T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENJEKSİYONDA ŞEKİLLENDİRİLEN TERMOPLASTİK MALZEMELERDE FARKLI DOLGULARIN BİRLEŞME İZİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Öğretmeni Zeki Hüseyin GÜNEY

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNE EĞİTİMİ

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Ahmet DEMİRER

Ağustos 2011

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENJEKSİYONDA ŞEKİLLENDİRİLEN TERMOPLASTİK MALZEMELERDE FARKLI DOLGULARIN BİRLEŞME İZİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Öğretmeni Zeki Hüseyin GÜNEY

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNE EĞİTİMİ

Bu tez 13 / 5 /2011 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

Yrd. Doç. Dr. Yavuz SOYDAN	Yrd. Doç. Dr. Ahmet DEMİRER	Yrd. Doç. Dr. Mesut DURAT
Jüri Başkanı	Üye	Üye

ÖNSÖZ

Malzeme sektöründe farklı ihtiyaç ve özellikte yeni tür ürünlerin oluşumuna olanak sağlayan kompozit malzeme teknolojisi plastik dünyasına da yeni ufuklar açmıştır. Özellikle iki ve daha çok burgulu ekstrüzyon makinelerininin çalışma hayatına girmesiyle bu anlamda yapılan yeni çalışmaların artmasına neden olmuştur.

Geçmişten günümüze yapılan çalışmalara bakıldığında kompozit malzeme teknolojisinin kullanımı iki amaç doğrultusunda gerçekleşmektedir. Birincisi kullanılan ürünlerin mekanik değerlerini yükseltmek ya da istenilen oranda düşürmektir. İkincisi ise kullanılan ana ürüne takviye olarak daha ucuz malzeme kullanarak üretim maliyetini düşürmektir.

Bu çalışmanın amacı; doğal dolguların belli oranlarda kullanımı ile enjeksiyon kalıplarında oluşan birleşme izinin mekanik özelliklere etkisinin araştırılmasıdır.

Yapılan tez çalışmasında endüstride yoğun olarak kullanılan termoplastik malzemelerden PA6, ABS ve YYPE'ne farklı oranlarda katılan pirinç kabuğu tozu, wollostanit ve mika tozu doğal dolguların, enjeksiyon kalıplarında üç farklı proses sıcaklığında basılarak elde edilen birleşme izinin çekme ve eğilme dayanımlarına etkileri incelenmiştir. Çalışma birleşme izli ve izsiz numunelerin mekanik test sonuçlarının karşılaştırılması ile yapılmıştır.

Bu çalışma Sakarya Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu (BAPK) Lisansüstü Tez Projeleri kapsamında desteklenmiştir.

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamda yardımını esirgemeyen danışmanım Yrd. Doç. Dr. Ahmet Demirer'e araştırma boyunca anlayış ve rehberliği için en derin saygılarımı sunarım.

Ayrıca çalışmalarımda bana yol göstermekle kalmayıp bir çok kurumla iletişim kurmamı sağlayan Alpin Kimya Müdürü Mahmut HASAN'a, kullandığım plastiklerin ekstrüzyon ve enjeksiyon işlemlerini yapmamı sağlayan Emaş Plastik Üretim Müdürü Ercan Kahraman'a ve deneylerimi yapmama olanak sağlayan Federal Elektrik Kalite Kontrol Müdürü Ataç Kınalı'ya teşekkürü borç bilirim.

Bu mutluluğu benle paylaşamayan Aileme

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ…….. i
TEŞEKKÜR..... ii
İTAF……... iii
İÇİNDEKİLER iv
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ..... viii
ŞEKİLLER LİSTESİ ix
TABLOLAR LİSTESİ..... xii
ÖZET..... xiv
SUMMARY..... xv

