

YALOVA ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BAZALT VE CAM ELYAF TAKVİYELİ BİYO-BAZLI POLİAMİD
KOMPOZİT MALZEMELERİN HAZIRLANMASI VE ÖZELLİKLERİNİN
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Uğur ULUSOY

Polimer Mühendisliği Anabilim Dalı

Polimer Mühendisliği Programı

HAZİRAN 2016

YALOVA ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BAZALT VE CAM ELYAF TAKVİYELİ BİYO-BAZLI POLİAMİD
KOMPOZİT MALZEMELERİN HAZIRLANMASI VE ÖZELLİKLERİNİN
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Uğur ULUSOY
145101018**

Polimer Mühendisliği Anabilim Dalı

Polimer Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Mehmet Arif KAYA

HAZİRAN 2016

YALOVA Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 145101018 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Uğur ULUSOY**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "BAZALT VE CAM ELYAF TAKVİYELİ BİYO-BAZLI POLİAMİD KOMPOZİT MALZEMELERİN HAZIRLANMASI VE ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ" başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Mehmet Arif KAYA
Yalova Üniversitesi



Jüri Üyeleri : Yrd. Doç. Dr. Mehmet Arif KAYA
Yalova Üniversitesi



Yrd. Doç. Dr. Hüseyin ESEN
Yalova Üniversitesi



Yrd. Doç. Dr. Tezcan PARALI
Çanakkale On Sekiz Mart Üniversitesi



Teslim Tarihi : 13 Mayıs 2016
Savunma Tarihi : 13 Haziran 2016





Aileme,



ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimim boyunca engin bilgi ve tecrübeleriyle bana yol göstererek yardım ve desteklerini esirgemeyen değerli danışman hocam Yrd. Doç. Dr. M. Arif KAYA'ya teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca, hammadde ve malzeme desteği yanında geniş laboratuvar imkanlarıyla her türlü desteği sunarak bu tez çalışmasında katkıda bulunan ve kariyerimin ilk adımı olan **EUROTEC Mühendislik Plastikleri San. ve Tic. A.Ş'** ne, tez çalışmalarım boyunca bilgilerini paylaşıp yardımlarını esirgemeyen başta Murat CANSEVER ve Gizem ÇAKIR olmak üzere tüm **EUROTEC** ailesine teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak tüm hayatım boyunca olduğu gibi yüksek lisansım süresince de maddi ve manevi yardımlarını esirgemeyen, yaşadığım süre boyunca her zaman destekçim olan ve hiçbir zaman haklarını ödeyemeceğim aileme sonsuz sabır, hoşgörü ve desteklerinden dolayı teşekkürü bir borç bilirim.

Haziran 2016

Uğur Ulusoy
Polimer Mühendisi



İÇİNDEKİLER

Sayfa

| | |
|---|-----------|
| ÖNSÖZ..... | vii |
| İÇİNDEKİLER | ix |
| KISALTMALAR | xi |
| ÇİZELGE LİSTESİ..... | xiii |
| ŞEKİL LİSTESİ..... | xv |
| ÖZET..... | xvii |
| SUMMARY | xix |
| 1. GİRİŞ | 1 |
| 2. GENEL BİLGİLER..... | 3 |
| 2.1 LİTERATÜR BİLGİLERİ | 3 |
| 3. KOMPOZİT MALZEMELER..... | 7 |
| 3.1 Metal Matrisli Kompozitler..... | 8 |
| 3.2 Seramik Matrisli Kompozitler..... | 8 |
| 3.3 Polimer Matrisli Kompozitler | 9 |
| 3.3.1 Elyaf takviyeli polimer kompozitler | 9 |
| 3.3.1.1 Cam Elyaf..... | 11 |
| 3.3.1.2 Karbon Elyaf | 11 |
| 3.3.1.3 Aramid Elyaf | 13 |
| 3.3.1.4 Bazalt Elyaf | 13 |
| 4. POLİMER KOMPOZİTLERİN ÜRETİM YÖNTEMLERİ | 15 |
| 4.1 Eriyik Harmanlama Yöntemi | 15 |
| 4.2 Elle Yatırma Yöntemi | 16 |
| 4.3 Reçine Transfer Kalıplama Yöntemi..... | 17 |
| 4.4 Vakum İnfüzyon Yöntemi..... | 18 |
| 4.5 Sıkıştırarak Kalıplama | 19 |
| 4.6 Püskürtme Yöntemi..... | 20 |
| 4.7 Elyaf Sarma Yöntemi | 20 |
| 4.8 Pultrüzyon | 21 |
| 5. POLİAMİD ÇEŞİTLERİ | 23 |
| 5.1 Poliamid 46 | 24 |
| 5.2 Poliamid 6 | 25 |
| 5.3 Poliamid 6.6 | 26 |
| 5.4 Poliamid 11 | 26 |
| 5.5 Poliamid 12 | 28 |
| 5.6 Biyo Bazlı Poliamidler | 29 |
| 5.6.1 Poliamid 6.10 | 30 |
| 5.6.2 Poliamid 10,10 | 32 |
| 5.6.3 Yarı aromatik poliamid (PPA) | 33 |
| 6. MALZEME VE YÖNTEM | 35 |
| 6.1 Malzemeler..... | 35 |

| | |
|---|-----------|
| 6. MALZEME VE YÖNTEM | 35 |
| 6.1 Malzemeler | 35 |
| 6.2 Yöntemler | 37 |
| 6.2.1 Kompozitlerin hazırlanması | 37 |
| 6.2.2 Test numunelerinin hazırlanması | 40 |
| 6.2.3 Test ve analiz çalışmaları | 43 |
| 6.2.3.1 Mekanik testler | 43 |
| 6.2.3.1.1 Çekme testi | 43 |
| 6.2.3.1.2 Üç nokta eğme testi | 44 |
| 6.2.3.1.3 Çentikli izod darbe dayanım Testi | 44 |
| 6.2.4 Termal testler | 45 |
| 6.2.4.1 Isı ile (sabit yük altında) deformasyon sıcaklığı (HDT) | 45 |
| 6.2.4.2 Diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) analizi | 45 |
| 6.2.4.3 Termogravimetrik analiz (TGA) | 46 |
| 7. BULGULAR | 47 |
| 7.1 Yoğunluk Sonuçları | 47 |
| 7.2 Mekanik Test Sonuçları | 50 |
| 7.2.1 Çekme test sonuçları | 50 |
| 7.2.2 Eğilme test sonuçları | 54 |
| 7.2.3 Çentikli izod darbe dayanım sonuçları | 57 |
| 7.3 Termal Test Sonuçları | 60 |
| 7.3.1 Diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) analizi | 60 |
| 7.3.2 Isı ile (Sabit Yük Altında) deformasyon sıcaklığı (HDT) sonuçları | 61 |
| 7.3.3 Termogravimetrik analiz (TGA) sonuçları | 63 |
| KAYNAKLAR | 67 |
| ÖZGEÇMİŞ | 69 |

KISALTMALAR

| | |
|-----------------------|--------------------------|
| °C | : Santigrat |
| MPa | : Megapascal |
| bar | : Bar |
| cm³ | : Santimetreküp |
| mm | : Milimetre |
| sa | : Saat |
| sn | : Saniye |
| GR | : Cam Elyaf Takviyeli |
| BR | : Bazalt Elyaf Takviyeli |
| PA 6.10 | : Poliamid 6.10 |
| PA 10.10 | : Poliamid 10.10 |
| PPA | : Poliftalamid |



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

| | |
|---|----|
| Çizelge 2.1 : Bazalt elyafının bazı temel niteliklerinin diğer bazı elyaflarla karşılaştırılması [11]..... | 14 |
| Çizelge 2.2 : E cam elyafın ve bazalt elyafın kimyasal bileşimlerinin karşılaştırılması [11]..... | 14 |
| Çizelge 5.1 : Biyo bazlı poliamid özellikleri | 35 |
| Çizelge 5.2 : Ekstrüzyon proses parametreleri | 39 |
| Çizelge 5.3 : Çekme test numunesi enjeksiyon proses parametreleri..... | 41 |
| Çizelge 5.4 : Darbe test numunesi enjeksiyon proses parametreleri | 42 |
| Çizelge 6.1: Takviyeli ve takviyesiz numunelerin yoğunluklarının karşılaştırılması | 49 |
| Çizelge 6.2: Çekme dayanım sonuçlarının karşılaştırılması | 51 |
| Çizelge 6.3 : Çekme modül sonuçlarının karşılaştırılması..... | 52 |
| Çizelge 6.4: Kopma noktasındaki uzama sonuçlarının karşılaştırılması | 53 |
| Çizelge 6.5 : Eğilme modülü sonuçlarının karşılaştırılması | 55 |
| Çizelge 6.6 : Eğilme mukavemet sonuçlarının karşılaştırılması..... | 56 |
| Çizelge 6.7 : Çentikli izod darbe dayanım sonuçlarının (+23° C) karşılaştırılması... 58 | |
| Çizelge 6.8: Çentikli izod darbe dayanım sonuçlarının (-30 °C) karşılaştırılması..... | 59 |
| Çizelge 6.9: Çentikli izod darbe dayanım sonuçlarının (-30 °C) karşılaştırılması..... | 62 |



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

| | |
|--|----|
| Şekil 2.1 Kompozitlerin Gruplandırılması [8]..... | 8 |
| Şekil 2.2 (a) Sürekli ve (b) kesikli (kırpık) elyaf takviyeli kompozitlerin mikro-yapısının genel şematik gösterimi [10] | 9 |
| Şekil 2.3: (a) Lif ve dokuma takviyeli kompozitlerde liflerin kompozit içerisine yerleşim biçimlerine örnekler (a) kesikli rastgele, (b) sürekli tek yönlü, (c) sürekli düzlemsel iki yönlü, (d) sürekli düzlemsel üç yönlü, (e) üç boyutlu [8] 10 | 10 |
| Şekil 3.1 : El yatırması [12]..... | 16 |
| Şekil 3.2 : Reçine transfer kalıplama yöntemi ile kompozit üretimi. a) ön şekillendirilmiş dokumanın kalıba alımı b) kalıba reçine gönderilmesi c) sertleştirme d) kalıptan ürünün alınması [13] | 17 |
| Şekil 3.3 : Vakum infüzyon yöntemi ile kompozit üretimi [14]..... | 18 |
| Şekil 3.4 : Sıkıştırarak kalıplama yöntemi ile kompozit üretimi [15] | 19 |
| Şekil 3.5 : Püskürtme yöntemi ile kompozit üretimi [13] | 20 |
| Şekil 3.6 Elyaf sarma yöntemi ile kompozit üretimi [13]..... | 21 |
| Şekil 3.7 Pultrüzyon yöntemi ile kompozit üretimi [13] | 22 |
| Şekil 4.1 Poliamid 4.6..... | 24 |
| Şekil 4.2 Poliamid 6..... | 25 |
| Şekil 4.3 Poliamid 6.6..... | 26 |
| Şekil 4.4 Poliamid 11 | 27 |
| Şekil 4.5 Poliamid 12..... | 28 |
| Şekil 4.6 Hint yağı bitkisi | 30 |
| Şekil 4.7 Poliamid 6.10..... | 30 |
| Şekil 4.8 Poliamid 10.10..... | 32 |
| Şekil 4.9 PPA | 33 |
| Şekil 5.1 Kullanılan poliamid çeşitleri (a) Poliamid 6.10, (b) Poliamid 10.10, (c) PPA | 36 |
| Şekil 5.2 Kullanılan takviye malzemeleri (a) kırılmış bazalt elyaf, (b) kırılmış cam elyaf..... | 36 |
| Şekil 5.3 Çift vidalı ekstrüder | 37 |
| Şekil 5.4 Enjeksiyon makinası..... | 40 |
| Şekil 5.5 Çekme testi cihazı..... | 43 |
| Şekil 5.6 (a) Darbe test cihazı (b) Çentik açma cihazı..... | 44 |
| Şekil 5.7 Yük Altında Eğilme Sıcaklığı (HDT) Test Cihazı | 45 |
| Şekil 5.8. Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) Cihazı..... | 46 |
| Şekil 5.9 Termogravimetrik analiz (TGA) cihazı | 46 |
| Şekil 6.1 Elyaf takviyeli kompozit malzeme yapısının şematik gösterimi [16] | 57 |
| Şekil 6.2 Poliamid 10.10 DSC grafiği | 60 |
| Şekil 6.3 Poliamid 6.10 DSC grafiği | 60 |
| Şekil 6.4 PPA DSC grafiği | 61 |
| Şekil 6.5 PA 6.10+BR15 VE PA 6.10+GR15 numunelerine ait TGA grafikleri | 63 |
| Şekil 6.6 PA 6.10+BR30 ve PA 6.10+GR30 numunelerine ait TGA grafikleri..... | 64 |

| | |
|--|----|
| Şekil 6.7 PA 10.10+BR15 ve PA 10.10+GR15 numunelerine ait TGA grafikleri | 64 |
| Şekil 6.8 PA 10.10+BR30 ve PA 10.10+GR30 numunelerine ait TGA grafikleri | 65 |
| Şekil 6.9 PPA+BR15 ve PPA+GR15 numunelerine ait TGA grafikleri | 65 |
| Şekil 6.10 PPA+BR30 ve PPA+GR30 numunelerine ait TGA grafikleri | 65 |



BAZALT VE CAM ELYAF TAKVİYELİ BİYO-BAZLI POLİAMİD KOMPOZİT MALZEMELERİN HAZIRLANMASI VE ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

ÖZET

Bu tez çalışmasında, farklı oranlarda kırılmış bazalt ve cam elyaf takviyeli bio-
içerikli poliamid malzemeler eriyik harmanlama yöntemi ile karıştırılmış, arayüzey
özellikleri gözlemlenmiş ve bu malzemelerin mekanik ve termal özellikleri
incelenmiştir. Çalışma da farklı oranlarda bio-içeriğe sahip poliamid 6.10, 10.10 ve
10T malzemeleri polimerik matris olarak, kırılmış bazalt elyaf ve cam elyaf ise
takviye malzemesi olarak kullanılmıştır. Farklı oranlarda takviye malzemeleri içeren
kompozit numuneler çift vidalı ekstruder yardımıyla hazırlanmış ve bu malzemelerin
mekanik, termal özellikleri çekme, çentikli izod darbe dayanım, eğilme, diferansiyel
taramalı kalorimetre (DSC), termogravimetrik analiz (TGA), yük altında eğilme
(HDT) testleri ile incelenmiştir.



PREPARATION AND INVESTIGATION TO PROPERTIES OF BASALT AND GLASS FIBER REINFORCED BIO BASED POLYAMIDE COMPOSITE MATERIALS

SUMMARY

In this study, chopped basalt and glass fibers and bio-based polyamides were compounded, interfacial properties were observed, thermal and mechanical properties of these samples were investigated in various reinforcing agent ratios. Several bio-based polyamides which have different bio-content were used as polymer matrix and chopped basalt and glass fibers were used as reinforcing agents. Several ratio reinforcing agents content samples are prepared with twin screw extruders and mechanical, thermal properties are evaluated with tensile, notched izod impact, flexural, differential scanning calorimetry (DSC), thermogravimetric analysis (TGA), heat deflection temperature (HDT) tests.

1. GİRİŞ

Canlı nüfusunun hızlı artışı ile orantılı olarak sınırlı olan doğal kaynakların aynı hızda tükenmesi günümüzde sürdürülebilirlik, ekolojik denge, küresel ısınma, karbon ayak izi gibi kavramların çok daha fazla önem kazanmasına sebep olmuştur. Bu gelişmeler doğrultusunda tüm endüstriler çevreci, doğa ile dost, sürdürülebilir malzeme gelişimi konularına adapte olmuşlar ve bu doğrultuda arge çalışmalarına önem vererek önemli çalışmalar yapmaktadırlar. Bu çalışmanın amacı da gelişmiş endüstrilerde mühendislik plastiği olarak sıklıkla kullanılan poliamid malzemelerin bio içerikli çeşitlerini yine sürdürülebilir takviye malzemeleri ile güçlendirerek çevre ile dost sürdürülebilir ve özellikle otomotiv kaput altı uygulamaları gibi yüksek mekanik, sıcaklık ve kimyasal dayanım gerektiren ortamlarda görevini yerine getirebilecek kompozit malzemeler geliştirmektir.

Son yıllarda karbon dioksit emisyon sınırları, enerji kullanım sınırları, kurumların çevresel sorumluluk projeleri, malzemelerin hafiflikleri, fosil kaynakların hızla tükenmesi gibi sebepler nedeniyle yenilenebilir kaynaklardan üretilen bioplastikler üzerine çalışmalar hızla artarak devam etmektedir. Bio plastikler bu açıdan petrol bazlı plastik malzemelere iyi bir alternatif oluşturmaktadırlar. Sürdürülebilir çözümlere olan ilginin artması sebebiyle artan bio plastik hacmi 2012 yılında 1,4 milyon ton iken bu rakamın mevcut gelişmeler doğrultusunda 2017 yılında 6,2 milyon ton olması tahmin edilmektedir. Biyo poliamidler de yenilenebilir kaynaklardan elde edilen önemli önemli biyoplastik ailelerinden birisidir. Neredeyse tüm biyo poliamid çeşitleri ticari olarak Arkema, DuPont, BASF, EMS-Chemie, DSM ve Evonik gibi şirketlerden tarafından üretilmekte ve piyasaya sunulmaktadır. Polimerik malzemenin zincirler arası etkileşimleri, polimer zincirinin uzunluğu gibi kimyasal yapısı ve özellikle poliamidlerde metilen/amid oranı malzemenin nihai özellikleri üzerinde oldukça etkilidir. En önemli biyo bazlı poliamid çeşitleri PA 11, PA 10.10 ve nispeten daha düşük biyo içeriğe sahip PA 6.10 ve 10T' dir. Bu malzemeler en yaygın olarak kullanılan ve konvansiyonel poliamidler olarak da bilinen poliamid 6 ve 66' ya göre :

- Daha düşük yoğunluk

- Daha düşük nem hassasiyeti
- Daha düşük erime sıcaklığı
- Daha düşük işleme sıcaklığı gibi özelliklere sahiptirler.

Ayrıca hafiflik konusu özellikle otomotiv endüstrisinde yakıt tüketimi, karbon dioksit emisyonu ve enerji kullanımı açısından oldukça önemlidir. Burada kullanılan malzeme oranları incelendiğinde son yıllarda plastik ve kompozit malzemelerin kullanımı metallere göre hızla yükselmektedir. Bu belirgin avantajlarından dolayı biyo bazlı poliamidlerin özellikle otomotiv uygulamalarında kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. Bu konuda özellikle bilimsel ve endüstriyel araştırmalar yoğun olarak yapılsa da bu malzemelerin diğer alternatiflerine göre yüksek maliyeti dezavantaj oluşturmaktadır. Çalışmada hem maliyeti düşürmek hem de mekanik özellikleri iyileştirmek amacıyla biyo poliamid malzemeler çeşitli doğal ve sürdürülebilir takviye malzemeleri ile takviyelendirilmiştir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1 LİTERATÜR BİLGİLERİ

Sahip oldukları birçok avantaj sebebiyle farklı sektörlerde kullanım miktarı her geçen gün artan kompozit malzemeler üzerine yapılan çalışmalar son zamanlarda hızla artmaktadır. Özellikle hafiflik ve yüksek mekanik mukavemet gerektiren uygulamalarda tercih edilen bu malzemelerin farklı özelliklerini incelemek ve geliştirmek amacıyla çeşitli çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

T. Deak ve çalışma arkadaşları yaptıkları çalışmada poliamid 6 ve kırılmış bazalt elyafı kullanarak eriyik harmanlama yöntemi ile hazırladıkları kompozit malzemenin arayüzey özellikleri üzerine odaklanmış ve uygun silan bağlayıcı ajanının kompozit malzemenin mekanik özelliklerinin iyileştirildiğini göstermişlerdir. Yapılan bu çalışmada bazalt elyaf üzerindeki bağlayıcı ajan içeren mevcut kaplama 400 °C fırında tavlama işlemi ile kaldırılmış ve belirli konsantrasyonda uygun silan içeren karışımlara elyaflar daldırılma suretiyle yeniden kaplama işlemi uygulanmıştır. Kaplama yapılan elyaflar tekrar poliamid 6 matrisi ile ekstrüzyon işleminden geçirilerek arayüzey özellikleri ve bu arayüzeyin mekanik özellikler üzerine etkisi incelenmiştir. Sonuç olarak iyi arayüzey özellikleri ile kompozit malzemedeki gerilimin matris malzemesi üzerinden elyafa daha iyi şekilde iletildiği ve bu etki ile malzemenin özellikle çekme ve darbe dayanımlarının iyileştiği görülmüştür. [1]

Alper Kızıldaş ve Ellen C. Lee' nin biyo bazlı poliamidler üzerine gerçekleştirdikleri bir başka çalışmada poliamid 6.10 ve 10.10' un mekanik özelliklerini iyileştirmek amacıyla sürdürülebilir ve doğal kaynaklardan elde edilen selülozik elyaf ile karıştırılmış ve özellikleri incelenmiştir. Çalışmada selülozik elyaf takviyesinin takviyesiz malzemelere göre her iki matriste de çekme ve eğilme dayanımını iyileştirdiği ancak çentikli izod darbe dayanımını düşürdüğü gözlemlenmiştir. Ayrıca gerçekleştirilen termogravimetrik analizde selülozik elyafın malzemenin termal kararlılığını da olumsuz yönde etkilediği görülmüştür. [2]

İlker Mıstık ve Nigar Merdan' ın yaptığı çalışmada bazalt ve cam dokuma elyafının fındık kabukları ile harmanlanarak termoset polyester reçinesi takviye edilmiş ve elde edilen kompozit malzemelerin eğilme dayanımı ve ısı geçirgenlik özellikleri incelenmiştir. Çalışmada ağırlıkça %5 oranında farklı boyutlarda fındık kabukları kullanılmış ve tanecik boyutunun eğilme ve ısı geçirgenlik özelliklerini etkilediği ve bazalt elyaftan takviyeli kompozit numunenin eğilme dayanımının ve ısı yalıtım özelliklerinin daha iyi olduğu görülmüştür. [3]

