



**T.C.
AKSARAY ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**CAM ELYAF KATKISININ GERİ DÖNÜŞTÜRÜLMÜŞ POLYAMİD 6.6
PLASTİĞİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN DENEYSEL
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Berkay YALDIZ

DANIŞMAN

Prof. Dr. Necmettin ŞAHİN

AKSARAY, 2018



**T.C.
AKSARAY ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**CAM ELYAF KATKISININ GERİ DÖNÜŞTÜRÜLMÜŞ POLYAMİD 6.6
PLASTİĞİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN DENEYSEL
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Berkay YALDIZ

DANIŞMAN

Prof. Dr. Necmettin ŞAHİN

AKSARAY, 2018

AKSARAY ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ONAY BELGESİ

Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 152304414 numaralı Yüksek Lisans öğrencisi, "Berkay YALDIZ", ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "CAM ELYAF KATKISININ GERİ DÖNÜŞTÜRÜLMÜŞ POLYAMİD 6.6 PLASTİĞİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN DENEYSEL İNCELENMESİ" başlıklı tezini, aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Necmettin ŞAHİN**
Aksaray Üniversitesi



Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Mustafa BAYRAK**
Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi



Jüri Üyeleri : **Yrd. Doç. Dr. Fazliye KARABÖRK**
Aksaray Üniversitesi



Teslim Tarihi: 06 Aralık 2017

Savunma Tarihi: 05 Ocak 2018

ÖNSÖZ

Günümüz dünyasında ileri teknolojinin bir ürünü olarak kompozit malzemeler insan yaşamında önemli bir yere sahiptir. Plastik sektöründe geniş bir kullanım alanına sahip olan polyamid 6.6 malzemesinden oluşturulan cam elyaf katkılı kompozitler üstün mekanik özellikleri sayesinde çok fazla tercih edilmektedir. Doğal kaynakların tükenme noktasına geldiği ve geri kazanımın insanlar için hayati bir öneme sahip olduğu şu dönemde plastiklerin geri dönüştürülerek kullanılması da hem kaynakların korunması hem de üretim sektöründeki maliyetin ciddi oranda düşürülmesi açısından önemli bir yere sahiptir. Bu çalışmada polyamid 6.6 plastiğinin geri dönüşüm işlemi sonucundaki mekanik davranışları incelenmiştir. Geri dönüşüm işlemiyle azalan mekanik özelliklerini malzemeye geri kazandırabilmek adına malzemeye ilave edilen cam elyafla birlikte oluşturulan kompozitlerin mekanik özellikleri incelenerek karşılaştırmalar yapılmış ve cam elyafın her bir malzeme grubu üzerindeki olumlu ve olumsuz etkileri gözlemlenmiştir. Bu çalışma ile farklı sayılarda geri dönüşüm işlemine maruz kalmış polyamid 6.6 malzemelerin aynı oranlarda cam elyaf takviyesiyle güçlendirilmesi ve mekanik özelliklerindeki değişimin hangi oranlarda gerçekleştiği anlatılmaktadır.

DOĞRULUK BEYANI

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum bu çalışmayı, bilimsel etik, ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yol ve yardıma başvurmaksızın yazdığımı, yararlandığım eserlerin kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu ve bu eserleri her kullanışında alıntı yaparak yararlandığımı belirtir; bunu şerefimle doğrularım.

Enstitü tarafından belli bir zamana bağlı olmaksızın, tezimle ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara katlanacağımı bildiririm.

Berkay YALDIZ



TEŞEKKÜR

Tez süresince yardımlarını esirgemeyen ve bana her konuda destek olan hocam Prof. Dr. Necmettin ŞAHİN'e, tezimin uygulama aşamasında benim için bütün imkanlarını seferber eden ve hayatım boyunca desteğini benden esirgemeyen Nurlu Makine firması genel müdürü amcam Salim YALDIZ'a, hem malzemelerin üretimi hem de deney aşamasında yardımlarını esirgemeyen ve tecrübelerinden faydalanmamı sağlayan Yavuz TUGYAN'a ve Murat DAĞDELEN'e teşekkür ederim.

Ayrıca beni yetiştiren ve bugünlere gelmemde maddi manevi desteğini esirgemeyen annem Funda YALDIZ'a, babam Hüseyin YALDIZ'a, ağabeyim Ziya YALDIZ'a, kardeşim Yağız Can YALDIZ'a ve yol arkadaşım Zeynep AYBAKAN'a teşekkür ederim.

Berkay YALDIZ

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖNSÖZ	i
DOĞRULUK BEYANI	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ÖZET	vi
ABSTRACT	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
SİMGELER DİZİNİ	xi
KISALTMALAR DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ ...	1
1.1 Plastik Malzemeler	1
1.1.1 Elastomerler	4
1.1.2 Termosetler	4
1.1.2.1 Epoksi reçineler	5
1.1.2.2 Üre formaldehitler	5
1.1.2.3 Melamin formaldehitler	5
1.1.2.4 Fenol formaldehitler	5
1.1.2.5 Doymamış polyesterler	6
1.1.3 Termoplastikler	6
1.1.3.1 Polietilen (PE)	8
1.1.3.2 Polistiren (PS)	8
1.1.3.3 Polivinil klorür (PVC)	9
1.1.3.4 Polikarbonat (PC)	10
1.1.3.5 Polipropilen (PP)	10
1.1.3.6 Akrilonitril bütadien stiren (ABS)	11
1.2 Polyamidler (PA)	11
1.2.1 Polyamid 6 (PA 6)	14
1.2.2 Polyamid 6.6 (PA 6.6)	16
1.3 Kompozit Malzemeler	19
1.3.1 Kompozit malzemelerin sınıflandırılması	22
1.3.2 Kompozitlerin kullanım alanları	23
1.3.3 Elyaf takviyeli kompozit malzemelerin üretim yöntemleri	24
1.3.3.1 Elle kalıplama yöntemi	25
1.3.3.2 Püskürtme yöntemi	26
1.3.3.3 Profil çekme yöntemi	27
1.3.3.4 Elyaf sarma yöntemi	28
1.3.3.5 Reçine enjeksiyon kalıplama yöntemi	29
1.3.3.6 Plastik enjeksiyon kalıplama yöntemi	29
1.3.4 Kompozitlerde kullanılan takviye edici malzemeler	30
1.3.4.1 Cam elyaf	31
1.3.4.2 Bor elyaf	33
1.3.4.3 Karbon elyaf	34

1.3.4.4 Aramid elyaf	34
1.4 Plastik Enjeksiyon Kalıplama Yöntemi	35
1.4.1 Plastik enjeksiyon işleminin safhaları ve çevrim süreleri	37
1.4.1.1 Doldurma zamanı	40
1.4.1.2 Ütuleme zamanı	40
1.4.1.3 Tutma zamanı	40
1.4.1.4 Soğutma zamanı	40
1.4.1.5 Kalıp açma, ürün alma ve kalıp kapatma zamanı	40
1.4.2 Plastik enjeksiyon kalıbı	40
1.4.2.1 Erkek kısım	41
1.4.2.2 Dişi kısım	42
1.4.2.3 Soğuma sistemi	42
1.4.2.4 Yolluk	43
1.4.2.5 İtici sistem ve pimler	43
1.4.3 Plastik enjeksiyon kalıbı tasarım ilkeleri	43
1.5 Plastik Geri Dönüşümü	47
1.5.1 Plastik geri dönüşümün önemi	47
1.5.2 Plastik geri dönüşüm makinelerinde üretim	48
1.5.2.1 Plastiklerin kesimi ve kırılması	49
1.5.2.2 Yıkama ve kurutma işlemi	50
1.5.2.3 Granül ekstruderleri	51
2. LİTERATÜR ÖZETİ	53
3. MALZEME VE YÖNTEM	64
3.1 Kullanılan Yöntem	64
3.2 Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri	65
3.3 Kompound Üretim Aşaması	66
3.3.1 Karıştırıcı (Mikser)	67
3.3.2 Besleme silosu	68
3.3.3 Cam elyaf takviye silosu	69
3.3.4 Soğutma havuzu	70
3.3.5 Vakum pompası ve soğutma ünitesi	72
3.3.6 Kurutma ve kesme	73
3.3.7 Fırınlama aşaması	74
3.4 Geri Dönüşüm Aşaması	74
3.5 Enjeksiyon Aşaması	75
3.6 Deney Aşaması	79
3.6.1 Kül testi	80
3.6.2 Çekme testi	82
3.6.3 Darbe testi	85
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	88
4.1 Kül Testi Sonuçları	88
4.2 Mekanik Testlerin Sonuçları	90
4.2.1 Geri dönüşümün mekanik özelliklere etkisinin incelenmesi	90
4.2.2 Cam elyaf katkısının mekanik özelliklere etkisinin incelenmesi	98
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	105
KAYNAKLAR	109
ÖZGEÇMİŞ	113

ÖZET

CAM ELYAF KATKISININ GERİ DÖNÜŞTÜRÜLMÜŞ POLYAMİD 6.6 PLASTİĞİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN DENEYSEL İNCELENMESİ

Bu çalışma; geri dönüştürülmüş polyamid 6.6 malzemenin mekanik özellikleri üzerinde cam elyafın etkilerini deneysel olarak incelemek amacıyla yapılmıştır. Kompozit malzemeleri oluştururken matris malzeme olarak polyamid 6.6 plastiği, katkı malzemesi olarak da E tipi cam elyafı kullanılmıştır. Cam elyaf katkı oranları %7,5, %15, %22,5 ve %30 olarak belirlenmiştir. Kompozit ham madde üretimi için soğuk kesim granül yöntemi, deney numunelerinin üretimi için plastik enjeksiyon yöntemi ve deneysel çalışma için de çekme ve darbe deneyleri seçilmiştir. Çalışmada uygulanan geri dönüşüm işlemi, plastik enjeksiyonda üretilen malzemelerin kırma makinesinde kırılması ve bu kırılan malzemelerden tekrar granül ham madde üretilmesini kapsamaktadır. Malzemeler üç kez geri dönüşüm işlemine tabi tutulmuştur. İşlem görmemiş, bir kez geri dönüştürülmüş, iki kez geri dönüştürülmüş ve üç kez geri dönüştürülmüş malzemeler olmak üzere dört farklı malzeme grubu oluşturulmuştur. Oluşturulan bu dört farklı malzeme grubuna dört farklı oranda elyaf takviyesi yapılarak yirmi farklı numune oluşturulmuştur. Nurlu Makine firmasında bulunan plastik enjeksiyon makinesinde üretilen ve yine aynı firmanın laboratuvarında gerçekleştirilen deneylerde yirmi farklı numuneye çekme ve darbe testleri uygulanmıştır. Deneysel çalışmanın sonuçlarına göre cam elyafın her bir malzeme grubu üzerindeki olumlu etkileri gözlemlenmiş ve bu etkiler her bir grubun orijinal malzemesinin sonuçları referans alınarak yüzdesel olarak analiz edilmiştir. Bu analiz sonucunda her bir malzeme grubu için en verimli katkı oranı belirlenerek cam elyaf katkısının; malzemenin, çekme dayanımı, darbe dayanımı ve kopma uzaması üzerindeki etkileri ortaya konulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Polyamid 6.6, Cam Elyaf, Kompozitler, Termoplastikler, Geri Dönüşüm

ABSTRACT

THE EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF EFFECTS OF GLASS-FIBRE REINFORCING ON MECHANICAL PROPERTIES OF RECYCLED POLYAMID 6.6 PLASTIC

This study was prepared for experimental research effects of glass-fibre on mechanical properties of recycled polyamid 6.6. On forming of composite materials, polyamid 6.6 plastic was used as matrix material, type E glass-fibre was used as reinforcing material. Contents of glass-fibre are determined as %7,5, %15, %22,5 and %30. Granul method was chosen for production of composite raw material, plastic injection method was chosen for production of experiment samples and tension and impact experiments were chosen for experimental research. Recycling operation applied on this research contains to break materials produced on plastic injection and to produce granül raw material from materials which were broken again. Materials were recycled three times. Four different material groups were created; raw material, recycled only one time, recycled two times, recycled three times. Glass fiber reinforcing was applied to these four different groups as four different contents and twenty samples were generated. Twenty samples were produced on plastic injection machines in Nurlu Makine firm and tension and impact tests were applied to 20 different samples on experiments which performed in laboratories of same firm. According to the experimental study, positive effects of glass fibres on all of material groups were observed and these effects were analysed percentally based on results of each original material groups. On this analysis result, the most effective contents were determined for each material group and effects of glass fiber reinforcing on tensile strength, impact strength and strain failure of material were presented.

Keywords: Polyamid 6.6, Glass Fiber, Composites, Thermoplastics, Recycling

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1: Plastik malzemelerdeki bağ çeşitleri.	3
Şekil 1.2: Plastiklerin sınıflandırılması.	4
Şekil 1.3: Termoplastik malzemelerin zincir yapıları.	8
Şekil 1.4: Polyamid malzemeden üretilmiş dişli çarklar.	12
Şekil 1.5: Polyamid polimerinin kimyasal yapısı.	13
Şekil 1.6: Polyamid 6.6 polimerizasyon reaksiyonu.	16
Şekil 1.7: Plastik ham madde kurutma fırını.	18
Şekil 1.8: Kauçuk ve yün kumaştan oluşturulmuş kompozit malzeme.	20
Şekil 1.9: Kompozitlerle bazı malzemelerin karşılaştırılması.	22
Şekil 1.10: Kompozit malzemelerin sınıflandırılması.	22
Şekil 1.11: Polimerik kompozit malzemeden üretilmiş bir otomobil parçası.	24
Şekil 1.12: Elle kalıplama yöntemi.	26
Şekil 1.13: Püskürtme ile kalıplama yöntemi.	27
Şekil 1.14: Profil çekme yöntemi imalat şeması.	28
Şekil 1.15: Elyaf sarma yöntemi.	28
Şekil 1.16: Reçine enjeksiyon yöntemi imalat şeması.	29
Şekil 1.17: Plastik enjeksiyon makinesi.	30
Şekil 1.18: Cam elyafı.	32
Şekil 1.19: F-16 savaş uçağı.	34
Şekil 1.20: Aramid elyaftan üretilmiş bir kurşun geçirmez yelek.	35
Şekil 1.21: Plastik enjeksiyon makinesinin kısımları.	36
Şekil 1.22: Plastik enjeksiyon safhalarının yaklaşık süreleri.	38
Şekil 1.23: Plastik enjeksiyon işleminin safhaları.	39
Şekil 1.24: Plastik enjeksiyon makinesi parametre giriş ekranı.	39
Şekil 1.25: Plastik enjeksiyon kalıbı elemanları.	41
Şekil 1.26: Plastik enjeksiyon kalıbı soğutma sistemi.	42
Şekil 1.27: Yolluk girişi tasarımındaki temel ölçüler.	45
Şekil 1.28: Solidworks’de tasarlanmış bir kalıp seti.	46
Şekil 1.29: Kayma gerilmesi analiz sonuçları.	47
Şekil 1.30: Geri dönüşüm hattı akış şeması.	49
Şekil 1.31: Plastik hammaddeler.	49
Şekil 1.32: Plastik kırma makinesi.	50
Şekil 1.33: Yıkama ve kurutma ünitesi.	51
Şekil 1.34: Soğuk kesim granül makinesi.	52
Şekil 1.35: Sıcak kesim granül makinesi.	52
Şekil 2.1: PA 6 gerilme – uzama grafiğı.	55
Şekil 2.2: PA 6.6 gerilme – uzama grafiğı.	56
Şekil 2.3: Elyaf katkılı ve saf numunelerin dayanım grafikleri.	57
Şekil 2.4: PA, PP ve PE matrisli kompozitlerin çekme dayanımları.	61
Şekil 2.5: Elyaf ve bor oksit ilaveli kompozitlerin çekme dayanımları.	62
Şekil 2.6: Polyamid 6 malzemelerin çekme-uzama eğrileri.	63
Şekil 2.7: Polyamid 6.6 malzemelerin çekme-uzama eğrileri.	63

Şekil 3.1: Kompound hattının kısımları.	67
Şekil 3.2: Karıştırıcı (Mikser).	68
Şekil 3.3: Besleme silosu ve kurutma ünitesi.	69
Şekil 3.4: Cam elyaf takviye silosu.	70
Şekil 3.5: Ekstrüder başlığı ve soğutma havuzu.	71
Şekil 3.6: Soğutma kulesi.	71
Şekil 3.7: Vakum pompası.	72
Şekil 3.8: Soğutma ünitesi.	73
Şekil 3.9: Kesme ünitesi.	73
Şekil 3.10: Çalışmada kullanılan kurutma fırını.	74
Şekil 3.11: Çalışmada kullanılan kırma makinesi.	75
Şekil 3.12: Çalışmada kullanılan plastik enjeksiyon makinesi.	77
Şekil 3.13: Deney çubuğu kalıbı üç boyutlu çizimi.	78
Şekil 3.14: Deney çubuğu kalıbı.	78
Şekil 3.15: Çekme test numunesi ve ölçüleri.	79
Şekil 3.16: Kalıptan çıkartılmış çekme test numuneleri.	79
Şekil 3.17: Kül testi fırını.	81
Şekil 3.18: Kül testi numunesi.	82
Şekil 3.19: Çekme test cihazı.	83
Şekil 3.20: Çekme test çubuğunun cihaz üzerindeki konumu.	84
Şekil 3.21: Cam elyaf takviyeli çekme numunesinin kopma bölgesi.	85
Şekil 3.22: Darbe test numunesinin hazırlanması.	85
Şekil 3.23: Darbe test numunelerinin ölçüleri.	86
Şekil 3.24: Darbe test cihazı.	87
Şekil 3.25: Test numunesinin darbe test cihazında konumlandırılması.	87
Şekil 4.1: Geri kazanılmış katkısız malzemelerin kuvvet-uzama grafiği.	91
Şekil 4.2: Geri kazanılmış %7,5 elyaf katkılı malzemelerin kuvvet-uzama grafiği.	91
Şekil 4.3: Geri kazanılmış %15 elyaf katkılı malzemelerin kuvvet-uzama grafiği.	92
Şekil 4.4: Geri kazanılmış %22,5 elyaf katkılı malzemelerin kuvvet-uzama grafiği.	92
Şekil 4.5: Geri kazanılmış %30 elyaf katkılı malzemelerin kuvvet-uzama grafiği.	93
Şekil 4.6: Geri dönüşümün katkısız malzemelerin darbe direncine etkisi.	96
Şekil 4.7: Geri dönüşümün %7,5 elyaf katkılı malzemelerin darbe direncine etkisi.	96
Şekil 4.8: Geri dönüşümün %15 elyaf katkılı malzemelerin darbe direncine etkisi.	97
Şekil 4.9: Geri dönüşümün %22,5 elyaf katkılı malzemelerin darbe direncine etkisi.	97
Şekil 4.10: Geri dönüşümün %30 elyaf katkılı malzemelerin darbe direncine etkisi.	97
Şekil 4.11: İşlem görmemiş malzemelerin kuvvet-uzama grafikleri.	98
Şekil 4.12: Bir kez geri dönüştürülmüş malzemelerin kuvvet-uzama grafikleri.	99
Şekil 4.13: İki kez geri dönüştürülmüş malzemelerin kuvvet-uzama grafikleri.	99
Şekil 4.14: Üç kez geri dönüştürülmüş malzemelerin kuvvet-uzama grafikleri.	100
Şekil 4.15: İşlem görmemiş malzemelerin darbe testi sonuçları.	102
Şekil 4.16: Bir kez geri dönüştürülmüş malzemelerin darbe testi sonuçları.	103
Şekil 4.17: İki kez geri dönüştürülmüş malzemelerin darbe testi sonuçları.	103
Şekil 4.18: Üç kez geri dönüştürülmüş malzemelerin darbe testi sonuçları.	103

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 1.1: Polivinil klorür üreticileri.	10
Çizelge 1.2: Bazı polyamidlerin bilimsel adları ve simge ile gösterimi.	13
Çizelge 1.3: Bazı polyamid türlerinin erime sıcaklık değerleri.	15
Çizelge 1.4: Polyamid 6.6 polimerinin mekanik özellikleri.	17
Çizelge 1.5: Saf ve elyaf katkılı polyamidin mekanik özellikleri.	31
Çizelge 1.6: Bazı cam elyaf türlerinin mekanik özellikleri.	32
Çizelge 1.7: Bazı optimum enjeksiyon sıcaklıkları.	37
Çizelge 1.8: Bazı plastik malzemeler için çekme değerleri.	44
Çizelge 2.1: PP – PE malzemelerin test sonuçları.	53
Çizelge 2.2: PPCE – PE malzemelerin test sonuçları.	54
Çizelge 2.3: Polyamid 6 malzemesinin çekme testi sonuçları.	54
Çizelge 2.4: Polyamid 6.6 malzemesinin çekme testi sonuçları.	55
Çizelge 2.5: Cam elyaf oranının kompozit özelliklerine etkisi.	56
Çizelge 2.6: Geri kazanılmış PA 6.6'nın mekanik özellikleri.	58
Çizelge 2.7: Elyafın malzemelerin mekanik özelliklerine etkisi.	59
Çizelge 3.1: Test numuneleri ve özellikleri.	65
Çizelge 3.2: Akromid A3 teknik özellikleri.	66
Çizelge 3.3: Çalışmada kullanılan cam elyafın teknik özellikleri.	66
Çizelge 3.4: Kompound hattı makine ayarları.	67
Çizelge 3.5: Kırma makinesinin teknik özellikleri.	75
Çizelge 3.6: Plastik enjeksiyon makinesi teknik özellikleri.	76
Çizelge 3.7: Enjeksiyon parametreleri.	77
Çizelge 3.8: Hazne sıcaklıkları.	77
Çizelge 4.1: İşlem görmemiş malzemelerin kül testi sonuçları.	89
Çizelge 4.2: Bir kez işlem görmüş malzemelerin kül testi sonuçları.	89
Çizelge 4.3: İki kez işlem görmüş malzemelerin kül testi sonuçları.	90
Çizelge 4.4: Üç kez işlem görmüş malzemelerin kül testi sonuçları.	90
Çizelge 4.5: Katkısız numunelerin karşılaştırılması.	93
Çizelge 4.6: %7,5 cam elyaf katkılı numunelerin karşılaştırılması.	94
Çizelge 4.7: %15 cam elyaf katkılı numunelerin karşılaştırılması.	94
Çizelge 4.8: %22,5 cam elyaf katkılı numunelerin karşılaştırılması.	95
Çizelge 4.9: %30 cam elyaf katkılı numunelerin karşılaştırılması.	95
Çizelge 4.10: Bir kez geri dönüştürülmüş malzemelerin karşılaştırılması.	101
Çizelge 4.11: İki kez geri dönüştürülmüş malzemelerin karşılaştırılması.	101
Çizelge 4.12: Üç kez geri dönüştürülmüş malzemelerin karşılaştırılması.	102

SİMGELER DİZİNİ

A	Yüzey alanı
cm	Santimetre
F	Kuvvet
G	Ağırlık
gr	Gram
gr/cm³	Yoğunluk birimi
J	Joule
Kg	Kilogram
kJ/m²	Darbe dayanımı birimi
kN	Kuvvet birimi
kW	Güç birimi
Lo	İlk uzunluk
m	Metre
mm	Milimetre
mm/dak	Çekme hızı
MPa	Mega Paskal
N	Kuvvet birimi
N/mm²	Gerilme değeri
%	Yüzde
°C	Sıcaklık birimi (Santigrat Derece)
ΔL	Uzunluktaki artış miktarı
μm	Uzunluk birimi (mikrometre)
σ	Gerilme
ε	Yüzde uzama miktarı

KISALTMALAR DİZİNİ

ABS	Akrilonitril Bütadien Stiren
AY	Alçak Yoğunluklu
AYPE	Alçak Yoğunluklu Polietilen
CAD	Computer Aided Design
CET	Cam Elyaf Takviyeli
CTPA 6	Cam Elyaf Takviyeli Polyamid 6
CTPP	Cam Elyaf Takviyeli Polipropilen
GD	Geri Dönüştürülmüş
OY	Orta Yoğunluklu
PA 11	Polyamid 11
PA 12	Polyamid 12
PA 12.12	Polyamid 12.12
PA 46	Polyamid 46
PA 6	Polyamid 6
PA 6.10	Polyamid 6.10
PA 6.12	Polyamid 6.12
PA 6.6	Polyamid 6.6
PA 6.9	Polyamid 6.9
PA MXD6	Polyamid MXD6
PA TMDT	Polyamid TMDT
PA	Polyamid
PBT	Polibütilen Tereftalat
PC	Polikarbonat
PE	Polietilen
PMMA	Polimetil metakrilat
POM	Polioksimetilen
PP	Polipropilen
PPCE	Cam Elyaf Takviyeli Polipropilen
PS	Polistiren
PVC	Polivinil Klorür

SAN	Stiren Akrilik Kopolimer
YYPE	Yüksek Yoğunluklu Polietilen
YY	Yüksek Yoğunluklu



1. GİRİŞ

Günümüz dünyasında plastiklerin yaygın olarak kullanılmaya başlanmasıyla birlikte hem hammadde fiyatlarında bir artış gözlemlenmiş hem de plastik atıklarla ilgili çevresel kaygılar ortaya çıkmıştır. Bu sebeple plastik malzemelerin geri dönüştürülmesi önem kazanmıştır. Plastik enjeksiyon yöntemiyle üretilen ve ardından geri dönüşüm işlemine tabi tutularak hammadde haline getirilen malzeme tekrardan enjeksiyonla kalıplanarak üretim işlemi gerçekleştirilebilir. Fakat bu üretim işlemi sonucunda elde ettiğimiz ürünün mekanik özelliklerinin ilk ürettiğimiz ürünle aynı olması beklenemez. Enjeksiyon aşamalarının her birinin etkin şekilde uygulanması ve her bir enjeksiyon sürecinde aynı kalitede malzeme kullanılması kalıplama işleminin verimi ve elde edilen malzemenin kalitesi açısından oldukça önemlidir. Olumsuz yönde değişen mekanik özellikleri iyileştirebilmek adına plastiklere çeşitli katkı malzemeleriyle takviyeler yapılarak mekanik açıdan daha güçlü yeni kompozit malzemeler oluşturulabilmektedir. Kompozit malzemeler hafif olmaları, mekanik özelliklerinin yüksek olması ve mukavemet oranlarının iyi olması sebebiyle pek çok alanda tercih edilen bir malzeme çeşididir. Takviye malzemeleri içerisinde ise cam elyafı, hem maliyetinin diğer elyaflara nazaran daha düşük olması hem de polimer matris malzemeye kazandırdığı yüksek mekanik özellikler sebebiyle sanayide de en fazla tercih edilen takviye edici elyaf çeşididir.

Çalışmamızda kullanılması bakımından plastik malzemeler, kompozit malzemeler, plastik geri dönüşüm yöntemleri, plastik enjeksiyon kalıpcılığı ve plastiklere uygulanan mekanik deneyler detaylı olarak aşağıda anlatılmıştır.

1.1 Plastik Malzemeler

Plastik malzemeler, oda sıcaklığı koşullarında genel olarak katı halde bulunan organik polimerlerdir. Plastikleri basınç ve sıcaklık yardımıyla şekillendirebilmek mümkündür. Polimerik maddelerin molekül ağırlıkları yüksektir ve özellikleri aynı veya farklı olan moleküllerin birleşmesi sonucu oluşurlar. Polimerler monomer olarak adlandırılan organik birleşiklerden meydana gelirler. Poli kelimesi çok

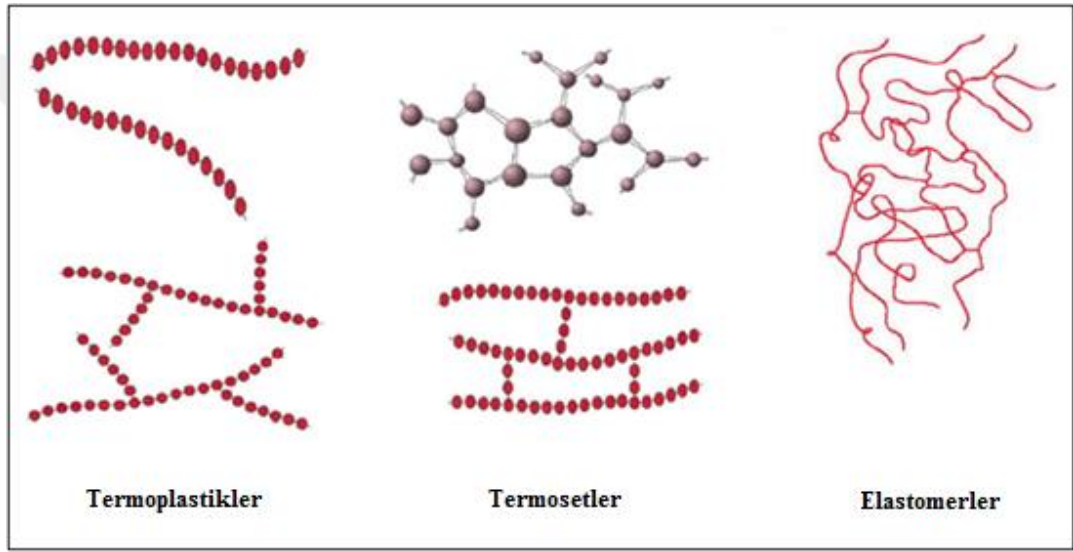
anlamına, polimer kelimesi ise çok mer anlamına gelmektedir. Aynı tür monomerlerden meydana gelmiş polimer hopolimer, farklı iki monomerden oluşan polimer kopolimer ve üç farklı monomerden oluşan polimer ise terpolimer olarak adlandırılır (Kaya, 2005).

Plastik malzemeler tarihsel süreçte insanların yaşamına giren en son malzeme grubudur fakat hafif olması, yüksek kimyasal dayanımları, optik özellikleri ve darbe mukavemeti gibi avantajlarından ötürü insanların günlük hayatında en fazla kullanılan malzeme türü haline gelmiştir. Dünyada üretilen petrolün %4 kadarı plastik üretiminde kullanılmaktadır. Üretilen plastiğin %75-%80'i buzdolabı, çamaşır makinesi, televizyon, otomobil, ev ve bahçe mobilyaları gibi dayanıklı tüketim mallarında kullanılmaktadır, bunun da %50 kadarı plastik variller, bidonlar, çöp kutuları gibi dayanıklı ambalajlardan oluşmaktadır (Kıralp vd., 2006).

Plastik malzemelerin kullanımının zamanla artması aynı zamanda plastik geri dönüşümünün de önem kazanmasına sebep olmuştur. Plastikler doğada uzun yıllar boyunca bozulmadan kalabilirler. Plastiklerin geri dönüştürülmesi hem doğal dengenin korunması hem de enerji tasarrufu açısından oldukça önemlidir. Günümüzde bakıldığında, gelişmiş ülkelerde plastik tüketiminin yanında üretimi de hızlı bir şekilde artmaktadır. Bir diğer tarafta ise gelişmekte olan ülkelere bakıldığında, tüketimin üretimden çok daha fazla olduğu gözlemlenebilir. Ülkemizin de dahil olduğu gelişmekte olan ülkelerdeki bu dengenin sağlanamamış olması plastik malzemenin çeşitli zorluklarla sürekli olarak ithal edilmesine sebep olmaktadır. Plastiklerin geri kazanılması hem dışa bağımlılığımızı azaltmak hem de ekolojik dengeyi korumak için çok büyük önem arz etmektedir.

Plastikleri termoplastikler, termosetler ve elastomerler olmak üzere üç ana grupta incelemek mümkündür. Plastikleri bu üç ana grupta kategorize ederken ısı davranışları göz önünde bulundurulur. Bunlar arasında en önemli grup termoplastiklerdir. Termoplastikler ısı işlem sonucunda yumuşarlar ve yumuşak haldeyken mekanik yöntemlerle şekillendirilebilir, ardından soğutulduklarında yeniden sertleşirler. Kimyasal yapısı değişmeden ısı altında meydana gelen bu şekil değiştirme termoplastiklerin en önemli özelliklerinden birisidir. Termoset plastiklere bakıldığında durum bunun tam tersidir. Termoset plastikler ısı ve basınç altında bir kez şekil değiştirdiklerinde yeniden şekillendirmek mümkün değildir. Sıcak termosetlerin, termoplastiklerin aksine yeniden şekillendirilememesinin sebebi yapısındaki çapraz bağlardır. Termosetler ısıtıldığında yapısında bulunan çapraz

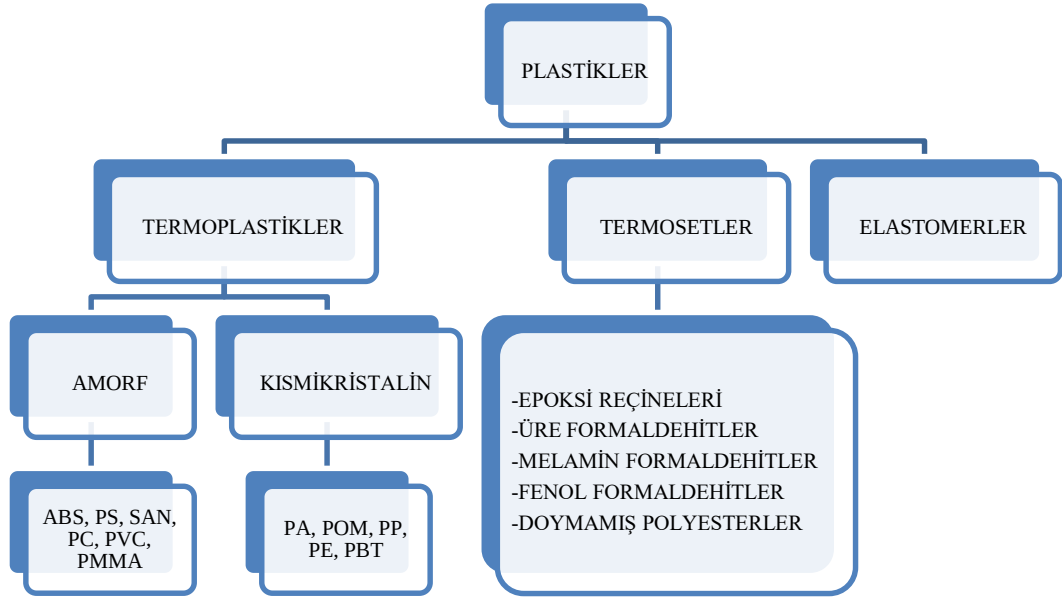
bağlar sebebiyle zincirler birbirinden uzaklaşmamaktadır. Çok yüksek sıcaklıklar uygulandığında ise çapraz bağlar kopar ve malzeme özelliğini kaybeder. Genelde plastiklerden ayrı olarak kategorize edilen elastomerler ise aslında termosetler gibi yapısında çapraz bağ bulunduran malzemelerdir. Fakat elastomerleri termosetlerden ayıran özellik, yapısındaki çapraz bağların termosetlere nazaran çok daha az olmasıdır. Yapısında bulunan bu düşük yoğunluktaki çapraz bağlar sebebiyle esnek yapıya sahiptirler. Isı ve basınç altında şekil değiştirebilirler fakat belirli bir süre sonra tekrar eski hallerine dönerler. Genel olarak baktığımız zaman termoplastikler, termosetler ve elastomerleri birbirinden ayıran en önemli özellik bağ yapılarıdır. Şekil 1.1’de plastik malzemelerdeki bağ çeşitleri görülmektedir.



Şekil 1.1: Plastik malzemelerdeki bağ çeşitleri.

Plastikler, işlenmeden önce toz, granül veya dispersiyon halinde, işlendikten sonra film, levha, profil, elyaf ve çeşitli şekil ve boyutta plastik parça halinde bulunurlar (Kaya, 2005).

Kelime anlamı olarak aynı kabul edilmesine rağmen plastik ve polimer aslında aynı şeyler değildir. Polimer çok sayıda monomerin birbirine kovalent bağlarla bağlanarak oluşturduğu büyük moleküllere denir. Plastik ise polimerlere belirli bir amaç için belirli katkı maddelerinin ilave edilmesiyle oluşturulur. Şekil 1.2’de plastiklerin sınıflandırılması verilmiştir.



Şekil 1.2: Plastiklerin sınıflandırılması.

1.1.1 Elastomerler

Kuvvet altında sıkıştırma veya gerilme işlemlerinin ardından tekrar eski hallerine dönebilmeleri elastomerlerin en önemli ve ayırt edici özelliklerindendir. Elastomerler esneklik özelliğinden dolayı günlük hayatta kullandığımız birçok malzemenin içeriğini oluşturmaktadır. Endüstriyel amaçlı üretimi yapılan ilk sentetik kauçuk 1931 yılında üretilen neoprendir. Polimer kimyasındaki gelişmelere bağlı olarak özellikle 1950 yılından sonra farklı sentetik kauçuklar geliştirilmiş ve kullanıma sunulmuştur. Üstün özelliklerinden dolayı doğal kauçuk günümüzde de değerini korumaktadır ve dünya elastomer tüketimindeki payı %30 düzeyindedir (Saçak, 2005). Araba iç ve dış lastiklerinden ayakkabı, terlik ve taşıyıcı bant yapımına kadar geniş bir alanda kullanılmaktadır.

1.1.2 Termosetler

Yapısındaki çapraz bağlar sebebiyle termosetler her koşulda katı halde bulunurlar. Termoplastiklerin aksine eritilemezler ve yeniden kullanımları mümkün değildir. Tekrar kullanılamayacak durumdaki termosetler diğer malzemeler için dolgu malzemesi olarak kullanılabilirler. Termosetler yeniden ısıtıldıklarında yumuşarlar fakat akışkan hale gelmezler ve termoplastik reçineler gibi yeniden kullanıma uygun değildirler. Uygulanan belirli sertleşme işlemleri sonucunda termoplastiklere nazaran daha sert fakat darbe mukavemeti daha düşük malzemeler haline gelirler. Bu uygulanan işlemler pişme veya kür olarak adlandırılabilir. Termosetleri kendi içinde

sınıflandırmak istersek, beş ana başlık altında inceleyebiliriz. Bunlar; epoksi reçineleri, üre formaldehit, melamin formaldehit, fenol formaldehit ve doymamış polyesterlerdir (Kaya, 2005).

1.1.2.1 Epoksi reçineleri

Latince kökenine incek olursak epoksi, üzerinde anlamına gelen epo ve keskin anlamına gelen oksi kelimelerinin birleştirilmesi sonucu türetilmiştir. 1990'lı yılların başında Prilescha Jev tarafından keşfedilmiştir. Epoksi reçineleri ana elaman ve sertleştirici olmak üzere iki bileşenden oluşmaktadır (Kıralp vd., 2006).

Epoksi reçinelerini kullanılabilir hale getirebilmek için katı, sert ve pişmiş termoset son ürün haline getirmek gerekir. Kullanılabilir plastik madde elde edebilmek için reçineye sertleştirici, yumuşatıcı, seyreltici, dolgu ve takviye edici maddeler, pigment ve çözücü gibi maddeler ilave ederek pişirmek gerekmektedir. Bu katkı maddeleri içerisinde sadece sertleştirici her işlemde kullanılmaktadır (Kaya, 2005).

