlar. Yumuşamaz ve plastikleşmezler.Sıcaklık sonucu oluşan hasar kalıcıdır.[17]

1. Fenolik reçineler
2. Amino reçineler
3. Poliesterler reçineler
4. Polieterler reçineler
5. Poliüretanlar reçineler

Polimerlerin Genel Özellikleri

1. Rahatlıkla biçimlendirilebilir, hafiftir.
2. Polimer hammadde sıcaklık ve elektriğe karşı iyi yalıtıcıdır.
3. Kesilmeye duyarlı, Akma direnci düşüktür. Çekme ve basınç dayanımı yüksektir.

4. Kimyasallara karşı dayanıklılıkları yüksektir. Asit ve bazlara iyi dayanırlar.
5. Suya dayanımları iyidir. Bazı polimerler su buharına karşı hassas olup bozulabilirler.
6. Yüksek ısılarla karşı dirençsizdirler. Melamin 80°C sıcaklıktan sonra zarar görür.
7. Öz kütleleri düşüktür. Enerji yutma özellikleri vardır.

Termoset ve Termoplastiklerin Karşılaştırılması

- Termoset polimerler sıcaklığa karşı daha dayanıklıdır.
- Termoset polimerler serttirler. Bileşenleri ayarlanarak yumuşatılabilirler.
- Termoplastiklerin uzama davranışı termoset polimerler oranla daha fazladır.
- Termoplastikler organik çözücülere karşı dayanıksızdır.
- Termoplastikler farklı üretim yöntemleri ile saydam olarak üretilirler.

1.4 Poliamidler, PA (Naylonlar)

Naylon ilk ticari kullanımları ipeksi bir doku verdiği için ünlü bir kadın çorabı (Naylon çorap 1940) markası ve oldukça dayanıklı bir termoplastik olduğundan dolayı diş fırçalarında (1938). Ticari olarak ilk üretilen sentetik lif naylon liflerdir. Birbirine amid bağları ile bağlı tekrar eden bu tür yapılara Poliamid (PA) denir. Naylon üretiminde iki farklı yaklaşım vardır. İlk olarak bir asit grubu (COOH) her iki ucunda da amin grubu (NH₂) içeren monomerlerin tepkimesi ile oluşan monomerlerin birbiri ardına devam etmesi ile meydana gelmektedir. Burada iki asit grubunun ayırdığı amin gruplarındaki karbon sayısı PA'nın temelindeki adını oluşturur.

Naylon özellikle lif halde ipek yerine kullanılmak amacı ile geliştirilen bir polimer olarak üretime başlanmıştır. Özellikle 2. Dünya savaşı sırasında yaşanan ipek kıtlığı ile paraşüt bezlerinde, asker yeleklerinde ve araç tekerlekleri gibi birçok alanda kullanılmıştır. Bunların dışında günümüzde naylon lifler çeşitli kumaş uygulamalarında, halılarda, müzik aletlerinde tel olarak ve halatlarda kullanılmaktadır. Ayrıca mekanik değerlerinin yüksek olmasından dolayı bazı makine vidalarında ve düşük – orta stres gerektiren bazı otomobil ve makine parçalarında da kullanılmaktadır. Mühendislik plastiği olan naylon, ekstrüzyon ve plastik enjeksiyon prosesleri ile üretilmektedir.

Naylon 6, naylon 6-6 ve naylon 101 ticari olarak en yaygın kullanılan PA çeşitleridir. PA genel olarak cam elyaf takviyesi ile mekanik değerleri çok daha iyi seviyelere

getirilerek kullanılmaktadır. Ayrıca molibden sülfür ya da sebasik asit gibi bazı katkıları ile akış özellikleri değiştirilebilmektedir.

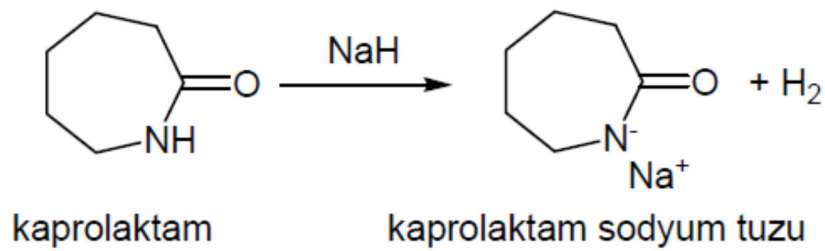
Kevler gibi ana zinciri aromatik yapılardan oluşan farklı poliamid türevleride mevcuttur. Bu tür aromatik yapıları poliamidler mükemmel denebilecek mekanik özelliklerinden dolayı balistik zırh uygulamalarında kullanılmaktadır. [27]

Poliamidler aşınmaya dirençlidir, sürtünme katsayıları düşüktür, yani kaygandır. Gerilme kuvvetleri alüminyum alaşımlarıyla kıyaslanabilir seviyelerde olduğundan dişliler ve yataklar gibi mekanik malzemeler üretimine uygundur. Naylonlardan (Naylon6 ve Naylon 6,6) her yıl milyonlarca ton sentetik iplik üretilmektedir; giysiler, balık ağıları, fırça ve daha sayısız ürün yapılır. [27]

(a) Naylon 6

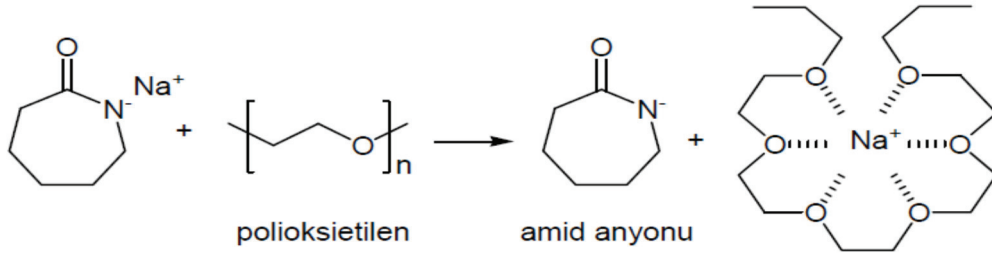
En yaygın kullanılan PA türü olan Naylon 6 kaprolaktamın halka açılım polimerizasyonu ile üretilmektedir (Şekil-14). Reaksiyon sırasında, reaktörde başlatıcı olarak sodyum hidrür (NaH, başlatıcı), polioksietilenin ve n-asetilkaprolaktam bulunur. Polimerizasyon 3 aşamada meydana gelir. NaH etkisi ile başlatılan reaksiyon kaprolaktamın açılması ile çoğalma aşamasına geçer ve bir bitiricinin etkisi ile sonlanır[29].

Başlama aşamasında NaH kaprolaktam ile tuz oluşturur ve bu tür kaprolaktamdan daha nükleofiliktir [29].



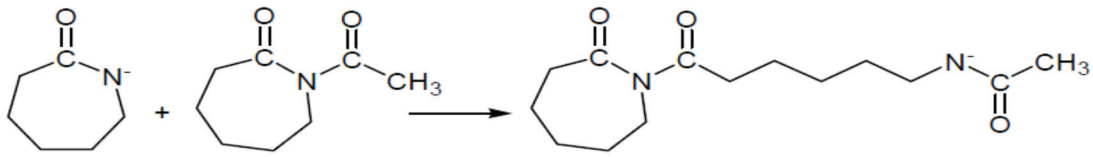
Şekil 1.4 PA 6 oluşum reaksiyonu [29]

Kaprolaktam ile oluşturulan sodyum tuzundaki sodyum iyonunu polioksietilen ile kompleks oluşturur geriye kalan amid anyonu oldukça reaktiftir. [29]



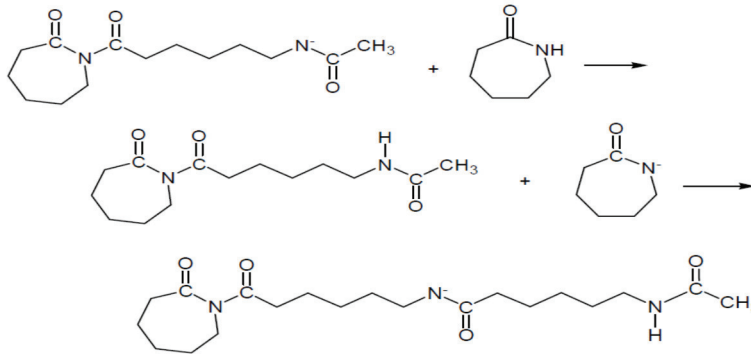
Şekil 1.5 PA 6 oluşum reaksiyonu [27]

N-asetilkaprolaktam geride kala reaktif amid anyonu ile reaksiyona girer ve yine oldukça aktif olan bir molekül meydana getirir.[29]



Şekil 1.6 PA 6 oluşum reaksiyonu[29]

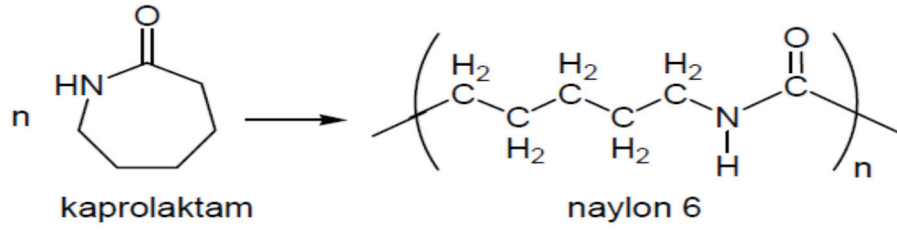
Reaksiyonun devamında çoğalma aşamasında oluşan amid anyonu farklı bir kaprolaktamdan bir H kopararak yeni bir aktif grup oluşturur. Oluşan bu aktif anyon ilk zincirin ucuna eklenerek zincirin uzamasını sağlar [29].



Şekil 1.7 PA 6 oluşum reaksiyonu [29]

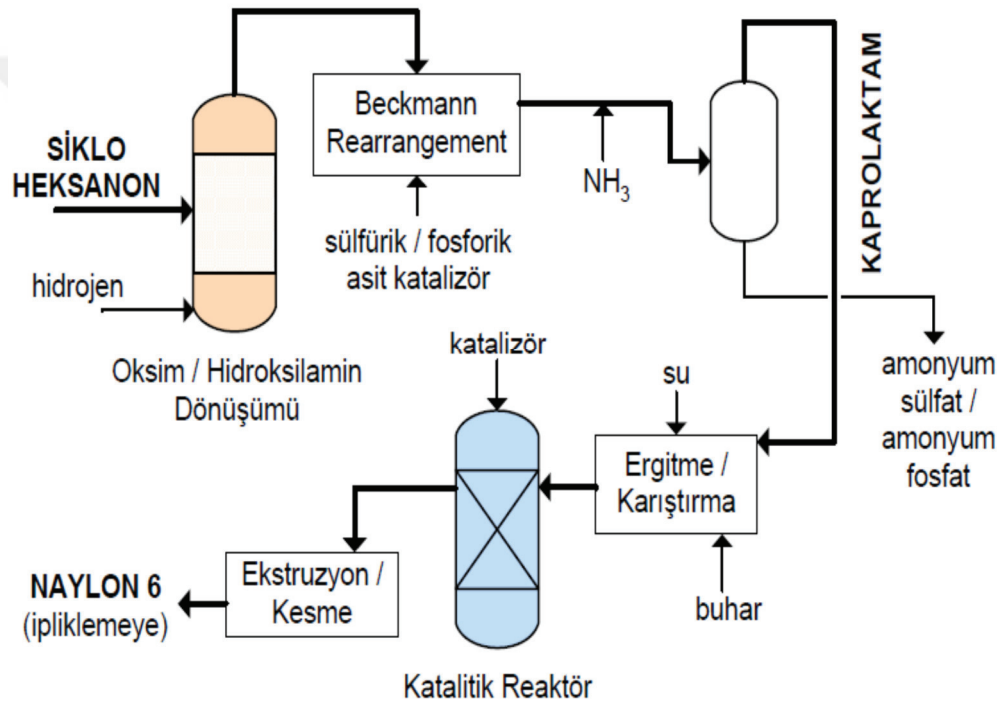
Reaksiyonun devamında ortama eklenen farklı bir molekül ya da iyon aktif ucu kapatarak sonlanmaya neden olur.

Reaksiyonun tamamı aşağıdaki gibi gösterilebilir.[29]



Şekil 1.8 PA 6 oluşum reaksiyonu[29]

Ticari olarak PA üretim prosesi aşağıda verilmiştir.



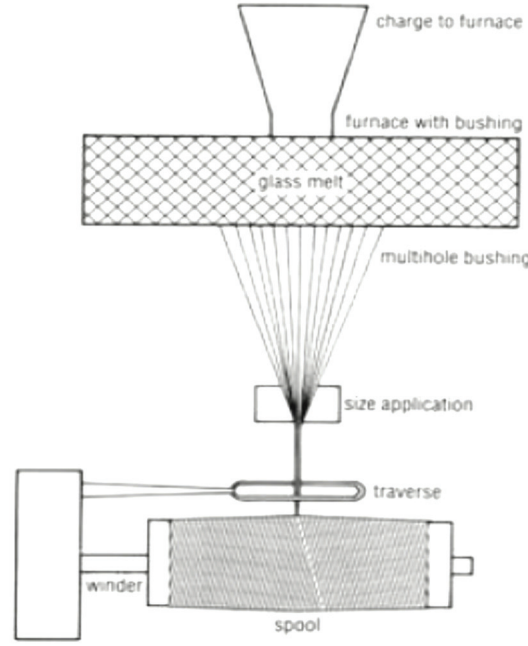
Şekil 1.9 PA 6 üretim Şeması.[37]

2. TERMOPLASTİK KOMPOZİT ÜRETİMİ

2.1 Cam Elyaf

Cam elyaf günlük hayatımızda ve sanayide kullanılan diğer camlar gibi alüminyum oksit, silika, soda ve kolemanit gibi hammaddelerden üretilmektedir. Günümüzde elyaf içerikli kompozitlerin büyük bir kısmında cam elyaf takviye malzemesi olarak kullanılmaktadır. Cam elyaf üretimi camın eritilerek yüksek akışkan özellikte bir sıvı haline getirilmesi ve bu işlem için özel olarak tasarlanmış olan tabanında küçük delikler olan özel bir ocaktan (düze) akıtılması ve bu akma sırasında da soğutularak katılaştırılması ile üretilir. Soğuyarak katılaştıran bu lifler makaralara sarılarak nakliye edilir. Üretilen cam liflerinin yüzelerinde bulunan silan yapıları ve bu tür lifler için geliştirilen, elyaf yüzeyinde ince bir film tabakası oluşturarak matrisle bağlanmayı geliştiren kimyasallar ile cam elyafın kullanım alanı dahada artmıştır. Bu işleme “sizing” işlemi denir.

Cam elyafı bu işlemler ile mekanik değerlerinin yarısından fazlasını kaybetmesine rağmen oldukça sağlamdırlar. Cam elyafı bazı özellikleri ile halen aramid ve karbon elyafı gibi elyaflardan üstündür. Cam elyafı üretim sırasında kullanılan proses ve kimyasallar ile kazandığı özellikler bakımında farklı gruplara ayrılır [5].



Şekil 2.1 Cam Elyaf Üretimi. [5]

Cam elyaflar üretim yöntemleri ve bu yöntem ile kazandıkları özelliklere göre çeşitli harfler ile ticarileştirilmektedir. Bunlar:

C – Kimyasallara karşı direnci yüksektir. Genel olarak kimyasalların depolanmasında kullanılmaktadır.

A – Bu tip camlar günlük hayatımızda kullandığımız camlardır. Pencere ve şişeler bu tip camlardır. Kompozitlerde kullanılmaz. [8]

E – Kompozitlerde takviye olarak kullanılan cam elyaf tipidir. Kimyasallara ve ısıya karşı dayanıklıdır, yalıtım amaçlıda kullanılabilir. Ülkemizde bu tip cam elyafa Şişe Cam A.Ş grubuna bağlı olan Cam Elyaf firması tarafından 1976'dan bu yana üretilmekte ve ihraç edilmektedir. [8]

S + R – Maliyeti oldukça yüksek olan bu tip elyafların mekanik performansı oldukça yüksektir. Genel olarak havacılık sanayinde kullanılan bu tür elyafların lif çapı E tipine göre %50 daha incedir. Bu nedenle birim hacimdeki elyaf miktarı fazla ve mekanik değerleride bu ölçüde yüksektir..