Stanislaw Kuciel ve çalışma arkadaşları gerçekleştirdikleri çalışmada %10 ve %20 oranında cam, karbon ve doğal keten elyaf takviyeli biyo bazlı poliamidler eriyik harmanlama yöntemi ile harmanlanmış ve hazırlanan kompozit malzemelerin mekanik özellikleri incelenmiştir. Elde edilen verilere göre elyaf takviyesinin kompozit malzemelerin mekanik özelliklerini iyileştirdiği özelliklerde iyi derecede uzama ve darbe dayanım özellikleri gözlemlenmiştir. [4]

Yihe Zhang ve çalışma arkadaşlarının yaptığı bir başka çalışmada farklı oranlarda bazalt elyaf ve biyo bozunur bir polimer olan poli (bütilen süksinat) ile hazırlanmış ve enjeksiyonla kalıplama yöntemi ile elde edilen kompozit numunelerin çekme dayanımları, eğilme dayanımları, vikat yumuşama ve HDT sıcaklıkları, SEM ile de elyaf matris arayüzey özellikleri incelenmiştir. Elde edilen değerlere göre sürdürülebilir kaynaklardan elde edilen ve çevre dostu bu malzemelerin fosil kaynaklardan elde edilen poli (bütilen teraftalat) malzemesine göre daha yüksek değerlere sahip olduğu görülmüştür. [5]

Tibor Czigány ve çalışma arkadaşları sürekli formdaki bazalt ve polipropilen elyafları çeşitli örgü formlarında elyaf dokuma tezgaylarında dokumak suretiyle hazırladıkları ürünleri sıkıştırma ile kalıplama tekniği ile levha formuna getirmiş sonrasında da uygun boyutlarda keserek test amaçlı numune elde etmişlerdir. Elde edilen numuneler üzerinden darbe karşısında çatlak ilerleme davranışları ve kırılma toklukları incelenmiştir. Elektron mikroskobu ile de desteklenen sonuçlara göre nihai kompozit malzemenin matris malzemesine göre daha tok bir yapıda ve yüksek darbe dayanımına sahip olduğu görülmüştür. [6]

J. G. Kovács ve çalışma arkadaşlarının yaptığı çalışmada ise %5, 10, 15, 20, 30 v3 40 oranlarında kırılmış bazalt elyaf takviyesi içeren biyobozunur poli (laktik asit) matris malzemesi çift vidalı ekstruderler yardımı ile homojen bir şekilde harmanlanmış ve

enjeksiyonla kalıplama ile kompozit numuneler elde edilmiştir. Elde edilen kompozit numunelerin çekme, eğilme dayanımları ve HDT sıcaklık değerleri gözlemlenmiştir. Test sonuçlarına göre kristalin bir yapıya sahip olması sebebiyle kırılma özelliklerine sahip olan poli (laktik asit) matrisinin özellikle darbe dayanım değerlerinin bazalt elyaf takviyesi iyileştirildiği aynı zamanda da çekme dayanımı, elastik modülü ve HDT sıcaklık değerlerinin yükseldiği görülmüştür. [7]





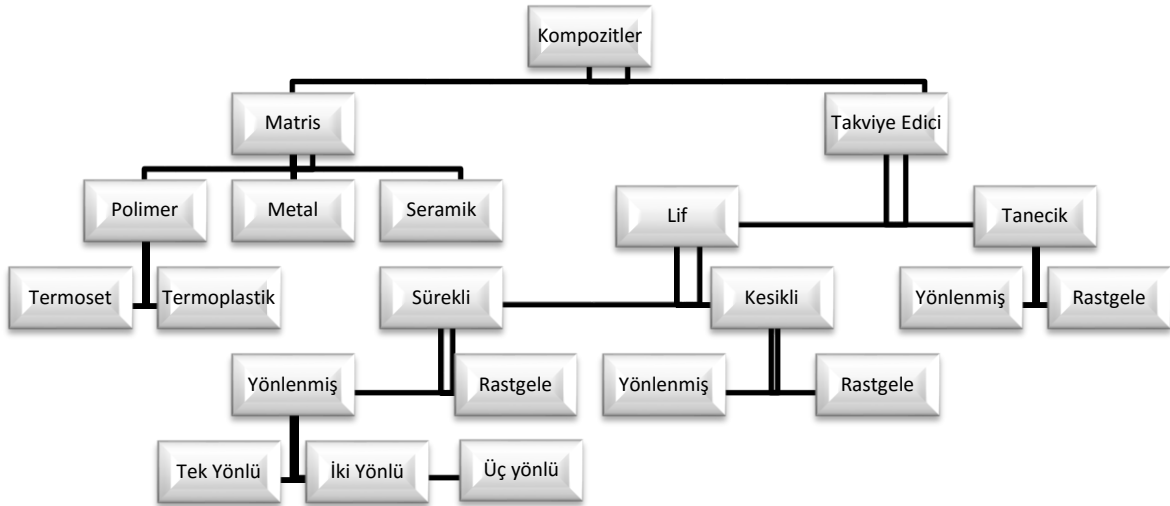
3. KOMPOZİT MALZEMELER

Kompozit malzemeler, farklı karakteristik özelliklere sahip malzemelerin istenilen bir amaca ve uygulamaya yönelik olarak belli bir düzende farklı üretim metodları ile üretilen malzemelerdir. Aralarında birincil kimyasal etkileşimden ziyade fiziksel etkileşim bulunan bileşenlerin birbiri ile temas ettikleri kısımlar göz ile ayırt edilebilir.

Kompozit malzemeler temel olarak matris ve takviye malzemesi olarak adlandırılan iki farklı bileşenden oluşurlar;

Matris Malzemesi: kompozit malzeme içerisinde sürekli faz halinde bulunan, nihai ürünün şeklini koruyan, takviye malzemelerini bir arada tutan, ürünün kullanım sıcaklığını belirleyen ve üzerine gelen gerilimi takviye malzemesine iletmekle görevli kompozit malzeme bileşenidir. Kompozit malzemeler kullanılan matris malzemesinin cinsine göre; polimer matrisli kompozitler, seramik matrisli kompozitler ve metal matrisli kompozitler olmak üzere genel olarak üç sınıfa ayrılırlar.

Takviye malzemesi; başlıca görevi matris malzemesinin üzerine ilettiği gerilimi taşımak olan ve malzemenin mekanik özelliklerini belirleyen bileşendir. Takviye malzemesinin yapısı, sürekli veya kesikli formda olması, dağılımı, yönlendiği ve kullanım miktarı kompozit malzemenin özellikle mekanik özelliklerini yakından ilgilendirir. Şekil x. de kompozit malzemelerin sınıflandırılması görülmektedir.



Şekil 2.1 Kompozitlerin Gruplandırılması [8]

3.1 Metal Matrisli Kompozitler

Matris malzemesi metaller olan tek bileşen ile elde edilemeyen özellikler elde etmek amacıyla sürekli veya kırılmış elyaf yada partikül boyutunda takviye malzemeleri içeren kompozit malzemelerdir. Yüksek maliyetli ve işlemesi zor olan bu malzemeler, yüksek tokluk, yorulma dayanımı gibi üstün mekanik özellikler ve yüksek termal kararlılıkları sebebiyle havacılık, uzay ve savunma sanayinde çeşitli uygulamalar için tercih edilmektedir. Metal matrisli kompozit kullanımında en büyük payı alan malzemeler düşük yoğunluğu ve düşük erime sıcaklıkları sebebiyle alüminyum matrisli kompozit malzemelerdir.

3.2 Seramik Matrisli Kompozitler

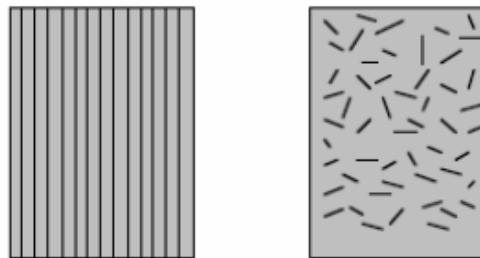
Özellikle yüksek termal dayanım ve hafiflikleri sebebiyle matris malzemesi olarak seramiğin kullanıldığı kompozit malzemelerdir. Ancak düşük tokluk ve kopma uzaması gösteren malzemeler kırılabilirlik gibi önemli bir dezavantajları sebebiyle genellikle lif veya partikül formlarındaki takviye malzemeleri ile takviye edilirler. Uzay roketi motorları, sandviç zırh panel uygulamaları, çeşitli askeri amaçlı parçalar gibi birçok uygulamada yüksek sıcaklıkta çalışmaya sahip çalışma koşulları içeren uygulamalar başlıca kullanım yerleridir.

3.3 Polimer Matrisli Kompozitler

Matris malzemesi farklı tiplerde termoplastik veya termoset olabilen bu malzemeler, polimerlerin düşük yoğunlukları sayesinde hafif, kolay ve düşük enerji maliyeti ile üretilebilmesi, tasarım esnekliği, karmaşık şekilli parçaların kolaylıkla şekillendirilebilmesi, üstün kimyasal ve korozyon direnci, birim kütle başına yüksek yük taşıma kapasiteleri gibi üstün özellikleri ile ön plana çıkmaktadırlar. Polimer matrisli kompozitler kullanılan matris malzemesinin cinsine ve özelliklerine göre sınıflandırılabilirler. Metal ve seramik matrisli kompozitlere göre sıvılarla etkileşime daha yatkın olan bu malzemeler özellikle hafiflik ve yüksek mekanik mukavemet gerektiren otomotiv, havacılık ve savunma sanayi uygulamalarında kullanım miktarı her geçen gün hızla artmaktadır.

3.3.1 Elyaf takviyeli polimer kompozitler

Kompozitlerde yük taşıyıcı olarak görev yapan ve boyu kesitinin en az 20 katı olan esnek malzemeler genellikle elyaf olarak tanımlanırlar [9]. Matris malzemesinin çekme, darbe ve vurma gibi mekanik mukavemetini iyileştirmek amacıyla kullanılan elyaf malzemeleri sürekli veya kesikli olmak üzere iki farklı fazda bulunabilirler. Elyafın formu, kimyasal yapısı, elyaf boyu ve çapı, matris içerisindeki yönelmesi, kompozit malzeme içerisindeki kütle ve hacimsel oranı nihai malzemenin başta mekanik özellikleri olmak üzere diğer tüm karakteristik özelliklerini belirleyen en büyük etkenlerdir.



(a)

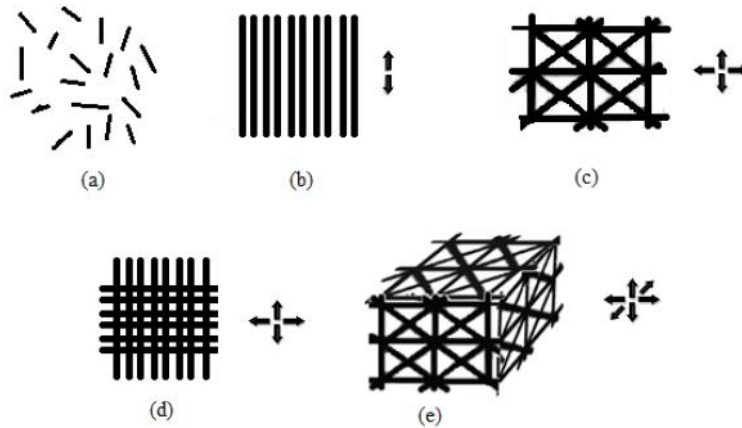
(b)

Şekil 2.2 (a) Sürekli ve (b) kesikli (kırpık) elyaf takviyeli kompozitlerin mikro-yapısının genel şematik gösterimi [10]

Matris içerisinde dağınık ve kesikli formda bulunan kırılmış elyaf, kompozit malzemenin farklı bölgelerinde farklı özellikler göstereceğinden anizotropik özellikler sağlar bu açıdan malzemenin her noktasında benzer özelliklerin sağlanabilmesi için takviye malzemesinin matris içerisinde homojen bir şekilde dağıtılması oldukça önemlidir.

Dışarıdan uygulanan gerilmeleri taşıyan sürekli elyaflar, matris içerisinde uygulama alanının gerektirdiği şekillerde farklı yönlerde kullanılabilirle birlikte düz veya çapraz dokumalar, sürekli fitiller ve keçe formunda olabilirler. Sürekli elyaf takviyeli kompozit malzemelerin en önemli özelliklerinden birisi de yönlerinin kontrol edilebilir olmasıdır.

Nihai ürün özellikleri üzerinde takviye malzemelerinin karakteristik özelliklerinin etkisinin yanısıra matris malzeme özellikleri de oldukça önemlidir. Başlıca görevi; gerilimi takviye malzemesi üzerine iletmek olan matris malzemesi termoset veya termoplastik polimerlerden oluşabilir. Düşük viskoziteye sahip olan ve kompozit üretiminde sıklıkla kullanılan doymamış poliester, epoksi, vinil ester gibi termoset reçineler iyi derecede elyafları ıslatabilme ve parlak yüzey özellikleri gibi avantajlara sahiptirler. Termoplastik matrisler ise yüksek kimyasal dayanım, geri dönüştürülebilme imkanı, hızlı ve kolay işlenebilirlik gibi karakteristik özelliklere sahiptirler.



Şekil 2.3: (a) Lif ve dokuma takviyeli kompozitlerde liflerin kompozit içerisine yerleşim biçimlerine örnekler (a) kesikli rastgele, (b) sürekli tek yönlü, (c) sürekli düzlemsel iki yönlü, (d) sürekli düzlemsel üç yönlü, (e) üç boyutlu [8]

3.3.1.1 Cam Elyaf

Cam elyafı silika, kolemanit, alüminyum oksit, soda, magnezyum oksit gibi geleneksel cam üretim hammaddelerinden üretilir. Bu karışım çok ince öğütülerek, homojen bir karışım elde etmek üzere karıştırılır ve yaklaşık 1600 °C deki bir fırınına beslenir. Fırın içinde, karışım yavaşça sıvı hale geçer. Prosese uygun olarak yerleştirilmiş bir sarma sistemi ile 50–70 m/sn gibi yüksek bir hız ile daha sonraki uygulama türüne bağlı olarak 5 ila 20 mikron çapında çekilen cam lifleri bir mandrel üzerine sarılarak “kek” adı verilen bir bobin üzerinde toplanır. Cam lifleri, demet haline getirilmeden önce, bağlayıcı adı verilen bir kimyasal ile kaplanır. Bağlayıcının kimyasal yapısı ve oranı, polimer matris ile cam elyaf arasındaki ara-yüzey etkileşimini ve dolayısıyla kompozit malzemenin performansını etkileyen en önemli faktörlerden birisidir. Kompozit malzemenin mekanik özellikleri, polimer-cam elyaf bağının kuvveti ile orantılıdır. Bağlayıcılar, "film oluşturucu", "fonksiyonel gruplar", "antistatik katkı", "plastifiyan" ve " yağlayıcı" adı verilen malzemelerin karışımından oluşmaktadır. Kek adı verilen bir bobin üzerine sarılan cam lifleri kurutulduktan sonra, kırılmış demetten keçe, çok uçlu fitil, kırılmış demetler gibi cam elyafı ürünlerinin elde edilmesi amacıyla ikincil proseslere gönderilir. [17]

Üretim esnasında kullanılan bileşenlerin değiştirilmesi ile farklı karakteristik özelliklerde cam elyaf ürünleri elde edilebilir. Farklı cam elyaf türleri ve özellikleri aşağıdaki gibidir;

E Camı: alkali oranı az, çekme ve sıkıştırmaya dayanıklı, sert, ucuz, düşük vurma dayanımlıdır, genel amaçlı kompozitlerin üretiminde kullanılırlar.

C Camı: Kimyasal maddelere karşı iyi seviyede dirence sahip olan, genellikle suyun ve kimyasal malzemelerin taşındığı boru ve tankların dış yüzeylerinin kaplandığı kompozitlerde kullanılırlar.

R,S veya T Camı; E camından daha yüksek çekme dayanımı ve modüle sahiptirler, ıslak halde iyi dayanım gösterirler, ince filamentler halinde de mekanik özellikleri iyidir, pahalıdır, uzay, havacılık, ve askeri amaçlı kompozitler hazırlanır.

3.3.1.2 Karbon Elyaf

Karbon elyaf, sentetik elyaf türlerinden biri olup poliakrilonitril veya ziftten üretilmektedir. Üretimlerine 1960' ların sonlarında başlanan karbon elyaf, karbon

oranının %90' ın üzerine geçtiği durumlarda grafit elyaf olarak adlandırılır. Metal malzemelere göre oldukça düşük yoğunluğa sahip karbon elyaf yüksek mekanik mukavemeti, yüksek sıcaklıklarda boyutsal kararlılık gerektiren uygulamalarda tercih edilmektedir. Çelik malzemesine göre yaklaşık 5 kat hafif ve 3 kat dayanıklı malzeme olan karbon elyaf genellikle epoksi reçinenin takviyelendirilmesinde kullanılır. Kimyasal dayanımı oldukça iyi olan karbon elyaf, iletkenlik açısından da elektriksel iletken olmaları sebebiyle iletken polimer kompozit üretiminde sıklıkla kullanılmaktadır. Üretimi sırasında yavaş ve yüksek enerji gerektiren piroliz işlemlerinden geçirilmesi sebebiyle pahalı bir takviye malzemesidir. Bu sebeple yüksek teknoloji gerektiren uçak, otomotiv gibi endüstrilerde kullanılan kompozit parçaların takviyelendirilmesinde kullanılmaktadır.



3.3.1.3 Aramid Elyaf

Kevlar ve Nomex ticari isimleri ile de bilinen aramid elyaflar, özellikle düşük yoğunlukları sebebiyle hafif kompozit malzeme üretiminde takviye malzemesi olarak tercih edilirler. Kevlar birim kütle başına en yüksek dayanıklılık gösteren kompozit takviye edicidir. Poli (m-fenilen izoftalamid) yapısındaki (Nomex) aramidin dayanıklılığı Kevlar kadar yüksek değildir. Genelde kesikli lif halinde kullanılır. Nomex lif yakıldığı zaman, birkaç saniye parlak alev yanar ve hemen söner. Bu üstün özelliğinden dolayı uzay giysileri, itfaiyeci elbiseleri, ateşe dayanıklı eldiven, yüksek sıcaklıklarda kullanılan filtreler vb. ürünler yapılır.

3.3.1.4 Bazalt Elyaf

Özellikle sahip olduğu üstün mekanik özelliklere sahip olması sebebiyle savunma sanayi uygulamaların kullanılmak amacıyla çalışmalara bu konuda çalışmalara başlanmıştır. Yer kürenin üçte birlik kısmını oluşturan kayaların 1300-1700 °C' lerde eritilerek elde edilen sürekli ve kırılmış formlardaki elyaflar sahip oldukları üstün özellikler sebebiyle kompozit malzemelerde takviye malzemesi olarak kullanılmaktadır. Genel olarak cam elyafa benzer kimyasal bileşime sahip olan bazalt elyaf E camından yüksek mekanik özelliklere sahip olup yüksek maliyetli karbon elyaflara daha ucuz alternatif olabilmektedir. Ayrıca cam elyaf üretim tekniği ile karşılaştırıldığında daha kolay üretimi söz konusu olan bazalt elyaflar sadece 3-20 mm boyutlarında öğütülmüş bazalt kayalarının eritilmesi ve üretim sırasında cam elyaf prosesindeki gibi borik asit gibi katkıların kullanılmaması sebebiyle çevreci ve sürdürülebilir bir takviye malzemesi olarak ön plana çıkmaktadırlar.

Genel olarak bazalt elyaf özellikleri incelendiğinde;

- Yüksek mekanik mukavemet
- Yüksek termal dayanım
- Yüksek korozyon direnci ve kimyasal dayanım, özellikle güçlü alkali malzemelere karşı cama göre yüksek dayanım gösterir
- Polimerik ve metal matrislerle uyumluluk
- Yüksek yanma direnci ve yanma geciktirici etkisi
- Karbon elyaf ve S cam elyafına göre düşük maliyet

- Doğal kaynaklardan elde edilmesi
- Kolay, temiz ve çevreci üretim
- Ses yalıtım özelliği

Çizelge 2.1 : Bazalt elyafının bazı temel niteliklerinin diğer bazı elyaflarla karşılaştırılması [11]

| | Bazalt Elyaf | E camı | S Camı | Aramid Elyaf | Karbon Elyaf |
|--|---------------------|---------------|---------------|---------------------|---------------------|
| Çekme Dayanımı (MPa) | 3000-4840 | 3100-3800 | 4020-4650 | 2900-3450 | 3500-4400 |
| Elastik Modül (GPa) | 93-110 | 72,5-75,5 | 83-86 | 70-179 | 230-800 |
| Kopmadaki Uzama (%) | 3,1-6 | 4,7 | 5,3 | 2,40-3,60 | 0,5-1,5 |
| Yoğunluk (g/cm³) | 2,65-2,80 | 2,50-2,62 | 2,46 | 1,44 | 1,75-1,95 |
| En yüksek Uygulama Sıcaklığı (°C) | ~650 | ~380 | ~500 | ~250 | ~400 |
| Erime Sıcaklığı (°C) | 1450 | 1120 | 1550 | - | - |

Çizelge 2.2 : E cam elyafın ve bazalt elyafın kimyasal bileşimlerinin karşılaştırılması [11]

| Bileşik | E Cam Elyaf (%) | Bazalt Elyaf (%) |
|------------------------------------|------------------------|-------------------------|
| SiO₂ | 52-56 | 51,6-57,5 |
| Al₂O₃ | 12-16 | 19,6-18,2 |
| CaO | 16-25 | 5,2-7,8 |
| MgO | 0-5 | 1,3-3,7 |
| B₂O₃ | 5-10 | - |
| Na₂O | 0,8 | 2,5-6,4 |
| K₂O | 0,2-0,8 | 0,8-4,5 |
| Fe₂O₃ | ≤0,3 | 4-9,5 |

4. POLİMER KOMPOZİTLERİN ÜRETİM YÖNTEMLERİ

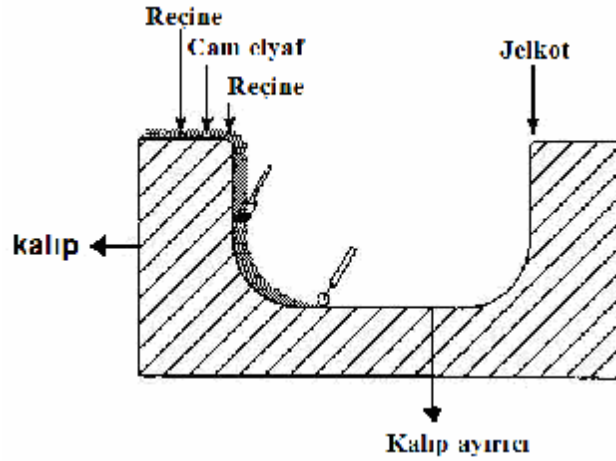
Polimerik kompozit malzemeler kullanılacak hammaddenin cinsine, üretilecek ürün özelliklerine, kullanım yerine, üretim hızına ve hacmine göre farklı teknikler kullanılarak üretilir. Aynı şekilde üretimde kullanılacak yöntemde takviye malzemesinin matris içerisindeki geometrisini ve dağılımını dolayısı ile de kompozit malzeme özelliklerini belirler. Örneğin kullanılacak olan takviye malzemesinin nihai malzeme içerisindeki yönelmesi, miktarı, takviye malzemesinin boyutlarının dağılımı kompozit malzemenin üretim yöntemine bağlıdır. Buradan yola çıkarak eriyik harmanlama (kompaund hazırlama) yönteminde kırılmış ve kesikli formlarda elyaflar kullanılabilirken, filament sarma tekniğinde sürekli elyaflar dokuma ve sürekli elyaflar kullanılırlar.