1.1.2.2 Üre formaldehitler

Üre formaldehit reçinesi kolay kalıplanabilen bir madde olup, düğme, toka, şişe kapağı, enstrüman gövdesi, bardak, tabak ve reflektör yapımında, aydınlatma cihazlarında, ayrıca elektrikli alet ve edevat yapımı, elektrikli tıraş makinesi gövdesi ve tuvalet klozeti gibi malzemelerin yapımında kullanılmaktadır (Kaya, 2005).

Üretimi yapılan toplam amino reçineleri arasındaki payı %80'dir. Genel itibarıyla bu reçineler renksizdir fakat kullanım yerlerine göre renklendirici malzemelerle beraber de kullanılabilir. Isı ve neme karşı dayanıklı malzemelerdir (Saçak, 2005).

1.1.2.3 Melamin formaldehitler

Bir amino reçinesi olan melamin formaldehit reçinelerinin ısı ve neme karşı dirençleri oldukça yüksektir ve üre formaldehit reçinelerinden daha sert bir yapıya sahiptirler. Yapıştırıcı olarak, dekoratif amaçlı panellerin yapımında, koruyucu kaplama olarak ve kabin, masa üstü gibi farklı malzemelerin yapımında kullanılmaktadırlar (Saçak, 2005).

1.1.2.4 Fenol formaldehitler

Fenolikler, bazik ortamda fenol ve formaldehitin polimerizasyonu ile elde edilerek ilk ticari üretimi yapılan termoset plastiklerdir. Kalıplama prosesinde ısıtıldıklarında

çapraz bağlar oluştururlar. Bu reçineler sert, esnemeyen, kırılğan ve ısıya dayanıklıdırlar. Genellikler dolgu maddeleri ilavesiyle bazı mekanik özellikleri geliştirilebilmektedir. Ağaç kaplamaların, kumaş dokumaların ve kağıdın laminasyonunda; katı halde çeşitli malzemeler; ağaç parçaları, çamaşır makinesi parçaları, telefon, mutfak gereçleri, çatı panelleri yapımında sıklıkla kullanılmaktadırlar. Fenol formaldehitlerin en çok bilinen türü 1909 yılında kimyacı Leo Hendrik Baekeland tarafından bulunan bakalittir. Aynı zamanda bakalit, keşfedilmiş ilk sentetik plastik olma özelliğine sahiptir. Yüzeyi parlak, sıcağa karşı dayanıklı ve sert bir malzeme olan bakalit, geçmiş yıllarda kendi yerini alacak malzemelere karşı güçlü bir alternatif olmuştur. Isıya dayanıklı mobilyalardan, elektronik eşya gövdelerine kadar geniş bir kullanım alanı olan bakalit 19. Yüzyılın ortalarına kadar çok sık kullanılmıştır (Kıralp vd., 2006).

1.1.2.5 Doymamış polyesterler

Ucuz ve kolay kürlenebilme özelliğine sahip dayanıklı termosetler olan doymamış polyesterler, kompozitler için en çok kullanılan reçinelerdir. Diğer termosetlerle karşılaştırıldıklarında güçlü çapraz bağlara sahip olmadıklarından ötürü tek başlarına kullanılamazlar. Konstrüksiyon malzemeleri, tekne yapımı, elektrik sanayisi ve otomotiv sektöründe sıklıkla kullanılan doymamış polyesterler cam lifleriyle takviye edilerek kullanıldıkları için cam takviyeli plastikler olarak da tanımlanabilmektedirler. İlk yerli otomobil olarak tarihe geçen Anadol otomobilin kaportası, doymamış polyester ve cam yününün ortak kullanımı sonucunda yapılmıştır (Kıralp vd., 2006).

Cam miktarı ve diğer katkı maddelerine bağlı olarak mekanik özellikleri değişiklik gösterebilen doymamış polyesterler atletizm ekipmanlarında, su depolarında, sandalye ve başka mobilya yapımında kullanılmaktadırlar (Akkurt, 2007).

1.1.3 Termoplastikler

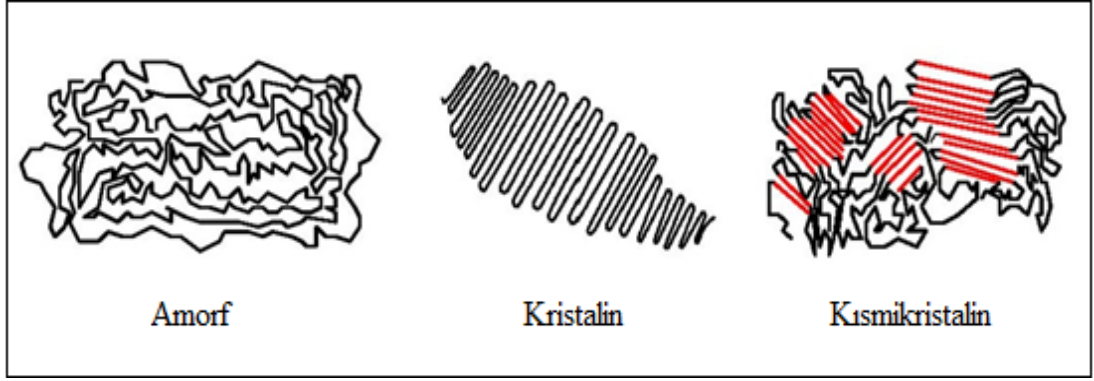
Günümüz dünyasında plastik malzemelerin kullanım alanı giderek genişlemektedir. İnsanoğlunun geçmiş zamandan bu yana kullandığı iplik, kağıt, seramik, ağaç gibi malzemelerin yerini hızla plastikler almaktadır. Plastik malzemeler otomotiv sektöründen elektronik eşyalara, ayakkabı yapımından tıbbi malzemelerin üretimine kadar çok geniş bir alanda kendisine kullanım alanı bulmuştur. Kullanım alanının genişliğine bağlı olarak her kullanım alanına göre özellikleri iyileştirilmiş veya

geliştirilmiş malzemeler türetilmiştir. Ayrıca bu kullanım alanlarına göre plastik malzemeleri seçerken dikkat edilmesi gereken belirli hususlar vardır.

Bu hususlar aşağıdaki gibidir;

1. Plastik malzemeye ihtiyaç duyulma sebebi
2. Plastiğin kullanılacağı şartlar ve ortam özellikleri
3. Plastik malzeme için yapılacak tasarım şartları ve bu tasarımın neye hizmet edeceği
4. Plastik malzemenin mekanik özellikleri
5. Plastiğin ısı özellikleri
6. Plastiğin şekil verme ve işlenebilme özellikleri
7. Plastik malzemenin geri dönüşüm şartları
8. Plastik malzemenin diğer malzemelerle olan uyumu (Kaya, 2005).

Termoplastikler, plastik malzemelerin içerisinde en önemli grubu oluştururlar. Bunun sebebi ise ısıtıldıkları zaman akışkan hale geçerek şekil değiştirmeleri ve soğutulduklarında şekil değişikliklerini koruyabilmeleri ve bu işlemin malzemeler üzerinde tekrar tekrar uygulanmasına müsaade eden bağ yapılarıdır. Bu tekrar edilebilir şekil değiştirme işlemi sırasında termoplastik malzemelerin kimyasal yapıları değişmemektedir. Değişmeyen kimyasal yapılarından ötürü termoplastikler çevresel açıdan da daha az zararlı malzemeler olarak bilinmektedirler. Termoplastik malzemeler tekrar tekrar eritilerek şekillendirilebilir ve bu işlemler esnasında kimyasal yapılarında herhangi bir değişim olmaz, fakat mekanik açıdan bunu söylemek pek mümkün değildir. Termoplastik malzemelerin mekanik özelliklerindeki bu değişiklikleri iyileştirebilmek adına içerisine belirli katkı maddeleri eklenerek yeni kompozit malzemeler oluşturulmaktadır. Polietilen, polistiren, polivinil klorür ve polipropilen gündelik yaşamda kullandığımız birçok eşyanın yapımında kullanılan ve en çok bilinen termoplastik malzemelere örnektir. Bu malzemeler diğer termoplastik malzemelere nazaran fiyatları düşüktür ve bu özelliğinden dolayı geniş bir kullanım alanına sahiptir. Termoplastikler esasen amorf ve kısmikristalin olmak üzere iki grupta incelenebilir. Amorf yapıli termoplastiklere baktığımızda, içerisinde bulunan molekül zincirleri karışık halde bulunurlar. Kristalin yapıda molekül zincirleri birbirine göre üç boyutlu bir düzeni andıran düzenli bir şekilde bulunurlar (Akkurt, 2007). Şekil 1.3’de termoplastik malzemelerin zincir yapıları görülmektedir.



Şekil 1.3: Termoplastik malzemelerin zincir yapıları (Pınar, 2010).

1.1.3.1 Polietilen (PE)

İlk olarak 1939 yılında ticari anlamda üretilmeye başlayan polietilen %34'lük payıyla termoplastikler içerisinde en fazla tüketilen polimerdir. Etilen gazının polimerizasyon işlemi sonucunda üretilen polietilenin 1939 yılında üretilen ilk örnekleri günümüzde alçak yoğunluklu polietilen (AYPE) olarak bilinmektedir. 1957 yılında üretilen bir diğer çeşit polimerde ise 1-10 atm gibi düşük basınçlarda yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE) sentezlenmiştir. Bu gelişme polietilen kullanımı için önemli bir sıçrama noktası olmuştur (Saçak, 2005).

Polietilenler, fiyatının ucuzluğu, farklı kimyasallara karşı direncinin fazla olması ve çeşitli yöntemlerle şekillendirilebilmeleri sebebiyle kendisine çok geniş bir alanda kullanım imkanı bulmuştur. Çeşitli yoğunlukta üretilebilmeleri de kullanım açısından ayrı bir avantaj sağlamıştır. Bunun yanında ısı genleşme katsayılarının yüksek olması sebebiyle uzun süreli kullanımlar için elverişli değildir.

1.1.3.2 Polistiren (PS)

Benzen ve etilenden çıkartılan stirenin polimerizasyonu sonucu elde edilen polistiren, kokusuz, ucuz, saydam ve sert bir malzemedir. Polistiren üretimi çeşitli yöntemler vasıtasıyla gerçekleştirilebilmektedir. Bunlar; dönerek kalıplama, ekstrüzyon, enjeksiyon ve vakum şekillendirmedir. Çok yüksek sıcaklıklara maruz kaldığında ısı bozulmalarının yaşandığı polistirenin en iyi işlenme sıcaklığı 180 °C-200 °C civarındadır. Avantajlarının yanında dezavantajları da bulunan polistirenin düşük darbe dayanımı, üretimi esnasında içerisine katılan elastomerlerle artırılabilir. Polistirenden, yoğurt kapları, mücevher kutuları, yemek tabakları, bölmeli plastik kaplar, taşıma kasaları, oyuncaklar, teyp bantları, mutfak aletleri, röle parçaları, hoparlör parçaları, yiyecek saklama kapları, emniyetli jiletler, buzdolabı kapları,

elbise askıları yapılabilir. Polistiren köpükler ise ambalajlama, ses ve ısı yalıtım malzemelerinde kullanılan, polistirenin başka bir uygulama alanıdır (Saçak, 2005). Polistiren üretim yoğunluğu göz önüne alındığında termoplastik malzemeler arasında dördüncü sıradadır. İhtiyaca göre %10 ile %20 arasında cam elyaf katkısı yapılabilen polistiren, elyaf katkısı ile üstün mekanik özellikler elde edebilen bir malzemedir (Akkurt, 2007).

1.1.3.3 Polivinil klorür (PVC)

Vinil polimerleri içerisinde en çok kullanılan malzeme olma özelliğine sahip olan polivinil klorür, ekstrüzyon, basınç kalıplama ve enjeksiyon gibi yöntemler vasıtasıyla üretimi gerçekleştirilebilen ve farklı katkı maddeleriyle özellikleri değiştirilebilen bir malzemedir. Amorf yapıda bir plastik olarak bilinen polivinil klorür 60 °C işletme ve 80 °C yumuşama sıcaklığına sahiptir. Polivinil klorür alevle temas ettiğinde yanmama özelliğine sahiptir. Bu özelliğine bakarak birçok plastik malzemeden ayrılabilirdi için bu basit yöntem birçok geri dönüşüm tesisinde polivinil klorür malzemeleri diğer malzemelerden ayırt etmek için kullanılmaktadır. Polivinil klorür plastiğinin yanmama özelliği bünyesinde bulundurduğu klordan kaynaklanmaktadır.

Sert ve yumuşak olmak üzere iki çeşidi bulunan polivinil klorür malzemelerde, sert olanlar boru ve pencere profili gibi dış ortam şartlarına dayanım gereksinimi yüksek olan yerlerde tercih edilmektedirler. Yumuşak olan türleri ise zemin döşemeleri, eldiven ve kablo gibi malzemelerin yapımında kullanılabilmektedirler.

Polivinil klorür, atmosferik şartlara, oksijen ve ısıya karşı dayanıklı değildir ve PVC türlerinin sadece çok az bir kısmı katkı maddesi katılmadan işlenebilmektedir. Katkı maddelerinin artmasıyla malzemedeki molekül ağırlığı artar ve buna bağlı olarak malzemedeki mekanik özellikler iyileşmiş olur (Kaya, 2005).

Ekstrüzyonla üretim, polivinil klorür üretimi için en çok kullanılan yöntemdir. Çizelge 1.1’de üretilen ürünlerin ticari isimleriyle üretici firmalar görülmektedir.

Çizelge 1.1: Polivinil klorür üreticileri (Kıralp vd., 2006).

Ticari Adı	Üretici Firma
Petvinil	Petkim–Türkiye
Afcodur	Pechiney S. Gobain–Fransa
Benvic	Solvay–Belçika
Breon	British Geon–İngiltere
Carina	Shell–İngiltere
Geon	B.F. Goodrich Chemicals–USA
Rhodopas	Rhone Poulenc–Fransa
Solvic	Solvay–Belçika
Vinoflex	BASF–Almanya

1.1.3.4 Polikarbonat (PC)

Temel çıkış maddesi Bisfenol A olan ve önemli mühendislik plastikleri arasında sayabileceğimiz polikarbonat, karbonik asit türevi bir poliesterdir. İlk mühendislik plastiklerinden birisi olarak tanımlayabileceğimiz polikarbonatlar, plastik işleme yöntemlerinin hemen hemen hepsiyle işlenebilir. Enjeksiyonla kalıplama yönteminde yüksek basınçlar uygulanır, bunun sebebi eriyik halde sahip olduğu yüksek viskozitedir. %90 oranında ışık geçirme özelliğine sahip olan polikarbonatın dış ortam koşullarına dayanımı ve mekanik özellikleri oldukça iyidir.

Yanıcılığı, nem alma ve kir tutma oranı oldukça düşük olan polikarbonat bütün renklendirici maddeler ile uyumludur. Genel maksatlı polikarbonatların en zayıf yönü, ketonlar, aromatik hidrokarbonlar ve karbon tetraklorür gibi klorlanmış hidrokarbonlarda çözünmesidir (Kaya, 2005).

Kütlesel olarak %10 ile %40 arasında cam elyaf takviyesi yapılan polikarbonatların üretim esnasında kalıp içerisindeki büzülme miktarlarının azaldığı gözlemlenmiştir. Amorf bir yapıya sahip polikarbonatlar farklı sıcaklıklarda yüksek tokluk seviyesine sahiptir. Isıya dayanıklılığı ve elektrik yalıtımı özelliklerinden dolayı su damacaneleri, tıraş makineleri, kurutma makineleri gibi günlük hayatta kullandığımız pek çok eşyanın yanında kırılmaz ve dağılmaz camlar olarak yiyecek kapları ve biberon gibi eşyaların yapımında da kullanılabilirler (Kıralp vd., 2006).

1.1.3.5 Polipropilen (PP)

Kısmikristalin bir yapıya sahip olan polipropilen diğer türleriyle karşılaştırıldığında en hafif termoplastik olarak bilinmektedir. Termoplastik üretiminde kullanılan yöntemlerin hemen hemen hepsiyle üretimi mümkün olan polipropilenin güneş ışınlarına karşı direnci düşük olduğu için dış ortamlarda kullanılmaları uygun

değildir. Polietilenin icat edilmesi 1950’li yıllarda polipropilenin bulunmasına öncülük etmiştir. Dünya üzerinde bugüne kadar birçok şey keşfedilmiş veya icat edilmiştir. Sık sık aynı zaman aralığında farklı yerlerde aynı şeylerin bulunması veya icat edilmesi gibi durumlara rastlamak mümkündür. Fakat polipropilen aynı zaman aralığında tam dokuz kez keşfedilmiştir.

Polipropilen tıpkı polietilen gibi maliyeti düşük bir malzemedir. Polietilene nazaran darbeye, neme, baskı ve çatlamalara karşı yüksek dayanıma sahiptir. Bu olumlu özelliklerinin yanına üretim kolaylığı da eklenince, polipropilen ekonomik ve kullanımı avantajlı bir malzeme olarak karşımıza çıkıyor. Düşük sıcaklıklarda darbe dayanımının düşük olması ise kullanım alanını sınırlayan en büyük dezavantajdır. Ev, hastane ve laboratuvarlarda kullanılan malzemeler, tekstil endüstrisinde, elektriksel tatbikatlarda, aerosol vanası ve kapağı, tıbbi ekipmanların yapımında, ayakkabı topuğu, mürekkep kapları, bobin ve makara, şişe, şişe kapakları, menteşe yuvaları ve akü kutusu gibi parçaların yapımında kullanılmaktadır (Kaya, 2005).

1.1.3.6 Akrilonitril bütadien stiren (ABS)

Yüksek sıcaklık değerlerinde dayanımı iyi olan akrilonitril bütadien stiren yüksek yumuşama sıcaklığına sahiptir. Atmosfer koşullarına elverişsiz yapısı sebebiyle dış ortamlarda kullanımı uygun değildir. Kozmetik olarak güzel görünümü sebebiyle dekoratif amaçlı eşyalarda kullanılmaktadır. Ucuzluk, kolay işlenebilirlik, darbeye direncinin fazla olması sebebiyle avantaj sağlamakta ve daha birçok alanda tercih edilmektedir.

1.2 Polyamidler (PA)

Polyamidler mühendislik plastikleri içerisinde en önemli grubu oluşturan diğer bir adı naylon olan ve yapısında amid bağlar ihtiva eden, yüksek molekül ağırlıklarına sahip malzemelerdir. Nem tutma özelliğinin yüksek olması sebebiyle elektrik yalıtımı iyi değildir. Elektrik yalıtım özelliğindeki bu yetersizlik sebebiyle elektronik sektöründe kullanımı oldukça kısıtlıdır. Polyamidler yüksek mekanik özelliklere sahip oldukları için yüksek basınçlı hortum, konveyör kayışları, dirençli şişeler, aşınma dirençli kablo kılıfları gibi yüksek mekanik özelliklerin ihtiyaç duyulduğu yerlerde kullanılmaktadırlar (Gönenli, 2014). Polyamid malzemelerin mekanik dayanımları oldukça yüksektir fakat kullanım yerleri ve duruma göre daha iyi

mekanik özelliklere ihtiyaç duyulabilir. Bu gibi durumlarda polyamide cam elyaf ve karbon elyaflar gibi takviye malzemeleri ilave edilebilir ve yeni kompozit malzemeler oluşturulabilir. Malzemenin hafif olması ve dayanımının yüksek olması hemen hemen bütün malzemelerde aranacak bir özelliktir. Polimer malzemelere ilave edilen katkı maddeleri vasıtasıyla elde edilen hafif ve dayanımı yüksek kompozit malzemeler yüksek maliyetlerinden dolayı sadece uzay, havacılık ve otomotiv gibi malzeme ağırlığının çok önemli olduğu sektörlerde sık kullanılmaktadır. Şekil 1.4’de polyamid bazlı malzemelerden üretilen ve otomotiv sektöründe sıklıkla kullanılan dişli çarklar görülmektedir.



Şekil 1.4: Polyamid malzemedan üretilmiş dişli çarklar.

Yapısında barındırdığı monomerlere göre malzemenin cinsini belirtmek için polyamid isminin yanında numaralandırma yapılmaktadır. İhtiyaca ve özel amaçlara hizmet edecek polyamid 4.6 ve polyamid 8 gibi türlerinin yanında polyamid 6, polyamid 6.6, polyamid 6.10, polyamid 11 gibi bir çok farklı türü bulunan polyamidlerin içerisinde en çok kullanılan türü polyamid 6 ve polyamid 6.6’dır. Enjeksiyon, ekstrüzyon ve enjeksiyon şişirme gibi üretim yöntemleri vasıtasıyla imal edilebilen polyamidler ülkemizde de plastik sektörünün vazgeçilmez malzemeleri arasında yer almaktadır (Kaya, 2005).

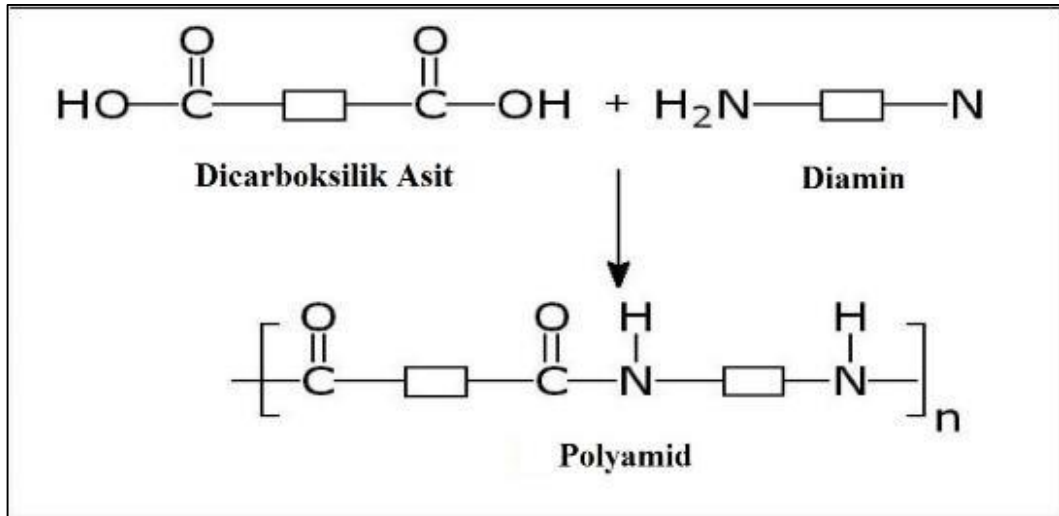
Polyamidlere uygulanan numaralandırma sisteminde, tek monomerden meydana gelen malzemeler için monomerde bulunan karbon atomu sayısı baz alınmaktadır.

Polyamid 6, polyamid 7, polyamid 8, polyamid 11, polyamid 12 malzemeleri bunlara örnek olarak gösterilebilirler. Çizelge 1.2’de günümüzde en çok kullanılan polyamidlerin bilimsel adları ve simge ile gösterimleri görülmektedir.

Çizelge 1.2: Bazı polyamidlerin bilimsel adları ve simge ile gösterimi (Ünal, 1999).

Bilimsel adı	Sembol
Poli (tetrametilenadipamid)	PA 4.6
Polikaprolaktam	PA 6
Poli (hegzametilenadipamid)	PA 6.6
Poli (hegzametilenazelamid)	PA 6.9
Poli (hegzametilensebakamid)	PA 6.10
Poli (tetrametilendodekanoamid)	PA 6.12
Poli (dodekametilendodekanoamid)	PA 12.12
Poli (11-aminondekanolaktam)	PA 11
Polidodekanolaktam	PA 12
Poli (m-ksilenadipamid)	PA MXD6
Poli (trimetilhegzametilentereftalamid)	PA TMDT

Diamin ve diasitlerin polimerleştirilmesiyle elde edilen polyamid için ise ilki daimin’in ikincisi diasit’in karbon atomu sayısını gösteren tek bir sayı kullanılır. Bunlara örnek olarak da polyamid 4.6, polyamid 6.6, polyamid 6.9, polyamid 6.10 gösterilebilir (Saylan, 2010). Şekil 1.5’de polyamid malzemenin kimyasal yapısı görülmektedir.



Şekil 1.5: Polyamid polimerinin kimyasal yapısı.

Polyamid türleri arasında en çok kullanılanlar olarak tanımlayabileceğimiz polyamid 6 ve polyamid 6.6'yı kimyasal açıdan birbirinden ayıran özellik, polyamid 6'nın laktam ve aminoasit gibi tek bir monomerden oluşturulması, polyamid 6.6'nın ise daimin ve diasitlerin polimerleşmesiyle üretilmesidir. Bu monomerlerdeki karbon atomu sayısı polyamidin sonuna eklenen sayılar için belirleyici rol oynamaktadır.

1.2.1 Polyamid 6 (PA 6)

1935 yılında Dupont'dan Wallace Corothers'in keşfettiği polyamid 6, ilk zamanlarda diş fırçası kıllarının yapımı için üretilmiştir. İlk gerçek başarısını 1940 yılında bayan çorapları yapımı ile gerçekleştirmiştir (Kıralp vd., 2006). Polyamid 6 ve polyamid 6.6'yı diğer polyamid türleriyle karşılaştırdığımız zaman fiziksel dayanımları ve mekanik özellikleri bakımından daha önde olduğu görülmektedir. Polyamid 6 ve polyamid 6.6'nın ikili karşılaştırmasında ise nem emme özelliğinin düşük olmasından ötürü polyamid 6, polyamid 6.6'nın bir adım önünde yer almaktadır. Saf halde polyamid 6 malzemesi sert ve tok bir yapıya sahiptir. Her ne kadar en çok tercih edilen polyamid türlerinden olsalar da nem absorbe etme özelliğinin fazla olmasından ötürü kullanım alanları kısıtlanmaktadır. Kullanım alanlarının genişletmek adına içerisine dayanım oranını yükseltecek bazı katkı maddeleri eklenebilmektedir. Ayrıca maliyeti yüksek bir malzeme olduğu için bazı uygulamalarda içerisine dolgu malzemesi takviyesi yapılarak fiyatı düşürülebilmektedir. Fiyatının düşürülmesinin yanında darbe dayanımını arttırmak adına elastomer takviyesi de yapılabilmektedir. Takviye malzemeleri polyamidin bazı özelliklerini iyileştirebilmesinin yanında bazı özelliklerini de düşürmektedir. Örneğin; cam elyaf takviyesi yapılan bir polyamid 6 malzemenin darbe dayanımı ve sertlik gibi özelliklerinin arttırmasının yanında tokluğunun azaldığı gözlemlenebilmektedir.

Polyamid 6 malzemeleri için en çok kullanılan takviye malzemesi cam elyafıdır. Kullanım yeri ve ihtiyaca göre %5 ile %50 oranları arasında değişen cam elyaf takviyesi yapılabilmektedir. Polyamid 6 malzemedan üretilen ürünlerin kullanım yerleri ve kullanım şartları son derece önem arz etmektedir. Oda sıcaklığının üstündeki sıcaklıklarda nem miktarındaki artışla birlikte malzemenin elastisite modülünde büyük miktarda bir düşüş gözlemlenecektir. Cam elyaf ile güçlendirilen malzemeler çok daha yüksek sıcaklığa sahip yerlerde (100 °C–150 °C) özelliklerini muhafaza ederek kullanılabilmektedir. Bazı sektörlerde dayanımın yanında kozmetik

özelliklere de önem verilmektedir. Bu gibi durumlarda polyamid 6 malzemeye cam bilye gibi katkı maddeleri eklenerek kozmetik özelliği iyileştirilir ve güzel görünümlü malzemeler elde edilebilir.

Polyamid 6 malzemelerin çevre koşullarına karşı dirençleri bütün türevlerinde olduğu gibi fazladır. Polyamid 6.6 ile kıyasladığımız zaman bazı kimyasallara karşı dayanımının daha fazla olduğu söylenebilir. Termal açıdan bakıldığında polyamid 6 diğer termoplastik malzemelerle karşılaştırdığında erime noktası daha fazladır. Polyamid 6.6 ile kıyasladığımızda ise termal açıdan fark gözlenmez. Yüksek nem emme özelliğinden dolayı iyi bir elektrik yalıtkanlığı olmamasıyla birlikte bu özelliği açısından da polyamid 6.6 ile arasında fark görülmemektedir. Çizelge 1.3’de bazı polyamidlerin erime sıcaklık değerleri görülmektedir.

Çizelge 1.3: Bazı polyamid türlerinin erime sıcaklık değerleri (Kaya, 2005).

Polyamid Türü	Erime Sıcaklık Değeri (°C)
Polyamid 4.6	295
Polyamid 6.6	260
Polyamid 6.8	246
Polyamid 6.10	220
Polyamid 6.12	217
Polyamid 4	265
Polyamid 6	215
Polyamid 11	190
Polyamid 12	179

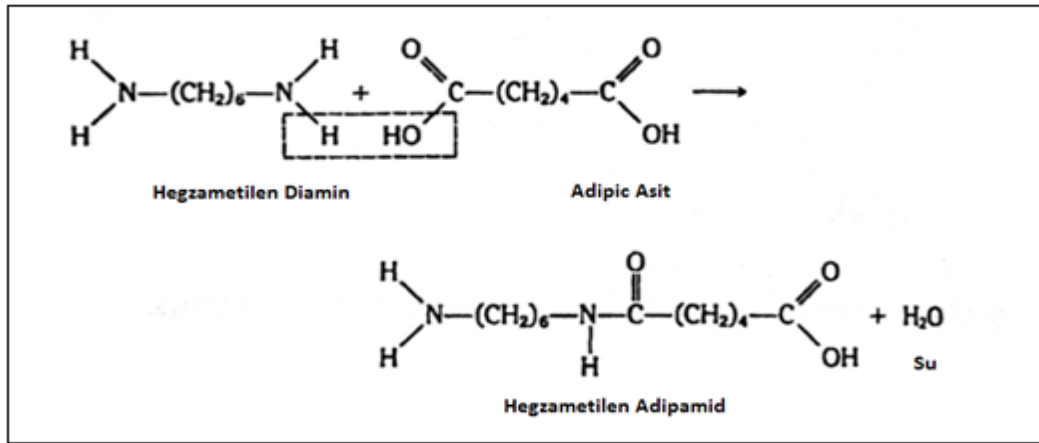
Polyamid 6 malzemeler yanma eşiği yüksek malzemeler olarak bilinmektedir. Yanması için gerekli en az oksijen miktarı atmosfer koşullarında bulunan oksijen miktarının üzerinde olduğundan dolayı yanmazlık istenen yerlerde rahatlıkla kullanılabilirler. Ayrıca bazı takviye edici malzemeler vasıtasıyla bu özellikleri daha fazla arttırılabilmektedir. Sürekli veya aralıklı polimerizasyon işlemi vasıtasıyla üretimi gerçekleştirilen polyamid 6 malzemeler, granül ya da iplik halinde elde edilirler (Kaya, 2005).

Polyamid 6 malzemelerin kullanım sahası oldukça fazladır. İlave katkı malzemeleriyle güçlendirilmemiş yani saf haldeki polyamid 6 malzemeler düşük mekanik özelliklerin arandığı ve çeşitli kimyasallarla temas gerektirmeyen yerlerde kullanılırlar. Şekil verme işlemi oldukça basit olan polyamid 6 malzemeler bu özelliklerinden dolayı gıda sektöründe de oldukça sık kullanılmaktadır.

Elyaf takviyesiyle hafif ve mekanik özellikleri çok iyi polyamid 6 malzemeler üretilebilmektedir. Bu polimer malzemelerin maliyeti diğer polimer malzemelerle kıyaslandığında oldukça yüksektir. Bu sebeple malzeme giderlerinin nispeten yüksek olduğu ama malzeme hafifliğinin ve dayanımının çok kritik olduğu otomotiv, gemicilik ve havacılık gibi sektörlerde takviye edilmiş polyamid 6 malzeme kullanımına oldukça sık rastlanmaktadır.

1.2.2 Polyamid 6.6 (PA 6.6)

Polyamid 6 ile karşılaştırıldığında mekanik ve kimyasal özellikleri açısından daha iyi bir mühendislik plastiği olarak karşımıza çıkan polyamid 6.6, iki aşamalı bir süreç sonucunda heksametilendiamin ve apidik asitten meydana getirilmektedir. Şekil 1.6'da polyamid 6.6'yı oluşturan polimerizasyon reaksiyonu görülmektedir. Kalıplama yoluyla üretimi kolaylıkla yapılabilen polyamid 6.6 dış ortam şartlarına oldukça dirençli bir polimerdir ve aynı zamanda diğer geleneksel plastik üretim yöntemlerinin hemen hepsiyle de imalatı gerçekleştirilebilmektedir. Üretim şartlarına göre 25 °C kadar farklılık gösterebilen düşük erime sıcaklığına sahip polyamid 6.6 malzeme aynı zamanda kısmikristalin bir yapıya sahip ve mekanik özellikleri çok iyi olan bir polimerdir.



Şekil 1.6: Polyamid 6.6 polimerizasyon reaksiyonu (Smith, 1986).

Akışkanlık özelliği yüksek olan polyamid 6.6 malzeme, diğer termoplastik malzemelerde olduğu gibi kimyasal bir etki altında kalmadığı müddetçe tekrar tekrar eritilerek şekillendirilebilmektedir. Nem absorbe etme oranı fazla olduğundan ötürü üretimi yapılmadan önce genelde malzemedeki nemi uzaklaştırmak için fırınlama işlemine tabi tutulmaktadır. Diğer polyamid türlerinde olduğu gibi polyamid 6.6 da kullanım yerine ve şartlarına göre çeşitli takviye edici malzemeler kullanılarak

güçlendirilebilmektedir. Genel olarak kısmikristalin yapıda bir polimer malzeme olan polyamid 6.6 ihtiyaca göre yapısındaki kristallik oranı üretim parametreleriyle oynanarak değiştirilebilmektedir.

Polyamid 6.6 malzemeler, yapısında ihtiva ettikleri hidrojen bağlarından ötürü çok iyi dayanıma sahiplerdir. Polyamid 6.6'ya ait mekanik özellikler çizelge 1.4'de verilmiştir. Çok iyi mekanik özelliklerinin yanında polyamid 6.6 malzemelerin kimyasal yapılarına baktığımızda, yağlar, bazlar ve klorlanmış hidrokarbonlara karşı dayanımı makul düzeydedir. Alkol, aromatik hidrokarbonlar ve esterlere karşı da dayanımları iyi seviyededir (Erbay, 2006).

Çizelge 1.4: Polyamid 6.6 polimerinin mekanik özellikleri (Ünsal, 1999).

Mekanik Özellikler	Polyamid 6.6
Yoğunluk (gr/cm ³)	1,13-1,15
Kopma dayanımı (MPa)	66-86
Kopma uzaması (%)	30-300
Eğilme dayanımı (MPa)	80-105
Basma dayanımı (MPa)	70-100
Darbe dayanımı (j/cm)	0,43-1,14
Elastisite modülü (çekme) (MPa)	1000-2800
Elastisite modülü (eğilme) (MPa)	2000-3400
Sertlik	
Rockwell R.	108-120
Rockwell M.	83-89
Sürtünme katsayısı	0,15-0,42
Ortamdan aldığı nem (%)	2,4-3,0
Sudaki doygunluk (%)	8,0-8,5

Plastik malzemeleri genel olarak ayırt etmek için yakma yöntemi kullanılır. Polyamid 6.6 malzeme de yakıldığında kendine has karakteristik tepkiler verir. Yakıldığında alev alırsa eğer, alevin iç tarafının mavi yanlarının ise sarı olduğu gözlemlenir. Atmosfer koşullarında bulunan oksijen miktarı yanmanın devam etmesine yetecek düzeyde olmadığı için alev hemen kaybolur. Yakıldığında salgıladığı koku da yanmış saç gibi kendine has karakteristik bir özellik taşır.

Nem absorbe etme özelliğinin nispeten yüksek olmasından ötürü imalat işlemlerine tabi tutulmadan önce malzemedan nemi uzaklaştırmak için belirli işlemler yapılmaktadır. Eğer malzemenin ihtiva ettiği nem oranı %0,2 eşiğini geçerse üretim sürecinde ve imal edilen malzemede problemler yaşanabilir. Nemden kaynaklı bu tarz problemlerin önüne geçebilmek için polyamid 6.6 malzemelerin depolama koşullarına dikkat edilmesi gerekmektedir. Depolama işleminin yapıldığı ortam kapalı olmalıdır. Depolandığı yer ile dış ortamın temas etmesi durumunda hızlı bir şekilde nemlenme sürecine giren polyamid 6.6 malzemeler yapısındaki nem oranlarına göre şartları özel olarak ayarlanacak sıcak hava fırınlarında belirli süreler boyunca bekletilerek kurutulmalıdır. Üretim prosesinin başından sonuna kadar malzemenin nemli ortamla temasını en aza indirmek hem üretilecek malzemenin kalitesini arttıracak hem de üretim süreci boyunca yaşanacak olumsuzlukların önüne geçecektir. Şekil 1.7’de örnek bir plastik ham madde kurutma fırını görülmektedir.

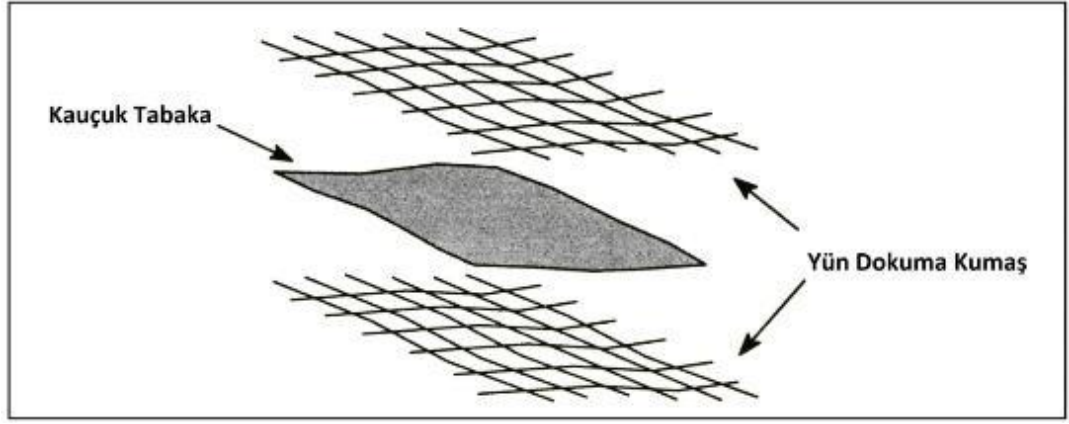


Şekil 1.7: Plastik ham madde kurutma fırını.