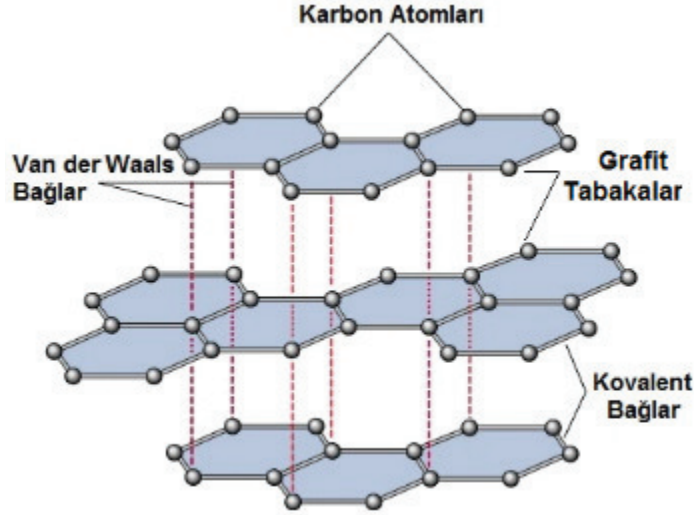
Cam elyaflar genel olarak sarma tipleri, elyaf çapı, boyu, kullanılan kaplama kimyasalları göz önüne alınarak farklı sektörler için üretilmektedir. Cam elyafı üretildikten sonra yıpranma dayanımının artması için bazı kimyasallar yardımı ile kaplanır. Örneğin cam elyaf liflerinin sürtünmeden dolayı aşınmasını engellemek

amaçlı bazı kaydırıcılar elyaf yüzeyine nüfuz ettirilir. Ayrıca cam elyaf ile hazırlanan bir kompozitin yüksek mekanik değerlere ulaşması için elyaf – matris uyumunun mümkün oldukça iyi olması istenir. Bu nedenle kullanılacak matris türüne göre bir kimyasal ile kaplanır. Bu kimyasallar genel olarak su ile çözünebilen polimer esaslı kaplama kimyasallarıdır. Elyaf ile matris arasındaki bağ düşük olduğunda kompozit bileşenleri iki farklı faz gibi davranarak birbirini üzerinde kayar ve bu uyumsuzluktan dolayı istenilen mekanik özelliklere ulaşamaz. [8]

2.2 Karbon Elyaf

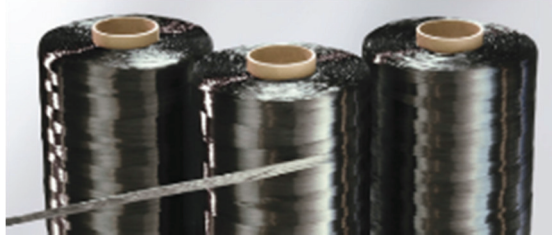
Ticari anlamda karbon elyaf ilk olarak 1800'lerin sonlarında akkor lambalarda filemen olarak kullanılmak amacı ile pamuk ve bambu liflerinin karbonizasyonu ile elde edilerek kullanılmaya başlanmıştır. İlk olarak kompozitlerde kullanılması ise 1950'li yıllarda roket parçalarının yapımında başlamıştır. Özellikle 2. Dünya savaşının sürdüğü yıllarda gelişmiş malzeme ihtiyacının artması ile Union Carbide Corporation adlı bir firma PAN (poliakrilo nitril) karbonizasyonu ile karbon elyaf üretmeyi başarmış ve bu ürünü Rayon ticari ismi ile satışa sunmuştur. Daha sonraları yapılan araştırmalarda poliesterler, poliamidler, fenolik reçineler ve polivinil alkol gibi polimerlerden de karbon elyaf üretilebileceği tespit edilmiştir. Fakat üretilen karbon elyafın mekanik değerleri göz önüne alındığında zift ve PAN'ın karbonizasyonu ile üretilen elyafın diğerlerine göre daha yüksek mekanik değerlere sahip olduğu görülmüş ve hammadde olarak bu iki malzemenin kullanılması yaygınlaşmıştır. İşleme kolaylığı ve mekanik değerlerin daha iyi olması nedeniyle günümüzde üretilen karbon elyafın %90 kadarı PAN ile üretilmektedir. [1,6]. PAN temelli karbon elyafların elastikiyet modülü, kopma uzaması ve dayanımı en yüksektir. Karbon elyaf grafit tabakalarından meydana gelmektedir.

Grafit saf denebilecek ölçüde karbon atomları içeren, altıgen yapılı tabakalardan oluşmakta ve her tabakayı oluşturan altıgenlerdeki karbon atomu bir alt tabakadaki altıgenin tam ortasına denk gelmektedir. Bu tabakalar arasındaki zayıf Van der Waals bağları grafitin ısı ve elektriksel iletiminin çok iyi olmasını sağlamaktadır. Ayrıca aynı düzlemdeki bağların çok kuvvetli kovalent bağlar olması grafitin mekanik değerlerinin paralel düzlemde kristalografik düzlemde çok iyi olmasına neden olmaktadır. (Şekil 2.2)

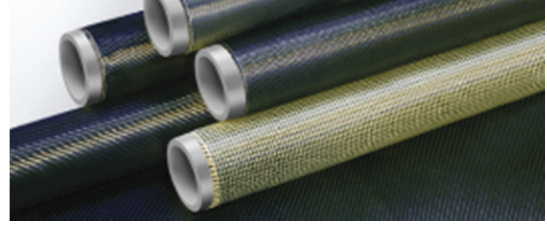


Şekil 2.2. Grafit karbonlarının paralel kristalografik düzlemlerdeki yapısı

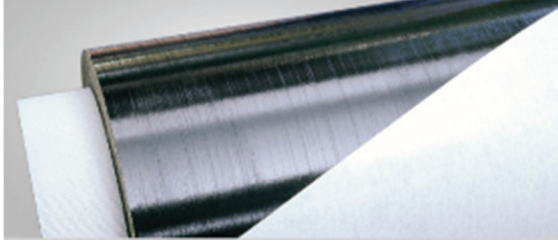
Tabakalar arası oluşan şekildeki kovalent bağın çekme direncinin 20.000 MPa ve elastikiyet modülünün 1.200 GPa olduğu teorik olarak hesaplanmaktadır. Hesaplanan bu teorik değerlerle birlikte araştırmalar diğer liflerin aksine palele yönde üretim yöntemleri üzerinde yoğunlaşmıştır. Fakat teorik olarak hesaplanan bu değerlere aralardaki boşluklardan dolayı ulaşamamıştır. Bu değerlere ulaşmak için farklı prosesler denenmiş ve denemeler devam etmektedir. Gerçek değerler bu değerlere göre daha düşük olmasına karşın elde edilen değerler oldukça yüksektir. Günümüzde ticari olarak üretilen en yüksek mekanik değerlere ulaşmış karbon elyaf 650 GPa elastikiyet modülü ve 4000 MPa çekme dayanımına sahiptir. Karbon elyaf takviyeli Kompozitler yüksek öz dayanım, hafiflik ve maliyetinin düşük olmasından dolayı özellikle havacılık ve uzay, enerji, otomotiv, spor ve diğer endüstri alanlarında giderek artan oranlarda kullanılmaktadır. Gelecekte bu kullanımın dahada artarak devam edeceği öngörülmektedir. Karbon elyaf kesikli ve devamlı olarak satılmakta ve kullanılmaktadır. İçeriğinin yaklaşık %92'si karbon atomlarından oluşmaktadır. Günümüzde ülkemizle birlikte 10 ülkede karbon elyaf üretimi gerçekleştirilmektedir [2]. (Şekil 2.3)



a



b



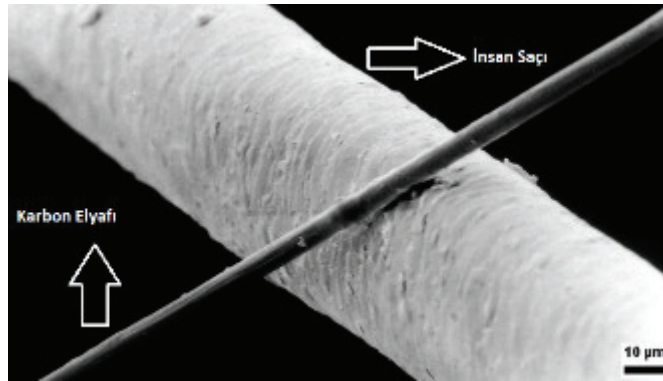
c



d

Şekil 2.3. a) Karbon elyafı, b) Karbon elyaf dokuması, c) Karbon elyaf/polimer önkarişımı, d) Karbon elyaf dış aksamı araç

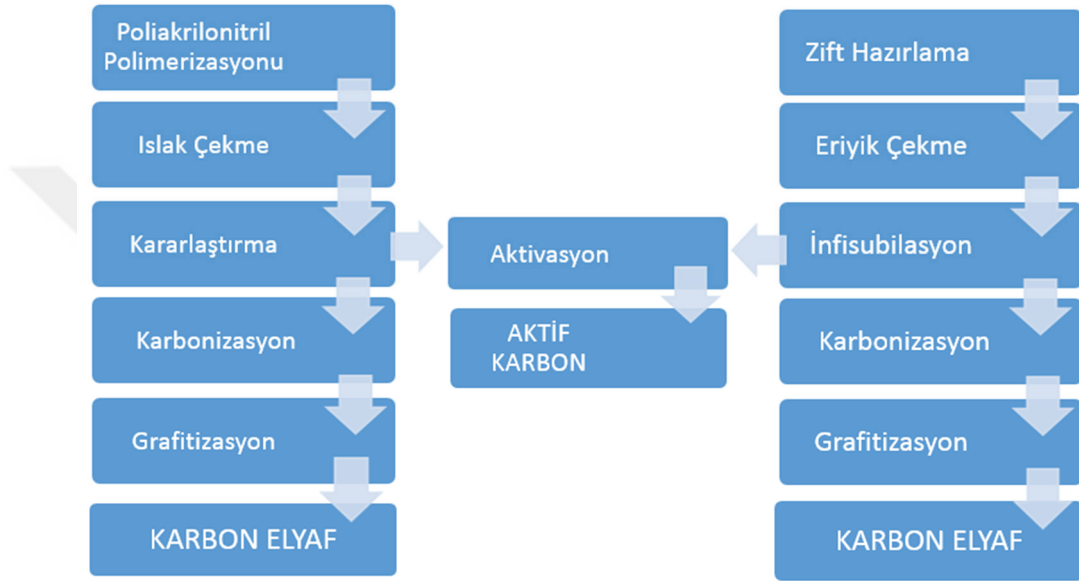
Oldukça güçlü olan bu malzeme insan saçından çok daha incedir. Çelikten 5 kat daha hafif olmasına karşın 10 kat daha güçlüdür. Alüminyumdan ise 1,5 kat daha hafif ve 8 kat daha sağlamdır. Ayrıca kullanılan reçineye göre yorulma dayanımı oldukça yüksektir ve yine reçine ile kaplandıktan sonra korozyona karşı yüksek direnç göstermektedir



Şekil 2.4. İnsan saçı(açık renk) ve karbon elyafının(koyu renk) elektron mikroskop görüntüsü.

Yukarıda da belirttiğimiz gibi mekanik değerlerin yüksekliğinden dolayı ticari olarak karbon elyaf zift ve PAN'dan üretilmektedir. PAN ile üretim yönteminde elyaf ıslak

çekme yöntemi ile üreilmekte olmasına karşın zift ile üretilen karbon elyaf ise eriğik çekme yöntemi ile üretilmektedir. (PAN – Wet spinning, Zift – Melt spinning)
 Karbon elyaf üretiminde ilk aşama olan karbonizasyonda elyaf 700°C'yi geçmemek koşulu ile ısıtılarak kararlı hale dönüştürülür. Bu aşamadan sonra grafitizasyon denilen ve 2500°C sıcaklıktaki aşamaya geçilir. Bu aşama yüksek performanslı ve genel amaçlı kullanılacak karbon elyaf üretiminde uygulanır. Üretilen elyafın performansını yükseltmek istendiğinde elyafa grafitizasyon sırasında bir kuvvet uygulanarak elyafın yönlendirilmesi sağlanır. Yönlendirme esnasında sıcaklık bir miktar daha artırılabilir [2].



Şekil 2.5 PAN temelli ve zift temelli KE üretim şeması [2]

PAN tabanlı karbon elyaf üretimini biraz daha ayrıntılı olarak anlatacak olursak bu üretimin dört aşamadan meydana geldiğini görürüz. Bunlar:

1. Oksidasyon: İlk aşama olan oksidasyon aşamasında PAN oksijen atmosferinde 300° C sıcaklığa kadar ısıtılır. Bu sıcaklıkta hidrojen atomları yapıdan ayrılmaya başlar ve yerine daha uçucu olan oksijen atomları gelmeye başlar. Daha sonra merdivensi bir yapıya sahip olan PAN'ın yapısı içi boş zincirlere benzeyen bir yapıya dönüşür. Beyaz olan elyaf rengi git gide karararak kahverengi ve daha sonra siyaha döner. [16]
2. Karbonizasyon: Bu aşamada elyaf yanıcı olmayan inert bir atmosferde 2500 - 3000° C arasında bir sıcaklığa maruz bırakılır. Bu esnada yapıdaki farklı atomlar ayrılarak büyük ölçüde karbondan oluşan grafit tabakaları oluşur. Uygulanan sıcaklık üretilmek istenen elyaf özelliklerine göre değişiklik gösterebilir. [16]

3. Yüzey modifikasyonu: Bu işlemde de ısı işlemler sonucu oluşturulan elyaf yüzeyde tutunabilecek ve kullanılacağı prosese uyum sağlamasını sağlayacak bir kimyasal banyosundan geçirilerek yüzeyin kaplanmasını kapsamaktadır. [16]

4. Kaplama; Elyaf bu aşamada ticari yarı mamül haline getirilmek amacıyla bir reçine ile kaplanır. Bu reçine elyafın yüzey modifikasyonu ile uygun olmalı ve eğer termoset ise kurlenme düşük bir ölçüde meydana gelmiş olmalıdır. Aksi takdirde termoset reçine şekillendirilemez. Buna karşın termoplastik reçine ısı ile şekillendirilebilir.[16]

Günümüzde ticari amaçlı satılan ve farklı yöntemler ile üretilmiş çeşitli karbon elyaf tipleri bulunabilir. Bu elyafların karbonizasyon sıcaklığı ve modül değerlerine göre sınıflandırılması çizelge 2.1’de verilmiştir. Öz dayanımlarına görede farklı sınıflara ayrılmaktadırlar.

Çizelge 2.1 Karbon elyaf çeşitlerinin karbonizasyon sıcaklıkları ve modül değerleri

Karbon Elyaf Sınıfları	Düşük Modüllü	Standart Modüllü	Yüksek Modüllü	Çok Yüksek Modüllü
Karbonizasyon Isısı (°C)	<1000	1000-1500	1500-2000	(Grafit)>2000
Elastisite Modülü (GPa)	<200	200-250	250-325	>500

- 500 GPa ve daha yüksek özdayanımlı karbon elyaflar : Çok yüksek özdayanımlı (Ultra high modulus)
- 300 ve 500 GPa arasında özdayanıma ve dayanımının özdayanımına oranı en az %1 olan elyaflara: Yüksek özdayanımlı karbon elyaf
- 200 ile 300 GPa özdayanıma sahip ve dayanım özdayanım oranı %0,01’den yüksek olan karbon elyaflara: Standart seviye özdayanımlı karbon elyaf.
- 200 GPa’dan düşük öz dayanıma sahip karbon elyaflara: Düşük özdayanımlı karbon elyaf denir bu tür elyaflar izotropik karbon elyaflardır. [2].

Karbon elyafları piyasada 2 biçimde bulunmaktadır:

Sürekli karbon elyaflar makaralar halinde üretici tarafından satılırlar. Bu tip elyaflar yarı mamül üreticilerinde kullanım yerine göre farklı dokuma şekilleri ile dokunarak ve az miktar reçine ilavesi ile prepreg denilen levhalar halinde parça üreticisine

gönderilirler. Bu tip elyaflar genel olarak termoset reçine reçine uyumlu yüzey işlemi görmüş elyaflardır. Hazırlanan prepreg el yatırma, reçine transfer kalıplama, reaksiyonlu enjeksiyon kalıplama gibi proseslerde kullanılarak sektörün ihtiyacı olan parça üretilir. Son yıllarda bu tür prepregler termoplastik reçineler kullanılarak da üretilmektedir. Bu levhalar termoform ile şekil verilerek üstüne enjeksiyon yöntemi ile parça hazırlanmakta ve ileride karşılaşılabilecek durumlarda kırılarak geri dönüşümde kullanılabilir. [16]

Kesikli karbon elyaflar ise belli ölçülerde kırılmış, kırılma öncesi kullanım yerine göre yüzey işlemi yapılmış karbon elyaflardır. Bu tip karbon elyaflar başlangıçta sürekli karbon elyafta olduğu gibi termoset reçineler için yüzey işlemi yapılmış halde satılmakta ve R-RIM ya da benzeri termoset üretim proseslerinde kullanılmaktaydı fakat gelişen teknoloji ve geri dönüşüm ihtiyacı ile son yıllarda termoplastik yüzey uyumlu kesikli karbon elyaflar üretilerek özellikle otomotiv sanayinde plastik enjeksiyon prosesinde takviye malzemesi olarak kullanılmaya başlanmıştır.