4.1 Eriyik Harmanlama Yöntemi

Kompaund hazırlama olarak da bilinen eriyik harmanlama yönteminde en sık kullanılan ekipmanlar ekstruderlerdir. Genellikle çift vidalı ekstruderlerin kullanıldığı bu yöntemde matris malzemesi olarak termoplastik malzemeler, takviye malzemeleri olarak ise çeşitli inorganik dolgular, kırılmış formdaki elyaflar kullanılmaktadır. Takviye malzemesinin matris içerisindeki dağılımı nihai malzeme özelliklerini yakından etkilediğinden ekstrüdere ait vidanın tasarımı, proses sıcaklıkları, vida dönüş hızı, besleme hızı, malzemenin proses sırasında makine içerisinde kalma süresi (residence time) gibi parametreler proses sırasında takip edilmelidir. Özellikle elyaf takviyeli malzemelerde yüksek devir ve yoğurucu blok segmentlerin sık olduğu vida kullanımı, elyafın ekstrüzyona besleme kısmına yakın bir bölgeden girişi proses sırasında elyafları parçalayarak elyaf boyunu azaltması sebebiyle mekanik özelliklerin düşmesine sebebiyet verebilir.

4.2 Elle Yatırma Yöntemi

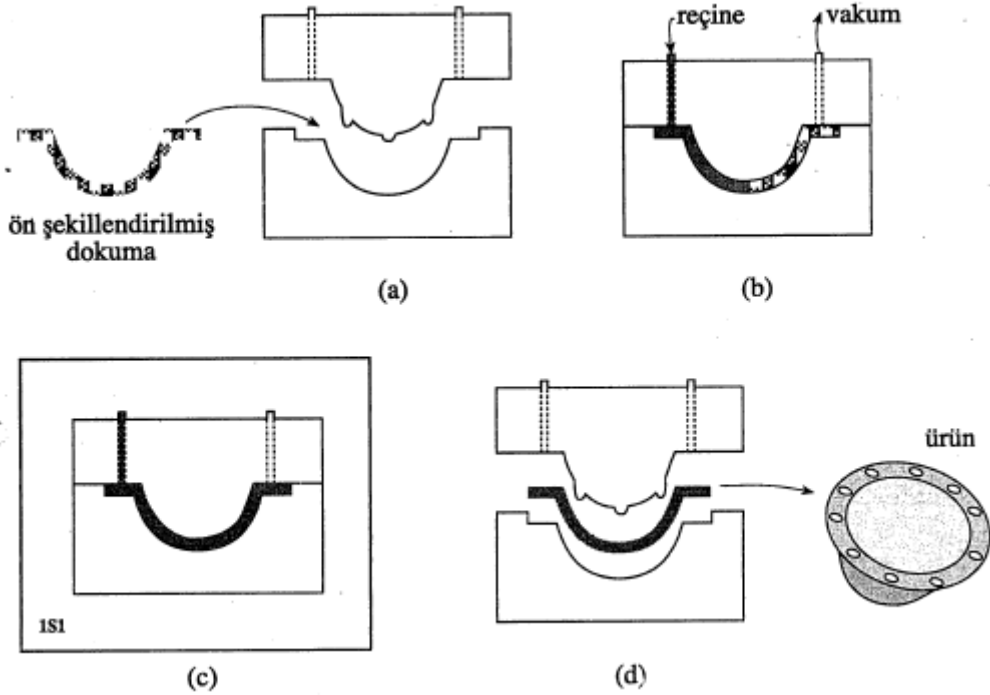
Eski ve basit üretim tekniklerinden olan el yatırma metodu, iş gücünün yüksek olduğu karmaşık alet ve ekipmanların kullanılmadığı kompozit üretim tekniklerinden biridir. Maliyeti düşük ve tek yönlü kalıplar kullanılan bu teknik az sayıda ve karmaşık geometrilere sahip olmayan tekne gövdeleri, emniyet kulübeleri, kabinler otomobil tampon ve çamurlukları gibi uygulamalarda tercih edilir. Genellikle cam elyaf esaslı kalıpların kullanıldığı bu teknikte yüzeyi iyice parlatılan kalıp yüzeyine üretilecek olan parçanın kalıptan kolayca çıkabilmesi için poli (vinil asetat), sıvı parafin gibi kalıp ayırıcı malzemeler sürülür. Sonrasında nihai ürünün yüzey görünümünü ve özelliklerini belirleyecek olan jelkot uygulanır ve kurumması beklenir. Ardından kullanılacak olan elyaflar kuruyan jelkot üzerine konulur ve reçine malzemesi rulo yardımı ile elyaf içerisine hava boşluğu kalmayacak şekilde emdirilir. Uygulanan ilk katmanın ardından ürün kalınlığına ve istenilen mekanik özelliklere göre diğer katmanlarda aynı şekilde uygulanır. İstenilen kalınlığa getirilen ürünün uygun sertleştiricilerin yardımı ile oda sıcaklığında veya fırınlarda belirli sıcaklıklarda ürünün kürleşmesi beklenir ve ardından ürün kalıptan çıkartılır.



Şekil 3.1 : El yatırması [12]

4.3 Reçine Transfer Kalıplama Yöntemi

İki parçalı kalıpların kullanıldığı reçine transfer kalıplama yönteminden önceden bir bağlayıcı yardımı ile şekillendirilmiş elyaf ve dokuma malzemeleri takviye malzemesi olarak kullanılırlar. Takviye malzemesi kalıp içerisine yerleştirildikten sonra kalıp kapatılarak matris görevi gören reçine malzemesi belirli basınç altında kalıba enjekte edilir. Bu sırada kalıp içerisinde hali hazırda bulunan elyaf malzemesinin konumun proses sırasında değişmemesi adına enjeksiyon hızı ve basıncı düşük seviyelerde tutulur. Kalıp içerisinde kalabilecek hava kabarcıklarının mekanik özellikleri olumsuz yönde etkilemesi için genellikle vakum uygulanır. İki parçalı kalıp kullanılması sebebiyle el yatırma tekniğine göre daha karmaşık yapıları parçaların daha düzgün yüzey özelliklerinde üretilmesine olanak sağlar.

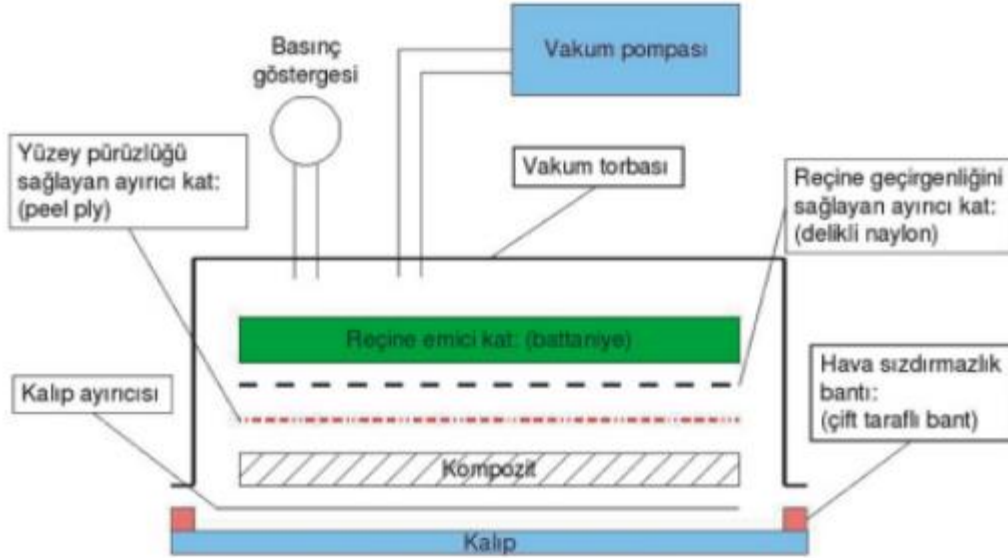


Şekil 3.2 : Reçine transfer kalıplama yöntemi ile kompozit üretimi. a) ön şekillendirilmiş dokumanın kalıba alımı b) kalıba reçine gönderilmesi c) sertleştirme d) kalıptan ürünün alınması [13]

4.4 Vakum İnfüzyon Yöntemi

Tek parçalı kalıp kullanılan bu yöntemde öncelikle kalıp yüzeyine kalıp ayırıcı görevi gören mum, plastik film gibi malzemeler sürülür. Daha sonra ürün tasarımına göre uygun kalınlık ve boyutlardaki prepreg adı verilen reçine emdirilmiş keçe veya diğer formlardaki sürekli elyaflardan oluşan malzeme kesilerek kalıp içerisine uygulanır. Daha sonra bu katman üzerine proses sırasında oluşabilecek ve malzeme içerisinde kalmaması istenen gaz, hava kabarcığı gibi uçucu bileşenlerin geçişine imkan verebilecek özellikteki absorplayıcı dokuma tabakası uygulanır. Son olarak da tüm sistemi örten polimerik film yerleştirilir ve kalıp ısıtılarak vakum uygulanarak basınçla sıkıştırılan sistemde reçinenin kürleşmesi sağlanır.

İçeride kalması muhtemel hava kabarcıklarınının giderilmesi açısından el yatırması yöntemine göre daha avantajlı olan bu teknikte 1 atm' den daha yüksek basınçların uygulanabildiği otoklav sistemleri de kullanılabilir. Otoklav sistemlerinin kullanıldığı üretimlerde içerisinde boşluk oranı çok düşük malzemelerin üretimi mümkündür.



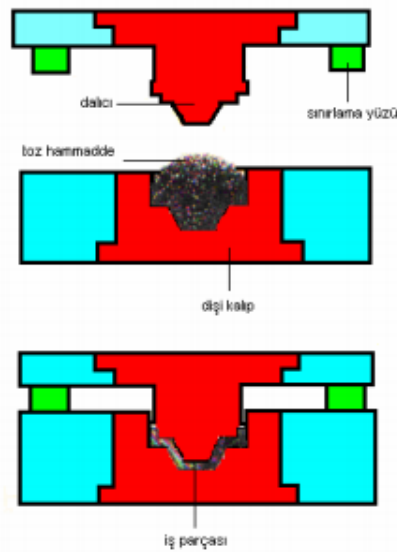
Şekil 3.3 : Vakum infüzyon yöntemi ile kompozit üretimi [14]

4.5 Sıkıştırarak Kalıplama

Genellikle çelik kalıpların kullanıldığı bu teknikte iki yüzeyi de düzgün kompozit malzemeler seri bir şekilde üretilebilmektedir. İçeriğinde matris, takviye malzemeleri ve katkı maddelerinin bulunduğu yarı mamüller üretilecek parça boyutlarına uygun miktarda olacak şekilde kalıp içerisine yerleştirilirler. Yüksek sıcaklık ve basınç altında kürleştirilen ve şekillendirilen malzemeler sonrasında soğumaya alınırlar. Çok sayıda parçanın hızlı ve düşük malzeme firesi ile üretimi sağlanan sıkıştırarak kalıplama prosesinde en sık kullanılan yarı mamüller;

SMC hazır kalıplama bileşimi; Polimerik matris, kırılmış formdaki elyaf, dolgu, pigment, katalizör stabilizatör, kalıp ayırıcı ve diğer katkı malzemelerinin ön işlem den geçerek birleştirildiği pestil ve levha formundaki malzemedir. Genellikle BMC bileşiminde ki elyaf boyutlarına göre daha uzun takviye malzemesi içeren bu bileşimler yüksek mekanik özellikler beklenen büyük hacimdeki parçaların üretiminde tercih edilirler.

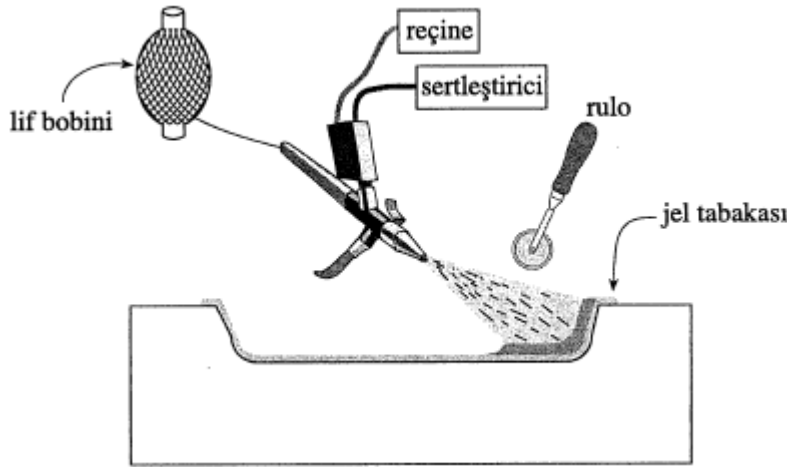
BMC hazır kalıplama bileşimi; BMC takviye malzemesi olarak kırılmış lif ve dolgu malzemesi, katalizör, pigment, yağlayıcı içeren bir reçinenin önceden birleştirilmesi ile oluşan hamur biçiminde malzemedir. Genellikle %5-%30 civarında elyaf takviye malzemesi içeren hamur formundaki bu bileşimler daha küçük ve karmaşık geometrilere sahip parçaların seri bir şekilde üretilmesinde avantajlı bir yöntemdir.



Şekil 3.4 : Sıkıştırarak kalıplama yöntemi ile kompozit üretimi [15]

4.6 Püskürtme Yöntemi

Püskürtme yönteminde kırılmış elyaflar, içerisine sertleştirici katılmış reçine ile birlikte özel bir tabanca sistemi yardımı ile kalıp yüzeyine uygulanır. Kullanılan reçinenin viskozitesinin yeterince düşük olması gerekmektedir. İçerisinde elyafı istenilen küçüklüğe bölen kırma sistemi bulunduran bu özel tabanca sistemi ile uygulanan karışım, kompozit malzemenin tasarımına göre istenilen kalınlığa geldiğinde püskürtme işlemi durdurulur. Kaplama kalınlığı istenilen kalınlığa geldiğinde el yatırma metodunda olduğu gibi yüzey rulo veya fırça yardımıyla düzeltilir. Yüksek işgücü ve ustalık gerektiren bu yöntemin son aşamasında oda sıcaklığında veya fırında malzemenin kürleşmesi beklenir.

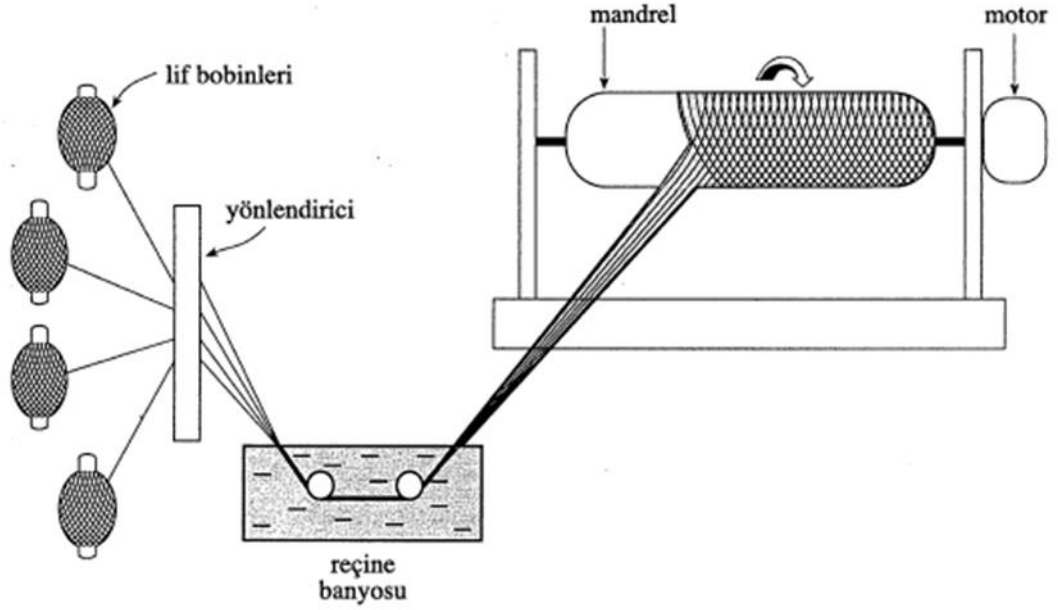


Şekil 3.5 : Püskürtme yöntemi ile kompozit üretimi [13]

4.7 Elyaf Sarma Yöntemi

Genellikle içi boşluklu yapıda olan büyük hacimli kompozit malzemelerin üretilmesinde kullanılan üretim yöntemidir. Mandrel adı da verilen içi boş olan ve kalıp görevi gören malzemelerin üzerine reçine ile ıslatılan elyaflar makara sisteminden çekilerek belirli bir düzende sarılırlar. Uygulanan bu sarma işlemi farklı açılarda gerçekleştirilerek farklı mekanik özelliklere sahip malzeme elde etmek mümkündür. Uygulanan farklı sarma tekniklerine helis sarma, düz sarma, polar sarma gibi çeşitler verilebilir. Ardından kürleşmesi gerçekleştirilen malzeme içerisinden mandrel çıkartılarak kompozit malzeme üretimi tamamlanır.

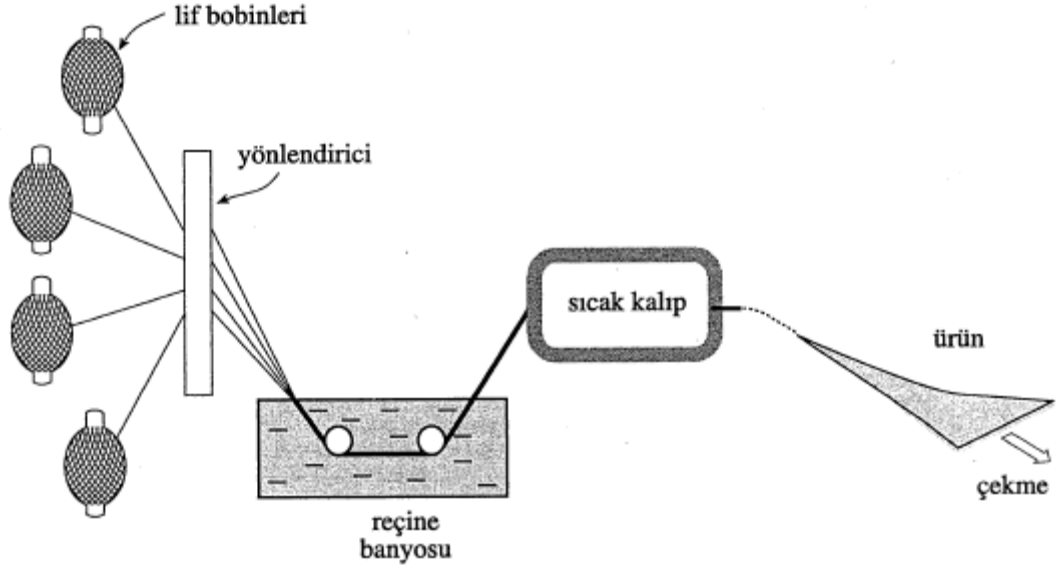
Basınç tankları, yakıt tankları, silindirik boru, tüp, su tankları, otomobil şaftları gibi uygulamalar bu teknikle üretilen ürünlere örnek olarak verilebilir.



Şekil 3.6 Elyaf sarma yöntemi ile kompozit üretimi [13]

4.8 Pultrüzyon

Profil çekme olarak da bilinen ve ekstrüzyon prosesine oldukça benzer olan bu yöntemde sabit kesitli profil kompozit malzemeler seri bir şekilde üretilmektedir. Bobinlerden alınarak sisteme sürekli beslenen elyaf malzemeleri reçine banyosundan geçirildikten sonra belirli bir sıcaklığa kadar ısıtılmış ve ürün kesitini belirleyen kalıplardan geçirilerek kürleşme sağlanır. Sürekli elyaf kullanıldığı bu yöntemde elyafların yönlendirildiği doğrultuda çok yüksek mekanik mukavemet elde edilir. Dokuma elyaflar kullanılarak da farklı yönlerde iyi mekanik özelliklere sahip ürünler elde edilebilir. Bu yöntem ile sabit kesite sahip boru, levha ve profil gibi ürünler üretilir.