Polyamid 6.6 malzemelerin imalatı %90 oranında plastik enjeksiyon kalıplarında gerçekleştirilmektedir. Polyamid 6.6 polimerleri yüksek kimyasal ve mekanik özelliklerine ek olarak metaller ile karşılaştırıldığında fiyatlarının ucuz olması ve ağırlık olarak çok hafif olması neticesinde otomotiv, uçak ve havacılık sanayisinde çok fazla tercih edilen bir malzeme türü olmuştur. Elektronik sektöründe de hatırı sayılır bir kullanım alanına sahip olan polyamid 6.6 bunların yanında bazı makine parçalarının imalatında da sıklıkla kullanılmaktadır. Polyamid 6.6 malzemeler için en çok tercih edilen takviye elemanı olan cam elyafı ile güçlendirilmiş olanları dişli ve kasnak gibi makine parçalarının yapımında kullanılmaktadır. Kısacası polyamid 6.6 malzemeler sahip oldukları üstün mekanik özelliklerinin yanında kimyasal dayanımlarının da fazla olması ve çeşitli takviye edici malzemeler vasıtasıyla kullanım yerlerine göre güçlendirilebilen bir malzeme olduğundan ötürü, otomotiv sektöründen makine sanayisine, havacılıktan elektronik eşya parçalarına, aleve karşı dayanıklı parça imalatından beyaz eşya parçalarına kadar çok geniş bir kullanım alanına sahiptir.

1.3 Kompozit Malzemeler

Kompozit malzeme, kelime anlamı olarak değişik özelliklere sahip malzemelerin kullanım yerine ve malzemeden beklenen özelliklere göre belirli oranlarda ve belirli bir kurala göre birleştirilmesi ile oluşturulan malzemelerdir. Doğada bulunan ve imalat sektöründe kullanılan malzemelerin kendine has üstün özelliklerinin yanında bazı zayıf yanları da bulunmaktadır. Kompozit malzeme imal etmekteki asıl amaç iki veya daha fazla malzemenin üstün yanlarını tek bir malzemedede birleştirmektir. Şekil 1.8’de basit bir kompozit malzeme yapımı verilmiştir. Kauçuk ve yün dokuma kumaşı iki ayrı malzeme olarak ele aldığımız da kauçuk suya karşı dirençli bir malzemedir ve su ile temas ettiğinde yüksek su emme özelliğini kullanarak sudan etkilenmeyi en aza indirir. Yün kumaşın ise suya karşı direnci kauçuk malzemeyle kıyaslandığında çok düşüktür fakat giyim kolaylığı sağlayan bir malzemedir. Bahsettiğimiz iki malzemenin iki ayrı üstün özelliklerini tek bir malzemedede birleştirmek suretiyle yağmura karşı dirençli aynı zamanda giyim kolaylığı sağlayan yeni bir kompozit malzeme üretilmiştir.



Şekil 1.8: Kauçuk ve yün kumaştan oluşturulmuş kompozit malzeme (Saçak, 2005).

Aslında insanoğlu en temel ihtiyaçlarından birisi olan barınma ihtiyacını karşılamak için kendine özgü yapılar yapmaya başladığından beri kompozit malzeme kullanmaya başlamıştır. Örneğin bir duvar yapımında kullanılan ilkel malzemeler olan çamur ile samanın karıştırılmasından bugünkü modern binaların yapımı için kullanılan çimento ve kumun karıştırılmasıyla oluşturulan betona kadar kullanılan malzemelerin hepsi kompozit malzemelerdir. Aynı zamanda betonun içine malzemeyi güçlendirmek için demir malzemelerin eklenmesiyle farklı bir kompozit malzeme oluşturulmuş olur.

Geniş bir kullanım alanına sahip olan plastik malzemeler, üstün mekanik özelliklere sahip olmalarına rağmen fiziksel dayanıklılık, termal özellikler ve elektrik iletkenliği gibi kullanım alanlarına göre yüksek oranda performans gerektiren yerlerde saf halde yetersiz olabilmektedirler. Bu gibi özelliklerinin geliştirilebilmesi adına plastik malzemelere kendisinden başka plastik veya plastik olmayan malzemeler eklemek suretiyle üretilen özellikleri geliştirilmiş polimer bazlı yeni ürünlere plastik kompozit adı verilmektedir. Ticari olarak imalatı gerçekleştirilen liflerle güçlendirilmiş ilk plastik kompozitleri fiberglas ismiyle 1940'lı yıllarda karşımıza çıkmıştır ve şuanda da geniş bir kullanım alanına sahiptir. Plastik bazlı kompozitler temel olarak üç kısımdan oluşmaktadır. Bunlar; özelliklerini geliştirmek istediğimiz matris, katkı maddesi olarak kullanılacak takviye edici malzeme ve matris ile takviye edici malzemenin birleştiği ara yüzeydir (Kıralp vd., 2006).

Plastiğin mekanik özelliklerini arttırabilmek adına kullanılan çeşitli malzemelere bakıldığında akla ilk gelen malzemeler cam elyaf ve karbon elyafıdır. Bu malzemeler ilave oranına bağlı olarak karıştırıldığı plastiğe çok üstün özellikler kazandırabilmektedirler. Günümüzde var olan termoplastik malzemelerin tamamına

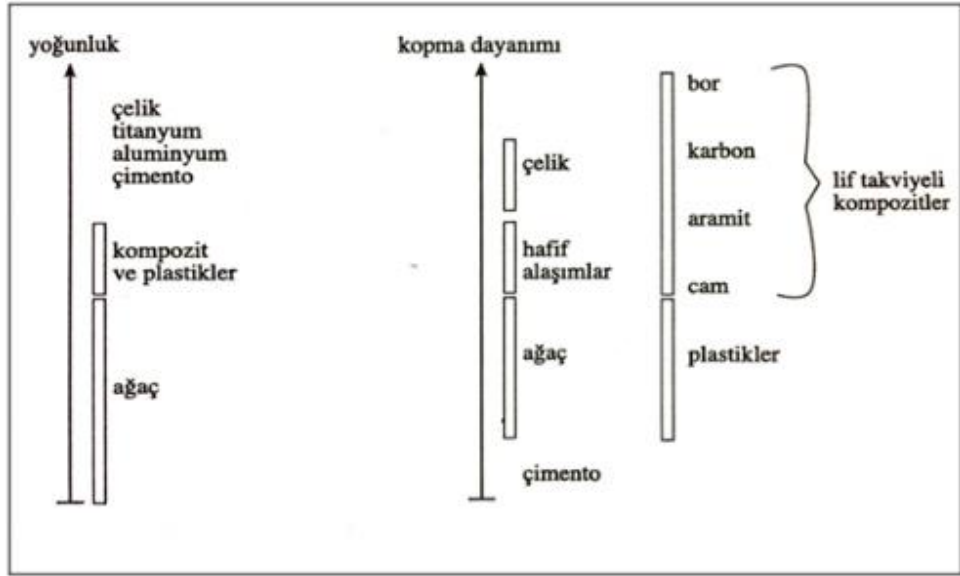
çeşitli takviye elemanları eklenerek kompozit malzemeler üretmek mümkündür. Cam elyaf takviyesi genelde termoplastiklere kırılmış halde uygulanır. Termoplastiğin cam elyaf ile birleşebilmesi için eriyik halde olması şarttır. Termoplastiklerin eritilerek çeşitli takviye elemanlarıyla karıştırılması işlemi, kompozit işlemi olarak adlandırılır. Plastik malzemelere takviye edici elemanlar her zaman mekanik özellikleri iyileştirmek için kullanılmazlar. Plastikler genel anlamda iyi yalıtkanlar olarak bilinirler fakat bazı elektronik malzemelerde plastikten yalıtkan değil iletken özellikte olması beklenir. Örneğin polietilen matrisli kompozitler olan elektronik devre ambalajları içerisine ilave edilen metal tozu gibi iletken malzemeler sayesinde polimer malzemeye iletkenlik özelliği kazandırılmıştır. Bunun yanında yüksek maliyetli plastiklerin maliyetini düşürmek adına da kompozit malzeme üretimi yapılabilmektedir. Pahalı bir plastiğe istenen mekanik ve kimyasal özelliklerin altına inmeden belirli oranlarda ucuz dolgu malzemeleri eklenerek ürünün maliyeti düşürülmüş olur. Kompozit malzemelerin mekanik özelliklerine etki eden birçok faktör vardır. Bunları genel olarak elyaf hacim oranı, elyaf şekil ve doğrultusu, elyaf çapı ve boy/çap oranı, matris malzemesinin özellikleri, elyaf geometrisi, üretim metodu ve mikro yapının etkisi olarak sınıflandırabiliriz (Erbay, 2009).

Plastik kompozitler kullanıldığı birçok sektörde metallerin yerine tercih edilmektedirler. Bunun çeşitli sebepleri vardır.

Bu sebepler aşağıdaki gibidir;

1. Dayanım: Cam elyaf ile güçlendirilmiş polimerik kompozitler birçok metal alaşımlı malzeme ile boy ölçüşebilecek düzeydedir
2. Fiyat: Polimerik kompozitler hafif malzemelerdir ve metal alaşımlı malzemelere nazaran çok daha ucuz olabilirler
3. Şekillendirme: Metal alaşımlı malzemelerin şekillendirilebilmesi polimerik bazlı kompozitlerden daha zordur ve daha fazla enerji gerektirmektedir (Kıralp vd., 2006).

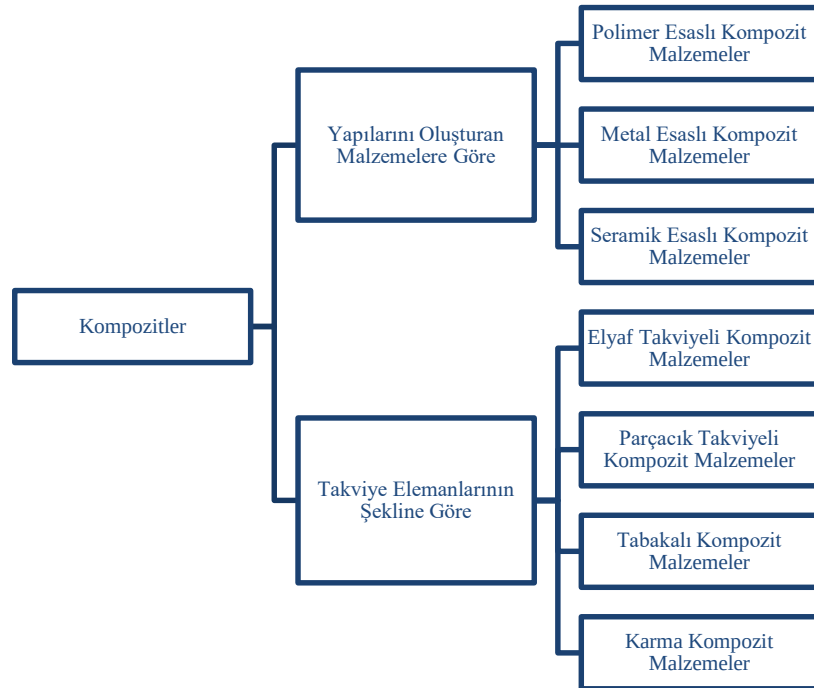
Kompozit malzemeler metal alaşımlı malzemelerin yanında diğer birçok malzemeye de mekanik özellikleri açısından üstünlük sağlamaktadır. Şekil 1.9'da yoğunluk ve kopma dayanımı açısından kompozitlerin diğer malzemelerle karşılaştırmaları görülmektedir.



Şekil 1.9: Kompozitlerle bazı malzemelerin karşılaştırılması (Saçak, 2005).

1.3.1 Kompozit malzemelerin sınıflandırılması

Kompozitlerin yapımında polimerik malzemeler, metal alaşımlı malzemeler ve seramikler gibi çok çeşitli ürünler kullanılabilir. Kompozitleri sınıflandırırken ana hatlarıyla iki elemanı baz alarak sınıflandırmak en doğru olanıdır. Bunlar; matris ve takviye edici elemanlardır. Şekil 1.10'da kompozit malzemelerin takviye edici malzeme ve matris türüne göre gruplandırılması gösterilmiştir.



Şekil 1.10: Kompozit malzemelerin sınıflandırılması (Bulut, 2014).

1.3.2 Kompozitlerin kullanım alanları

Polimer matrisli kompozit malzemeler sahip oldukları üstün özelliklerden dolayı birçok alanda kullanılmaktadır. Kompozit malzemelerin en çok kullanıldığı alanlardan birisi havacılık endüstrisidir. Metallere nazaran hafif olmaları ve birim ağırlık başına fazla yük taşıyabilme kabiliyeti sebebiyle üretilen uçakların büyük bir kısmında takviyeli polimerler kullanılmaktadır. Havacılık sektöründe en fazla kullanılan kompozitler karbon ile güçlendirilmiş epoksit bazlı olanlarıdır. Ağırlık bakımından sahip oldukları avantajlardan dolayı uzay araçlarının basınç kaplarında kullanılırlar. Ayrıca uzay görevlerinde sıcaklık değişimi çok fazla olduğu ve uzay mekikleri yüksek sıcaklıklara maruz kaldığından ötürü bu sıcaklık değişimlerine karşı mekanik kararlılığını muhafaza edebilen polimerik kompozitler tercih edilmektedir.

Yüksek darbe mukavemetlerinin yanında kozmetik olarak da güzel bir görünüşe sahip olduklarından ötürü otomotiv sektöründe üretilen birçok aracın dış yüzey parçalarında tercih edilmektedirler. Uzay uygulamalarında kullanılan C tipi cam elyafıyla güçlendirilmiş polimerik malzemeler maliyet açısından çok uygun değildir. Bu sebeple otomobillerde C tipi cam elyafı takviye edilmiş polimerik kompozitlerin yerine daha uygun fiyatlı olan E tipi cam elyafı takviye edilmiş olanları kullanılmaktadır. Bunların yanında spor malzemelerinin yapımında ve denizcilik sektöründe de cam elyaflarla güçlendirilmiş dayanımı yüksek, esnek ve şekillendirilebilme kabiliyeti yüksek kompozit malzemeler tercih edilmektedir. Şekil 1.11’de polimer matrisli kompozit malzemedan üretilen bir otomobil parçası görülmektedir.



Şekil 1.11: Polimerik kompozit malzemeden üretilmiş bir otomobil parçası.

Kompozit malzemeler sahip oldukları yüksek özgül dayanım ve ağırlık bakımından avantajlı konumları sebebiyle savunma sanayisinin de vazgeçilmez bir parçası olmuştur. Günümüzde savunma sanayisinin ihtiyaçlarını karşılayabilmek için çok fonksiyonlu nano bileşenli kompozit ürünler üretilmiştir (Yılmaz ve Evcı, 2015). Geleceğin teknolojisi olarak adlandırılan ve 21. yüzyılın ilk çeyreğinde birçok önemli uygulama alanında kendine yer bulan nanoteknoloji, plastik malzemeler içerisinde de kendisine nanokompozitler olarak yer bulmuştur. Çok üstün mekanik ve kimyasal özelliklere sahip nanokompozit malzemelerde ilave malzeme olarak çok çok küçük boyutlarda (10–9 mikrometre boyunda) takviye edici malzemeler kullanılır. İlk olarak Toyota araştırma geliştirme grubunun polyamid 6 malzemeyi nano boyutlu parçacıkların varlığında polimerleştirmeleri ile ortaya çıkan bu malzemeler, çok düşük takviye edici oranlarında (%1–%2) bile özellikle dayanım açısından çok üstün özellikler sergilerler (Kıralp vd., 2006).

1.3.3 Elyaf takviyeli kompozit malzemelerin üretim yöntemleri

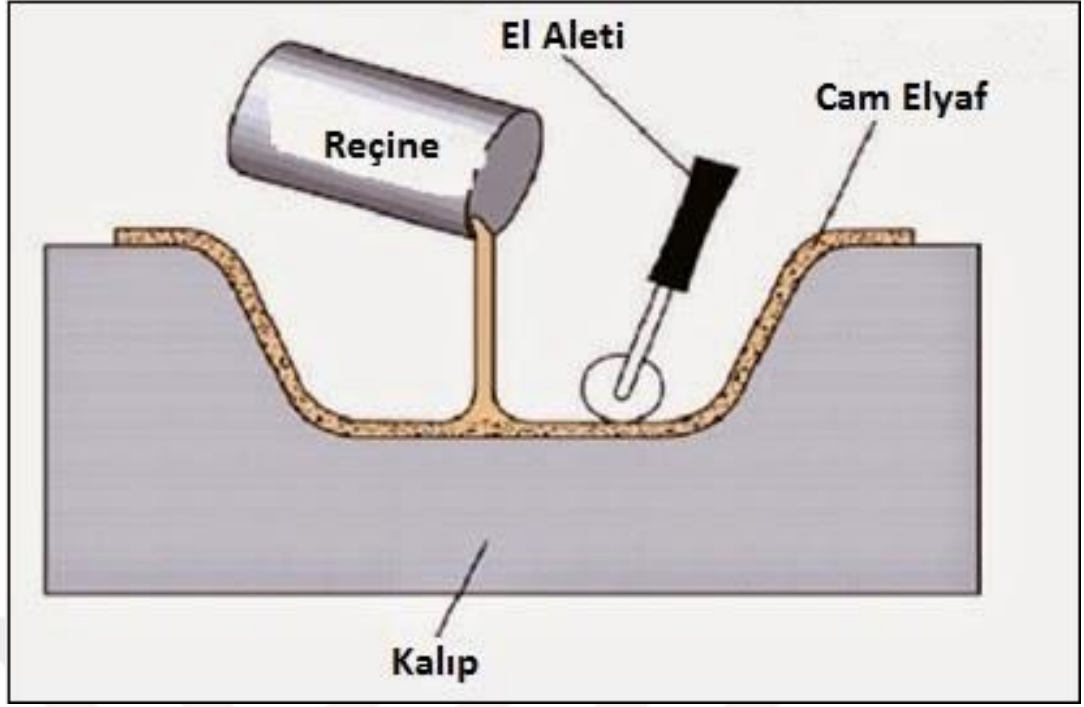
Plastik matrisli kompozitlerin üretimi için birçok yöntem kullanılmaktadır. Malzeme içeriği ve üretilen üründen istenen özelliklere bağlı olarak kullanılacak yöntemin doğru seçilmesi, imal edilecek malzemenin kalitesi ve kullanım kolaylığı açısından

hayati öneme sahiptir. Kompozit üretim yöntemlerinin her birinin avantajlarının yanında çeşitli dezavantajları da bulunmaktadır (Özer, 2015).

Plastik malzemelere elyaf takviyeleri yapılarak belirli özellikleri iyileştirilebilmektedir fakat bütün özelliklerini aynı anda arttırmak mümkün değildir. Kullanılan takviye elemanı ve matris malzeme kadar imalat için tercih edilen yöntem de istenen özelliklerin iyileştirilebilmesi açısından önemlidir. Bu yüzden gerekli yöntemi belirlemek için bu konuda bilgi sahibi olmak ve doğru yöntemi seçmek, doğru özelliklerin iyileştirilmesi ve ürünün kalitesi açısından da çok önemlidir.

1.3.3.1 Elle kalıplama yöntemi

Yüksek sayıdaki seri üretim malzemeler için pek uygun olmayan bu yöntem çok fazla işçilik gerektiren ve seri imalat makinelerinden bağımsız zahmetli bir üretim çeşididir. Eski ve kullanışsız bir yöntem olan fakat hala bazı uygulama alanlarında kendisine yer bulan elle kalıplama yönteminin maliyeti düşüktür fakat tek bir kalıptan 24 saatte 2-3 adet malzeme elde edildiği için üretim hızı çok düşüktür. İşleme başlamada önce, daha önceden ürünün istenen formlarına uygun kalıp hazırlanır. Kompozit malzemenin iki temel bileşeni olan matris ve takviye edici malzemeler önceden hazırlanır. Bu yöntemde matris elemanı olarak genellikle reçineler tercih edilir. Takviye elemanı olarak da cam elyaf tercih edilmektedir. İstenen malzeme kalınlığı önceden belirlenir ve elyaflar el ile kalıp içerisine serilir. Daha sonra reçine malzemesi elyafların üzerine sürülür. Bu işlemi yaparken çeşitli basit el aletlerinden faydalanmak mümkündür fakat genel hatlarıyla insan gücüne dayanan bir üretim yöntemidir. Daha önceden belirlenen kalınlık seviyesine ulaşıncaya kadar yukarıda bahsedilen işlem tekrarlanır. Malzemeye yanmazlık özelliğinin kazandırılması, ağırlığının azaltılması ve kozmetik kaygılardan dolayı görünümün güzelleştirilmesi için farklı katkı maddeleri eklenebilir. Kalıba yatırma işlemine başlamadan önce kalıbın temiz olmasına ve jelkot gibi malzemenin kalıptan ayrılmasını kolaylaştıracak malzemeler kullanılmasına özen gösterilmesi, hem malzeme kalitesi hem de üretim sürecinin sorunsuz olması açısından önemlidir. Gemicilik sektöründe tekne yapımında, otomotiv sektöründe otomobilin bazı dış kaporta malzemelerinin üretiminde ve endüstride kullanılan çeşitli makine parçalarının yapımında bu yöntem tercih edilmektedir. Şekil 1.12’de elle kalıplama yöntemi görülmektedir.



Şekil 1.12: Elle kalıplama yöntemi (URL-1).

1.3.3.2 Püskürtme yöntemi

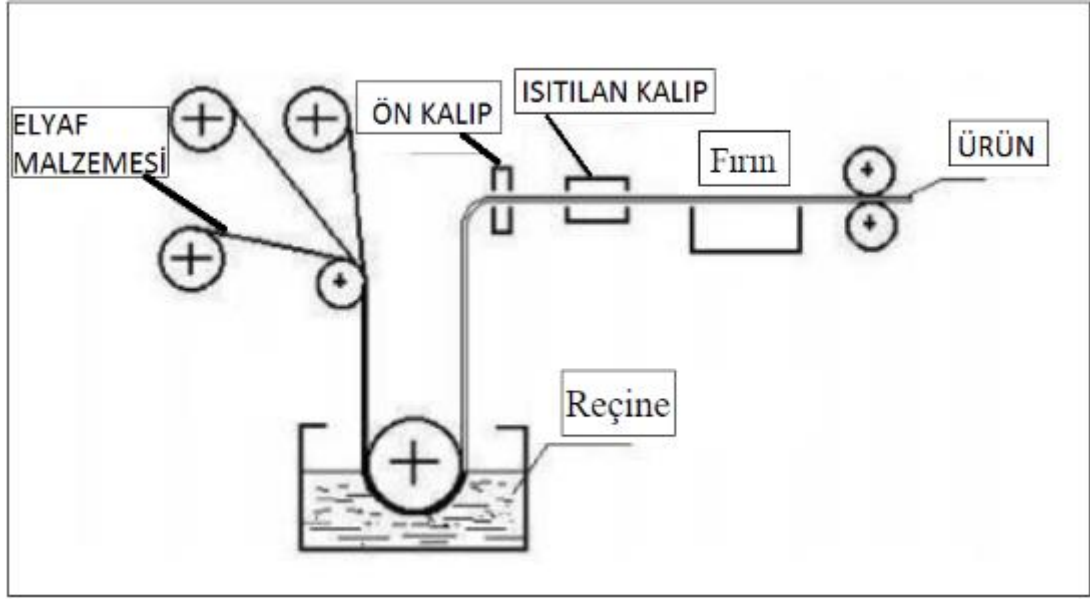
Yukarıda bahsettiğimiz elle yatırma yöntemiyle prensipte aynı özellikleri taşıyan bir yöntemdir. Fakat elle yatırma yönteminin yavaş oluşundan kaynaklı dezavantajları bu yöntemde bulunmamaktadır. Çünkü püskürtme yönteminde, devreye işçilikten ziyade makine gücü girmektedir. Püskürtme işlemi ve elyaf ekleme işlemi için özel makineler kullanılır ve bu malzemelerin ilave edilmesi önceden belirlenen hızlarda ve miktarlarda ayarlanabilir. Bu yöntemde kullanılan elyaf, elle yatırma yöntemindeki gibi tek parça halinde değil aksine uygun boylarda kırılmış haldedir. İçerisindeki hava kabarcıklarının alınması için yine bir fırça yardımıyla işlem gerçekleştirilir. Elle kalıplamanın aksine seri üretilen parçalarda sıklıkla kullanılan bir yöntemdir. Şekil 1.13’de püskürtme yöntemiyle kompozit üretimi görülmektedir.



Şekil 1.13: Püskürtme ile kalıplama yöntemi (Şahin, 2014).

1.3.3.3 Profil çekme yöntemi

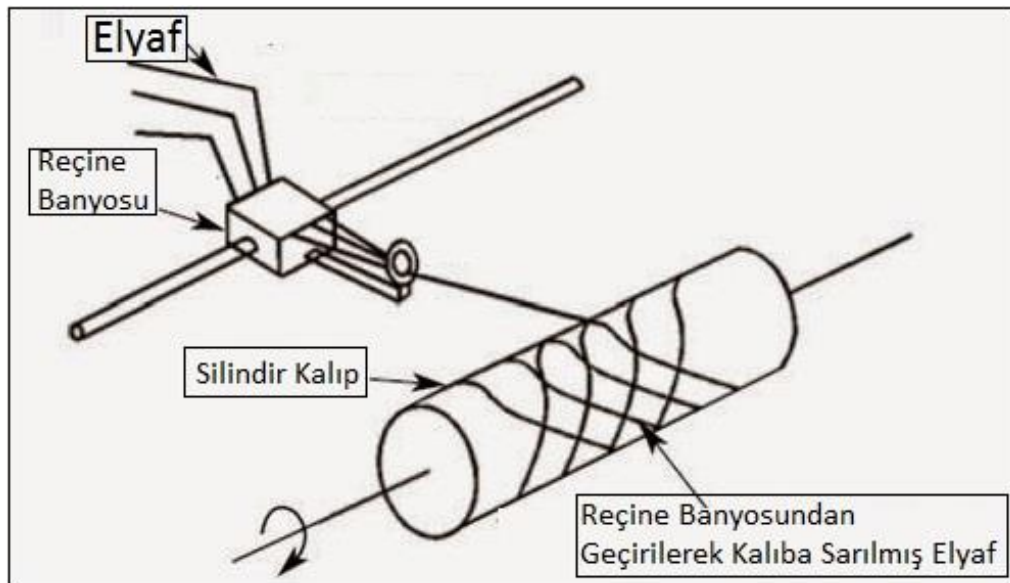
Pulturuzyon yöntemi olarak da adlandırılan profil çekme yöntemi, isminden de anlaşılacağı gibi sürekli olarak çekilen bir hat boyunca üretilen bir profilin kesilmesi prensibine dayanır. Diğer yöntemlerin aksine cam elyaf oranı %60 seviyesine kadar çıkabildiği için çok yüksek mukavemetlere sahip ürünler imal etmek mümkündür. Seri üretim için uygun olan bu yöntemde esasen iki ayrı kalıp kullanılır, bunlardan birincisi ön kalıp ikincisi ise ısıtılan kalıptır. Takviye edici malzemenin önceden hazırlanan reçine ile aynı ortamda birleşmesi sağlanır, daha sonra bir hat boyunca kalıplara gönderilir, ısıtılıp istenilen şekiller verildikten sonra malzeme sertleştirilir ve hattın sonundaki bıçak yardımıyla istenen boyutlarda kesilerek ürünler hazır hale gelir. Hat üretimi otomasyona dayalı olduğu için seri üretime oldukça müsait olan bu yöntemde boru ve çubuk şeklinde profil malzemeler meydana getirmek mümkündür. Şekil 1.14’de profil çekme yönteminin imalat şeması görülmektedir.



Şekil 1.14: Profil çekme yöntemi imalat şeması (Özer, 2015).

1.3.3.4 Elyaf sarma yöntemi

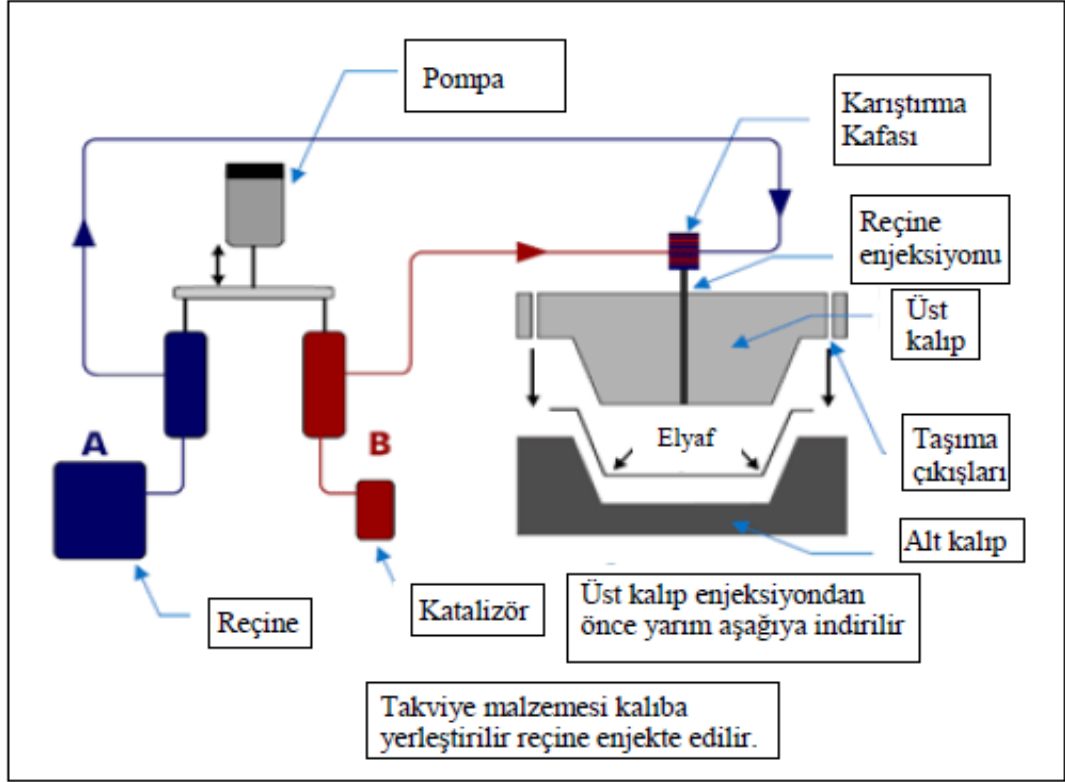
Elyaf sarma yöntemi silindirik şekillerde olan ve sızdırmazlık istenen ürünlerin üretiminde sıklıkla kullanılmaktadır. Bu yöntemde cam elyafı kırılmış değil sonsuz uzunluktadır. Kullanılan kalıp silindir şeklindedir ve sonsuz uzunlukta çekilen elyaf silindir şeklindeki kalıbın etrafına sarılır. Kalıba aktarılmadan önce diğer yöntemlerde olduğu gibi elyaf reçine ile buluşturularak birleşmeleri sağlanır. İstenen kalınlıkta sarım işlemi gerçekleştirildikten sonra ürün sertleştirilerek kalıptan uzaklaştırılır. Şekil 1.15’de elyaf sarma yöntemi verilmiştir.



Şekil 1.15: Elyaf sarma yöntemi (URL-1).

1.3.3.5 Reçine enjeksiyon kalıplama yöntemi

Diğer üretim yöntemlerinde kalıp ve reçineyle kaplanmış elyaflar direkt olarak havayla temas halindeydi ve bu sebeple malzeme içerisinde oluşabilecek hava kabarcıkları son ürünün kalitesini ciddi şekilde etkileyebilmektedir. Reçine enjeksiyon kalıplamada yek pare bir kalıp yerine dişi ve erkek olmak üzere iki kısımdan oluşan kalıplar kullanılmaktadır. Kalıp içerisinde daha önceden hazırlanan takviye elemanı düzgün bir şekilde yerleştirilir ve kalıp kapatılır. Kalıp kapatıldıktan sonra matris malzemesi olarak kullanılan reçine kalıbın tasarımına göre uygun şekilde ayarlanmış enjeksiyon noktasından kalıbın içerisine basılır. Bu süreçte kalıbın içerisine basılan reçinenin kalıbın içerisindeki takviye elemanını sürüklememesine dikkat etmek gerekir. Kalıp açıldıktan sonra ürün hazır halde kalıptan çıkartılır. Şekil 1.16’da reçine enjeksiyon yöntemi imalat şeması verilmiştir.



Şekil 1.16: Reçine enjeksiyon yöntemi imalat şeması (URL-2).

1.3.3.6 Plastik enjeksiyon kalıplama yöntemi

Malzemenin eritilerek istenilen forma dönüştürülmesi esasına dayanan bu yöntemde istenen formdaki parçalar için önceden tasarlanmış kalıplar üretimin gerçekleştirileceği enjeksiyon makinesine bağlanır. Reçine enjeksiyon yönteminin aksine makineye bağlanan kalıbın içerisi boştur. Plastik enjeksiyon makinelerinde

granül adı verilen küçük tanecikli ham maddeler kullanılır. Daha önceden hazırlanan ve içerisine takviye elemanı eklenmiş olan bu granüller enjeksiyon makinesinde eritilir ve kalıbın içerisine enjekte edilerek istenen şekli alması sağlanır. Daha sonra kalıbın içerisinde soğuma işlemi gerçekleştirildikten sonra malzeme kalıptan ayrılır. İlerleyen bölümlerde enjeksiyonla kalıplama yöntemi hakkında ayrıntılı bilgi verilecektir. Şekil 1.17’de plastik enjeksiyon kalıplama makinesi görülmektedir.



Şekil 1.17: Plastik enjeksiyon makinesi (URL-3).

1.3.4 Kompozitlerde kullanılan takviye edici malzemeler

Plastik malzemeler metallere nazaran daha fazla üretim kolaylığı sağlayan bir malzemedir, fakat yük karşısında dayanımları hususunda aynı şeyi söylemek pek mümkün değildir. Plastikler kullanım yerine göre üzerine uygulanan yükler karşısında saf halde yeterli dayanımı gösteremeyebilirler. Bu noktada plastik malzeme içerisine ilave edilecek çeşitli katkı maddeleri plastiklerin dayanımını muazzam derecede arttırabilir. Hatta bazı takviye edilmiş plastik malzemeler metallerle boy ölçüşebilecek düzeyde mekanik özelliklere sahip olabilirler. Bu başlık altında tez çalışmasında kullanacağımız takviye elemanı cam elyafın yanında, karbon elyaflar, bor elyaflar ve aramid elyaflar incelenecektir. Bazı elyaf türlerinin polyamid malzemeye kazandırdığı özellikler çizelge 1.5’de görülmektedir.

Çizelge 1.5: Saf ve elyaf katkılı polyamidin mekanik özellikleri (Kaya, 2005).

Özellikler	Saf Polyamid	Cam Elyaf Katkılı Polyamid	Karbon Elyaf Katkılı Polyamid	Aramid Elyaf Katkılı Polyamid
Yoğunluk (gr/m ³)	1,14	1,19	1,29	1,23
Çekme direnci (MPa)	60	95	100	207
Kopma Uzaması (%)	50	6	5	-
Darbe Direnci (Kj/m ²)	14	6	14	-

Takviye elemanları polimer malzemeye yüksek dayanım, iyi termal özellikler, boyutsal kararlılık ve bazı kozmetik özellikler kazandırabilmektedir. Güçlendirilmiş plastiklerin dışarıdan uygulanan kuvvete gösterdikleri muazzam dayanım aslında matris malzemenin kuvveti, takviye edici malzemeye iletmesi sonucu ortaya çıkmaktadır.

Kompozit malzeme üretiminde takviye elemanı olarak kullanılan ve en çok bilinen elyaf türleri şunlardır;

1. Cam elyafı
2. Karbon elyafı
3. Aramid elyafı
4. Bor elyafı
5. Oksit elyafı
6. Yüksek yoğunluklu polietilen elyafı
7. Poliamid elyafı
8. Polyester elyafı
9. Doğal organik elyaflar (Karadeniz, 2006).

Katkı maddesi olarak kullanılan ve yukarıda listelenen elyaflar içerisinde en fazla tercih edilenler; cam, karbon, aramid ve bor elyaflarıdır.

1.3.4.1 Cam elyaf

Plastikler için en çok kullanılan takviye elemanı olmakla beraber cam elyafı küçük parçalara ayrılarak polimer matris içerisine karıştırıldığından ötürü malzeme içerisinde homojen bir dağılım gösterir ve mükemmel derecede plastikleri takviye etmektedir. Cam elyaflar polimer malzemenin darbe dayanımını ve ısıl özelliklerini iyileştirmelerinin yanında basınç altında kırılman olmalarından ötürü işleme

kolaylığı da sağlarlar. Avantajlarının yanında düşük elastiklik modülü ve düşük yorulma dayanımı gibi dezavantajları da bulunmaktadır. Ayrıca matrise kolay yapışan bir takviye elemanı olmadığı için silan gibi matris ve takviye edici malzeme arasında iyi yapışma özelliği sağlayan bazı maddeler kullanılabilir. Cam elyafın A, C, E ve S olmak üzere 4 çeşidi bulunmaktadır. Bazı cam elyaf türlerinin mekanik özelliklerinin karşılaştırılması çizelge 1.6’da gösterilmiştir.

Çizelge 1.6: Bazı cam elyaf türlerinin mekanik özellikleri (Saylan, 2010).

Özellikler	CAM TİPİ			
	E CAMI	S CAMI	A CAMI	C CAMI
Özgül Ağırlık (g/cm ³)	2,54	2,49	2,49	2,49
Çekme Mukavemeti (20 °C) (GPa)	3,5	4,65	4,65	2,8
Elastisite Modülü (20 °C) (GPa)	73,5	86,5	86,5	70
Kopma Uzaması (20 °C) (%)	4,5	5,3	5,3	4

Takviye elemanı olarak en fazla tercih edilen cam elyaf türü S ve E tipi cam elyaflardır. 2,5 µm ve 20 µm arasında değişen çaplarda, sürekli ve süreksiz olmak üzere birçok şekilde üretimi gerçekleştirilebilen cam elyaflar piyasaya fitil, yarı fitil, bükülmüş iplik, keçe ve dokuma şeklinde sunulabilirler. Şekil 1.18’de cam elyafı verilmiştir.



Şekil 1.18: Cam elyafı (URL-4).

E tipi cam elyafı

Piyasada en çok kullanılan ve en rahat bulunabilecek olan cam elyaf tipi olan E camı, nem absorbe etme özelliği yüksek matrislerle beraber tercih edilir çünkü nem çekme özelliğini ciddi derecede düşürmektedir. Bunların yanında elektrik yalıtım özelliği en yüksek olan cam elyaf türüdür.

S tipi cam elyaf

İlave edildiği malzemeye yüksek oranda bir ısı direnç kazandırabilen S camı, dayanım bakımından E camı ile kıyaslandığında %30 oranında daha üstündür. Üstün özelliklerinin yanında fiyatı da bir hayli yüksek olan bu malzemeler daha çok havacılık ve uzay sanayisinde kullanılmaktadırlar.

