

**BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
SAVUNMA TEKNOLOJİLERİ VE SİSTEMLERİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS PROGRAMI**

**PLASTİK ENJEKSİYON YÖNTEMİYLE ÜRETİLEN FARKLI
ORANLARDA CAM FİBER TAKVİYELİ POLİMERLERİN
MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

**HAZIRLAYAN
ELİF NAZ YILDIZ GENÇSOY**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ANKARA -2022

BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
SAVUNMA TEKNOLOJİLERİ VE SİSTEMLERİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS PROGRAMI

PLASTİK ENJEKSİYON YÖNTEMİYLE ÜRETİLEN FARKLI
ORANLARDA CAM FİBER TAKVİYELİ POLİMERLERİN
MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

HAZIRLAYAN
ELİF NAZ YILDIZ GENÇSOY

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TEZ DANIŞMANI
EBRU SARALOĞLU GÜLER

ANKARA -2022

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Savunma Teknolojileri ve Sistemleri Anabilim Dalı, Savunma Platformları Tezli Yüksek Lisans Programı çerçevesinde Elif Naz Yıldız Gençsoy tarafından hazırlanan bu çalışma, aşağıdaki jüri tarafından Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Savunma Tarihi: 26 / 10 / 2022

Tez Adı: Plastik Enjeksiyon Yöntemiyle Üretilen Farklı Oranlarda Cam Fiber Takviyeli Polimerlerin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi

Tez Jüri Üyeleri (Unvanı, Adı- Soyadı, Kurumu)

İmza

Dr. Öğr. Üyesi Ayşe Çağıl Kandemir TED Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Özgür Erol Başkent Üniversitesi

Doç. Dr. Ebru Saraloğlu Güler Başkent Üniversitesi

ONAY

Prof.Dr.Faruk Elaldı

Enstitüsü Müdürü

Tarih: ... / ... / 2022

BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZ ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU

Tarih: 4 /11/2022

Öğrencinin Adı, Soyadı: Elif Naz Yıldız Gençsoy

Öğrencinin Numarası: 21910350

Anabilim Dalı: Savunma Teknolojileri ve Sistemleri

Programı: Savunma Platformları

Danışmanın Unvanı/Adı, Soyadı: Doç. Dr. EBRU SARALOĞLU GÜLER

Tez Başlığı: Plastik Enjeksiyon Yöntemiyle Üretilen Farklı Oranlarda Cam Fiber Takviyeli Polimerlerin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi

Yukarıda başlığı belirtilen Yüksek Lisans tez çalışmamın; Giriş, Ana Bölümler ve Sonuç Bölümünden oluşan, toplam 47 sayfalık kısmına ilişkin, 4/11/2022 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından Turnitin adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı %4 'dür. Uygulanan filtrelemeler:

1. Kaynakça hariç
2. Alıntılar hariç
3. Beş (5) kelimedenden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç

“Başkent Üniversitesi Enstitüleri Tez Çalışması Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılması Usul ve Esaslarını” inceledim ve bu uygulama esaslarında belirtilen azami benzerlik oranlarına tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Öğrenci İmzası:

ONAY

Tarih: ... / ... / 2022

Doç. Dr. EBRU SARALOĞLU GÜLER

TEŞEKKÜR

Sayın Doç. Dr. EBRU SARALOĞLU GÜLER'e (tez danışmanı), çalışmanın sonuca ulaştırılmasında ve karşılaşılan güçlüklerin aşılmasında her zaman yardımcı ve yol gösterici olduğu için...

Baran Ev ve Yapı Aksesuarları Otomotiv Sanayi Tic. Firma Kurucusu, Ahmet Baran'a sağladığı imkânlar ve yardımları için teşekkür ederim.

ÖZET

Elif Naz YILDIZ GENÇSOY

**Plastik Enjeksiyon Yöntemiyle Üretilen Farklı Oranlarda Cam Fiber Takviyeli
Polimerlerin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi**

Başkent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Savunma Teknolojileri Ve Sistemleri Anabilim Dalı

2022

Plastik enjeksiyon yöntemi polimerler ve kompozit malzemeler için önemli bir üretim metodudur. Plastik enjeksiyon sırasında üretim parametrelerinin ve kompozitteki fiber oranının mekanik özellikler üzerinde etkisi önemlidir. Bu çalışmada, plastik enjeksiyon parametrelerinin ve cam fiber oranının cam fiber takviyeli poliamidin çekme, eğilme ve darbe dayanımları üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Bu kapsamda, poliamid içinde %15, %20 ve %30 cam fiber içeren kompozit numuneler üretilmiştir. Enjeksiyon parametreleri olarak enjeksiyon basıncı ve erime sıcaklığı seçilmiştir. Sonuç olarak, kompozitteki cam fiber miktarının artmasıyla çekme, darbe ve eğilme dayanımları artmıştır. Ayrıca üretim parametrelerinden basıncın yüksek olduğu üretimde sıcaklığın artırılması çekme dayanımını azaltırken basınç düşükken üretilen numunelerde yüksek sıcaklık yüksek çekme dayanımı ile sonuçlanmıştır.

Anahtar kelimeler: Plastik Enjeksiyon, Sıcaklık, Enjeksiyon Basıncı, Cam Fiber, Poliamid

ABSTRACT

Elif Naz YILDIZ GENÇSOY

The Effects of Short Fiber Amount, Injection Temperature and Pressure on the Mechanical Properties of Glass Fiber Reinforced Polyamide

Başkent Üniversitesi Institute Of Science

Department of Defence Technologies and Systems

2022

Plastic injection method is an important production method for polymers and composite materials. The effects of production parameters during plastic injection and the amount of fiber in the composite on mechanical properties are important. The effects of plastic injection parameters and the ratio of fiber in composite on the tensile, bending and impact strength of fiber reinforced polyamide were investigated. Composite samples with 15%, 20% and 30% glass fiber were prepared within this concept. Injection pressure, and melting temperature were selected as injection parameters. In conclusion, the tensile, impact and bending strength were increased by increasing the amount of glass fiber in the composite. In addition, increasing the temperature that is one of the manufacturing process parameters when the pressure is high during injection whereas high injection temperature results in high tensile strength in the samples produced at low pressure.

Keywords: Plastic Injection, Temperature, Injection Pressure, Glass Fiber, Polyamide

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
ÖZET	ii
ABSTRACT	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
TABLOLAR.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vii
1. GİRİŞ.....	1
2. TEZ KONUSU VE AMACI	4
3. LİTERATÜR TARAMASI VE GENEL BİLGİLER	5
3.1 Kompozit Malzemeler	5
3.1.1 Matrislerine göre sınıflandırma	6
3.1.1.1 Metal matrisli kompozitler	6
3.1.1.2 Seramik matrisli kompozitler	6
3.1.1.3 Polimer matrisli kompozitler	6
3.1.2 Takviye malzemesine göre sınıflandırma	6
3.1.2.1 Hibrit kompozitler.....	6
3.1.2.2 Parçacık takviyeli kompozitler	7
3.1.2.3 Fiber takviyeli kompozitler	7
3.2 Polimerler	8
3.2.1 Termoplastikler	8
3.2.2 Termosetler	9
3.2.3 Poliamid.....	9
3.3 Cam Fiber Takviyeli Polimer Kompozitler	14
3.3.1 Kullanım alanları	16
3.3.2 Plastik enjeksiyon yöntemi	17

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	20
4.1 Üretim, Plastik Enjeksiyon	20
4.2 Testler	22
4.2.1 Üç nokta eğme deneyi.....	22
4.2.2 Çekme deneyi.....	22
4.2.3 Darbe deneyi	23
5. BULGULAR VE TARTIŞMA	25
5.1 Çekme Testi Bulguları.....	27
5.2 Eğilme Deneyi Bulguları	42
5.3 İzod Darbe Deneyi Bulguları.....	44
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	47
7. KAYNAKLAR.....	48

TABLÖLAR

	Sayfa
Tablo 1.1 Otomobil Parçalarının Üretimindeki Kompozit Oranı	2
Tablo 3.1 Örnek poliamid türlerine ait kimyasal yapıları ve erime sıcaklıkları	11
Tablo 3.2 Cam fiber takviyesine bağlı yorulma dayanımları	15
Tablo 3.3 Enjeksiyon kalıplama parametreleri	15
Tablo 3.4 Enjeksiyon Parametreleri	16
Tablo 4.1 PA6 granül mekanik özellikleri.....	20
Tablo 4.2 Numunelerin Kodlandırılması	21
Tablo 4.3 İki Farklı Sıcaklık ve Basınç Parametreleri.....	21
Tablo 4.4 ASTM D790 Standardı Eğilme Deneyi Numune Ölçüleri	22
Tablo 4.5 ASTM D638 Çekme Deneyi Ölçüleri	23
Tablo 4.6 ASTM D256 Standardı Darbe Deneyi Numune Ölçüleri.....	23
Tablo 5.1 Çekme Testi Bulguları	41
Tablo 5.2 Eğilme Testi Bulguları	42
Tablo 5.3 Darbe Testi Bulguları	44

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1. Dünya Tarihi Boyunca Kompozit Malzeme Kullanımı.....	5
Şekil 3.1 a.Sürekli fiber b. Örgü form fiber c. Süreksiz fiber d.Yönlendirilmiş süreksiz fiber	8
Şekil 3.2 Plastik enjeksiyon işleminde kullanılan cam takviyeli PA granülleri ve çekme test numunesi.....	19
Şekil 4.3 Ceast Impactor Marka Darbe Deneyi Cihazı.....	24
Şekil 5.1 A. numuneye ait gerilim – gerinim grafiği.....	28
Şekil 5.2 Çekme Testi Sonrası Numune A	29
Şekil 5.3 B numuneye ait gerilim – gerinim grafiği	29
Şekil 5.4 Çekme Testi Sonrası Numune B	30
Şekil 5.5 C numunesine ait gerilim – gerinim grafiği.....	30
Şekil 5.6 Çekme Testi Sonrası Numune C	32
Şekil 5.7 D numunesine ait gerilim – gerinim grafiği	32
Şekil 5.8 Çekme Testi Sonrası Numune D	33
Şekil 5.9 E numuneye ait gerilim – gerinim grafiği	34
Şekil 5.10 Çekme Testi Sonrası Numune E.....	35
Şekil 5.11 F numuneye ait gerilim – gerinim grafiği.....	35
Şekil 5.12 Çekme Testi Sonrası Numune F	36
Şekil 5.13 G numuneye ait gerilim – gerinim grafiği	37
Şekil 5.14 Çekme Testi Sonrası Numune G	38
Şekil 5.15 H numuneye ait gerilim – gerinim grafiği.....	39
Şekil 5.16 Çekme Testi Sonrası Numune H	40
Şekil 5.17 Darbe deneyi sonrası Numune E	45

Şekil 5.18 Darbe deneyi sonrası Numune F	45
--	----

1. GİRİŞ

Genel olarak malzeme bilimi iki farkı düşünce olarak vücut bulmuştur. Bir düşünceye göre teknolojik gelişmelerin ilerlemesine engel olurken, diğer düşünceye göre de teknolojinin gelişmesinde ve ilerlemesinde yatan en büyük etken olarak kabul görmüştür. Fakat görülmüştür ki zamanla malzeme bilimi ilerledikçe teknolojik gelişmeler de buna bağlı olarak ilerlemiştir.

Tarih boyunca teknolojinin insan hayatını kolaylaştırması ve vazgeçilmez bir parçası olmasıyla birlikte her geçen gün teknolojik gelişmeler önem kazanmıştır. Bunun doğrultusunda teknolojiyi geliştiren ve ilerlemesine öncülük eden etkenlerde değer görmüş ve çeşitlilik kazanmıştır. Bunların başında gelen malzeme bilimi de bu doğrultuda gelişmiş ve farklı alt dallara ayrılarak geniş bir alan oluşturmuştur. Bunlardan bazıları; kimyasallar, metaller, kompozitler vb. iken bu dallardan günümüz dünyasında en önemlilerinden biri kompozitler olmuştur. Kompozitler kısa zamanda otomotiv, havacılık, sanayi gibi birçok alanda yer edinirken tarihi geçmişi çok da eskiye dayanmamaktadır. Fakat kısa zaman içerisinde etki birçok olanda görülmüş ve kullanılmıştır.

Kompozit malzemenin kısaca tanımı, birbirinden fiziksel ve kimyasal olarak farklı yapıda olan iki veya daha fazla malzemenin birleştirilmesidir. Oluşan yeni yapı kullanılan malzemelerin özelliklerinden de farklı bir yapıda oluşacaktır. Kompozit malzemeler ihtiyaç doğrultusunda üretildiğinden dolayı nerede ve nasıl kullanılacağı, kullanıcının neye ihtiyacı olduğu iyi kararlaştırılmalıdır. Bu doğrultuda kompozit malzemenin dayanıklı bir yapıda olması ve bu dayanıklılığa karşın hafif bir yapı içermesi kompozit malzemeyi değerli kılmakta ve günümüz koşullarında birçok olanda kullanılmasını sağlamaktadır. Fakat kompozit malzeme oluşturulurken malzemenin her yüzeyinin her doğrultuda aynı yapıda olmasıdır.

Günümüzde ise bu doğrultuda ortaya çıkan uçak, uzay gemileri, füzeler vb. yapılar kompozit malzemenin sağladığı imkânlar sayesinde yapılmakta ve kullanılmaktadır. Kompozit malzemenin hafif ve dayanıklı özelliği gibi birçok etken bu malzemelerin uzay ve havacılık faaliyetlerinde aranan bir olgu olmasını sağlamıştır. Öyledir ki kompozit malzemeler yıllık on bin tondan fazla olarak bu alanlarda kullanılmaktadır [1].

Kompozit malzemelerin bu alanlarda kullanılmasının sanayi alanında üreticiye ve kullanıcıya büyük avantajları olmaktadır. Üretici açısından, seri üretimin hızlanması, düşük yatırım maliyetleri, kolay kalıplama ve yine kolay ucuz model değişimi gibi faydaları bulunmaktadır. Kullanıcı açısından ise, yüksek mekanik dayanıma bağlı olarak uzun kullanım ömrü, bir hasar oluşması durumunda rahat bir onarım imkânı sunmaktadır. Bunlara ek olarak ise, kompozit malzemelerin hafiflik özelliklerinden dolayı kullanılan üründe bir ağırlık avantajı oluşacaktır. Bu avantaj sonucunda, hafif araçlar üretilmiş olup hafifliği bağlı olarak çabuk hızlana bilen ve çabuk dura bilen motorlu araçlara sahip olunmaktadır. Aracın hafifliğinden dolayı aracın hareket edebilmesi için gerekli güç miktarın daha az olmaktadır. Gücün azlığından dolayı ise daha küçük bir motora ve daha az yakıtı ihtiyaç vardır. Bir otomobil üretiminde kullanılan parçaların üretimindeki kompozit oranları aşağıda verilmiştir [2].

Tablo 1.1 Otomobil Parçalarının Üretimindeki Kompozit Oranı [2]

Cam Sileceği	%30 Cam + PBT
Filtre Kutusu	%35 Cam + Poliamid 66
Pedallar	%40 + Poliamid 6
Dikiz Aynası	%30 Cam + ABS
Far Gövdesi	%30 + PBT
Hava Giriş Manifoldu	%30 Cam + Poliamid 6
Otomobil Gösterge Paneli	GMT
Otomobil Spoiler	CTP
Otomobil Yan Gövde İskeleti	CPT

Kompozit malzemelerden, cam takviyeli kompozit malzemeler elastiklik, hafiflik, yüksek korozyon dayanımı, iyi dielektriklik gibi avantajları nedeniyle inşaat, otomotiv, elektrik-elektronik, havacılık, denizcilik gibi sektörlerde kullanılmaktadır [3].

Cam takviyeli kompozitler, metaller, seramikler ve fiberglas ve karbon fiber takviyeli plastikler gibi diğer malzemelerin kompozitlerine kıyasla üstün mekanik ve elektriksel özellikler sergiler [3].

Cam takviyeli kompozit malzemeleri genellikle otomobiller için motor blokları, silindir kapakları, debriyaj plakaları ve fren diskleri gibi parçalar şeklinde [4]; petrol sahası uygulamaları dahil olmak üzere hafiften ağıra endüstriyel amaçlar [5]; havacılık için uçak gövdeleri ve ekranlar [6]; gemiler için tekneler ve makine dairesi damperleri [7]; ve daha fazlası. Cam takviyeli kompozit parçaları bu nedenle NASA makinelerinde, uçaklarda, uzay araçlarında, roketlerde, motorlarda ve daha fazlasında kullanılır [8].