2.2.1 Karbon Elyafın Modifikasyonu

Karbon fiber üretimindeki en son aşama yüzey modifikasyonudur. Yapılan yüzey işlemi matris olarak kullanılacak polimer ile karbon fiber arasındaki uyumu sağlamak amacı ile yapılmaktadır. Bu işlemde genel olarak yüzeydeki oksijen içeren bileşikler artırılır [3]. Modifikasyon işleminde % 60'lık Nitrik asit çözeltisi ya da sodyum hipoklorit kullanılmaktadır. Karbon elyaf bu çözeltilerin içerisinde geçirilerek yüzeyde bir miktar aşınma ile yüzey alanı artırılır ve yüzeyde çokta güçlü olmayan oksijen içerikli bağlar oluşturulur. Bu işlemin ardından elyafın daha iyi ıslanmasını sağlamak amacı ile bir ön kaplama işlemi uygulanır. Elyaflar ile üretilen kompozitlerde, kompozit malzemeye uygulanan kuvvet matris yardımı ile elyaflar arasında dağıtılır. Bu nedenle karbon elyaf ile matris arasındaki bağ ne kadar güçlü olursa kuvvet iletimi o kadar iyi olmaktadır. Aksi takdirde üretilen kompozit malzemenin mekanik değerleri düşük olmaktadır. Matris ve karbon elyaf arasındaki etkileşimini öncelikli belirleyeni elyaf yüzeyidir. Elyaf ile matris arasındaki bağın artması kompozit malzemenin sertliğinin ve kırılma dayanımının da artmasına neden olur. Bu nedenle üretilen kompozitin kullanılacağı yer ve istenilen mekanik değerler göz önünde bulundurularak yüzey modifikasyonu belli ölçülerde tutulmalıdır. Yüzey modifikasyon işlemleri sürekli ve kesikli prosesler şeklinde yapılabilmektedir. Üretim

kolaylığı ve maliyet gibi etmenler göz önünde bulundurularak istenilen süreç seçilebilir [3]. Yüzey modifikasyonu elektro kimyasal, plazma, çözelti, katalitik ve gaz fazı gibi yöntemler uygulanarak yapılabilir

1. Polimer çözeltisi kullanılarak elyaf yüzeyinin kaplanması
2. Elektrodpozisyon yöntemi ile elyaf yüzeyine polimer kaplama
3. Elektro polimerizasyon yöntemi ile elyaf yüzeyinin polimer ile kaplanması
4. Plazma ile elyaf yüzeyinin polimer kaplanması

Elyafa yapılan ön kaplama işlemi elyaf matris arasındaki uyum ve elyafın kullanım şekline (kesikli – sürekli) getirilmesini kolaylaştırmak amacı ile yapılmaktadır. Genellikle kırılmış elyafta yüzey ön kaplamanın doğru yapılması önemlidir. Ön kaplama için kullanılacak malzeme doğrudan kullanılacak matris ile ilgilidir. Kaplama malzemesi olarak farklı malzemeler kullanılmasına karşın en çok kullanılan kaplama malzemesi polimerlerdir. Kaplama genel olarak 0,1 - 1 µm arasında değişiklik gösterebilir [3].

Endüstride yaygın olarak karbon elyaf kompozitlerinde epoksi reçineler kullanılır. Epoksi reçine için yapılmış bir kaplama 250 °C civarında bozularak etkisini kaybedeceğinden termoplastik bir reçine için uygun olmamasına rağmen yapılan çalışmalarda bu tür reçineler ile de uyumlu olduğu belirlenmiştir. Termoplastik matrisler için poliimit gibi yüzey kaplamaları 450 °C sıcaklığa kadar dayanabilmektedir [3]. Epoksiler dışında farklı polimerlerde kaplama malzemesi olarak karbon elyaf yüzeyinin kaplanmasında kullanılmıştır. Ayrıca elastomer ile yapılan ön kaplama işlemlerinde elyafın darbe dayanımının arttığı görülmüştür [3]. Ticari olarak satılan karbon elyafta kullanılan en yaygın kaplama yöntemi polimer çözeltisinden geçirerek kaplamadır. Polimer çözeltisinde kaplama yöntemi ile elyaf yüzeyi oldukça homojen bir şekilde ve hızlı kaplanabilmektedir. Bunun dışında karbon yapısından dolayı elektriği iyi ileten karbon elyaf elektriksel kaplama yöntemi ile de kolayca kaplanabilmektedir. İki yöntemde de yüzey homojen olarak kaplanmakta ve kaplama kalınlığı hızlı bir şekilde ayarlanmaktadır [3]. Bu yöntemlerin geliştirilmesi ile matris – elyaf ara yüzeyi özelliklerinde önemli gelişmeler kaydedilmektedir.

Çizelge 2.2’de iki farklı ön kaplama yönteminin matris – elyaf ara yüzey özelliklerini nasıl etkilediği verilmiştir. Çizelgede de görüldüğü gibi iki teknik birlikte uygulandığında grafit tabakaları arasındaki gerilme maksimum seviyeye çıkmıştır [3]. Karbon elyaf ön kaplamasında bulunan fonksiyonel grupların matristeki fonksiyonel gruplar ile bağ yapması beklenir. Yüzeyin epoksi ile kaplanması, epoksi ve amin

grupları ile bağlanmasını sağlarken poliimit ile kaplanması ise karboksilik grupları içeren matrisler ile bağlanmasını sağlamaktadır [3].

Çizelge 2.2 Yüzey oksidasyonu ve kaplama işleminin karbon elyafın özelliklerine etkisi

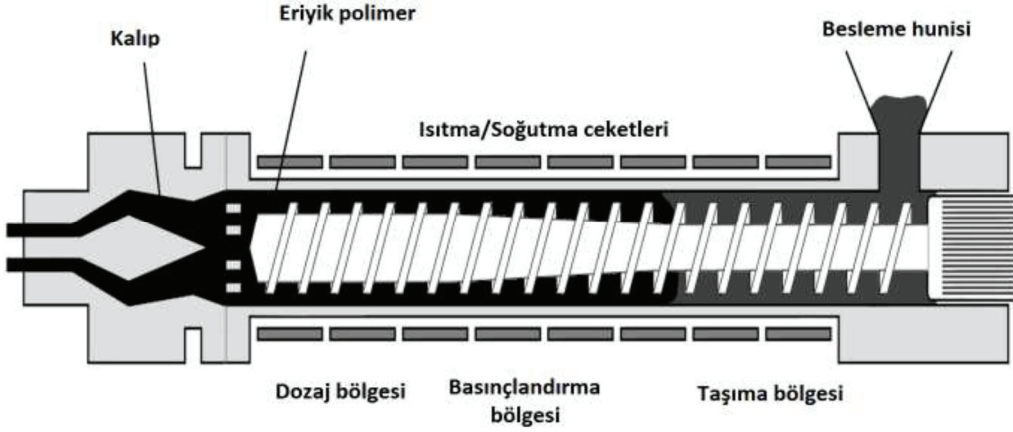
Oksidasyon	Kaplama	Kaplama Miktarı (%)	Yoğunluk (g/cm ³)	Ara Yüzey Kayma Mukavemeti (Mpa)
Oksidasyon yok	Kaplama yok	-	1,28	16,2
%60 HNO ₃	Kaplama yok	-	1,29	24,3
%60 HNO ₃	Polivinil asetat	7	1,31	42,8
%60 HNO ₃	Polivinil klorür	7	1,31	42,1
%60 HNO ₃	Poliüretan	3	1,27	40,7
%60 HNO ₃	Poliakrilonitril	7	1,27	16,6

2.3 Ekstruder

Ekstruderin temel görevi, malzemeye yeterli basıncı uygulamak ve bu sayede malzemenin kalıba doğru itilmesini sağlamaktır. Malzemeyi kalıba doğru itmek için gerekli basınç, kalıbın geometrisine, malzemenin akış özelliklerine ve akış hızına bağlıdır [5-8].

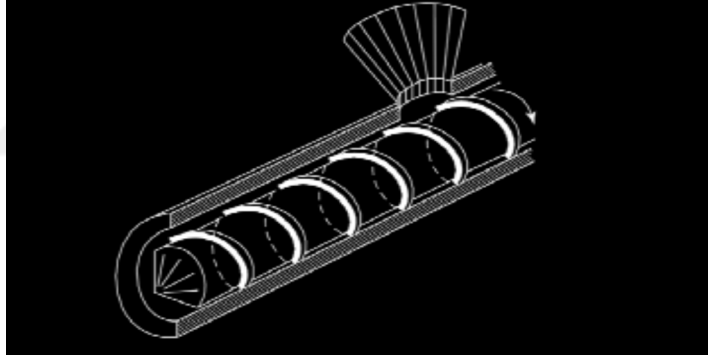
Bir ekstruderin temel bileşenleri kontrol paneli, besleyici, vida, kovan ve kalıptır. Kontrol paneli, ekstruzyon işleminin idare edildiği bölümdür. Buradan sıcaklığı, vida hızını ve besle oranını ayarlamak mümkündür. Ayrıca kalıp basıncı, sıcaklık bölgeleri ve kuvvet buradan takip edilebilir [5-8]. Vida ekstruderin en önemli parçasıdır. Çünkü tasıma, ısıtma, eritme ve karıştırma gibi işlemler vida tarafından gerçekleştirilir. Bu sebeple sürecin kararlılığı ve ürünün kalitesi vida tasarımına bağlıdır. Kovan, vidanın içinde yer aldığı silindir şeklindeki bölümdür. Genellikle çelikten yapılır ve yüksek aşınma direncine sahiptir. Kovanın aşınma direnci vidadan daha yüksektir. Çünkü vidayı tamir etmek ya da değiştirmek kovana değiştirmekten daha kolaydır [5-8].

Kalıp ekstruderin ucunda, boşaltma bölgesinde yer alır. İşlevi ürün olarak alınan plastiğe istenilen şekli vermektir. Kalıbın akış kanalı, erimiş plastiğin aynı hızda çıkmasını sağlamak için tasarlanmış olmalıdır. Çünkü erimiş haldeki polimer, kalıp boyunca belli bir kuvvetle itilmektedir. Sekil 2.1’de bir ekstruderin temel yapısı örnek olarak verilmiştir [5-8].



Şekil 2.6 Ekstruder kesiti

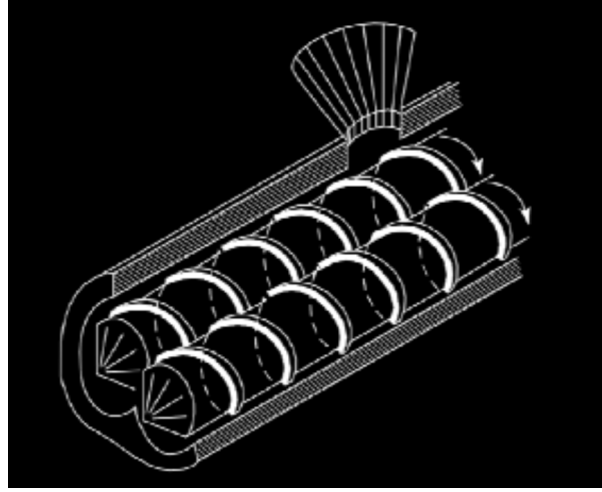
Ekstruderler plastik islemede en çok kullanılan makinelerdir. Plastik endüstrisinde üç temel ekstruder çeşidi vardır ve vidalı ekstruderler en çok kullanılan ekstruder çeşitleridir. Vidalı bir ekstruder tek bir vidadan oluşuyorsa “tek vidalı ekstruder” adını alır (Şekil 2.7).



Şekil 2.7 Tek vida

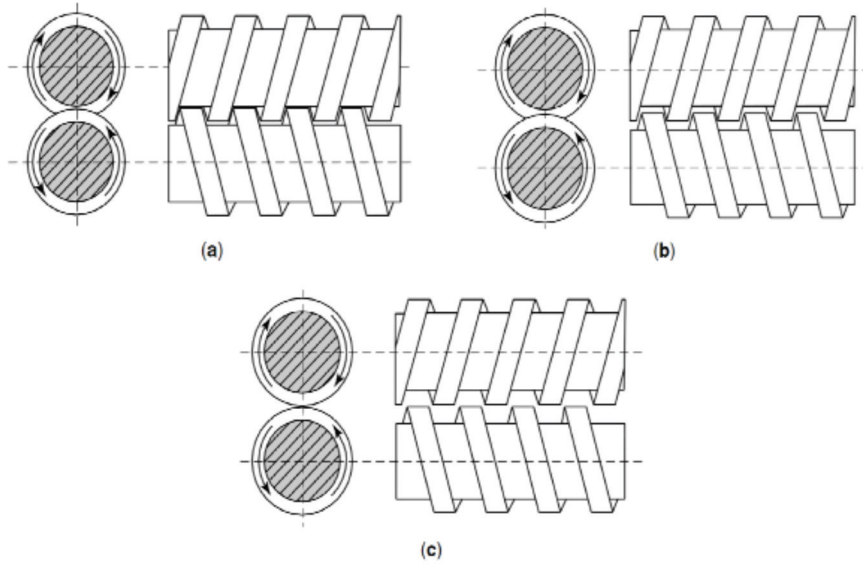
Birden fazla vidadan oluşan ekstruderlere “çok vidalı ekstruder” denir. En çok kullanılan çok vidalı ekstruder ise “çift vidalı ekstruder” dir. Çift vidalı ekstruderler dönme yönlerine göre ve vidaların iç içe geçmesine göre sınıflandırılabilirler [5-8].

Ekstruderde iki vida da aynı yönde dönüyorsa bu tip ekstruderlere, “aynı yönde dönen çift vidalı ekstruder” (co-rotating) adı verilir ve bu tip ekstruderler yüksek vida hızlarında çalışmak için uygunlardır (Şekil 1.3). Eğer çift vidalı bir ekstruderde vidalar zıt yönde dönüyorlarsa bu tip ekstruderlere ise “ters yönde dönen çift vidalı ekstruder” (counter rotating) adı verilir [5-8].



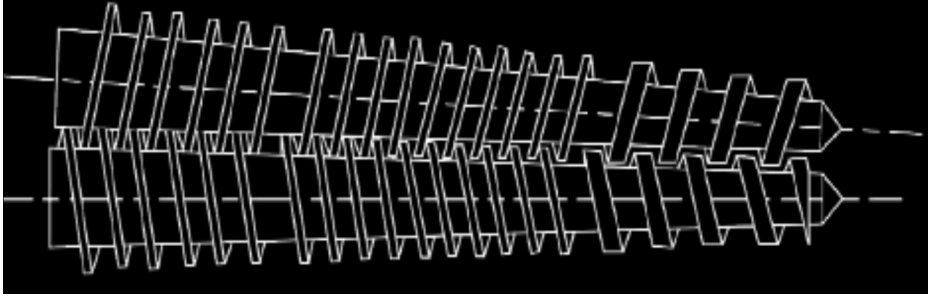
Şekil 2.8. Çift vida

Ayrıca çift vidalı ekstruderlerde vidalar tamamen iç içe geçmiş (Şekil 2.4a), kısmen iç içe geçmiş (Şekil 2.4b) ya da tamamen ayrı olabilirler (Şekil 2.4c) [5-8].



Şekil 2.9: Ters yönde dönen vidalar (a) tamamen iç içe geçmiş vidalar (b) kısmen iç içe geçmiş vidalar (c) tamamen ayrı vidalar [5]

Çift vidalı ekstruderlerde vidalar paralel şekilde yer alabilecekleri gibi konik şekilde de yer alabilirler (Şekil 2.5) [5-8].