C tipi cam elyaf

Takviye ettiği matris malzemeye yüksek kimyasal dayanım sağlarlar.

A tipi cam elyafı

E camının aksine elektrik yalıtım özelliği oldukça düşük olan A tipi cam elyafının, kimyasal korozyonlara karşı dayanımının yüksek olması en çok kullanılan cam elyaf türleri arasında yer almasını sağlamıştır.

1.3.4.2 Bor elyaf

Elyaf türleri içerisinde maliyeti en yüksek olan elyaf türüdür. Çok üstün mekanik özelliklere sahiptir. Örneğin, cam elyaflarda bir dezavantaj olarak sayabileceğimiz elastisite modülü bor elyaflarda çok yüksektir. Bunun yanında çekme dayanımı da çok iyidir. Her ne kadar teknik açıdan çok üstün bir malzeme olsa da pahalı olduğu için düşük maliyetli imalat yöntemlerinde tercih edilmemektedir. Çoğunlukla metal matrislere takviye elemanı olarak eklenen bor elyafların yüksek maliyetleri kullanım alanlarını çok fazla sınırlandırmış olsa da uçak sanayisinde çok sık kullanılmaktadır. Şekil 1.19'da görülen F-16 savaş uçaklarının yatay ve dikey kuyruklarının dış yüzeyleri bor elyaf katkılı malzemeden üretilmiştir (URL-5).



Şekil 1.19: F-16 savaş uçağı (URL-5).

1.3.4.3 Karbon elyaf

Karbon elyafı genellikle iki malzemeden elde edilir;

1. Zift
2. Pan (poliakrilonitril) (Tümer, 2013).

Maliyeti çok yüksek olan bu elyaf türü ağırlık bakımından çelik malzemeye karşılaştırıldığında, çok hafif olmasına rağmen mekanik özellikleri çelikten çok daha üstün malzemelerdir. Maliyetinin yüksek olmasından dolayı kullanım alanı bor elyafı olduğu gibi çok sınırlıdır. Havacılık sektörü, spor malzemeleri yapımı ve tıbbi malzemelerin yapımı gibi alanlarda kullanılırlar.

1.3.4.4 Aramid elyaf

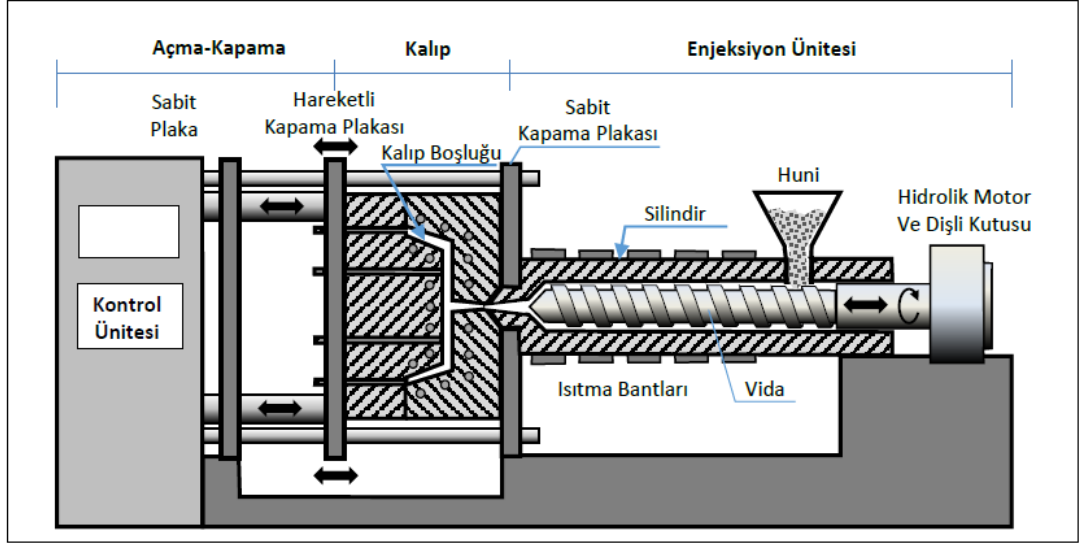
Aromatik kelimesinin ilk hecesi ve polyamid kelimesinin son hecesinin birleştirilmesiyle türetilmiş aramid kelimesi bu iki kelimenin kısaltılmış halidir. Çok üstün mekanik özelliklere sahip olan aramid elyaflar, hafif, çekme dayanımı yüksek ve ucuzdur. Kimyasal maddelere karşı dayanımları iyi sayılır ancak asitlere karşı dayanımları düşüktür. Çoğunlukla plastik bazlı matrislere takviye edici malzeme olarak tercih edilen ve aynı zamanda kevlar fiber olarak da bilinen aramid elyafları, koruyucu malzeme yapımında çok fazla kullanılmaktadır. Motorsiklet kullanıcıları için üretilen koruyucu özelliği yüksek giysiler, hava araçlarının gövde parçaları, tekne gövdesi, kursun geçirmez özelliğe sahip yeleklerin yapımı gibi uygulama alanları bulunmaktadır. Şekil 1.20’de aramid elyaf takviyeli kompozitten imal edilmiş bir kurşun geçirmez yelek görülmektedir.



Şekil 1.20: Aramid elyaftan üretilmiş bir kurşun geçirmez yelek (URL-6).

1.4 Plastik Enjeksiyonla Kalıplama Yöntemi

Ağırlık bakımından diğer malzemelere oranla avantajlı ve geri dönüşüm prosesi oldukça basit olan termoplastiklerin üretimini gerçekleştirmek amacıyla en çok başvurulan imalat yöntemi plastik enjeksiyonla kalıplama yöntemidir. Plastik enjeksiyon işleminde temel prensip hammaddeyi erime sıcaklığı seviyesinde ısıtıp eriyik hale getirmek ve istenen baskı şeklinde tasarlanarak üretilmiş kalıba gönderip kalıbın içerisinde şekil almasını sağladıktan sonra soğutarak sertleşmesini sağlamaktır. Şu an piyasada bulunan bütün polimer malzemeler bu yöntem vasıtasıyla şekillendirilerek üretilebilmektedir. Plastik enjeksiyonla kalıplama yönteminin en büyük avantajı diğer üretim yöntemleriyle imalatı mümkün olmayan kompleks şekilli malzemeleri tek bir aşamada şekillendirebiliyor olmamızdır. Bunun yanında seri imalata da uygun bir işlemdir. Şekil 1.21’de bir plastik enjeksiyon makinesinin kısımları gösterilmiştir.



Şekil 1.21: Plastik enjeksiyon makinesinin kısımları (Yakut, 2014).

Plastik hammaddeler genel olarak toz ve granül olmak üzere iki formda bulunurlar. Plastik enjeksiyon makinesine hammadde girişi yaparken malzemenin bu iki formdan birisine sahip olması gerekmektedir. Hammadde seçimi, üretimi yapılacak ürünün tasarımına, kullanım yerine ve üründen beklenen performansa göre belirlenmelidir. Plastik enjeksiyon makinelerini gruplandırırken baskı kuvvet kapasitesi ve basılan ürün miktarı gibi özelliklerini göz önünde bulundurmanız gerekmektedir. Genel olarak plastik enjeksiyon makineleri 10 ile 5000 ton civarında farklılık gösteren baskı kuvvetlerine ve 5 gr ile 500000 gr aralığında malzeme basma kapasitesine sahip olabilmektedir. Bu yöntem ile çok çeşitli geometrilerdeki parçaları seri bir şekilde üretebilir, düşük işçilik maliyeti sağlayabilir, seri üretimi gerçekleşen parçayı hızlı bir şekilde imal edebilir ve sahip olduğu yapıdan dolayı otomasyon sistemine entegre bir şekilde çalışılabilir. Plastik enjeksiyon yöntemi, avantajları çok fazla olan bir yöntemdir fakat mevcut piyasa koşullarında kullanımı kolay olduğu için yaygın olarak uygulanmaktadır ve üründen elde edilebilecek kar oranı oldukça düşüktür. Kar oranının düşük olmasına bağlı olarak piyasayla rekabet edilebilirliği arttırmak için çalışma süresi de vardiya şeklinde sürekli devam ettirilmeli ve makinenin sürekli çalıştırılması gerekmektedir. İmalatı istenen ürünün yapısı ne kadar karmaşık olursa, enjeksiyon cihazına bağlanacak kalıbın da maliyeti o seviyede fazla olacaktır. Bunların yanında eğer çok iyi baskı kalitesi isteniyorsa makine operatörlerinin de enjeksiyon prosesine tamamen hakim olması yani bu konuda tamamen kalifiye olması gerekmektedir.

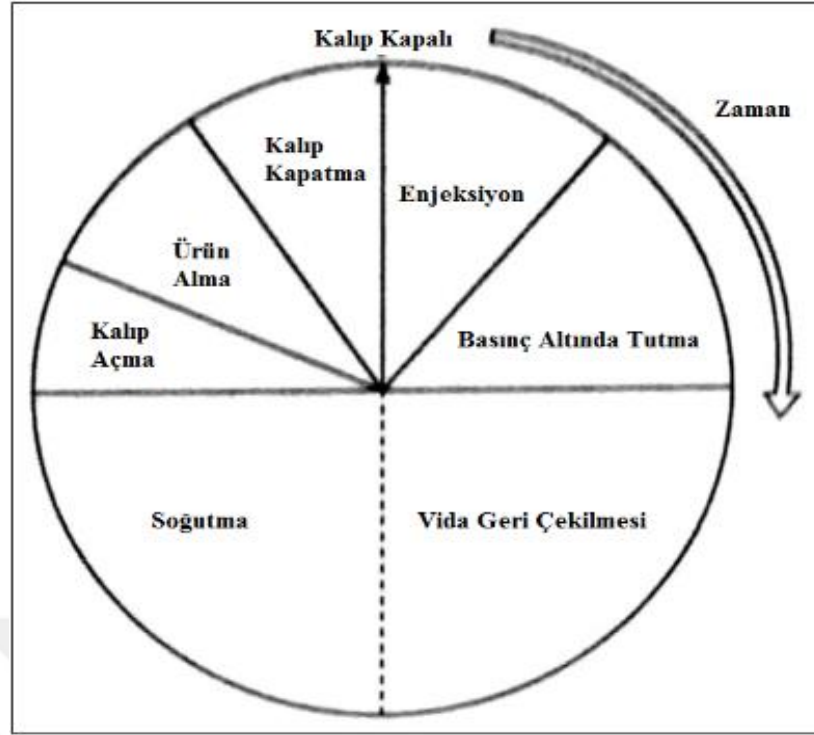
Enjeksiyon makinesi belirli kısımlara ayrılmıştır. Bu kısımlar, enjeksiyon ünitesi, açma kapama ünitesi, kontrol ünitesi, tahrik sistemi, kalıp ve kalıp elemanlarıdır (Yakut, 2014). Enjeksiyon işlemi sırasında kullanılan malzeme seçimi kadar sıcaklık değerlerinin iyi ayarlanması da büyük bir önem arz etmektedir. Çizelge 1.7’de bazı plastik malzemelerin optimum enjeksiyon sıcaklık değerleri verilmiştir.

Çizelge 1.7: Bazı optimum enjeksiyon sıcaklıkları (Akkurt, 2007).

Malzeme	Sıcaklık Değeri (°C)
Polistiren	163–260
Darbeye Dayanıklı Polistiren	177–316
SAN	191–270
ABS	193–280
Polipropilen	204–288
AY ve OY Polipropilen	149–260
YY polipropilen	240–816

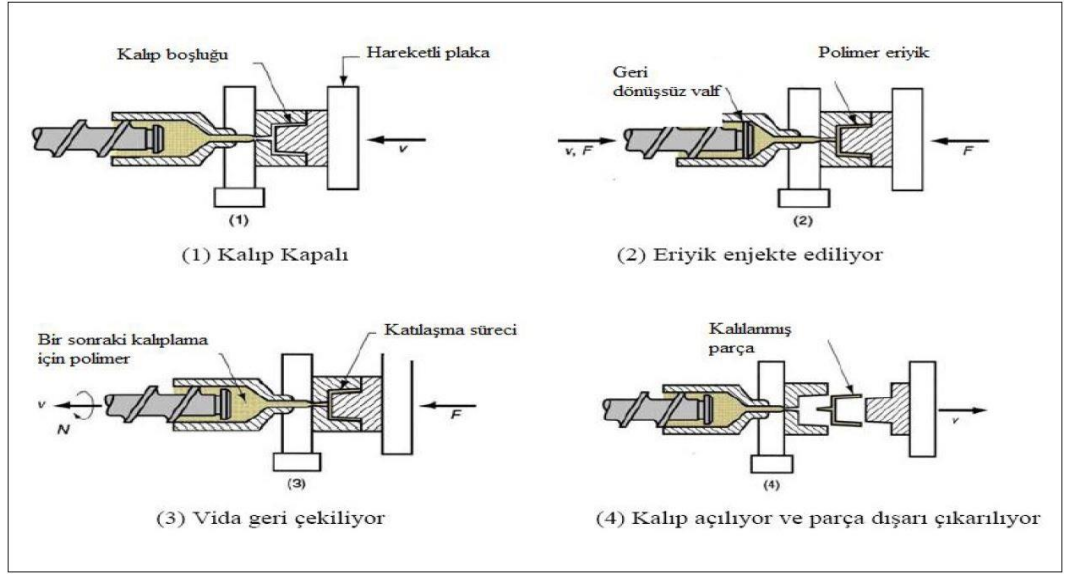
1.4.1 Plastik enjeksiyon işleminin safhaları ve çevrim süreleri

Enjeksiyon süreci, hammaddenin huniye dökülmesiyle başlayıp, silindir bölgesinde ısıtıcı bantlar vasıtasıyla ısıtılarak eriyik hale getirilmesi ve kalıp boşluğuna gönderilmesiyle devam eden ardından ürünün soğutularak kalıptan çıkarılmasıyla son bulan bir süreçtir. Bu süreci temel hatlarıyla dört bölüme ayırmak mümkündür. Bu aşamalar; malzemenin eritilmesi, eriyik malzemenin kalıba gönderilmesi, kalıplanmış malzemenin soğutulması ve kalıbın açılması şeklinde sıralanabilir. Plastik enjeksiyon safhalarının yaklaşık olarak işlem süreleri şekil 1.22’de verilmiştir.



Şekil 1.22: Plastik enjeksiyon safhalarının yaklaşık süreleri (Saçak, 2005).

Erime safhasında huni tarafından gönderilen malzeme silindir içerisindeki vida yardımıyla ileri doğru gönderilir. Bazı enjeksiyon makinelerinde vida yerine piston kullanıldığı da görülmektedir. Silindirde homojen bir şekilde akışı gerçekleşen malzeme, silindir etrafında bulunan ısıtıcı bantlar yardımıyla eriyik hale gelir. Bu kısma kadar ekstrüzyon makineleriyle enjeksiyon makinelerinde işleyen süreç aynıdır fakat ekstrüzyon makinelerinden farklı olarak enjeksiyon makinelerinde eriyik plastik silindirin sonunda kapalı kalıbın içerisinde toplanır. Kalıbın içerisi tamamen dolduktan sonra kalan boşlukları tamamlamak için önceden ayarlanan ütüleme süresi boyunca vida tekrardan kalıba malzeme basar ve sonrasında geri çekilerek bir sonraki kalıplama işlemi için hazır hale getirilir. Şekil 1.23’de plastik enjeksiyon işleminin aşamaları görsel olarak verilmiştir.



Şekil 1.23: Plastik enjeksiyon işleminin safhaları (Turaçlı, 2003).

Enjeksiyon işlemine başlamadan önce makine üzerinde bir takım parametreler ayarlanmalıdır. Bu parametreleri ayarlarken kullanılan malzemenin türü ve kalıplanacak ürünün özellikleri göz önünde bulundurulmalıdır. Malzemenin eriyik hale gelmesini sağlayan kovan sıcaklıkları, meme sıcaklığı, soğuma için beklenecek süre, ütüleme için beklenecek süre ve enjeksiyon basıncı bu parametrelere örnek olarak verilebilir. Şekil 1.24’de örnek bir enjeksiyon makinesinin parametre giriş ekranı verilmiştir.

TAKİP MENÜ													
TARİH VE SAAT		16 08 2017 ÇARŞAMBA				10 48 35							
ÇALIŞMA KONUMU		EL KONUMU											
YAPILAN HAREKET, DURUM													
SON HATA		102-ARKA KAPI AÇIK											
AKTİF KALIP		DENEME_											
CETVEL VE BASINÇ OKUYUCULARININ DEĞERLERİ													
MENGENE	ENJEKSİYON	İTİCİ	GRUP										
00002	00037	00003	00156										
ORANSAL VALFLERİNİN DEĞERLERİ													
SİSTEM Q	SİSTEM P	MAL SIKIŞTIRMA											
000	000	000											
ÇEVİRİM ŞÜRELERİ													
ÇEVİRİM	SON ÇEVİRİM	KALP KORUMA	MENG KAPAMA	SOĞUMA Z									
000.0	025.2	000.0	002.2	000.0									
İSİTİCİLER						AÇIK							
MEME	1.BÖLGE	2.BÖLGE	3.BÖLGE	4.BÖLGE	5.BÖLGE	6.BÖLGE	7.BÖLGE	8.BÖLGE	H. YAĞ				
SET °C	030	225	215	205	000	060	000	000	000				
AKTİF °C		222	214	201	499	028	000	000	000	028			
YAPILACAK BASKI SAYISI				0000000000				YAPILAN BASKI SAYISI				000001190	
MAL ALMA : DEVİR/DAKİKA				000									

Şekil 1.24: Plastik enjeksiyon makinesi parametre giriş ekranı.

1.4.1.1 Doldurma zamanı

Dişi kısım ve erkek kısım arasında kalan kalıp boşluğunun eriyik hale getirilmiş polimer malzeme ile tamamen dolu hale gelmesi için gerekli olan zamandır.

1.4.1.2 Ütöleme zamanı

İlk aşamada kalıp boşluğunun tamamen dolması sağlanamaz. Kalıp boşluğunu eksiksiz doldurmak için kalıp boşluğuna belirli bir basınçta tekrar mal gönderilir ve kalıp boşluğunun eksiksiz bir şekilde eriyik polimerle doldurulması sağlanır. Bu işlem için geçen zamana ütöleme zamanı denir.

1.4.1.3 Tutma zamanı

Plastik enjeksiyon makinesinde seri üretimi yapılan tek bir parçanın aynı kalıptan çıkan bütün örneklerinin aynı ağırlıkta olması beklenir. Ağırlık konusunda istikrarı sağlamak için de sabit parametrelerde çalışmak esastır. Tutma zamanı, eriyik polimer malzeme kalıp boşluğu içerisine tamamen doldurulduktan sonra daha önceden belirlenmiş basınç altında yolluk içerisindeki eriyik donana kadar geçen zamandır. Malzemede çekmeden kaynaklanacak hataları azaltmak için bu sürecin iyi yönetilmesi gerekmektedir. Aynı zamanda tutma zamanını sabit kılmak imal edilecek ürünlerin ağırlıklarının sabit olmasını sağlayacaktır.

1.4.1.4 Soğutma zamanı

Kalıp boşluğuna gönderilen polimer malzemenin katılaşıp nihai ürünün oluştuğu süredir. Soğuma sürelerinin çeşitli hesaplama yöntemleriyle malzemenin türü ve ürün tasarımını da göz önünde bulundurarak çok iyi hesaplanması gerekmektedir.

1.4.1.5 Kalıp açma, ürün alma ve kalıp kapatma zamanı

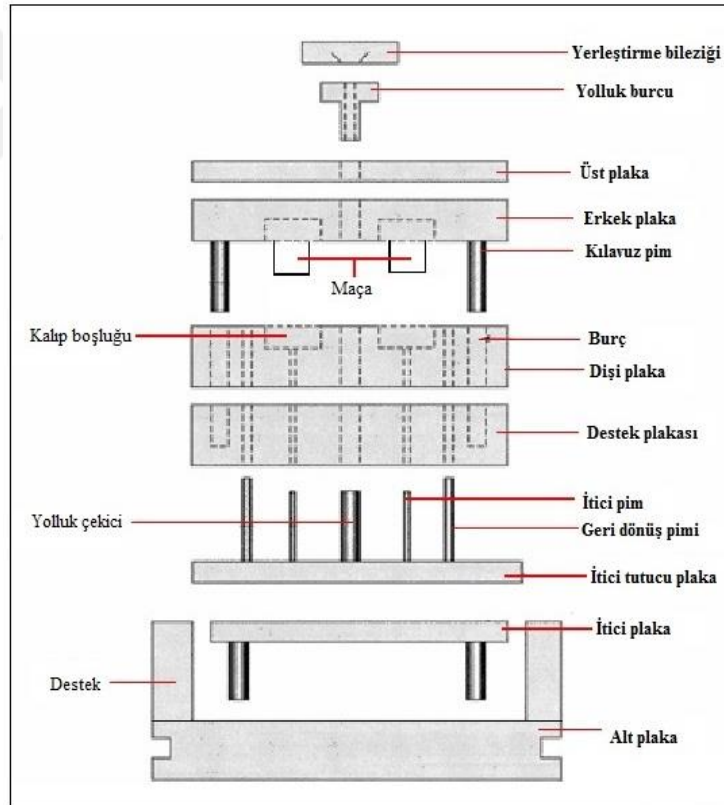
Kalıbın açılıp itici elemanlar vasıtasıyla ürünün kalıp dışına çıkartılıp kalıbın tekrar kapatıldığı zaman dilimi olarak tanımlanabilir. Rijit ve standart ürünler elde edebilmek için zamanın iyi ayarlanması ve sabit tutulması şarttır.

1.4.2 Plastik enjeksiyon kalıbı

Plastik enjeksiyon makinesinde bir ürün imal edebilmek için öncelikle istenilen ürünün tasarımına uygun bir plastik enjeksiyon kalıbı üretilmelidir. Genel olarak plastik enjeksiyon işleminde kullanılacak kalıplar iki kısımdan (dişi ve erkek kısım)

oluşmaktadır. Bu iki kısım birbirine kenetlendiğinde aralarında kalan boşluk imal edilecek parçanın formundadır. Bu boşluğa enjekte edilen eriyik malzemeden, istenilen ürün imal edilmiş olur. Eriyik plastiğin kalıp içerisinde soğuyarak katılaşması bazı durumlarda kendiliğinden olur ama genellikle kalıbın içerisinde bulunan soğutucu sistem vasıtasıyla bu süreç yönetilir. Kalıbın soğutma sistemi kalıp içerisindeki eriyik akışkanı homojen bir şekilde soğutacak biçimde tasarlanmış olmalıdır. Şekil 1.25’de plastik enjeksiyon kalıbı elemanları görülmektedir. Kabaca bir enjeksiyon kalıbının bölümlerini şöyle sıralayabiliriz;

1. Dişi kısım
2. Erkek kısım
3. Soğutma sistemi
4. Yolluk
5. İtici sistem ve pimler.



Şekil 1.25: Plastik enjeksiyon kalıbı elemanları.

1.4.2.1 Erkek kısım

Aynı zamanda hareketli kısım olarak da adlandırabileceğimiz erkek kısım itici sistemle aynı tarafta yer alması gerektiği için kalıbın hareketli kısmını oluşturur.

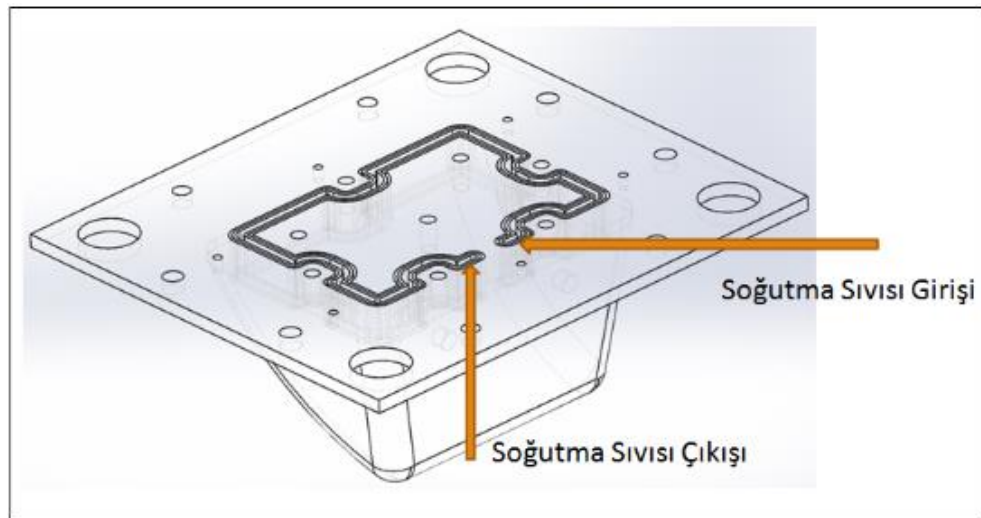
Enjeksiyon işleminin son safhası olan kalıp açma işleminden önce ürün soğuyup katılaştığında erkek kısım üzerinde kalır. Kalıp açıldıktan sonra erkek kısım üzerinde kalan ürün itici sistem vasıtasıyla alınır.

1.4.2.2 Dişi kısım

Erkek kısmın aksine dişi kısım kalıp üzerinde sabit bir şekilde enjeksiyon ünitesinin olduğu taraf da konumlandırılır. Kalıba ürün girişinin sağlandığı yolluk sistemi dişi kısım üzerinde yer alır.

1.4.2.3 Soğutma sistemi

Enjeksiyon kalıplama işlemi sırasında kalıp elemanlarının ısısal değerleri olabildiğince sabit düzeyde tutulması gerekmektedir. Kalıp içerisine açılacak soğutma kanalları sayesinde enjeksiyon kalıbının ısısal değeri istenen düzeyde tutulabilir ve kalıp içerisindeki eriyik akışkanın homojen bir şekilde soğutulularak sertleşmesi sağlanır. Kalıp yüzey sıcaklıkları istenen düzeyde ayarlanamazsa imal edilen parçalar üzerinde çarpılmalar meydana gelebilir. Bazı kompleks olmayan parça imalatlarında soğutma kanallarına ihtiyaç duyulmaz fakat parça üzerindeki detaylar arttıkça soğutma kanalı ihtiyacı da aynı düzeyde artacaktır. Bu işlem üretilecek ürünün kalitesini ciddi şekilde etkilemektedir. Soğutma kanalları imal edilen parçanın şekline göre belirli kurallar çerçevesinde oluşturulmalıdır. Soğutma kanallarının kalıp boşluğuna olan uzaklıklarının azalması, sıcaklık profilinin daha homojen olmasını sağlar (Akyüz, 1998). Şekil 1.26’da örnek bir plastik enjeksiyon kalıbında bulunan soğutma sistemi verilmiştir.



Şekil 1.26: Plastik enjeksiyon kalıbı soğutma sistemi.

1.4.2.4 Yolluk

Yolluk sistemi ergimiş reçinenin enjeksiyon makinesinin memesinden kalıp içerisinde bulunan boşluklara dağıtılmasını sağlayan bir kanallar sistemidir (Kocabaş, 2014). Enjeksiyon sürecinde malzemeler kalıp boşluğuna girmeden önce yolluk sisteminden geçerler. Sıcak ve soğuk olmak üzere iki çeşidi bulunmaktadır. Genel olarak termoset malzemelerin enjeksiyon işleminde kullanılan soğuk yolluk sisteminde kalıp sıcaklığından eriyik akışkanın sıcaklığının kalıp sıcaklığından daha düşük bir seviyede olması istenir. Eriyik plastik malzemede enjeksiyon işlemi boyunca ısı kaybının yaşanmasının istenmediği durumlarda ise sıcak yolluk sistemleri kullanılır. Sıcak yolluk sisteminde, malzemenin akışını sağlayan yollar elektrikli rezidans sistemi aracılığıyla istenen seviyede ısıtılır ve eriyik akışkanın sıcaklığı istenen düzeyde tutularak kalıba girmesi sağlanır.

1.4.2.5 İtici sistem ve pimler

İtici pimler, kalıp üzerindeki itici tutucu plakaya bağlı olan ve enjeksiyon çevirimi tamamlandıktan sonra ürün kalıptan çıkartılmaya hazır olduğunda devreye girerek ürünü kalıp dışarısına iten elemanlardır. Tasarımı gerçekleştirilen ürünün geometrisine bağlı olarak kalıp üzerindeki yerleşimleri çapları ve uzunlukları değişiklik gösterir.

1.4.3 Plastik enjeksiyon kalıbı tasarım ilkeleri

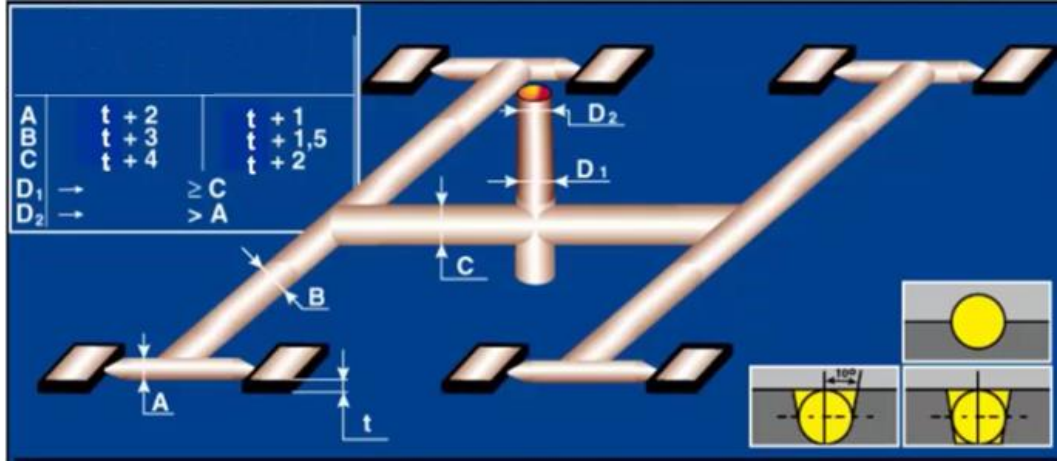
Enjeksiyon sürecinde iyi bir ürün almak için enjeksiyon prosesinin iyi yönetilmesi çok önemlidir fakat iyi bir enjeksiyon kalıbı tasarımı yapılması da enjeksiyon süreci kadar önem taşımaktadır. Enjeksiyon kalıbı tasarlamadan önce de kalıpta şekillendirilecek ürünün tasarlanması gerekmektedir. Ürünün tasarımına göre enjeksiyon kalıbının tasarımı şekillendirilir. Plastik enjeksiyon yöntemiyle imal edilen ürünlerde çarpılma ve çekme gibi durumlarla karşılaşmak istenmez. Çekme oranını en aza indirmek için kullanılan malzemenin kimyasal yapısı ve çekme miktarı konusunda iyi bilgi sahibi olunması gerekmektedir. Çekme miktarı bilinen malzemenin ürün tasarımı yapılırken bu çekme miktarları göz önünde bulundurulmalıdır. Çizelge 1.8’de bazı plastik malzemeler için çekme değerleri verilmiştir.

Çizelge 1.8: Bazı plastik malzemeler için çekme değerleri.

Malzeme	Çekme Miktarı (%)
Polyamid 6 (PA 6)	1–1,5
Polipropilen (PP)	1,5–3
Poli Vinil Klorür (PVC)	1–3

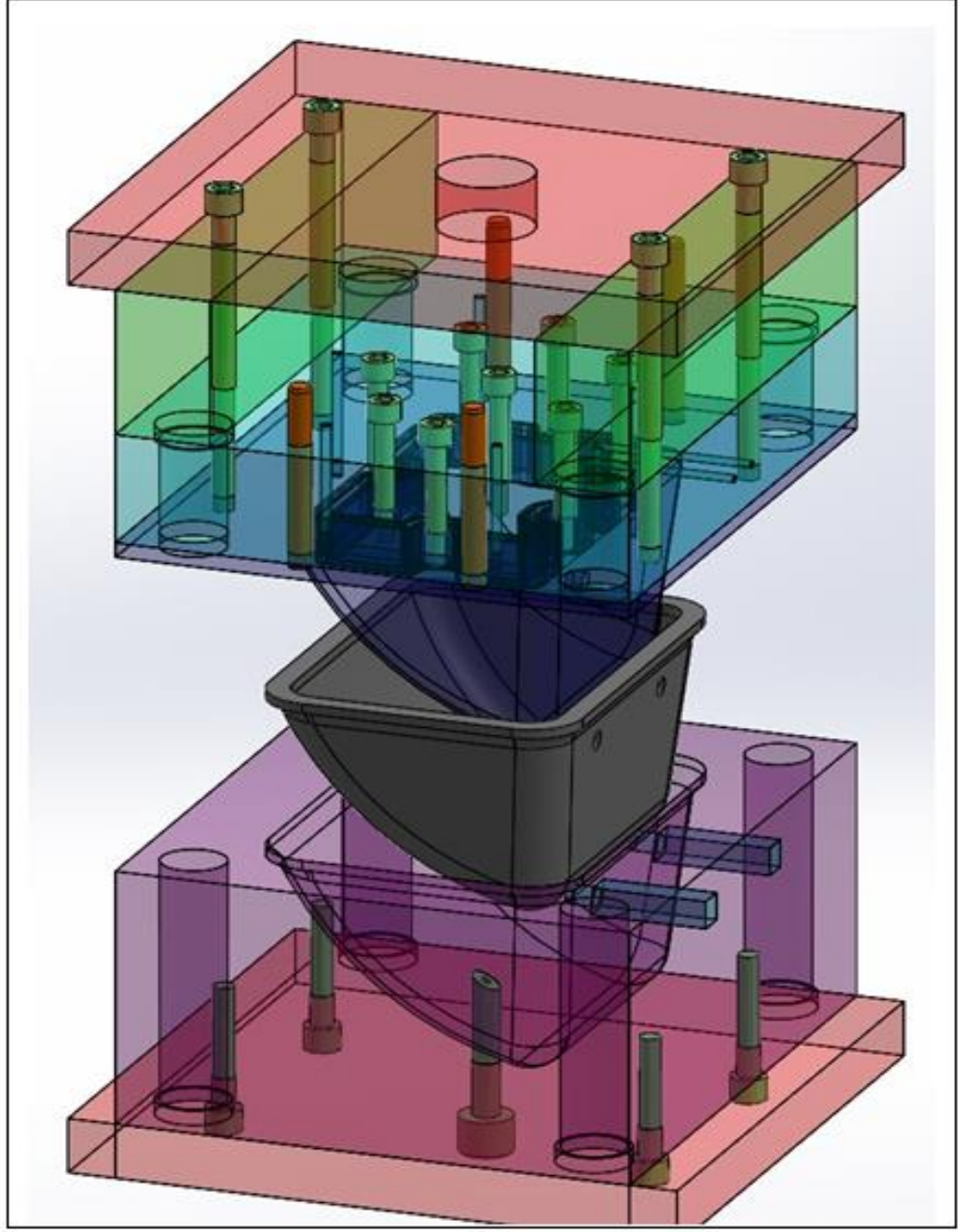
Plastik enjeksiyon kalıbı tasarımında dikkat edilmesi gereken hususlar şöyle sıralanabilir;

1. Enjeksiyon Makinesi: Enjeksiyon makineleri özellik açısından tek bir standarda sahip değildir. Bu sebeple imalatı yapılacak kalıbın hangi enjeksiyon makinesinde kullanılacağı göz önünde bulundurulmalıdır
2. Kalıp Konstrüksiyonu: Kalıp konstrüksiyonu, imal edilecek ürünün geometrisine, üründe bulunan boşluklara, yollukların durumuna, kalıbın havalandırma şartlarına bağlıdır
3. Yolluk Sistemleri: Yollukların uygun şekilde tasarımının gerçekleştirilmesi kalıp konstrüksiyonu için oldukça önemlidir. Yolluklar tasarımı gerçekleştirilirken uzunluklarına dikkat edilmeli ve olabildiğince düşük tutulmalıdır (Akkurt, 2007). Şekil 1.27’de yolluk tasarımı yapılırken dikkat edilmesi gereken temel ölçüler verilmiştir
4. Soğutma Sistemi: Isıtılan ve doğal soğutulmaya bırakılan bir cismin soğuma zamanı A/G oranına bağlıdır. A cismin dış yüzeyi, G ağırlıktır (Akkurt, 2007). Eriyik akışkanın kalıp içerisinde kendiliğinden soğumaya bırakılması tahmin edilebileceği gibi gereğinden uzun bir zaman alabilir. Hem bu süreyi kısaltmak hem de soğuma süresi konusunda belirli bir standardı yakalamak için tasarımcı tarafından kalıp içerisine soğutma kanalları eklenebilir. Bu sistem sayesinde kalıp içerisindeki parça homojen bir şekilde katılaşma sağlayacağı için parçanın kalitesi oldukça yüksek olur
5. Parça Çıkartma Sistemleri: Boyutu ve kalıp içerisindeki konumu parça tasarımına bağlı olan parça çıkartma sistemleri, pimli, burçlu, plakalı ve havalı şekilde tasarlanabilmektedir.



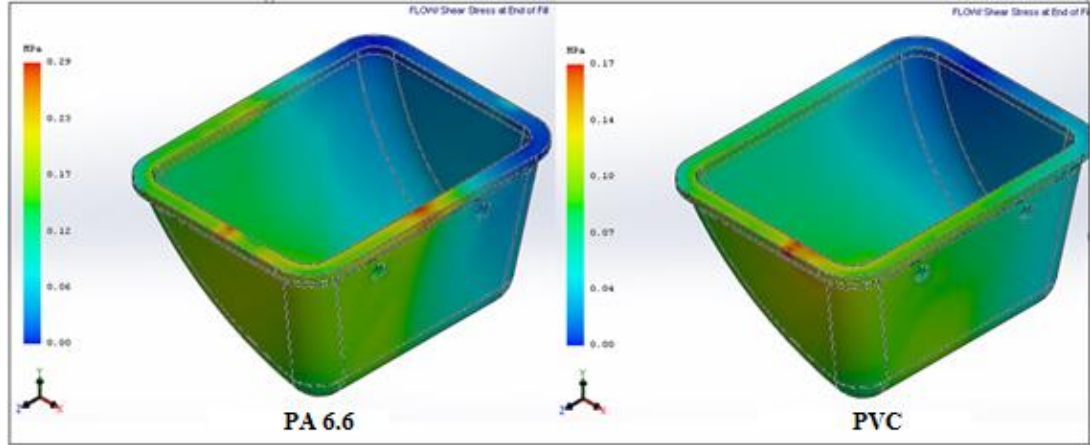
Şekil 1.27: Yolluk girişi tasarımındaki temel ölçüler.