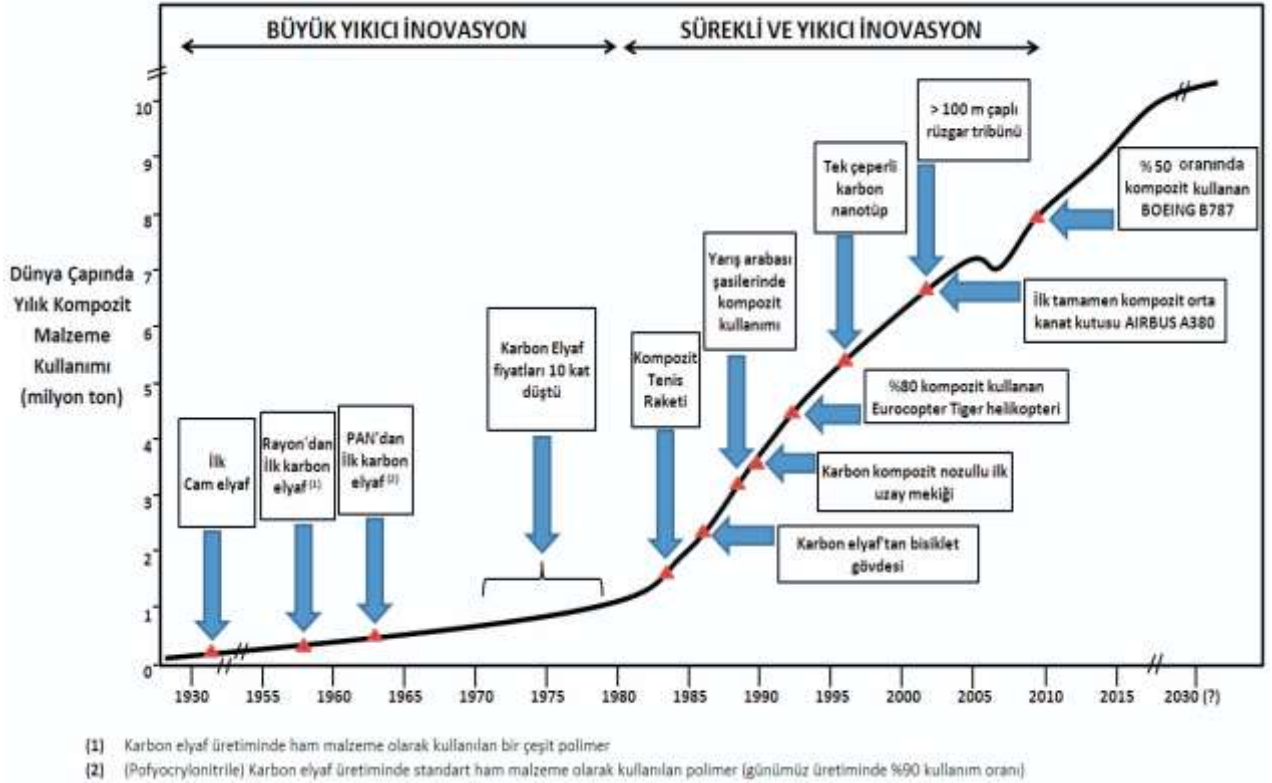
2. TEZ KONUSU VE AMACI

Bu çalışmada, plastik enjeksiyon üretim parametrelerinin cam fiber takviyeli poliamid (PA6) kompozitin çekme, eğilme ve darbe dayanımlarına etkisi araştırılmıştır. Ayrıca farklı oranlarda cam fiber (GF) eklenmiş kompozitler üretilip cam fiber oranının yine mekanik özellikler üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bu kapsamda, %15GF-PA6, %20GF-PA6 ve %30GF-PA6 kompozit numuneleri hazırlanmıştır. Üretim parametreleri 245°C ve 280°C sıcaklık değerleri, 50 ve 70 bar basınç değerleri olarak seçilmiştir.

3. LİTERATÜR TARAMASI VE GENEL BİLGİLER

3.1 Kompozit Malzemeler

Günümüzde kullanılan kompozit malzemelerin ortaya çıkması ise 1930 yılında bir fabrikada çalışan mühendisin şans eseri bulduğu fiberglası keşfedilmesi ile olmuştur. Bundan sonraki yıllarda da giderek gelişen kompozit malzemeler günümüzdeki halini almaya başlamıştır. Ve gün geçtikçe de kullanım alanları ile gelişim göstermektedir. Şekil 1.1'de dünya tarihinde kompozit malzeme kullanımı yıllara göre verilmiştir [1].



Şekil 1.1. Dünya Tarihi Boyunca Kompozit Malzeme Kullanımı [1]

Kompozit malzemelerin sınıflandırılması matrislerine ve takviye elemanına göre iki grupta incelenebilir.

3.1.1 Matrislerine göre sınıflandırma

3.1.1.1 Metal matrisli kompozitler

Metal matrisli kompozitlerde, bir metal, kendine ait çekici mühendislik özelliklerine sahip yeni bir malzeme üretmek için genellikle metalik olmayan başka bir faz ile birleştirilir [9].

Metal karışımı veya metal olan ürünler genellikle yüksek basınç ve sıcaklıktan etkilenirken metal matrisli olan bu kompozit malzemeler basınç ve sıcaklıktan daha az etkilenirler. Teknolojik gelişmelerle birlikte yakın tarihte bu alanda birçok ilerleme görülmüş ve bu alan geliştirilmiştir [10].

Metal matrisli malzemeler üretilirken matris olarak Al, Fe, Mg vb. elemanlar tercih edilirken, takviye olarak SiC, B4C vb. elemanlar tercih edilir. Eskiden kullanılan sürekli takviyeler zor üretildiğinden dolayı bu alanda süreksiz takviyelere yönelim olmuştur [11].

3.1.1.2 Seramik matrisli kompozitler

Seramik matrisli malzemeler sıcaklığı yüksek olan yerlerde kullanılmak amacıyla üretilmektedir. Sıcaklık dayanımı ve elektrik yalıtkanlığı yüksek ürünlerdir [12].

3.1.1.3 Polimer matrisli kompozitler

Bu kompozitler fazlaca kullanılmaktadır. Diğer kompozit ürünlerine göre daha seri üretilip, ucuz olması bunun en önemli nedenlerindedir. Güçlendirme amaçlı kullanıldıklarından özellikle uzay teknolojilerinde fazlaca kullanılmaktadır [13].

3.1.2 Takviye malzemesine göre sınıflandırma

3.1.2.1 Hibrit kompozitler

Doğal/sentetik fiberler, doğal/doğal fiberler veya sentetik/sentetik fiberlerin bir kombinasyonundan üretilen hibrit kompozitler, bu malzemelerin uyarlanmış mekanik ve darbe özellikleri sayesinde yapısal uygulamalar için hem araştırmacıların hem de endüstrinin dikkatini çekmektedir. Hibridizasyon süreci, kompozit malzemelerin performansını güçlendirmenin ve iyileştirmenin en önemli ve daha verimli yollarından biridir [14].

Hibrit kompozit malzemeler, son on yılda yapı ve mühendislik endüstrilerinde daha büyük uygulamalar için geliştirilmiş ve uygulanmıştır. Bunun nedeni, araştırmacıların hibrit kompozitlerin işletme, bakım ve yapım açısından maliyeti düşürme ihtiyacını karşıladığını ve uygulanabilirlik aralığı, dayanım, yük ve stabilite açısından performans gereksinimlerini artırdığını belirlenmesidir [14].

3.1.2.2 Parçacık takviyeli kompozitler

Bu kompozit türünde en önemli etken matris ile ara yüzey bağlantısının güçlü oluşudur. Bu sayede kompozit malzemenin özelliklerini daha iyi olmaktadır. Bu yapıda matrise küçük yapıda parçacıklar eklenir. Böylece kompozit malzemenin dayanımı artar. Bu üründe maliyet düşük seyrederken, kalite ve kullanım yüksektir [15].

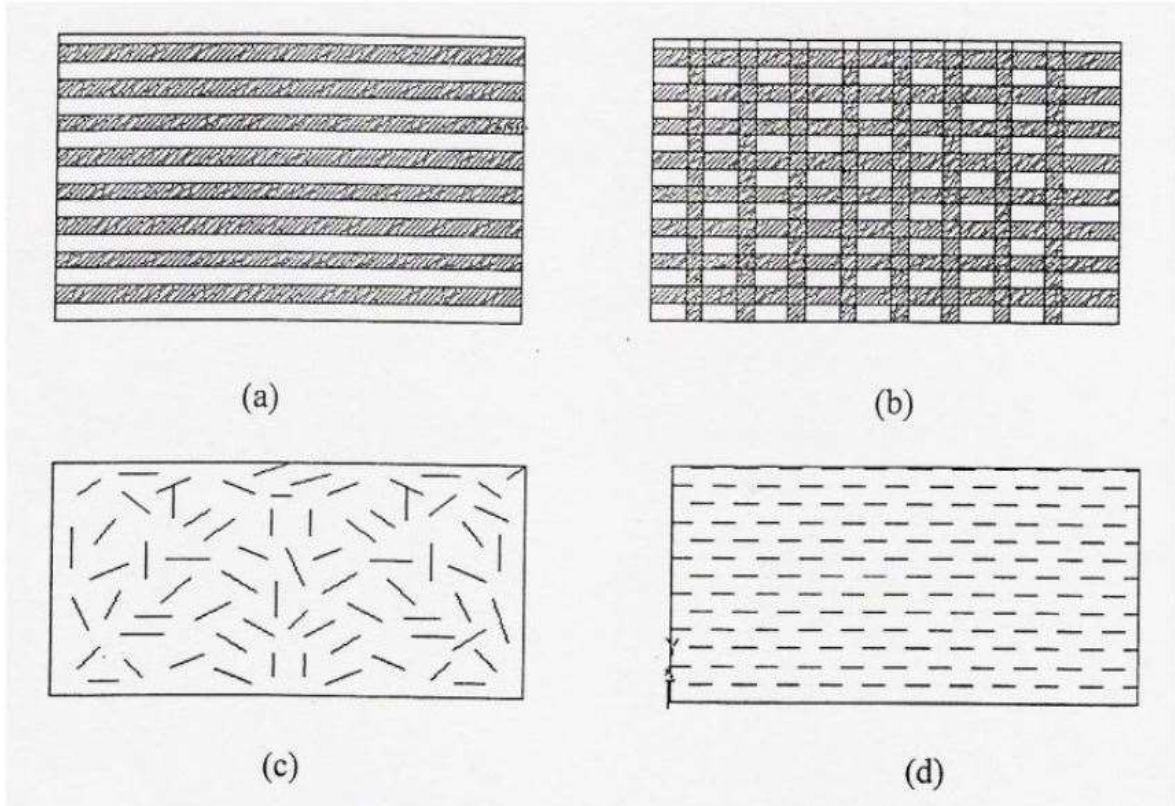
3.1.2.3 Fiber takviyeli kompozitler

Günümüzde fiber takviyeli polimer kompozitler, bazı özellikleri ile metal, ahşap ve betonarme gibi geleneksel yapı ve ev malzemelerine kıyasla benzersiz ve çok yönlü özellikleri ile dünya çapında büyük ilgi görmeye başlamıştır [16].

Fiber takviyeli polimer kompozitler (FRPC), büyük malzeme potansiyeli açar. FRPC kullanmanın ana nedenleri, hafif tasarım potansiyeli, ayarlanabilir deformasyon davranışı, iyi korozyon direnci ve fiber malzemeye bağlı olarak düşük elektrik iletkenliğidir. Bu nedenle uygulamalar öncelikle havacılık, otomotiv, tıbbi teknoloji, enerji ve spor sektörlerinde bulunur [17].

Genelde takviye edilmemiş poliamid 6'ya kıyasla daha yüksek dayanım, sertlik, sünme dayanımı ve boyutsal kararlılık sunarlar. Bu da cam fiber takviyeli poliamidleri yüksek sıcaklık koşullarında uzun süre yüksek sabit mekanik yüklere maruz kalan

parçalarda kullanılması için uygun hale getirir. Bu kompozit matris içerisine tek yönlü ya da karışık olarak fiber takviyesi yerleştirilir [18]. Şekil 3.1’de farklı yapısalda olan kompozit malzemeler gösterilmektedir.



Şekil 3.1 a.Sürekli fiber b. Örgü form fiber c. Süreksiz fiber d.Yönlendirilmiş süreksiz fiber[18].

Sürekli ve süreksiz fiber takviyeli kompozit türleri Şekil 3.1’de özetlenmiştir. Süreksiz fiberlerin kullanımı sürekli fiberlere göre daha işlevseldir. Sürekli fiberler ise süreksiz fiberlere göre daha fazla oryantasyona sahiptirler [19].

3.2 Polimerler

3.2.1 Termoplastikler

Bu malzemeler ısı ile eritilerek şekil verilen fakat şekil verilme esnasında yapısal olarak değişime uğramayan ürünlerdir. Akrilikler, viniller, poliamid, naylon, karbonflorür, polietilen örnek olarak verilebilir [20].

Poliamid sıklıkla naylon olarak anılsa da aralarındaki fark, naylonun sentetik bir malzeme olması, poliamidlerin ise doğal veya sentetik olabilmesidir. Naylon ve poliamidler yakından ilişkili terimlerdir çünkü her iki malzeme de polimerdir ve naylon bir tür poliamiddir [21].

3.2.2 Termosetler

Bu kompozitler de termoplastikler gibi ısı işlemi ile şekillendirilirler. Fakat termoplastiklerin aksine yapılarında değişim meydana gelir. Bu işlem de kompozit malzeme ilk başta ısıtılıp şekil verildikten sonra hemen soğutma işlemi yapılır. Bu işlem sırasında kompozit malzemenin yapısında geri dönülemeyecek şekilde deformeler meydana gelir [22] Alkiter, aminler, epoksiler, polyesterler gibi polimerler bu gruba girer [23].

3.2.3 Poliamid

Amid bağlarından asit ve amino gruplarından oluşan, yani monomerlerden oluşan ve tekrar eden birimlerin bağlanmasıyla oluşturulan polimerler, poliamidler olarak isimlendirilmektedir. Poliamidlerin farklı türleri, farklı monomerlerden türetilir. Moleküler yapıları çok düzgün olduğundan gerilme dayanımları yüksektir. Örneğin; Polyamid 6,6 ve Polyamide 6,10 sırası ile dikarboksilik asit ve diaminlerden türetilir. Burada 6,6 ve 6,10 ifadeleri ise yine sırası ile diamin ve dikarboksilik asitte bulunan karbon sayılarını ifade etmektedir. Amino asit yoğunlaşma reaksiyonlarından elde edilen farklı naylon türleri bulunmaktadır. Poliamidler materyalleri aşınmaya karşı oldukça dayanıklı olmakla birlikte düşük sürtünme katsayısına sahiptir, kısaca kaygan yapıdadırlar [24].

Çekme dayanımları, alüminyum alaşımları ile yakın mekanik özellikler göstermesi sebebi ile dişli ve yatak gibi mekanik elemanların üretiminde kullanılabilirler. Günümüzde genellikle lif formunda üretimi yapılan naylon, yani polyamid 6-6 1930'ların ortalarında Amerikalı bir kimyager Wallace H. Carothers tarafından geliştirilmiştir [25]. Yılda milyonlarca ton Polyamide 6 ve Polyamide 6.6 kullanılarak sentetik iplik üretilmektedir. Bu iplikler ise genel olarak giysiler, balık ağları, fırçalar vb. malzemelerin üretiminde kullanılmaktadır [26].

Poliamidler, yüksek kristal yapıya sahip, amid grupları içeren ve yüksek molekül ağırlıklı doğrusal polimerlerdir. Sert ve dayanıklı olan poliamidlerin birçok türü vardır. Polyamid 6, Polyamid 6,6, Polyamid 6,10, Polyamid 11 ve Polyamid 12 bunlardan en bilinenleridir ve PA 6 ve PA 6,6 en çok kullanılan türleridir [27].

PA 6 ve PA 6,6 materyalleri kristal yapı ve molekül olarak yüksek ağırlığa sahip polimerlerdir materyallerdir. Atomik yapılarında amorf ve kristal bölgeler bulunmaktadır. Mekanik değerleri ağırlıklı olarak kristal yapısına bağlı olmakla birlikte kristal yapısının amorf yapısına oranı yükseldikçe değerler daha iyi bir hal alır. Kristal yapı materyal içerisindeki oranının yükselmesi durumunda materyalin mekanik olarak darbe dayanımı haricinde tüm mekanik özellikler daha iyi bir değere ulaşır. Kristal yapının materyal içerisindeki oranı, erimiş polimerin soğutulma hızı ile bağlantılıdır. Soğumanın çok hızlı olması durumunda, kristal yapının materyal içerisinde bulunma oranı azalır. PA 6, PA 6,6 kimyasal yapıları gereği nem emici materyallerdir. Nem alma işleminden sonra materyalin, çekme dayanımı ve sertliğini azalır ancak darbe direnci artar [28].

Poliamid materyaller genel olarak yalıtkan özellik göstermektedirler. Ayrıca yüksek voltajda ve frekanslarda statik elektrik üretmektedirler [29]. Statik elektrik, kaza riskini de beraberinde getirmektedir. Bundan dolayı kullanım alanları düşük frekanslı kullanımlar ile sınırlıdır. Ayrıca poliamidlerin elektrik etkisindeki bu hassas durumunu telafi edebilmek amacı ile gümüş gibi iletken materyaller yapı içerisine eklenebilmektedir [30].

Esnek veya sert yapılabilmeleri, yüksek termal, kimyasal ve mekanik dirençleri poliamidlerin en ayırt edici özelliklerindedir [31]. Tablo 3.1'de poliamidlerin kimyasal yapı ve erime sıcaklıkları verilmiştir.