Şekil 3.7 Pultrüzyon yöntemi ile kompozit üretimi [13]

5. POLİAMİD ÇEŞİTLERİ

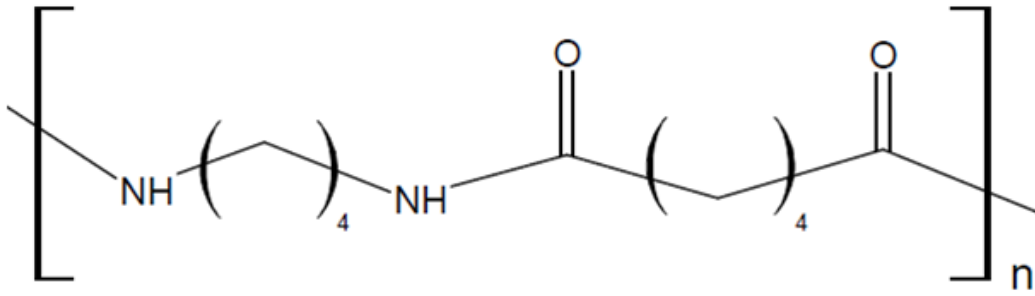
Yarı kristalin bir yapıya sahip olan ve 1930' ların ortalarında keşfedilen poliamid malzemesi 1939 yılının aralık ayında Amerikan Du Pont şirketi tarafından ticarileştirilmiştir. Yüksek mekanik, termal, kimyasal dayanım, iyi derecede yorulma ve sürtünme mukavemetleri gibi üstün özellikleri sayesinde kısa süre içerisinde yüksek performans gerektiren mühendislik uygulamalarında kullanımı hızla artmıştır. Özellikle konvansiyonel poliamid çeşitleri olarak da bilinen poliamid 6 ve 6.6 bu tip uygulamalarda en çok tercih edilen polimerler arasındadır.

Farklı tipteki monomerlerin kullanılmasıyla farklı karakteristik özelliklerde üretilen poliamidler genel olarak amid grubu içermeleri sebebiyle nem çekme özelliklerine sahip polimerlerdir. Polimer ana zincirinde amid grubunun miktarı ile nem çekme miktarı doğru orantılı olarak artış göstermektedir. Aynı şekilde polimer ana zincirinde amid grubunun artması zincirler arası hidrojen bağı etkileşimi artıracığından kristaliniteyi ve buna bağlı olarak malzemenin termal ve kimyasal dayanımını artırmaktadır.

Farklı karakteristik özelliklere sahip poliamidler uygulama alanının gerektirdiği özelliklere göre birçok uygulamada kullanılmaktadır. Özellikle başta otomotiv olmak üzere elektrik-elektronik, medikal, inşaat, güvenlik malzemeleri, ulaştırma gibi birçok sektörde ve özel uygulamalarda kullanılmaktadır.

5.1 Poliamid 46

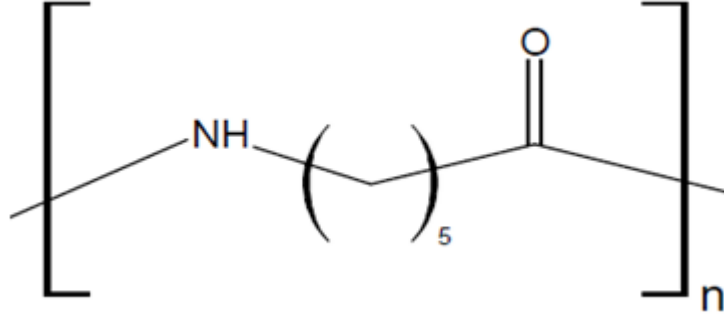
Yüksek termal ve kimyasal dayanıma sahip ürün eldesi için 1,4-diaminobutane ve adipic acid monomerlerinin polikondenzasyonu ile elde edilen poliamid 4.6 ticari poliamidler içerisinde en düşük metilen /amid oranına sahip poliamid çeşididir. Düşük metilen/amid oranı sebebiyle yüksek zincirler arası hidrojen bağı etkileşimine ve yaklaşık %70 gibi yüksek bir kristaliniteye sahip olması sebebiyle 295 °C gibi yüksek erime sıcaklığına ve geniş sıcaklık aralığında mekanik özelliklerini koruyabilmektedir. Aynı zamanda da düşük sürtünme katsayısı ve aşınma direncine sahip olmaları sebebiyle yüksek sıcaklıklarda işlev gören dişli ve rulman üretiminde tercih edilmektedir. Ayrıca yüksek kimyasal dayanımları ve yağ dirençleri sayesinde otomotiv kaput altı uygulamalarında, yüksek yüzeysel ve hacimsel özdirence sahip olmaları, dielektrik dayanımları gibi özellikleri sebebiyle de lehim uygulanan devre kartı uygulamalarında kullanılmaktadır.



Şekil 4.1 Poliamid 4.6

5.2 Poliamid 6

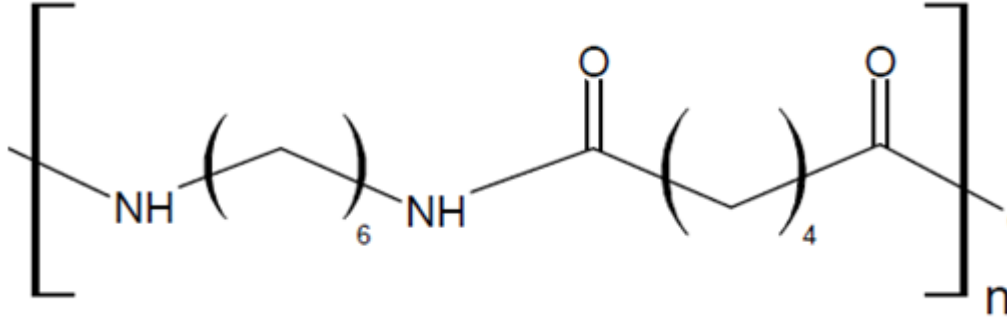
Yarı kristalin yapıya sahi poliamid 6 kaprolaktam monomerinin halka açılması polimerizasyonu ile elde edilmektedir. İyi derecede yorulma dayanımı, yüksek mekanik mukavemet, kimyasal dayanım, yüksek termal dayanım gibi özellikleri sayesinde özellikle mühendislik uygulamalarında en fazla kullanılan polimer türlerindendir. Özellikle yüksek sürekli kullanım sıcaklığına sahip olmaları sebebiyle otomotiv kaput altı uygulamalarda sıklıkla tercih edilmektedir. Bünyesinde bulundukları amid grupları sebebiyle neme karşı hassas olan poliamidler proses edilmeden önce belirli sıcaklıklarda belli bir zaman ön kurutma işlemine tabi tutulmalıdır. Aksi takdirde proses sırasında yüksek sıcaklıklarda oluşan gaz kabarcıkları mekanik özellikleri olumsuz etkilemekle birlikte çeşitli yüzey problemlerine de sebep olabilmektedir. Çeşitli endüstrilerde uygulamanın gerektirdiği özelliklere göre takviye malzemeleri, darbe artırıcı, yanma geciktirici katkı, stabilizatörler gibi katkılarla uyum içerisinde karıştırılarak kullanılabilir.



Şekil 4.2 Poliamid 6

5.3 Poliamid 6.6

Yüksek termal dayanım, mekanik özellikler, tokluk ve kolay işlenebilirlik gibi özelliklere sahip poliamid 6.6 yarı kristalin yapıya sahip ve en sık kullanılan poliamid çeşitlerinden birisidir. Hegzametilen diamine ve adipik asit monomerlerinin kondenzasyon polimerizasyonu ile elde edilen, yaklaşık %50 civarında kristaliniteye sahip poliamid 6.6 260 °C civarında erime sıcaklıklarına sahiptir. Poliamid 6' ya göre daha yüksek termal dayanıma sahip poliamid 6.6 nispeten daha yüksek sıcaklık gerektiren uygulamalarda tercih edilir. Yüksek aşınma dayanımı, kimyasal dayanım, yüksek rijitlik gibi özelliklere sahip olmasının yanında hızlı kristallenme ve düşük eriyik viskozite özellikleri malzemenin enjeksiyon prosesi ile kolaylıkla şekillendirilebilmesini sağlamaktadır.



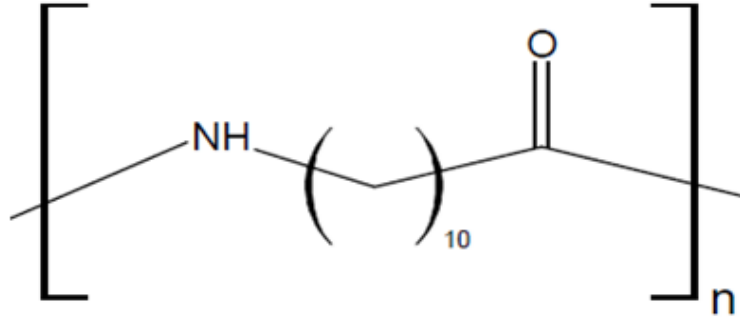
Şekil 4.3 Poliamid 6.6

5.4 Poliamid 11

PA 11 yüksek metilen/amid oranına ve düşük nem absorpsiyon değerine sahip olması sebebiyle nem hassasiyeti düşüktür. Poliamid 11' in erime sıcaklığı kullanılan plastikleştirici miktarı ile değişebilir. Katkı ve plastikleştirici içermeyen poliamid 11 erime sıcaklığı 188 °C civarında erime sıcaklığına sahip iken plastikleştirici içeren ticari poliamid 11, 181°C civarında erime sıcaklığına sahiptir.

PA 11 fiziksel özellikleri diğer ticari poliamidlere benzer olmasına rağmen kendine has bazı özellikleri olan poliamid 11, ticari poliamidler içerisinde düşük modül değerine sahip malzemelerden birisidir. Sahip olduğu elastikiyet ve kimyasal dayanımı

sebebiyle özellikle endüstriyel uygulamalarda içerisinde yağ ve kimyasalların geçtiği hortum ve boru üretiminde tercih edilirler.



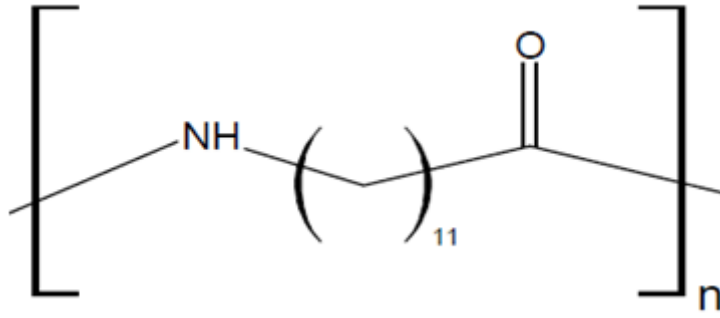
Şekil 4.4 Poliamid 11

Poliamid 11' in çok kullanıldığı uygulamalardan birisi ağır yük kamyonlarının havalı fren sisteminde kullanılan hat sistemidir. Bu uygulama özellikle ticari ve askeri amaçlı kamyonlarda malzemenin düşük sıcaklıklarda darbe dayanım özelliklerini koruması, aşınma direnci, kimyasal direnç, dış ortamlarda kullanılmaya elverişlilik gibi özellikleri sebebiyle 1965' li yıllarda kullanılmaya başlamıştır.

Farklı kimyasallara karşı direnci yüksek olması sebebiyle yağ ve petrol endüstrisinde uzun süreli kullanılan parçaların üretiminde kullanılır. Özellikle petrol ve doğalgaz transferinin yapıldığı boru hatlarında esnek ve kimyasal direncinin iyi olması sebebiyle kullanılırlar. Düşük metan geçirgenliği, gerilim çatlama direncinin yüksek olması ve yalıtım özellikleri bu uygulamalarda kullanımının diğer sebepleridir. Plastikleştirici içermeyen PA11 gıda ile temas halinde bulunan birçok ambalaj film ürünlerinde kullanılabilir.

5.5 Poliamid 12

Laurolaktam monomerinin polimerizasyonu ile sentezlenen PA 12 0,7%-0,8% gibi çok düşük nem absorplama değerine sahip poliamid çeşididir. Diğer poliamid çeşitlerine nazaran 172-178 °C gibi düşük erime sıcaklığına sahip olan poliamid 12, iyi derecede kimyasal dirence sahip olmakla birlikte konsantre çinko klorür çözeltisi içerisinde dahi gerilim çatlaması göstermez. Poliamid 12 gıdaya uygun bir poliamid çeşidi olmakla beraber gıda uygunluğu için spesifik migrasyon değerinin altında değerlere sahiptir. Bu sebeple gıda ambalajlamasında kullanıma uygun olup et ve sosis gibi ürünlerinin ambalajlanmasında kullanılırlar. Film uygulamaları buhar ve sıcak hava ile sterilizasyon işlemlerine elverişli malzemeler olup X Ray ve gama ışınlarına, iyonlaştırıcı radyasyona karşı dirençli ve soğuk sterilizasyon işlemlerinde de kullanılabilirler.



Şekil 4.5 Poliamid 12

Malzemenin sahip olduğu düşük nem absorpsiyonu yüksek boyutsal kararlılık sağlamakla birlikte farklı iklim koşullarında kullanım güvenliği sağlar. Plastikleştiricili poliamid 12' ler ses ve vibrasyonu sönümleme sistemlerinde dişli veya conta gibi uygulamalarda kullanılabilir. Ayrıca yüksek elastikiyetleri sebebiyle ayakkabı taban uygulamalarında kullanımına olanak sağlar. Aynı şekilde pinomatik sistem parçalarında tenis raketlerinde, spor saat kordonlarında sahip olduğu tokluk ve esneklik özellikleri sebebiyle kullanılır.

Düşük sıcaklıklardaki darbe dayanımları sebebiyle kayak botları, badminton topu ve tenis raketleri, spor kol saati kordonları gibi uygulamalarda kullanılır. Pinomatik sistem parçalarında sahip olduğu tokluk ve esneklik özellikleri sebebiyle kullanılır.

Otomotiv endüstrisinde özellikle kimyasal direnç ve yorulma dayanımı özellikleri sebebiyle yakıt, fren ve diğer hat sisteminde kullanılır. Isıl ve kimyasal dayanımı

sebebiyle yakıt sistemindeki konnektör yapımında, ön camların silecek kollarındaki rulman üretiminde, cam sisteminin aparatlarında cam elyaf takviyeli PA12 kullanılır.

Fiber optik ve diğer kabloların kılıflanması işlemlerinde ayrıca toz formları rotasyonel kalıplama işlemlerinde kullanılır. Medikal uygulamalarda çeşitli kumaşlarda kullanılmak üzere mono filament üretiminde kullanılabilir.

Özel katkıların katılmasıyla sürtünme katsayısı düşürülen PA12 çeşitli makine elemanlarından rulman ve yatak üretiminde kullanılır.

Çoğu PA 12 grade'leri UL standartlarına göre HB yanma sınıfına girmektedir. Çeşitli halojenli veya halojensiz katkıların kullanımıyla hazırlanan yanma geciktiricili PA12'ler toplu taşıma araçlarında havacılıkta ve kablo izolasyon uygulamalarında korozyon direnci ve düşük duman yoğunluğu sebebiyle kullanılır.

Spor uygulamalarında karbon elyaf takviyeli PA12'ler hafiflik ve dayanım sağlamaları sebebiyle çeşitli ekipmanların üretiminde kullanılırlar. Ayrıca karbon elyaf ve karbon siyah katkılı PA12'ler iletkenlik sağlaması sebebiyle elektronik uygulamalarda taşıma kutuları, kılavuz rayları gibi ekipmanların üretiminde kullanılırlar.

5.6 Biyo Bazlı Poliamidler

Plastik malzemeler sahip oldukları hafiflik, üstün mekanik özellikleri, kimyasal malzemelere karşı direnç, kolay ve düşük enerji kullanımı ile işlenebilirlik gibi birçok avantajları sebebiyle kullanım oranı her geçen gün hızla artan malzemelerdir. Ancak petrol bazlı ve kısıtlı kaynaklardan elde ediliyor olması araştırmacıları yenilenebilir kaynaklar bulmaya ve bu yönde malzemeler geliştirmeye yöneltmiştir.

Petrol bazlı ve fosil kaynaklardan elde edilen malzemelere alternatif olarak geliştirilen ve sürdürülebilirlik, CO₂ emisyonu ve sera gazı problemlerin giderek önem kazandığı günümüzde bu malzemelerin kullanım oranı giderek artmaktadır. Bu doğrultuda özellikle sahip oldukları üstün mekanik, kimyasal ve termal özellikler sebebiyle mühendislik plastiği olarak kullanılan poliamid malzemelere alternatif olarak biobazlı poliamidler geliştirilmiştir.

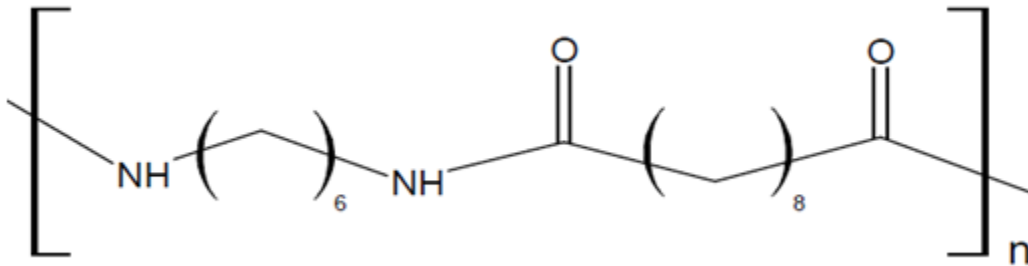
Anavatanı Hindistan olan ve sütleğenler familyasından olan hint yağı bitkisinden elde edilen steraik asit gibi kimyasalların monomer olarak kullanılmasıyla üretilen bu yenilenebilir mühendislik plastikleri bu malzemelerin kullanım oranlarına göre farklı oranlarda bio içeriklere sahiptirler. Sıkça kullanılan bu malzemeler farklı karakteristik özelliklere sahip olan poliamid 6.10, poliamid 10.10, poliamid 11 ve bio bazlı yarı aromatik poliamid (PPA) malzemeleridir.



Şekil 4.6 Hint yağı bitkisi

5.6.1 Poliamid 6.10

Uzun zincirli poliamidler ile konvansiyonel poliamidler arasında özelliklere sahip poliamid 6.10 hegzametilen diamin ve dibazik asit monomerlerinin polimerizasyon reaksiyonu ile elde edilirler. Kısa zincirli ve konvansiyonel poliamidler olarak bilinen 6 ve 6.6' ya göre daha düşük nem absorpsiyonu ve iyi boyutsal kararlılık özellikleri 6.10' un belirgin özellikleri olup değişen iklim koşullarında mekanik özelliklerinde herhangi bir değişim olmaksızın hassas boyutlar gerektiren endüstriyel uygulamalarda tercih edilmektedir. Düşük metilen/amid oranı malzemenin kimyasallara karşı daha dayanıklı olmasını sağlamaktadır.



Şekil 4.7 Poliamid 6.10

Erime sıcaklığı 220 °C civarında olan PA 6.10 üretiminde diasit monomeri olarak genellikle hint yağı (castor oil) bitkisi ve çekirdeklerinden ekstrakte edilen 'sebasik asit' kullanılması sebebiyle ürünlerin çoğu bio-bazlı (bio-based) olarak tanımlanır ve doğal kaynaklardan elde edilen sebasik asit miktarı genellikle ürün teknik formlarında belirtilir.

Uzun zincirli poliamidler içerisinde en iyi sertlik-dayanım seviyelerine sahip ürünlerden biri olan PA 6,10 konvansiyonel PA 6 ve PA 6,6 gibi ürünlerin yüksek mekanik özelliklerinin, uzun zincirli poliamidlerin ise farklı ortam koşullarında kullanılabilirlik özelliklerinin gerektiği yerlerde alternatif olarak ön plana çıkar.

PA 12' ye göre de daha yüksek ısı dayanıma ve ısı yaşlanma direncine sahip olduklarından bu özelliklerin dengelendiği birçok uygulamada kullanılırlar.

İyi seviyede kimyasal dirence sahip olan PA 6,10' un hidroliz direnci PA 6 ve PA 6,6' ya göre daha yüksektir. Bu özelliği sebebiyle PA 6,10 tesisat sistemlerinde ve soğutma kanal sistemlerinde kullanılan konnektör yapımında üstün özelliklerde malzeme kullanım olanağı sunar. Ayrıca yüksek kimyasal dirençleri sebebiyle yakıt sistemlerinde, yağ karterlerinde ve çeşitli bağlantı elemanlarının yapımında kullanılırlar.