Kalıp tasarımına başlamadan önce, imalatı gerçekleştirilecek parçanın kalıplama işlemi için uyumluluğu kontrol edilmelidir. Ardından kalıp tasarımı için gerekli ölçüler belirlenmelidir. Kapandıklarında, arasında kalan boşlukta ürünün oluşturulacağı dişi ve erkek kısımları, varsa maça elemanları oluşturulmalı. Üründen istenen özellikler ve kullanılan malzemelere göre tasarlanacak yolluklar belirlenmeli. Son olarak ihtiyaç duyulması halinde soğutma sistemi uygun bir şekilde tasarlanmalı. Plastik enjeksiyon kalıbı bilgisayar ortamında bazı üç boyutlu katı modelleme programları kullanılarak yapılabilir. Bunlar, CAD (Computer Aided Design) programları olarak adlandırılır. Bu programlar kalıbı imal etmeden önce bilgisayar ortamında, oluşabilecek olası hataları görme ve bunları düzeltme şansı vermektedir. CAD programları içerisinde en çok kullanılanı solidworks isimli 3 boyutlu katı modelleme programıdır. Solidworks, içerisinde bulunan kalıp araçları modülü sayesinde kullanıcılara kalıp setini oluşturmak için kolaylıklar sunmaktadır. Bunun yanında solidworks içerisine entegre edilmiş plastics modülü sayesinde de kullanımı kolay bir kalıp simülasyonu aracı sunmaktadır. Şekil 1.28’de solidworks kalıp araçları modülü kullanılarak tasarlanmış bir kalıp seti görülmektedir.



Şekil 1.28: Solidworks’de tasarlanmış bir kalıp seti.

Solidworks plastics ile kalıp için tasarlanan parçanın akış analizi, dolum analizi, basınç kaybı, dolum sonrası ısı artışı, malzeme üzerindeki kayma gerilmeleri, hacimsel çekme miktarları, soğuma süresi ve ürün üzerindeki çökme miktarları gibi parça üzerinde oluşabilecek olası hataları önceden öngörmemizi sağlayacak analiz sonuçlarını elde etmemiz mümkündür. Şekil 1.29’da PA 6.6 ve PVC malzemeleri kullanılarak tasarlanmış bir parçanın solidworks plastics kullanılarak yapılmış karşılaştırmalı kayma gerilmesi analizi sonuçları görülmektedir.



Şekil 1.29: Kayma gerilmesi analiz sonuçları.

1.5 Plastik Geri Dönüşümü

1.5.1 Plastik geri dönüşümünün önemi

Herhangi bir şekilde tüketimi gerçekleştirildikten sonra ortaya çıkan atık malzemelerin çeşitli yöntemlerle işlenmesinden sonra tekrar kullanıma sunulması işlemine geri dönüşüm işlemi adı verilir. Doğada bulunan hemen hemen her malzemenin çeşitli yöntemler kullanılarak geri dönüşümü sağlanabilmektedir. Plastikler üretim aşamasında kullanılan hammaddeler göz önünde bulundurulduğunda, yüksek maliyetli malzemelerdir. Ayrıca bu hammaddelerin (petrol, kömür, doğal gaz vb.) kullanımının yarattığı çevresel tahribatlar da oldukça yüksektir. Bununla beraber kullanım sonrası çevresel atık olarak doğaya bırakılan plastikler uzun süre bozulmadan kalabilmekte ve çevre kirliliğine sebep olmaktadır. Plastik malzemelerin doğada parçalanmaları için geçen ömürleri, genellikle ağaç ve kağıda göre yüksek, cam, demir, alüminyum, nikel gibi organik yapıdaki malzemelere göre de çok düşüktür (Kıralp vd., 2006). Atılan plastiklerin değerlendirilmesi ve yeniden kullanılması ekonomik bakımdan olduğu gibi orijinal malzemenin kullanılmaması ve çevrenin kirlenmemesi bakımından da önem arz etmektedir (Saçak, 2005).

Plastik malzemelerin geri dönüşüm işlemi sonucunda geri kazanılarak yeniden kullanıma sunulması sevkiyat harcamalarının azalması, kullanılan malzemenin maliyetinin azalması ve plastik atıkların çevreye verdiği zararın azaltılması gibi faydalar sağlamaktadır. Plastik atıkları evsel atıklar ve fabrikasyon atıklar olarak iki gruba ayırmak mümkündür. Evsel atık olarak geri dönüşüm prosesine tabi tutulacak malzemeler karışık ve kirli olabilmekle beraber malzemenin cinsini belirlemek de bir

hayli güçtür. Fabrikasyon atıklarda ise malzemeler genelde seri üretim sonucu ortaya çıkan fire malzemelerden veya hatalı ürünlerden oluştuğu için nispeten daha temiz ve türünü saptaması daha kolay malzemelerdir. Geri dönüşüm işlemi için kullanılacak malzemeler çeşitli kaynaklardan sağlanabilir. Bu kaynaklar aşağıdaki gibi sıralanabilirler;

1. Fabrikalardan sağlanan malzemeler
2. Ticari merkezlerde oluşan atık malzemeler
3. Tarımda kullanılan malzemeler
4. Yerel yönetimlere ait atık toplama merkezlerinden
5. Evsel atıklardan.

Plastik malzemeler genel olarak geri dönüşüm işlemine uygun olmasına rağmen bazı türleri bu işlem için uygun değildir. Bunun sebebi geri dönüşüm prosesinin ısı verilerek eritme işlemini de içermesidir. Termoset gibi ısı verildiğinde erime karakteri göstermeyen plastikler geri dönüşüm işlemi için uygun değildir. Termosetler ısı verildiğinde tekrar yumuşamazlar ve katı bir hal alırlar. Termoplastiklerde ise durum tam tersidir. Termoplastik malzemeler yapısında bulundukları bağlar sayesinde ısı işlem karşısında erime ve özelliklerini kaybetmeden tekrar sertleşebilme karakteri göstermektedir. Bu özelliklerinden dolayı termoplastikler geri dönüşüm işlemi için uygun malzemelerdir. Geri dönüşüm işlemi için en fazla kullanılan termoplastik çeşitleri şunlardır;

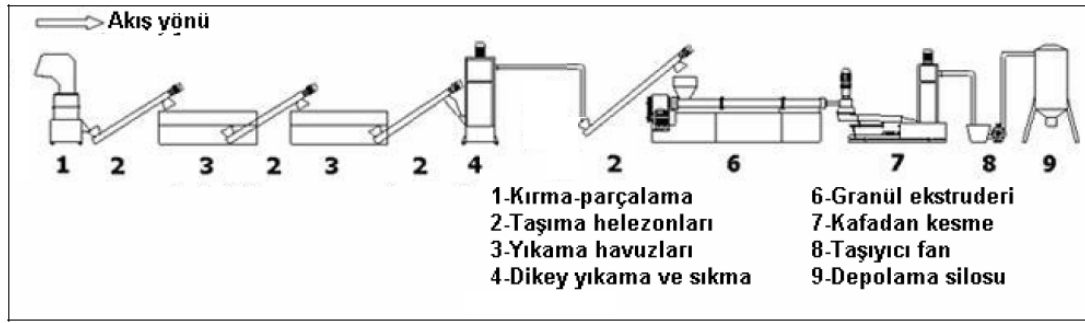
1. Polietilenler (PE)
2. Polipropilenler (PP)
3. Polistirenler (PS)
4. Poli vinil klorürler (PVC)
5. Poliamidler (PA).

1.5.2 Plastik geri dönüşüm makinelerinde üretim

Plastik malzemelerin geri dönüşüm işlemine tabi tutularak tekrardan üretilmesi ve mamul veya yarı mamul olarak sanayi kuruluşlarının hizmetine sunulması işlemi kabaca üç aşamadan oluşmaktadır;

1. Plastik atıkların toplanması
2. Çeşitlerine göre malzemelerin sınıflandırılması, temizlenmesi, öğütülmesi ve ekstrüzyon işlemi için uygun hale getirilmesi
3. Ham maddenin granül halinde üretilmesi.

Şekil 1.30’da geri dönüşüm hattı akış şeması verilmiştir.



Şekil 1.30: Geri dönüşüm hattı akış şeması.

Şekil 1.31’de toz, kırık ve granül halindeki plastik hammaddeler verilmiştir.



Şekil 1.31: Plastik ham maddeler.

1.5.2.1 Plastiklerin kesimi ve kırılması

Plastik atıkların uygun şartlarda çeşitlerine göre ayrıldıktan ve temizlendikten sonra, granül ekstrüderine sokmadan önce makinede işleyebilecek büyüklüklere getirilmesi gerekmektedir. Bunun için de öncelikle malzemelere kırma işlemi uygulanır. Kırma işlemi, plastik malzemeleri, içinde bulundurduğu bıçaklar yardımıyla istenen boyutlara kadar küçültebilen kırma makineleri yardımıyla yapılmaktadır. Sabit ve hareketli bıçaklara sahip olan kırma makinesinde parçalanan plastikler kırma makinesinin altında bulunan deliklerden geçebilecek ebatlara getirilir (Kaya, 2005). Kırma makineleri genelde 3 veya 5 bıçaklı olabilmekle birlikte, isteğe bağlı özel tasarımlarda daha fazla sayıda ve boyutta bıçak barındırabilirler. Bu bıçaklar bir motor tarafından tahrik edilen tambur üzerine eşit açılarla konumlandırılmıştır. Plastik malzemeleri kırmadan önce, eğer malzemeler kırma makinesine giremeyecek kadar büyük boyutlarda ise testere yardımıyla makineye girebilecek boyutlarda kesilmelidir. Uygun boyutlara kesilen malzemeler yüksek devirde çalışan kırma makinesinin bıçakları arasında istenen boyuta kadar küçültülürler. Kırık malzeme

boyutunu ayarlamak için makine içerisinde elekler bulunmaktadır. Elek çapının büyüklüğüne göre malzemenin büyüklüğü de belirlenmiş olur. Granül ekstrüderinden maksimum verim elde edebilmek için delik çapı en az 8 mm olarak ayarlanmalıdır. Şekil 1.32’de örnek bir plastik kırma makinesi verilmiştir.



Şekil 1.32: Plastik kırma makinesi.

1.5.2.2 Yıkama ve kurutma işlemi

Malzemeler yıkama havuzuna alınmadan önce yüzdürme havuzunda ayırma işlemi gerçekleştirilir. Havuzda PVC, PS, PA 6, PA 6.6 ve ABS gibi plastikler suyun dibine çökerken AYPE, YYPE ve PP gibi malzemeler havuzda yüzer (Ünsal, 1999). Kırma işleminden sonra elde edilen uygun çaptaki kırık plastik hammaddeler yeterli miktarda temiz olmayabilirler. Bu yüzden ayırma işleminden sonra plastikler, malzeme kapasitesi ve cinsine göre uygun olan yıkama ve kurutma ünitelerine

gönderilirler. Malzemenin temiz olması kadar üzerinde barındırdığı nem oranı da çok önemlidir. Hem granül makinesinde granül hammaddeleri oluştururken, hem de enjeksiyon veya ekstrüzyon işlemiyle imalat yaparken hammadde üzerinde bulunan nemin %5-%6 civarında olması yüksek önem arz etmektedir. Bu sebeple yıkama işleminden sonra malzeme üzerindeki nemi istenen düzeyin altına düşürene kadar, yine malzemenin cinsine ve kapasitesine göre belirlenen kurutma makinelerinde 60 °C–70 °C sıcaklıkta kurutulması gerekmektedir. Şekil 1.33’de yıkama ve kurutma ünitesi görülmektedir.



Şekil 1.33: Yıkama ve kurutma ünitesi.

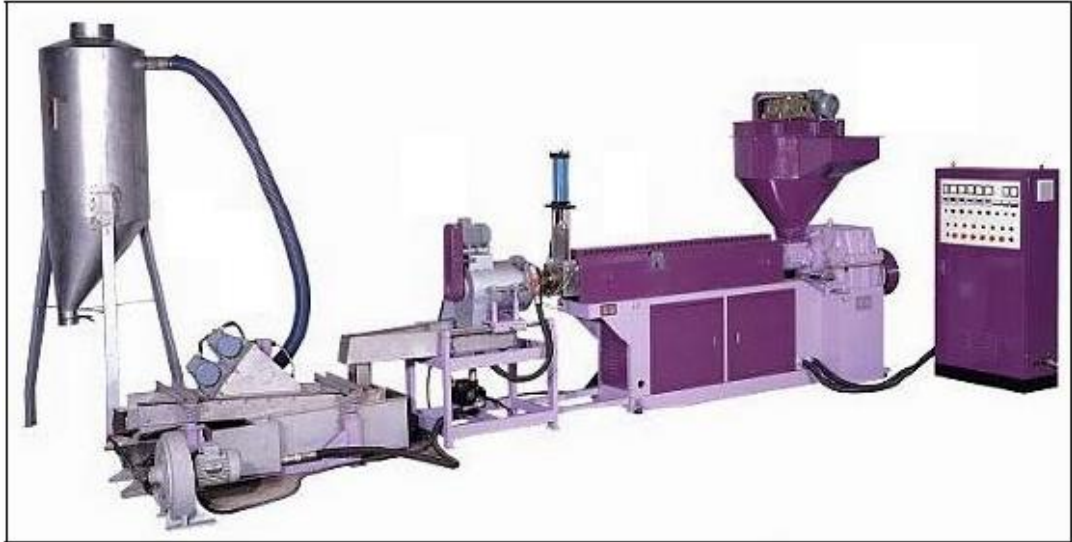
1.5.2.3 Granül ekstrüderleri

Plastikleri granül haline getiren granül ekstrüderlerini temel olarak iki şekilde sınıflandırabiliriz. Bunlardan birincisi, soğuk kesim granül ekstrüderleridir. Bu makinelerde akışkan haldeki malzeme ekstrüder kafasından tel şeklinde çıkar. Buradan çıkan eriyik malzeme, içinde sıvı bulunan hazneye aktarılır ve burada soğuması sağlanır. Makine üzerinde bulunan kesiciler soğumuş malzemeyi yüksek devirde keserek granül haline getirirler. Şekil 1.34’de soğuk kesim granül makinesi verilmiştir.



Şekil 1.34: Soğuk kesim granül makinesi.

Granül ekstrüderlerinin bir diğer çeşidi de sıcak kesim granül makineleridir. Bu makinelerdeki işlem de soğuk kesim granül ekstrüderinin tam tersidir. Sıcak olarak eriyik halde gelen plastik malzeme kafa kısmında bulunan kesicilerle kesilerek granül haline getirilir ve daha sonrasında sıvı dolu hazneye aktararak soğuması sağlanır. Soğutma işleminin sadece sıvı vasıtasıyla değil, hava vasıtasıyla yapıldığı ekstrüder sistemleri de mevcuttur. Granül haline getirilen malzemeler, sonrasında silolara alınarak kurutma işlemleri gerçekleştirilir ve üretime hazır hammaddeler oluşturulmuş olur. Şekil 1.35’de sıcak kesim granül makinesi verilmiştir.



Şekil 1.35: Sıcak kesim granül makinesi.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

Medar (2013) çalışmasında, cam elyaf katkılı ve katkısız polipropilen ve polietilen malzeme karışımlarının geri kazanımının mekanik ve kimyasal özelliklere etkisini incelemiştir. Katkı maddesi olarak cam elyaf ağırlıkça %30 oranında ilave edilmiştir. Plastik enjeksiyon yöntemi ile üretilen numunelere beş kez geri dönüşüm işlemi uygulanmış ve her bir geri dönüşüm sonucunda test numunelerini ayırarak çeşitli deneylere tabi tutmuştur. Çalışmada, geri dönüşüm işlemi için plastik enjeksiyonda üretilen numunelere kırma makinesinde kırılarak tekrar kullanılmıştır. Geri dönüştürülmüş malzemeler saf malzemeler ile belirli oranlarda karıştırılarak çeşitli kombinasyonlar oluşturulmuştur. Her bir geri dönüşüm işlemi sonunda ayrılan test numunelerine; çekme deneyi, izod darbe deneyi, eğilme deneyi ve eriyik akış deneyi uygulanmıştır. Geri dönüşümler sonucunda cam elyaf katkılı ve katkısız polietilen–polipropilen karışımların mekanik özelliklerinin azaldığı görülmüştür. Polietilen–polipropilen karışım içerisine cam elyaf katılmasının darbe dayanımı hariç mekanik özellikleri %50 ile %100 arasında arttırdığı gözlemlenmiştir. Çizelge 2.1’de polipropilen ve polietilen karışım malzemelerin geri dönüşüm işlemine tabi tutulan numunelerinin çekme ve darbe testi sonuçları verilmiştir.

Çizelge 2.1: PP-PE malzemelerin test sonuçları (Medar, 2013).

Malzeme	Maksimum Uzama (%)	Çekme Dayanımı (MPa)	Darbe Dayanımı (Kj/m ²)
Saf	343,44	21,90	20,81
1. Geri Dönüşüm	316,24	22,56	14,20
2. Geri Dönüşüm	324,89	22,21	12,10
3. Geri Dönüşüm	373,78	21,46	13,13
4. Geri Dönüşüm	376,01	20,22	15,66
5. Geri Dönüşüm	373,05	19,96	13,44

Sonuçlar incelendiğinde beş geri dönüşüm işlemi PP-PE karışım malzemesinin maksimum uzamasını %8 oranında arttırırken, çekme dayanımını %9, darbe dayanımını ise %35 oranında azalttığı gözlemlenmiştir.

Çizelge 2.2’de %30 cam elyaf katkılı polipropilen ve polietilen karışım malzemelere uygulanan testler sonucunda, geri dönüşümün maksimum uzama ve çekme dayanımına olan etkisi verilmiştir.

Çizelge 2.2: PPCE-PE malzemelerin test sonuçları (Medar, 2013).

Malzeme	Maksimum Uzama (%)	Çekme Dayanımı (MPa)	Darbe Dayanımı (Kj/m²)
Saf	4,11	37	20,57
1. Geri Dönüşüm	4,74	33,86	22,09
2. Geri Dönüşüm	4,88	31,60	19,43
3. Geri Dönüşüm	5,15	29,13	18,03
4. Geri Dönüşüm	5,26	27,51	20,80
5. Geri Dönüşüm	5,23	25,63	17,43

Çekme testi sonuçları incelendiğinde, beş geri dönüşüm işlemi sonucunda malzemenin maksimum uzama miktarı %27 oranında artarken çekme dayanımı %30 oranında azalmıştır. Darbe dayanımında ise %15 oranında bir azalma meydana geldiği gözlemlenmiştir.

Gönenli (2014) çalışmasında, cam elyaf takviyesinin polipropilen ve polyamid 6 plastiklerinde meydana getirdiği mekanik değişimleri ve elyafın bu malzemeler üzerindeki davranışlarını incelemiştir. Plastik malzemelere %15 ve %30 oranlarında cam elyaf katkısı yapılmıştır. Üretilen numunelere beş farklı çekme hızında çekme deneyi uygulanmış ve sonuçlar incelenmiştir. Çizelge 2.3’de 5 mm/dk çekme hızı ile 100 mm/dk çekme hızında katkısız, %15 cam elyaf katkılı ve %30 cam elyaf katkılı polyamid 6 malzemesinin çekme testi sonuçları verilmiştir.

Çizelge 2.3: Polyamid 6 malzemesinin çekme testi sonuçları (Gönenli, 2014).

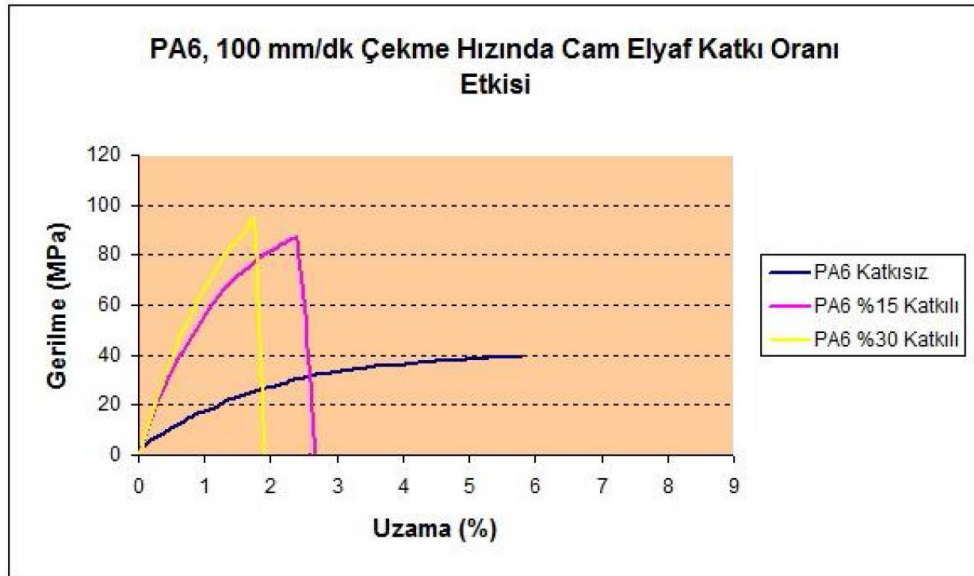
	Kopma Uzasası (%)		Maksimum Gerilme (MPa)		Elastisite Modülü (MPa)	
	5 mm/dk	100 mm/dk	5 mm/dk	100 mm/dk	5 mm/dk	100 mm/dk
PA 6 Katkısız	> %100	> %100	44,32	47,64	1439	2041
PA 6 %15 Katkılı	%4,3	%2,67	75,16	86,39	5333	7205
PA 6 %30 Katkılı	%2,79	%1,90	78,96	93,72	6896	8067

Çizelge 2.4’de 5 mm/dk çekme hızı ile 100 mm/dk çekme hızında katkısız, %15 cam elyaf katkılı ve %30 cam elyaf katkılı polyamid 6.6 malzemesinin çekme testi sonuçları verilmiştir.

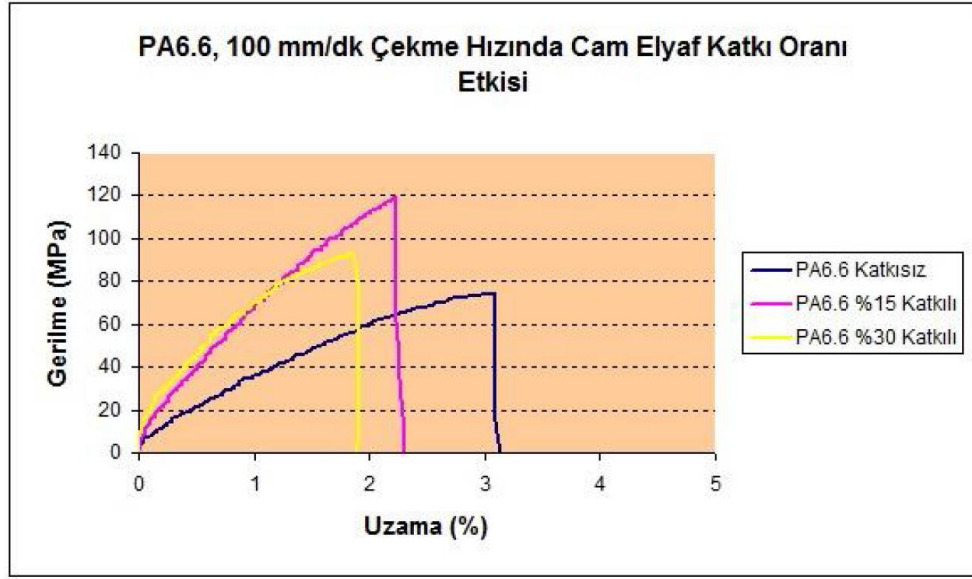
Çizelge 2.4: Polyamid 6.6 malzemesinin çekme testi sonuçları (Gönenli, 2014).

Çekme Hızı	Kopma Uzaması (%)		Maksimum Gerilme (MPa)		Elastisite Modülü (MPa)	
	5 mm/dk	100 mm/dk	5 mm/dk	100 mm/dk	5 mm/dk	100 mm/dk
PA 6 Katkısız	%3,67	%3,15	63,70	74,15	3460	4941
PA 6 %15 Katkılı	%2,32	%2,30	109,46	108,53	5992	9008
PA 6 %30 Katkılı	%2,29	%1,90	80,78	93,52	6988	10252

Özellikle yüksek çekme hızlarında cam elyaf takviyesinin malzemenin mukavemetine olumlu etkileri açık bir şekilde gözlemlenmiştir. Cam elyaf katkı oranlarının artmasının, elastisite modülünü ve maksimum gerilmeyi arttırırken, kopma uzamasını azalttığı gözlemlenmiştir. polyamid 6 ve polyamid 6.6’nın karşılıklı yorumunda ise, polyamid 6’nın daha sünek bir yapıya sahip olduğu ve daha düşük gerilmelerde çalışılması gereken bir malzeme türü olduğu görülmüştür. Şekil 2.1’de polyamid 6 malzemelerinin, şekil 2.2’de ise polyamid 6.6 malzemelerinin 100 mm/dk çekme hızında alınan gerilme-uzama grafikleri verilmiştir.



Şekil 2.1: PA 6 gerilme – uzama grafiği (Gönenli, 2014).



Şekil 2.2: PA 6.6 gerilme – uzama grafiği (Gönenli, 2014).

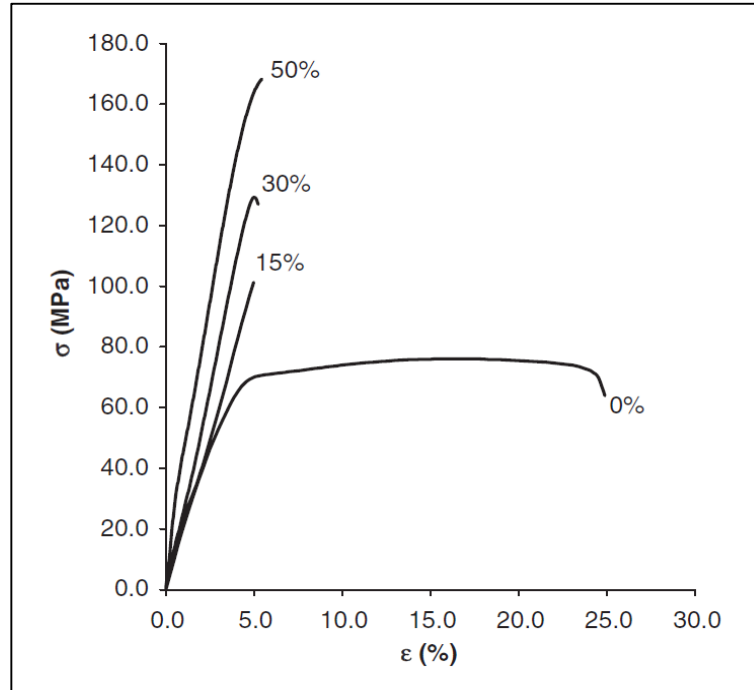
Özdemir (2001) çalışmasında, cam elyaf takviyesinin polipropilen ve polyamid 6 plastiklerinde meydana getirdiği mekanik değişimleri ve elyafın bu malzemeler üzerindeki davranışlarını incelemiştir. Elyaf katkısı olarak endüstride en çok kullanılan E camı elyafını kullanmış ve kompozitlere %15 ve %30 oranlarında ilave etmiştir. Cam elyafın çapı 13 mikrometre ve uzunluğu 6 mm olarak belirlenmiştir. Matris ve elyaf arasındaki yapışmayı arttırmak için silan kaplı cam elyaflar kullanılmıştır. Mekanik özellikleri tayin etmek için numunelere çekme ve darbe deneyleri uygulanmıştır. Çizelge 2.5’de elyaf oranının kompozit özelliklerine etkisi verilmiştir.

Çizelge 2.5: Cam elyaf oranının kompozit özelliklerine etkisi (Özdemir, 2001).

	Darbe Dayanımı (kJ/m ²)	Çekme Dayanımı (MPa)	Kopma Uzaması (%)
PA 6 Takviyesiz	10,98	64,70	51,53
PA 6 %15 Takviyeli	8,575	112,38	8,83
PA %30 Takviyeli	11,98	136,61	8,18
PP Takviyesiz	11,24	26,26	700
PP %15 Takviyeli	10,7	60,04	8,15
PP %30 Takviyeli	12,82	78,61	11,05

Deneylerden çıkan sonuçlara göre; %30 cam elyaf takviyesi, polyamid 6 malzemesinin darbe dayanımını %9, çekme dayanımını %111 arttırırken kopma uzamasını %84 azaltmıştır. Polipropilen için bakıldığında; %30 cam elyaf takviyesi, malzemenin darbe dayanımını %14 ve çekme dayanımını %200 arttırırken, kopma uzamasını %98 azaltmıştır. Çalışmada aynı zamanda elyaf uzunluğu, elyafın malzeme içerisindeki dağılımı ve enjeksiyon parametreleri de değiştirilerek sonuçlar incelenmiştir. Elyaf takviyeli malzemelerde; elyaflar ne kadar az kırılmışsa çekme mukavemeti o derece çok artış göstermiştir, ne kadar çok ufalanıp kırılmışsa da darbe mukavemeti o derece çok artış göstermiştir. Genel olarak enjeksiyon parametrelerini değiştirmek elyafların uzun kalmasına, dikkate değer şekilde yardımcı olmamıştır. Ayrıca silan kaplı elyaf kullanılması kompozitin mukavemetinin artmasına sebep olmuştur.

Mouhmid vd., (2006) yaptıkları çalışmada, cam elyaf katkılı polyamid 6.6 malzemenin mekanik davranışlarını deneysel olarak incelemiş ve bunun sonucunda katkısız polyamidin sünek bir yapıda olduğunu, elyaf katkılı polyamid malzemenin ise gevrek bir davranışta olduğunu gözlemlemiştir. Cam elyaf katkısı aynı zamanda polyamid malzemenin çekme mukavemetini ve elastisite modülünü arttırmıştır. Cam elyaf katkısı %15, %30 ve %50 oranlarında ilave edilmiştir. Şekil 2.3’de cam elyaf katkılı ve katkısız malzemelerin çekme dayanım–uzama grafikleri verilmiştir.



Şekil 2.3: Elyaf katkılı ve saf numunelerin dayanım grafikleri (Mouhmid vd., 2006).

Bernasconi vd., (2006) çalışmalarında, geri dönüşüm işleminin polyamid 6.6'nın yorulma dayanımı üzerindeki etkisini incelemiş, yorulma dayanımı ve elyaf uzunluğu arasındaki ilişki tartışılmıştır. Temiz malzemenin geri dönüştürülmesi açık bir şekilde göstermiştir ki, malzeme içerisindeki elyaf, enjeksiyonla kalıplama süreci içerisinde kısalmış ve bunun sonucunda malzemenin yük taşıma kapasitesi azalmıştır. Enjeksiyon kalıplama yöntemiyle üretilen polyamid 6.6 bazlı numunelere %35 oranında cam elyaf takviyesi yapılmış daha sonra %0, %25, %50 ve %100 oranlarında geri dönüştürülmüş malzeme içeren 4 seri numune üretilmiştir. Yorulma testleri sabit genlikte sinüsoidal çekme yükleri uygulanarak, yük kontrol modunda, yük ölçümünün doğruluğunu arttırmak için 150 kN kapasiteli bir aküatör ve 10 kN'luk ek bir yük hücresi ile donatılmış instron 8501 servo-hidrolik test makinesinde gerçekleştirilmiştir. Gerilmeler, uygulanan kuvvetin numune kesitinin nominal alanına bölünmesi sonucu hesaplanmıştır. Elyaf uzunluğu dağılımını belirlemek için Nikon Dxm 1200 dijital kamera ile donatılmış bir Leitz Aristomet optik mikroskobu kullanılmış ve deney numuneleri fotoğraflanarak elyaf uzunlukları manuel olarak ölçülmüştür. Yeniden işleme tabi tutulmuş malzeme içeriğinin artmasıyla yorulma mukavemetinin azalması neredeyse birbirine paralel bir şekilde değişmiştir. Saf malzeme ile %100 geri dönüştürülmüş malzemenin karşılaştırılmasında yorulma dayanımındaki azalmanın %11 olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca enjeksiyonla kalıplama sürecinin elyaf boyunun kısalmada doğrudan etkisi de ispatlanmıştır. Çizelge 2.6'da çeşitli oranlarda geri dönüştürülmüş malzeme içeren 4 farklı %35 cam elyaf katkılı polyamid 6.6 malzemesinin mekanik özelliklerindeki değişiklikler verilmiştir.

Çizelge 2.6: Geri kazanılmış PA 6.6'nın mekanik özellikleri (Bernasconi vd., 2006).

Malzeme	Maksimum Gerilme (MPa)	Kopma Uzaması (%)
Saf (İşlem Görmemiş)	187,9	2,87
%25 Geri Dönüştürülmüş + %75 Saf	185,9	2,85
%50 Geri Dönüştürülmüş + %50 Saf	181,6	3
%100 Geri Dönüştürülmüş	167,3	3,04

Maspoch vd., (2003) çalışmalarında, geri dönüşüm işleminin, içerisine cam elyaf ilavesi yapılmış polyamid 6 malzemesinin mekanik özelliklerine etkisini incelemiştir. Üç kez tekrarlanan geri dönüşüm prosesi sonucunda malzeme üzerinde meydana

gelen termal, mekanik ve morfolojik değişiklikleri gözlemek için oluşturulan numunelere çekme, eğme ve darbe testleri uygulanmıştır. Malzemenin tamamını geri dönüşüm işlemine tabi tutmak yerine daha önceden geri dönüştürülmüş malzemeye işlem görmemiş malzemeleri belirli oranlarda karıştırarak yeni karışımlar elde edilmiştir. Çalışmada uygulanan geri dönüşüm işlemi, enjeksiyonda malzemelerin üretilerek kırılmasından sonra geri dönüştürülen malzemenin işlem görmemiş malzemeye belirli oranlarda fiziksel olarak karıştırılmasını içermektedir. Geri dönüşüm işlemiyle beraber mekanik özelliklerin de doğrusal bir şekilde azaldığı gözlemlenmiştir. Üçüncü geri dönüşüm işlemi sonucunda, çekme gerilmesinde %28, elastisite modülünde %11'lik bir düşüş yaşanmıştır.

Güllü vd., (2001) yaptıkları çalışmada, cam elyaf ilavesi yapılmış polipropilen ve polyamid 6 polimer matrisli kompozit malzemelerin üretimi esnasında enjeksiyon parametrelerindeki değişikliklerin, malzemenin mekanik özelliklerine etkisini incelemişlerdir. Aynı zamanda cam elyaf takviyesinin, malzemelerin mekanik özelliklerini ne derece değiştirdiği de gözlemlenmiştir. Enjeksiyon parametrelerinden vida hızı, enjeksiyon hızı, besleme bölgesi sıcaklık değeri, arka basıncı ve yolluk geçitlerinin ölçüleri üzerinde farklı değişiklikler yaparak her denemede sadece bir tanesi değiştirilmiştir. Öncelikle yapılan cam elyaf takviyesi sonucu incelenmiş ve cam elyafın kompozit malzemelerin çekme kuvvetini %100-%200 aralığında arttırdığı belirtilmiştir. Çizelge 2.7'de cam elyaf takviye oranları ve malzemelerin mekanik özelliklerine etkisi verilmiştir.

Çizelge 2.7: Elyafın malzemelerin mekanik özelliklerine etkisi (Güllü vd., 2001).

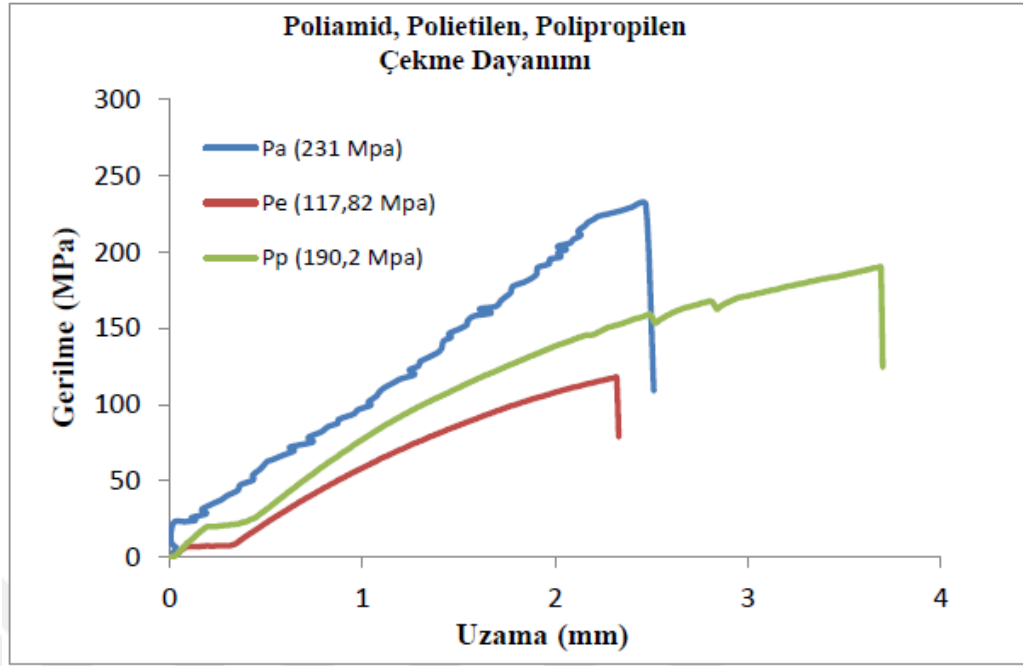
	Darbe Dayanımı (kj/m²)	Çekme Dayanımı (N/mm²)	Kopma Uzaması (%)
Saf PA 6	10,98	64,70	51,53
%15 CTPA 6	8,57	112,38	8,83
%30 CTPA 6	11,98	136,61	8,18
SAF PP	11,24	26,26	700
%15 CTPP	10,73	60,04	8,15
%30 CTPP	12,82	78,61	11,05

%15 cam elyaf takviyesi polyamid 6 malzemenin çekme mukavemetini %73 oranında iyileştirmiştir. %30 elyaf katkısında ise bu oran %111 seviyesine çıkmıştır. Polipropilende ise bu oranlar %128 ve %199 olarak sıralanmıştır. Vida hızının 100

dev/dak'dan 150 dev/dak seviyesine çıkartılmasıyla bütün polyamid 6 malzemelerin çekme dayanımı %4,2 azalmıştır, polipropilende ise bu oran %7,9 olarak tespit edilmiştir. Enjeksiyon hızının arttırılmasıyla her iki malzemede de çekme mukavemetinde %2-%3 azalma görülmesine rağmen darbe mukavemetlerinin azaldığı gözlenmiştir. Besleme bölge sıcaklıklarının 40 °C arttırılmasıyla çekme mukavemetinde az miktarda artış gözlemlenmiştir. Sıcaklık artışı elyaf uzunluklarında da büyük bir artış meydana getirmiştir. Yolluk giriş sıcaklığının artmasıyla, polyamid malzemelerin çekme dayanımında %8 dolaylarında artış, darbe dayanımında ise %5 dolaylarında azalma gözlemlenmiştir. Polipropilende ise çekmede %10 artış, darbeye %4 azalma meydana gelmiştir.