BÖLÜM 1.
GİRİŞ..... 1

BÖLÜM 2. POLİMERLER VE DOLGU MADDELERİ…… 13
2.1. Polimerlerin Sınıflandırmaları..... 14
2.1.1. Termosetler..... 18
2.1.1.1. Amino(Melamin)……..... 18
2.1.1.2. Epoksiler……..... 18
a.Epoksilerin Özellikleri……... 19
2.1.1.3. Fenolikler……..... 19
a.Fenoliklerin Özellikleri…….. 19
2.1.1.4. Polyester……..... 19
a.Polyesterlerin Özellikleri……... 20
2.1.1.5. Silikon……..... 20
a.silikonlarin Özellikleri……... 20
2.1.2 .Termoplastikler……..... 21
2.1.2.1 ABS (Akrilonitril-bütadien-stiren kopolimeri)..... 21
a.ABS Malzemenin Özellikleri…….. 21
2.1.2.2 Asetal……..... 22

a.Asetalin Özellikleri……. 22
2.1.2.3 Akrilik……..... 22
a.Akriliğin Özellikleri…….. 23
2.1.2.4. Fluoroplastikler(PTFE)..……..... 23
a. Fluoroplastiklerin Özellikleri……... 23
2.1.2.5. Naylon (Poliamid)……..... 24
a.Poliamidin Özellikleri…….. 25
2.1.2.6. Polikarbonat...……..... 25
a.Polikarbonatın Özellikleri……. 25
2.1.2.7. Polyester……..... 26
a.Polyesterin Özellikleri……. 26
2.1.2.8. Polietilen……..... 26
a.Polietilenin Özellikleri…… 27
2.1.2.9. Polipropilen……..... 28
a.Polipropilenin Özellikleri…… 28
2.1.2.10. Polistren……..……..... 28
a.Polistrenin Özellikleri…….. 29
2.1.2.11. Polivinil Klorür……..... 29
a. Polivinil Klorür Özellikleri……. 30
2.2. Alternatif Dolgu Maddeleri..... 30
2.2.1. Cam küre …...……..... 30
2.2.2. Mika tozu ……..……..... 31
2.2.3. Wollastonit ……..... 32
2.2.4. Cam elyaf ……..……..... 32
2.2.5. Pirinç Kabuğu……..... 33

BÖLÜM 3.
EKSTRÜZYON VE ENJEKSİYON PROSESİ……..… 35
3.1. Ekstrüzyon Makinesinin Tanımı..... 35
3.2. Ekstrüzyon Makinesinin Kısımları..... 35
3.2.1. Huni……..... 35
3.2.2. Vida (Burgu veya Helezon)..... 35
3.2.3. Silindir (Kovan-Ocak)…..... 35

3.2.4. Soğutma ve Vakumlama Ünitesi..... 37
3.2.5. Çekici…..……..... 37
3.3. Enjeksiyon Prosesi……..... 37
3.3.1. Enjeksiyon Yönteminin avantajları..... 38
3.3.2. Enjeksiyon Yönteminin Dezavantajları..... 38
3.3.3. Plastik Enjeksiyon Yönteminin Aşamaları..... 38
3.3.4. Ürün Kalitesine Etki Eden Makine Kontrol Parametreleri..... 41
3.3.4.1. Enjeksiyon Zamanı……..... 41
3.3.4.2. Enjeksiyon Hızı……..... 42
3.3.4.3. Enjeksiyon Basıncı……..... 43
3.3.4.4. Ütüleme Basıncı ve Zamanı..... 44
3.3.4.5. Eriyik sıcaklığı…..……..... 45
3.3.4.6. Kalıp sıcaklığı……..... 46
3.3.4.7. Sıcak yolluklu kalıplar……..... 49
3.3.4.8. Mengene ünitesi ve basıncı..... 50
3.3.4.9. İtici ve sıyırıcı sistemler…..... 50
3.4. Kalıp Tasarımında Önemli Kavramlar..... 51
3.4.1. Kalıp Açılma Çizgisi..... 51
a.Tek Açılma Çizgisi Bulunan Kalıplar…… 52
b. Çift Açılma Çizgisi Bulunan Kalıplar…….. 53
c.Üç Açılma Çizgisi Bulunan Kalıplar…… 53
3.4.2. Dağıtıcı Kanallar..... 54
3.4.3. Kalıbın Soğutulması..... 58
3.4.3.1.Soğutma hatlarının Pratik Tasarımı……. 59
3.5. Plastik Enjeksiyon Parça Hatalari ve Çözümleri……..... 62
3.6. Birleşme Izi Oluşumu ve Etkilerinin İncelenmesi..... 74