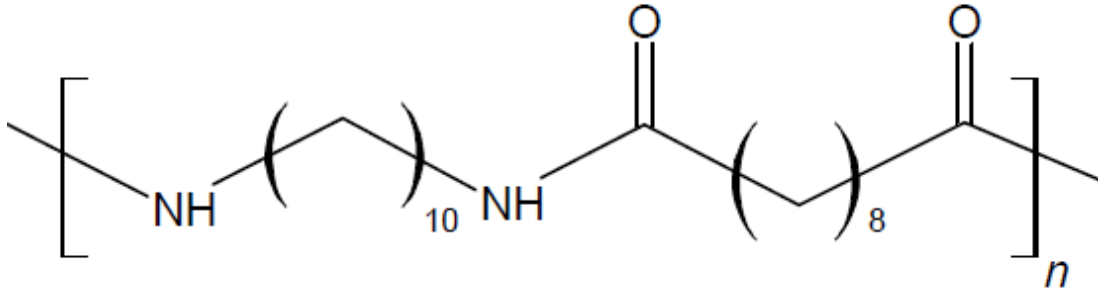
Uzun zincir yapısına sahip PA 6,10'nın başlıca özellikleri:

- İyi derecede hidroliz direnci
- Yüksek gerilim çatlama direnci,
- Düşük nem absorpsiyonu ve yüksek boyutsal kararlılık,
- Ortam koşullarından bağımsız mekanik özellikler

5.6.2 Poliamid 10,10

Poliamid 10,10, %100 bio içerikli uzun zincirli poliamid çeşitlerinden biridir. Monomerleri 1,10-dekametilen diamin (D) ve 1,10- dekandioik asit (sebasik asit—S) olan ve polikondenzasyon polimerizasyonu ile üretilen bu poliamid çeşidi özellikle düşük sıcaklıklarda yüksek darbe dayanımı, düşük nem hassasiyeti ve yüksek kimyasal dayanım gibi karakteristik özelliklere sahiptir. Monomerlerinin tamamı yenilenebilir doğal kaynak olan hint yağı bitkisinden elde edilmesi sebebiyle %100 bio içerikli mühendislik plastiği olarak bilinir. Sahip olduğu karakteristik özellikleri sebebiyle poliamid 12 ve 12.12 gibi uzun zincir yapıları poliamidler ile konvansiyonel olarak nitelendirilen poliamid 6 ve 6.6 arasındaki boşluğu doldurur.

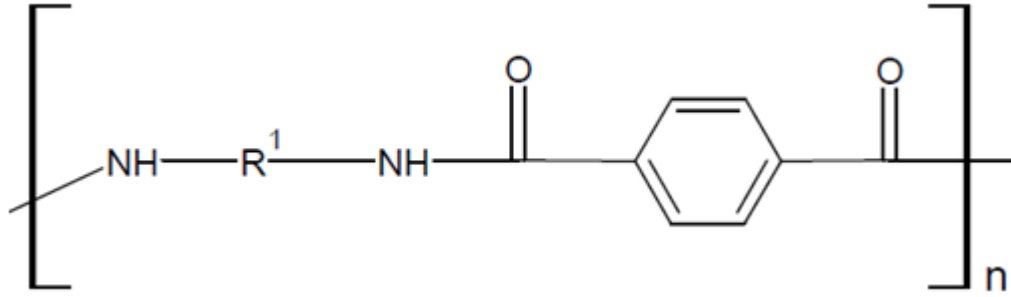
Standart poliamidlere nazaran daha uzun zincir yapısı ve daha düşük metilen/amid oranı malzemeye daha düşük nem çekme özelliği sağlar. Bu sebeple yarı kristalin yapıdaki malzemenin sahip olduğu yüksek mekanik özellikler ortam şartlarından etkilenmemekte ve yüksek boyutsal kararlılık özelliklere sahiptir.



Şekil 4.8 Poliamid 10.10

5.6.3 Yarı aromatik poliamid (PPA)

Bio-poliamid çeşitlerinden olan poliamid 10T/X poliftalamid olarak da bilinen yarı aromatik ve yüksek performanslı polimerlerdendir. Polimer ana zincirinde aromatik halka bulundurması sebebiyle diğer poliamidlere nazaran 295 °C gibi daha yüksek erime noktasına ve yüksek mekanik özelliklere sahip olan bu malzeme aynı zamanda daha yüksek termal ve mekanik özelliklere de sahiptir. Üretiminde kullanılan monomerlerin bir kısmının hint yağı bitkisinden elde edilmesi sebebiyle %50' ye kadar bio içerikli olan poliamid 10T/X' in sahip olduğu karakteristik özellikler:



Şekil 4.9 PPA

- 125°C gibi yüksek camsı geçiş sıcaklığı
- 180°C ve yukarısında sürekli kullanım sıcaklığı
- 120 °C ve yukarısında HDT sıcaklığı
- Etkileyici maliyet/performans oranı
- Otomotiv endüstrisinde kullanılan kimyasallara karşı dayanım
- Yüksek boyutsal kararlılık
- Geniş sıcaklık aralığında yüksek mekanik dayanım



6. MALZEME VE YÖNTEM

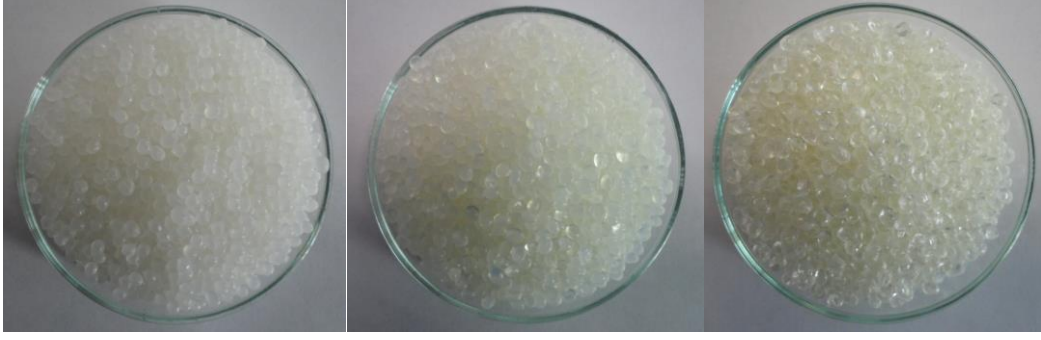
6.1 Malzemeler

Bu tez çalışmasında polimer matris olarak üç farklı tipte ve farklı oranlarda biyo içeriğe sahip biyo bazlı poliamid polimerleri kullanılmıştır. Bu poliamid matrisler EVONIK tarafından üretilen Vestamid Terra HS16 ticari isimli %63 biyo içeriğe sahip poliamid 6.10, Vestamid Terra DS16 ticari isimli %100 biyo içeriğe sahip poliamid 10.10 ve Vestamid HT Plus M3000 ticari isimli %50 biyo içeriğe sahip PPA' dır.

Takviye malzemesi olarak ise Kamenny Vek firması tarafından üretilen 17 mikron fiber çapına ve yaklaşık 6 mm fiber boyuna sahip CS17-6,4(1/4") p-KV-16 ticari isimli kırılmış bazalt elyaf ve Şişecam firması tarafından üretilen CAMELYAF GLASS FIBER/PA 2 ticari isimli 10,5 mikron fiber çapında ve 3-4,5 mm fiber boyunda cam elyaf kullanılmıştır.

Çizelge 5.1 : Biyo bazlı poliamid özellikleri

| Özellikler | Şartlar | Birim | Standart | PA 6.10 | PA 10.10 | PPA |
|-------------------------------------|-------------------|-------------------|---------------|------------|-------------|--------|
| Yoğunluk | +23 °C | g/cm ³ | ISO 1183 | 1,08 | 1,05 | 1,1352 |
| Nem Alma | +23 °C, %50 RH | % | ISO 62 | 1,50 | 1,00 | 0,15 |
| Çekme Dayanımı | 5 mm/dk | MPa | ISO 527 | 55,43 | 50,53 | 65,6 |
| Kopmadaki Uzama | 5 mm/dk | % | ISO 527 | 10 | 160 | 3,00 |
| Çekme Modülü | 5 mm/dk | MPa | ISO 527 | 1940 | 1700 | 2810 |
| Izod Darbe Dayanımı, Çentikli | +23 °C | kJ/m ² | ISO 180/1A | 5,78 | 5,82 | 5,22 |
| Erime Sıcaklığı | - | °C | DSC | 223,48 | 201,92 | 286,22 |
| HDT | 0,45 MPa | °C | ISO 75 | - | - | - |
| | 1,8 MPa | °C | ISO 75 | - | - | - |



(a)

(b)

(c)

Şekil 5.1 Kullanılan poliamid çeşitleri (a) Poliamid 6.10, (b) Poliamid 10.10, (c) PPA



(a)

(c)

Şekil 5.2 Kullanılan takviye malzemeleri (a) kırılmış bazalt elyaf, (b) kırılmış cam elyaf

6.2 Yöntemler

6.2.1 Kompozitlerin hazırlanması

Biyo poliamid matris ve farklı oranlarda kırılmış elyaf malzemelerinin iyi bir şekilde harmanlanması ve kompozit malzeme üretimi için Coperion marka 26 mm vida çaplı, 40 L/D oranına sahip, vida konfigürasyonu ayarlanabilir (segmented screw), iç içe (intermeshing), eşyönlü (co-rotating) çift vidalı ekstruder kullanılmıştır. Şekil 3.2’de çift vidalı ekstruder ve üretim hattı görülmektedir.

Hazırlanan numuneler proses edilmeden önce 80 °C’ de 3 saat boyunca kurutma işlemine tabi tutulmuştur. Daha sonra “polimer-dolgu” kuru karışımı olarak belirlenen bileşim oranına göre tartılan örnekler ekstruderden geçirilerek kesicide (granülatör) granül haline getirilmiştir. Hazırlanan kompozit numunelerinin kodlamaları, bileşimleri ve ekstrüzyon proses şartları Çizelge 5.2’ de gösterilmiştir.



Şekil 5.3 Çift vidalı ekstrüder



Çizelge 5.2 : Ekstrüzyon proses parametreleri

| Ekstrüzyon Proses Parametreleri | | | | | | | | | | | | |
|---|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| | PA 10.10+%15 BF | PA 10.10+%15 GF | PA 10.10+%30 BF | PA 10.10+%30 GF | PA 6.10+%15 BF | PA 6.10+%15 GF | PA 6.10+%30 BF | PA 6.10+%30 GF | PPA+%15 BF | PPA+%15 GF | PPA+%30 BF | PPA+%30 GF |
| Ekstrüzyon Sıcaklıkları (°C) | 210-220 | 210-220 | 210-220 | 210-220 | 230-250 | 230-250 | 230-250 | 230-250 | 290-310 | 290-310 | 290-310 | 290-310 |
| Eriyik Sıcaklığı (°C) | 195-197 | 195-197 | 195-197 | 195-197 | 215-220 | 215-220 | 215-220 | 215-220 | 285-287 | 285-287 | 285-287 | 285-287 |
| Vida Dönüş Hızı (rpm) | 600-750 | 600-750 | 600-750 | 600-750 | 600-750 | 600-750 | 600-750 | 600-750 | 500-600 | 500-600 | 500-600 | 500-600 |
| Kapasite (kg/sa) | 25-45 | 32-45 | 32-45 | 32-45 | 30-45 | 30-45 | 30-45 | 30-45 | 40-50 | 40-50 | 25-50 | 25-50 |
| Soğutma Suyu Mesafesi ve Sıcaklığı (cm/°C) | 40/30-50/30 | 40/30-50/30 | 40/30-50/30 | 40/30-50/30 | 40/30-50/30 | 40/30-50/30 | 40/30-50/30 | 40/30-50/30 | 40/30 | 40/30 | 40/30 | 40/30 |
| Vakum Basıncı (bar) | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 |
| Tork (%) | 70-80 | 70-80 | 70-80 | 70-80 | 70-80 | 70-80 | 70-80 | 70-80 | 50-80 | 50-80 | 50-80 | 50-80 |

6.2.2 Test numunelerinin hazırlanması

Uygulanacak olan testler için standartlara uygun boyutlara sahip test numuneleri, ekstrüzyon prosesi ile elde edilen granül formundaki kompozit malzemelerden enjeksiyonla kalıplama yöntemi ile elde edilmiştir. Test numunesi üretiminde Arburg marka 320C model, 50 tonluk kapama kuvveti ve 35 mm kovan çapına sahip enjeksiyon makinesi kullanılmıştır. Hazırlanan numuneler Çekme testi, çentikli izod darbe dayanım testi ve eğilme testinde kullanılmak üzere standart kalıplar kullanılarak Çizelge 5.3 ve Çizelge 5.4' te deki enjeksiyon proses parametrelili ile üretilmiştir.



Şekil 5.4 Enjeksiyon makinası

Çizelge 5.3 : Çekme test numunesi enjeksiyon proses parametreleri

| Çekme Test Numunesi Enjeksiyon Proses Parametreleri | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|-------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------|------------------|------------------|------------------|------------------|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | PA 10.10 | PA 10.10+%15BF | PA 10.10+%15GF | PA 10.10+%30BF | PA 10.10+%30GF | PA 6.10 | PA 6.10+%15BF | PA 6.10+%15GF | PA 6.10+%30BF | PA 6.10+%30GF | PPA | PPA+%15BF | PPA+%15GF | PPA+%30BF | PPA+%30GF |
| Enjeksiyon sıcaklıkları (°C) | 215-240 | 215-240 | 215-240 | 215-240 | 215-240 | 230-250 | 230-250 | 230-250 | 230-250 | 230-250 | 300-320 | 300-320 | 300-320 | 300-320 | 300-320 |
| Enjeksiyon hızı (cm ³ /s) | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 |
| Enjeksiyon basıncı (bar) | 1500 | 1500 | 1500 | 1500 | 1500 | 1500 | 1500 | 1500 | 1500 | 1500 | 1500 | 1500 | 1500 | 1500 | 1500 |
| Mal alma mesafesi (cm ³) | 33 | 33 | 33 | 33 | 33 | 33 | 33 | 33 | 33 | 33 | 33 | 33 | 33 | 33 | 33 |
| Ütüleme Basıncı | 400-600 | 400-600 | 400-600 | 400-600 | 400-600 | 400-600 | 400-600 | 400-600 | 400-600 | 400-600 | 400-600 | 400-600 | 400-600 | 400-600 | 400-600 |
| Ütüleme zamanı | 2,50 | 2,50 | 2,50 | 2,50 | 2,50 | 2,50 | 2,50 | 2,50 | 2,50 | 2,50 | 2,50 | 2,50 | 2,50 | 2,50 | 2,50 |
| Soğutma Süresi (s) | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 |
| Kalıp Sıcaklığı (°C) | 80 | 80 | 80 | 80 | 80 | 80 | 80 | 80 | 80 | 80 | 100 | 120 | 120 | 120 | 120 |

Darbe Test Numunesi Enjeksiyon Proses Parametreleri

| | PA 10.10 | PA 10.10+%15BF | PA 10.10+%15GF | PA 10.10+%30BF | PA 10.10+%30 GF | PA 6.10 | PA 6.10+%15BF | PA 6.10+%15GF | PA 6.10+%30BF | PA 6.10+%30GF | PPA | PPA+%15BF | PPA+%15GF | PPA+%30BF | PPA+%30GF |
|---------------------------------------|-------------|-------------------|-------------------|-------------------|-----------------------|---------|------------------|------------------|------------------|------------------|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Enjeksiyon sıcaklıkları (°C) | 215-240 | 215-240 | 215-240 | 215-240 | 215-240 | 230-250 | 230-250 | 230-250 | 230-250 | 230-250 | 300-320 | 300-320 | 300-320 | 300-320 | 300-320 |
| Enjeksiyon hızı (cm ³ /sn) | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 |
| Enjeksiyon basıncı (bar) | 1500 | 1500 | 1500 | 1500 | 1500 | 1500 | 1500 | 1500 | 1500 | 1500 | 1500 | 1500 | 1500 | 1500 | 1500 |
| Mal alma mesafesi (cm ³) | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 |
| Ütüleme Basıncı (bar) | 400-600 | 400-600 | 400-600 | 500-700 | 500-700 | 400-600 | 400-600 | 400-600 | 500-700 | 500-700 | 400-600 | 400-600 | 400-600 | 500-700 | 500-700 |
| Ütüleme zamanı (sn) | 2,50 | 2,50 | 2,50 | 3 | 3 | 2,50 | 2,50 | 2,50 | 3 | 3 | 2,50 | 2,50 | 2,50 | 3 | 3 |
| Soğutma Süresi (sn) | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| Kalıp Sıcaklığı (°C) | 80 | 80 | 80 | 80 | 80 | 80 | 80 | 80 | 80 | 80 | 100 | 120 | 120 | 120 | 120 |

Çizelge 5.4 : Darbe test numunesi enjeksiyon proses parametreleri

6.2.3 Test ve analiz çalışmaları

6.2.3.1 Mekanik testler

Üretilen kompozit numunelere uygulanacak mekanik testlerin tamamı oda sıcaklığında gerçekleştirilmiş olup mekanik testler şu şekildedir;

6.2.3.1.1 Çekme testi

Uygun boyutlarda hazırlanan numuneler iki ucundan çekme cihazına çeneler yardımıyla sıkıştırılır. Daha sonra sıkıştırılan numune standartta belirtilen bir çekme hızında çekme işlemine tabi tutulur. Yüksek kristaliniteye sahip ve düşük uzama gösteren poliamid numuneler ISO 527 standartına göre 5 mm/dak. Çekme hızında teste tabi tutulmuştur.

Çekme işlemi ile birlikte çekme gerilimi, uzama yüzdesi ile birlikte kaydedilerek gerilim-gerinim grafiğine aktarılır.

Çekme deneyleri plastik malzemelerin mekanik dayanımlarını belirlemek için uygulanan testlerdir. Bu testlerde numunelerin uzaması için gerekli mekanik güç ve uzama miktarları ile birlikte elastiklik modülü, çekme dayanımı, kopma noktasındaki uzama gibi veriler elde edilerek malzemelerin esneklik veya kırılma gibi özellikleri hakkında fikir sahibi olunur.



Şekil 5.5 Çekme testi cihazı

6.2.3.1.2 Üç nokta eğme testi

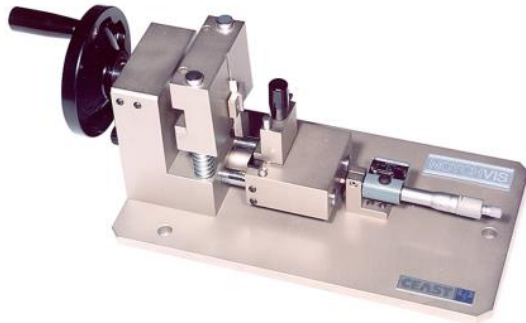
Hazırlanan numuneler aralarında belirli bir mesafe açıklık buluna iki destek ortasına yerleştirilir. Daha sonra numunenin ortasına standart bir başlıkla ve standartta belirtilen bir hızla numune kırılana kadar veya standartta belirtilen esneme değerine kadar yük uygulanır (ISO 178-%3,5 esneme). Numunenin kırılmasına neden olan gerilim değeri en yüksek eğilme dayanımı olarak kaydedilir. Numunenin kırılmaması durumunda ise standartta belirtilen %3,5 esneme anında kaydedilen gerilim değeri eğilme dayanımı olarak kabul edilir. Termoplastik malzemelerin çoğu esnek yapıları sebebiyle deney sırasında kırılmazlar. Bu sebeple numune dış yüzeyinin %3,5 esnemeye maruz kaldığı an eğilme dayanımı olarak kabul edilir.

5.2.3.1.3 Çentikli izod darbe dayanım Testi

Test için hazırlanan uygun boyuttaki numuneler üzerine teste başlamada önce standartta belirlenen ölçülerde çentik açma cihazı ile çentik açılır. Daha sonra numune çentik tarafı kendisine çarpacak şekilde sarkaç koluna dönük olarak sisteme dikey şekilde konumlandırılır. Sıkıştırma işleminin ardından belirli bir yükseklikte hareketsiz konumdaki sarkaç serbest bırakılarak numuneye çarpması ve çentiğin olduğu kısımdan numunenin kırılması sağlanır. Sarkaç numuneye çarptıktan sonra malzemenin darbe dayanım değerine bağlı olarak darbe yönünün ters tarafında belirli bir yere kadar yükselir. Bu yükseklik farkına göre malzemenin darbe dayanım değeri hesap edilir.



(a)



(b)

Şekil 5.6 (a) Darbe test cihazı (b) Çentik açma cihazı

6.2.4 Termal testler

6.2.4.1 Isı ile (sabit yük altında) deformasyon sıcaklığı (HDT)

Hazırlanan numune aralarındaki açıklığın belli olduğu iki destek arasına konumlandırılır. Numunenin ortasına belirli bir değerde basınç uygulanarak numune içerisinde silikon yağı bulunan odacığa yerleştirilir ve odacığın sıcaklığı belirli hızla artırılır (120°C/sa). Sıcaklık ve basınç altında deformasyona uğrayan numunenin 0, 254 mm eğildiği sıcaklık uygulanan basınç altındaki ısıyla deformasyon sıcaklığı olarak kabul edilir.



Şekil 5.7 Yük Altında Eğilme Sıcaklığı (HDT) Test Cihazı

6.2.4.2 Diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) analizi

İki adet numune kabı bulunan sistemde bir kaba az miktarda numune konulurken diğer boş olan kap referans olarak adlandırılır. Örnek ve referans, sistem tarafından düzenli bir hız ile ısıtılarak her iki hazneninde aynı sıcaklıkta olması sağlanır. Aynı sıcaklık değerlerinin sağlanabilmesi amacıyla numunede ısının artmasıyla oluşan endotermik veya ekzotermik reaksiyonlar sonucu kaybedilen veya kazanılan ısı sistem tarafından karşılanır. Böylelikle uygulanan ısı enerjisi farkından numunedeki erime, kristallenme gibi faz geçiş sıcaklıkları belirlenmiş olur.



Şekil 5.8. Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) Cihazı

6.2.4.3 Termogravimetrik analiz (TGA)

TGA olarak da bilinen bu analizde sabit hızda ısıtılan numunede gerçekleşen ağırlık kaybı veya kazanımı sistem tarafından sürekli tartılarak kaydedilir. Genel olarak deney numunesinde kütle değişimine neden olan bozunma, yükseltgenme veya buharlaşma gibi reaksiyonlar gözlemlenir. Termoplastikler için malzemenin termal kararlılığını ve degradasyon sıcaklıklarını, polimer-polimer veya polimer-katkı maddesi etkileşimlerini gözlemek açısından önemli bir analizdir.