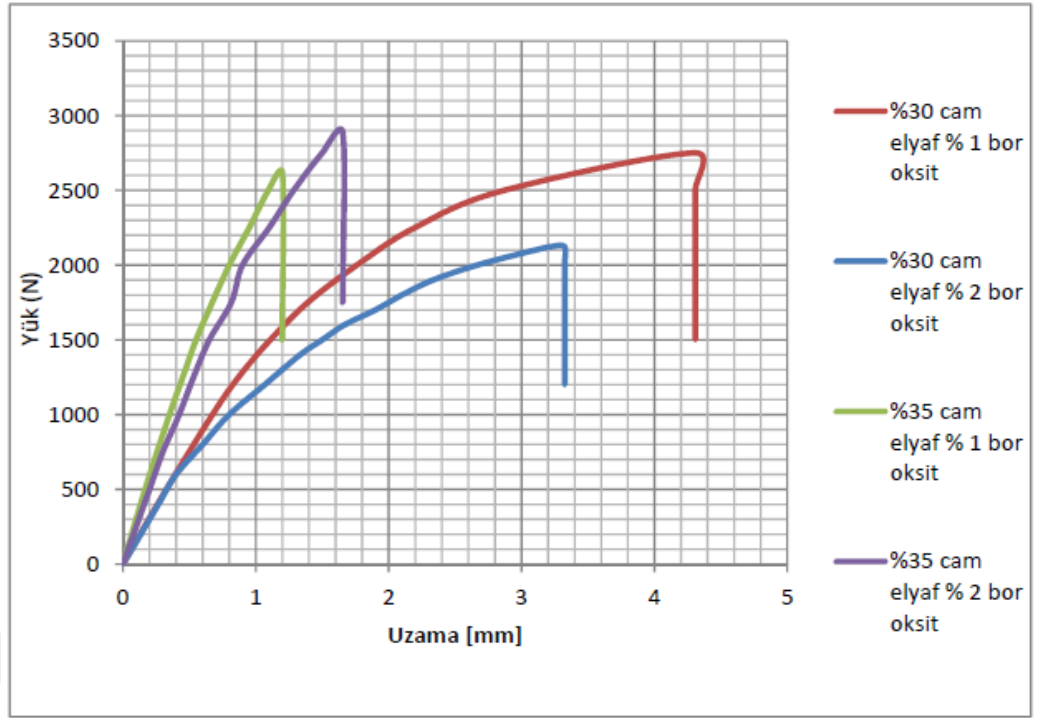
Thomason (2005) yaptığı çalışmada, içerisine %73 oranına kadar cam elyaf ilave ettikleri polipropilen matrisli kompozitler üreterek bu kompozit ham maddelerden ürettikleri deney numunelerine çekme ve darbe deneyi uygulamış ve cam elyaf oranlarının mekanik özelliklere etkisini incelemiştir. Çalışma sonucunda elastisite yüzdesinin azaldığı ve %40 oranına kadar çekme ve darbe dayanımının arttığı, %40 oranından sonra ise azaldığını gözlemlemiştir.

Özer (2015) yaptığı çalışmada, otomotiv sektöründe çelik malzemelerin yerine kullanılabilmesi açısından sürekli cam elyaf takviyeli polyamid, polipropilen ve polietilen matrisli termoplastik kompozit malzemelerin kullanılabilirliğini araştırmıştır. Cam elyaf takviyesi yapılmış kompozit malzemelerin mekanik davranışlarını gözlemlemek amacıyla [0/90] düzeninde yerleştirilen cam elyaflar laminasyon yöntemiyle üretilmiştir. Daha sonra üretilen malzemeler su jeti ile kesilerek, çekme, basma, kayma, üç nokta eğilme ve çentik darbe numuneleri ASTM standardına uygun şekilde hazırlanmıştır. Üretimi gerçekleştirilen polyamid, polipropilen ve polietilen matrisli malzemelere uygulanan çekme deneyleri neticesinde sırayla 231 MPa, 117,82 MPa ve 190,2 MPa maksimum gerilme değerleri elde edilmiştir. 370 MPa gerilme değerine sahip St37 çeliğiyle yoğunluk değerleri de dikkate alınarak bir karşılaştırma yapıldığında polyamid ve polipropilen matrisli kompozit malzemelerin dayanım açısında çok daha avantajlı oldukları görülmüştür. Şekil 2.4'de polyamid, polipropilen ve polietilen matrisli kompozit malzemelerin çekme testi sonuçları verilmiştir.



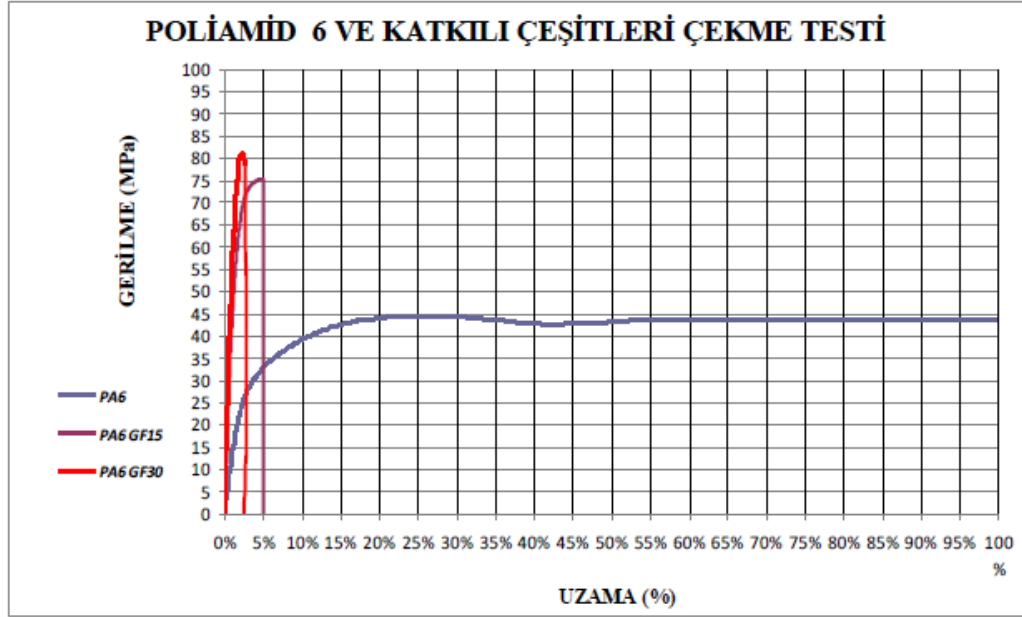
Şekil 2.4: PA, PP ve PE matrisli kompozitlerin çekme dayanımları (Özer, 2015).

Şahin (2014) yaptığı çalışmada, içerisine ağırlıkça %30 ve %35 oranlarında cam elyaf ilavesi yapılmış poliamid 6 matrisli kompozit malzemeye hacimce %1 ve %2 oranlarında bor oksit ilavesi yaparak üretimi yapılan yeni kompozit malzemelerin mekanik özelliklerini incelemiştir. Üretim yöntemi olarak plastik enjeksiyonla kalıplama yöntemi seçilmiştir. Bor oksit ilavesi malzemenin mukavemet değerlerini önemli ölçüde azaltmıştır. Sertlik değerindeki azalma ise mukavemet değerine nazaran daha az olmuştur. Aynı zamanda bor oksit ilavesi kompozit malzemelerin kopmadaki birim uzama değerini ve ısı iletkenlik değerlerini arttırmıştır. Malzemelere hacimde %1 ve %2 oranlarının dışında %3, %4 ve %5 oranlarında da bor oksit ilavesi yapılmış fakat enjeksiyonla kalıplama sürecinde yaşanan sıkıntılar nedeniyle başarılı olmamıştır. Şekil 2.5’de cam elyaf ve bor oksit ilaveli kompozit malzemelerin karşılaştırmalı çekme dayanımı grafikleri görülmektedir.

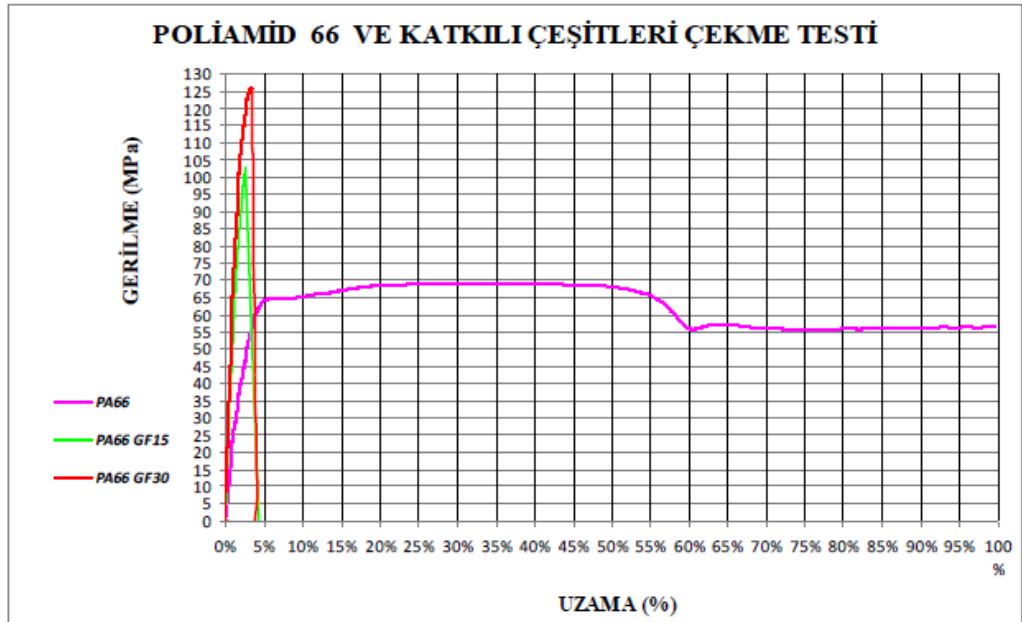


Şekil 2.5: Elyaf ve bor oksit ilaveli kompozitlerin çekme dayanımları (Şahin, 2014).

Kocatüfek (2013) yaptığı çalışmada, ağırlıkça %15 ve %30 oranlarında cam elyaf takviyesi yapılan polyamid 6 ve polyamid 6.6 malzemelerinin sıcak plaka kaynak yöntemiyle birleştirilmesinde dört farklı kaynak parametresinin etkisini incelemiştir. Bu parametreler plaka sıcaklığı, ısıtma süresi, birleştirme stroğu ve kaynak süresidir. İlk olarak malzeme içerisine ilave edilen cam elyafın malzeme üzerindeki etkisi incelenmiştir. Şekil 2.6 ve şekil 2.7’de polyamid 6 ve polyamid 6.6 malzemesi içerisine ilave edilen cam elyafın matris malzemenin çekme dayanımı üzerindeki etkisi karşılaştırmalı çekme dayanımı grafikleriyle verilmiştir.



Şekil 2.6: Polyamid 6 malzemelerin çekme-uzama eğrileri (Kocatüfek, 2013).



Şekil 2.7: Polyamid 6.6 malzemelerin çekme-uzama eğrileri (Kocatüfek, 2013).

Sıcak plaka kaynağıyla birleştirme yönteminde incelenen dört parametre için üç farklı değer incelenmiş ve numunelerin sıcak plaka kaynağı ile birleştirme prosesinde Taguchi deney tasarımı yöntemi çerçevesinde L9 ortogonal dizisi kullanılmıştır. Çalışma sonucunda polyamid 6 malzemesi için cam elyaf takviyeli türevlerinde optimum değerlerin, plaka sıcaklığı için 270 °C ısıtma süresi için 30 saniye olduğu görülmüştür. Polyamid 6.6 malzemesi için cam elyaf takviyeli türevlerinde ise, 280 °C plaka sıcaklığı ve 70 saniye ısıtma süresi olarak bulunmuştur.

3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1 Kullanılan Yöntem

Bu çalışmada geri dönüşüm işleminin polyamid 6.6 malzeme üzerindeki etkileri incelenmiş ve cam elyaf takviyesi yaparak mekanik özelliklerindeki değişiklikler gözlemlenmiştir. Bunun için polyamid 6.6 malzemeler 3 kez geri dönüşüm işlemine tabi tutulmuştur. Öncelikle saf malzemelerden plastik enjeksiyon makinesinde ilk numuneler şekillendirilmiştir. Daha sonra bu üretilen numuneler kırma makinesinden geçirilerek tekrar kompond hattına alındı ve hammaddeler oluşturuldu. Bu işlem ikinci ve üçüncü geri dönüşüm olarak iki kez daha tekrarlanmıştır. Ardından oluşturulan saf, birinci kalite, ikinci kalite ve üçüncü kalite ürünlere 4 farklı oranda elyaf takviyesi yapılmıştır. Elyaf takviyeli kompozitlerin üretimi için soğuk kesim granülleme işlemi kullanılmıştır. Oranlar; ağırlıkça %7,5, %15, %22,5, %30 şeklindedir. Bu oranlar literatürde daha önce yapılan çalışmalar baz alınarak belirlenmiştir. Öncelikle üretilen kompozit malzemelerin içerisindeki cam elyaf oranlarını teyit etmek için numunelere kül testi uygulanmıştır. Daha sonra oluşturulan 20 farklı numuneye çekme ve darbe testleri uygulanmış sonuçlar rapor edilmiştir. Üretilen numuneler ve içerdikleri elyaf oranları çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1: Test numuneleri ve özellikleri.

Numune Adı	Cam Elyaf Katkısı
Numune 1	İşlem Görmemiş Saf
Numune 2	İşlem Görmemiş %7,5 Elyaf Katkılı
Numune 3	İşlem Görmemiş %15 Elyaf Katkılı
Numune 4	İşlem Görmemiş %22,5 Elyaf Katkılı
Numune 5	İşlem Görmemiş %30 Elyaf Katkılı
Numune 6	1 Kez Geri Dönüştürülmüş Saf
Numune 7	1 Kez Geri Dönüştürülmüş %7,5 Elyaf Katkılı
Numune 8	1 Kez Geri Dönüştürülmüş %15 Elyaf Katkılı
Numune 9	1 Kez Geri Dönüştürülmüş %22,5 Elyaf Katkılı
Numune 10	1 Kez Geri Dönüştürülmüş %30 Elyaf Katkılı
Numune 11	2 Kez Geri Dönüştürülmüş Saf
Numune 12	2 Kez Geri Dönüştürülmüş %7,5 Elyaf Katkılı
Numune 13	2 Kez Geri Dönüştürülmüş %15 Elyaf Katkılı
Numune 14	2 Kez Geri Dönüştürülmüş %22,5 Elyaf Katkılı
Numune 15	2 Kez Geri Dönüştürülmüş %30 Elyaf Katkılı
Numune 16	3 Kez Geri Dönüştürülmüş Saf
Numune 17	3 Kez Geri Dönüştürülmüş %7,5 Elyaf Katkılı
Numune 18	3 Kez Geri Dönüştürülmüş %15 Elyaf Katkılı
Numune 19	3 Kez Geri Dönüştürülmüş %22,5 Elyaf Katkılı
Numune 20	2 Kez Geri Dönüştürülmüş %30 Elyaf Katkılı

3.2 Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri

Bu çalışmada matris malzeme olarak Nurlu Makine firmasından temin edilen ve piyasada Akromid A3 (2414) ticari adıyla bulunan polyamid 6.6 malzeme kullanılmıştır. Akromid A3 (2414) plastiğinin teknik özellikleri çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2: Akromid A3 teknik özellikleri.

Polyamid 6.6 Teknik Özellikleri	Firma Verileri
Ticari Adı	Akromid A3
Maksimum Kuvvet	3100 N
Kopma Uzaması	10-25 %
Maksimum Gerilme	85 MPa
Darbe Dayanımı	3 kJ/m ²
Eğilme Mukavemeti	110 MPa
Erime Noktası	262 °C
Yoğunluk	1,14 g/cm ³

Takviye edici malzeme olarak PA2(D) ticari adıyla piyasada bulunan ve Nurlu Makine firmasından temin edilen E tipi cam elyaf kullanılmıştır. Kullanılan cam elyafın teknik özellikleri çizelge 3.3’de verilmiştir.

Çizelge 3.3: Çalışmada kullanılan cam elyafın teknik özellikleri.

Cam Elyafın Teknik Özellikleri	Firma Verileri
Ticari Adı	PA2(D)
CE Bağlayıcısı Kodu	(02)-(D)
Elyaf Çapı	11 µ
Bağlayıcı Miktarı	%0,60
Bağlayıcı Türü	Silan
Elyaf Boyu	4,5 mm
Cam Tipi	E
Nem Miktarı	Maksimum 0,07

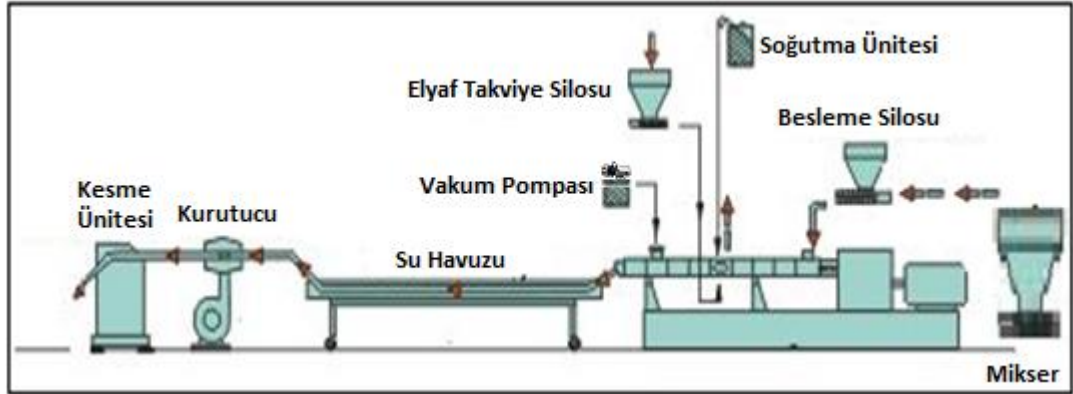
3.3 Kompound Üretim Aşaması

Orijinal, birinci, ikinci ve üçüncü geri dönüşüm işlemi sonucunda oluşan katkısız malzemelere %7,5, %15, %22,5 ve %30 oranlarında cam elyaf takviyesi yapılmıştır. Her bir numune için 10 kg hammadde oluşturulmuştur. Bu işlem için ARC Polimer firmasında bulunan Nanjing Haisi TSE-75 marka, 110 kW ve 1485 dev/dak gücünde bir motor yardımıyla tahrik edilen çift vidalı bir ekstrüder kullanılmıştır. Kompound üretimi sırasında kullanılan makine ayarları çizelge 3.4’de verilmiştir.

Çizelge 3.4: Kompound hattı makine ayarları.

Vida Hızı	1,8 dev/dak
1. Kovan Sıcaklığı	264 °C
2. Kovan Sıcaklığı	264 °C
3. Kovan Sıcaklığı	264 °C
4. Kovan Sıcaklığı	259 °C
5. Kovan Sıcaklığı	259 °C
6. Kovan Sıcaklığı	258 °C
7. Kovan Sıcaklığı	255 °C
8. Kovan Sıcaklığı	254 °C
9. Kovan Sıcaklığı	259 °C
10. Kovan Sıcaklığı	290 °C
Basınç	5 MPa

Makine üzerinde bulunan kovanlar içerisinde 1. kovan besleme kısmı, 6. kovan cam elyaf takviye kısmı, 9. kovan ise vakum işleminin yapıldığı kısımdır. Kullanılan kompound hattı içerisinde bulunan kısımlar şekil 3.1’de gösterilmiştir.



Şekil 3.1: Kompound hattının kısımları.

3.3.1 Karıştırıcı (Mikser)

Kullanılacak matris malzeme bu noktadan kırık halde, granül halinde veya toz halinde hatta giriş yapar. Çalışmamızda kullanılan malzeme kırık halde hatta eklenmiştir. Hammadde içerisine cam elyaf dışında başka ilave malzemeler eklenecekse yine bu noktadan ilave edilebilir. Hammadde üretimi için kullanılan kompound hattında 7,5 kW gücünde bir motor tarafından tahrik edilen 300 kg kapasiteli bir karıştırıcı kullanılmıştır. Malzemeler karıştırıcıdan bir helezon yardımıyla besleme silosuna gönderilir. Şekil 3.2’de kullanılan karıştırıcı görülmektedir.



Şekil 3.2: Karıştırıcı (Mikser).

3.3.2 Besleme silosu

Karıştırıcıdan helezon yardımıyla gönderilen malzeme besleme silosuna aktarılır. Besleme silosunun üzerine entegre edilmiş kurutma ünitesi bulunmaktadır. Hatta gönderilen malzemenin nemli olması durumunda kurutma ünitesi yardımıyla yaklaşık olarak 120 °C sıcaklıkta 2 saat boyunca malzeme kurutulur. Kurutma ünitesi üzerinde ısıtıcı rezidanslar ve bir adet radyal fan bulunmaktadır. Ayrıca üzerinde malzemenin nem durumuna göre sıcaklık ve süre ayarı yapılabilecek bir adet kontrol ünitesi barındırmaktadır. Kurutma işlemi tamamlandıktan sonra ünite üzerinde yer alan burgu sistemi yardımıyla malzeme ekstrüderin kovanlarına gönderilir. Şekil 3.3’de besleme silosu ve kurutma ünitesi verilmiştir.



Şekil 3.3: Besleme silosu ve kurutma ünitesi.

3.3.3 Cam elyaf takviye silosu

Kompozit malzeme içerisinde takviye edici malzeme olarak kullanılan cam elyafı bu noktadan malzeme içerisine eklenir. Ünite üzerine yerleştirilmiş motorun devir sayısı otomasyon sistemi tarafından kontrol edilebilmekte ve kompozit içerisine eklenecek elyaf oranına göre devir sayısı değiştirilebilmektedir. Şekil 3.4’de cam elyaf takviye silosu görülmektedir.



Şekil 3.4: Cam elyaf takviye silosu.

3.3.4 Soğutma havuzu

Kompound üretimi için tercih edilen yöntem soğuk kesim granülleme işlemi olduğu için, başlıktan çıkan malzeme kesilmeden önce havuz içerisindeki su yardımıyla soğutulmaktadır. Malzeme 285 °C gibi yüksek sıcaklıklarda kalıptan çıkıp havuza aktarıldığı için, havuz sıcaklığı zamanla yükselmektedir. Havuz sıcaklığını sabit 40 °C sıcaklıkta tutmak için havuz suyu soğutma kulesi yardımıyla sürekli soğutulmaktadır. Kompound hattında yer alan ekstrüder başlığı ve soğutma havuzu şekil 3.5’de görülmektedir.



Şekil 3.5: Ekstrüder başlığı ve soğutma havuzu.

Havuzdaki suyu soğutmak için hatta bağlı olan soğutma kulesi şekil 3.6’da verilmiştir.



Şekil 3.6: Soğutma kulesi.

3.3.5 Vakum pompası ve soğutma ünitesi

Kompound üretimi sırasında malzemenin içerisinde hiçbir şekilde hava boşluğu olmaması gerekmektedir. Hava boşluğu oluşması nem ile birlikte malzeme kalitesini etkileyen en büyük etkenlerdendir. Kompound hattında oluşan fazla havayı sistemden dışarıya atabilmek için vakum pompası kullanılmaktadır. Vakum pompası kompound hattına 9. kovanıdan dahil edilmiştir ve bu bölge vakum boğazı olarak adlandırılır. Şekil 3.7’de kullanılan vakum pompası verilmiştir.



Şekil 3.7: Vakum pompası.

Kovanların sıcaklıkları önceden belirlenir ve kovanların bu sıcaklıklarda olması beklenir. Fakat çok yüksek sıcaklık değerlerine çıkabilen eriyik, kovanlar içerisinde hareket ettikçe kovan sıcaklıklarının istenen değerlerin üzerine çıkmasına sebep olabiliyor. Bu sıcaklık artışının önüne geçebilmek için sistemde soğutma ünitesi bulunmaktadır. Soğutma ünitesinde bulunan sıvı kovanlara gönderilir ve sıcaklığın istenen değerlere indirilmesini sağlar. Şekil 3.8’de kompound hattında kullanılan soğutma ünitesi görülmektedir.



Şekil 3.8: Soğutma ünitesi.

3.3.6 Kurutma ve kesme

Havuzdan çıkan ıslak malzeme son kez kurutma ünitesinde kurutulur ve kesme işlemi için kesme ünitesine gönderilir. Kesme ünitesinde bulunan bıçaklar vasıtasıyla malzeme belirli çap ve uzunluklarda kesilerek granüller oluşturulur. Ünite üzerinde bulunan titreşim sistemi yardımıyla yabancı maddelerden ve büyük parçalardan elenerek ayrılan granüller paketlenir. Ünite üzerinde bulunan 4 mm çapındaki elek büyük malzemeleri dışarı atmaktadır. Kompound hattında bulunan kesme ünitesi şekil 3.9’da görülmektedir.



Şekil 3.9: Kesme ünitesi.

3.3.7 Fırınlama aşaması

Enjeksiyon aşamasına gelmeden önce, baskı esnasında oluşabilecek üretim hatalarını engellemek ve deneylerde gerçek sonuçlar elde edebilmek için malzemenin ihtiva ettiği nemin azaltılması gerekmektedir. Bunun için malzemeler hammadde kurutma fırınında 80 °C sıcaklıkta 2 saat boyunca fırınlanmıştır. Bu işlem malzeme üzerindeki nemi azaltarak kabul edilebilir aralık olan %0,2-%0,3 dolaylarına indirmiştir. Kullanılan kurutma fırını şekil 3.10’da görülmektedir.



Şekil 3.10: Çalışmada kullanılan kurutma fırını.

3.4 Geri Dönüşüm Aşaması

Çalışmada geri dönüşüm işlemi enjeksiyondan çıkan malzemelerin kırma makinesinde kırılarak tekrardan kompond hattında granül haline getirilmesi

şeklinde gerçekleştirilmiştir. Malzemelerin çapak (kırık malzeme) haline getirilmesi için kullanılan Shini SG-3060EH marka kırma makinesinin teknik özellikleri çizelge 3.5’de verilmiştir.

Çizelge 3.5: Kırma makinesinin teknik özellikleri.

Rotor Genişliği	60 cm
Kademeli Bıçak Sayısı	5
Sabit Bıçak Sayısı	2
Bıçak Boyu	60 cm
Elek Çapı	8 mm

Şekil 3.11’de, çalışmada kullanılan kırma makinesi görülmektedir.



Şekil 3.11: Çalışmada kullanılan kırma makinesi.

3.5 Enjeksiyon Aşaması

Bu aşamada, hazırlanan 20 çeşit 10’ar kg ağırlığındaki numunelerden 4 aşamada deney çubukları üretilmiştir. Her bir numune için 10’ar adet çubuk deney için

ayrılmış ve kalan test çubukları geri dönüşüm işlemi için paketlenmiştir. Numuneler arası geçişte kovanda malzeme kalmaması ve hazırlanan hammaddelerin birbirine karışmaması için her enjeksiyon işleminden önce kovandaki malzeme boşaltılmıştır. Enjeksiyon işlemi için kullanılan Ekin 100T marka yatay plastik enjeksiyon makinesine ait teknik özellikler çizelge 3.6’da verilmiştir.

Çizelge 3.6: Plastik enjeksiyon makinesi teknik özellikleri.

Mengene Kapama Kuvveti	100 Ton
Vida Çapı	40 mm
Enjeksiyon Ağırlığı	225 gr
Enjeksiyon Basıncı	190 MPa
Vida Devir Hızı	0 – 280 dev/dak
Vida Stroğu	200 mm

Enjeksiyon işleminden önce hammaddenin nemini almak için enjeksiyon makinesi üzerinde bulunan kurutma ünitesinde malzemelerin kurutulması gerekmektedir. Elyaf takviyeli polyamid 6.6 kompozitleri için 120 °C sıcaklıkta 4 saat, katkısız saf polyamid 6.6 malzemeler için ise 100 °C sıcaklıkta 4 saat boyunca kurutma işlemi gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Kurutma işlemi daha önce kurutma fırınında gerçekleştirildiği için bu aşama atlanmıştır. Şekil 3.12’de kullanılan plastik enjeksiyon makinesi verilmiştir.



Şekil 3.12: Çalışmada kullanılan plastik enjeksiyon makinesi.

Makine üzerinde bulunan otomasyon sistemi sayesinde enjeksiyon işlemi sırasında kullanılacak parametreler ayarlanabilmektedir. Firmanın önerileri doğrultusunda enjeksiyon parametreleri her bir numune için aynı olacak şekilde çizelge 3.7’de verildiği şekilde ayarlanmıştır.

Çizelge 3.7: Enjeksiyon parametreleri.

Enjeksiyon Basıncı	80 bar
Ütüleme Basıncı	60 bar
Vida Hızı	176 dev/dak
Kalıp Sıcaklığı	60 °C

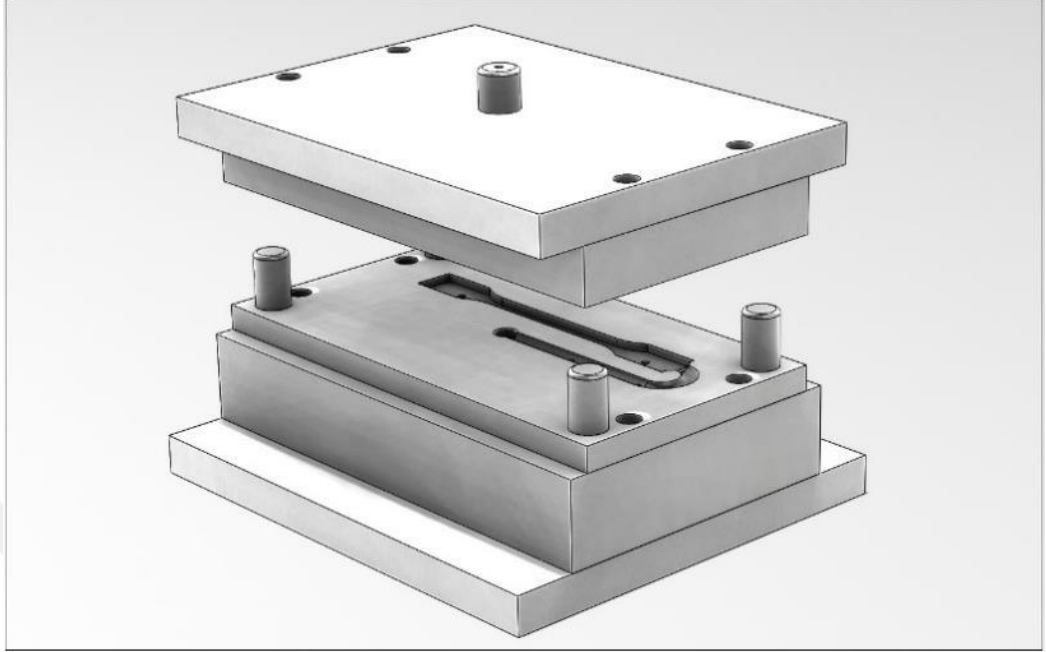
Çizelge 3.8’de hazne sıcaklıkları verilmiştir.

Çizelge 3.8: Hazne sıcaklıkları.

3. Bölge	2. Bölge	1. Bölge
205 °C	215 °C	225 °C

Firmanın kendi testlerinde kullandığı ve ISO 527-2 standardında belirtilen ölçülere göre hazırlanmış plastik enjeksiyon kalıbı kullanılmıştır. Şekil 3.13’de kullanılan

enjeksiyon kalıbının bilgisayar ortamında 3 boyutlu çizimi ve şekil 3.14’de plastik enjeksiyon kalıbının kendisi görülmektedir.

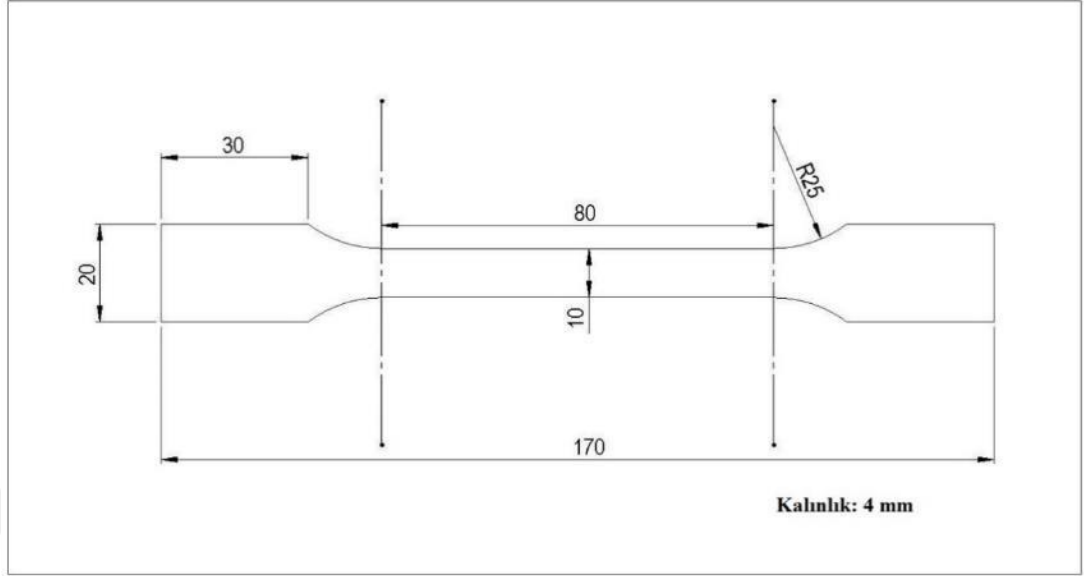


Şekil 3.13: Deney çubuğu kalıbının üç boyutlu çizimi.



Şekil 3.14: Deney çubuğu kalıbı.

Çekme test numuneleri enjeksiyon makinesinde ISO 527-2 standardına uygun ölçülerde üretilmiştir. Çekme test çubuklarının ölçüleri şekil 3.15’de verilmiştir.



Şekil 3.15: Çekme test numunesi ve ölçüleri.

Şekil 3.16’da kalıptan çıkartılan çekme test numuneleri görülmektedir.



Şekil 3.16: Kalıptan çıkartılmış çekme test numuneleri.

3.6 Deney Aşaması

Öncelikle elyaf katkılı kompozit hammaddelere kül testi uygulanarak malzeme içerisindeki elyaf oranları teyit edilmiştir. Daha sonra malzemenin mekanik özelliklerini belirlemek için malzeme üzerinde çekme testi ve darbe testi yapılmıştır.

Testler Nurlu Makine firmasında bulunan laboratuvarda gerçekleştirilmiştir. Çekme testi her bir numune için üç kez tekrarlanmış ve üç sonucun ortalaması alınmıştır. Darbe testi her bir numune için bir kez tekrarlanmıştır. Çekme test numunelerinin ölçüleri 0,01 mm hassasiyetli kumpasla ölçülerek kontrol edilmiştir. Laboratuvar şartlarına uyum sağlaması için, bütün numuneler test yapılmadan bir gün önce laboratuvara getirilerek ağızları açık halde bırakılmıştır. Tüm deneyler %30 nem ve 24 °C sıcaklık altında gerçekleştirilmiştir.

3.6.1 Kül testi

İçerisinde katkı malzemesi bulunan plastik malzemeler için içerdiği dolgu ve takviye oranı mekanik özellikleri açısından büyük önem arz etmektedir. Kül testi, plastik malzeme içerisindeki, varsa takviye edici madde oranını veya dolgu miktarını belirlemek için uygulanır. Bunun için özel olarak tasarlanmış fırınlarda belirli sıcaklıklarda, belirli bir süre bekletilen malzemelerden plastik malzeme uzaklaştırılır ve kalan malzeme hassas terazide tartılarak içerisindeki malzemenin miktarı belirlenir. Kül testi için Nurlu Makine firmasının laboratuvarında bulunan Protherm marka kül testi fırını kullanılmıştır. Şekil 3.17’de kullanılan kül testi fırını görülmektedir.



Şekil 3.17: Kül testi fırını.

İçerisinde takviye malzemesi bulunan 16 adet numuneden 40'ar gram alınarak fırınlama fincanının içerisine yerleştirilmiştir. Yerleştirilmeden önce hassas terazide fincanın ağırlığı ve koyulan malzemelerin ağırlıkları not edilmiştir. 800 °C sıcaklığa ayarlanan fırında 3 saat bekletilen numuneler fırından çıkartılmış ve kalan malzeme yeniden hassas terazide tartılarak not edilmiş ve malzeme içerisindeki katkı miktarı raporlanmıştır. Şekil 3.18'de fırından çıkartılan bir numune görülmektedir.



Şekil 3.18: Kül testi numunesi.

3.6.2 Çekme testi

Malzemelerin mekanik özelliklerini tayin etmek amacıyla en çok kullanılan test olan çekme testi, plastik malzemelerin mekanik özelliklerini belirlemek için de çok sık kullanılmaktadır. Bu testte malzemenin statik veya yavaş uygulanan bir yüke karşı dayanımı ölçülür. Çekme deneyi bize malzemenin dayanımı, sünekliği ve rijitliği hakkında bilgiler verir. Çekme testi 10 kN kapasiteli Devotrans marka DVT GPE model bir çekme cihazında, 100 mm/dak çekme hızında ISO 527-2 standardına uygun şekilde gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.19'da, çalışmada kullanılan çekme test cihazı görülmektedir.



Şekil 3.19: Çekme test cihazı.

Testler 20 farklı numune için üçer kez uygulanmış ve toplamda 60 kez çekme testi yapılmıştır. Numuneler 5 gruba ayrılarak artan bir şekilde numaralandırılmıştır.

Çekme test cihazı yukarıda ve aşağıda birer tane olmak üzere malzemeleri iki ucundan kavramaya yarayan iki çeneye sahiptir. Bu çeneler hem yukarı yönde hem de aşağı yönde eksenel yükleme yapabilecek şekilde hareket edebilirler. Çalışmada, deney çubukları üst ve alt çenelere düzgün ve çeneler arası mesafe 100 mm olacak şekilde sabitlenmiştir. Şekil 3.20’de deney çubuğunun test cihazı üzerindeki konumu gösterilmiştir.



Şekil 3.20: Çekme test çubuğunun cihaz üzerindeki konumu.

Deney esnasında hesaplamalar yapılırken malzemenin en baştaki kesit alanı baz alınır. Hesaplama için kullanılan formüller ve terimlerin açıklamaları aşağıda verilmiştir (Batur, 2009).