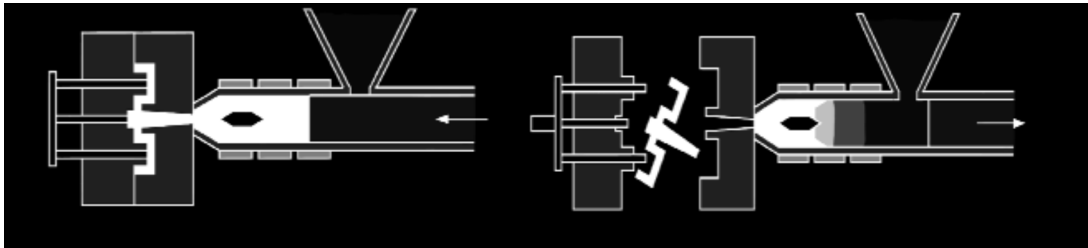
Şekil 2.10: Konik çift vidalı ekstruder [8].

2.4 Enjeksiyonla Kalıplama

Enjeksiyonla kalıplama, termoplastikleri ve bazı termoset malzemeleri pelet ya da toz halden çeşitli ürünlere dönüştürmek için kullanılan işleme tekniklerinden biridir. Enjeksiyonla kalıplamada basit olarak işleyiş şu şekildedir. Önce pelet ya da tozlar eriyinceye kadar ısıtılır. Daha sonra eriyik, istenilen şekildeki kalıba basınç altında enjekte edilir ve katılaşmaya kadar beklenir. Son olarak kalıp açılır ve ürün çıkartılır. Enjeksiyonla kalıplama makinası temel olarak üç fonksiyonu yerine getirmek zorundadır: [5]

1. Plastik eritip basınç altında akmasını sağlamak,
2. Eriyik malzemeyi kalıba enjekte etmek,
3. Eriyik malzemeyi soğuk kalıpta katılaşmaya kadar bekletmek ve daha sonra katı plastiği çıkarmak [6].

Bu işlevler, yüksek kalitede ve uygun maliyette ürün alınabilecek şekilde eniyelenmiş (optimize) edilmiş bir sistem tarafından otomatik olarak yürütülmelidir. Bir enjeksiyonla kalıplama makinesinin temel bileşenleri Şekil 2.11’de görülmektedir [8].

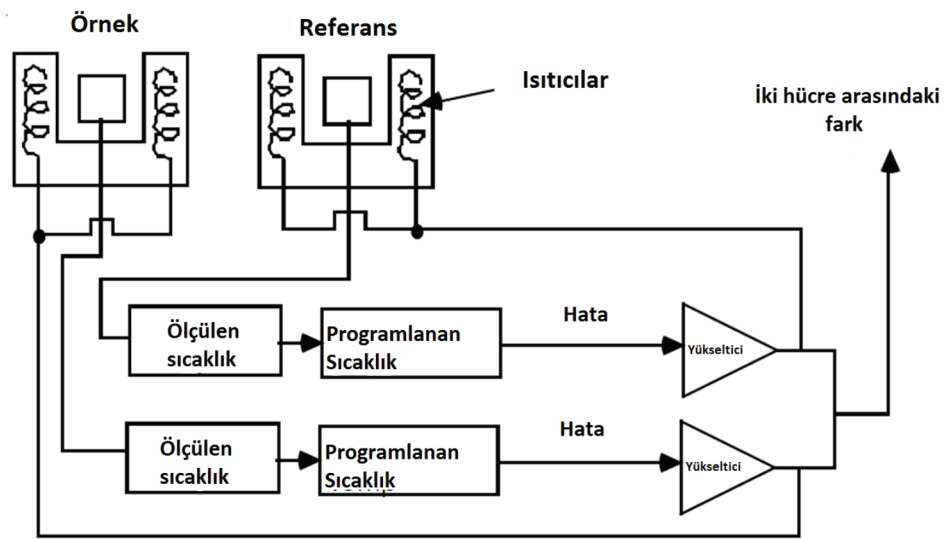


Şekil 2.11. Enjeksiyon kalıplama [5].

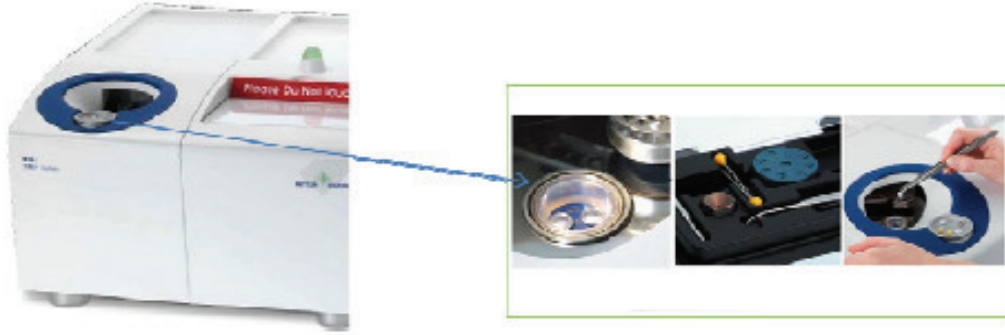
2.5 Kompozit Malzemelerin Karakterizasyon Yöntemleri

2.5.1 Diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC)

Uluslararası Termal Analiz ve Kalorimetri Konfederasyonu'na göre ısı analiz, özel bir ortamda, sıcaklığı programlanmış bir örneğin, bir özelliğinin zaman ya da sıcaklığa karşı davranışının gözlenmesini sağlayan bir tekniktir [5,11]. Polimerik malzeme ısı analizlerinde en çok kullanılan teknik ise diferansiyel taramalı kalorimetridir. Bu cihazın çalışma prensibi, örnek ve referans malzemelerin sıcaklıklarının aynı tutulması esasına dayanır. Bu işlem ise sıcaklık algılayıcılarının (platin dirençli termometreler) köprü devresine yerleştirilmesiyle sağlanır [5,11]. DSC'de, biri referans biri de örnek için olmak üzere iki hazne bulunmaktadır. Boş DSC örnek kabı (pan) referans haznesine yerleştirilirken içinde polimer bulunan 2. kap örnek haznesine yerleştirilir. Ardından iki hazne de seçilen başlama sıcaklığına ulaşıncaya kadar ısıtılır ya da soğutulur. Daha sonra bir sıcaklık programı çalışmaya başlar ve haznelerin sıcaklığını belirlenen bir hızla istenilen seviyeye kadar artırır. Bu sırada iki hazne arasında oluşan sıcaklık farkını dengelemek için gerekli ısıtma ya da soğutma işlemi yapılır. İki örneğe de sağlanan enerji arasındaki farkın birim zamana oranlanması ile örneğin ısı kapasitesi elde edilmiş olur. DSC yardımıyla yapılan ısı analiz sonucunda malzemelerin camsı geçiş sıcaklığı (T_g), erime sıcaklığı (T_m), kristallenme sıcaklığı (T_c), erime entalpisi (ΔH), yüzde kristallenme miktarı ($\%X_c$) gibi özellikleri hesaplanabilir. DSC cihazının şematik gösterimi şekil 2,9'da görülmektedir.



Şekil 2.12. DSC Şematik Gösterim

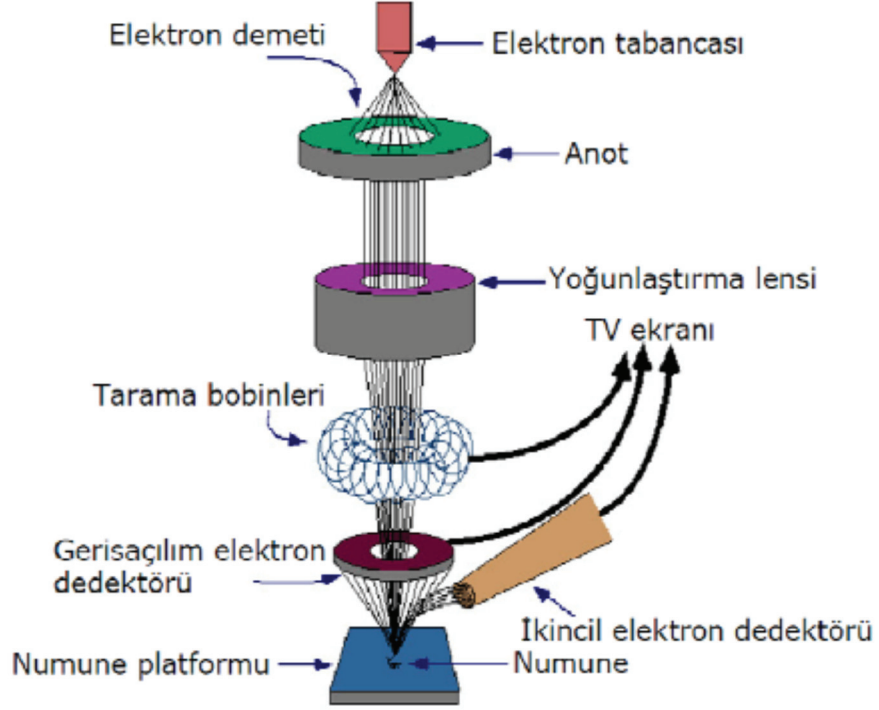


Şekil 2.13. DSC

2.5.2 Taramalı elektron mikroskobu (SEM)

Taramalı elektron mikroskobu (SEM), örneklerin üç boyutlu yapısının görüntülenmesini ve incelenmesini sağlayan bir elektron mikroskobu tipidir. Örneklerin yüzeyindeki çok küçük girinti ve çıkıntıların ya da gözeneklerin ayrıntılı bir şekilde görüntülenmesini sağlar [12,13]. SEM’de görüntü, yüksek voltaj ile hızlandırılmış elektronların numune üzerine odaklanması, bu elektron demetinin numune yüzeyinde taratılması sırasında elektron ve numune atomları arasında oluşan çeşitli girişimler sonucunda meydana gelen etkilerin uygun algılayıcılarda toplanması ve sinyal güçlendiriciden geçirildikten sonra bir ekrana aktarılmasıyla elde edilir [12,13].

SEM ile incelenen örnekler iletken ve yalıtkan olanlar şeklinde ikiye ayrılabilirler. İletken olmayan örneklerin görüntülerinin incelenebilmesi için önce iletken hale getirilmeleri bunun için de altın, altın/paladyum veya alüminyum gibi ince iletken bir tabakayla kaplanmaları gerekmektedir [12,13]. SEM’de büyütme oranı aralığı 10 ile 50.000 arasındadır. Ayrıca numunenin belli bölgelerindeki element bileşimlerinin nitel ya da yarı nicel analizlerini de yapmak mümkündür. SEM’in çalışma şekli Şekil 2.11’de görülmektedir [13]

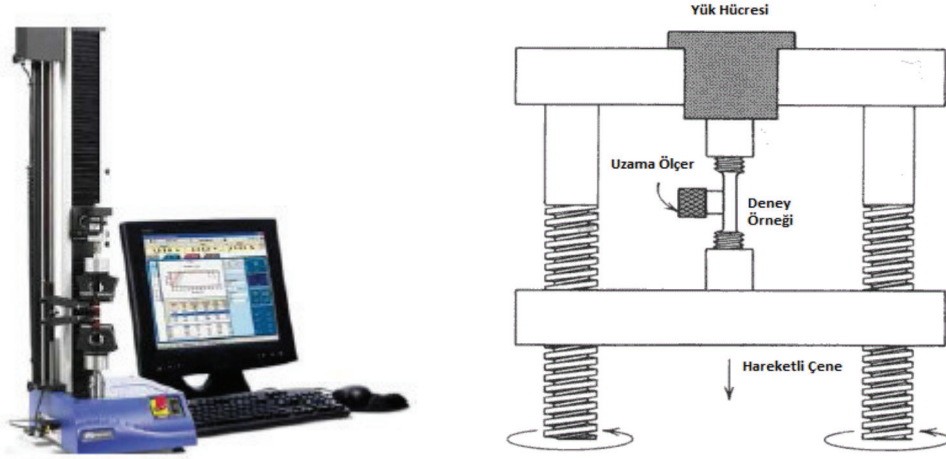


Şekil 2.14 SEM Çalışma Şekli [13]

2.5.3 Çekme testi

Malzemelerin çekme, sıkıştırma gibi dış etkenler sonucunda gösterdikleri tepkileri incelemek ve bu şekilde malzeme özelliklerini anlamak için mekanik testler yapılır.

Bu şekilde malzemelerin, test yapılan koşullara benzer ortamlarda test edilen mekanik özellikler açısından kullanışlı olup olmadıkları anlaşılır. Bu amaçla uygulanan testlerden en önemlisi çekme testidir. Çekme testinin amacı, malzemelerin statik yük altındaki elastik ve plastik davranışlarını belirlemektir. Bunun için, boyutları standartlara uygun olarak hazırlanan deney numunesi çekme cihazına bağlanır ve örneğe aksenal ve değişken kuvvetler uygulanır. Bir çekme cihazının temel bileşenleri şekil 2.12’de görülmektedir [13]



Şekil 2.15 Çekme Test Cihazı [13]

Çekme cihazı temel olarak deney numunesinin bağlandığı iki çeneden oluşur. Ayrıca cihaz üzerinde bu çenelere hareket veya kuvvet veren ve bu hareketlerin büyüklüğünü ölçen üniteler de mevcuttur. Deney sırasında çenelerden birisi sabit hızda hareket ettirilerek deney numunesine değişken miktarlarda çekme kuvveti uygulanır ve bu kuvvete karşılık gelen uzama kaydedilir. [13] Bu çalışmada zwick marka çekme cihazı kullanılmıştır

2.5.4 Darbe Testi

Malzemenin enerjii emme özelliğini gösteren bu testte ISO 179 normunda kalıplanmış ve yine aynı normda üzerine çentik açılmış darbe çubukları yerleştirilir. Çubukların çentikli alanına dik gelecek şekilde belirli bir yükseklikten bir miktar düşürülür ve çubuğa çarpması sağlanır. Çubuğun kırıldığı enerji raporlanarak ürünün birim alanının dayanabileceği en yüksek enerji miktarı belirlenmiş olur. Durağan bir parça üzerine belirli bir yükseklikten serbest bırakılan belirli bir ağırlıktaki topun malzemeyi kırma veya çatlatma enerjisini tespit edebileceğimiz bir düşen top deney ekipmanımız ile malzemelerin yüzey sertliğinin ölçüldüğü Shore durometre cihazı ile de sertlik tayini yapmak mümkündür.[13]



Şekil 2.16 Darbe Test Cihazı [11]

2.5.5 Sertlik Testi

Bir malzemenin, kendisinden daha sert başka bir malzemenin batmasına, çizmesine (kalıcı şekil değiştirmesine vb.) karşı gösterdiği dirence sertlik denir. Sertlik testleri, diğer mekanik testlere göre daha fazla tercih edilen testlerdir. Bunun başlıca sebepleri: basit ve ucuz olmaları, örneği fazla deforme etmemeleri ve sertlik testi sonucunda elde edilen verilerin diğer bazı mekanik özellikler açısından da aydınlatıcı olabilmeleridir [12]

Bu çalışmada, üretilen kompozitlerin şekilde görülen test cihazı kullanılarak shore sertlikleri tespit edilmiştir



Şekil 2.17 Shore Sertlik Test Cihazı [12]

3. LİTERATUR ÖZETİ

3.1 Karbon Elyaflı Kompozitler

Literatürde, karbon elyaf takviyeli termoplastik matrisli karmaların üretimi, karakterizasyonu ve elyaf yüzey işlemesi ile ilgili yapılan çalışmalar incelenmiştir. Bu çalışmalardan, tez çalışması kapsamında çalışılan matrislerin kullanıldığı, bu matrislerin karbon elyaf ile ara yüzey yapışmasının incelendiği ve üretilen karmaların karakterizasyonunu içeren önemli bazı çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Rezaei ve arkadaşları, eriyikten karıştırma ve sıcak kalıplama yöntemleriyle kısa karbon elyaf takviyeli PP karmalar hazırlamışlardır. Daha sonra bu karmaların çekme özelliklerini, eğilme özelliklerini, sertliklerini, kırılma işlerini ve termal gravimetrik analiz (TGA) yardımıyla ısıl kararlılıklarını incelemişlerdir. Sonuç olarak, çalışmada üretilen karmaların mekanik özelliklerini çelik araba kaportasının mekanik özellikleriyle karşılaştırmışlardır. Bu karşılaştırma sonucunda %10 kısa karbon elyaf takviyeli PP karmaların çelikle karşılaştırılabilir düzeyde olduğunu bulmuşlardır [15].