BÖLÜM 4.
DENEYLER……..… 76
4.1. Bazi Mekanik Deneyler ve Standart Deney Yöntemleri..... 76
4.1.1. Gerilme (Çekme) Deneyi (Tensile Test)…..…… 76
4.1.2. Esneme (Eğilme) Özellikleri Deneyi (Flexure Test)…..…… 79
4.1.3. Esneme (Eğilme) Deneyi Test Sistemi ve Çalışma Prensibi... 80

4.2. Deneylerde Kullanılan Polimerler Ve Teknik Özellikleri..... 81
4.3. Deneyimizde Kullanılan Dolgular Ve Teknik Özellikleri..... 84
4.4.Ekstrüzyon ve Enjeksiyon Prosesinin Teknik Özellikleri……. 85
SONUÇLAR ……..……... 89
5.1. YYPE ‘nin Çekme ve Eğilme Deneyi Sonuçları..... 89
5.2. ABS’nin Çekme ve Eğilme Deneyi Sonuçları..... 104
5.3. PA6’nın Çekme ve Eğilme Deneyi Sonuçları..... 117
5.4.ABS’nin SEM görüntüleri……. 130
5.5.İzli Numunelerin Stereoskop Görüntüleri……. 131
BÖLÜM 6. TARTIŞMA VE ÖNERİLER…… 135
6.1.Tartışma …….. 135
6.2.Öneriler…… 136
KAYNAKLAR…….. 138
ÖZGEÇMİŞ…….…….. 143

SEMBOLLER VE KISALTMALAR LİSTESİ

YYPE :Yüksek Yoğunluklu Poli Etilen
AYPE :Alçak Yoğunluklu Poli Etilen
PA6 :Poliamid 6, Naylon 6
ABS :Akrilonitril Bütadien Stiren
PP :Poli Propilen
PMMA :Poli Metil Meta Akrilat
PC :Poli Karbonat
POM : Polioksimetilen (Asetal)
PTFE : Politetrafloroetilen (Fluoroplastikler)
PET : Polyester
PS : Polistren
PVC : Poli Vinil Klorür
Mt :Mika Tozu
Pk :Pirinç kabuğu
W :Wollastonit

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1.	Birleşme İzi Oluşumu	9
Şekil 2.1.	Plastiklerin Kimyasal Sınıflandırılması	14
Şekil 2.2.	Polimerlerin Sınıflandırılması…….....	15
Şekil 2.3.	Farklı plastiklerin uzun zincir yapılarının şematik gösterimi ve genel özellikleri ……..……...	16
Şekil 2.4.	Polimerlerin morfolojisi…….....	17
Şekil 3.1.	Şematik vidalı plastik ünitesi	37
Şekil 3.2.	Bir enjeksiyon prosesi ……	40
Şekil 3.3.	Kalıplanan parça ve kalıp açılma çizgisi.....	52
Şekil 3.4.	Tek açılma çizgisi bulunan kalıp.....	52
Şekil 3.5.	İki açılma çizgisi bulunan kalıp.....	53
Şekil 3.6.	Üç açılma çizgisi bulunan kalıp.....	54
Şekil 3.7.	Dağıtıcı Kanal Örnekleri.....	55
Şekil 3.8.	Çoklu kalıplama boşluğu bulunan kalıplarda dağıtıcı kanal tip örnekleri.....	55
Şekil 3.9.	Yolluk sistemi elemanları.....	56
Şekil 3.10.	Çeşitli Giriş Kanalları.....	57
Şekil 3.11.	Doğrudan Giriş Kanalı…….....	57
Şekil 3.12.	Tek parçalı dişi kalıp soğutması.....	60
Şekil 3.13.	Tek parçalı dişi kalıp soğutması devresi.....	61
Şekil 3.14.	Yolluk girişi çevresinde mat bölgeler.....	64
Şekil 3.15.	Eksik Ürün.....	65
Şekil 3.16.	Gaz kabarcıkları.....	66
Şekil 3.17.	Mat bölgeler.....	66
Şekil 3.18.	Parça üzerindeki boşluk hataları.....	67
Şekil 3.19.	Parçada siyah - gri duman izleri	68
Şekil 3.20.	Akış İzleri…….....	69
Şekil 3.21.	Çapak.....	70
Şekil 3.22.	İtici İzleri.....	70
Şekil 3.23.	Çarpılmaya uğramış parça.....	71
Şekil 3.24.	Parça üzerindeki çöküntü izleri.....	72