Gerilme, kuvvetin kesit alanına bölünmesiyle bulunur. Aşağıdaki gibi hesaplanır;

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (3.1)$$

Uzama değerlerinde başlangıç uzama değerleri esas alınır. Birim şekil değiştirme hesaplanırken uzunluk miktarındaki artış malzemenin ilk uzunluğuna bölünür;

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \quad (3.2)$$

$$\varepsilon(\%) = 100 \frac{\Delta L}{L_0} \quad (3.3)$$

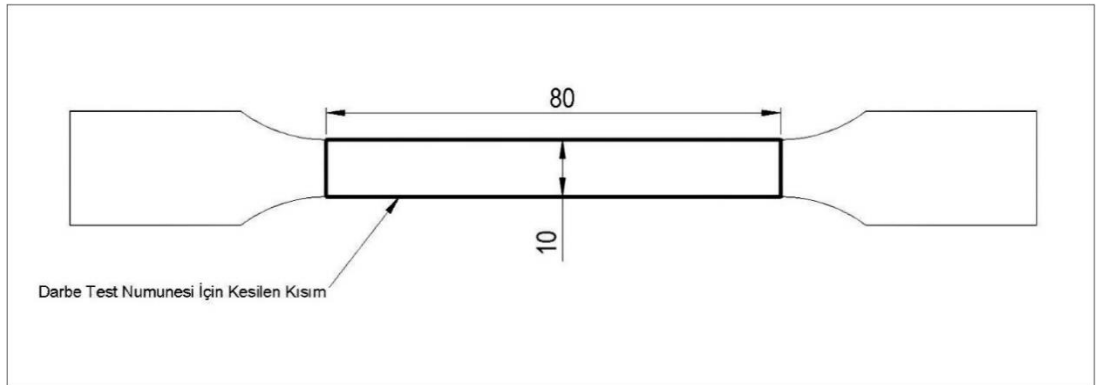
Şekil 3.21’de çekme testi sonucunda elyaf takviyeli numunenin kopma bölgesi görülmektedir.



Şekil 3.21: Cam elyaf takviyeli çekme numunesinin kopma bölgesi.

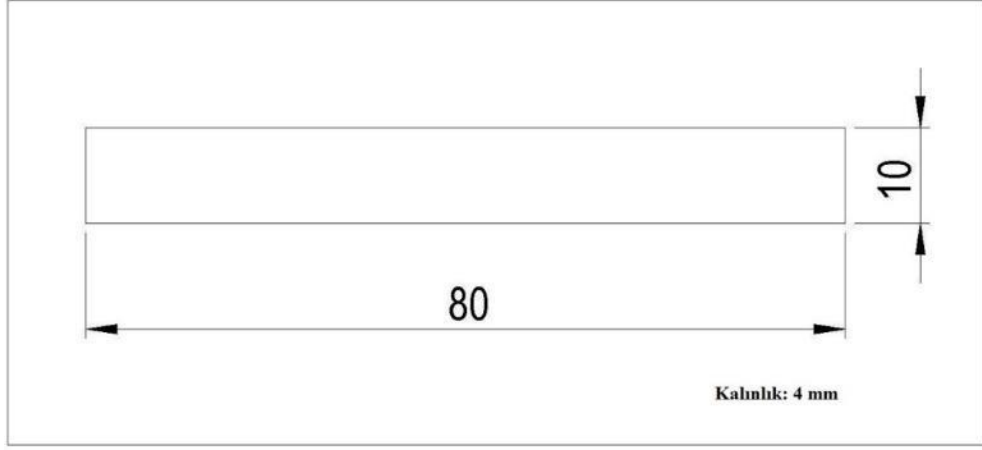
3.6.3 Darbe testi

Darbe testi iki tarafından desteklenen bir test çubuğunun orta noktasına dik olarak bir kuvvet uygulanmasıyla gerçekleştirilir. Çentikli ve çentiksiz olarak yapılabilecek darbe testi, çalışmamızda çentiksiz olarak uygulanmıştır. Çentiksiz darbe test numunelerinin ölçüleri ISO 180 standardında yer alan ölçülere uygun şekilde belirlenmiştir. Numuneler, standartta yer alan ölçülere sadık kalınarak daha önceden enjeksiyon makinesinde üretilen çekme test numunelerinin orta kısmından düzgün bir şekilde kesilerek hazırlanmıştır. Darbe test numunesinin çekme test numunesinin ortasından kesilerek elde edilmesi şekil 3.22’de göstermiştir.



Şekil 3.22: Darbe test numunesinin hazırlanması.

Şekil 3.23’de kullanılan darbe test numunelerinin ölçüsü verilmiştir.



Şekil 3.23: Darbe test numunelerinin ölçüleri.

Darbe test cihazı üzerinde salınım yapan bir çekiç bulunmaktadır. Cihaz üst kısmında belirli bir açıya göre konumlandırılan bu çekiç, numune sabit bir şekilde cihaz üzerinde konumlandırıldıktan sonra serbest bırakılır ve numuneyi kırmak suretiyle geliş yönünün tersi istikamette bir miktar ilerler. Bu ilerleme miktarına göre malzemenin darbe dayanımı değeri saptanır. Çalışmamızdaki darbe testi, Nurlu Makine firmasının laboratuvarında bulunan Devotrans marka, 4 J kapasiteli bir çekiçle donatılmış darbe test cihazında gerçekleştirilmiştir. Çekiç 165° açıyla konumlandırılmış ve sonuçlar J (joule) olarak rapor edilmiştir. Deney için kullanılan darbe test cihazı Şekil 3.24’de verilmiştir.



Şekil 3.24: Darbe test cihazı.

Her bir malzeme grubu için 1 kez darbe testi gerçekleştirilmiştir. Test numunesinin darbe cihazı üzerinde konumlandırılması şekil 3.25’de gösterilmektedir.



Şekil 3.25: Test numunesinin darbe cihazında konumlandırılması.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde, hazırlanan 20 farklı numuneye yapılan kül, çekme ve darbe testi sonuçları incelenmiştir. Maksimum kuvvet, maksimum gerilme, kopma uzaması ve darbe dayanımı ayrı ayrı incelenerek her bir geri dönüşüm işlemi için karşılaştırmalı olarak raporlanmıştır.

4.1 Kül Testi Sonuçları

Bu çalışmada 20 farklı numune üretilmiştir fakat bu üretilen numunelerin 16 tanesinde cam elyaf katkısı bulunmaktadır. Cam elyaf katkısı 4 farklı oranda yapılmıştır. Bu oranların doğruluğundan emin olmak adına malzemelere kül testleri uygulanmıştır. Malzemeler işlem görmemiş malzeme, 1 kez işlem görmüş malzeme, 2 kez işlem görmüş malzeme ve 3 kez işlem görmüş malzeme olarak 4 gruba ayrılmış ve 4 ayrı çizelge hazırlanmıştır. Sonuçlardan da anlaşılabacağı üzere kül testi sonucunda numunelerin içerisinde tespit edilen cam elyaf oranları olması gereken cam elyaf oranlarına çok yakın değerlerdir. Kül testi öncesi ve sonrası için ölçümlerde hassas terazi kullanılmıştır. Normal şartlarda ilk eklenen hammadde ağırlığı 40 gr olarak belirlenmişti fakat 2-3 grama kadar eksik veya fazla alma durumu olmuş ve test sonu hacimce cam elyaf oranı bu değerler referans alınarak hesaplanmıştır. İşlem görmemiş malzeme numunelerine yapılan kül testi sonuçları çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1: İşlem görmemiş malzemelerin kül testi sonuçları.

	Numune 2	Numune 3	Numune 4	Numune 5
Dara (gr)	24,7	24,2	25,3	24,6
Hammadde (gr)	39,7	42,3	39,9	41,2
Son Ağırlık (gr)	27,6	31,2	33,7	36,5
Kalan Elyaf (gr)	2,9	7	8,4	11,9
Elyaf Oranı (%)	7,3	16,5	21,05	28,88
İstenen (%)	7,5	15	22,5	30

Bir kez işlem görmüş malzeme numunelerine yapılan kül testi sonuçları çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2: Bir kez işlem görmüş malzemelerin kül testi sonuçları.

	Numune 7	Numune 8	Numune 9	Numune 10
Dara (gr)	25,5	25,3	24,2	24,6
Hammadde (gr)	40,6	42,2	39,4	38
Son Ağırlık (gr)	29,1	32,4	33,4	35,7
Kalan Elyaf (gr)	3,6	7,1	9,2	11,1
Elyaf Oranı (%)	8,8	16,8	23,35	29,2
İstenen (%)	7,5	15	22,5	30

İki kez işlem görmüş malzeme numunelerine yapılan kül testi sonuçları çizelge 4.3’de verilmiştir.

Çizelge 4.3: İki kez işlem görmüş malzemelerin kül testi sonuçları.

	Numune 12	Numune 13	Numune 14	Numune 15
Dara (gr)	24,5	23,9	24,5	24,7
Hammadde (gr)	40,5	41	40	39
Son Ağırlık (gr)	27,3	30,7	33,9	36,5
Kalan Elyaf (gr)	2,8	6,8	9,4	11,8
Elyaf Oranı (%)	6,9	16,5	23,5	30,3
İstenen (%)	7,5	15	22,5	30

Üç kez işlem görmüş malzeme numunelerine yapılan kül testi sonuçları çizelge 4.4’de verilmiştir.

Çizelge 4.4: Üç kez işlem görmüş malzemelerin kül testi sonuçları.

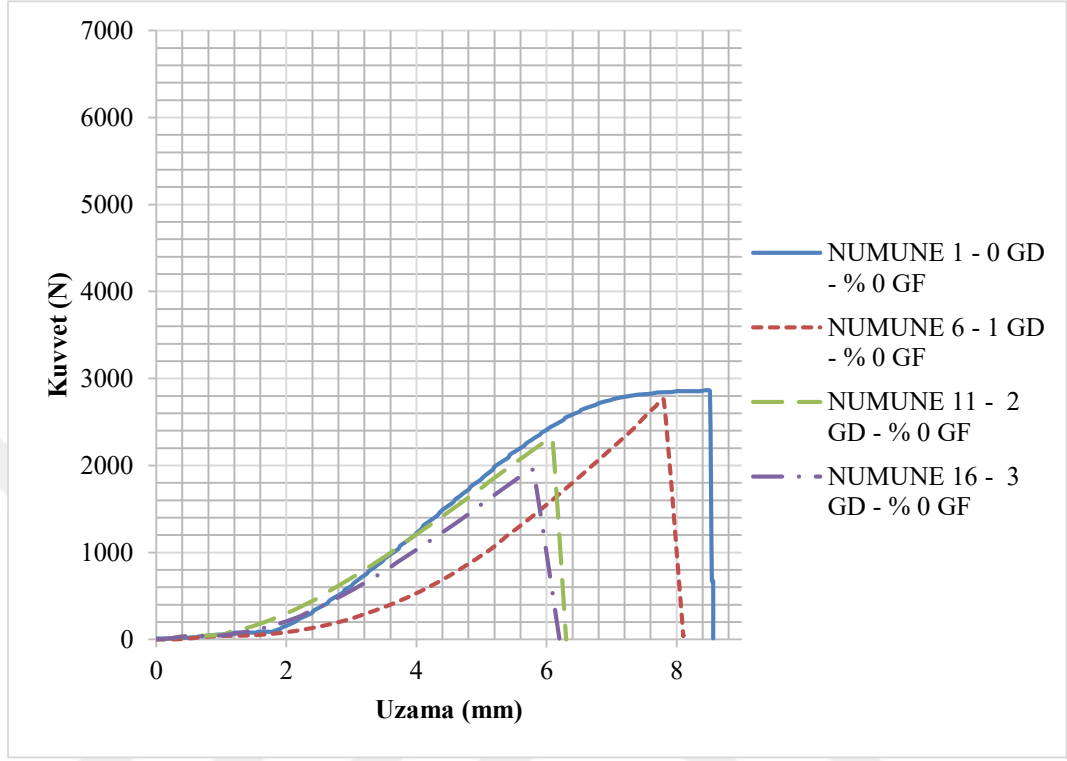
	Numune 17	Numune 18	Numune 19	Numune 20
Dara (gr)	25,1	24,1	24,9	25,2
Hammadde (gr)	38,2	40	41	42
Son Ağırlık (gr)	28,9	29,6	34,7	38,6
Kalan Elyaf (gr)	3	5,5	9,8	13,4
Elyaf Oranı (%)	7,8	13,75	23,9	31,9
İstenen (%)	7,5	15	22,5	30

4.2 Mekanik Testlerin Sonuçları

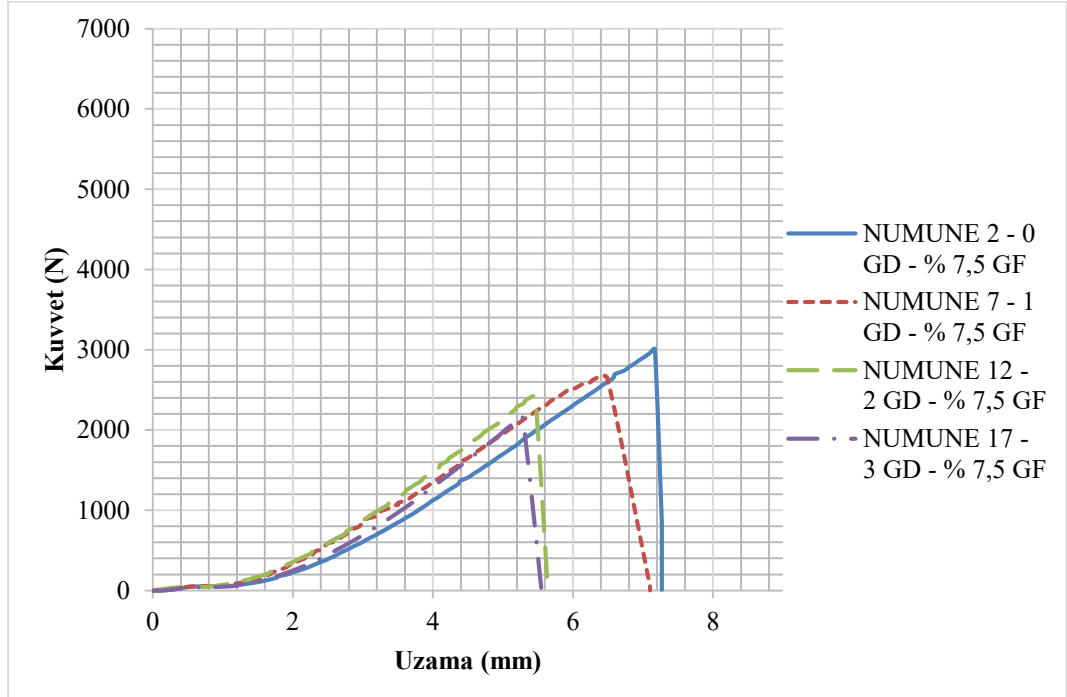
4.2.1 Geri dönüşümün mekanik özelliklere etkisinin incelenmesi

Plastik enjeksiyon makinesinde malzemenin üretiminden sonra kırılarak tekrar granül haline getirilmesi ve daha sonrasında tekrardan plastik enjeksiyonda üretilmesi işlemlerini kapsayan geri dönüşüm işlemi sonucunda malzemede meydana gelen değişiklikler çekme testi ile incelenmiştir. Malzemeler karşılaştırılırken beş gruba ayrılmıştır. Bu gruplar; katkısız malzemeler, %7,5 cam elyaf katkılı malzemeler, %15 cam elyaf katkılı malzemeler, %22,5 cam elyaf katkılı malzemeler, %30 cam elyaf katkılı malzemelerdir. Katkısız, %7,5 katkılı, %15 katkılı, %22,5

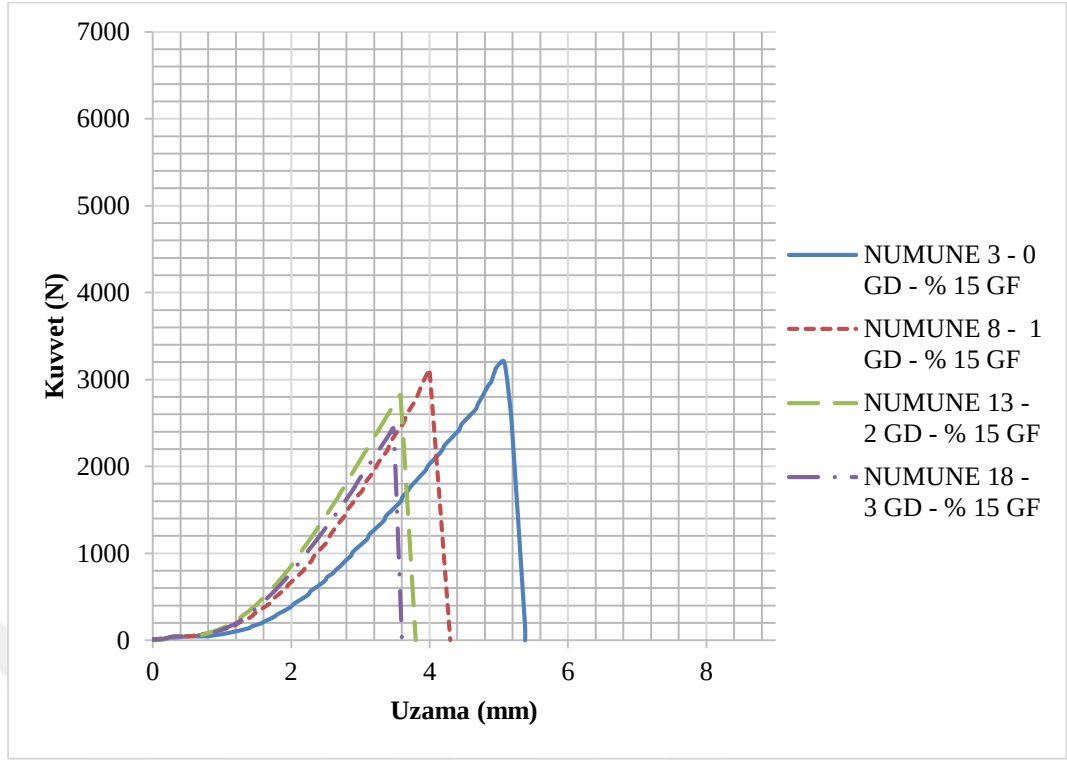
katkılı ve %30 katkılı malzemelerin geri dönüşüm işlemi sonucunda maksimum çekme kuvveti (N)–birim uzama (mm) diyagramı karşılaştırmalı grafikleri şekil 4.1, şekil 4.2, şekil 4.3, şekil 4.4 ve şekil 4.5’de verilmiştir.



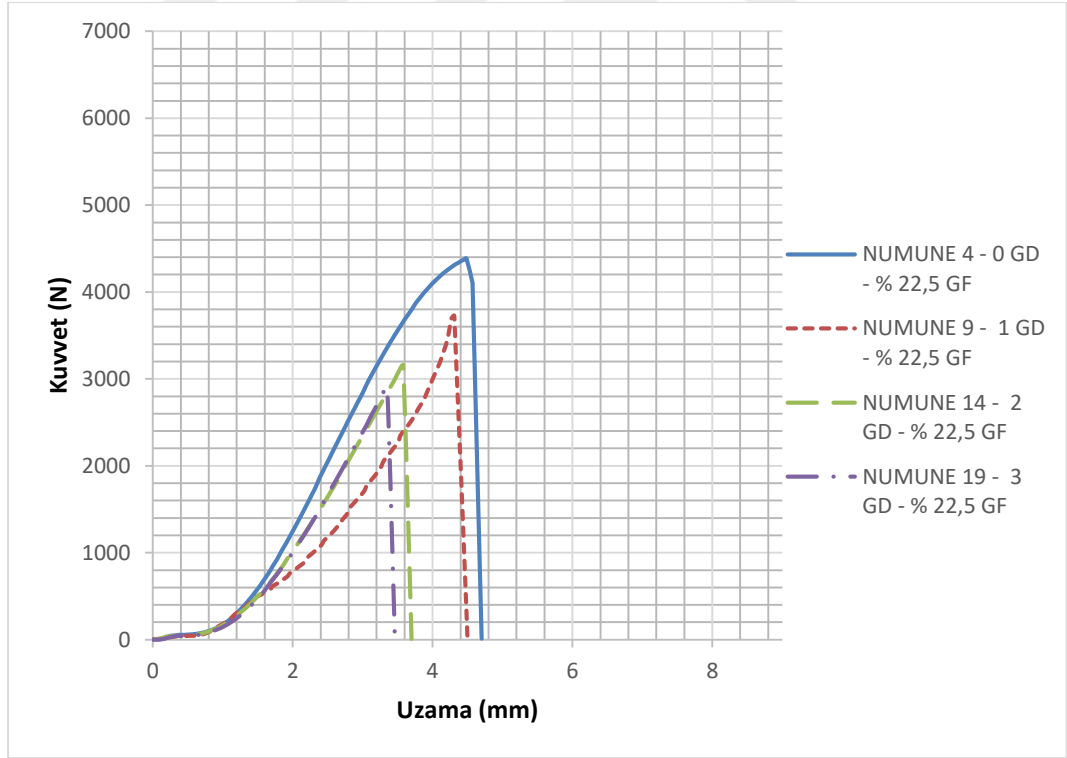
Şekil 4.1: Geri kazanılmış katkısız malzemelerin kuvvet–uzama grafiği.



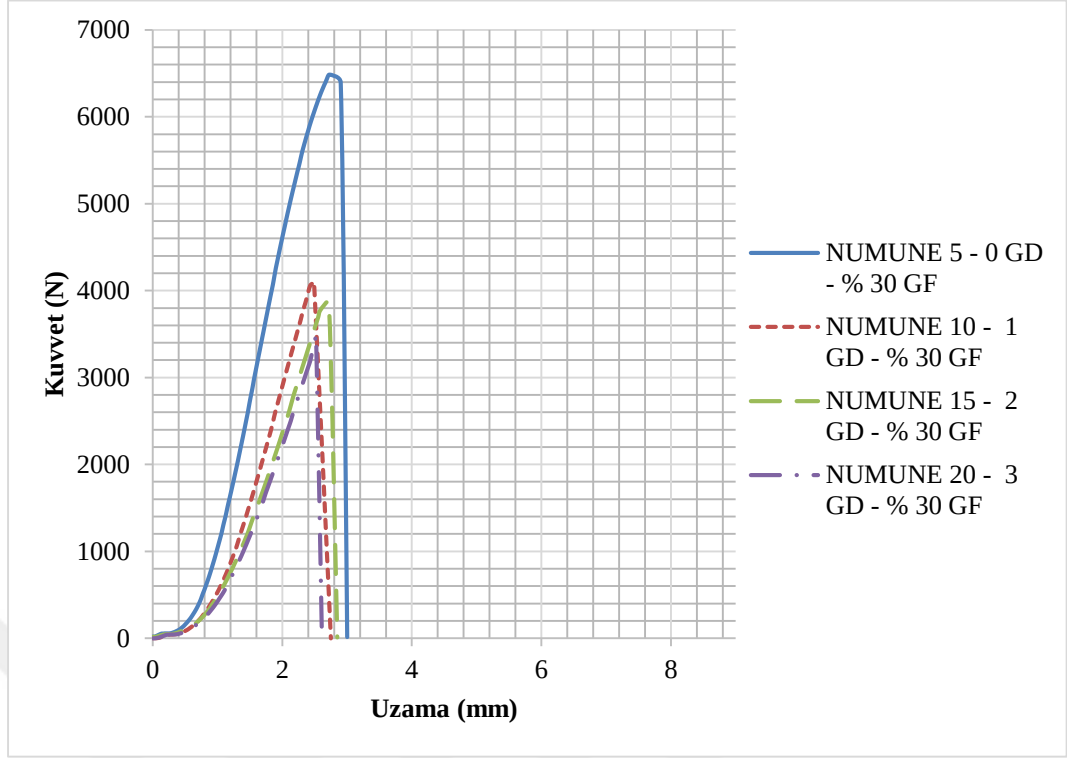
Şekil 4.2: Geri kazanılmış %7,5 elyaf katkılı malzemelerin kuvvet–uzama grafiği.



Şekil 4.3: Geri kazanılmış %15 elyaf katkılı malzemelerin kuvvet–uzama grafiği.



Şekil 4.4: Geri kazanılmış %22,5 elyaf katkılı malzemelerin kuvvet– uzama grafiği.



Şekil 4.5: Geri kazanılmış %30 elyaf katkılı malzemelerin kuvvet-uzama grafiği.

100 mm/dak sabit çekme hızında gerçekleştirilen deneylerin sonuçlarına göre malzemelerin içerisinde bulunan cam elyaf yüzdelere göre oluşturulan beş farklı karşılaştırmalı grafik incelendiğinde maksimum kuvvetin geri dönüşüm sayısı arttıkça bariz bir şekilde düştüğü görülebilir. Kopma uzaması değerlerinin de geri dönüşüm sayısının artmasıyla birlikte azaldığını görebiliriz. Geri dönüşüm işlemi aynı zamanda malzemenin maksimum gerilmesi üzerinde de etki göstermiştir. Geri dönüşüm işlemi sonucu katkısız malzemelerin maksimum gerilme, maksimum kuvvet ve birim uzaması değerleri çizelge 4.5’de verilmiştir.

Çizelge 4.5: Katkısız numunelerin karşılaştırılması.

	Numune 1	Numune 6	Numune 11	Numune 16
Maksimum Gerilme (N/mm ²)	73,027	70,17	58,74	49,45
Maksimum Kuvvet (N)	2862,6	2750,6	2302,6	1938,6
Birim Uzama (mm)	8,5	7,68	6,01	5,80

Geri dönüşüm işlemi sonucu %7,5 cam elyaf katkılı malzemelerin maksimum gerilme, maksimum kuvvet ve birim uzaması değerleri çizelge 4.6’da verilmiştir.

Çizelge 4.6: %7,5 cam elyaf katkılı numunelerin karşılaştırılması.

	Numune 2	Numune 7	Numune 12	Numune 17
Maksimum Gerilme (N/mm ²)	78,23	67,44	61,64	55,16
Maksimum Kuvvet (N)	3066,6	2644	2416,33	2162,33
Birim Uzama (mm)	7,20	6,51	5,43	5,28

Geri dönüşüm işlemi sonucu %15 cam elyaf katkılı malzemelerin maksimum gerilme, maksimum kuvvet ve birim uzaması değerleri çizelge 4.7’de verilmiştir.

Çizelge 4.7: %15 cam elyaf katkılı numunelerin karşılaştırılması.

	Numune 3	Numune 8	Numune 13	Numune 18
Maksimum Gerilme (N/mm ²)	83,5	79,79	71,83	62,142
Maksimum Kuvvet (N)	3273,33	3128	2816	2436
Birim Uzama (mm)	5,08	3,86	3,55	3,48

Geri dönüşüm işlemi sonucu %22,5 cam elyaf katkılı malzemelerin maksimum gerilme, maksimum kuvvet ve birim uzaması değerleri çizelge 4.8’de verilmiştir.

Çizelge 4.8: %22,5 cam elyaf katkılı numunelerin karşılaştırılması.

	Numune 4	Numune 9	Numune 14	Numune 19
Maksimum Gerilme (N/mm ²)	113,86	95,76	80,34	73,67
Maksimum Kuvvet (N)	4463,33	3754	3149,33	2888
Birim Uzama (mm)	4,58	4,27	3,58	3,35

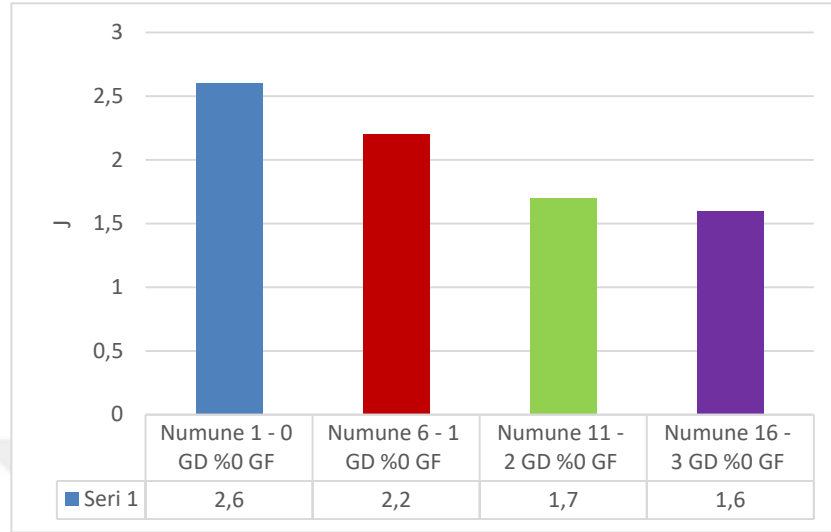
Geri dönüşüm işlemi sonucu %30 cam elyaf katkılı malzemelerin maksimum gerilme, maksimum kuvvet ve birim uzaması değerleri çizelge 4.9’da verilmiştir.

Çizelge 4.9: %30 cam elyaf katkılı numunelerin karşılaştırılması.

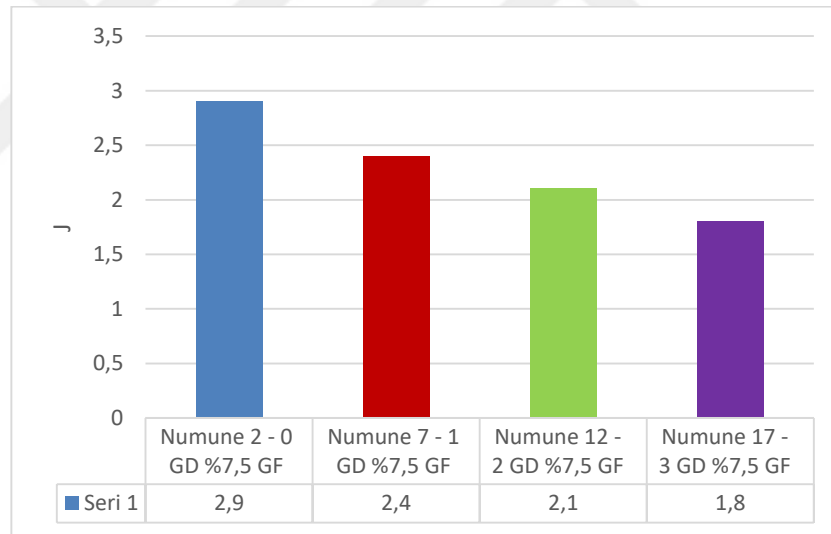
	Numune 5	Numune 10	Numune 15	Numune 20
Maksimum Gerilme (N/mm ²)	165,44	104,574	97,94	88,94
Maksimum Kuvvet (N)	6485,33	4099,33	3839,33	3486,66
Birim Uzama (mm)	2,74	2,5	2,72	2,52

Tablolardaki verilerden de anlaşılacağı üzere malzemeye uygulanan her bir geri dönüşüm işlemi malzemenin çekme dayanımı ve birim uzamasının yanında maksimum gerilmesini de azaltmıştır. Çekme deneyinden elde ettiğimiz verilerin yanında daha sonra uygulanan darbe testlerinde de benzer sonuçlar elde edilmiştir. Geri dönüşüm sayısı ile orantılı bir şekilde darbe dayanımının düştüğü gözlemlenmiştir. Daha önce yapılmış bir yüksek lisans tezinde, polietilen ve polipropilen malzemelerin geri dönüşümü sonucu mekanik özelliklerindeki değişim incelenmiş ve geri dönüşüm işlemi sonucunda çekme dayanımlarının azaldığı gözlemlenmiştir (Medar, 2013). 2006 yılında yapılmış başka bir çalışmada saf polyamid 6.6 malzeme içerisine çeşitli oranlarda geri dönüştürülmüş malzeme ilave edilmiş ve maksimum gerilme değerinin aynı oranda düştüğü gözlemlenmiştir (Bernasconi vd., 2006). Katkısız, %7,5 cam elyaf katkılı, %15 cam elyaf katkılı,

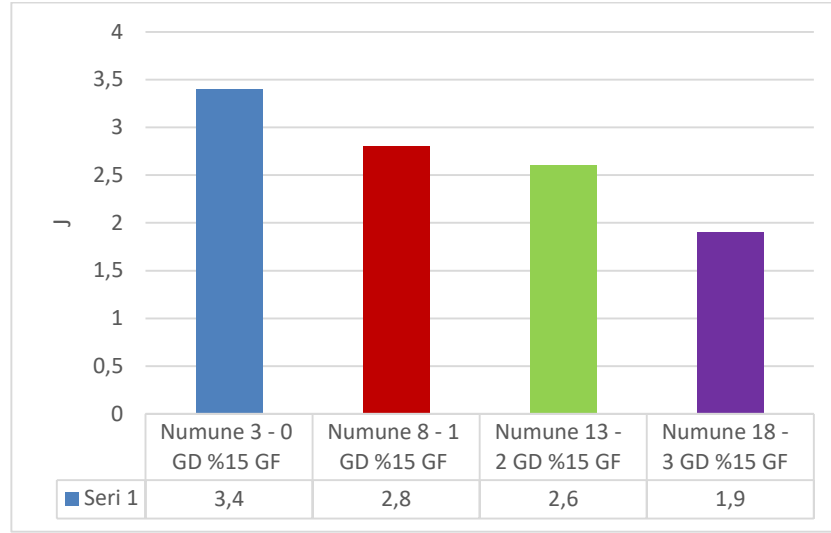
%22,5 cam elyaf katkı ve %30 cam elyaf katkı malzemeler üzerinde geri dönüşümün darbe dayanımı üzerindeki etkisinin gösterildiği grafikler; şekil 4.6, şekil 4.7, şekil 4.8, şekil 4.9 ve şekil 4.10’da verilmiştir.



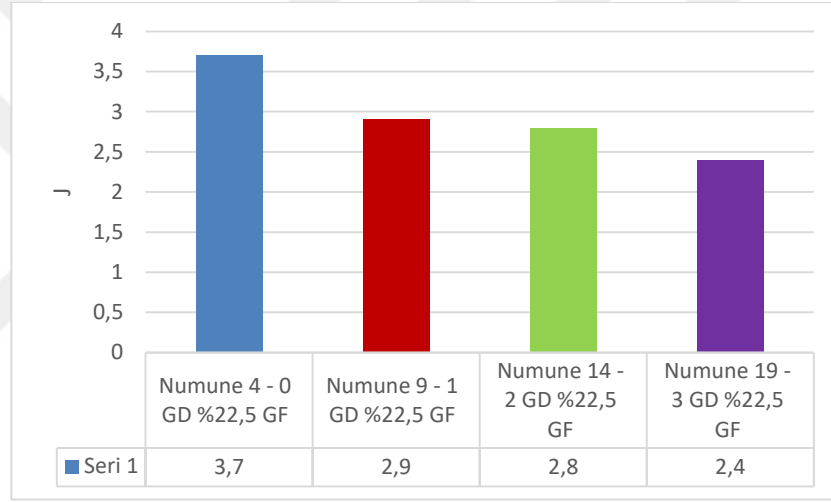
Şekil 4.6: Geri dönüşümün katkısız malzemelerin darbe direncine etkisi.



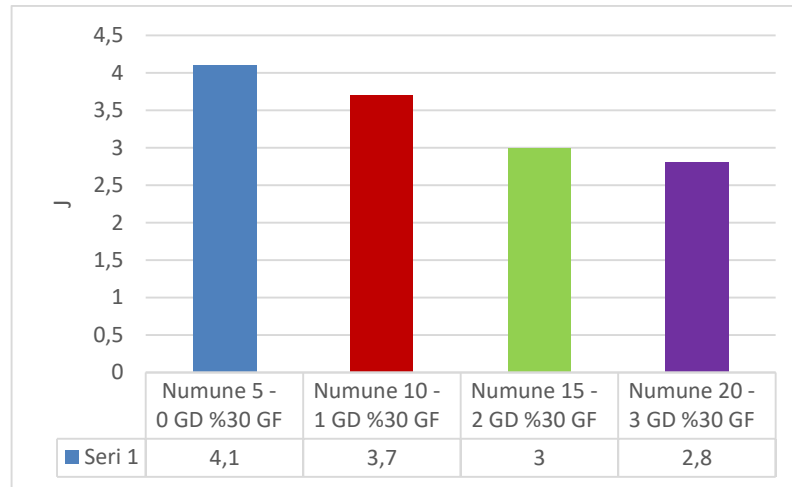
Şekil 4.7: Geri dönüşümün %7,5 elyaf katkı malzemelerin darbe direncine etkisi.



Şekil 4.8: Geri dönüşümün %15 elyaf katkılı malzemelerin darbe direncine etkisi.



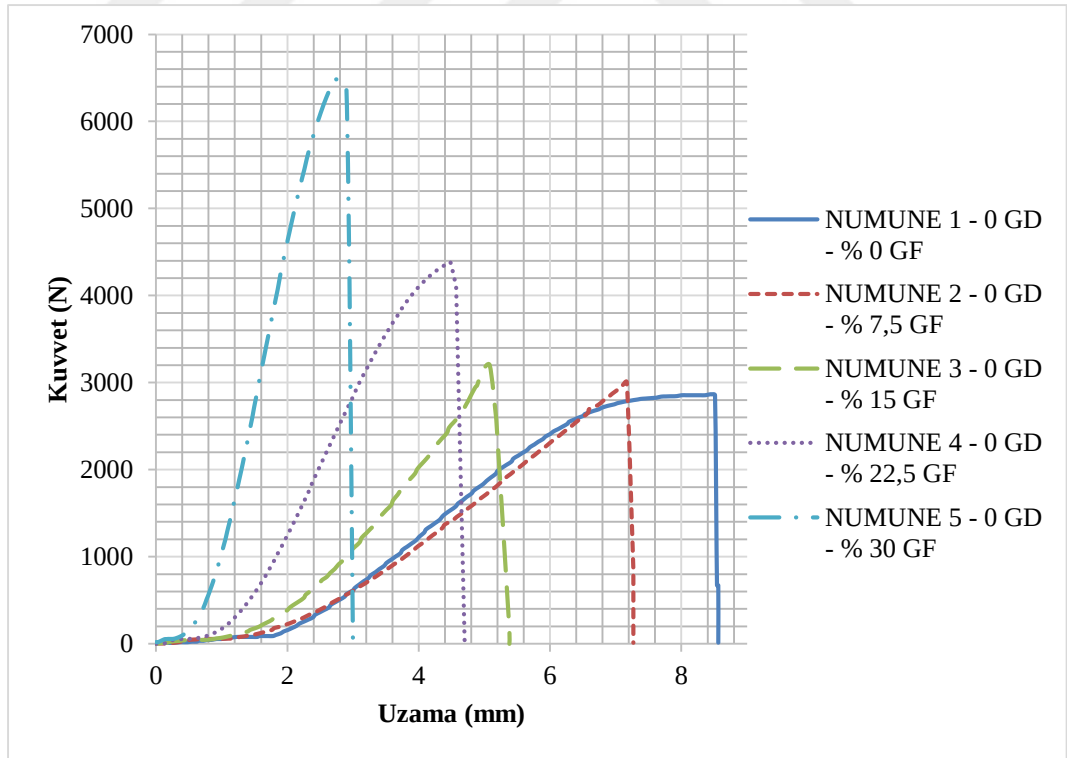
Şekil 4.9: Geri dönüşümün %22,5 elyaf katkılı malzemelerin darbe direncine etkisi.