Tablo 3.1 Örnek poliamid türlerine ait kimyasal yapıları ve erime sıcaklıkları [32]

Poliamid Türü	Kimyasal Yapısı	Erime Noktası (°C)
Poliamid 4,6	$\left(\text{N} \begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{---} \end{array} \text{---} (\text{CH}_2)_4 \text{---} \text{N} \begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{---} \end{array} \text{---} \text{C} \begin{array}{c} \text{O} \\ \\ \text{---} \end{array} \text{---} (\text{CH}_2)_4 \text{---} \text{C} \begin{array}{c} \text{O} \\ \\ \text{---} \end{array} \right)_n$	295
Poliamid 6,10	$\text{N} \begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{---} \end{array} \text{---} (\text{CH}_2)_6 \text{---} \text{N} \begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{---} \end{array} \text{---} \text{C} \begin{array}{c} \text{O} \\ \\ \text{---} \end{array} \text{---} (\text{CH}_2)_6 \text{---} \text{C} \begin{array}{c} \text{O} \\ \\ \text{---} \end{array}$	220
Poliamid 6	$\left(\text{N} \begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{---} \end{array} \text{---} (\text{CH}_2)_5 \text{---} \text{C} \begin{array}{c} \text{O} \\ \\ \text{---} \end{array} \right)_n$	210-220
Poliamid 6,6	$\left(\text{N} \begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{---} \end{array} \text{---} (\text{CH}_2)_6 \text{---} \text{N} \begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{---} \end{array} \text{---} \text{C} \begin{array}{c} \text{O} \\ \\ \text{---} \end{array} \text{---} (\text{CH}_2)_4 \text{---} \text{C} \begin{array}{c} \text{O} \\ \\ \text{---} \end{array} \right)_n$	255-265
Poliamid 6,12	$\left[\text{N} \begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{---} \end{array} \text{---} (\text{CH}_2)_6 \text{---} \text{N} \begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{---} \end{array} \text{---} \text{C} \begin{array}{c} \text{O} \\ \\ \text{---} \end{array} \text{---} (\text{CH}_2)_{12} \text{---} \text{C} \begin{array}{c} \text{O} \\ \\ \text{---} \end{array} \right]$	195-210
Poliamid 11	$\left[\text{N} \begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{---} \end{array} \text{---} (\text{CH}_2)_{10} \text{---} \text{C} \begin{array}{c} \text{O} \\ \\ \text{---} \end{array} \right]_n$	180-190
Poliamid 12	$\left[\text{N} \begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{---} \end{array} \text{---} (\text{CH}_2)_{11} \text{---} \text{C} \begin{array}{c} \text{O} \\ \\ \text{---} \end{array} \right]_n$	160-209

Alifatik poliamidler, alifatik diaminler ve alifatik diasitlerin birbirleri ile reaksiyonları onucunda ortaya çıkmaktadır. Ortaya çıkan bu poliamidlerden en çok bilineni, Polyamid 6,6, Polyamid 6 olarak isimlendirilen poliamidlerdir. Mühendislikte sık tercih edilen bu polimer materyaller ticari anlamda oldukça sık kullanılan materyallerdir [33].

İsmlendirme yapılırken verilen rakamlar, polimerin kimyasal olarak kaç monomerden ortaya çıkmasına bağlı olmaktadır. Örnek olarak, poliamid 6,6, 6 – Karbon diamin ve 6 – Karbon diasitlerin polimerizasyonundan elde edilir [32].

Aromatik poliamidler, aromatik diasit klorür ve aromatik diaminlerin düşük sıcaklıklarda polikondensasyonu ile elde edilir ve genel olarak aramid ismi ile bilinmektedirler. Aromatik poliamid ilk 1960 'lı yıllarda DuPont firmasının HT-1 adıyla satışa sunduğu ve sonra Nomex adıyla ticari olarak satışa sunuldu son olarak 1973 'te Kevlar adını almıştır [34]. Aramid polimerlerinin kristal yapısı farklı poliamidi, aynı ağırlıktaki çelikten yaklaşık beş kat daha güçlü hale getirmektedir. Ayrıca bu düşük iletkenliğe sahip fiberler sayesinde, yüksek sıcaklıklara ve çeşitli kimyasallara fazlaca dayanıklılık sağlamaktadır [35]. Aramidler; yüksek sıcaklıkla karşı dayanıklılık gerektiren kıyafetlerin, kurşun geçirmez yeleklerin üretiminde, kompozit materyallerin içeriğinde, fren sistemlerinde ve fiber optik kabloların üretiminde kullanılır [36].

Poliamidlerin uzun süre sıcak su ve buhar etkisinde kalması hidrolitik ve oksidatif olarak bozulmalarına neden olur. Bu bozulmayı önlemek için hidrolize dayanıklı materyalin yapıya eklenmesi, poliamidin bazikliğini artırarak düzenlenebilir. Bozulma miktarı ve hızı suyun sıcaklığına bağlı olarak değişir [37].

Çoğu polimer gibi, poliamidler de UV ışığı ile bozulur ve stabilize bir katkı maddesi kullanılmadıkça hava koşullarına karşı düşük direnç gösterir. Hava koşullarının olumsuzlukları etkisinde kalması materyalin gevrekleşmesi, dayanımının azalması ve dış yüzeyinin görünümünde değişikliklere neden olur [38].

Poliamidlerin otomotiv gövdeleri gibi malzemenin akut sıcaklık değişimlerine ve/veya neme maruz kaldığı uygulamalarda kullanılması arızaya neden olabilir. Kırılabilirliği kontrol etmek ve malzemeyi hava koşullarına karşı korumak için, poliamid matrisinin çapraz bağlama yoluyla veya antioksidanlar ekleyerek stabilizasyonu dahil olmak üzere bir dizi yöntem kullanılır [39].

Çevresel stres çatlaması da poliamidlere baskı uygular. Polimer zincirleri, zayıf kimyasal bağlarla bağlanır. Strese (özellikle sıcaklık ve suya) maruz kaldığında, belirli bağlar koparak veya zayıflayarak polimer zinciri boyunca süngerimsi veya gözenekli bir görünüme neden olan bir çatlak oluşmasına neden olur [40].

Enjeksiyon kalıplı parçalar, bazı konektörler, bobinler, terminaller, soketler gibi birçok elemanın üretiminde kullanılan poliamidler, üstün elektrik yalıtkanlığı gerektirmeyen fakat poliamidin elektriksel, mekanik, termal ve kimyasal özelliklerinin

farklı bir kombinasyonunu gerektiren düşük frekanslı, orta gerilim uygulamalarında kullanılır [41].

Poliamidin kristalleşme hızı ve küresel yapısının azaltılmasıyla şeffaflık artırılabilir. Hızlı eriyik soğutma ve polimerleştirme yoluyla poliamidin modifikasyonu şeffaflığı artırır. Poliamidin kimyasal yapısındaki amid yoğunluğunun azalmasıyla ışık iletimi de artar [42].

Çapraz bağlama yoğunluğu artırılırsa, malzemenin şeffaflığı azalacaktır. Poliamidi yapmak için kullanılan üretim yöntemi, şeffaflığının belirlenmesinde çok önemli olabilir. Örneğin, bir pıhtılaşma çökeltme yöntemi, bir çözelti-çökeltme yönteminden daha yüksek kristallığe sahip polimer parçaları üretir [43].

Dolgu ilavesi ile hem ısıl genleşme katsayısı hem de kalıp büzülmesi azaltılabilir. Materyalin özgül ısısı ASTM D2766 standardına göre inorganik dolgu maddeleri ile azaltılır. İnorganik dolgu maddeleri, metal veya karbon lifler kullanıldığında ısıl iletkenlik önemli ölçüde artırılabilir. Termal iletkenlik, elastomerik bileşenlerin eklenmesiyle daha da artırılır [44].

Poliamidler, yüksek derecede esneklik ve elastikiyet ile sağlanan ısıyla sertleşen polimerlerdir. İyi mekanik dayanım özelliklerine, aşınmaya karşı yüksek dirençlere ve mükemmel boyutsal stabiliteye sahiptirler [45]. Malzemeler, geleneksel yöntemler kullanılarak veya kullanım ömürlerinin sonunda kolay sökme, yeniden işleme veya geri dönüşüme izin veren belirli kalıplama bileşiklerinin kullanılmasını gerektirebilecek enjeksiyonlu kalıplama gibi yeni işlemler kullanılarak kalıplanabilir. Bu işlemin kullanılması, malzemeleri çevre dostu hale getirerek herhangi bir katkı maddesi eklemekten kaçınılır. Bu özellik, kullanım ömrünün sonunda her malzemenin yüzde 95'ine kadar geri dönüştürülmesine olanak tanır [46].

Poliamidlerin kıvılcımlara karşı dayanımları oldukça yüksektir. Yapısı değiştirilmiş poliamidlere eklenen farklı katkı maddeleri, elektriksel dayanımlarını önemli derecede değiştirebilmektedir. Bununla yanı sıra, cam lif takviyesi, poliamidin elektriksel özelliklerinde önemli bir değişikliğe sebep olmaz [47].

Poliamidler, alev geciktirici oldukları ve yandıklarında zehirli duman çıkarmadıkları için çeşitli elektronik cihazlarda kullanılmaktadır. Ayrıca yüksek yalıtım dayanımına, yüksek esnekliğe ve uzamaya sahiptirler [48].

Alev geciktirici poliamidler, çok çeşitli kullanımlar için özelliklerle teslim edilebilir. Birçok alev geciktirici poliamid, PA 6'ya dayanmaktadır [49]. En yaygın eriyik işleme teknikleri ekstrüzyon, enjeksiyonlu kalıplama ve sıkıştırılmalı kalıplamadır [50].

Alev geciktirici poliamidler ayrıca tellerin, kabloların ve kabloların elektriksel yalıtımı (SMPW), kablo mantolaması, kablo yalıtımı [51] ve gemi yapımında koruma [52], tıp teknolojisi, tekstil, havacılık yakıt tankerleri, otomotiv, demiryolları ve denizcilik gibi elektrik ve elektronik uygulamalarda da kullanılır [53]. PA6 alev geciktirici poliamidler, yüksek performanslı FR kopolyesterlerden ve fiberglas takviyeli PA6'dan önemli ölçüde daha ucuzdur. Bu nedenle, maliyetin rol oynadığı birçok endüstriyel uygulama için yapısal bir malzeme olarak giderek daha fazla önem kazanmaktadır [54].

3.3 Cam Fiber Takviyeli Polimer Kompozitler

Cam fiber takviyeli polimerler, 1920'lerin sonlarında keşfedilmelerinden bu yana birçok araştırmaya konu olmuştur. Aramide ve arkadaşları (2012), %5, 10, 15, 20, 25 ve %30 gibi farklı cam fiberleri ile dokuma mat cam fiber ile güçlendirilmiş doymamış polyester kompozitin mekanik özelliklerini araştırmışlardır. GF Vf'nin artmasıyla çekme dayanımı, Young modülü ve elastik şekil değiştirme arttı. Darbe dayanımı, GF Vf'nin %25 artmasıyla azaldı. Maksimum gerilme ve eğilme özellikleri, GF'nin %30 Vf'sinde bulundu. Maksimum gerilme %25 Vf'de bulundu [55].

Isının parametre olarak kullanan çalışmada, Al-alkawi ve arkadaşları (2012), 24, 40°C, 50°C ve 60°C gibi değişken sıcaklık koşulları altında E-GF ile güçlendirilmiş polyester kompozit dokuma şerit hasırlarının yorulma davranışını araştırdı. S-N eğrisi, %33 fiber Vf'de 60°C'ye kadar artan sıcaklıkla çekme ve yorulma dayanımının azaldığını bildirdi. Yorulma dayanımı için yüzde azaltma faktörü, tüm sıcaklık seviyeleri için çekme dayanımı için yüzde azaltma faktöründen daha yüksekti [56].

Plastik enjeksiyon yöntemiyle üretilen cam fiber takviyeli polimerler ise daha sonra sıcak ekstrüzyon ve enjeksiyon kalıplama kullanılarak üretilmiştir [57]. Huynh ve

arkadaşları (2019) araştırmalarında %10, 20 ve 30 oranında PA6 malzemesine cam fiber ekleyerek hangi parametrelerin yorulma dayanımında etkisi olduğu araştırmıştır. Çalışmada, PA6 yorulma dayanımını etkileyen önemli faktörleri belirlemek için ANOVA kullanılmıştır. Sonuçlara göre, cam fiber yüzdesi PA6 numunelerinin yorulma dayanımını etkilemiştir. Erime sıcaklığı ve yorulma kuvveti arasında anlamlı bir ilişki bulunamamıştır. Aşağıdaki Tablo 3.2. içeriğinde gösterildiği üzere, PA6'daki cam fiber yüzdesi ne kadar büyükse, yorulma kuvvetinin de o denli arttığı ve buna bağlı olarak da yorulma oranının aynı derecede düşük olduğu bulunmuştur [57].

Tablo 3.2 Cam fiber takviyesine bağlı yorulma dayanımları [57]

% glass fiber	Fatigue force (N)
0	1.222
10	1.925
20	2.631
30	3.026

Bir başka çalışmada, %30 cam fiber takviyeli poliamidin enjeksiyon kalıplama parametrelerinin kompozitin yorulma dayanımı üzerindeki etkisi ve yorulma dayanımını karakterizasyonunu incelemiştir [59]. Enjeksiyon kalıplama parametrelerinden erime sıcaklığı, kalıp sıcaklığı ve hacim akış hızının (Tablo 3.3) yorulma dayanımı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Çekme testi, yorulma testi, kompozit yapının x-ışını mikro tomografi analizi yapılmıştır. Sonuç olarak, enjeksiyon kalıplama parametrelerinin yorulma özellikleri üzerinde yüksek bir etkiye sahip olduğunu kanıtlanmıştır.

Tablo 3.3 Enjeksiyon kalıplama parametreleri [17]

Configuration [-]	Melt Temperature [°C]	Mold Temperature [°C]	Volume Flow Rate [cm ³ /s]
1	250	60	20
2	250	60	28
3	250	90	20
4	250	90	28
5	290	60	20
6	290	60	28
7	290	90	20
8	290	90	28

Termoplastik malzemeler içerisinde iyi darbe dayanımı, mekanik dayanım ve kolay işlenme gibi mühendislik özellikleriyle tanınan abs malzemesi ise bir başka araştırmanın konusu olmuştur [60]. Bu çalışmada ABS'nin (Akrilonitril Bütadiyen Stiren) enjeksiyon makinesi parametrelerini değiştirerek ANOVA ve regresyon analizi ile optimize etmiştir. Kalıp sıcaklığı arttıkça gerilme dayanımı artmıştır. Eğilmeyi etkileyen diğer parametre enjeksiyon basıncı olmuştur. Bu çalışmanın ve literatür çalışmalarının sonucu kalıplardan çıkan ürünlerin mekanik özelliklerinin kalıp sıcaklığının termal iletkenlikleri olarak orantılı olarak değiştiğidir. Enjeksiyon parametreleri Tablo 3.4 içeriğindedir.

Tablo 3.4 Enjeksiyon Parametreleri [61]

Process parameters		Level 1	Level 2	Level 3
Melt temperature (°C)	A	200	240	280
Packing pressure (MPa)	B	28	34	39
Cooling time (s)	C	16	19	22
Injection pressure (MPa)	D	36	43	50

3.3.1 Kullanım alanları

Cam takviyeli PA granüller asfalt, çakıl gibi geleneksel, petrol bazlı malzemelere alternatif olarak kullanılabilen bir üründür, bununla birlikte PA granülleri, cam fiber ile güçlendirilmiş polyester plastikten yapılır [63]. Cam takviyeli PA granülleri, özellikle camdan oluşan malzeme kalitesinin yüksek olması ile dikkat çeker [64]. Cam takviyeli PA, çoğunlukla camdan oluşan malzemenin ana problemlerinden biri olan deformasyona karşı dayanıklıdır [65].

Cam takviyeli polimer kompozitler birçok farklı alanda kullanılmaktadır. Örneğin tamponlar, motorlar ve egzoz sistemleri gibi otomotiv parçaları için kullanılırlar. Ayrıca inşaatta dış cephe ve çatı yapımında kullanılırlar. Cam takviyeli polimer kompozitlerin en yaygın kullanım alanları uçaklar, bina cepheleri ve araçlardır [66].

Cam takviyeli PA, UV radyasyonuna ve kullanım sırasında dağılmaya karşı dayanıklıdır. Genel olarak yollar veya park yerleri veya koşu parkurları, golf sahaları ve parklar gibi kamusal alanlar inşa etmek için kullanılır. Cam takviyeli polimer granüller yangına dayanıklılık, betonarme donatı ve çelik donatı gibi donanımların imalatında da

kullanılmaktadır. Cam takviyeli polimerler, yapısal performans gereksinimlerine uygun kompozit panellerin ve çeşitli kumaşların montajında destek olarak kullanılabilir. Bunlara ek olarak savunma sanayiinde de cam takviyeli PA numunelerinden, özellikle ağırlık hafifletilmesi amacıyla düşük cam oranına sahip uzun cam fiber takviyeli polimerlerden, yararlanılır [67].

Cam takviyeli polimerler, yeni nesil havacılık malzemeleri olarak adlandırılmıştır. [69]. Cam takviyeli polimer malzemeler, alüminyum ve çeliğe kıyasla daha yüksek yük derecelerine, daha iyi ısı ve darbe direncine ve daha yüksek dayanım-ağırlık oranlarına sahiptir. Yüksek dayanım ağırlık oranları nedeniyle, cam takviyeli polimerler, daha ağır uçak formlarında veya aero kompozit yapılarda yapısal bileşenler olarak kullanılabilir [70]. Bununla birlikte, camın üretilmesi pahalı ve işlenmesi zordur. Cam takviyeli polimer kompozitler, cama göre daha uygun maliyetli ve hafif bir alternatiftir [71].

3.3.2 Plastik enjeksiyon yöntemi

Polimer hammaddenin, yüksek sıcaklıkta eritilmesi ve bir kalıp içerisine enjekte edilmesi ile gerçekleştirilen imalat yöntemine plastik enjeksiyon adı verilir. Polipropilen (PP) ve polistiren (PS) gibi termoplastiklerden büyük miktarlarda parça ve karmaşık şekiller yapmanın en hızlı, en ekonomik yollarından biridir [72].

Başlangıç malzemesi olarak, metaller, seramikler, cam takviyeli kompozitler, beton ve diğerleri dahil olmak üzere diğer malzeme türleri ile de kullanılabilir. İşlem, bir toz malzeme hunisini, plastiği enjeksiyon kalıplama makinesine beslemek için vidalı bir burguyu ve enjekte edilen malzemenin kalıpta erimesini önlemek için bir soğutma sistemini içerir [73].

Polipropilen, düşük maliyeti ve standart bir enjeksiyon kalıplama makinesinde işleme kolaylığı nedeniyle tipik olarak kullanılır. Polipropilen, tüketici ürünlerinin ambalajlanmasının yanı sıra otomotiv endüstrisindeki plastik bileşenlerde düzenli olarak kullanılmaktadır da dahil olmak üzere bir dizi enjeksiyonlu kalıplama uygulamasında yer almaktadır [74].