Şekil 5.9 Termogravimetrik analiz (TGA) cihazı

7. BULGULAR

7.1 Yoğunluk Sonuçları

Granül halindeki veya bu boyutlarda hazırlanmış plastik malzemenin ağırlığı önce hava sonra yoğunluğu belli olan su içinde ölçülerek malzemenin ağırlıkları tespit edilir. Yoğunluk ölçer bir terazi (ISO 1183) yardımıyla laboratuvar sıcaklığında ölçülen bu değerler aşağıdaki formüllerde yerine konularak yoğunluk ölçülür.

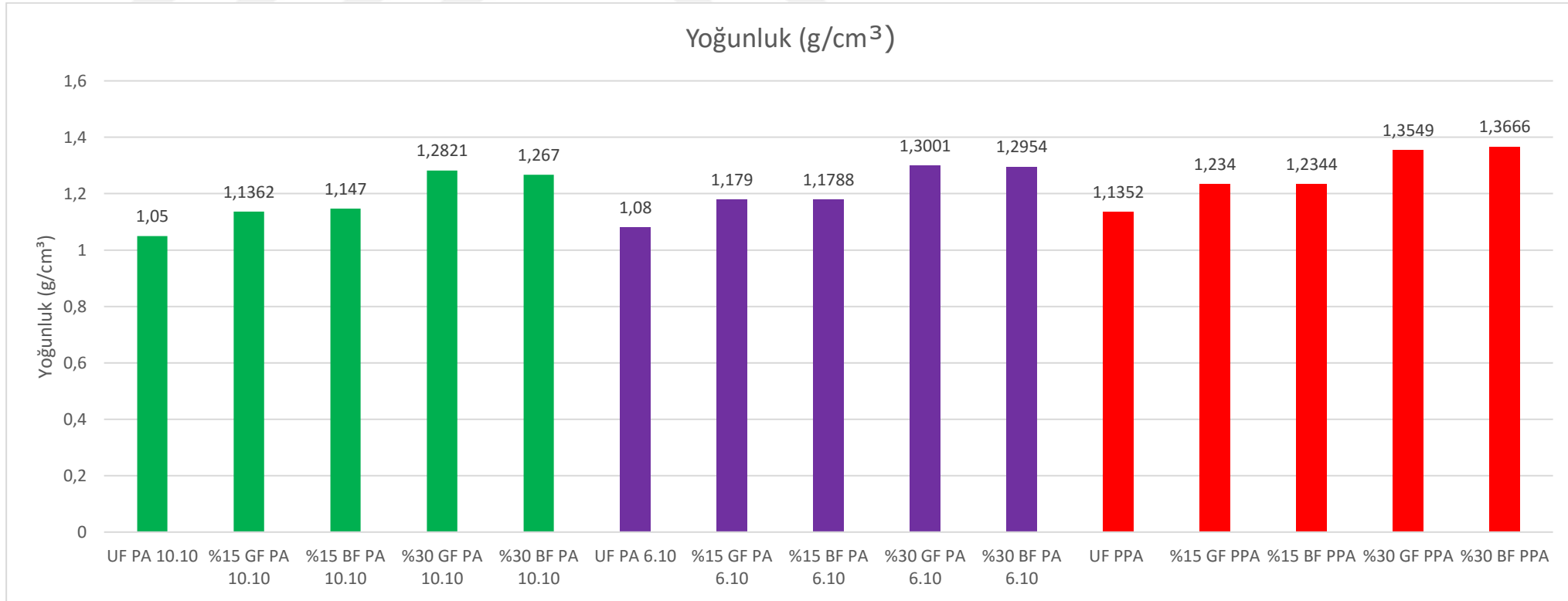
$$\rho = \frac{W(a) \times [\rho(l) - 0,0012]}{0,9998 \times G} \quad G = W(a) - W(l)$$

ρ =Yoğunluk (g/cm^3), $W(a)$ =Numunenin havadaki ağırlığı, $W(l)$ =Numunenin etil alkol içerisindeki ağırlığı, $\rho (l)$ =Ortam sıcaklığındaki etil alkol yoğunluğu (g/cm^3)

Yoğunluk değerleri incelendiğinde elyaf takviye malzemesi içermeyen malzemeler kıyaslandığında birim zincir uzunluğunda diğerlerine göre daha az amid grubu içeren dolayısı ile de zincirler arası etkileşimin ve kristalinitenin daha düşük olduğu poliamid 10.10 malzemesi en düşük yoğunluğa, polimer ana zincirinde aromatik hacimli grup bulduran poliamid 10T/X (PPA) ise en yüksek yoğunluğa sahiptir. Beklendiği gibi yüksek yoğunluklu elyaf takviye malzemelerinin miktarlarındaki artış ile doğru orantılı bir şekilde hazırlanan kompozit malzemelerin yoğunlukları da artmaktadır.



Çizelge 6.1: Takviyeli ve takviyesiz numunelerin yoğunluklarının karşılaştırılması



7.2 Mekanik Test Sonuçları

7.2.1 Çekme test sonuçları

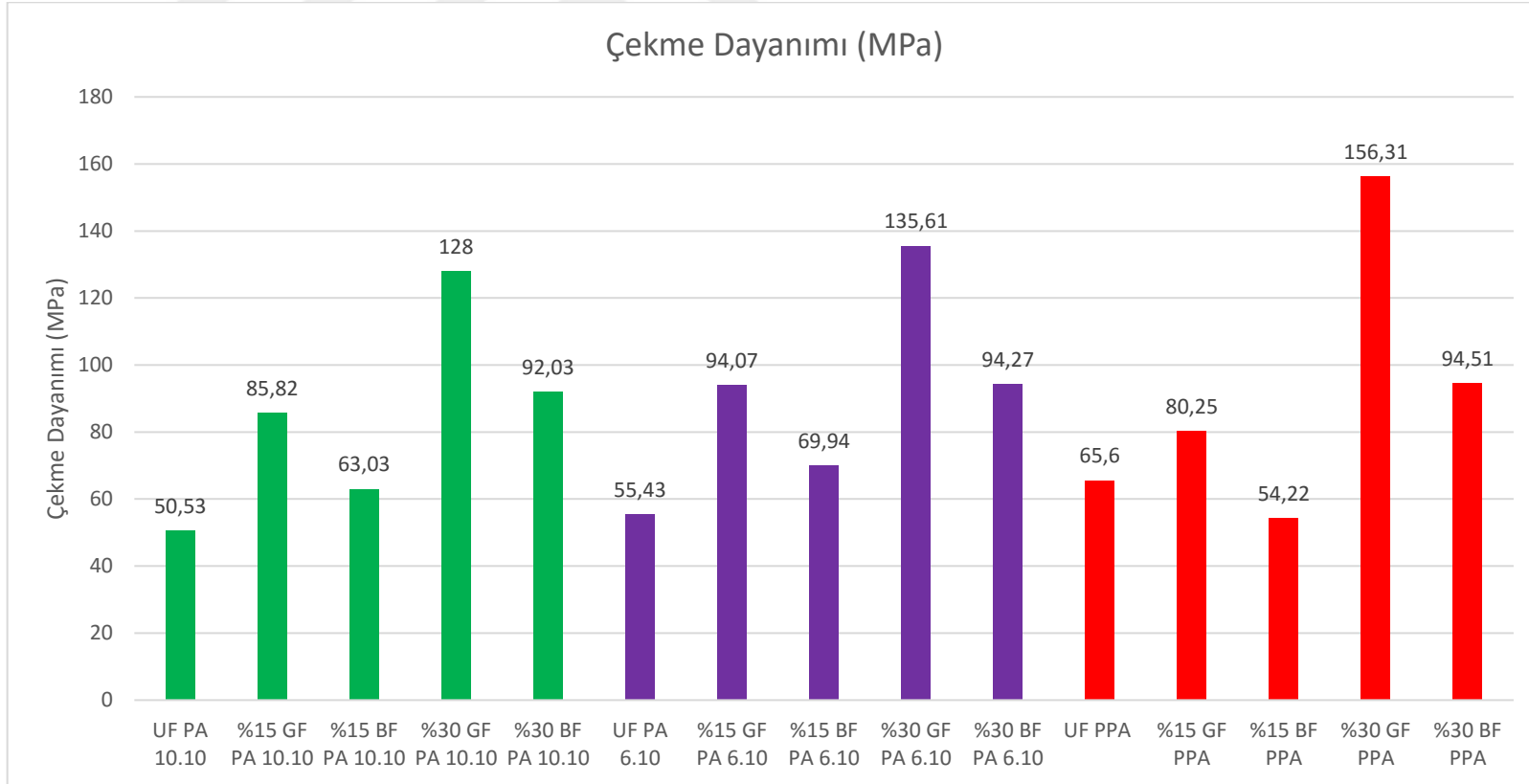
Çalışmada üç farklı matriste iki farklı tipte elyaf olmak üzere ağırlıkça %15 ve 30 oranında takviye malzemesi içeren 12 farklı çeşit numune hazırlanmıştır.

Hazırlanan kompozit numunelerin çekme test sonuçları incelendiğinde genel olarak takviye malzeme miktarının artması ile doğru orantılı olarak çekme dayanımının ve çekme modülünün arttığı gözlemlenmiştir. Artan elyaf oranı ile birlikte matris malzemesi üzerine gelen gerilimi daha kolay bir şekilde ve daha fazla miktardaki takviye malzemesine iletir. Farklı matrislerde elyaf kullanım miktarının %15' ten %30' a çıktığında çekme dayanımının ve modülün arttığı gözlemlenmektedir. Takviyesiz poliamidlerin modül ve çekme dayanımları karşılaştırıldığında zincir stabilitesi en yüksek olan PPA en yüksek çekme dayanımı ve modüle sahip iken poliamid 10. 10' a göre daha yüksek kristaliniteye sahip olan poliamid 6.10 nispeten daha yüksek modül ve dayanım değerlerine sahiptir.

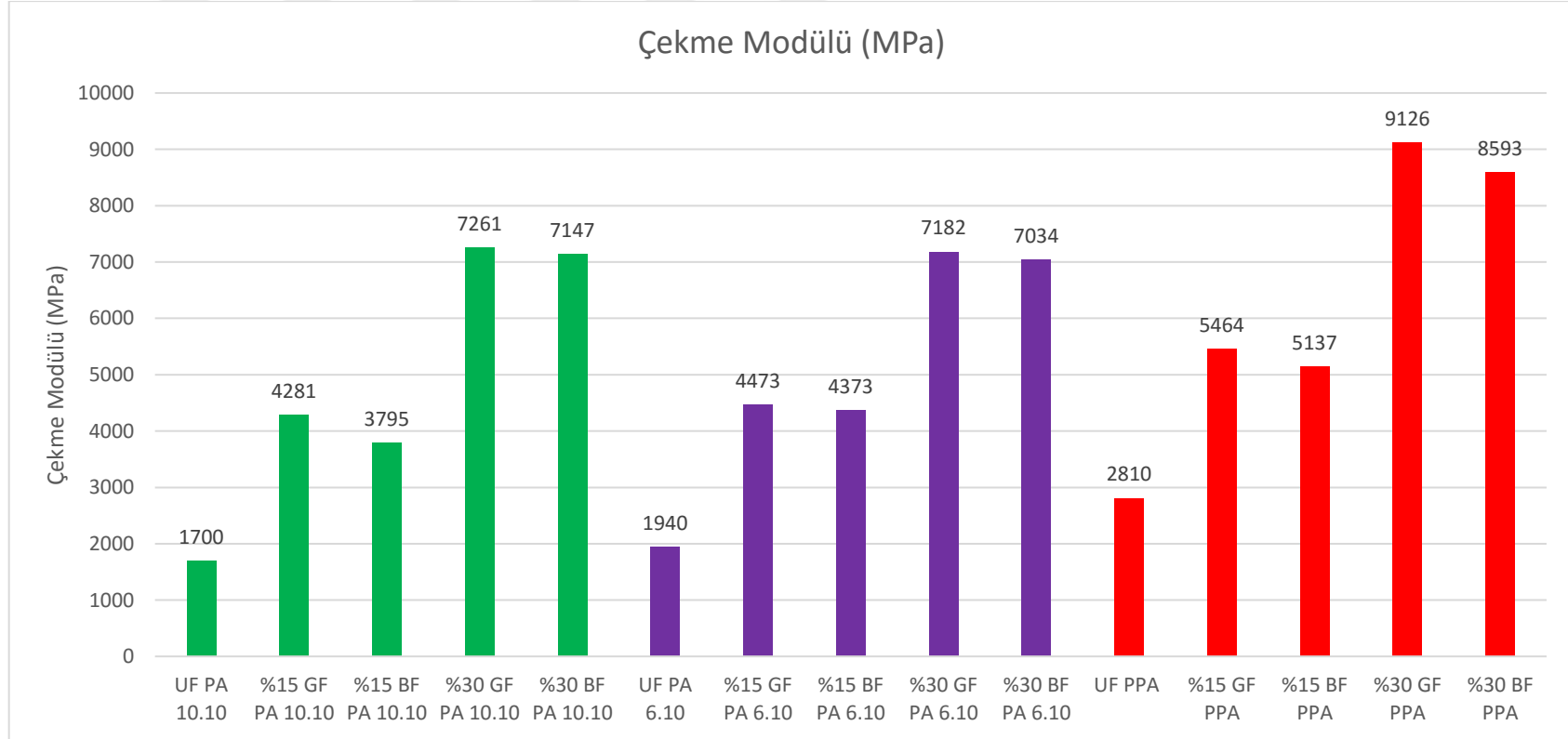
Ayrıca aynı matris içerisinde ve aynı oranda elyafa sahip numuneler karşılaştırıldığında cam elyaf takviyeli numunelerin daha yüksek değerlere sahip olduğu görülmektedir. Burada özellikle kullanılan bazalt elyaf üzerindeki silan kaplamanın PP matrise uyumlu olması ve kullanılan poliamid matrisler ile iyi arafaz özellikleri sağlanamaması etkili olduğu sonucuna ulaşıldı.

Ayrıca kullanılan cam elyafın üzerindeki silanın poliamidler ile uyumlu olmasının yanında daha yüksek boyut oranı (aspect ratio)' ya sahip olması da etkenlerden birisidir.

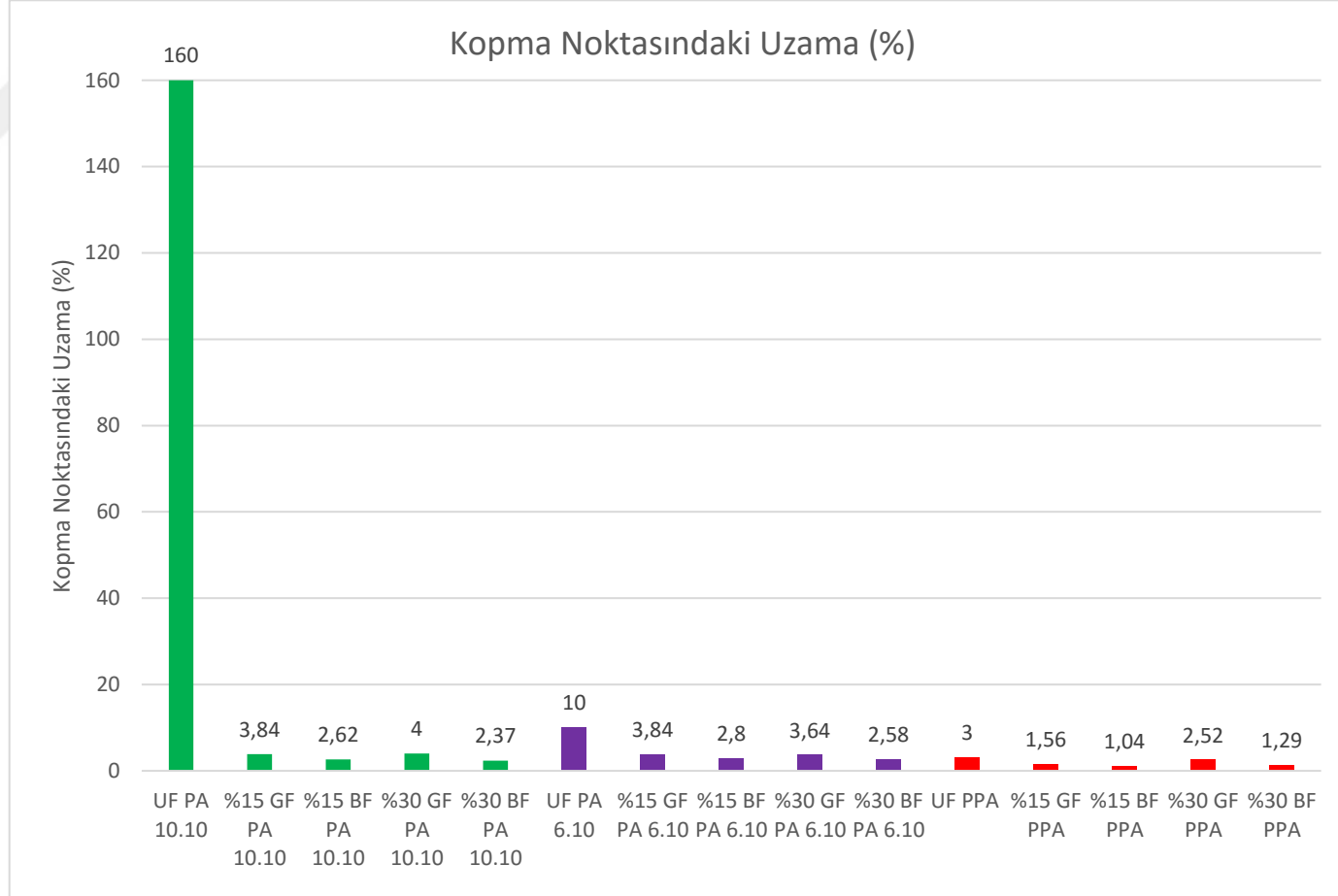
Çizelge 6.2: Çekme dayanım sonuçlarının karşılaştırılması



Çizelge 6.3 : Çekme modül sonuçlarının karşılaştırılması



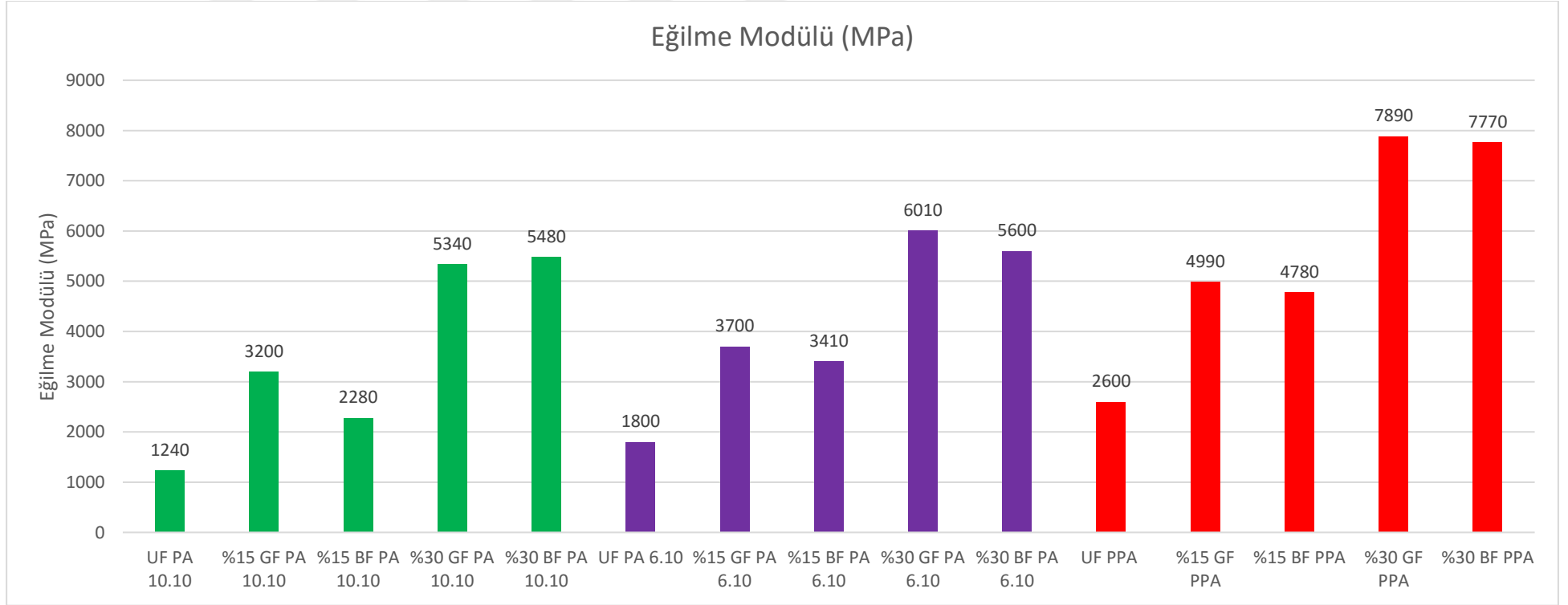
Çizelge 6.4: Kopma noktasındaki uzama sonuçlarının karşılaştırılması