Şekil 3.25.	Parça üzerindeki diesel etkisi.....	73
Şekil 3.26.	Birleşme izleri.....	74
Şekil 4.1.	Çekme Deneyi, Kullanılan Örneğin Şekli ve Aletin Çenelerine Yerleştirilmesi…….	76
Şekil 4.2.	Standart papyon deney numunesi.....	77
Şekil 4.3.	Eğilme Numunesi.....	79
Şekil 4.4.	Esneme (Eğilme) Deneyi Test Sistemi ve Çalışma Prensibi.....	80
Şekil 4.5.	Esneme (Eğilme) Deneyi Test Cihazı…….....	81
Şekil 4.6.	Enjeksiyon kalıbının önden görünüşü…….	86
Şekil 4.7.	Enjeksiyon Makinasında Kalıplanmış numuneler……...	88
Şekil 5.1.	YYPE + PK Birleşme İzsiz Çekme Grafiği……	89
Şekil 5.2.	YYPE+ PK Birleşme İzli Çekme Grafiği……	89
Şekil 5.3.	YYPE+ PK Çekme Genel Grafiği.....	90
Şekil 5.4.	YYPE+PK Birleşme İzsiz Eğilme Grafiği……..	92
Şekil 5.5.	YYPE+PK Birleşme İzli Eğilme Grafiği……..	92
Şekil 5.6.	YYPE+PK Eğilme Genel Grafiği.....	93
Şekil 5.7.	YYPE+ W Birleşme İzsiz Çekme Grafiği……...	95
Şekil 5.8.	YYPE+ W Birleşme İzli Çekme Grafiği…….	95
Şekil 5.9.	YYPE+W Çekme Genel Grafiği.....	96
Şekil 5.10.	YYPE+W Birleşme İzsiz Eğilme Grafiği……	97
Şekil 5.11.	YYPE + W Birleşme İzli Eğilme Grafiği……	97
Şekil 5.12.	YYPE+W Eğilme Genel Grafiği.....	98
Şekil 5.13.	YYPE+ MT Birleşme İzsiz Çekme Grafiği…….	99
Şekil 5.14.	YYPE+MT Birleşme İzli Çekme Grafiği……	99
Şekil 5.15.	YYPE+MT Çekme Genel Grafiği.....	100
Şekil 5.16.	YYPE+MT Birleşme İzsiz Eğme Grafiği……	101
Şekil 5.17.	YYPE+MT Birleşme İzli Eğme Grafiği……..	101
Şekil 5.18.	YYPE+MT Eğme Genel Grafiği.....	102
Şekil 5.19.	YYPE'de tüm dolgular için en iyi eğme ve çekme değerleri……	103
Şekil 5.20.	ABS + PK Birleşme İzsiz Çekme Grafiği……	104
Şekil 5.21.	ABS + PK Birleşme İzli Çekme Grafiği……	104
Şekil 5.22.	ABS + PK Çekme Genel Grafiği.....	105
Şekil 5.23.	ABS +PK Birleşme İzsiz Eğilme Grafiği……..	106
Şekil 5.24.	ABS +PK Birleşme İzli Eğilme Grafiği……..	106
Şekil 5.25.	ABS +PK Eğilme Genel Grafiği.....	107
Şekil 5.26.	ABS + W Birleşme İzsiz Çekme Grafiği……...	108