Rezaei ve arkadaşları yaptıkları bir diğer çalışmada yine karbon elyaf takviyeli PP karmalar hazırlamıştır. Bu çalışmada ise TGA yardımıyla karmaların ısıl kararlılığını ve termomekanik özelliklerini ortalama elyaf uzunluğunu da dikkate alarak incelemişlerdir. Karmaların sönümlenme özelliklerinin incelenmesi amacıyla ise dinamik mekanik analiz (DMA) kullanılmıştır. Sonuç olarak elyaf uzunluğundaki artışın karmaların ısıl kararlılıklarını arttırdığını ve sönümlenme özelliklerini geliştirdiğini bulmuşlardır [16].

Rezaei ve arkadaşları tarafından yapılan bir başka çalışmada ise kısa karbon elyaf takviyeli PP karmaların çekme ve sertlik özellikleri ile kırılma işleri, elyaf ağırlık oranı ve ortalama elyaf uzunlukları da dikkate alınarak incelenmiştir. Karmaların kırılma işi incelenirken çentiksiz numuneler kullanılmıştır ve izod darbe enerjisi ölçülmüştür. Bu ölçümler sırasında elyaf ağırlık oranının ve ortalama elyaf uzunluğunun etkisi de göz önünde bulundurulmuştur. Yapılan çalışmalar sonucunda, artan karbon elyaf miktarıyla karmaların dayanım ve bükülmezlik özelliklerinin, sertliklerinin ve izod darbe enerjilerinin arttığı gözlenmiştir [17].

Li yaptığı çalışmada, karbon elyafın yüzey aktivitesini arttırabilmek için yalıtkan engel boşaltılması (Dielectric Barrier Discharge, DBD) yöntemini kullanmıştır. 75 µm uzunluğundaki karbon elyaf örnekleri plazma konfigürasyonu içine yerleştirilmişlerdir. Daha sonra yüzeyi modifiye edilmiş karbon elyaf ve PP arasındaki etkileşim üç nokta eğme testi ile incelenmiştir. Ayrıca karbon elyaf yüzeyindeki işlemler sonucunda oluşan kimyasal değişiklikler X-ışını fotoelektron spektroskopisi (XPS) kullanılarak incelenmiştir. XPS sonuçlarına göre, “yalıtkan engel deşarjı” yöntemiyle modifiye edilen karbon elyaf yüzeylerinde, oksijen ve azot derişimlerinin arttığı gözlenmiştir. Bu sonuçlar, yalıtkan engel boşaltılması yönteminin kullanılmasıyla karbon elyaf yüzeyinin daha aktif ve hidrofilik hale geldiğini göstermiştir [18].

Li ve Sun’ın yaptıkları çalışmada, polistiren’in karbon elyafa yapışmasını iyileştirmek için polistiren’e uygun bir uyumlaştırıcı araştırılmıştır. Bunun sonucunda polistiren için uyumlaştırıcı olan maleik anhidrit (MAH) aşlanmış polistiren ile karıştırılmış ve matris ile değişik karbon elyaf türleri arasındaki yapışma, “tek lif çekme testi” (single fiber pull-out test) ile incelenmiştir. Daha sonra elde edilen çekme testi verileriyle ara yüzey kayma gerilimi hesaplanmıştır. Bununla birlikte uyumlaştırıcının, polistiren’in yüzey özellikleri üzerine etkisi temas açısı ölçümleriyle incelenmiştir. Deneyler sonucunda en iyi ara yüzey yapışmasının, MAH içeren polistiren ile nitrik asit oksidasyonu ile işlem görmüş karbon elyaf arasında olduğu, ayrıca saf polistiren’e MAH aşlanmış polistiren eklenmesiyle ara yüzey kayma geriliminin arttığı görülmüştür [19].

Li ve Zhang tarafından yapılan bir çalışmada, ekstrüzyon yöntemiyle, nitrik asitle işlem görmüş kısa karbon elyaf ile takviye edilmiş akrilonitril-bütadien-stiren (ABS) karmaları hazırlanmıştır. Daha sonra kısa karbon elyaf yükleme miktarının çekme özellikleri üzerine etkisi incelenmiştir. Bunun sonucunda ABS matrisi içinde, karbon elyaf yükleme miktarının %10’dan %30’a kadar artmasının çekme dayanımı ve çekme modülünü arttırdığı görülmüştür. Daha sonra ara yüzeyde daha kuvvetli bir etkileşim sağlamak için %10 karbon elyaf içeren ABS karmalarına değişen oranlarda poliamid-6 (PA6) eklenmiştir. Karmalardaki artan PA6 miktarı ile ara yüzeydeki yapışmanın arttığı dolayısıyla çekme özelliklerinin de arttırdığı gözlenmiştir. Ayrıca bu sonuçlar taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleriyle de desteklenmiştir [20].

Fu ve arkadaşları, ekstrüzyonla harmanlama ve enjeksiyonla kalıplama tekniklerini kullanarak kısa cam ve karbon elyaf takviyeli melez polipropilen karmaları hazırlamışlardır. Bu karmaların çekme özellikleri, bu iki çeşit kısa elyafın etkisi de göz önünde bulundurularak incelenmiştir. Yapılan çalışma sonucunda, karışımlardaki hacimce karbon elyaf miktarı arttıkça, çekme dayanımı ve modülünün arttığı ancak kopma uzaması değerinin azaldığı bununla birlikte hibrit karmaların kopma uzaması değerlerinin, karbon elyaf takviyeli karmaların kopma uzaması değerlerinden daha yüksek olduğu görülmüştür [21].

Li yaptığı bir başka çalışmada, poli(akrilonitril) temelli karbon elyaf yüzeylerini ozon modifikasyonu yöntemiyle modifiye etmiştir. Ardından karbon elyaf yüzeylerinin özelliklerini XPS yöntemiyle karakterize etmiştir. Karbon elyaf takviyeli PA6 karmaların ara yüzey özelliklerini ise tek lif çekme testi kullanarak incelemiştir. Sonuç olarak, yüzeyi ozon modifikasyonu ile işlem görmüş karbon elyaf ile hazırlanmış karmaların ara yüzey kayma dayanımı (interfacial shear strength) değerlerinin işlem görmemiş karbon elyaf ile hazırlanan karmaların ara yüzey kayma dayanımı değerlerine göre %60 daha fazla olduğu bulunmuştur. XPS sonuçları ise, ozonla modifiye edilmiş karbon elyaf yüzeylerindeki karboksil grup sayısının arttığını göstermiştir. Bu sonuçlar karbon elyaf ve PA6 arasındaki ara yüzey yapışmasının ozon işlemesi ile iyileştiğini göstermiştir [22].

Jang ve Lee yaptıkları çalışmada, karbon elyaf takviyeli poli(fenilen sülfür) (PPS) karmalarındaki ara yüzey yapışmasını arttırmayı amaçlamışlardır. Bunun için elyaf yüzeylerini, “düşük sıcaklık plazma” ve “silan bağlayıcı” yöntemleriyle modifiye etmişlerdir. Karbon elyaf takviyeli PPS karmaları için en uygun yüzey işleme şartlarına mekanik özellikler ve SEM yardımıyla karar verilmiştir. Sonuç olarak düşük sıcaklık plazma ve silan bağlayıcı işlemlerinin PPS ve karbon elyaf arasındaki ara yüzey yapışmasını arttırdığı ancak iki yöntemin bir arada kullanılmasının daha etkili bir sonuç yarattığı bulunmuştur [23].

Lee ve arkadaşlarının yaptığı bir çalışmada, pişirme etkisinin, saf PPS'nin ve yüzeyi epoksi ile ön kaplanmış karbon elyaf takviyeli PPS karmaların kristalizasyon oranları üzerine etkisi DSC kullanılarak incelenmiştir. PPS'nin pişme ısısının artan pişme sıcaklığıyla arttığı, yüzeyi epoksi ile ön kaplanmış karbon elyaf ile hazırlanan karmaların PPS'nin pişme davranışını etkilediği ve pişme derecesinin artmasıyla PPS'nin kristalizasyon oranının da arttığı bulunmuştur. Ayrıca karbon elyafın çekirdeklendirici gibi davranarak PPS'nin kristalizasyon oranını arttırdığı ancak

tamamen pişmiş PPS'in çekirdek bölgeler açısından doymuş olduğu için karbon elyafın çekirdeklenme üzerinde etkisinin az olduğunu gözlemişlerdir [24].

Zheng ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada, çift vidalı ekstruderde kısa karbon elyaf takviyeli poli(etilen 2,6-naftalat) (PEN) karmaları hazırlanmıştır. Karmaların yapısı, mekanik, reolojik özellikleri ve izotermal olmayan kristalizasyon kinetikleri SEM ve DSC ile incelenmiştir. Sonuçlar, artan karbon elyaf miktarıyla birlikte karmaların çekme dayanımı, young modülü ve darbe dayanımı değerlerinin arttığını göstermiştir. Çekme ve darbe dayanımındaki bu artış PEN matris ile karbon elyaf arasındaki etkileşimin iyi olduğu sonucunu ortaya koyar. Bununla birlikte eriyik haldeki karmaların karmaşık reolojik davranış gösterdiği görülmüştür. Viskoz aktivasyon enerjisi önce artmış daha sonra artan karbon elyaf miktarıyla azalmıştır. Bu da karbon elyaf içeren eriyiklerin süreç sıcaklığına duyarlılıklarının daha fazla olduğunu göstermiştir. Ayrıca karmalardaki kısa karbon elyafın çekirdeklendirici olarak davrandığı ve kristalinite oranını arttırdığı gözlenmiştir.[24]

3.1.1 Konuyla İlgili Bazı Çalışmalar

Kısa Karbon Fiber ile Güçlendirilmiş Naylon 6'nın Yorulma Hasarı Çekme Sürünme Özelliklerine Etkisi

Fiber takviyeli termoplastiğin çekme sürünme özellikleri düşük çevrimli yorulma hasar gerginliği, stres ve çevrim oranı etkisi incelenmiştir. Karakteristik akış eğrisi ve yorulma hasarı nedeniyle malzemeye mekanik bir model belirlenir ve önceden bilinen visko-plastik-elastik teoride bulunan veriler uygulanır. Lif takviyenin etkisi bir sürtünme kuvveti dağılım fonksiyonu kullanılarak tahmin edilmektedir.

Katkısız, Cam ve Karbon Fiber Takviyeli Naylon 6/6 Dişlilerin Sönümleme Özellikleri

Polimer tabanlı vitesler hareket iletim uygulamalarında yağsız koşullar altında bile çok hafif yük güç iletimi ve/veya gürültüsüz çalışması nedeniyle metal viteslerle değiştirilmektedir. Ses emilimi için esas sorumlu olan polimerin visko elastik davranışı kısa liflerin ilavesi ile değiştirilir. Fiber takviyesinin yüksek modülü polimer matrisli kompozitin toplam sönümleme özelliğini azaltır. Malzeme sönümlemesi, histerezis ısıtmanın yanı sıra, servis sırasında titreşim emme yeteneğini de etkiler. Dinamik mekanik analizde Katkısız Naylon 6 / 6,% 20 kısa cam ve% 20 Naylon 6 / 6 dişli

malzemeleri güçlendirilmiş karbon fiber liflerin eklenmesi nedeniyle sönümleme faktöründe azalma gösterir. Enjeksiyon kalıplarında yapılmış katkısız ve güçlendirilmiş malzemeler güç emme tipi dişli bir teçhizatla dayanıklılık açısından test edilmiştir. Test dişlileri ve dişli mesh bölgesi yakınlarında üretilen gürültü yüzey sıcaklığı sürekli olarak ölçülür ve kişisel bilgisayar tabanlı veri toplama sistemi kullanılarak izlenir. Test sonuçları katkısız vitesin katkılıya göre daha az gürültü yaptığı tespit edilmiştir.



4. DENEYSEL YÖNTEM

4.1 Malzemeler

Üretilen kompozit malzemelerde herhangi bir katkı maddesi kullanılmamış olup kompozitler yüzey işlemi uygulanmış karbon elyaf ve PA 6 belli oranlarda karıştırılarak hazırlanmıştır. Bu çalışmada amaç karbon elyaf gibi yüksek dayanımlı bir elyafın PA 6 özelliklerini nasıl değiştireceğinin bulunmasıdır.

4.1.1 Cam elyaf

Çalışmada Şişe Cam firması tarafından üretilen, silan kaplı, polyamid reçine uyumlu ve 4,5 mm kırılmış cam elyafı kullanılmıştır. Cam elyaf ticari olarak PA2(D) (polyamide takviyesi için direk kırılma elyaf) ismiyle temin edilebilmektedir.

Çizelge 4.1 Kullanılan cam elyaf özellikleri

Cam Tipi	E	Bağlayıcı Miktarı (%)	0,60 ± 0,15
Elyaf Çapı (μ)	Nom. 11	Akma Özellikleri	Çok iyi
Nem Miktarı (%)	Mak. 0,07	Reçine Uyumu	Polyamid
Bağlayıcı Türü	Silan	Kırılma Boyu (mm)	4,5

4.1.2 Karbon Elyaf

Çalışmanın ilk aşamasında kullanılan karbon elyaf DOWAKSA Firmasından alınmıştır, kullanılan elyafın özellikleri aşağıda verilmiştir.

Karbon elyaf PA'ler için uyumlu yüzey işlemi görmüş olarak tarafımıza gönderildi.



Şekil 4.1 Karbon Elyaf [16]

Çizelge 4.2. DowAksa Karbon Elyaf Özellikleri

	Metrik	
Gerilme Direnci	4200	MPa
Gerilme Modülü	240	GPa
Uzama	1,8	%
Yoğunluk	1,76	g/cm ³
Elyaf Uzunluğu	6	mm
Bağlayıcı Miktarı	1,5 – 3,0	%

Çalışmanın ikinci aşamasında kullanılan karbon elyaf Feddersen firması tarafından Almanya'dan temin edilerek tarafımıza ulaştırılmıştır. Kullanılan karbon elyafın özellikleri aşağıda verilmiştir.

Çizelge 4.3. Feddersen Karbon Elyaf Özellikleri

	Metrik	
Gerilme Direnci	4250	MPa
Gerilme Modülü	235	GPa
Uzama	1,8	%
Yoğunluk	1,76	g/cm ³
Elyaf Uzunluğu	6	mm
Bağlayıcı Miktarı	2,7	%

4.1.3 Poliamit 6

Çalışmamızda matris olarak kullandığımız Polyamid 6 Emaş firmasından temin edilmiştir. Kullanılan ürünün ticari ismi Nylem 6 naturel olarak geçmektedir. Ürün ile ilgili teknik bilgiler aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Çizelge 4.4 Kullanılan Pa 6 özellikleri

Yoğunluk	1,12 – 1,14	g/cm ³
Erime Sıcaklığı	220	°C
Viskozite	2,4 – 3,5	cm ³ /g
Çentikli Izod Darbe dayanımı	>8	KJ/m ²
HDT	70	°C
Modulus	1400 - 2800	MPa

4.2 Kullanılan Cihazlar

4.2.1 Ekstruder

Yalova üniversitesi, Polimer Mühendisliği tarafından özel olarak yaptırılan laboratuvar tipi, çift vidalı ekstruder çalışmanın ilk bölümünde hazırlanan cam ve karbon elyafli kompozitlerin hazırlanmasında ve saf PA 6'nın çekilmesinde kullanılmıştır.

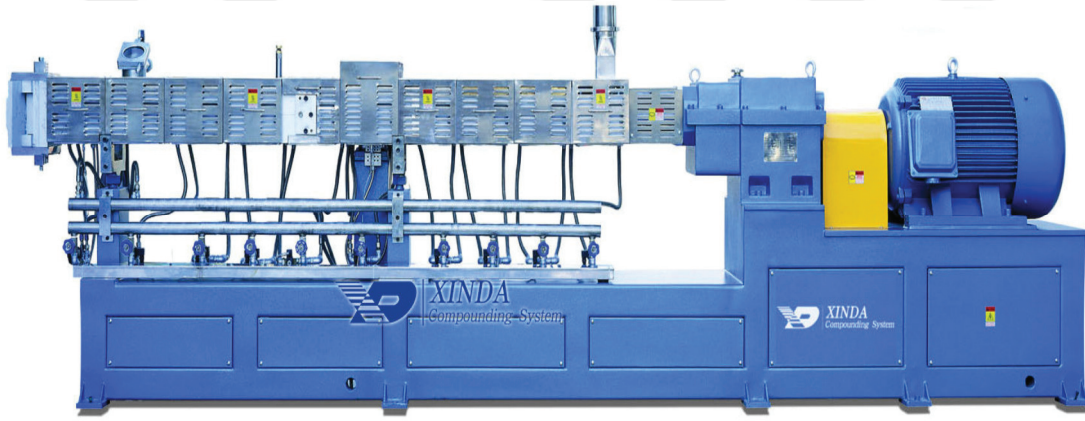
Bu ekstruder de 3 sıcaklı bölgesi bulunmakta ve farklı besleme hızlarında besleme yapılabilmektedir. Besleme hazırlanan PA – elyaf karışımlarının doğrudan verilmesi ile yapılmış, besleme hızı ise tork durumuna göre yavaşlatılıp hızlandırılmıştır. Sıcaklıklar 250 °C ile 280 °C civarında tork durumuna göre ayarlanarak üretimler gerçekleştirilmiştir.