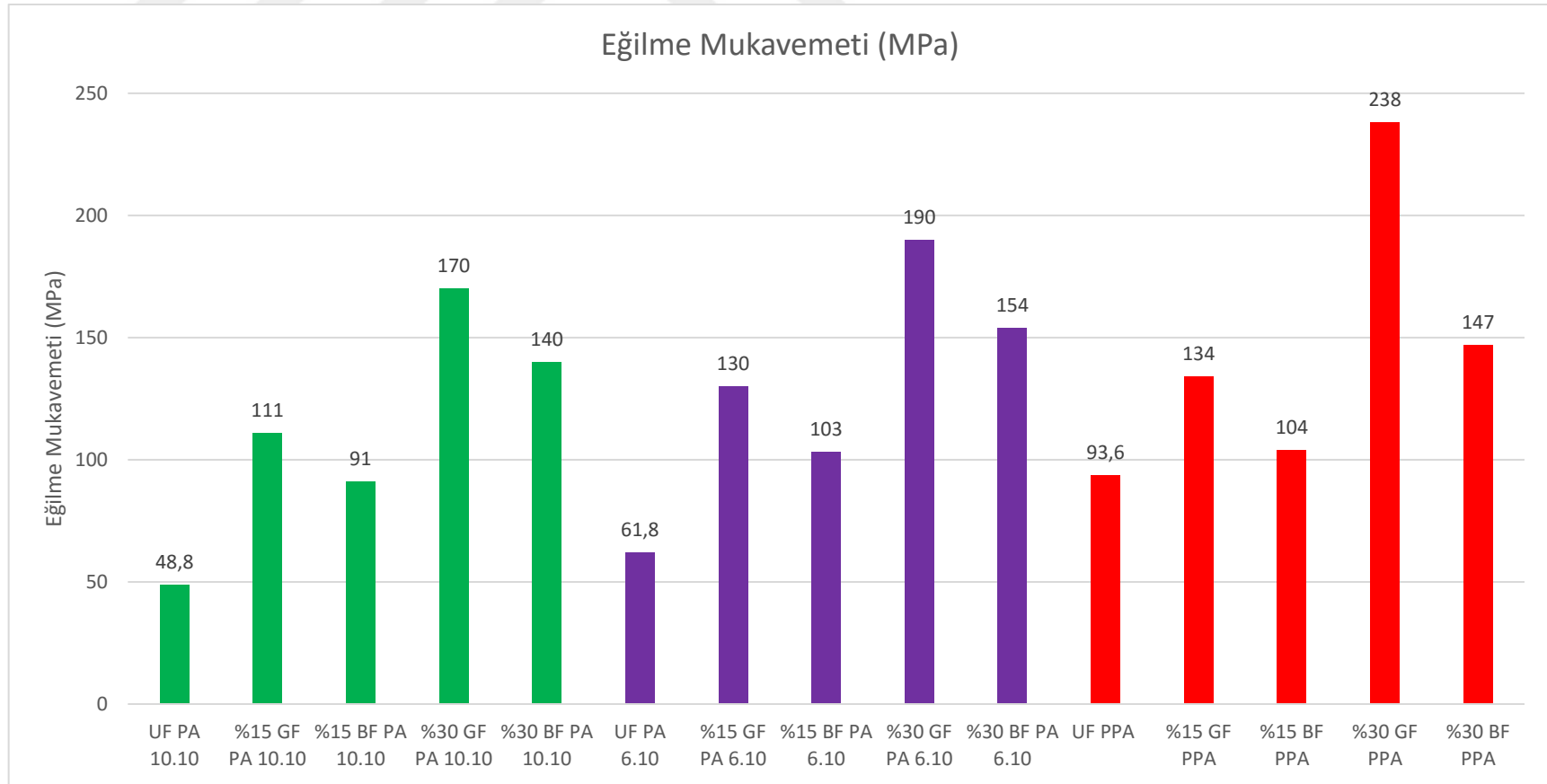
7.2.2 Eğilme test sonuçları

Eğilme test sonuçları incelendiğinde takviye oranının artması ile modül ve mukavemet değerlerinin doğru orantılı bir şekilde arttığı ve en yüksek modül, mukavemet değerlerinin PPA numunelerine ait olduğu görülmektedir. Polimer ana zincirinde bulunan aromatik halkaların zincir stabilitesini artırmasının PPA numunelerinin en yüksek değerlere sahip olmasında en önemli etkenlerden birisi olduğu düşünülmektedir. Ayrıca aynı oranlarda takviye malzemesi içeren PA 6.10 ve PA 10.10 numunelerine ait test sonuçları karşılaştırıldığında, poliamid 6.10' un daha yüksek kristalineteye sahip olması sebebiyle daha yüksek değerlere sahip olduğu görülmektedir. Takviye malzemeleri açısından değerlendirildiğinde ise üç farklı poliamid matrisinde de cam elyaf takviyeli numunelerin bazalt elyaf takviyeli numunelere göre daha yüksek boyut oranı (aspect ratio) ve iyi arafaz özellikleri sebebiyle daha yüksek değerlere sahip oldukları düşünülmektedir.

Çizelge 6.5 : Eğilme modülü sonuçlarının karşılaştırılması



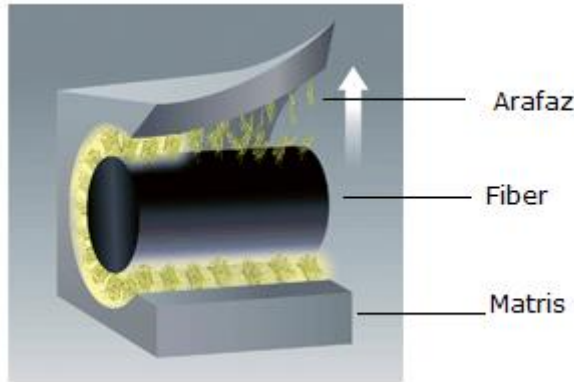
Çizelge 6.6 : Eğilme mukavemet sonuçlarının karşılaştırılması



7.2.3 Çentikli izod darbe dayanım sonuçları

Çentikli izod darbe dayanım değerleri karşılaştırıldığında takviyesiz polimer matrislerin değerleri birbirine yakın olmasına rağmen PPA en düşük darbe dayanımına 6.10' a göre daha düşük kristaliniteye sahip 10.10 ise en yüksek darbe dayanımına sahiptir.

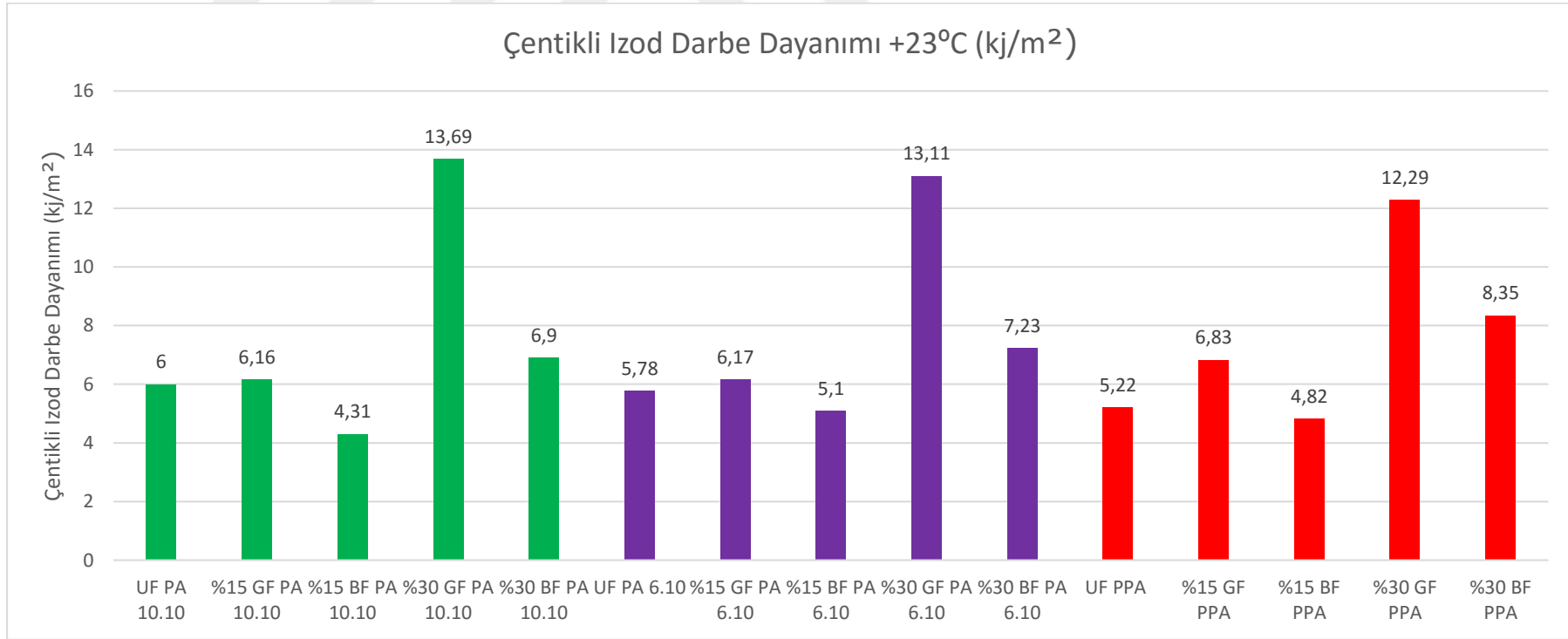
Cam elyaf ve bazalt elyaf takviyeli numunelerde de sonuçlar aynı seyirde iken aynı oranda takviye malzemesi içeren cam elyaf takviyeli malzemelerin daha yüksek darbe dayanım değerlerine sahip oldukları görülmektedir. Matris takviye malzemeleri arafaz özellikleri darbe dayanım değerlerini yakından etkileyip zayıf arafaz özelliklerine sahip malzemeler üzerine kuvvet uygulanması durumunda zayıf arafaz bölgesinden ayrılması sebebiyle düşük darbe dayanımına yol açmaktadır. Matris malzemesi üzerine gelen gerilimi elyafa aktaramadığından bu bölgeden kopma ve düşük darbe dayanımı gözlemlenmektedir.



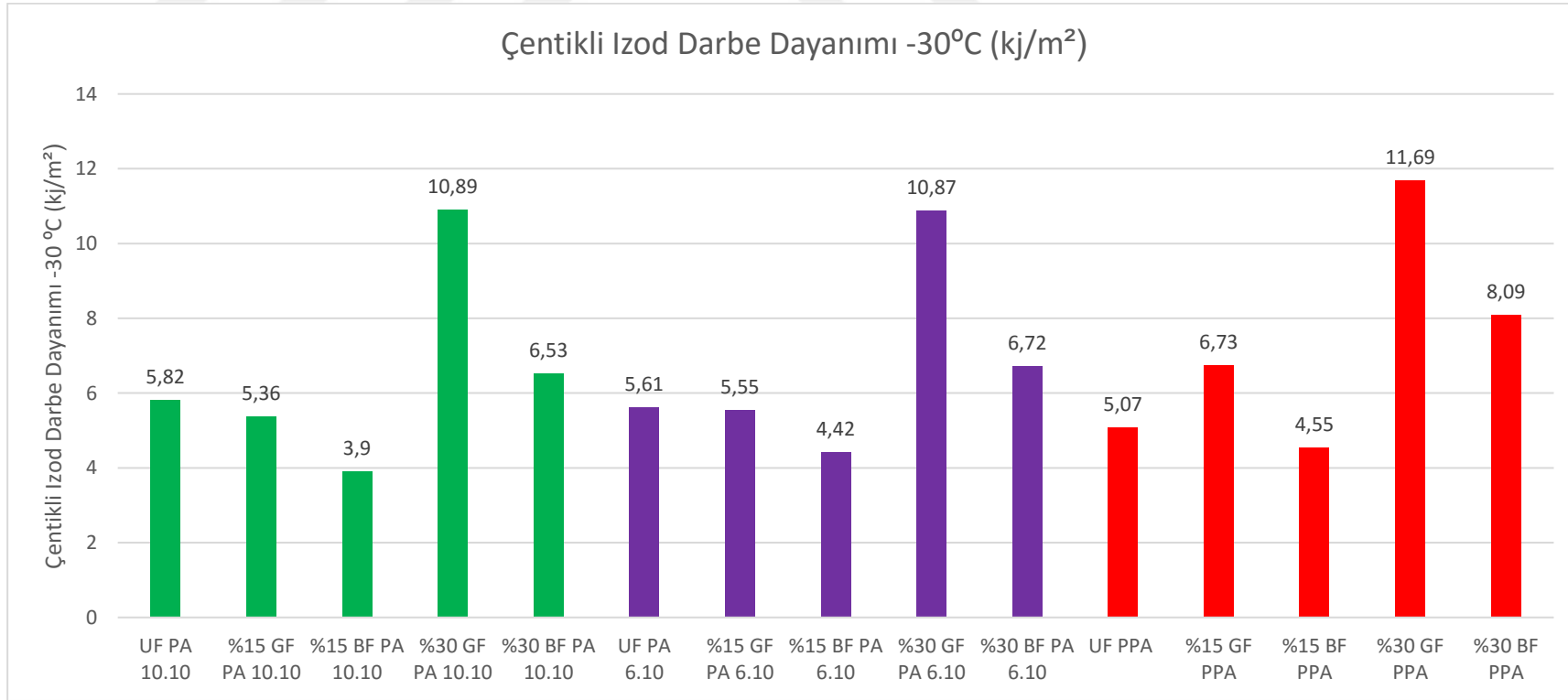
Şekil 6.1 Elyaf takviyeli kompozit malzeme yapısının şematik gösterimi [16]

Aynı şekilde darbe dayanımının da elyaf oranının artmasıyla arttığı gözlemlenmektedir. Bazalt elyaf oranındaki artış ile darbe dayanımı değerindeki yükselmenin cam elyaf takviyeli numunelerdeki kadar olmamasının sebebinin elyaf matris arası zayıf arafaz özelliklerinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Çizelge 6.7 : Çentikli izod darbe dayanım sonuçlarının (+23° C) karşılaştırılması



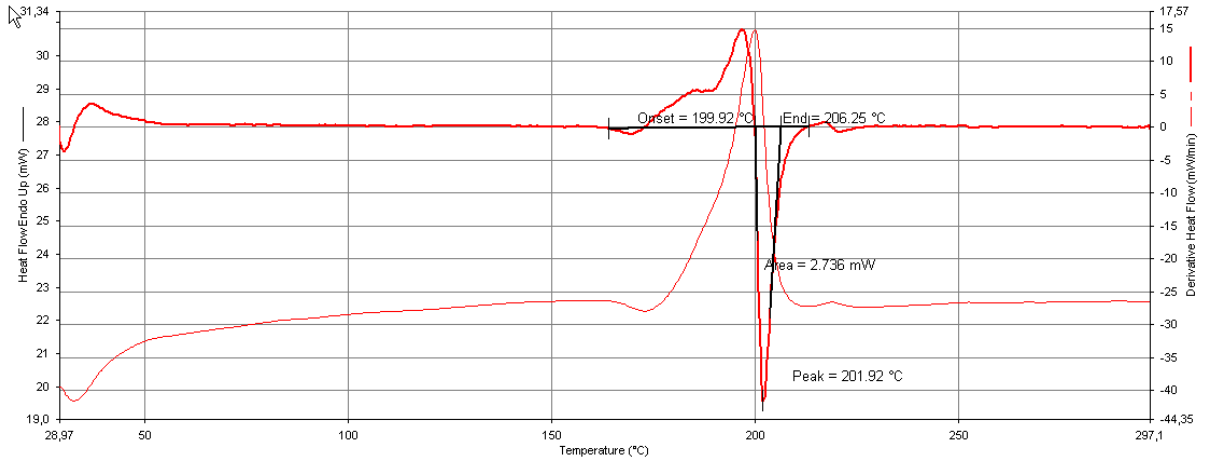
Çizelge 6.8: Çentikli izod darbe dayanım sonuçlarının (-30 °C) karşılaştırılması



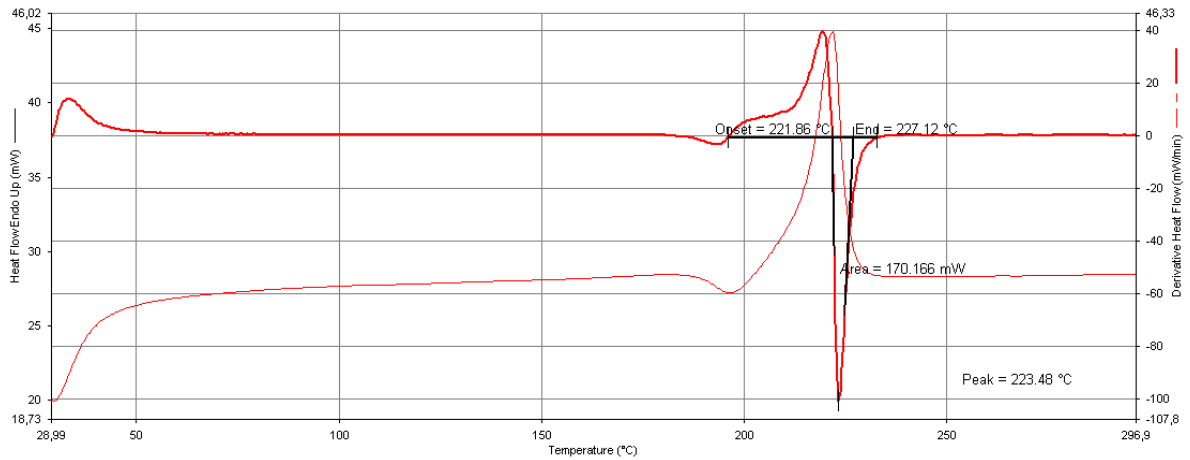
7.3 Termal Test Sonuçları

7.3.1 Diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) analizi

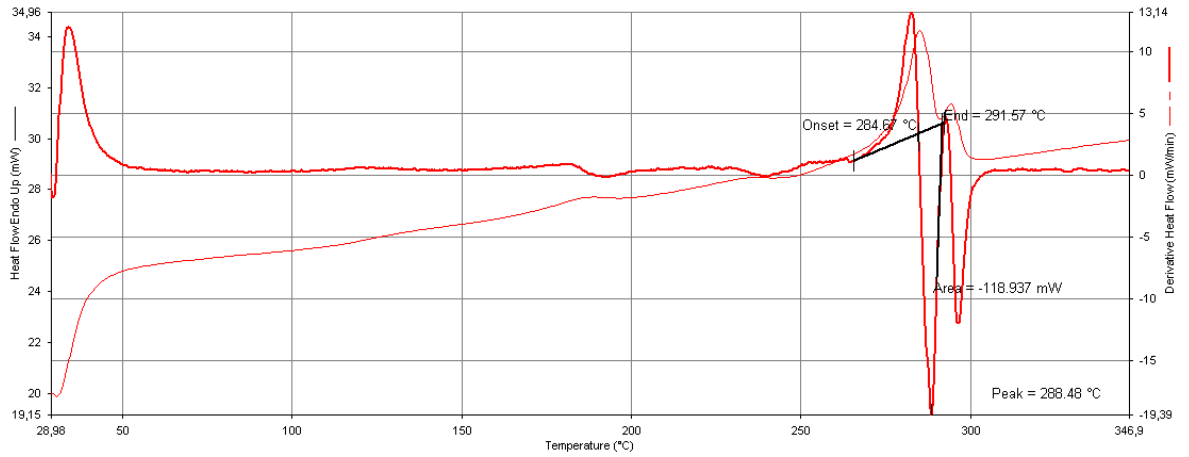
Farklı biyo poliamid matrislerin DSC sonuçları incelendiğinde uzun zincir yapılı poliamidlerden birisi olarak nitelendirilen ve yüksek metilen amid oranı sebebiyle poliamid 6.10' a göre daha düşük zincirler arası hidrojen bağı etkileşimine sahip poliamid 10.10' un en düşük erime sıcaklığına sahip oldukları görülmektedir. Zincirler arası güçlü hidrojen bağı etkileşiminden ziyade polimer ana zincirindeki para pozisyonunda ki benzen halkası polimer zincir kararlılığını artırması sebebiyle PPA en yüksek erime sıcaklığına sahiptir.