Plastik enjeksiyon kalıplama makineleri, düğmeler veya madeni paralar gibi çok küçük parçalardan büyük otomobil parçalarına kadar değişen boyutlarda ürünler üretebilir.

Enjeksiyon kalıpcıları (“kalıp üreticileri” olarak da bilinirler), bu işlem için kullanılan kalıpları oluşturma konusunda uzmanlaşmışlardır [75].

Plastik enjeksiyon kullanmak için birçok gerekçe vardır. Plastik enjeksiyon yönteminin avantajları, düşük maliyet; otomasyona uygunluk, son işleme prosesine ihtiyaç duyulmaması; yüksek hızlarda üretim; farklı yüzey, renk ve şekillerde parça üretimine uygunluk; malzeme kaybının çok az olması; düşük toleranslarda çalışabilme ve aynı kalıpta farklı ürünlerin üretilmesi şeklinde sıralanabilir [76].

Günümüz endüstri ve materyal bilimi doğrultusunda gelişim gösteren polimerler birçok alanda sıklıkla kullanılmaktadır. Bunlardan bazıları, farklı birçok yakıt ile karşılanabilen polimer materyaller olarak bilinmektedir. Bir yanda hammadde sıkıntısı, diğer yanda yeni malzemelere olan talebin artması, gelecekte yaygın olarak kullanılması muhtemel olan çift takviyeli polimerlerin ortaya çıkmasına neden olmuştur. Kaynak sıkıntısı sorununu çözmek için üretilmişlerdir. Kısaca Duplex plastikler, cam fibere birtakım polimer malzeme eklenerek yapılır [77].

Cam/polimer kompozitler (G/PC), tıbbi cihazlar ve oturma odası mobilyaları gibi birçok uygulama türü için hâlihazırda kullanılmaktadır [78, 79].

Polimerler, geri dönüşümlü ve yenilenebilir enerji kaynağı olarak da kullanılabilirliğinden enerji verimliliğinde oldukça yarar sağlamaktadır. Fakat polimerlerin aşınma dayanımları düşük olmakla birlikte, üretim aşamasında yapıya plastik enjeksiyon yöntemi ile farklı oranlarda cam – fiber kompozit materyal eklenerek aşınma dayanımları artırılabilir [80]. Cam fiber kompozit ile güçlendirilmiş polimerler yüksek elastisite modülüne sahip olurlar. Ayrıca, yüksek sıcaklıklara maruz kaldıklarında maksimum yük taşıma kapasitelerini korurlar [81]. Buna ek olarak, ısıl işlem debu yeteneği artırabilir ancak operasyonel hasarı önlemek için ısıl işlemin düşük sıcaklıklarda yapılması gerekir [81]. Ancak polimerlerde aşınma direncini ve sürünme direncini arttırmak için daha yüksek sıcaklıklarda ısıl işlem yapılabilir [81]. Bu çalışmada polimerlerin cam – fiber yapısındaki değişikliklerinin bu ikincil aşınma dayanımlarını arttırmak amacıyla metotlar üzerinde bir inceleme yapılmıştır [81]. Bu yöntemde malzeme enjeksiyon makinesine granül şeklinde beslenir. Granüller, ısıtma bölgesinde homojen bir karışım içinde akışkan hale gelir. Örnek olarak Şekil 3.2’de plastik enjeksiyon işleminde kullanılan cam takviyeli PA granülleri

görülmektedir [68]. Erimiş malzeme, ısıtma bölgesinden çıkış ucuna iletilir. Oda sıcaklığında soğutulduğu kapalı kalıba enjekte edilir [81].



Şekil 3.2 Plastik enjeksiyon işleminde kullanılan cam takviyeli PA granülleri ve çekme test numunesi [68]

4 DENEYSEL ÇALIŞMALAR

4.1 Üretim, Plastik Enjeksiyon

Üretim sırasında aşağıda detayları verilen LG Chemical LUMID GP2151AF PA6+GF15%, LG Chemical LUMID GP2200A(W) PA6+GF20% ve LG Chemical LUMID GP2300A(W) PA6+GF30% granülleri kullanılmıştır. %15, 20 ve 30 fiber katkı PA6 granül mekanik özellikleri Tablo 4.1 de gösterilmiştir.

Tablo 4.1 PA6 granül mekanik özellikleri

	%30 fiber katkılı Pa6 granül	%20 fiber katkılı Pa6 granül	%15 fiber katkılı Pa6 granül
Eğilme Dayanımı (MPa)	255	216	157
% uzama	3	4	2.8
Çekme mukavemeti (MPa)	177	147	-
Eğilme modülü (GPa)	8.34	6.67 GPa	5.98 GPa
Sertlik, Rockwell R	121	121	120

Poliamid ve farklı oranlarda cam fiber takviyeli poliamid numuneler plastik enjeksiyon yöntemiyle Tablo 4.2’de listelenen farklı ısı ve basınç parametreleri kullanılarak üretilmiştir.

Tablo 4.2 Numunelerin Kodlandırılması

Numune Kodu	Sıcaklık (Santigrat)	Basınç	Cam Fiber Oranı
A	245	70	15
B	280	50	15
C	245	70	20
D	280	50	20
E	245	70	30
F	280	50	30
G	245	50	30
H	280	70	30

Her numuneden üçer tane olmak üzere Bole 70 ekh/c660 enjeksiyon makinesinde, 24 adet numune üretimi yapılmıştır. Bu numuneler çekme, üç noktalı eğme ve darbe deneylerinde kullanılmıştır. Numunelerin kodlandırılması Tablo 4.3’te verilmiştir.

Tablo 4.3 İki Farklı Sıcaklık ve Basınç Parametreleri

İki Farklı Sıcaklık ve Basınç Parametreleri			
Parametre	Birim	Değerler	
Enjeksiyon Sıcaklığı	Santigrat derece	245	280
Enjeksiyon Basıncı	Bar	50	70

4.2 Testler

Eğme, Çekme ve Darbe testi TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi bünyesinde yapılmıştır.

4.2.1 Üç nokta eğme deneyi

Eğilme deneyi, eğilen numuneyi etkileyen yük ve elastik deformasyon arasındaki ilişkiyi incelemek ve bu ilişki sonucu numuneye ait bazı mekanik özelliklerinin tespit edilmesi amacıyla, ASTM D790 standardına uygun olarak ZWICK Z250 Üniversal Test Cihazında gerçekleştirilmiştir [82].

Eğilme deneyinde test hızı 2mm/dk, mesnetler arası mesafe: 51,2 mm alınmıştır. Deney, oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Üretilen numunelerin ölçüleri aşağıdaki Tablo 4.4 içeriğinde verilmiştir.

Tablo 4.4 ASTM D790 Standardı Eğilme Deneyi Numune Ölçüleri [30]

Kalınlık	3.2 mm
Genişlik	12.7 mm
Uzunluk	90 mm

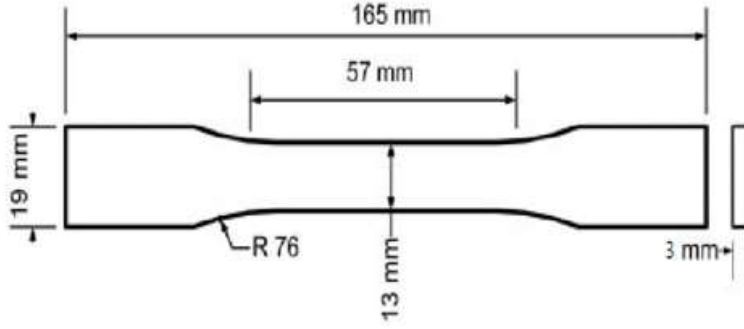
4.2.2 Çekme deneyi

Cam fiber katkılı ve katkısız üretilen poliamid numuneler ASTM D638 standardına göre, ZWICK Z 250 marka çekme test cihazında gerçekleştirilmiştir. ASTM D638 standardı, takviyeli ve takviyesiz polimerlerin çekme dayanımını ölçer [83].

Çekme deneyi sırasındaki test hızı 5mm/dk ve numunelerin başlangıç uzunluğu 50 mm'dir. Deney, oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir.

Çekme deneyi uygulanmak amacı ile numune, makinenin “grip adı verilen tutaklarına yerleştirip sıkıştırılmıştır. Bilgisayarla entegre olan bu sistem sayesinde uygulanan kuvvet ile uzama miktarı kaydedilmiştir. Üretilen numunelerin ölçüleri aşağıdaki Tablo 4.5 içeriğinde verilmiştir.

Tablo 4.5 ASTM D638 Çekme Deneyi Ölçüleri [83]



4.2.3 Darbe deneyi

Numunelerin dinamik kırılma tokluğunu tahmin etmek amacıyla, ASTM D256 standardı Metot E'ye göre yapılmıştır [84]. İzod çentikli darbe deneyi Şekil 4.3'te görülen Ceast Impactor marka cihazda gerçekleştirilmiştir. ASTM D256, “standartlaştırılmış” makinelere monte edilmiş “standartlaştırılmış” sarkaç tipi çekiçlere polimerlerin direncinin, bir sarkaç dönüşü ile standart numunelerin kırılmasında belirlenmesini kapsar. Darbe testi, öngörülen numune montajı, çentik açma ve sarkaç çarpma hızı parametreleri altında belirtilen boyuttaki standart test numunelerini kırmak için gereken enerjiyi gösterir [84].

ASTM D256 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiş olan analiz kodu M160 İzod Çentikli Darbe deneyinde numuneler farklı cam fiber oranı, ısı ve basınç kombinasyon parametreleri ile üretilmiş olup test numunelerinin boyutları Tablo 4.6'da verilmiştir.

Tablo 4.6 ASTM D256 Standardı Darbe Deneyi Numune Ölçüleri

ASTM D256 Standardı Darbe Deneyi Numune Ölçüleri	
Kalınlık	3±0.2 mm
Genişlik	12.7 ±0.2 mm
Uzunluk	70± 2 mm

ASTM D256 için standart test, numunelerin frezelenmiş çentik ile yapılmasını gerektirir. Darbe numuneleri tarafimca hazırlanmış olarak TÜBİTAK kurumuna

iletilmiştir. Çentikler TÜBİTAK tarafından açılmıştır. Deneysel oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.3 Ceast Impactor Marka Darbe Deneyi Cihazı

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde poliamid matrisine cam – fiber eklenmesi ile mekanik özelliklerinin geliştirilmesi amacıyla düzenlenen çekme, üç noktalı eğme ve darbe deneylerinin analiz verileri açıklanmıştır. Bulguları açıklamaya yardımcı olmak adına 20 sonuç tablosu oluşturulmuştur. Bu araştırma kapsamında aynı kompozit malzeme ikişer farklı ısı ve basınç parametreleri kullanılarak üretilmiş ve her birinden üçer tane olmak üzere toplamda 24 tane numune elde edilmiştir. Yukarıda belirtildiği üzere üç ayrı deneye tabi tutulan numunelerden elde edilen veriler analiz edilmiştir. Sonuçlarını açıklamaya yardımcı olmak adına çekme testi, darbe testi ve eğilme testi sonuç tabloları oluşturulmuştur.

Çekme, üç noktalı eğme ve izod çentik darbe deneylerinin sonuçları incelendiğinde, PA6 polimer malzemesine %15, %20, %30 oranlarda ilave edilen cam fiberin (GF) polimer malzemesinin çekme, eğilme ve darbe dayanımına etkide bulunduğu gözlemlenmiştir.

Cam fiberin (GF) katkı oranı arttıkça darbe, çekme ve eğme dayanımında da artış olduğu kaydedilmiştir. Üç deneyin sonuçları aşağıda detayları ile birlikte açıklanmıştır.

PA6 polimer malzemesine %15, %20, %30 oranlarda ilave edilen cam fiberin (GF) izod darbe deneyi sonuçları incelendiğinde PA6 polimer malzemesinde cam fiber ilavesinin oranı ile darbe dayanımı arasında doğrusal bir artış ilişkisi kurulmuştur. Cam fiber ilave oranı arttıkça darbe dayanımı da artmıştır.

Darbe testi sonucunda darbe dayanımı en yüksek bulunan numune E kodlu numune olup bu numune cam fiber oranı %30, sıcaklık görece düşük seviyede olan 245 (°C) ve basınç görece yüksek olan 70 bar değerlerinde olarak üretilmiştir. Onu takip eden F numunesi ise basıncın daha düşük (50 bar), sıcaklığın ise daha yüksek (280 °C) ayarlanarak üretilmiştir. Bu durumdan, iki numune arasında anlamlı bir değişim olmamasına rağmen, basınç yüksekliğinin ve sıcaklık düşüşünün optimum darbe dayanımı sağlayabileceği çıkarılabilir.

Darbe testi sonucu olarak cam fiber ilave oranının artışı tartışmasız olarak dayanıma olumlu bir etki sağlamakla birlikte, cam fiber oranının en yüksek oranda (%30) sabit tutularak sıcaklık ve basınç değerlerinin değişiminde ise, ortaya çıkan sonuç bu iki değer

doğru orantılı bir şekilde arttırılması/azaltılması darbe dayanımı için kötü bir etken olacağı yönündedir. Sıcaklığın düşük basıncın yüksek veya basıncın düşük sıcaklığın yüksek olarak ayarlandığı E ve F kodlu numuneler basınç ve sıcaklığın ikili şekilde yüksek ve düşük olarak ayarlandığı G ve H numunelerine oranla %30 daha iyi darbe dayanımı sergilemiştir. Sonuçta, cam fiber oranı yüksek, basınç ve sıcaklık değerlerinin ters orantılı şekilde ayarlandığı numuneler darbe dayanımı açısından en yüksek başarıyı göstermiştir.

PA6 polimer malzemesine %15, %20, %30 oranlarda ilave edilen cam fiberin (GF) eğme testi sonuçları incelendiğinde PA6 polimer malzemesinde cam fiber ilavesinin oranı ile çekme dayanımı arasında doğrusal bir artış ilişkisi kurulmuştur. Cam fiber ilave oranı arttıkça darbe dayanımında da orantılı artış görülmüştür.

Üç noktalı eğme testi sonucunda darbe dayanımı en yüksek bulunan numune H kodlu numune olup bu numune cam fiber oranı %30, sıcaklık en yüksek seviye olan 280 (°C) ve basınç benzer şekilde yüksek olan 70 bar değerlerinde olarak üretilmiştir. Bununla birlikte, cam fiberin en yüksek oranda üretilip sıcaklık ve basınç değerlerinin değişim gösterdiği E, F, G ve H numuneleri arasında darbe dayanımı anlamında büyük bir değişim yoktur. Bu numuneler benzer derecede 144 – 150 MPa aralığında eğilme dayanımı sergilemiştir. Fakat cam fiber oranı %15, %20, %30 oranlarında arttıkça eğilme dayanımı da aynı şekilde artmıştır. İzod darbe testinden farklı olarak, eğilme testinde cam fiber oranının artışı optimum eğilme dayanımı için çok daha baskın bir unsurdur. Bununla birlikte, basınç ve sıcaklık değerlerinin aynı şekilde yüksek olması da daha yüksek bir eğilme dayanımı için istenen enjeksiyon parametreleridir.

PA6 polimer malzemesine %15, %20, %30 oranlarda cam fiber (GF) takviyesi ile oluşturulan çekme deneyi sonuçları incelendiğinde PA6 polimer cam fiber ilavesinin oranı ile çekme dayanımı arasında doğrusal bir artış ilişkisi kurulmuştur. Cam fiber ilave oranı arttıkça çekme dayanımında da orantılı artış görülmüştür.

Çekme testi sonucu çekme dayanımı en yüksek olarak kaydedilen numune F kodlu numune olup bu numune cam fiber oranı %30, sıcaklık en yüksek seviye olan 280 (°C) ve basınç düşük seviye olan 50 bar değerlerinde üretilmiştir. 89,4 çekme dayanımına sahip F kodlu numuneyi takip eden ikinci çekme dayanımı en yüksek bulunan numune ise 85,9 çekme dayanımı ile E kodlu numuneye ait olup bu numune de cam fiber oranının en yüksek seviyede tutulduğu ve sıcaklık (245 °C) ile basınç (70 bar) değerlerinin ters orantılı şekilde dağılım göstermiştir. Cam fiber oranı %30 orandayken sıcaklık ve basınç

değerlerinin doğru orantılı şekilde artma ve azalma gösterdiği G ve H numuneleri ise ortalama 78 MPa ile daha düşük çekme dayanımı göstermiştir. Sonuçta, optimum çekme dayanımı sağlamak için numunelerde cam fiber kullanımının artırılması elzem olup sıcaklık ve basınç değerlerinin birbirinden ters orantıda tutulması ve takriben sıcaklık değerinin yüksekken basıncın düşük tutulması gerekmektedir.