Çalışma sırasında ekstruder ile granülatör arasındaki uyumsuzluklar nedeni ile üretim hızı 250 gr/sa civarında gerçekleştirilebilmiştir.



Şekil 4.2 İlk çalışmada kullanılan ekstruderler

Çalışmamın ikinci bölümünde üretilen karbon elyaf kompozitleri Fompak firmasının Kütahya tesisindeki ekstruderde üretilmiştir. Bu ekstruder **Tianhua Institute of Chemical Machinery and Automation** tarafından üretilmiş SHJ-75(H) model çift burgulu bir cihazdır.



Şekil 4.3. İkinci çalışmada kullanılan ekstruderler

4.2.2 Enjeksiyon

Çalışmamızda ürettiğimiz PA 6 – karbon elyaf kompozitleri ile test çubukları Fompak firmasının Kütahya tesisinde yer alan Haitain marka plastik enjeksiyon makinesi ile 260 °C eriğik sıcaklığı ve 70 °C kalıp sıcaklığında basılmıştır.



Şekil 4.4 Enjeksiyon cihazı [5].

4.2.3 Çekme – Kopma Test Cihazı

İlk aşamada üretilen kompozit malzeme ile hazırlanan test çubukları Yalova Üniversitesi Mekanik Test Laboratuvarında bulunan Zwick marka çekme test cihazı ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.5 Yalova Üniversitesi çekme test cihazı

Çalışmamızın ikinci aşamasında ürettiğimiz kompozitleri ile hazırlanan test çubuklarının çekme testlerini ise Fompak firması Bursa tesisindeki plastik laboratuvarında Zwick marka kabinli test cihazında gerçekleştirilmiştir.



Şekil. 4.6 Fompak çekme test cihazı

4.2.4 DSC Test Cihazı

DSC testlerinde de diğer testlerde olduğu gibi ilk aşama çalışmaları Yalova Üniversitesi laboratuvarında bulunan DSC test cihazı ile yapılmıştır. İkinci aşama çalışmaları için yapılan DSC testleri ise Fompak plastik laboratuvarındaki DSC cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.7 Yalova Üniversitesi DSC test cihazı



Şekil 4.8 Fompak DSC test cihazı

4.2.1 Darbe Test Cihazı

Yapılan darbe testlerinde Yalova Üniversitesi ve Fompak laboratuvarındaki Ceast marka darbe test cihazları kullanılmıştır



Şekil 4.9 Darbe test cihazı

4.2.2 Sertlik Test Cihazı

Çalışmanın ilk aşamasında sertlik ölçümleri yapılmış diğer aşamasında ile değişim yönünün bilindiğinden dolayı gerek görülmemiştir.



Şekil 4.10 Sertlik test cihazı

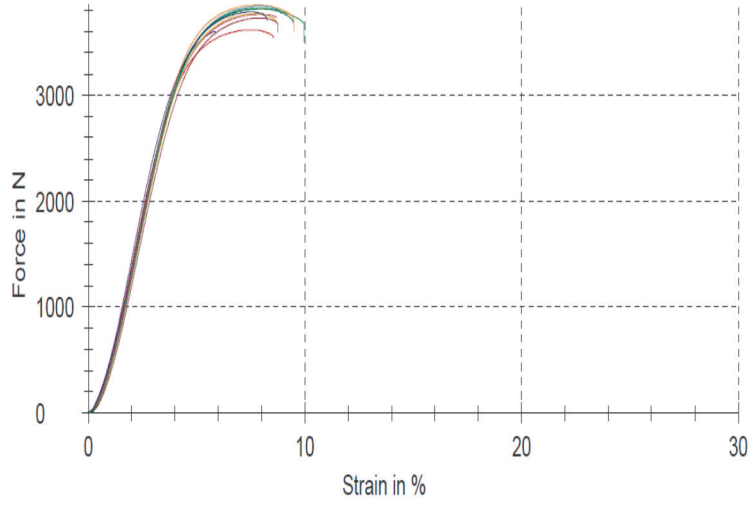
5. BULGULAR VE TARTIŞMA

Yapılan testlerde elde edilen değerler tek tek yorumlanarak hazırlanan kompozitlerin elyaf içerikleri ve çeşitleri göz önüne alarak karşılaştırılm. İlk test çekme testleri:

5.1 Çekme Testleri

Yalova üniversitesi mühendislik fakültesi mekanik laboratuvarında, Zwick marka çekme test cihazı ile yapılmıştır. Bu testlerde elde edilen sonuçlarda görüldü ki kompozitteki karbon elyaf miktarı arttıkça kopmaya karşı verdiği direnç o kadar artıyor. %5 karbon elyaf içeren kompozitte boyun oluşumu rahatlıkla gözlemlendi fakat yine karbon elyaf miktarı % 20'ye doğru artırıldığında boyun oluşumu görülmemeye ve kompozitlerin elastik şekil değiştirmenin hemen sonunda koptuğu gözlemlendi. Buradan da anlaşılacağı gibi karbon elyaf miktarı ile dayanım arttığı ve buna paralel olarak da kırılma hızında arttığı görülmüştür. Diğer bir ifade ile karbon elyaf miktarı ile % uzamanın azaldığı ve kırılma hızının arttığı görülmüştür. Bu sonuç gözlenmek istenen sonuçlardan biridir.

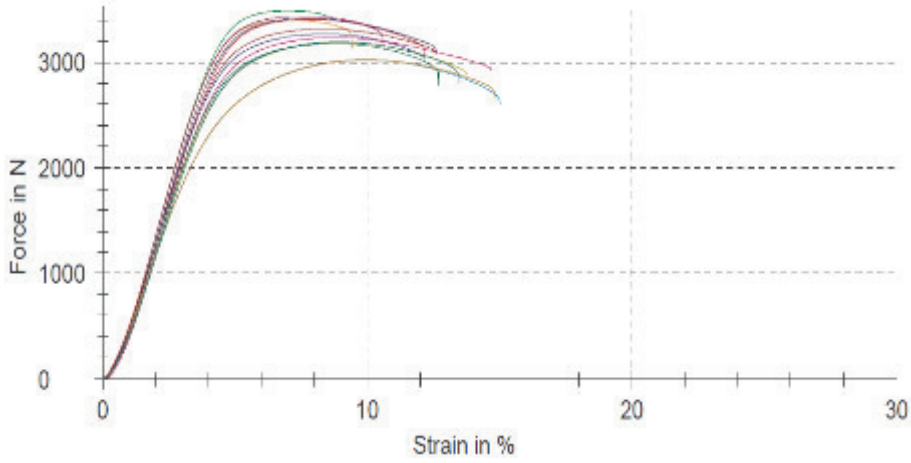
% 10 cam elyaf içeren kompozitle %10 karbon elyaf içeren kompoziti karşılaştırdığımızda karbon elyaf kompozitin çekme dayanımının gözle görülür oranda fazla olduğu fakat kırılma hızı ve % uzama olarak her iki kompozitinde birbirine yakın değerlerde olduğu gözlenmiştir.



Şekil 5.1 Çekme testi %20 Karbon Elyaf

Çizelge 5.1. Çekme Testi Sonuçları (%20 Karbon Elyaf)

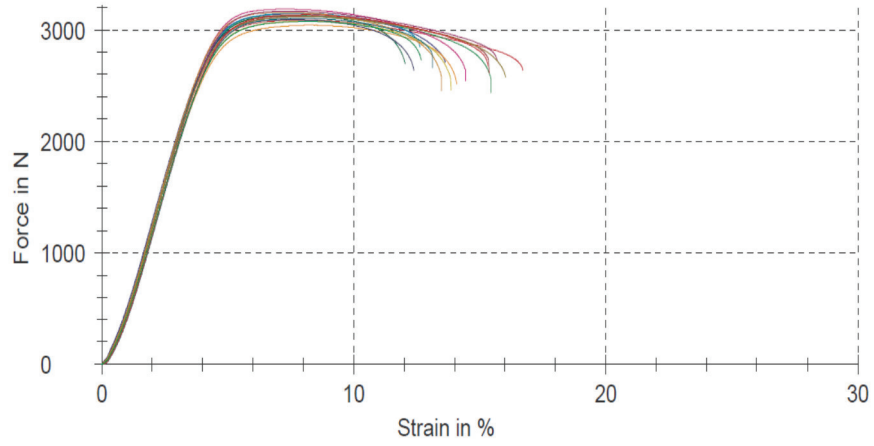
	Çekme Dayanımı	Uzama Miktarı	Darbe Dayanımı
% 20 KE	MPa	%	kJ/m ²
Sonuçlar	94,7	8,9	7,64 kJ/m ²



Şekil 5.2 Çekme testi %15 Karbon Elyaf

Çizelge 5.2. Çekme Testi Sonuçları (%15 Karbon Elyaf)

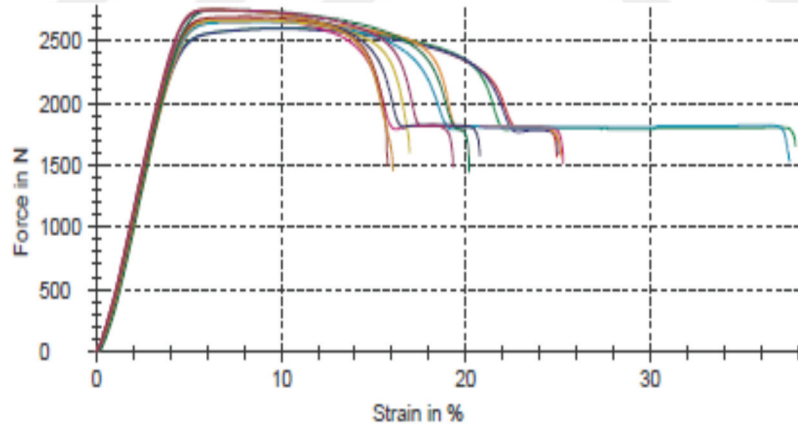
	Çekme Dayanımı	Uzama Miktarı	Darbe Dayanımı
% KE	MPa	%	kJ/m ²
Sonuçlar	84,6	12,1	7,15



Şekil 5.3 Çekme testi %10 Karbon Elyaf

Çizelge 5.3. Çekme Testi Sonuçları (%10 Karbon Elyaf)

	Çekme Dayanımı	Uzama Miktarı	Darbe Dayanımı
%10 KE	MPa	%	kJ/m ²
Sonuçlar	76,6	14,7	6,4

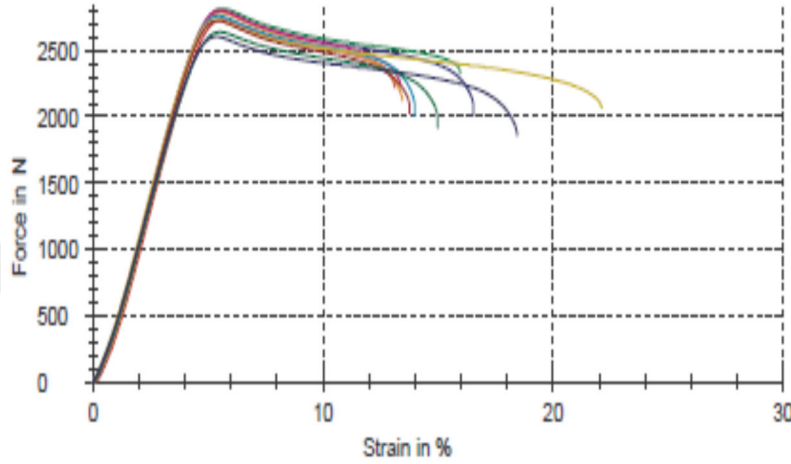


Şekil 5.4 Çekme testi %5 Karbon Elyaf

Çizelge 5.4. Çekme Testi Sonuçları (%5 Karbon Elyaf)

	Çekme Dayanımı	Uzama Miktarı	Darbe Dayanımı
%5 KE	MPa	%	kJ/m ²
Sonuçlar	64,6	34,9	5,64

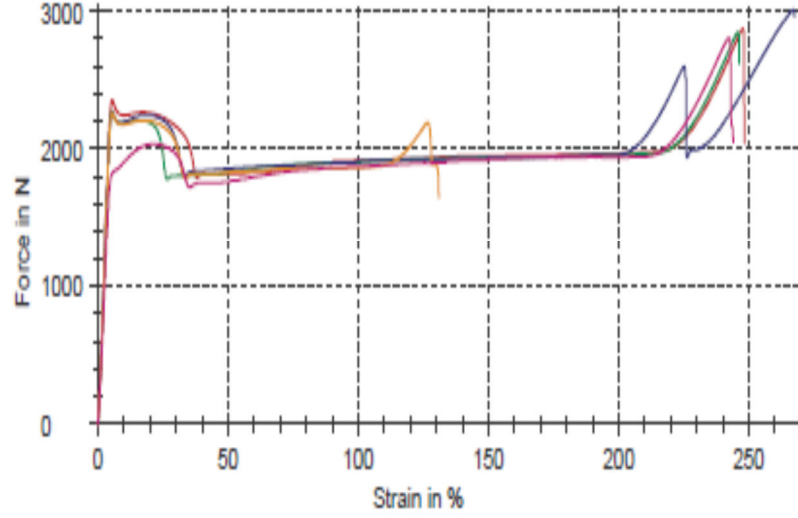
Saf PA ile kompozitleri karşılaştırdığımızda ise çekme dayanımında karbon elyafı ve cam elyafı kompozitlerin saf PA'ya oranla oldukça mukavim olduğu görüldü. Saf polimerden yapılan numunede uzamanın kompozitlere oranla çok daha fazla olduğu görüldü. Elyaf miktarı arttıkça uzama sıfıra yaklaşırken saf polimerde uzama % 200'ün üstüne çıkmıştır.