Şekil 6.2 Poliamid 10.10 DSC grafiği



Şekil 6.3 Poliamid 6.10 DSC grafiği

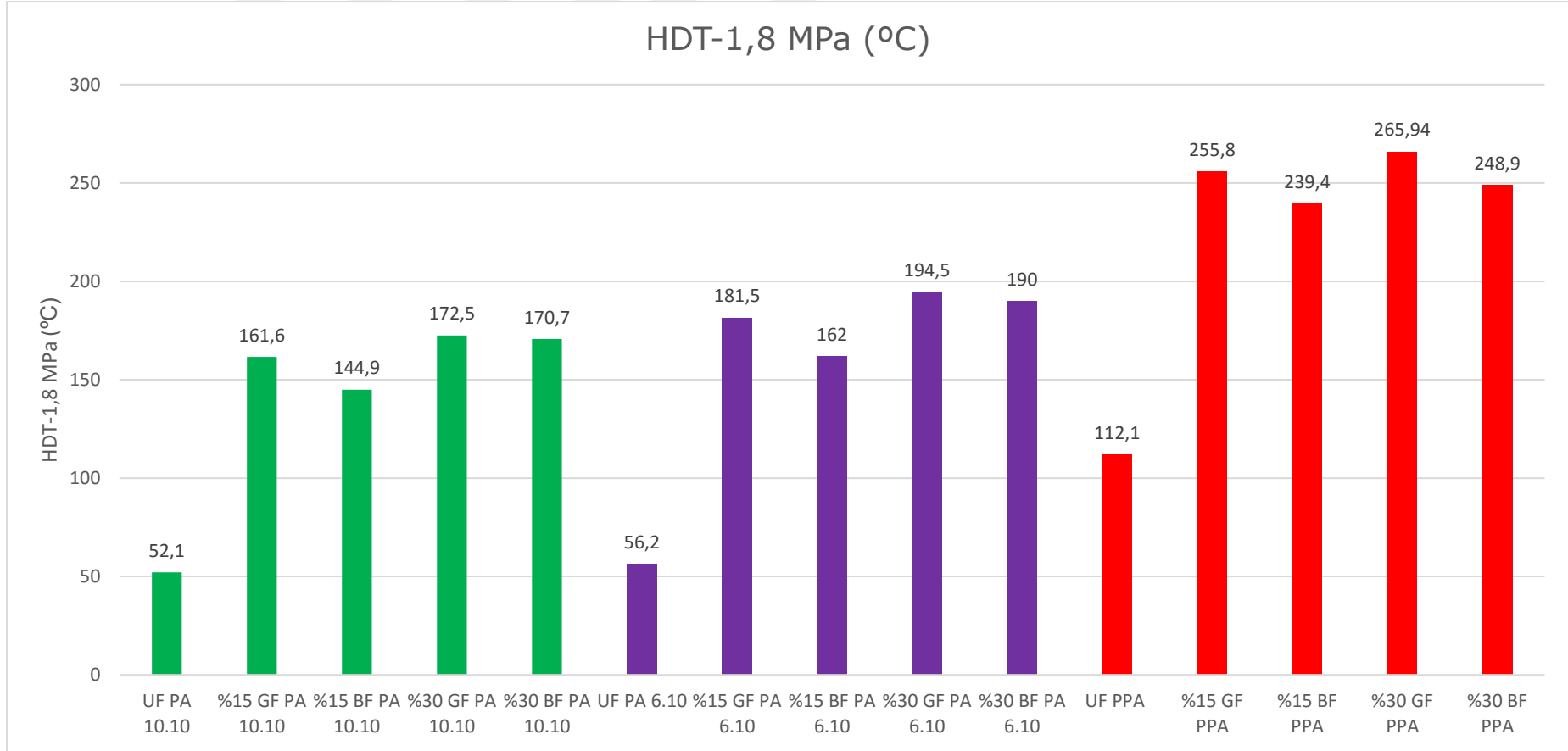


Şekil 6.4 PPA DSC grafiği

7.3.2 Isı ile (Sabit Yük Altında) deformasyon sıcaklığı (HDT) sonuçları

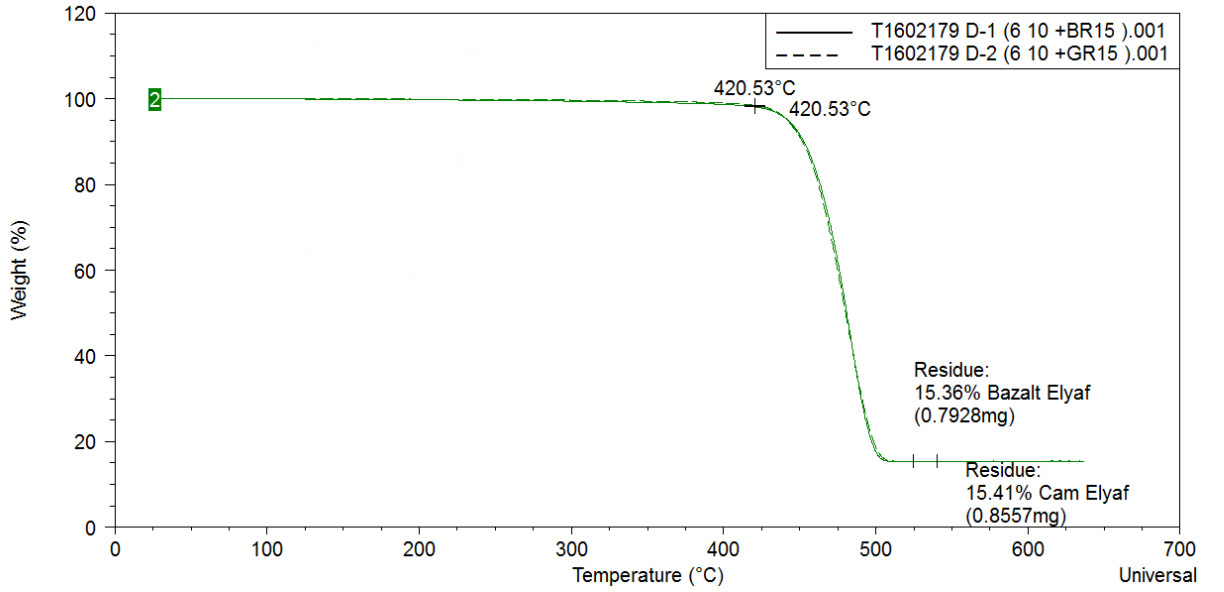
Farklı matrisler içerisinde farklı oranlarda elyaf takviye malzemesi içeren numunelere ait HDT sonuçlarına göre 1,8 MPa sabit yük altında, takviyesiz ve aynı oranda elyaf içeren numunelere ait sonuçlar karşılaştırıldığında PPA'ya ait numunelerin en yüksek değere sahip oldukları görülmüştür. PPA'nın yarı aromatik yapısı ve zincir kararlılığı, en yüksek erime sıcaklığına ve ısıl dayanıma sahip olmasında ki en önemli etkenlerden biridir. Poliamid 6.10 ve poliamid 10.10 karşılaştırıldığında ise poliamid 6.10'un daha düşük metilen/amid oranı ve yüksek zincirler arası etkileşime sahip olması sebebiyle daha yüksek ısıl dayanım ve HDT sonuçlarına sahiptir. Ayrıca tüm poliamid matrisler içerisinde elyaf oranının artması ile birlikte malzemenin eğilme dayanımının artması sebebiyle daha yüksek HDT sıcaklık değerlerine sahip oldukları görülmüştür. Aynı matris ve takviye oranına sahip cam elyaf ve bazalt elyaf takviyeli numune sonuçları karşılaştırıldığında ise cam elyaf takviyeli malzemelerin daha iyi arafaz özelliklerine sahip olmaları sebebiyle daha yüksek HDT değerlerine sahip oldukları görülmüştür.

Çizelge 6.9: Çentikli izod darbe dayanım sonuçlarının (-30 °C) karşılaştırılması

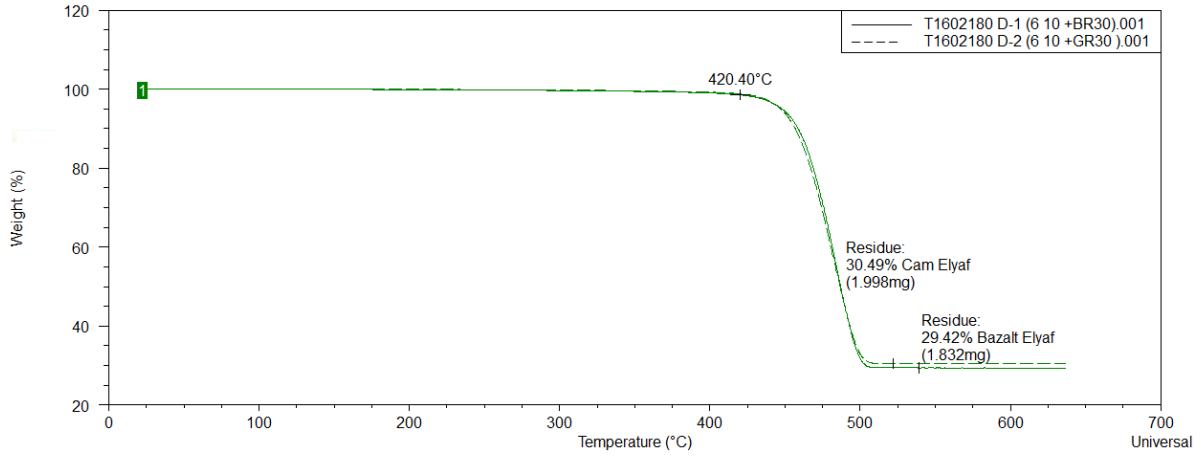


7.3.3 Termogravimetrik analiz (TGA) sonuçları

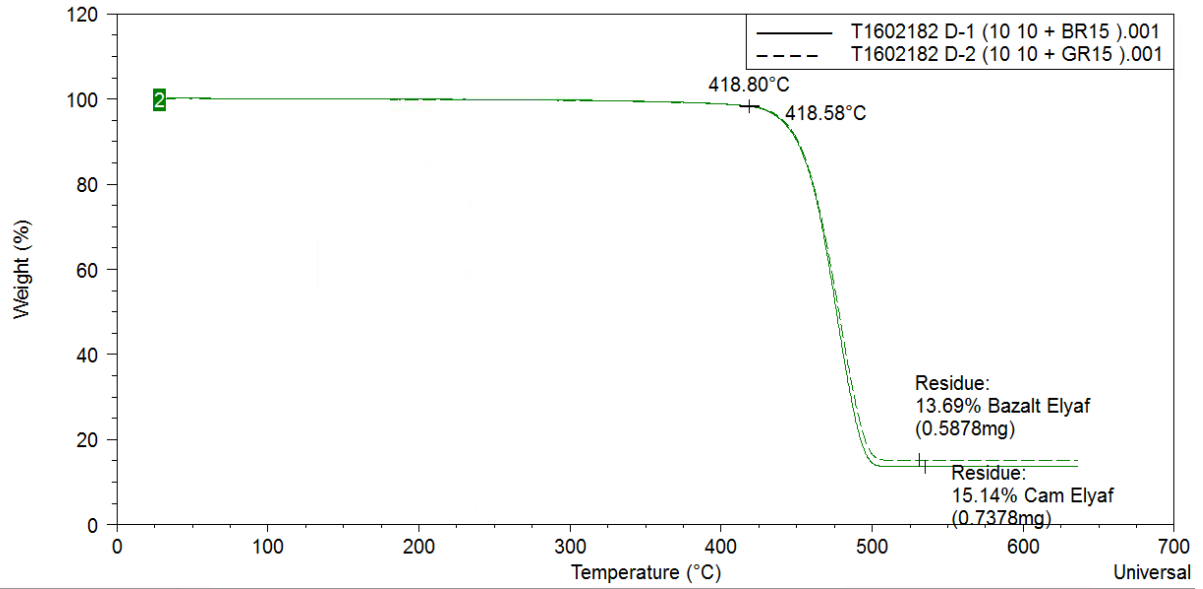
TGA sonuçları incelendiğinde yüksek termal kararlılığı yarı aromatik PPA numunelerinin en yüksek degradasyon sıcaklığına sahip oldukları belirlenmiştir.. Yakın degradasyon sıcaklıklarına sahip poliamid 6.10 ve poliamid 10.10 numuneleri karşılaştırıldıklarında ise zincirler arası daha yüksek oranda hidrojen bağı etkileşimi bulunan poliamid 6.10' un nispeten daha yüksek degradasyon sıcaklığına sahiptir. Aynı poliamid matris içerisindeki bazalt elyaf ve cam elyaf takviyeli numunelerin degradasyon sıcaklıkları karşılaştırıldığında ise belirleyici faktörün matris malzemesinin ısı dayanımı olması sebebiyle aynı değerlere sahip olduğu ve elyaf türünün bu değeri değiştirmediği görülmüştür. Ayrıca otomatik besleme sistemine sahip ekstruder hattında hazırlanan numunelerin sahip olduğu takviye malzeme oranlarının doğruluğu yapılan TGA testlerindeki kalıntı oranlarıyla doğrulanmıştır.



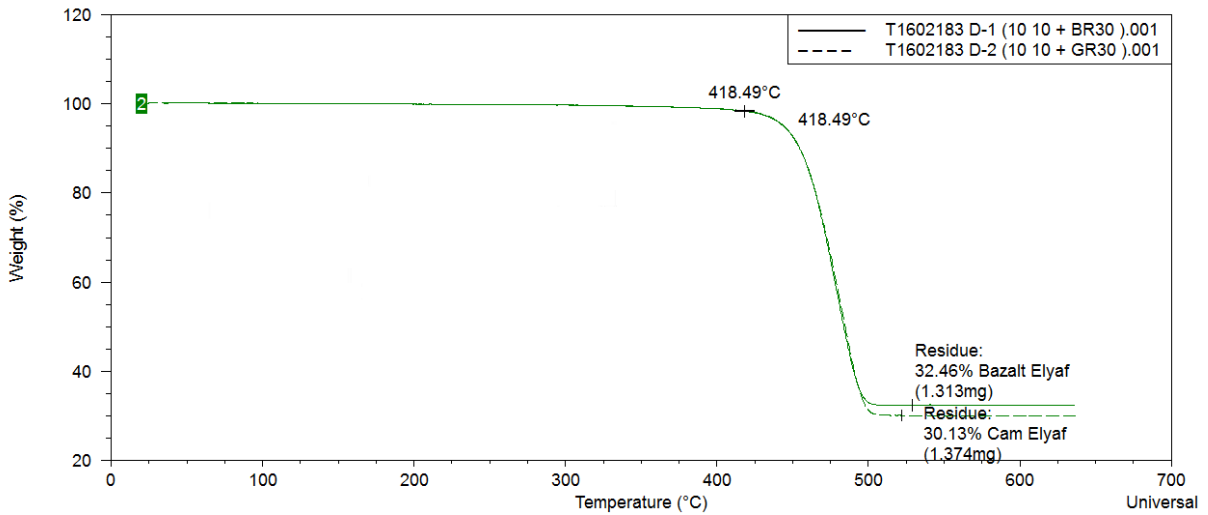
Şekil 6.5 PA 6.10+BR15 VE PA 6.10+GR15 numunelerine ait TGA grafikleri



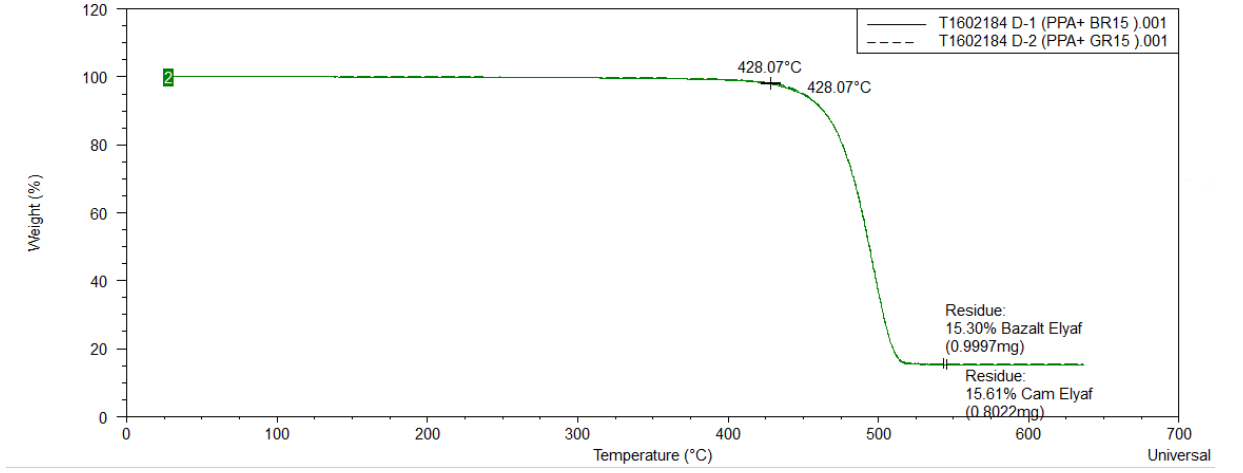
Şekil 6.6 PA 6.10+BR30 ve PA 6.10+GR30 numunelerine ait TGA grafikleri



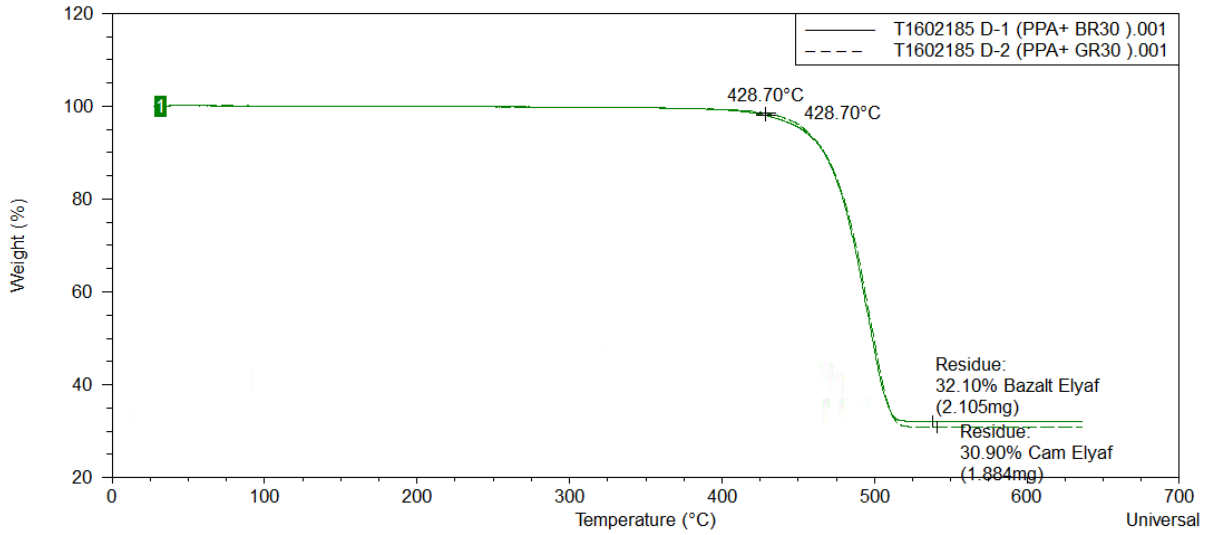
Şekil 6.7 PA 10.10+BR15 ve PA 10.10+GR15 numunelerine ait TGA grafikleri



Şekil 6.8 PA 10.10+BR30 ve PA 10.10+GR30 numunelerine ait TGA grafikleri



Şekil 6.9 PPA+BR15 ve PPA+GR15 numunelerine ait TGA grafikleri



Şekil 6.10 PPA+BR30 ve PPA+GR30 numunelerine ait TGA grafikleri



KAYNAKLAR

- [1] **Deak T., Cziganý T., Tamas P., Nemeth C., 2010:** Enhancement of interfacial properties of basalt fiber reinforced nylon 6 matrix composites with silane coupling agents , Budapest University of Technology, Budapest
- [2] **Kızıtaş A., Ellen C., 2013:** Sustainable composites based on polyamides and cellulose fibers, Materials Research and Advanced Engineering, Ford Motor Company, Dearborn, Michigan 48121, USA
- [3] **Mıstık İ., Merdan N., 2012:** Dokuma bazalt-cam ve fındık kabuğu takviyeli polimer kompozitlerinin eğilme dayanımı ve ısı geçirgenliklerinin incelenmesi, İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, Yıl: 10 Sayı: 20 Güz 201 s.119-126
- [4] **Kuciel S., Kuzniar P., Liber-Kınec A., 2012:** Polyamides from renewable sources as matrices of short fiber reinforced biocomposites, Institute for Materials Engineering, Cracow University of Technology, POLIMERY 2012, 57, nr 9
- [5] **Zhang Y., Yu C., Chu P. K., Lv F., Zhang C., Ji J., Zhang R., Whang H., 2012:** Mechanical and thermal properties of basalt fiber reinforced poly(butylene succinate) composites, Materials Chemistry and Physics 133 (2012) 845– 849
- [6] **Cziganý T., Vad J., Pölöskei K., 2012:** Mechanical and thermal properties of basalt fiber reinforced poly(butylene succinate) composites, Materials Chemistry and Physics 133 (2012) 845– 849
- [7] **Kovacs J. G., Cziganý T., Tabi T., 2013:** Basalt fiber reinforced poly(lactic acid) composites for engineering applications, Department of Polymer Engineering, Faculty of Mechanical Engineering, Budapest University of Technology and Economics, Budapest
- [8] **Saçak, M, 2005:** Polimer Teknolojisi, Polimer Kompozitlerin Sınıflandırılması, Gazi Kitabevi, Ankara

- [9] **Kalpakjian S., Steven R Schmid., 2001:** Manufacturing Engineering and Technology, International edition. 4th Ed. Prentice Hall, Inc.. ISBN 0-13-017440-8.
- [10] **Kaşgöz, A., 2012:** Karbon Dolgulu Siklo-Olefin Kopolimer (Coc) Kompozitlerinin Reolojik Davranışlarının İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Üniversitesi, İstanbul
- [11] **Quiang L., Montgomery S., Parnas R., 2007:** Basalt Fiber Reinforced Polymer Composites
- [12] **Başbudak, M., 2003:** “Termoset Plastikler”, İstanbul, Maya Basımevi
- [13] **Saçak, M, 2005:** Polimer Teknolojisi, Polimer Kompozitlerin Üretimi, Gazi Kitabevi, Ankara
- [14] **Turgut T., Kayran A., Alemdaroğlu N., Ceylan M., 2007:** Vakum Yöntemi ile Kompozit Malzemeden Yapı Üretimi Örnek bir Havacılık Uygulaması, Mühendis ve Makina Cilt:48, Sayı: 566
- [15] **MEGEP., 2007.,** Plastik Teknolojisi, Sıkıştırma Kalıpları – 1, ANKARA
- [16] **Lörcher S, Winckler T., Makyla K., 2014:** Mechanical unfolding of a fluorescent protein enables self-reporting of damage in carbon-fibre-reinforced composites, J. Mater. Chem. A, 2014,2, 6231-6237
- [17] **Cam Elyaf San. A.Ş., CTP Teknolojisi**
- Murray A. D., 2007:** Basalt Fibers For High-Performance Composites
- Lafranche E., Krawczak P., Ciolczyk J. P., Maugey J., 2007:** Injection molding of long glass fiber reinforced reinforced polyamide 6.6: guidelines to improve flexural properties, eXPRESS Polymer Letters Vol.1, No.7 (2007) 456–466

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Uğur ULUSOY

Doğum Yeri ve Tarihi: Samsun, 1989

Adres: İsmetpaşa Mah. Girne Cad. No:107/7 Merkez-YALOVA

E-Posta: ugurulusoy@gmail.com

Lisans: Polimer Mühendisliği, Yalova Üniversitesi

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR/SUNUMLAR

- Ulusoy U., Kaya M. A., 2016, Basalt Fiber Reinforced Bio-based Polyamide Composite Materials for Engineering Applications. 1st International Conference on Engineering Technology and Applied Sciences, April 21-22, 2016, Afyonkarahisar, Turkey.
- Ulusoy U., Kaya M. A., 2016, Comparative Investigation of Properties of Microcellular Structural Foams and Solid Counter Parts for Production of Automobile Seatback Boards. 1st International Conference on Engineering Technology and Applied Sciences, April 21-22, 2016, Afyonkarahisar, Turkey.