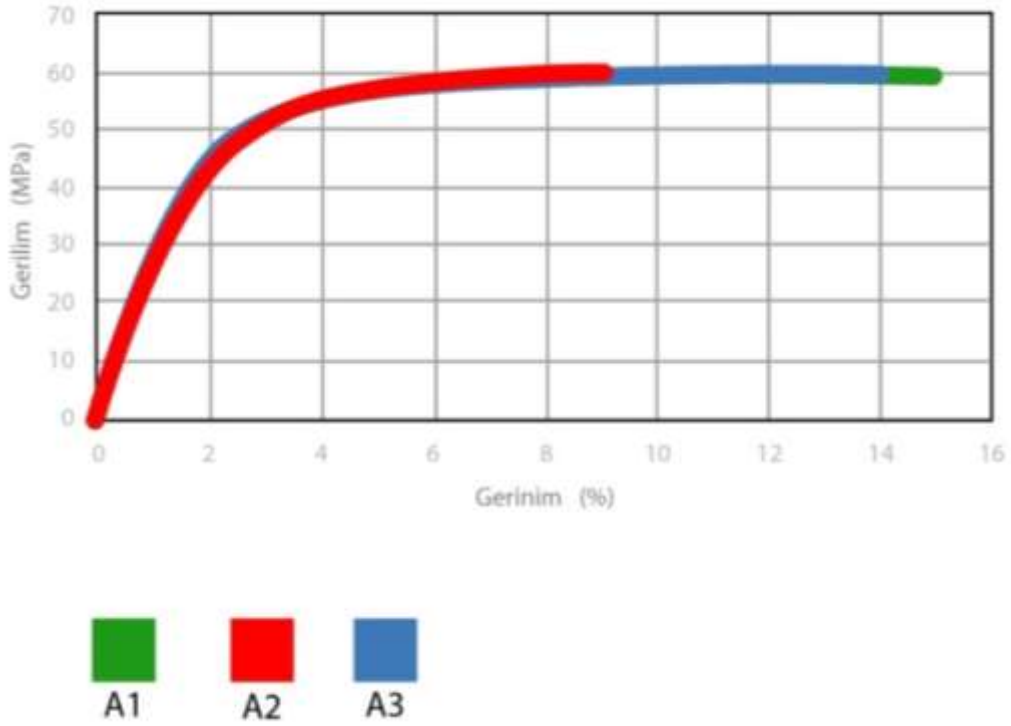
Maksimum çekme dayanımı ile cam fiber arasında doğrusal bir ilişki kurulabilir. Cam fiber oranı arttıkça, maksimum çekme dayanımı da orantılı bir artış gösterir. Ters orantı ise kopma noktası değerleri incelendiğinde gözlemlenmektedir. Numunelerde cam fiber oranı birimi arttıkça kopma noktasındaki gerinim değeri düşmüştür. İlginç olarak, cam fiber oranının en yüksek seviyede tutulduğu numunelerde sıcaklık ve basınç doğru orantılı şekilde artış ve azalış gösterdiğinde kopma noktasındaki gerinim en düşük seviyeye gelmektedir. Fakat, bu numuneler basınç ve sıcaklık değerlerinin ters orantılı şekilde artış ve azalış gösterdiği numunelerden anlamlı bir oranda daha dar akma noktası ve daha az çekme dayanımı göstermiştir.

Maksimum çekme dayanımı numunelerin dayanıklılığı hakkında bilgi verir. Gerilimin hemen hemen sabit olduğu gerinimin ise polimer akış bölgesinde akmaya devam ettiği kısım maksimum çekme dayanımı noktasından kopma noktasına kadar geçen süreci ifade eder. Cam fiber oranı en düşük seviyede (15) tutulan numunelerde bu kısım diğer numunelere kıyasla daha uzundur. Bu bize cam fiberi düşük olan numunelerin kopma noktasına gelmeden önce polimer akış bölgesinde daha fazla deforme olduklarını gösterir. Numunelerin cam fiber birimi arttıkça daha gevrek yapıda bir malzemeye dönüştükleri gözlemlenmiştir. Gevrek malzeme dayanıksız malzeme demek değildir. Buna örnek olarak cam fiber oranı 30 birim olarak ayarlanan malzemelerin maksimum çekme dayanımı daha yüksek ve dayanıklıyken, aynı zamanda diğer numunelere oranla daha gevrek bir yapıda olduğu belirlenmiştir.

5.1 Çekme Testi Bulguları

ASTM D638 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiş olan analiz kodu M158 çekme dayanımı deneyinde numuneler altı farklı cam fiber oranı ısı ve basınç kombinasyon parametreleri ile üretilmiş olup, deneyin bulguları her bir numune kodu için gerinim gerilim grafiğinde gösterilmiştir.

“Numune A” için 3 ayrı test numunesine ait gerinim-gerilim grafiği Şekil 5.1’de verilmiştir.



Şekil 5.1 A. numuneye ait gerilim – gerinim grafiği

Numune A.1’de maksimum çekme dayanımı 61,4 MPa olarak işaretlenmiş olup numune %15,2 seviyesinde kopma noktasındadır.

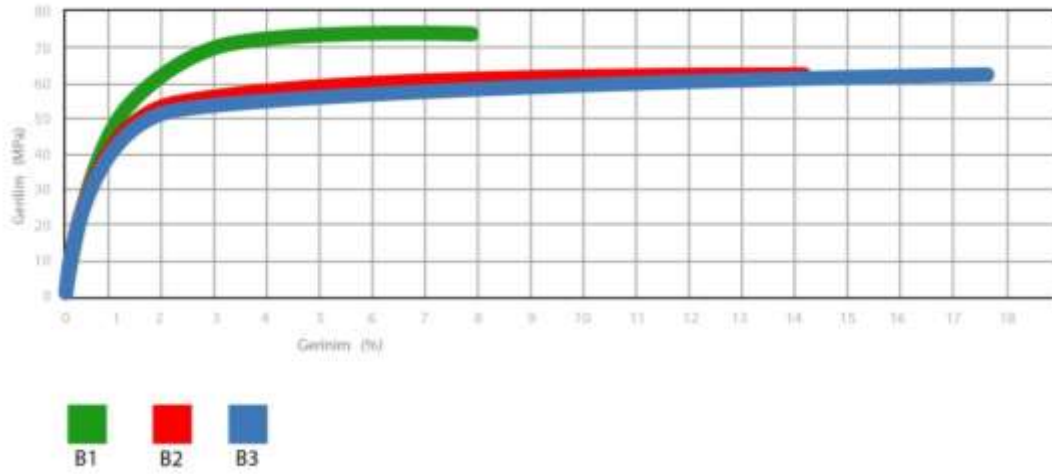
Numune A2’de ise kopma noktası gerinim %8,9 üstünde gerçekleşmiştir, fakat numune ölçü boyu dışından kopmuştur.

Numune A3, A1 numunesine benzer bir gerinim – gerilim dağılımı sergilemiştir. Hooke Kanunu’na göre doğru orantılı kısım gerilim (MPa) 50 seviyesine ilerlerken bitmiş olup gerilimin 61,8 MPa seviyesinde ilerlediği bölgede maksimum çekme dayanımı gerçekleşmiştir. Numune 3.’de kopma noktası gerinim %14,2 olarak belirlenmiştir. Cam fiber oranı %15, ısı 245 (°C) ve enjeksiyon basıncı 70 bar olarak üretilen A kodlu numunede genel sonuç olarak çekme dayanımı ortalama 61,4 MPa ve ortalama kopma uzaması %12,7’dir. Çekme testi sonrası Numune A şekil 5.2’de gösterilmiştir.



Şekil 5.2 Çekme Testi Sonrası Numune A

“Numune B” için 3 ayrı test numunesine ait gerinim-gerilim grafiği Şekil 5.3’te verilmiştir.



Şekil 5.3 B numuneye ait gerilim – gerinim grafiği

Numune B1. Gerinim – gerilim grafiği incelendiğinde Hooke kanunu’na işaret eden doğrusal kısmın gerilim yaklaşık 50 MPa kadar devam ettiği ve esneklik sınırının gerilim 60 MPa, gerinim ise %2’ye ulaştığında gerçekleştiği gözlemlenmektedir. Maksimum çekme dayanımı gerilim 74,6 MPa iken devam etmiş olup numune %7,8 gerinim ulaşmadan kopmuştur.

Numune B2. Gerinim – gerilim grafiği incelendiğinde Hooke Kanunu’na işaret eden doğrusal kısmın gerilim yaklaşık 40 MPa, gerinim %2 kadar devam ettiği ve esneklik sınırının gerilim yaklaşık 60 MPa, gerinim ise %4’e ulaştığında gerçekleştiği gözlemlenmektedir. Maksimum çekme dayanımı gerilim 61,1 MPa iken devam etmiş olup numune %14,8 gerinim seviyesinde kopmuştur.

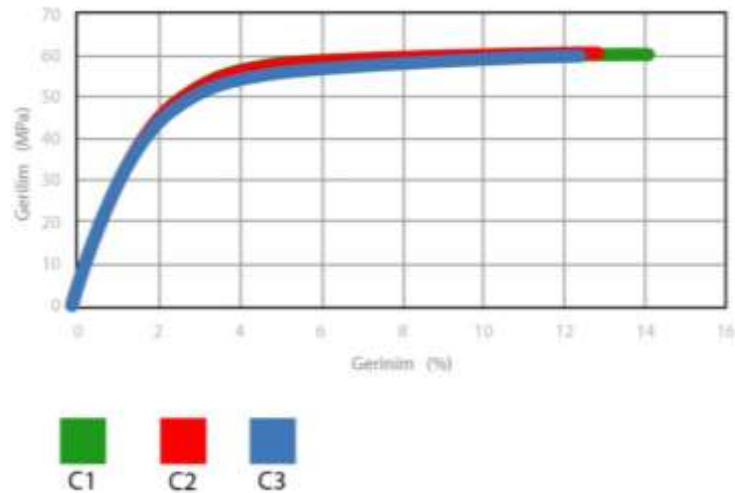
Numune B3. Gerinim – gerilim grafiği incelendiğinde Hooke Kanunu'na işaret eden doğrusal kısmın gerilim yaklaşık 40 MPa kadar devam ettiği ve esneklik sınırının gerilim yaklaşık 50 MPa, gerinim ise %3'e ulaştığında gerçekteştiği gözlemlenmektedir. Maksimum çekme dayanımı gerilim 60,4 MPa iken devam etmiş olup numune %17,5 kadar gerinim seviyesinde kopmuştur.

Cam fiber oranı %15, ısı 280 (°C) ve enjeksiyon basıncı 50 bar olarak ayarlanarak üretilen numunelerde genel sonuç olarak doğru orantılı kısmın gerilim (MPa) 50 ve gerinim ortalama %2 seviyesindeyken gerçekteştiği; maksimum çekme dayanımının gerilim ortalama 65,3 MPa seviyesinde ilerlediği ve numunelerin ortalama %13,4 gerinimi tamamladıktan sonra kopma noktasına geldiği gözlemlenmiştir. Bu numunelerin kopma noktası cam fiber oranı 15, ısı 280 (°C) ve enjeksiyon basıncı 50 bar olarak ayarlanarak üretilen numunelerden farklı olarak daha geniş aralıklı bir değişim göstermiştir.



şekil 5.4 Çekme Testi Sonrası Numune B

“Numune C” için 3 ayrı test numunesine ait gerinim-gerilim grafiği şekil 5.5'te verilmiştir.



şekil 5.5 C numunesine ait gerilim – gerinim grafiği

Numune C1. Gerinim – gerilim grafiği incelendiğinde Hooke Kanunu'na işaret eden doğrusal kısmın gerilim yaklaşık 40 MPa kadar devam ettiği bilgisine ulaşılabilir. Aynı zamanda akma noktası olarak adlandırılan esneklik sınırının gerilim yaklaşık 60 MPa, gerinim ise %4'e ulaştığında gerçekteştiği gözlemlenmektedir. Maksimum çekme dayanımı gerilim 60,1 MPa iken devam etmiş olup numune %12,4 gerinim seviyesinde kopmuştur.

Numune C2. Gerinim – gerilim grafiği incelendiğinde Hooke Kanunu'na işaret eden doğrusal kısmın gerilim yaklaşık 40 MPa kadar devam ettiği ve esneklik sınırının gerilim 50 MPa, gerinim ise %2'ye ulaştığında gerçekteştiği gözlemlenmektedir. Maksimum çekme dayanımı gerilim 62,4 MPa iken devam etmiş olup numune %12,8 gerinim seviyesinde kopmuştur.

Numune C3. Gerinim – gerilim grafiği incelendiğinde Hooke Kanunu'na işaret eden doğrusal kısmın gerilim yaklaşık 40 MPa kadar devam ettiği ve esneklik sınırının, bir başka deyişle akma noktasının, gerilim yaklaşık 50 MPa, gerinim ise %2'ye ulaştığında gerçekteştiği gözlemlenmektedir. Maksimum çekme dayanımı gerilim 61,5 MPa iken devam etmiş olup numune %14,1 gerinim seviyesinde kopmuştur.

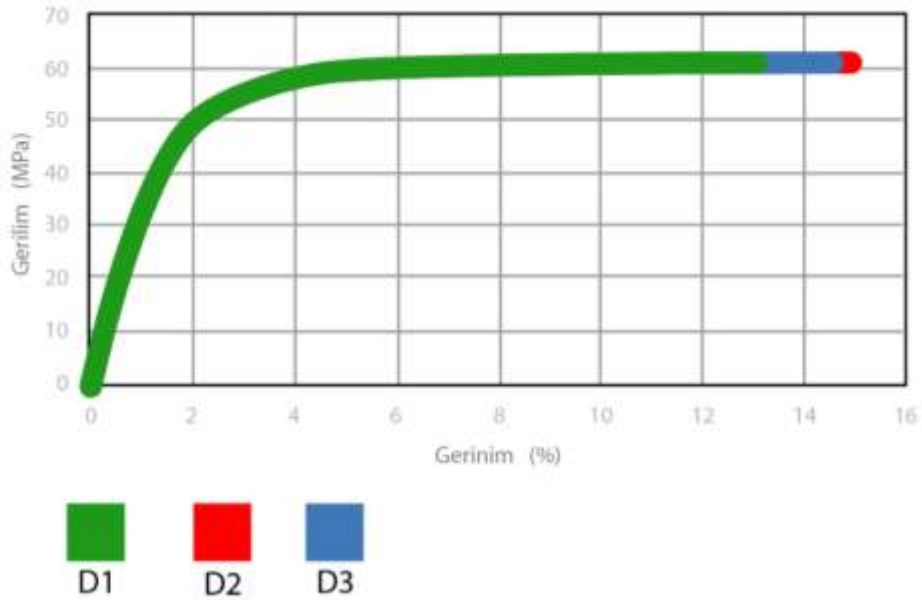
Cam fiber oranı %20, ısı 245 (°C) ve enjeksiyon basıncı 70 bar olarak ayarlanarak üretilen numunelerde genel sonuç olarak doğru orantılı kısmın gerilim (MPa) 40 ve gerinim ortalama %3 seviyesindeyken gerçekteştiği sonucuna varılmıştır. Esneklik sınırı ortalama olarak gerilim 56 MPa, Maksimum çekme dayanımının gerilim ortalama 61,3 MPa seviyesinde seyrederken ilerlediği ve numunelerin ortalama %13,1 gerinimi tamamladıktan sonra kopma noktasına geldiği gözlemlenmiştir. Bu numunelerin kopma noktası cam fiber oranı 15, ısı 245 (°C) ve enjeksiyon basıncı 70 bar olarak ayarlanarak üretilen numunelerden farklı olarak daha dar aralıklı bir değişim içindedir; veri noktaları ortalamadan daha uzak yayılım göstermiştir.

Numune C. Kodu içeriğinde incelenen numunelerde kopma şekil 5.6 içeriğindeki gibidir.



Şekil 5.6 Çekme Testi Sonrası Numune C

“Numune D” için 3 ayrı test numunesine ait gerinim-gerilim grafiği Şekil 5.7’de verilmiştir.



Şekil 5.7 D numunesine ait gerilim – gerinim grafiği

Numune D1. Gerinim – gerilim grafiği incelendiğinde Hooke Kanunu’na işaret eden doğrusal kısmın gerilim yaklaşık 40 MPa kadar devam ettiği ve esneklik sınırının gerilim 50 MPa, gerinim ise %2’ye ulaştığında gerçekleştiği gözlemlenmektedir. Maksimum çekme dayanımı gerilim 62,3 MPa iken devam etmiş olup numune %12,9 gerinim seviyesinde kopmuştur.

Numune D2. Gerinim – gerilim grafiği incelendiğinde Hooke Kanunu’na işaret eden doğrusal kısmın gerilim yaklaşık 40 MPa kadar devam ettiği ve esneklik sınırının gerilim 50 MPa, gerinim ise %2’ye ulaştığında gerçekleştiği gözlemlenmektedir.

Maksimum çekme dayanımı gerilim 62,5 MPa iken devam etmiş olup numune %15 gerinim seviyesinde kopmuştur.

Numune D3. Gerinim – gerilim grafiği incelendiğinde Hooke Kanunu'na işaret eden doğrusal kısmın gerilim yaklaşık 40 MPa kadar devam ettiği ve esneklik sınırının gerilim yaklaşık 50 MPa, gerinim ise %2'ye ulaştığında gerçekleştiği gözlemlenmektedir. Maksimum çekme dayanımı gerilim 61,9 MPa iken devam etmiş olup numune %14,5 gerinim seviyesinde kopmuştur.

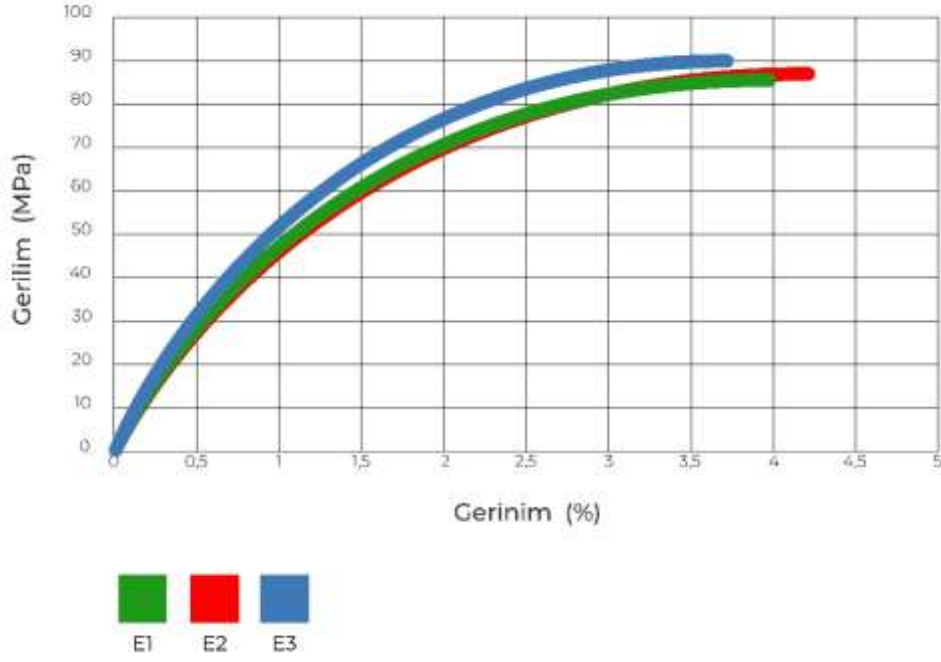
Cam fiber oranı 20, ısı 280 (°C) ve enjeksiyon basıncı 50 bar olarak ayarlanarak üretilen numunelerde genel sonuç olarak doğru orantılı kısmın gerilim (MPa) 40 ve gerinim ortalama %3 seviyesindeyken gerçekleştiği sonucuna varılmıştır. Esneklik sınırı ortalama olarak gerilim 56 MPa seviyesinde olduğu belirlenmiştir. D numunelerinin çekme dayanımının gerilim ortalama 62,2 MPa seviyesinde ilerlediği ve numunelerin ortalama %14,1 gerinimi tamamladıktan sonra kopma noktasına geldiği gözlemlenmiştir. Bu numunelerin kopma noktası cam fiber oranı 20, ısı 245 (°C) ve enjeksiyon basıncı 70 bar olarak ayarlanarak üretilen numunelerle benzer sonucu göstermiştir.