Şekil 5.5 Çekme testi %10 Cam Elyaf

Çizelge 5.5. Çekme Testi Sonuçları (%10 Cam Elyaf)

	Çekme Dayanımı	Uzama Miktarı	Darbe Dayanımı
%10 CE	MPa	%	kJ/m ²
Sonuçlar	67,6	16	5,28

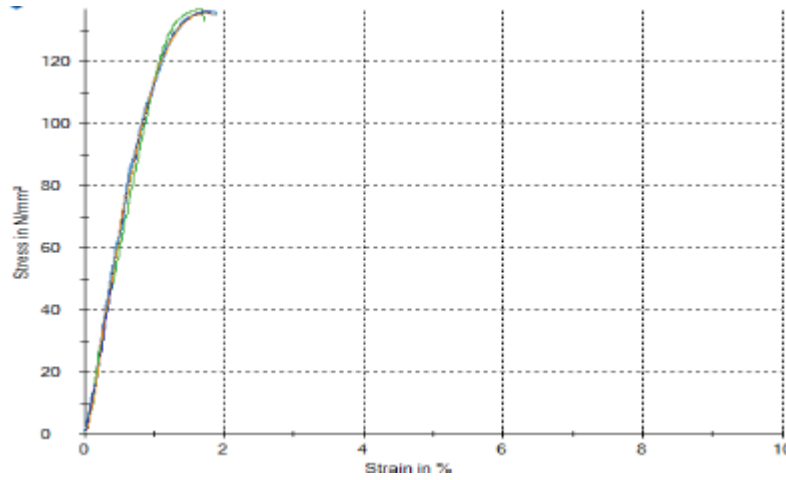


Şekil 5.6 Çekme testi PA 6

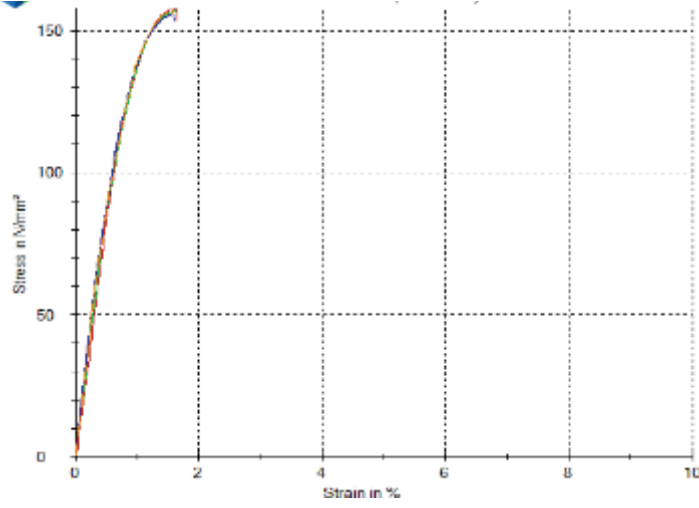
Çizelge 5.6. Çekme Testi Sonuçları

%0	Çekme Dayanımı	Uzama Miktarı	Darbe Dayanımı
	MPa	%	kJ/m ²
Sonuçlar	56,5	246,3	4,25

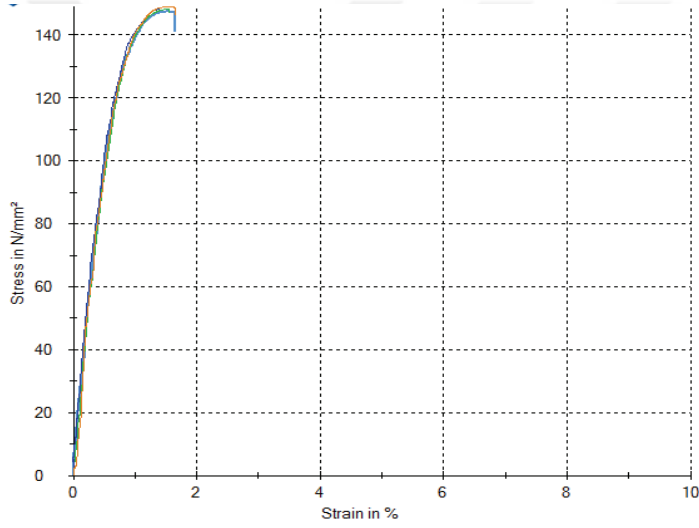
Yapılan doğrulama çalışmasında kullanılan karbon elyaf ile elde edilen çekme dayanımı sonucunun DowAksa firmasından alınana oranla çok daha yüksek olduğu görüldü. Testler Zwick marka test cihazı ile Fompak firması laboratuvarında yapıldı.



Şekil 5.7. %10 Karbon Elyaf İçeren PA



Şekil 5.8. %15 Karbon Elyaf İçeren PA



Şekil 5.9. %20 Karbon Elyaf İçeren PA

Çizelge 5.7. Doğrulama çalışması test sonuçları

%10 luk Karbon Elyaf		%15 luk Karbon Elyaf		%20 luk Karbon Elyaf	
Çekme Muk.	136 N/mm ²	Çekme Muk.	157 N/mm ²	Çekme Muk.	148 N/mm ²
Kopma Uzama	1,70%	Kopma Uzama	1,60%	Kopma Uzama	1,50%
Darbe	4,9 kJ/m ²	Darbe	6 kJ/m ²	Darbe	8,3 kJ/m ²

5.2 Darbe Testleri

Yalova üniversitesinde yapılan darbe testlerinde, numunelere 2mm derinliğinde çentik açılmış ve testler gerçekleştirilmiştir, testlerin sonuçları tablolarda verilmiştir.

Darbe testlerinde elde edilen sonuçlarda kompozitlerin darbe dayanımlarının doğrusal olarak değişmediği görülmüştür. Numunelerde karbon elyaf miktarı % 10'a gelene kadar absorplanan enerjinin arttığı fakat daha sonra azaldığı görülmüştür. Çekme testlerinde bahsedildiği gibi karbon elyaf miktarı arttıkça kırılma enerjisi artmıştır. Ayrıca cam elyaf katkılı numunenin aynı oranda karbon elyaf katkılı numuneye oranla darbe dayanımının çok daha az olduğu görülmüştür. % 10'luk oranda maksimum olan darbe dayanımı %15'te azalmış fakat %20'lik kompozitte tekrar arttığı görülmüştür. Saf PA numunede ise darbe dayanımı cam ve karbon elyafla hazırlanan kompozitlere göre; cam elyafli kompozitten daha yüksek darbe dayanımı olmasına rağmen karbon elyafli kompozitlerden daha düşük olduğu gözlemlendi.

Aynı koşullarda Fompak Firması laboratuvarında yapılan doğrulama testinde çekme mukavemetinde olduğu gibi darbe değerlerindeki Dow Aksa'dan alınan karbon elyaftan daha yüksek çıkmıştır

5.3 Sertlik Testleri

Shore sertlik cihazı ile yapılan testlerde, numunelerde sertliğin karbon elyaf miktarı arttıkça arttığı fakat belli bir seviyeden sonra sertliğin azalmasının yok denecek kadar azaldığı görülmüştür. Ayrıca cam elyafla hazırlanan kompozitin aynı oranda karbon elyafla hazırlanan kompozite göre çok az bir oranda da olsa daha sert olduğu görülmüştür. Yani karbon elyafın kompozite verdiği sertlik cam elyafa oranla daha azdır. Bunun başlıca nedeni cam elyafın daha sert olmasıdır fakat bu sertlik aynı zamanda kırılma enerjisi de arttırmıştır.

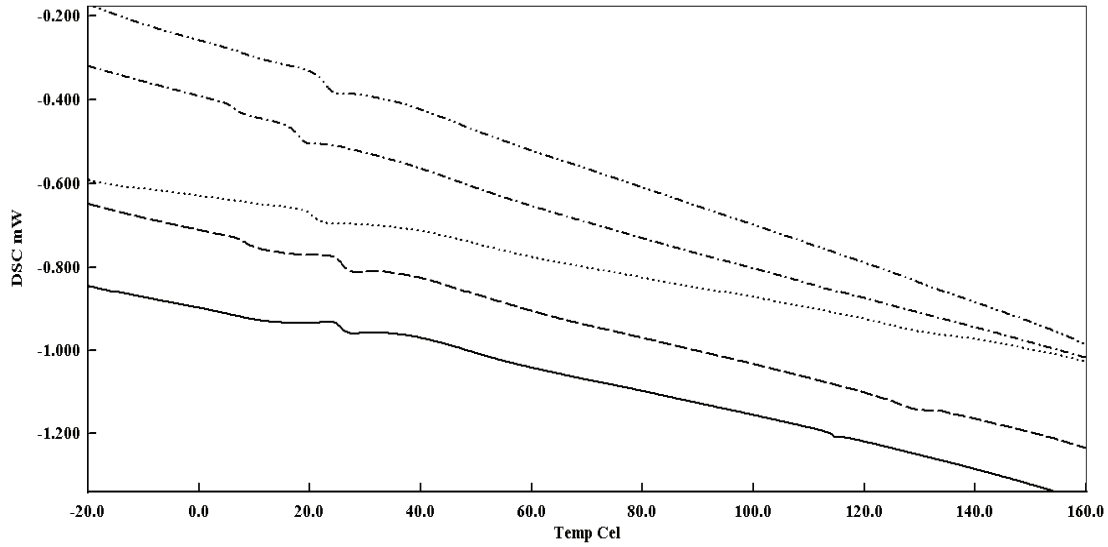
PA 6 her ne kadar sert bir polimer olsa da elyaflarla hazırlanan kompozitlerin sertliğine oranla çok daha azdır. Yukarıda da belirttiğim gibi cam elyafla hazırlanan kompozitlerin daha sert olduğu tespit edilmiştir.

5.4 DSC Testleri

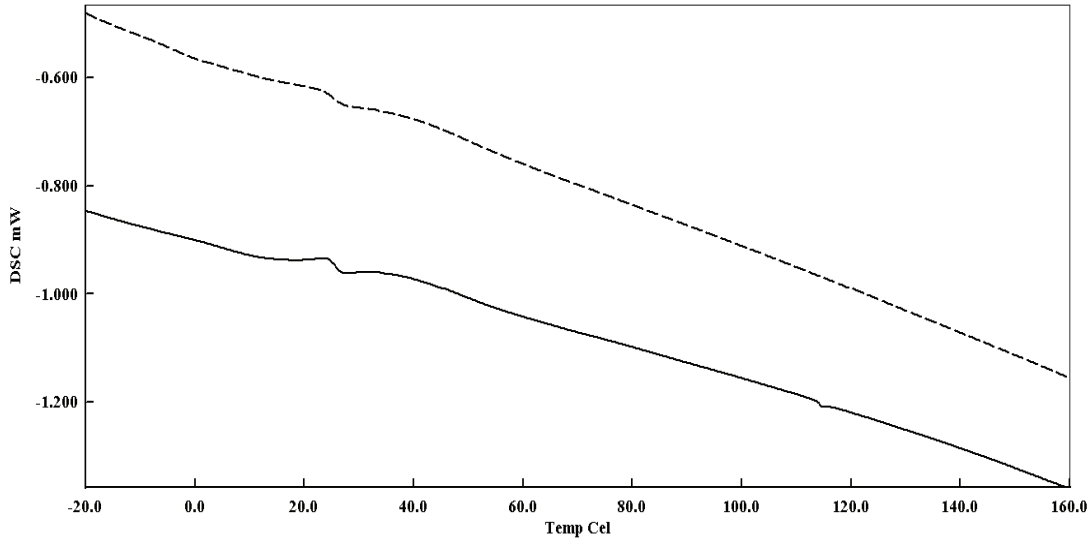
Yalova üniversitesinde yapılan testlerde karbon elyaf miktarı arttıkça kompozitlerin ısı özelliklerinin de mekanik özellikleri gibi iyileştiği görülmüştür. Karbon elyaf miktarı arttıkça kompozitin kristalleme sıcaklığı düşerken, degradasyon sıcaklığı

artığı yani ısıya karşı dayanımının arttığı görülmüştür. Buda gösteriyor ki karbon elyafın ısı özellikleri mekanik özelliklerinde olduğu gibi hazırlanan kompozite aktarılmıştır.

Cam elyafı hazırlanan kompozitte ise karbon elyafı olduğu gibi mekanik özelliklerin yanında ısı özelliklerinde arttığı görülmüştür. Hazırlanan kompozitte DSC sonuçlarında beklenenin aksine cam elyafı hazırlanan kompozitin ısı özelliklerinin aynı oranda hazırlanan karbon elyafı kompozite oranla daha iyi çıkmıştır.



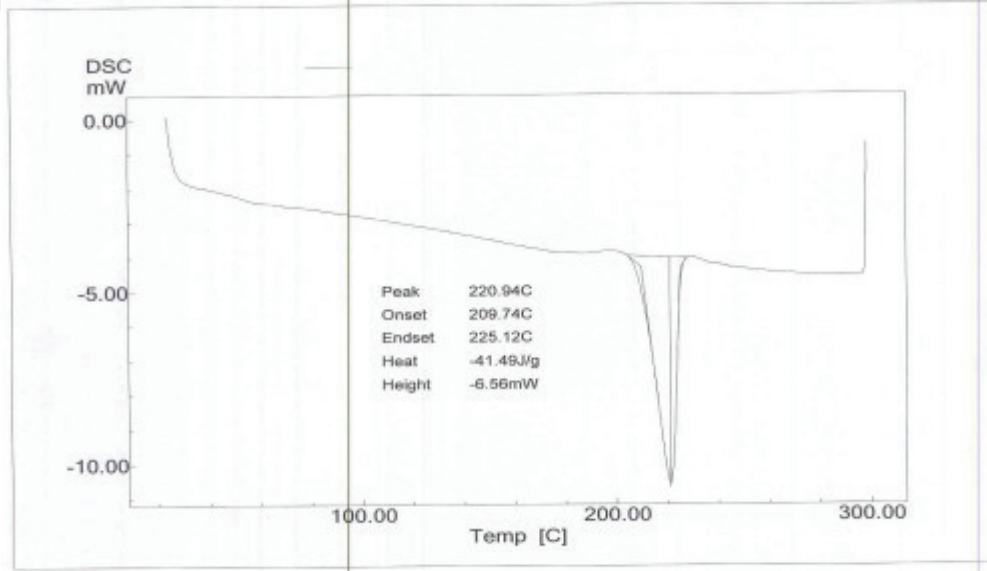
Şekil 5.10. Karbon Elyaf Sonuçları *a) Düz Çizgi PA 6 b) Çizgi Çizgi %5 c) Nokta d) Nokta %10 e) Nokta Çizgi %15 f) Nokta Nokta Çizgi %20*



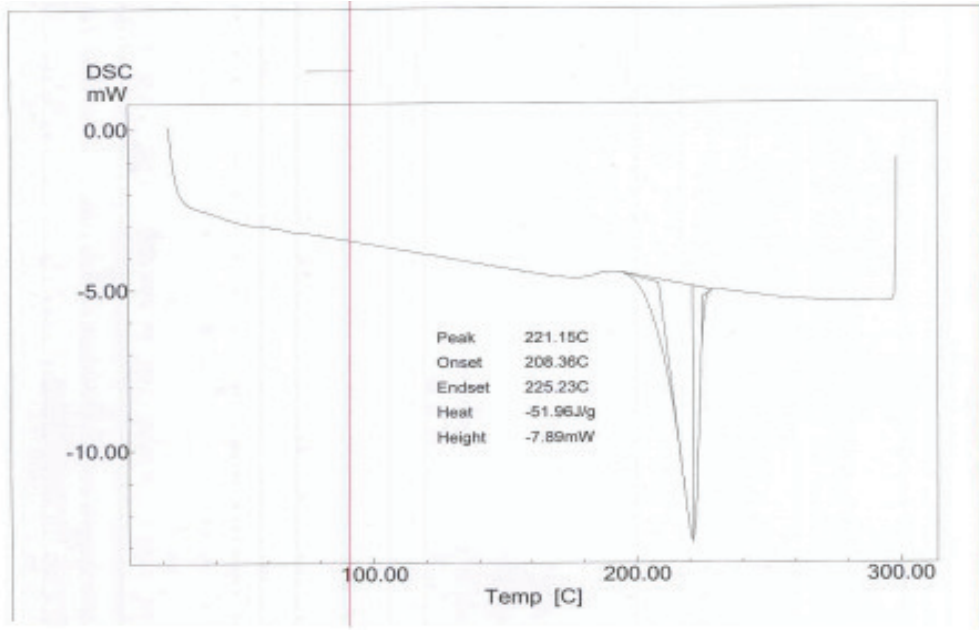
Şekil 5.11 PA 6 ve PA6 / Cam elyaf DSC sonuçları
(Düz Çizgi PA 6 - Kesikli Çizgi %10 CE)

Saf PA 6 numunesinde kristallenme sıcaklığı 26°C civarında gözlenmiş fakat karbon elyafın artması ile kristallenme sıcaklığı da azalmıştır, karbon elyaf miktarı %15'e çıktığında kristallenme sıcaklığı da 17°C'ye kadar düştüğü görülmüştür. Fakat karbon elyaf miktarı %20 olduğunda kristallenme sıcaklığı 22°C civarına çıkmasına rağmen bozunma ısısı % 15'e göre daha yüksek olduğu görülmüştür.

Karşılaştırma amaçlı yapılan 2. Çalışmada da aynı sonuç gözlenmiştir. Örneklerdeki karbon elyaf miktarının artışı kristallenme sıcaklığının düşmesine neden olmaktadır. Bu nedenle oda koşullarında kompozit malzeme saf polimere oranla daha serttir. Ayrıca son çalışmada bu etkinin daha fazla olduğu ve kristallenme ve degradasyon arasındaki sıcaklık farkının daha da arttığı gözlenmiştir.



Şekil 5.12. %20 Karbon Elyaf İçeren PA



Şekil 5.13. %10 Karbon Elyaf İçeren PA

Sonuç olarak yapılan çalışmada görüldü ki elyaf ile hazırlanan kompozitlerin mekanik ve ısıl değerleri saf polimere oranla oldukça iyileşmekte ve cam elyaf ile karbon elyaf karşılaştırıldığında ise karbon elyaf PA kompozitlerin ısıl ve mekanik özelliklere olan iyileştirici etkisinin çok daha iyi olduğu görülmüştür. Karbon elyafın cam elyafa göre dezavantajı daha pahalı olması, daha az miktarda üretilmesi (dünyada 10 ülke) ve üretilen kompozitlerin yalnızca siyah renkte olmasıdır.