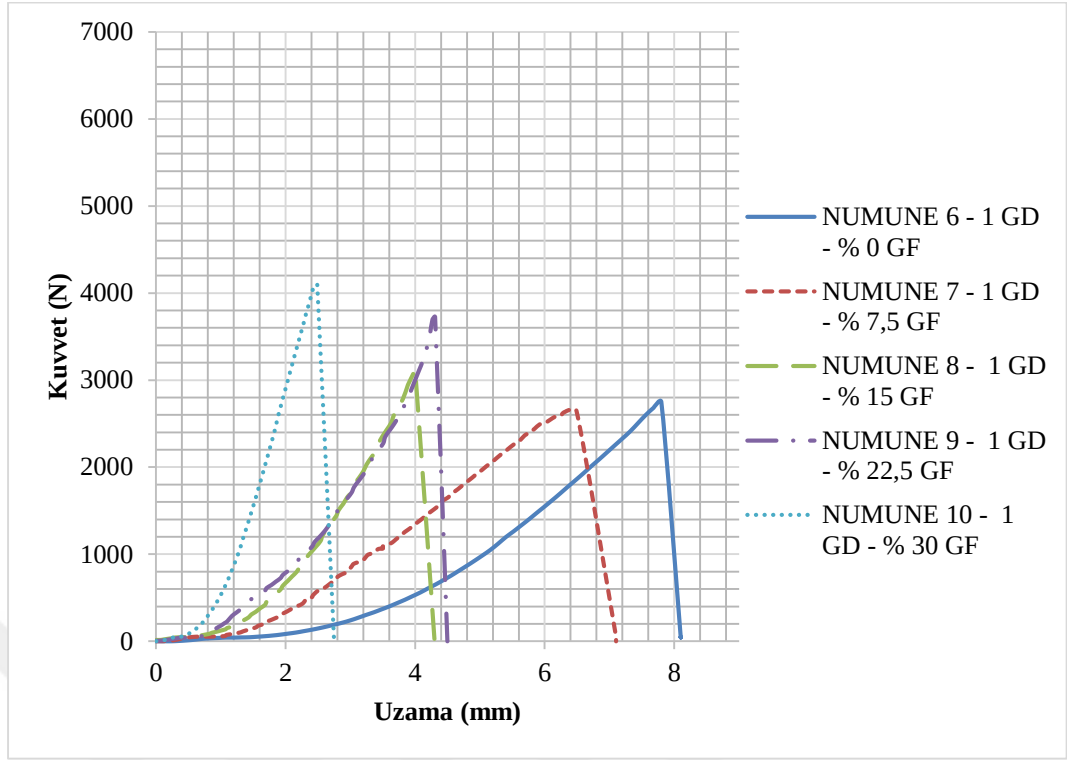
Şekil 4.10: Geri dönüşümün %30 elyaf katkılı malzemelerin darbe direncine etkisi.

4.2.2 Cam elyaf katkısının mekanik özelliklere etkisinin incelenmesi

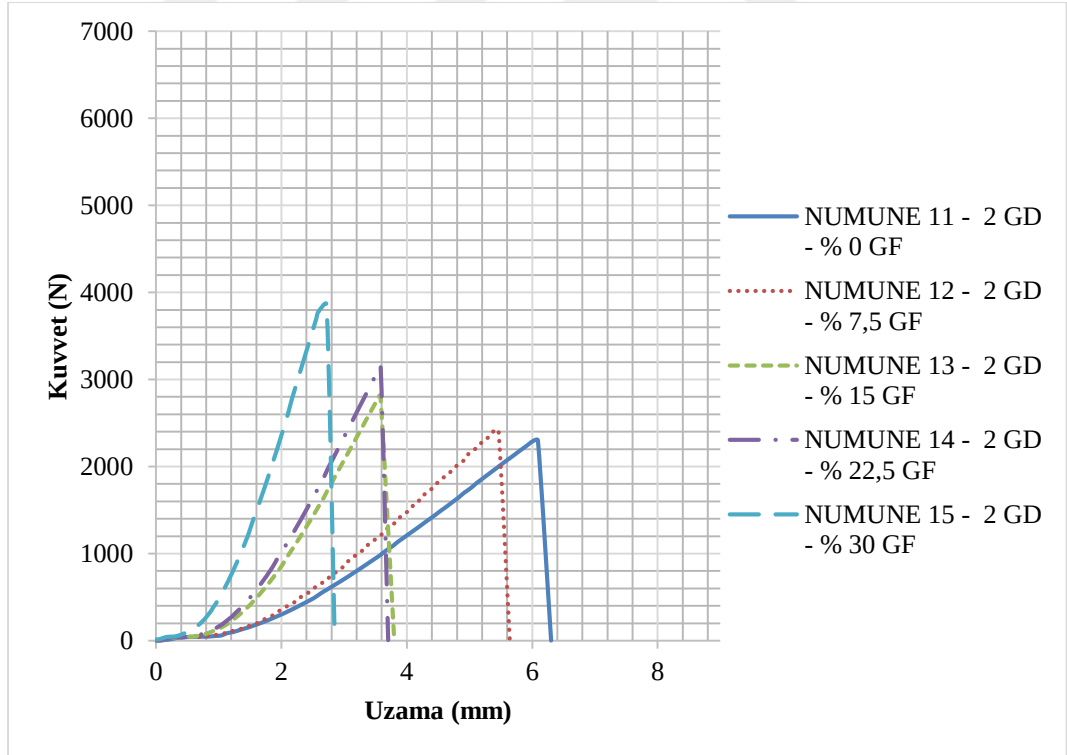
Cam elyaf, malzemenin mekanik özelliklerini arttırmak için kullanılan bir takviye malzemesidir. Geçmiş yıllarda yapılan çalışmalara bakıldığında cam elyafın her bir geri dönüşüm işlemi için malzemenin mekanik özelliklerini arttırması beklenmektedir. Daha önce yapılmış bir yüksek lisans tezinde polyamid 6 ve polyamid 6.6 malzemelere katılan %15 ve %30 oranlarındaki cam elyafın mekanik özellikleri arttırdığı açık bir şekilde görülmektedir (Gönenli, 2014). Bir başka çalışmada ise polyamid 6 malzemesine yapılan %30 oranında bir elyaf katkısının çekme dayanımını %111 oranında arttırdığı görülmüştür (Özdemir, 2001). Cam elyafın malzemeler üzerindeki etkisini göstermek için malzemeler; işlem görmemiş, bir kez geri dönüştürülmüş, iki kez geri dönüştürülmüş, üç kez geri dönüştürülmüş malzemeler olarak dört farklı gruba ayrılmış ve her bir grup için ayrı ayrı karşılaştırmalı grafikler hazırlanmıştır. İşlem görmemiş, bir kez geri dönüştürülmüş, iki kez geri dönüştürülmüş ve üç kez geri dönüştürülmüş malzemeler üzerinde cam elyafın etkisini gösteren kuvvet-uzama grafikleri şekil 4.11, şekil 4.12, şekil 4.13 ve şekil 4.14’de verilmiştir.



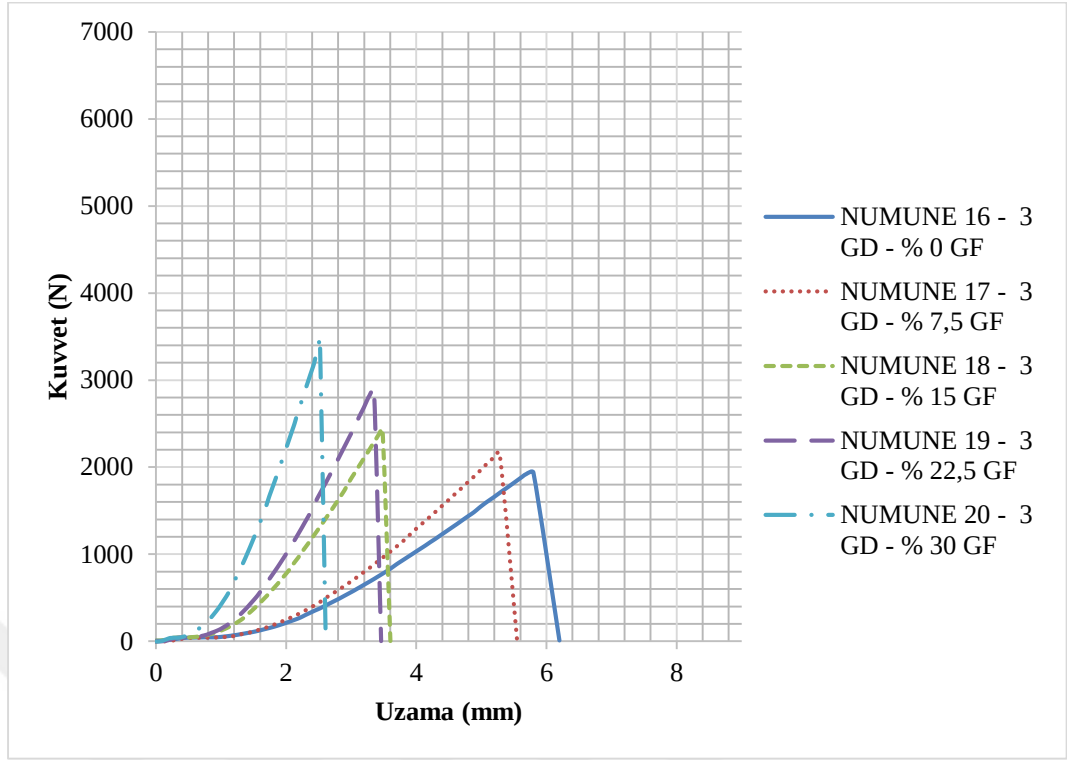
Şekil 4.11: İşlem görmemiş malzemelerin kuvvet-uzama grafikleri.



Şekil 4.12: Bir kez geri dönüştürülmüş malzemelerin kuvvet-uzama grafikleri.



Şekil 4.13: İki kez geri dönüştürülmüş malzemelerin kuvvet-uzama grafikleri.



Şekil 4.14: Üç kez geri dönüştürülmüş malzemelerin kuvvet-uzama grafikleri.

Cam elyaf katkısı malzemelerin çekme dayanımlarını arttırmasının yanında kopma uzamasını da gözle görülür bir şekilde azaltmıştır. 2006 yılında yapılan bir çalışmada polyamid 6.6 malzemeye cam elyaf ilave edilmesi sonucu malzemenin gevrek bir yapıya büründüğü görülmüştür (Mouhmid vd., 2006).

Bir kez geri dönüştürülmüş malzemelerde cam elyafın etkisine baktığımızda; %15 elyaf katkısının malzemenin dayanımını %13, %22,5 elyaf katkısının malzemenin dayanımını %35, %30 elyaf katkısının malzemenin dayanımını %50 oranında arttırdığı görülmüştür. %7,5 elyaf katkılı numunelerde %4 oranında bir düşüş gözlemlenmiştir. Bu tutarsız sonucun malzemenin nemli olmasına bağlı olarak enjeksiyon aşamasında yaşanan problemten dolayı meydana geldiği düşünülmüştür. Bir kez geri dönüştürülmüş malzemelerin maksimum gerilme, maksimum kuvvet ve birim uzama değerlerinin karşılaştırmaları çizelge 4.10'da verilmiştir.

Çizelge 4.10: Bir kez geri dönüştürülmüş malzemelerin karşılaştırılması.

	Numune 11	Numune 12	Numune 13	Numune 14	Numune 15
Maksimum Gerilme (N/mm ²)	58,74	61,64	71,83	80,34	97,94
Maksimum Kuvvet (N)	2302	2416,3	2816	3149,3	3839
Birim Uzama (mm)	7,68	6,51	3,86	4,27	2,5

İki kez geri dönüştürülmüş malzemelerde cam elyafın etkisi incelendiğinde; %7,5 elyaf katkısının malzemenin dayanımını %5, %15 elyaf katkısının malzemenin dayanımını %18, %22,5 elyaf katkısının malzemenin dayanımını %36, %30 elyaf katkısının malzemenin dayanımını %66 oranında arttırdığı görülmüştür. İki kez geri dönüştürülmüş malzemelerin maksimum gerilme, maksimum kuvvet ve birim uzama değerlerinin karşılaştırmaları çizelge 4.11’de verilmiştir.

Çizelge 4.11: İki kez geri dönüştürülmüş malzemelerin karşılaştırılması.

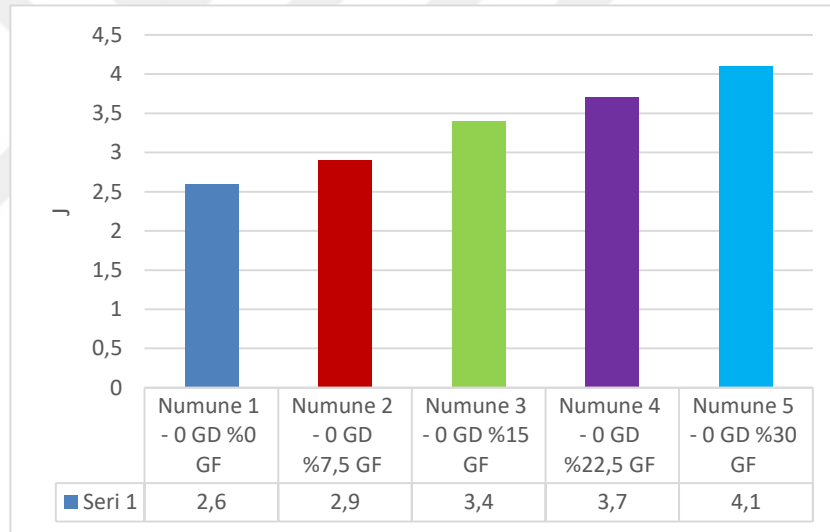
	Numune 6	Numune 7	Numune 8	Numune 9	Numune 10
Maksimum Gerilme (N/mm ²)	70,1	67,44	79,7	95,7	104,5
Maksimum Kuvvet (N)	2750,6	2644	3128	3754	4099,3
Birim Uzama (mm)	6,01	5,43	3,55	3,58	2,72

Üç kez geri dönüştürülmüş malzemelerde cam elyafın etkisi incelendiğinde; %7,5 elyaf katkısının malzemenin dayanımını %11, %15 elyaf katkısının malzemenin dayanımını %25, %22,5 elyaf katkısının malzemenin dayanımını %50, %30 elyaf katkısının malzemenin dayanımını %80 oranında arttırdığı görülmüştür. Üç kez geri dönüştürülmüş malzemelerin maksimum gerilme, maksimum kuvvet ve birim uzama değerlerinin karşılaştırmaları çizelge 4.12’de verilmiştir.

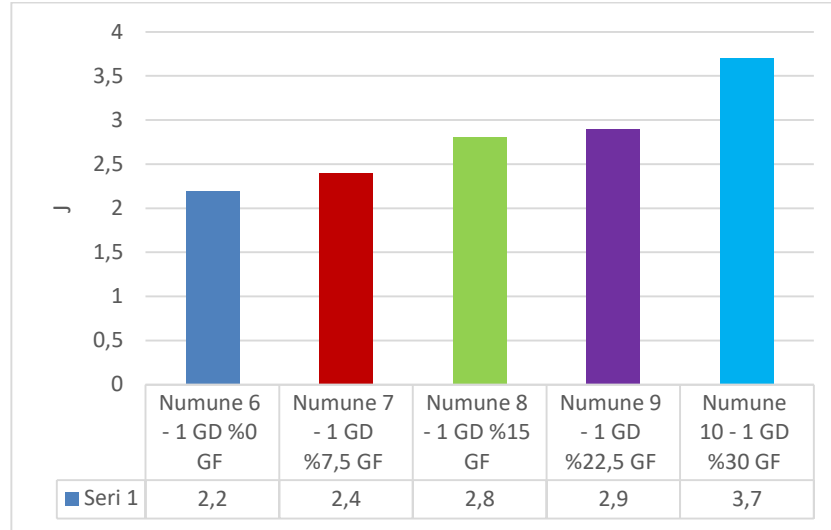
Çizelge 4.12: Üç kez geri dönüştürülmüş malzemelerin karşılaştırılması.

	Numune 6	Numune 7	Numune 8	Numune 9	Numune 10
Maksimum Gerilme (N/mm ²)	70,1	67,44	79,7	95,7	104,5
Maksimum Kuvvet (N)	2750,6	2644	3128	3754	4099,3
Birim Uzama (mm)	6,01	5,43	3,55	3,58	2,72

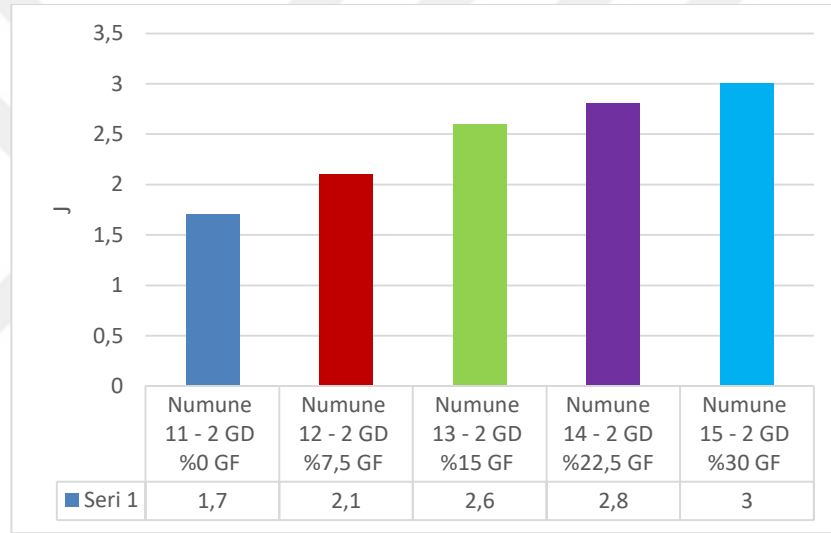
Yapılan darbe testleri sonucunda işlem görmemiş malzemeler, bir kez geri dönüştürülmüş malzemeler, iki kez geri dönüştürülmüş malzemeler ve üç kez geri dönüştürülmüş malzemeler için hazırlanan karşılaştırmalı grafikler şekil 4.15, şekil 4.16, şekil 4.17 ve şekil 4.18’de verilmiştir.



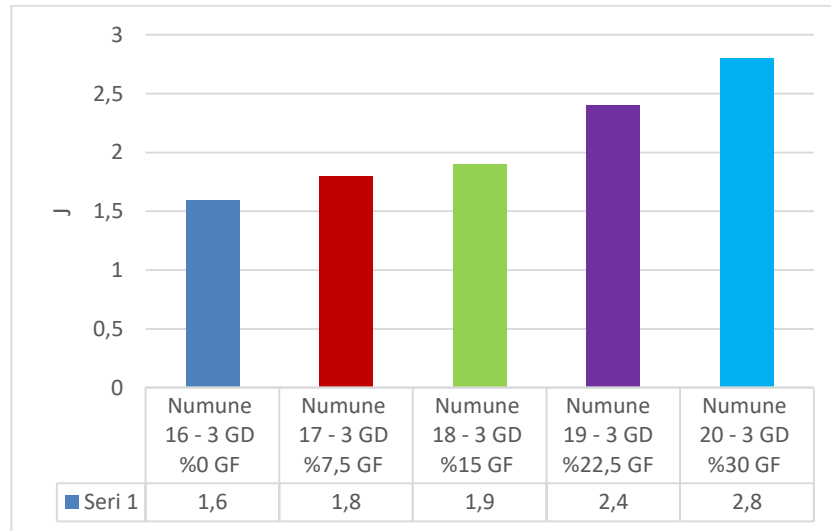
Şekil 4.15: İşlem görmemiş malzemelerin darbe testi sonuçları.



Şekil 4.16: Bir kez geri dönüştürülmüş malzemelerin darbe testi sonuçları.



Şekil 4.17: İki kez geri dönüştürülmüş malzemelerin darbe testi sonuçları.



Şekil 4.18: Üç kez geri dönüştürülmüş malzemelerin darbe testi sonuçları.

Dört gruba ayrılan malzemeler için ayrı ayrı incelendiğinde de cam elyaf katkısının her bir grup malzeme için darbe dayanımını arttırdığı görülmektedir. Hem çekme testi hem de darbe testi sonuçları birlikte incelendiğinde geri dönüşüm sayısı arttıkça elyafın, malzemenin mekanik özellikleri üzerindeki etkinin giderek arttığı görülmektedir. Örneğin, bir kez geri dönüştürülmüş malzeme grubuna baktığımızda %30 elyaf katkısı malzemenin çekme dayanımını %50 arttırırken, iki kez geri dönüştürülmüş malzeme grubunda bu artış %66, üç kez geri dönüştürülmüş malzeme grubunda ise %80 seviyesinde olduğunu görebiliriz. Matris malzememizin geri dönüşüm işlemi sonucunda mekanik dayanımının azaldığını ve içerisine ilave edilen elyafın ise mekanik dayanımının sabit olduğunu göz önünde bulundurursak bu artış beklenildiği düzeyde gerçekleşmiştir.

Mekanik açıdan yüksek bir dayanıma sahip olan cam elyafın malzeme içerisinde ağırlıkça yüzdesel olarak artması aynı şekilde çekme ve darbe dayanımını da beklenildiği gibi arttırmıştır. Ağırlıkça elyaf yüzdesinin artmasıyla birlikte malzemenin kopma uzaması da ters orantılı bir şekilde azalmış, malzeme beklenildiği gibi sünek davranıştan gevrek yapıya geçiş yapmıştır.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada geri dönüşüm işleminin ve cam elyaf katkısının polyamid 6.6 malzemesinin mekanik özelliklerinde meydana getirdiği değişiklikler incelenmiştir. Geri dönüşüm işlemi, kompond üretiminden sonra enjeksiyonda şekillendirme ve ardından kırma makinesinde kırarak tekrar kompond oluşturma aşamalarını kapsamıştır. Dört gruba ayrılan malzemeler; işlem görmemiş, bir kez geri dönüştürülmüş, iki kez geri dönüştürülmüş ve üç kez geri dönüştürülmüş malzemeler olarak adlandırılmıştır. Bu dört grup malzemeye; %7,5, %15, %22,5 ve %30 olmak üzere dört farklı oranda cam elyaf takviyesi yapılmıştır. Saf malzemelerle beraber oluşturulan yirmi farklı numuneye çekme ve darbe testleri uygulanarak sonuçlar karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. İlk olarak orijinal malzemeden elde edilen test sonuçları firmadan alınan verilerle karşılaştırıldığında bir miktar düşük çıkmasına rağmen değerler arasındaki fark çok fazla olmadığı için tutarlı bulunmuştur. Deneysel çalışmadan önce malzeme özel bir şartlandırma işlemine tabi tutulmadığı için sonuçlarda bir miktar sapma olması normal karşılanmıştır.

Geri dönüşüm işlemi saf malzemelerin mekanik özellikleri üzerinde beklenildiği gibi bir düşüş meydana getirmiştir. Bu azalmayı çekme dayanımı için inceleyecek olursak; birinci geri dönüşümde %4, ikinci geri dönüşümde %16, üçüncü geri dönüşümde ise %15 dolaylarında olmuştur ve literatürdeki diğer çalışmalarla karşılaştırıldığında tutarlı bulunmuştur. Kopma uzamasında ise geri dönüşümün etkisi; birinci geri dönüşümde %10, ikinci geri dönüşümde %20, üçüncü geri dönüşümde ise %3 dolaylarında bir azalma olarak gözlemlenmiştir. Numunelerin hepsini karşılaştırdığımızda kopma uzaması birinci ve ikinci geri dönüşümde beklenildiği oranlarda bir azalma meydana getirirken üçüncü geri dönüşümde bu azalma daha düşük seviyelerde olmuştur. Yapılan darbe testi sonucunda geri dönüşüm işleminin; birinci aşamada %15, ikinci aşamada %22 ve üçüncü aşamada %5 oranında darbe dayanımını düşürdüğü gözlemlenmiştir. Tıpkı kopma uzamasında olduğu gibi darbe dayanımında da üçüncü geri dönüşümdeki düşüş diğerlerine nazaran daha düşük seviyede olmuştur. Bu üç parametreyi göz önünde bulundurarak bir değerlendirme yapacak olursak; geri dönüşüm işlemi malzemenin mekanik olarak

dayanımını düşürürken, kopma uzamasını da azaltarak malzemenin esneklik kabiliyetini kaybetmesine sebep olmaktadır. Birinci geri dönüşüm işlemi sonucunda değerler kabul edilebilir düzeylerde kalırken, ikinci geri dönüşüm işlemi sonucunda düşüş kritik düzeylerde olmuştur, üçüncü geri dönüşümde ise değişim nispeten daha az olmuştur.

Geri dönüşüm işleminden sonra oluşan dört farklı malzemeye; %7,5, %15, %22,5 ve %30 oranlarında cam elyaf takviyesi yapılmıştır. 16 tanesi kompozit malzeme olmak üzere toplamda oluşturulan 20 farklı malzemeye yapılan deney sonuçları karşılaştırıldığında beklenildiği gibi cam elyaf takviyesiyle birlikte malzemenin mekanik özelliklerinde iyileşme gözlemlenirken kopma uzamasında da bir azalma meydana geldiği görülmüştür. Genel olarak cam elyaf takviyesinin malzemenin çekme dayanımı üzerindeki etkisine bakıldığında, geri dönüşüm sayısı arttıkça cam elyafın malzeme üzerindeki etkisi artmıştır. %7,5 elyaf takviyesi çekme dayanımını %5 dolaylarında arttırırken, kopma uzamasını da %10 dolaylarında azaltmıştır. %15 elyaf takviyesi ise çekme dayanımını %18 dolaylarında arttırırken kopma uzamasını %40 seviyesinde azaltmıştır. Darbe dayanımını ise ortalama %30 seviyesinde arttırmıştır. %22,5 elyaf takviyesi çekme dayanımını %45 dolaylarında arttırırken, kopma uzamasını ise %40 dolaylarında azaltmıştır. Darbe dayanımına bakıldığında ise %40-45 düzeyinde arttırdığı gözlemlenmiştir. %30 elyaf takviyesi ise işlem görmemiş malzemede çekme dayanımını %120 gibi yüksek bir oranda arttırırken, diğer numunelerde bu oran ortalama %55-60 seviyesinde kalmıştır. Kopma uzamasını %60 seviyesinde azaltmış ve darbe dayanımında %60-70 oranında bir artış sağlamıştır. Hem geri dönüştürülmüş hem de işlem görmemiş malzemelere baktığımız zaman kopma uzamasında %15 seviyesine kadar ani bir düşüş gözlemlenirken sonrasında bu düşüş daha düşük seviyelerde olmuştur.

Bunlara ek olarak, firmadan temin edilen ürün fiyatlarını kullanarak her bir malzeme için maliyet hesabı yapılmıştır. Hesap yapılırken cam elyaf takviyeli numuneler için kompozit oluşturma maliyeti de göz önünde bulundurularak çıkartılan maliyete ilave edilmiştir. Malzemelerin mekanik test sonuçlarını göz önünde bulundurduğumuzda; numune 1'e yani orijinal ve katkısız polyamid 6.6 malzemeye en yakın dayanım özelliklerini gösteren malzemeler numune 7 (1. G.D %7,5 CET), numune 13 (2. GD %15 CET) ve numune 19 (3. GD %22,5 CET) olmuştur. Aynı mekanik dayanıma sahip bu malzemelerin maliyetlerini karşılaştırdığımız zaman; numune 1, numune 7, numune 13 ve numune 19'un sırasıyla birim fiyatları; 11,5

TL/kg, 10,84 TL/kg, 8,52 TL/kg ve 6,78 TL/kg olarak hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar sonucunda, saf polyamid 6.6 malzeme ile aynı mekanik özelliklere sahip geri dönüştürülmüş malzemelerden üretilen elyaf takviyeli kompozitlerin maliyeti, saf ve işlem görmemiş polyamid 6.6 malzemenin maliyetinden daha düşük olduğu görülmüştür. Ayrıca geri dönüşüm sayısı arttıkça maliyetin daha da azaldığı görülmüştür.

Yapılan mekanik testler sonucunda geri dönüşümün malzemenin mekanik özellikleri üzerindeki olumsuz etkileri bariz bir şekilde gözlemlenmiştir. Geri dönüştürülmüş malzemelere ilave edilen cam elyaflar, malzemelerin çekme ve darbe dayanımlarını arttırırken kopma uzamalarını azaltmıştır. Geri dönüştürülmüş malzemelere elyaf katkısı yapılarak elde edilen kompozit malzemeler, saf ve geri dönüştürülmemiş olarak piyasadan temin edilen polyamid 6.6 malzemelerle karşılaştırıldığında maliyet açısından oldukça avantajlı olduğu görülmüştür. Yüksek kopma uzamasına ihtiyaç duyulmayan uygulamalarda bu kompozitlerin kullanımının maliyet açısından oldukça büyük bir avantaj sağlayacağı görülmektedir. Örneğin pencere, kapı ve cephe sistemlerinde sıklıkla kullanılan alüminyum doğrama profilleri için üretilen polyamid bazlı ısı yalıtım bariyerlerinde yüksek kopma uzaması aranmamaktadır. Bu uygulama alanında, çalışmamızda üretimini gerçekleştirdiğimiz geri dönüştürülmüş ve cam elyaf katkısı yapılmış polyamid malzemelerin kullanımı maliyet açısından büyük bir avantaj sağlayacağı gibi mekanik dayanım açısından orijinal malzemeyle kıyaslandığında herhangi bir değişim söz konusu olmayacaktır. Bunun yanında otomotiv sektöründe ve bazı makine parçalarında sıklıkla kullanılan polyamid bazlı dişliler gibi kullanım koşullarına göre kopma uzaması değerinin göz ardı edilemediği uygulamalarda bu tarz kompozitlerin kullanımı uygun değildir.

Çalışma esnasında bazı numuneler beklenildiği gibi sonuç vermemiştir. Enjeksiyon esnasında plastik akışkanın kalıp içerisine homojen bir dağılım gösterememesine bağlı olarak malzemede hava boşlukları kalması, malzemelerin ortam şartlarından etkilenerek nem oranının artması ve deneylerden önce şartlandırma için özel bir işlem uygulanmaması bu olumsuz durumun tahmin edilen sebepleridir.

Sonuç olarak bütün veriler karşılaştırıldığında; çekme dayanımı açısından cam elyaf takviye oranlarına baktığımızda işlem görmemiş ve bir kez geri dönüştürülmüş malzeme grubu için en iyi cam elyaf takviye oranının %22,5 ve %30 olduğu görülmüştür. İki ve üçüncü kez geri dönüştürülen malzeme grubu için ise %15 ve %30 elyaf takviye oranlarında en iyi sonuçlar elde edilmiştir. Darbe dayanımı

sonuçlarına baktığımızda; işlem görmemiş, bir kez geri dönüştürülmüş ve iki kez geri dönüştürülmüş malzeme gruplarında %15 ve %30, üç kez geri dönüştürülmüş malzeme grubunda ise %22,5 ve %30 elyaf takviye oranlarında en iyi sonuçlar elde edilmiştir.

Bundan sonra konuyla ilgili çalışma yapacaklara bir takım öneriler aşağıda sıralanmıştır;

1. Geri dönüşüm işleminin polyamid 6.6 malzemesinin kimyasal özellikleri üzerindeki etkisi incelenebilir
2. Geri dönüşüm sayısı artırılarak malzemenin plastik enjeksiyonda üretilebilirliği araştırılabilir ve çözümler sunulabilir
3. Polyamid 6.6 içerisine ilave edilen cam elyaf takviye oranları çeşitlendirilerek daha farklı oranlarda cam elyafın malzeme üzerindeki mekanik ve kimyasal etkileri incelenebilir
4. Geri dönüşüm işlemine tabi tutulmuş polyamid 6.6 malzeme içerisine cam elyaf dışında farklı katkı maddeleri eklenerek mekanik özelliklerindeki değişiklikler incelenebilir
5. Geri dönüştürülmüş polyamid 6.6 malzeme içerisine ilave edilen cam elyaf malzemesi çeşitlendirilerek farklı çap ve uzunlukta cam elyaflar kullanılabilir ve bu malzemelerin etkisi incelenebilir
6. Polyamid 6.6 malzemenin geri kazanımı aşamasında kırma işleminin yanında toz haline getirerek öğütme işlemi de uygulanarak iki yöntemin de hem malzemenin mukavemeti hem de kompond aşamasındaki davranışları incelenebilir
7. Geri dönüştürülmüş polyamid 6.6 malzeme üzerinde cam elyafın mekanik özelliklere etkisi, çekme ve darbe deneyi dışında başka mekanik deneyler de uygulanarak incelenebilir
8. Geri dönüştürülmüş polyamid 6.6 malzemesi üzerinde cam elyafın etkisini incelerken deney numunesi üretim aşamasında farklı üretim yöntemleri kullanılarak ve üretim parametreleri değiştirilerek yine malzemenin mekanik özelliklerindeki değişimler incelenebilir.

KAYNAKLAR

- Akkurt, S., 2007. Plastik malzeme bilimi, teknolojisi ve kalıp tasarımı, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Akyüz, Ö.F., 1998. Plastikler ve Plastik Enjeksiyon Teknolojisine Giriş, Pagev Yayınları, İstanbul.
- Batur, A., 2009. Plastiklere uygulanan mekanik deneyler ve ilgili standartlar, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Bernasconi, A., Rossin, D. ve Armanni, C., 2006. Analysis of the effect of mechanical recycling upon tensile strength of a short glass fibre reinforced polyamide 6.6, Engineering Fracture Mechanics, 74, 627-641.
- Bulut, M., 2014. Türkiye’de kompozit malzeme üretimi ve kompozit malzeme sektörünün genel değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Erbay, B., 2006. Nemin %30 cam elyafı ile takviye edilmiş poylamid 6.6 malzemede sıkıştırılabilme mukavemeti üzerine etkisinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osman Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Erbay, K., 2009. Silah gövdeleri için polimer esaslı kompozit malzeme üretimi ve özelliklerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Gönenli, C., 2014. Polyamid 6 ve polyamid 6.6 malzemelerde farklı elyaf karışım kombinasyonlarının mekanik özelliklere etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Güllü, A., Özdemir, E. ve Demir, H., 2001. Enjeksiyon parametrelerinin cam elyaf takviyeli polipropilen (PP) ve naylon 6 (PA 6) kompozitlerin mekanik özelliklerine etkisinin araştırılması, Niğde Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 5, 1, 11-19.

- Karadeniz, E., 2006. Poliamid/polipropilen (PA/PP) karışımlarının yapı ve özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kaya, F., 2005. Ana hatlarıyla plastikler ve katkı maddeleri, Birsan Yayınevi, İstanbul.
- Kocabaş, G.B., 2014. Cam elyaf takviyeli PA 6.6 nın enjeksiyon prosesinin simülasyon yoluyla analizi, Yüksek Lisans Tezi, Hitit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çorum.
- Kocatüfek, U.E., 2013. Polyamid esaslı malzemelerde cam elyaf katkısının sıcak plaka kaynağı üzerindeki etkisinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Kıralp, S., Çamuroğlu, P., Özkoç, G., Baydemir, T., Erdoğan, S. Ve Doğan, M. 2006. Plastikler, Odtü Yayıncılık, Ankara.
- Maspoch, M.L., Fernando, H.E. ve Velasco, J.I., 2003. Characterisation of filled and recycled PA6, Macromolecular Symposia, 194, 295-303.
- Medar, M.M., 2013. Geri dönüştürülmüş cam elyaf katkılı ve katkısız polipropilen-polietilen malzemelerin mekanik ve kimyasal özelliklerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gebze İleri teknoloji Enstitüsü, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- Mouhmid, B., Imad, A., Benseddiq, N., Benmedakhene, S. ve Maazouz, A., 2006. A study of the mechanical behaviour of a glass fibre reinforced poliamide 6.6: experimental investigation, Polymer Testing, 25, 4, 544-552.
- Pınar, E., 2010. Plastik enjeksiyon yöntemiyle imalatla hataların tespiti ve proses şartlarının optimizasyon uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Saylan, T., 2010. PA 6 kompozitlerinin termal, mekanik ve tribolojik özelliklerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Saçak, M., 2005. Polimer teknolojisi, Gazi Kitabevi, Ankara.
- Smith, W.F., 1986, Principles of materials science and engineerin, Mc Graw Hill Book Co., New York, ABD.

Thomason, J.L., 2005. The influence of fibre length and concentration on the properties of glass fibre reinforced polypropylene. 6. The properties of injection moulded long fibre PP at high fibre content, Composites, A, 36, 995-1003.

Turaçlı, H., 2003. Enjeksiyoncunun el kitabı, Pagev Yayınları, İstanbul.

Tümer, H., 2013. Karbon ve cam elyaf takviyeli polimer matrisli kompozit şaftların burulma mukavemeti, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.

Yakut, M. Z., 2014. Servo kontrollü bir plastik enjeksiyon makinesinin tasarımı ve üretimi, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.

Yılmaz, U. ve Evcı, C., 2015. Havacılık ve savunma sektöründe kompozit malzemelerin geleceği, Savunma Bilimleri Dergisi, 14, 2, 77-109.

Özdemir, E., 2001. Polipropilen ve naylon 6 plastiklerine katılan cam elyafın mekanik özelliklere etkisinin deneysel araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Özer H., 2015. Sürekli cam elyaf takviyeli termoplastik kompozit malzemelerin geliştirilmesi ve mekanik özelliklerinin deneysel olarak belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.

Ünal, H.,1999. AYPE/PA 6 blendi ile geri kazanılmış PA 6 ve PA 66'nın özelliklerinin iyileştirilmesi, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.

Şahin, M., 2014. Cam elyaf takviyeli, polyamid-6 matrisli kompozit malzemeye bor oksit (B₂O₃) ilavesinin malzemenin mekanik özelliklerine etkisinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale.

URL-1 <<http://www.tekstilteknik.blogspot.com.tr>>, alındığı tarih: 03.07.2017.

URL-2 <<http://www.kossecomposite.com>>, alındığı tarih: 04.07.2017.

URL-3 <<http://www.teknikbilimler.net>>, alındığı tarih: 10.07.2017.

URL-4 <<http://www.putech-composites.com>>, alındığı tarih: 15.07.2017.

URL-5 <<http://www.uskudar.biz/malzeme-bilgisi>>, alındığı tarih: 20.07.2017.

URL-6 <<http://www.kimnezamanicatetti.com/kevlar>>, alındığı tarih: 27.07.2017.



ÖZGEÇMİŞ

Adı ve Soyadı :Berkay Yıldız
Doğum Tarihi ve Yeri :05.04.1990 - Adana
E-posta adresi :berkayyaldiz@hotmail.com

EĞİTİM BİLGİLERİ (Kurum ve Yıl)

Lisans :Aksaray Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,
Makine Mühendisliği, 2015
Yüksek Lisans :Aksaray Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,
Makine Mühendisliği, 2018