Numune D. Kodu içeriğinde incelenen numunelerde kopma şekil 5.8 içeriğindeki gibidir.



Şekil 5.8 Çekme Testi Sonrası Numune D

“Numune E” için 3 ayrı test numunesine ait gerinim-gerilim grafiği Şekil 5.9’da verilmiştir.



Şekil 5.9 E numuneye ait gerilim – gerinim grafiği

Numune E1. Gerinim – gerilim grafiği incelendiğinde Hooke Kanunu'na işaret eden doğrusal kısmın gerilim yaklaşık 60 MPa kadar devam ettiği ve esneklik sınırının gerilim yaklaşık 80 MPa, gerinim ise %3'e ulaştığında gerçekleştiği gözlemlenmektedir. Maksimum çekme dayanımı gerilim 85,2MPa iken devam etmiş olup numune %4 gerinim seviyesinde kopmuştur.

Numune E2. Gerinim – gerilim grafiği incelendiğinde Hooke Kanunu'na işaret eden doğrusal kısmın gerilim yaklaşık 60 MPa kadar devam ettiği ve esneklik sınırının gerilim 80 MPa, gerinim ise %3'e ulaştığında gerçekleştiği gözlemlenmektedir. Maksimum çekme dayanımı gerilim 85 MPa iken devam etmiş olup numune %4,3 gerinim seviyesinde kopmuştur.

Numune E3. Gerinim – gerilim grafiği incelendiğinde Hooke Kanunu'na işaret eden doğrusal kısmın gerilim yaklaşık 60 MPa kadar devam ettiği ve esneklik sınırının gerilim 80 MPa, gerinim ise %3'e ulaştığında gerçekleştiği gözlemlenmektedir. Maksimum çekme dayanımı gerilim 87,6 MPa iken devam etmiş olup numune %3,8 gerinim seviyesinde kopmuştur.

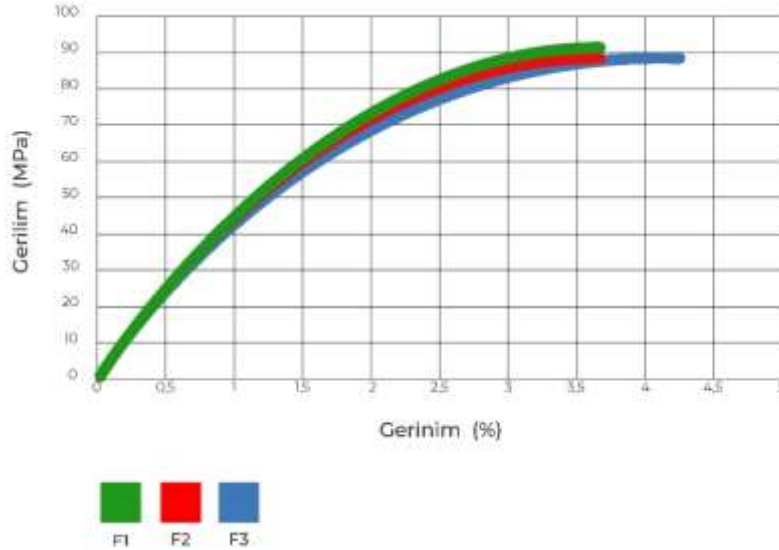
Cam fiber oranı 30, ısı 245 (°C) ve enjeksiyon basıncı 70 bar olarak ayarlanarak üretilen E kodlu numunelerde genel sonuç olarak doğru orantılı kısmın gerilim (MPa) 60 ve gerinim ortalama %3 seviyesindeyken gerçekleştiği sonucuna varılmıştır. Esneklik sınırı ortalama olarak gerilim 80 MPa seviyesinde olduğu belirlenmiştir. Maksimum çekme dayanımının gerilim ortalama 85,9 MPa seviyesinde ilerlediği ve numunelerin ortalama %4 gerinimi tamamladıktan sonra kopma noktasına geldiği gözlemlenmiştir.

Numune E. Kodu içeriğinde incelenen numunelerde kopma şekil 5.10 içeriğindeki gibidir.



Şekil 5.10 Çekme Testi Sonrası Numune E

“Numune F” için 3 ayrı test numunesine ait gerinim-gerilim grafiği Şekil 5.11’de verilmiştir.



Şekil 5.11 F numuneye ait gerilim – gerinim grafiği

Numune F1. Gerinim – gerilim grafiği incelendiğinde Hooke Kanunu’na işaret eden doğrusal kısmın gerilim yaklaşık 70 MPa kadar devam ettiği ve esneklik sınırının

gerilim 80 MPa, gerinim ise %2'ye ulaştığında gerçekleştiği gözlemlenmektedir. Maksimum ekme dayanımı gerilim 91,1 MPa iken devam etmiş olup numune %3,6 gerinim seviyesinde kopmuştur.

Numune F2. Gerinim – gerilim grafiği incelendiğinde Hooke Kanunu'na işaret eden doğrusal kısmın gerilim yaklaşık 60 MPa kadar devam ettiği ve esneklik sınırının gerilim 80 MPa, gerinim ise %2'ye ulaştığında gerçekleştiği gözlemlenmektedir. Maksimum ekme dayanımı gerilim 89,1 MPa iken devam etmiş olup numune %3,7 gerinim seviyesinde kopmuştur.

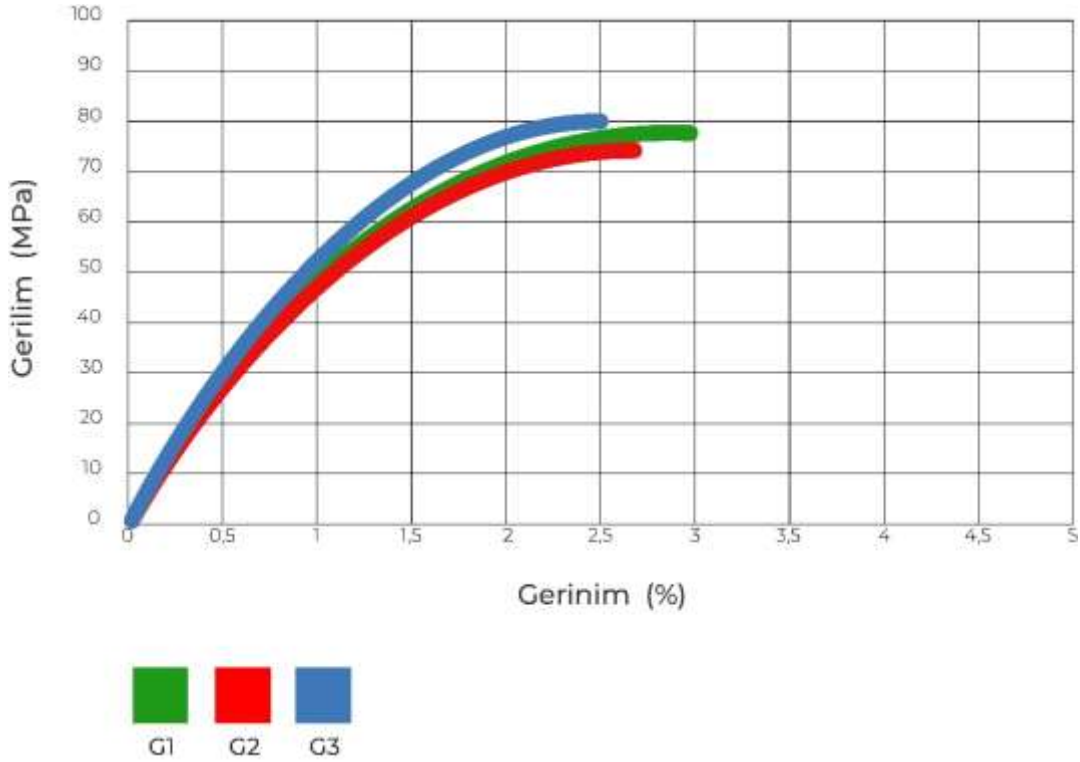
Numune F3. Gerinim – gerilim grafiği incelendiğinde Hooke Kanunu'na işaret eden doğrusal kısmın gerilim yaklaşık 60 MPa kadar devam ettiği ve esneklik sınırının gerilim 80 MPa, gerinim ise %2'ye ulaştığında gerçekleştiği gözlemlenmektedir. Maksimum ekme dayanımı gerilim 88,2 MPa iken devam etmiş olup numune %4,2 gerinim seviyesinde kopmuştur.

Cam fiber oranı 30, ısı 280 (°C) ve enjeksiyon basıncı 50 bar olarak ayarlanarak üretilen numunelerde genel sonuç olarak doğru orantılı kısmın gerilim (MPa) 63,3 ve gerinim ortalama %2 seviyesindeyken gerçekleştiği sonucuna varılmıştır. Esneklik sınırı ortalama olarak gerilim yaklaşık 80 MPa seviyesinde olduğu belirlenmiştir. Maksimum ekme dayanımının gerilim ortalama 89,4 MPa seviyesinde ilerlediği, ve numunelerin ortalama %3,8 gerinimi tamamladıktan sonra kopma noktasına geldiği gözlemlenmiştir. Bu numunelerin kopma noktası numune E ile benzer sonucu göstermiştir. Numune F. Kodu içeriğinde incelenen numunelerde kopma Şekil 5.12 içeriğindeki gibidir.



Şekil 5.12 ekme Testi Sonrası Numune F

“Numune G” için 3 ayrı test numunesine ait gerinim-gerilim grafiği Şekil 5.13’te verilmiştir.



Şekil 5.13 G numuneye ait gerilim – gerinim grafiği

Numune G1. Gerinim – gerilim grafiği incelendiğinde Hooke Kanunu’na işaret eden doğrusal kısmın gerilim yaklaşık 60 MPa kadar devam ettiği ve esneklik sınırının gerilim yaklaşık 70 MPa, gerinim ise %2’e ulaştığında gerçekteŐtiđi gözlemlenmektedir. Maksimum çekme dayanımı gerilim 79,6 MPa iken devam etmiş olup numune %3,0 gerinim seviyesinde kopmuştur.

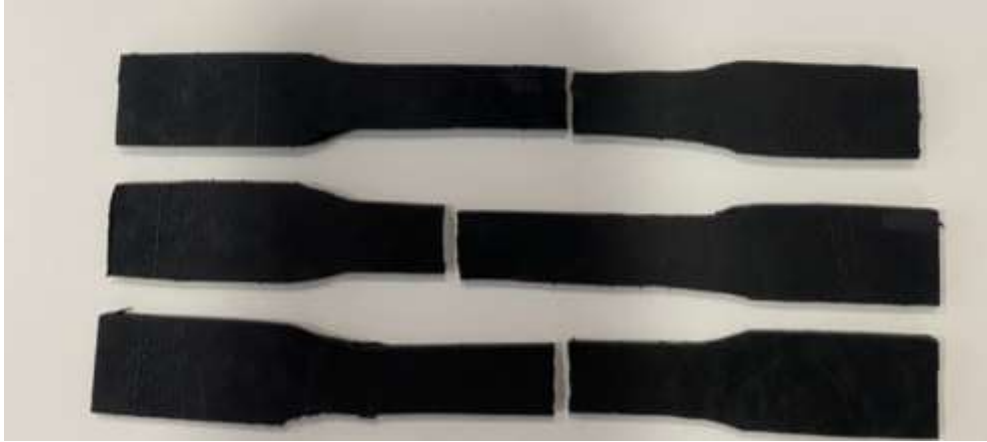
Numune G2. Gerinim – gerilim grafiği incelendiğinde Hooke Kanunu’na işaret eden doğrusal kısmın gerilim yaklaşık 50 MPa kadar devam ettiği ve esneklik sınırının gerilim 70 Mpa, gerinim ise %2’ye ulaştığında gerçekteŐtiđi gözlemlenmektedir. Maksimum çekme dayanımı gerilim 76,5 MPa iken devam etmiş olup numune %2,6 gerinim seviyesinde kopmuştur.

Numune G3. Gerinim – gerilim grafiği incelendiğinde Hooke Kanunu’na işaret eden doğrusal kısmın gerilim yaklaşık 50 MPa kadar devam ettiği ve esneklik sınırının gerilim 70 MPa, gerinim ise %1,7’ye ulaştığında gerçekteŐtiđi gözlemlenmektedir.

Maksimum çekme dayanımı gerilim 78,4 MPa iken devam etmiş olup numune %2,5 gerinim seviyesinde kopmuştur.

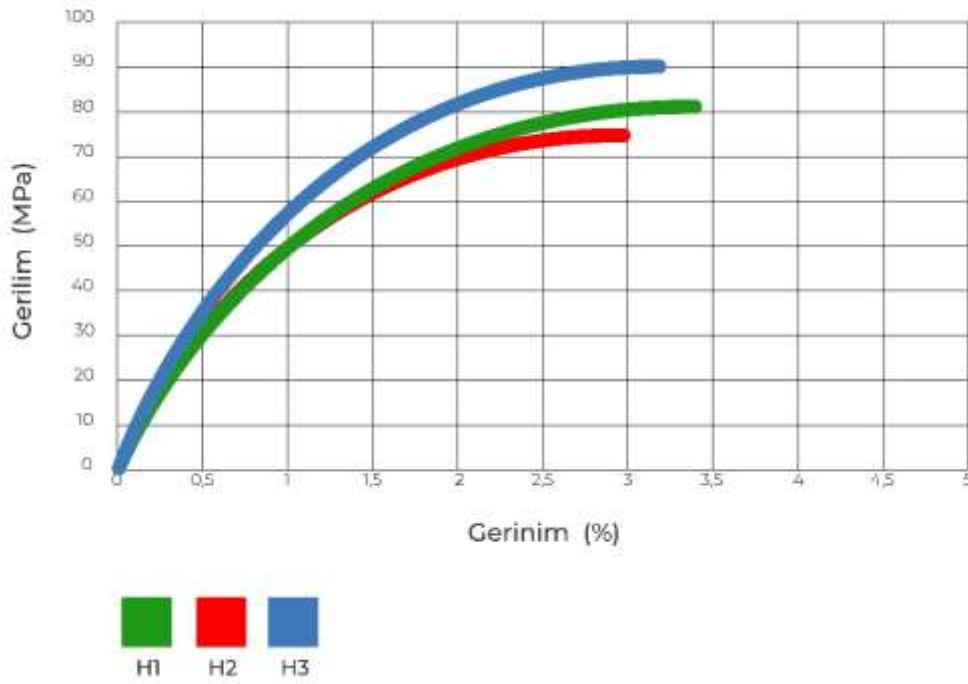
Cam fiber oranı 30, ısı 245 (°C) ve enjeksiyon basıncı 50 bar olarak ayarlanarak üretilen numunelerde genel sonuç olarak doğru orantılı kısmın gerilim (MPa) 53 ve gerinim %1,1 seviyesindeyken gerçekleştiği sonucuna varılmıştır. Esneklik sınırı ortalama olarak gerilim ortalama 70 MPa seviyesinde olduğu belirlenmiştir. Maksimum çekme dayanımının gerilim 78,2 MPa seviyesinde ilerlediği ve numunelerin ortalama %2,7 gerinimi tamamladıktan sonra kopma noktasına geldiği gözlemlenmiştir. Bu numunelerin dayanımı cam fiber oranı 30, ısı 245 (°C) ve enjeksiyon basıncı 70 bar olarak ayarlanarak üretilen numunelere oranla daha az direnç göstermiştir. G numuneleri E numunelerine oranla daha az gerilim (MPa) direnci göstermiş olup kopma noktasına daha az gerilimle ulaşmışlardır. Bu numunelerin arasındaki tek farkın basınç olması dolayısıyla basıncın çekme dayanımına olumlu etkisi olduğunu gözlemlenir.

Numune G. Kodu içeriğinde incelenen numunelerde kopma şekil 5.14 içeriğindeki gibidir.



Şekil 5.14 Çekme Testi Sonrası Numune G

“Numune H” için 3 ayrı test numunesine ait gerinim-gerilim grafiği Şekil 5.15’te verilmiştir.



Şekil 5.15 H numuneye ait gerilim – gerinim grafiği

Numune H1. Gerinim – gerilim grafiği incelendiğinde Hooke Kanunu’na işaret eden doğrusal kısmın gerilim 50 MPa ve gerinim %1 seviyesine kadar devam ettiği ve esneklik sınırının gerilim 70 MPa, gerinim ise %2’ye ulaştığında gerçekleştiği gözlemlenmektedir. Maksimum çekme dayanımı gerilim 81,4 MPa iken devam etmiş olup numune %3,4 gerinim seviyesinde kopmuştur.