Kompozitlerin üretimi ve işlenmesi sırasında bazı hatalar meydana gelmiş ve bu hatalar elde edilen sonuçlara doğrudan ya da dolaylı olarak etki etmiş olabilir. Bu sorunların başında gelen ve en önemlisi nem sorunudur. Bilindiği gibi PA oldukça nem tutabilen bir polimerdir ve işlenmeden önce en az 4 saat etüvde kurutulması gerekmektedir. Deneyler sırasında kurutma işlemi yapılmış olmasına rağmen ekstrüderin üretim kapasitesinin düşük olması nedeniyle 1-2 kg arası polimerin işlenmesi 1 günü bulabilmektedir. Üretim esnasında PA nem almış olabilir. Bunun dışında karbon elyaf PA kompozitlerin sanayide henüz kullanılmaya başlamamış olması enjeksiyon ve ekstrüder parametrelerinin diğer çalışmalar referans alınarak ayarlanmasına neden olmuştur ve bu sıcaklıklar tork, basınç gibi parametreler göz önüne alınarak stabil hale getirilmeye çalışılmıştır bu ayarlamalar sırasındaki değişimler kompozitin özelliklerine etki etmiş olabilir.

Diğer bir taraftan farklı bir karbon elyaf ile yapılan testlerin daha uygun çıkmasından dolayı ilk çalışmada kullanılan karbon elyafların yüzey işlemlerinin daha iyi yapıldığı sonucuna da ulaşılabilir. İlk çalışmada ticari olarak çok fazla üretilmeyen araştırma çalışmalarında kullanılan bir karbon elyaf kullanılmış ve temi edilen karbon elyaf için kesin bir sonuç taahhüt edilmemişti. Feddersen firmasından alınan karbon elyaflar ise genel olarak BMW marka araçlarda kullanılan termoplastik kompozitler için üretilmiş ve yüksek mekanik değerler taahhüt eden bir malzemeydi. Bununla birlikte malzemelerin üretildiği proses ilk çalışmaya göre daha uygun bir prosesti. Kullanılan ekstruder seri üretim şartlarında tasarlanmış çift vidalı ve saatlik maksimum üretim kapasitesi 600 kg/saat, özel besleme sistemi olan bir ekstrüderdi. Buradan çıkılacak sonuç ise karbon elyafın doğru yüzey işlemi ve doğru proses ile PA 6 kompozitlerde yüksek mekanik ve ısı değerler sağlayarak, otomotiv ve diğer sektörlerde güvenle kullanılabilir.



6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan çalışmalarda, elyaflar ile hazırlanan kompozitlerin mekanik ve ısıl değerleri saf polimere oranla oldukça iyileşmekte ve cam elyaf ile karbon elyaf karşılaştırıldığında ise karbon elyaf PA kompozitlerin ısıl ve mekanik özelliklere olan iyileştirici etkisinin çok daha yüksek olmaktadır. Karbon elyafın cam elyafa göre dezavantajı daha pahalı olması, daha az miktarda üretilmesi (dünyada 10 ülke) ve üretilen kompozitlerin yalnızca siyah renkte olmasıdır.

Kompozitlerin üretimi ve işlenmesi sırasında bazı hatalar meydana gelmiş ve bu hatalar elde edilen sonuçlara doğrudan ya da dolaylı olarak etki etmiş olabilir. Bu sorunların başında gelen ve en önemlisi nem sorunudur. Bilindiği gibi PA oldukça nem tutabilen bir polimerdir ve işlenmeden önce en az 4 saat etüvde kurutulması gerekmektedir. Deneyler sırasında kurutma işlemi yapılmış olmasına rağmen ekstrüderin üretim kapasitesinin düşük olması nedeniyle 1-2 kg arası polimerin işlenmesi 1 günü bulmakta ve bu nedenle üretim esnasında PA nem almış olabilir. Bunun dışında karbon elyaf PA kompozitlerin sanayide henüz kullanılmaya başlamamış olması enjeksiyon ve ekstrüder parametrelerinin diğer çalışmalar referans alınarak ayarlanmasına özelliklerin değişmesine neden olmuş ve kullanılan sıcaklıklar tork, basınç gibi parametreler göz önüne alınarak stabil hale getirilmeye çalışılmıştır bu ayarlamalar sırasındaki değişimler kompozitin özelliklerine etki etmiş olabilir.

Diğer bir taraftan farklı bir karbon elyaf ile yapılan testlerin daha uygun çıkmasından dolayı ilk çalışmada kullanılan karbon elyafların yüzey işlemlerinin daha iyi yapılmadığı sonucuna da ulaşılabılır. İlk çalışmada ticari olarak çok fazla üretilmeyen araştırma çalışmalarında kullanılan bir karbon elyaf kullanılmış ve temin edilen karbon elyaf için kesin bir sonuç taahhüt edilmemişti. Feddersen firmasından alınan karbon elyaflar ise genel olarak BMW gibi üst segment araç üreten markalarda kullanılan termoplastik kompozitler için üretilmiş ve yüksek mekanik değerler taahhüt eden bir malzemeydi. İki firmadan da temin edilen karbon elyafların mekanik değerleri birbirine yakın olmasına rağmen elde edilen sonuçlar bunun bir göstergesidir. Bununla birlikte malzemelerin üretildiği proses ilk çalışmaya göre daha uygun bir prosesti.

Kullanılan ekstruder seri üretim şartlarında tasarlanmış çift vidalı ve saatlik maksimum üretim kapasitesi 600 kg/saat, özel besleme sistemi olan bir ekstrüderdi. Burada kullanılan ekstruder için vida boyuda önemlidir. Vidanın boyunun çapına oranı (L/D) doğrudan polimerin ekstruder içinde kalma süresini etkilemektedir. Bu da proses sırasında malzemenin ısıya maruz kalma süresini yani degradasyon miktarını etkileyebilmektedir.

Ayrıca hazırlanan numunelerin testlerinde elde edilen sonuçlar malzemeler kısmında da belirttiğim gibi kompozitlerin sadece elyaf ve Pa 6'dan hazırlanmasından dolayı her ne kadar yüksek olsada olması gerekenden düşüktür. Endüstriyel amaçlı üretilen kompozitlerde kullanılan katkı maddeleri kompozitin mekanik ve ısıl değerlerini oldukça arttırabilmektedir. Darbe arttırıcılar, kristallendiriciler, anti-oksidanlar gibi birçok katkı mekanik ve ısıl değerleri oldukça iyileştirmektedir. Bunun dışında proses sırasında dış ve iç kaydırıcılar eklenerek proses koşullarında iyileştirilebilmektedir.

Buradan çıkılacak sonuç ise karbon elyafın doğru yüzey işlemi, doğru proses ve eklenecek katkı ile PA 6 kompozitlerde yüksek mekanik ve ısıl değerler sağlayarak, otomotiv ve diğer sektörlerde güvenle kullanılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] **Mazumdar, S., K.**, “Composites Manufacturing - Materials, Product, and Process Engineering”, CRC Press, 20-73, (2002).
- [2] **Todd, D., B.**, “Functional Fillers for Plastics”, Xanthos, M., Wiley-VCH Verlag GmbH&Co KGaA, 1-16, 39-55, (2005).
- [3] **Campbell, F., C.**, “Manufacturing Processes for Advanced Composites”, Elsevier Ltd., 2-100, (2004).
- [4] **Miracle D., B.**, “ASM Handbook”, Volume 21, ASM International, 39-67, (2001).
- [5] **Mark, H., F.**, “Encyclopedia of Polymer Science and Technology”, John Wiley & Sons, Inc., 497-508, (2004).
- [6] **Baird, D., G.**, “Encyclopedia of Physical Science and Technology”, Third Edition, Elsevier Science Ltd., 621-640, (2001).
- [7] **Vegt, A., K.**, “From Polymers to Plastics”, Delft University Press, 205-213, (2002).
- [8] **Rauwendaal, C.**, “Polymer Extrusion”, Hanser Gardner Publications, Inc., 4th Edition, 11-33, (2001).
- [9] **DSM Xplore**, “Micro Processing Products”, http://www.xploretogether.com/15ml_compounder.htm, (Ziyaret tarihi: 15 Eylül 2010).
- [10] **Ebewele, R., O.**, “Polymer Science and Technology”, CRC Press LLC, 290- 316, (2000).
- [11] **Nairn, J., A.**, “Polymer Characterization”, Materials Science and Engineering 5473, 127-138, (2003).
- [12] **Callister, W., D.**, “Materials Science and Engineering”, John Wiley & Sons Inc., 100-101, (2007).
- [13] **Bindell, J., B.**, “Encyclopedia of Materials Characterization”, Brundle, C., R., Evans, C., A., and Wilson, S., Butterworth-Heinemann, 70-84, (1992).
- [14] **Saçak, M.**, “Polimer Teknolojisi”, Gazi Kitapevi, 97-134, (2005).
- [15] **Rezaei, F., Yunus, R., Ibrahim, N., A.**, “Development of Short Carbon Fiber Reinforced Polypropylene Composite for Car Bonnet”, Polymer-Plastics Technology and Engineering, 47, 351-357, (2008).
- [16] **Rezaei, F., Yunus, R., Ibrahim, N., A.**, “Effect of Fiber Length on Thermomechanical Properties of Short Carbon Fiber Reinforced Polypropylene Composites”, Materials and Design, 30, 260-263, (2009).
- [17] **Rezaei, F., Yunus, R., Ibrahim, N., A., Mahdi, E., S.**, “Effect of Fiber Loading and Fiber Length on Mechanical and Thermal Properties of Short Carbon Fiber Reinforced Polypropylene Composite”, The Malaysian Journal of Analytical Sciences, Vol. 11, No.1, 181-188, (2007).
- [18] **Li, J.**, “The Research on the Interfacial Compatibility of Polypropylene Composite Filled with Surface Treated Carbon Fiber”, Applied Surface Science, 255, 8682-8684, (2009).
- [19] **Li, J., Sun, F., F.**, “The Effect of Maleic Anhydride Graft on the Interfacial Adhesion of Carbon Fiber Reinforced Thermoplastic Polystyrene

- Composite”, *Journal of Composite Materials*, Vol.43, No.23, 2716-2725, (2009).
- [20] **Li, J., Zhang, Y., F.**, “The Tensile Properties of HNO₃-treated Carbon Fiber Reinforced ABS/PA6 Composites”, *Surface and Interface Analysis*, 41, 610-614, (2009).
- [21] **Fu, S., Y., Lauke, B., Mäder, E., Yue, C., Y., Hu, X., Mai, Y., W.**, “Hybrid Effects on Tensile Properties of Hybrid Short-Glass-Fiber and Short-Carbon-Fiber Reinforced Polypropylene Composites”, *Journal of Materials Science*, 36, 1243- 1251, (2001).
- [22] **Li, J.**, “Interfacial Studies on the O₃ Modified Carbon Fiber Reinforced Polyamide 6 Composites”, *Applied Surface Science*, 255, 2822-2824, (2008).
- [23] **Jang, J., Lee, N., J.**, “Interfacial Study and Performance Improvement of Carbon Fiber/Poly(phenylene sulfide) Composite”, *Polymer (Korea)*, Vol.18, No.4, 591-601, (1994).
- [24] **Lee, K., H., Park, M., Young, C., K., Choe, C., R.**, “Crystallization Behavior of Polyphenylene Sulfide (PPS) and PPS/Carbon Fiber Composites:Effect of Cure”, *Polymer Bulletin*, 30, 469-475, (1993).
- [25] **Zheng, L., J., Qi, J., G., Liu, D., Zhou, W., F.**, “Studies on the Phase Structure, Mechanical, Rheological Properties, and Nonisothermal Crystallization Kinetics of the Pen/Scf Composites”, *Journal of Applied Polymer Science*, Vol.112, 3462-3469, (2009).
- [26] **Sekizinci Bes Yıllık Kalkınma Planı**, “Plastik Ürünleri Sanayii Özel Dhtisas Komisyonu,Raporu”,<http://ekutup.dpt.gov.tr/imalatsa/plastik/oik563.pdf>, (Ziyaret tarihi:20 Eylül 2012)
- [27] **Morgan, P.**, “Carbon Fibers and Their Composites”, Taylor&Francis Group, LLC., 501-549, (2005).
- [28] **European Commision**, “Reference Document on Best Available Techniques in the Production of Polymers”, <http://eippcb.jrc.es.>, (Ziyaret tarihi: 2013)
- [29] **Ren, X., Wang, X., Q., Sui, G., Zhong, W., H., Fuqua, M., A., Ulven, C., A.**, “Effects of Carbon Nanofibers on Crystalline Structures and Properties of Ultrahigh Molecular Weight Polyethylene Blend Fabricated Using Twin-Screw Extrusion, *Journal of Applied Polymer Science*, Vol.107, 2837-2845, (2008).
- [30] **Lozano, K., Barrera, E., V.**, “Nanofiber-Reinforced Thermoplastic Composites. I. Thermoanalytical and Mechanical Analyses”, *Journal of Applied Polymer Science*, Vol.79, 125-133, (2001).
- [31] **Velasco, J., I., De Saja, J., A., Martinez, A., B.**, “Crystallization Behavior of Polypropylene Filled with Surface-Modified Talc”, *Journal of Applied Polymer Science*, Vol.61, 125-132, (1996).
- [32] **Ozkoc, G., Bayram, G., Bayramli, E.**, “Short Glass Fiber Reinforced ABS and ABS/PA6 Composites: Processing and Characterization”, *Polymer Composites*, 26, 745-755, (2005).
- [33] **Zhou, H., Qian, Z., Meng, X., Ding, Y., Zhang, S., Yang, M.**, “Fiber Breakage and Dispersion in Carbon Fiber reinforced Nylon 6/Clay Nanocomposites”, *Journal of Applied Polymer Science*, Vol.106, 1751-1756, (2007).
- [34] **Stockie, J., M.**, “Simulating the Motion of Flexible Pulp Fibres Using the Immersed Boundary Method”, *Journal of Computational Physics*, (1998).

- [35] Gupta, V., B., Mittal, R., K., Sharma, P., K., “Some Studies on Glass Fiber reinforced Polypropylene. Part I: Reduction in Fiber Length During Processing”, *Polymer Composites*, Vol.10, No.1, 8-15, (1989).
- [36] Suresha, B., Ravi Kumar, B., N., Venkataramareddy, M., Jayaraju, T., “Role of Micro/Nano Fillers on Mechanical and Tribological Properties of Polyamide 66/Polypropylene Composites”, *Materials and Design*, 31, 1993-2000, (2010)
- [37] Fu, S., Y., Lauke, B., Mäder, E., Yue, C., Y., Hu, X., “Tensile Properties of Short Glass Fiber and Short Carbon Fiber Reinforced Polypropylene Composites”, *Composites: Part A*, 31, 1117-1125, (2000)
- [38] Li, J., Cai, C., L., “The Carbon Fiber Surface Treatment and Addition of PA6 on Tensile Properties of ABS Composites”, *Current Applied Physics*, 11, 50-54, (2011).
- [39] Ludueña, L., N., Vazquez, A., Alvarez, V., A., “Crystallization of Polycaprolactone-Clay Nanocomposites”, *Journal of Applied Polymer Science*, Vol.109, 3148-3156, (2008).
- [40] Costa, H., M., Ramos, V., D., Oliveira, M., G., “Degradation of Polypropylene (PP) During Multiple Extrusions: Thermal Analysis, Mechanical Properties and Analysis of Variance”, *Polymer Testing*, 26, 676-684, (2007).



ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Kadir ÇATAK

Doğum Yeri ve Tarihi: Bursa – 07/07/1983

Adres: Kurtuluş Mah. 1. Sok. No:6 Balkan Evleri A Blok D:7
Nilüfer/BURSA

Tel: 0 555 358 36 47

E-Posta: kadircatak16@gmail.com

Lisans: Gazi Üniversitesi – Kimya Mühendisliği - 2006

Mesleki Deneyim ve Ödüller:

- Bimaks Su Islah Kimyasalları – Üretim Mühendisi – 2008-2013
- Emaş Plastik – Üretim Sorumlusu – 2013 – 2014
- Fompak Ambalaj ve Poliüretan San ve Tic. – Ar-Ge Uzmanı 2014 - ...

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR/SUNUMLAR

- **Çatak K.**, Yıldırım H., 2014: Fonksiyonlanmış ve Silanlanmış Pa 6 – Karbon Elyaf Kompozitlerin Isıl ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, *IV Fiziksel Kimya Günleri – Pamukkale Üniversitesi*, 05-08 Haziran 2014. Denizli, Türkiye.