Numune H2. Gerinim – gerilim grafiği incelendiğinde Hooke Kanunu’na işaret eden doğrusal kısmın gerilim 50 MPa kadar devam ettiği ve esneklik sınırının gerilim 70 MPa, gerinim ise %2’e ulaştığında gerçekleştiği gözlemlenmektedir. Maksimum çekme dayanımı gerilim 77,7 MPa iken devam etmiş olup numune %3 gerinim seviyesine ulaŐtıktan hemen sonra kopmuştur.

Numune H3. Gerinim – gerilim grafiği incelendiğinde Hooke Kanunu’na işaret eden doğrusal kısmın gerilim yaklaşık 50 MPa kadar devam ettiği ve esneklik sınırının gerilim yaklaşık 70 MPa, gerinim ise %1,8’e ulaştığında gerçekleştiği gözlemlenmektedir.

Maksimum çekme dayanımı gerilim 77,4 MPa iken devam etmiş olup numune %3,2 gerinim seviyesinde kopmuştur.

Cam fiber oranı 30, ısı 280 (°C) ve enjeksiyon basıncı 70 bar olarak ayarlanarak üretilen numunelerde sonuç olarak doğru orantılı kısmın gerilim 50 MPa ve gerinim ortalama %1 seviyesindeyken gerçekleştiği sonucuna varılmıştır. Esneklik sınırı ortalama olarak gerilim 70 MPa seviyesinde olduğu belirlenmiştir. Maksimum çekme dayanımının gerilim ortalama 80 MPa seviyesinde ilerlediği ve numunelerin ortalama %2,9 gerinimi tamamladıktan sonra kopma noktasına geldiği gözlemlenmiştir. Bu numunelerin kopma noktası cam fiber oranı 30, ısı 245 (°C) ve enjeksiyon basıncı 50 bar olarak ayarlanarak üretilen numunelere benzer sonucu göstermiştir.

Numune H. Kodu içeriğinde incelenen numunelerde kopma şekil 5.16 içeriğindeki gibidir.



Şekil 5.16 Çekme Testi Sonrası Numune H

Tüm numuneler için yukarıda verilen gerilim-gerinim grafiklerinin özeti Tablo 5.1’de özetlenmiştir.

Tablo 5.1 Çekme Testi Bulguları

Numune Kodu	Çekme Dayanımı MPa	Ort ÇD	Std ÇD	% Kopma Uzmanası	Ortalama Kopma Uzmanası	Standart Sapma Kopma Uzmanası	Elastik Modülü (MPa)	Ort EM	Std EM
A-1	61.4	61.4	0.4	15.2	12.7	3.4	2890	2914	77
A-2	61.0			8.9 +			3000		
A-3	61.8			14.2			2853		
B-1	74.6	65.3	8.0	7.8	13.4	8.0	4457	3458	869
B-2	61.1			14.8			3037		
B-3	60.4			17.5			2880		
C-1	60.1	61.3	1.1	12.4	13.1	0.9	3002	3111	185
C-2	62.4			12.8			3325		
C-3	61.5			14.1			3006		
D-1	62.3	62.2	0.3	12.9	14.1	1.1	3216	3197	52
D-2	62.5			15.0			3237		
D-3	61.9			14.5			3138		
E-1	85.2	85.9	1.4	4.0	4.0	0.2	5583	5855	734
E-2	85.0			4.3			5295		
E-3	87.6			3.8			6685		
F-1	91.1	89.4	1.5	3.6	3.8	0.3	7016	6120	933
F-2	89.1			3.7			6192		
F-3	88.2			4.2			5153		
G-1	79.6	78.2	1.6	3.0	2.7	0.2	5486	5612	260
G-2	76.5			2.6			5438		
G-3	78.4			2.5			5912		
H-1	81.4	78.8	2.2	3.4	3.2	0.2	5107..9	5199	113
H-2	77.7			3.0			5326.8		
H-3	77.4			3.2			5162		

+: Numune ölçü boyu dışından kopmuştur.

245 derecede numune A, C, E ve 280 derecede numune B, D, F karşılaştırıldığında; her iki sıcaklıkta da cam fiber oranı arttıkça daha yüksek elastik modülü (MPa) ve çekme dayanımı (MPa) değerlerine ulaşılmıştır. Benzer şekilde, cam elyafı takviyeli poliamid kompozitin çekme mukavemetinin, cam elyaf içeriği artırılarak iyileştirildiği belirtilmiştir [85]. Bununla birlikte, cam fiber oranı en yüksek değerde sabit tutulduğunda (30 GF) üretim parametrelerinden sıcaklık ve basıncın etkisi gözlenmektedir. Buna göre; yüksek basınçta sıcaklığın artması (numune E'den H'ye) çekme dayanımını azaltırken, düşük basınçta sıcaklığın artması (numune G'den F'ye) çekme dayanımını arttırmıştır. Aynı şekilde; bir çalışmada çekme dayanımı, iyileştirilmiş bağlanma ile sonuçlanan polimerin düşük viskoz stresi nedeniyle 220 °C'den 280 °C'ye kadar olan enjeksiyon sıcaklığındaki artışla yaklaşık %7 artmıştır [90]. Fakat sonuçta; basınç artışının çekme dayanımını azalttığını görülmektedir. Bu azalış yüksek basınçta fiberlerin kırılması ile açıklanabilir [91].

En yüksek çekme dayanımı değeri 89,4 (MPa) olarak F kodlu numunede düşük basınç (50 MPa) ve yüksek sıcaklıkta (280 °C) elde edilmiştir.

5.2 Eğilme Deneyi Bulguları

ASTM D790 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiş olan analiz kodu M168 eğilme deneyinde kalınlığı 3.2 mm, genişliği 12.7 mm ve uzunluğu 90 cm olarak belirlenmiş numuneler farklı cam fiber, ısı ve basınç kombinasyon parametreleri ile üretilmiş olup deneyin bulguları Tablo 5.2 içeriğinde gösterilmiştir.

Tablo 5.2 Eğilme Testi Bulguları

Numune Kodu	Eğilme Kuvveti (MPa)	Ortalama Eğilme Kuvveti	Standart Sapma (Eğilme Kuvveti)	Eğilme Modülü (MPa)	Ortalama Eğilme Modülü (MPa)	Standart Sapma (Eğilme Modülü)
A-1	83.6	79.1	4.0	1984	1899	82
A-2	77.8			1821		
A-3	75.8			1891		
B-1	78.2	77.1	2.7	1842	1848	127
B-2	79.1			1978		
B-3	74.0			1725		
C-1	79.0	80.1	1.4	1738	1873	138
C-2	81.6			2014		
C-3	79.7			1868		
D-1	85.5	88.1	2.3	2210	2266	54
D-2	89.2			2269		
D-3	89.7			2319		
E-1	156.1	148.3	7.3	4276	4041	291
E-2	141.6			3716		
E-3	147.3			4131		
F-1	142.4	144.2	5.7	4191	4191	191
F-2	139.7			4000		
F-3	150.7			4382		
G-1	152.1	147.5	4.6	5061	4910	217
G-2	142.9			4661		
G-3	147.5			5007		
H-1	143.1	150.1	7.4	4765	5117	331
H-2	157.8			5421		
H-3	149.4			5117		

3 nokta eğme deneyi bütünsel bulguları incelendiğinde cam fiber oranı arttıkça eğilme elastik modülünde de artış olduğu gözlemlenebilir. 245 °C’de üretimi yapılan numunelerde fiber oranı %15’ten (Numune A), %20’ye (Numune C) arttırıldığında eğilme

dayanımı 79.1'den 80.1 MPa'ya artmış yani neredeyse sabit kalmıştır. Diğer yandan 280 °C'de üretilen B ve D numunelerinde de eğilme dayanımının 77,1 değerinden 88.1 MPa değerine artmıştır. Fakat bu artış fiber oranını %30' a çıkarınca çok daha belirgin hale gelmiştir. Cam fiber oranının %20' den %30' a artmasıyla eğilme dayanımı 245 °C'deki üretimde % 85 artmıştır. Aynı şekilde bir çalışmada Cam fiber oranının %20' den %30' a artmasıyla eğilme dayanımı 119.6 MPa'dan 143 MPa 'ya artmıştır [85].

Cam fiber %30 olarak sabitlenen numunelerde sıcaklıklar sabitken standart sapma verilerinde doğrusal bir ilişki bulunmuştur. Eğilme elastik modülü verilerinin standart sapması ne kadar yüksekse, eğilme dayanımı standart sapma verileri de o kadar artmıştır. Standart sapmanın artması, veri noktalarının ortalamadan daha uzak yayıldıkları anlamına gelir. Bir başka deyişle, standart sapma numunelere ait verilerin kendi merkezleri eksenindeki homojenliğini göstermesi anlamında önemlidir. Standart sapma ne kadar yüksekse, verilerin dağılımı o kadar heterojen olur. Son olarak, standart sapması yüksek bulunan numune verilerinin daha az güvenilir sonuçlar verdiği sonucuna da ulaşılabilir. [86]

3 noktalı eğilme deneyi sonucu eğilme dayanımı en yüksek bulunan numune Tablo 5.2 içerisinde verileri incelenen H kodlu numune olup eğilme dayanımı 150,13 (MPa) olarak kaydedilmiştir.

Eğilme deneyi bulguları, bu alanda yapılmış benzer araştırmalarla karşılaştırıldığında deney sonucu literatürdeki araştırmaları onaylar sonuçlar vermiştir. Fiber türü, kumaşın bileşim mekanik özellikleri üzerine desen ve mikrofiber ilavesi gibi farklı parametreler üzerindeki etkilerini değerlendirmek için yapılan bir deneysel çalışmada epoksi matrise %1-3 oranında mikrofiber eklenmesi, cam fiber kompozitlerin katmanlar arası kırılma tokluğunu %75-108 oranında artış ile sonuçlanmıştır. Benzer lif hacim oranlarında, takviye yapısının tokluk üzerinde lif tipine göre daha güçlü bir etkiye sahip olduğu görülmüştür [92].

Cam – fiber takviyeli kompozitlerin yorulma oranlarının değişimi incelenen çalışmada Mrzljak ve arkadaşları enjeksiyon parametrelerinin yorulma dayanımı üzerinde büyük bir etkiye sahip olduğunu kanıtlamışlardır [87]. Bu çalışmada da enjeksiyon parametreleri eğilme ve numunelerin yorulma dayanımı üzerinde büyük etkiye sahiptir.

Fiber glass oranı basınçla birlikte arttıkça, yorulma dayanımı da doğrusal olarak artmıştır [87].

5.3 İzod Darbe Deneyi Bulguları

ASTM D256 stardardına uygun olarak gerçekleştirilmiş olan analiz kodu M160 İzod Çentikli Darbe deneyi sonuçları Tablo 5.3’de özetlenmiştir.

Tablo 5.3 Darbe Testi Bulguları

Numune Kodu	Numune No	Darbe Dayanımı (kJ/m ²)	Ortalama	Standart Sapma
A	1	5,57	5,06	0,65
	2	4,32		
	3	5,30		
B	1	7,0	5,59	1,99
	2	4,18		
C	1	6,03	5,47	0,48
	2	5,18		
	3	5,20		
D	1	5,21	5,24	0,12
	2	5,14		
	3	5,38		
E	1	9,67	9,40	0,58
	2	9,80		
	3	8,73		
F	1	8,99	9,19	0,17
	2	9,28		
	3	9,30		
G	1	7,01	6,89	0,23
	2	6,98		
	3	6,59		
H	1	6,58	6,04	0,46
	2	5,80		
	3	5,75		

Sonuçlardan edindiğimiz bilgiye göre darbe dayanımı en yüksek olan numune, E olarak kaydedilmiştir. E kodlu numuneye ait numunelerde kopma aşağıdaki Şekil 5.17 içeriğinde görüldüğü gibidir.



Şekil 5.17 Darbe deneyi sonrası Numune E

E kodlu numune diğer numunelerin özellikleri ile kıyaslandığında cam fiber oranının ne kadar yüksek ise darbe testinde o kadar daha dayanım sahibi olduğunu söyleyebiliriz. Bununla birlikte, cam fiber oranı (%30) aynı oranda yüksek olmasına rağmen, G ve H kodlu numuneler E kodlu numune kadar yüksek darbe dayanımı gösterememiştir. Yani yüksek sıcaklık, düşük basınç ya da yüksek basınç, düşük sıcaklık kombinasyonu daha yüksek darbe dayanımı ile sonuçlanmıştır. O nedenle, cam fiber oranının artışından sonraki diğer önemli nokta numunelerin basınç ve sıcaklığın ters orantıda ayarlanarak üretilmesidir.



Şekil 5.18 Darbe deneyi sonrası Numune F

Daha yüksek sıcaklıkta üretilen F kodlu numune içeriğinde incelenen numunelerde kopma yukarıdaki 5.18 şekilde görüldüğü gibidir. Bu numuneye ait darbe test sonucu düşük sıcaklıkta (245 °C) üretilen E kodlu numuneden daha düşük darbe dayanımına sahiptir. Bu da sıcaklığın yüksekliği ile darbe dayanımının ters orantılı olduğunu gösterir. Benzer şekilde, Adriano Damiani ve arkadaşları (2015) da enjeksiyon kalıplama koşullarının poliamid 6/cam fiber/montmorillonit (PA6/GF/MMT) kompozitlerinin mekanik özellikleri üzerindeki etkisini inceledikleri çalışmalarında sonuç olarak daha düşük kütle sıcaklıklarında işlenen kompozitlerin, daha yüksek çekme dayanımı ve eğilme dayanımı sergilediğini sunmuşlardır [88].

Tablo 5.3'te verilen darbe testinin özetine göre, numune E'de maksimum darbe enerjisi 9.4 kJ/m² olarak elde edilir. Fiber içeriği %15'ten %20'ye çıkarıldığında darbe enerjisi önemli ölçüde değişmez, ancak fiber içeriği %30'a ulaştığında darbe enerjisi önemli ölçüde artar.

E kodlu numune, 9,40 ortalama darbe dayanımı oranı ($\frac{\text{kJ}}{\text{m}^2}$) ile tüm numuneler arasında en yüksek darbe dayanımına sahiptir. Dolayısıyla yüksek basınç darbe dayanımını arttırmaktadır. Cam fiber oranı artırılarak hazırlanmış numunelerde sıcaklığın düşük basıncın ise yüksek olması optimum darbe dayanımını verir.

Devre kutuları gibi ince cidarlı parçalarda çapaklanma olmaması için basıncın düşük, sıcaklığın yüksek seçilmesi önerilir. Bu öneri çalışmanın sonucunda bulunan düşük basınçta yüksek sıcaklıkta yüksek çekme dayanımını sonucu ile de uyumludur.

Hacimli ve kalın kesitli, takoz gibi destek parçalarının üretiminde ise sıcaklığın artması ile çıkan üründe hacimsel çekme de artacağından, düşük sıcaklık yüksek basınç tercih edilmesinin sebebi yine çalışma sonucunda bu kombinasyonda maksimum dayanıma ulaşılmasıdır. Diğer yandan, ızgara peteği gibi geniş yüzey alanı ve ince kesit alanı ile üretilmesi gereken parçalarda yüksek sıcaklık, yüksek basınç ile üretim önerilir. Yüksek sıcaklık ile granüller daha sıvı hal alacak ve yüksek basınç ile de alana dağılımı eşit olacağından bu kombinasyon tercih edilir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Poliamid matrise cam fiber eklenmesi ile mekanik özelliklerinin geliştirilmesi amaçlanan bu araştırmada sonuçlar incelendiğinde, cam – fiber miktarı daha yüksek olarak üretilen kompozit malzemelerde enjeksiyon parametrelerinden bağımsız olarak daha yüksek bir dayanım gözlemlenmiştir. Bu dayanım artışı gerçekleştirilen çekme deneyi, izod darbe deneyi ve 3 noktalı eğme deneyi olmak üzere üç deneyde de gözlemlenebilir.

Sıcaklık ve basınç deney parametrelerinin etkisine bakıldığında, yüksek basınçta sıcaklığın artması çekme dayanımını azaltırken, düşük basınçta sıcaklığın artması çekme dayanımını arttırmıştır.

Fiber oranının artması ile kırılma arttığı için numuneler boyunlaşma olmadan kopmuştur.

Yüksek sıcaklık, düşük basınç ya da yüksek basınç, düşük sıcaklık kombinasyonu daha yüksek darbe dayanımı ile sonuçlanmıştır.

Kompozitin elastisite modülü fiber cam hacim oranı ile artmıştır. Cam fiber oranı arttıkça eğilme elastik modülünde de artış olduğu sonucu çıkmıştır.

Sonraki çalışmalarda mikroskop ile kırılma analizi yapılarak parametre etkilerinin detaylandırılması ve daha fazla parametrenin etkisine bakılması yararlı olacaktır.

7. KAYNAKLAR

- [1] İnkaya S, “Dünyada ve Türkiye’de Kompozit Sektörü,” Mühendis ve Makina, vol. 52, no. 613, pp. 30–34, 2011
- [2] Yaylacı Eyüp (2011) Otomobillerde Kullanılan Pmk Malzemeler
- [3] Sathishkumar, T. P., Satheeshkumar, S., & Naveen, J. (2014). Glass fiber-reinforced polymer composites—a review. *Journal of reinforced plastics and composites*, 33(13), 1258-1275.
- [4] Beardmore, P. (1986). Composite structures for automobiles. *Composite structures*, 5(3), 163-176.
- [5] Enamul Hossain, M. (2011). The current and future trends of composite materials: an experimental study. *Journal of composite materials*, 45(20), 2133-2144.
- [6] Mangalgiri, P. D. (1999). Composite materials for aerospace applications. *Bulletin of Materials Science*, 22(3), 657-664. ISO 690
- [7] Chalmers, D. W. (1994). The potential for the use of composite materials in marine structures. *Marine structures*, 7(2-5), 441-456.
- [8] Tenney, D. R., Davis Jr, J. G., Pipes, R. B., & Johnston, N. (2009, October). NASA composite materials development: lessons learned and future challenges. In *NATO RTO AVT-164 Workshop on Support of Composite Systems* (No. LF99-9370).
- [9] Mortensen, A., & Llorca, J. (2010). Metal matrix composites. *Annual review of materials research*, 40, 243-270. ISO 690
- [10] Karaoğlu, S. Y., Karaoğlu, S., & İmgesu, Ü. N. A. L. (2021). Aerospace Industry and Aluminum Metal Matrix Composites. *International Journal of Aviation Science and Technology*, 2(02), 73-81. ISO 690
- [11] Arora, G. S., Saxena, K. K., Mohammed, K. A., Prakash, C., & Dixit, S. (2022). Manufacturing Techniques for Mg-Based Metal Matrix Composite with Different Reinforcements. *Crystals*, 12(7), 945. ISO 690

- [12] Park, S. J., & Seo, M. K. (2011). Interface science and composites (Vol. 18). Academic Press.
- [13] Wang, R. M., Zheng, S. R., & Zheng, Y. P. G. (2011). Polymer matrix composites and technology. Elsevier.
- [14] Safri, S. N. A., Sultan, M. T. H., Jawaid, M., & Jayakrishna, K. (2018). Impact behaviour of hybrid composites for structural applications: A review. *Composites Part B: Engineering*, 133, 112-121.
- [15] Composite Materials – Particle-reinforced Composites. (2022). Retrieved 28 August 2022, from <://science.jrank.org/pages/1665/Composite-Materials-Particle-reinforced-composites.html>
- [16] Karacor, B., & Özcanlı, M. Examination of Fiber Reinforced Composite Materials. *Gazi University Journal of Science*, 1-1. ISO 690
- [17] Domm, M. (2020). Printing of three-dimensional polymer composite structures with continuous fiber reinforcement. In *Structure and Properties of Additive Manufactured Polymer Components* (pp. 333-358). Woodhead Publishing.
- [18] Evcimen A. (2005). Pim Bağlantılı Kompozitlerde Tabaka Sayısı ve Oryantasyon Açısının Gerilmeye Etkisi, Dokuz Eylül Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü
- [19] Balasubramanian, M. (2014). *Composite materials and processing* (pp. 335-343). Boca Raton: CRC press., ISO 690
- [20] Composite Materials – Particle-reinforced Composites. (2022). Retrieved 28 August 2022, from <://science.jrank.org/pages/1665/Composite-Materials-Particle-reinforced-composites.html>
- [21] “Nylon6 and Nylon 66” By Michael Ströck (mstroeck) at en.wikipedia – Transferred from en.wikipedia to Commons. (CC BY-SA 3.0) via Commons Wikimedia
- [22] Thermoset vs Thermoplastic (What is the Difference?). (2022). Retrieved 28 August 2022

- [23] Composite Materials – Particle-reinforced Composites. (2022). Retrieved 28 August 2022, from [://science.jrank.org/pages/1665/Composite-Materials-Particle-reinforced-composites.html](http://science.jrank.org/pages/1665/Composite-Materials-Particle-reinforced-composites.html)
- [24] Majeed, B., & Basturk, S. (2021). Analysis of polymeric composite materials for frictional wear resistance purposes. *Polymers and Polymer Composites*, 29(2), 127-137.
- [25] “Wallace Carothers:1928”. *DuPont Heritage website*. Retrieved 28 August 2022
- [26] Acrylic, A., Microfiber, M., Nylon, O., Polyester, P., Spandex, V., & Vinyon, Z. *Unit-Chemistry of Garments: Synthetic (man-made) Fibres*.
- [27] Taşdelen, M. A., & Yılmaz, İ. N. (2018). Cam Elyaf Katkılı Poliamid 66/Poliftalamid Karışımlarının Hazırlanması. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 23(1), 285-294. ISO 690
- [28] Seguela, R. (2020). Overview and critical survey of polyamide6 structural habits: Misconceptions and controversies. *Journal of Polymer Science*, 58(21), 2971-3003.
- [29] Cilveli, G., Okur, A., & Sülar, V. (2020). Electrostatic Properties of Clothing Fabrics Suitable for Different End-Uses. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, (1 (139)), 50-57. ISO 690
- [30] Górnicka, B., Mazur, M., Sieradzka, K., Prociów, E., & Lapinski, M. (2010). Antistatic properties of nanofilled coatings. *Acta Physica Polonica-Series A General Physics*, 117(5), 869. ISO 690
- [31] Liaw, D. J., Chang, F. C., Leung, M. K., Chou, M. Y., & Muellen, K. (2005). High thermal stability and rigid rod of novel organosoluble polyimides and polyamides based on bulky and noncoplanar naphthalene– biphenyldiamine. *Macromolecules*, 38(9), 4024-4029.
- [32] Karabacak K. (2018). Düşük Sıcaklıkta Yüksek Darbe Dayanımına Sahip Cam ve Karbon Elyaf Takviyeli İletken Poliamid 6 ve Poliamid 66 Karışımlarının Hazırlanması (Yüksek Lisans Tezi), Yalova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
- [33] Gilbert, M. (2017). Aliphatic polyamides. In *Brydson's Plastics Materials* (pp. 487-511). Butterworth-Heinemann. ISO 690

- [34] James A. Kent, ed. (2006). Handbook of Industrial Chemistry and Biotechnology. Springer. p. 483. ISBN 978-0-387-27842-1.
- [35] Kricheldorf, H. R. (2014). Polycondensation. History and new results.
- [36] Hillermeier, Karlheinz (1984). "Prospects of Aramid as a Substitute for Asbestos". Textile Research Journal. 54 (9): 575–580. doi:10.1177/004051758405400903. S2CID 136433442.
- [37] Achhammer, B. G., Reinhart, F. W., & Kline, G. M. (1951). Mechanism of the degradation of polyamides. Journal of Applied Chemistry, 1(7), 301-320.
- [38] McKeen, L. W. (2019). The effect of UV light and weather on plastics and elastomers. William Andrew.
- [39] Gonçalves, E. S., Poulsen, L., & Ogilby, P. R. (2007). Mechanism of the temperature-dependent degradation of polyamide 66 films exposed to water. Polymer Degradation and Stability, 92(11), 1977-1985.
- [40] Andena, L., Castellani, L., Castiglioni, A., Mendogni, A., Rink, M., & Sacchetti, F. (2013). Determination of environmental stress cracking resistance of polymers: Effects of loading history and testing configuration. Engineering Fracture Mechanics, 101, 33-46.
- [41] Nasri, A. (2015). Conductive Polyamide/Carbon Black, Carbon Fiber And Carbon Nanotubes Composites For Electrostatic Painting. ISO 690
- [42] Kolesov, I., Mileva, D., & Androsch, R. (2014). Mechanical behavior and optical transparency of polyamide 6 of different morphology formed by variation of the pathway of crystallization. Polymer bulletin, 71(3), 581-593.
- [43] Nevissas, V., Widmaier, J. M., & Meyer, G. C. (1988). Effect of crosslink density and internetwork grafting on the transparency of polyurethane/polystyrene interpenetrating polymer networks. Journal of applied polymer science, 36(6), 1467-1473.
- [44] Kim, I. H., Sim, H. W., Hong, H. H., Kim, D. W., Lee, W., & Lee, D. K. (2019). Effect of filler size on thermal properties of paraffin/silver nanoparticle composites. Korean Journal of Chemical Engineering, 36(6), 1004-1012.

- [45] Taşdelen, M. A., & Yılmaz, İ. N. (2018). Cam Elyaf Katkılı Poliamid 66/Poliftalamid Karışımlarının Hazırlanması. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 23(1), 285-294.
- [46] Thiriez, A., & Gutowski, T. (2006, May). An environmental analysis of injection molding. In *Proceedings of the 2006 IEEE International Symposium on Electronics and the Environment*, 2006. (pp. 195-200). IEEE.
- [47] Gündüz, H. Ö. (2009). Flame retardancy of polyamide compounds and micro/nano composites (Master's thesis, Middle East Technical University).
- [48] Shen, K. K. (2014). Review of recent advances on the use of boron-based flame retardants. *Polymer Green Flame Retardants*, 367-388.
- [49] Xiang, H., Li, L., Chen, W., Yu, S., Sun, B., & Zhu, M. (2017). Flame retardancy of polyamide 6 hybrid fibers: Combined effects of α -zirconium phosphate and ammonium sulfamate. *Progress in Natural Science: Materials International*, 27(3), 369-373. ISO 690
- [50] Francis, L. F. (2015). *Materials processing: a unified approach to processing of metals, ceramics and polymers*. Academic Press.
- [51] Mihajlović, I. (2015). Recent development of phosphorus flame retardants in thermoplastic blends and nanocomposites. In *Flame Retardants* (pp. 79-114). Springer, Cham.
- [52] Brown, J. R., Mathys, Z., Riddell, S. Z., & Wake, L. V. (1995). Fire-retardant performance of some surface coatings for naval ship interior applications. *Fire and materials*, 19(3), 109-118.
- [53] Byrne, C. (2000). Technical textiles market—an overview. *Handbook of technical textiles*, 12, 1.
- [54] Zhang, S., Fan, X., Xu, C., Ji, P., Wang, C., & Wang, H. (2020). An inherently flame-retardant polyamide 6 containing a phosphorus group prepared by transesterification polymerization. *Polymer*, 207, 122890.

- [55] Aramide, F. O., Atanda, P. O., & Olorunniwo, O. O. (2012). Mechanical properties of a polyester fibre glass composite. *International Journal of Composite Materials*, 2(6), 147-151.
- [56] Al-Alkawi, H. J., Al-Fattal, D. S., & Ali, A. J. H. (2012). Types of the fiber glass-mat on fatigue characteristic of composite materials at constant fiber volume fraction: Experimental determination. *Al-Khwarizmi Engineering Journal*, 8(3), 1-12.
- [57] Huynh, D. S. T., Le, H. G., Nguyen, T. N. H., & Pham, S. M. (2019). Enhancing the Fatigue Property of Nylon 6 by Using Glass-Fiber Reinforcement and Injection Molding. *Materials Science Forum*, 971, 85–90.
- [58] Anakök C. (2009). Tabakalı Kompozit Çubuklarda Yanal Yük Etkisi ile Oluşan Burkulma Davranışı Üzerine Deneysel Çalışma (Yüksek Lisans Tezi), Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
- [59] Gençoğlu M. (2011). Tabakalı Kompozit Levhalarda Burkulma Analizi (Yüksek Lisans Tezi), Fırat Üniversitesi
- [60] Özçelik et al., (2010) Influence of injection parameters and mold materials on mechanical properties of ABS in plastic injection molding. *International Communications in Heat and Mass Transfer* 37(9):1359-1365
- [61] Turan K., Solmaz M., Kaman M. (2009), 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu konferansı dahilinde "IATS 09" bildiri kitapçığındaki "Tabakalı Termoplastik Askı Zincirlerinde Elasto-Plastik Gerilme Analizi", 1569-1574 pp., Karabük, Türkiye.
- [62] Sayer, Özyaman, Özes (2020) Sıcak Plaka Kaynağı ile Birleştirilmiş PA6 ve Cam Elyaf Katkılı Türevlerinin Nem Alma Davranışının Kaynak Mukavemetine Etkisi
- [63] İlhan, R., & Feyzulloğlu, E. (2019). Cam elyaf takviyeli polyester (ctp) kompozit malzemelerde kullanılan doğal elyaflar ve dolgu maddeleri. *El-Cezerî Journal of Science and Engineering*, 6(2), 355-381.

- [64] Kossentini Kallel, T., Taktak, R., Guermazi, N., & Mnif, N. (2017). Mechanical and structural properties of glass fiber-reinforced polypropylene (PPGF) composites. *Polymer Composites*, 39(10), 3497-3508. doi: 10.1002/pc.24369
- [65] Masuelli, M. A. (2013). Introduction of fibre-reinforced polymers– polymers and composites: concepts, properties and processes. In *Fiber reinforced polymers-the technology applied for concrete repair*. IntechOpen.
- [66] Fentahun, M. A., & Savas, M. A. (2018). Materials used in automotive manufacture and material selection using ashby charts. *Int. J. Mater. Eng*, 8(3), 40-54., ISO 690
- [67] Applications- Nuh Kompozit. (2022). Retrieved 8 May 2022, from nuhkompozit.com.tr/applications
- [68] ky-plastics.com/acrylonitrile-butadiene-styrene/acrylonitrile-butadiene-styrene-100-abs.html
- [69] Asundi, A., & Choi, A. Y. (1997). Fiber metal laminates: an advanced material for future aircraft. *Journal of Materials processing technology*, 63(1-3), 384-394.
- [70] Alabtah, F. G., Mahdi, E., & Eliyan, F. F. (2021). The use of fiber reinforced polymeric composites in pipelines: A review. *Composite Structures*, 276, 114595.
- [71] Sanjay, M. R., & Yogesha, B. (2017). Studies on natural/glass fiber reinforced polymer hybrid composites: an evolution. *Materials today: proceedings*, 4(2), 2739-2747.
- [72] Rezai, P., Wu, W. I., & Selvaganapathy, P. R. (2012). Microfabrication of polymers for bioMEMS. In *MEMS for Biomedical Applications* (pp. 3-45). Woodhead Publishing. ISO 690
- [73] Agrawal, A. R., Pandelidis, I. O., & Pecht, M. (1987). Injection-molding process control—A review. *Polymer Engineering & Science*, 27(18), 1345-1357.
- [74] Polypropylene (PP) Injection Molding. (2022). Retrieved 30 August 2022, from protolabs.com/services/injection-molding/polypropylene/
- [75] Plastic Injection Molds | Molds For Plastic Injection | MSI Mold. (2022). Retrieved 30 August 2022, from msi-mold.com/plastic-injection-molds/

[76] Coating, N. (2022). 5 Major Advantages to Using Plastic Injection Molding for the Manufacturing of Parts. Retrieved 30 August 2022, from [://nanomoldcoating.com/5-major-advantages-to-using-plastic-injection-molding-for-the-manufacturing-of-parts/](http://nanomoldcoating.com/5-major-advantages-to-using-plastic-injection-molding-for-the-manufacturing-of-parts/)

[77] Jia, D., Mao, J., Lv, J., Zhang, W., & Sun, J. (2021). Seismic performance of fibre-reinforced polymer and steel double-reinforced bridge piers. *Structure and Infrastructure Engineering*, 1-11.

[78] Shahruzzaman, M., Biswas, S., Islam, M. M., Islam, M. S., Rahman, M. S., Haque, P., & Rahman, M. M. (2018). *Furniture: Eco-Friendly Polymer Composites Applications*. ISO 690

[79] *Polymers and Composites | Medical Device Applications*. (2022). Retrieved 30 August 2022, from [://polymerexpert.biz/industries/171-medical-device](http://polymerexpert.biz/industries/171-medical-device)

[80] Silva, F. J., Martinho, R. P., Alexandre, R. J. D., & Baptista, A. P. M. (2011). Increasing the wear resistance of molds for injection of glass fiber reinforced plastics. *Wear*, 271(9-10), 2494-2499.

[81] Singh, S., & SK Jain, P. (2013). An experimental and numerical investigation of mechanical properties of glass fiber reinforced epoxy composites. *Advanced Materials Letters*, 4(7), 567-572.

[82] ASTM D790 3-point flexure test on plastics, n.d. Retrieved from [zwickroell.com](http://www.zwickroell.com)

[83] ASTM D638: Test Method for Tensile Properties of Plastics. (2021, June 30). Retrieved from [safeloadtesting.com](http://www.safeloadtesting.com)

[84] ASTM D256 – Standard Test Method for Determining the IZOD Pendulum Impact Resistance of Plastics, n.d. Retrieved from [astm.org](http://www.astm.org)

[85] Wu, S. H., Wang, F. Y., Ma, C. C. M., Chang, W. C., Kuo, C. T., Kuan, H. C., & Chen, W. J. (2001). Mechanical, thermal and morphological properties of glass fiber and carbon fiber reinforced polyamide-6 and polyamide-6/clay nanocomposites. *Materials Letters*, 49(6), 327-333.

[86] Lee, D. K., In, J., & Lee, S. (2015). Standard deviation and standard error of the mean. *Korean journal of anesthesiology*, 68(3), 220-223.

- [87] Mrzljak, S.; Delp, A.; Schlink, A.; Zarges, J.-C.; Hülsbusch, D.; Heim, H.-P.; Walther, F. Constant Temperature Approach for the Assessment of Injection Molding Parameter Influence on the Fatigue Behavior of Short Glass Fiber Reinforced Polyamide 6. *Polymers* 2021, 13, 1569
- [88] Adriano Damiani, R., Fiori, J., Silvano, J. D. R., Neto, A. B. D. S. S., de Araújo, P. H. H., Riella, H. G., & Fiori, M. A. (2015). Influence of the injection molding process on the mechanical properties of (PA6/GF/MMT) nanocomposite. *Polymer Composites*, 36(2), 237-244.
- [89] Velling, A. (2020). Stress-Strain Curve | How to Read the Graph?. Retrieved from [://fractory.com/stress-strain-curve/](https://fractory.com/stress-strain-curve/) ISO 690
- [90] A. Güllü, A. Özdemir, E. Özdemir, Experimental Investigation of the Effect of Glass Fibres on the Mechanical Properties of Polypropylene (PP) and Polyamide 6 (PA6) Plastics, *Mater. Des.*, 2006, 27 (4) p 316–323. doi:10.1016/j.matdes.2004.10.013.
- [91] D. Teixeira, M. Giovanela, L.B. Gonella, J.S. Crespo, Influence of Injection Molding on the Flexural Strength and Surface Quality of Long Glass Fiber-Reinforced Polyamide 6.6 Composites, *Mater. Des.*, 2015, 85 p 695–706. doi:10.1016/j.matdes.2015.07.097.
- [92] Wang, Y., Li, J., & Zhao, D. (1995). Mechanical properties of fiber glass and kevlar woven fabric reinforced composites. *Composites Engineering*, 5(9), 1159-1175.