Şekil 5.27.	ABS + W Birleşme İzli Çekme Grafiği…….	108
Şekil 5.28.	ABS +W Çekme Genel Grafiği.....	109
Şekil 5.29.	ABS +W Birleşme İzsiz Eğilme Grafiği……	110
Şekil 5.30.	ABS + W Birleşme İzli Eğilme Grafiği……	110
Şekil 5.31.	ABS +W Eğilme Genel Grafiği.....	111
Şekil 5.32.	ABS + MT Birleşme İzsiz Çekme Grafiği…….	112
Şekil 5.33.	ABS +MT Birleşme İzli Çekme Grafiği……	112
Şekil 5.34.	ABS +MT Çekme Genel Grafiği.....	113
Şekil 5.35.	ABS +MT Birleşme İzsiz Eğme Grafiği……	114
Şekil 5.36.	ABS +MT Birleşme İzli Eğme Grafiği……..	114
Şekil 5.37.	ABS +MT Eğme Genel Grafiği.....	115
Şekil 5.38.	ABS'te tüm dolgular için en iyi eğme ve çekme değerleri…….	116
Şekil 5.39.	PA6 + PK Birleşme İzsiz Çekme Grafiği……	117
Şekil 5.40.	PA6+ PK Birleşme İzli Çekme Grafiği……	117
Şekil 5.41.	PA6+ PK Çekme Genel Grafiği.....	118
Şekil 5.42.	PA6+PK Birleşme İzsiz Eğilme Grafiği……..	119
Şekil 5.43.	PA6+PK Birleşme İzli Eğilme Grafiği……..	119
Şekil 5.44.	PA6+PK Eğilme Genel Grafiği.....	120
Şekil 5.45.	PA6+ W Birleşme İzsiz Çekme Grafiği……...	121
Şekil 5.46.	PA6+ W Birleşme İzli Çekme Grafiği…….	121
Şekil 5.47.	PA6+W Çekme Genel Grafiği.....	122
Şekil 5.48.	PA6+W Birleşme İzsiz Eğilme Grafiği……	123
Şekil 5.49.	PA6+ W Birleşme İzli Eğilme Grafiği……	123
Şekil 5.50.	PA6+W Eğilme Genel Grafiği.....	124
Şekil 5.51.	PA6+ MT Birleşme İzsiz Çekme Grafiği……	125
Şekil 5.52.	PA6+MT Birleşme İzli Çekme Grafiği……..	125
Şekil 5.53.	PA6+MT Çekme Genel Grafiği.....	126
Şekil 5.54.	PA6+MT Birleşme İzsiz Eğme Grafiği……..	127
Şekil 5.55.	PA6+MT Birleşme İzli Eğme Grafiği…….	127
Şekil 5.56.	PA6+MT Eğme Genel Grafiği.....	128
Şekil 5.57.	PA6'da tüm dolgular için en iyi eğme ve çekme değerleri……	129
Şekil 5.58.	ABS kompozit numunelerin birleşme izi bölgesine ait SEM görüntüleri……...	130
Şekil 5.59.	Numunelerin birleşme izi bölgesine ait stereoskop makro görüntüleri..	131

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 3.1.	Çeşitli malzemelerin enjeksiyon ve kalıp sıcaklıkları……	47
Tablo 3.2.	Bazı termoplastiklerin boyutsal çekme değerleri verilmiştir.....	62
Tablo 4.1.	PA6 Teknik Özellikleri.....	82
Tablo 4.2.	YYPE Teknik Özellikleri.....	82
Tablo 4.3.	ABS Teknik Özellikleri.....	83
Tablo 4.4.	Wollastonit Teknik Özellikleri.....	84
Tablo 4.5.	MİKA TOZU Teknik Özellikleri.....	84
Tablo 4.6.	Pirinç Kabuğu Teknik Özellikleri…….....	84
Tablo 4.7.	Hammaddelerinin hazırlanmasında kullanılan yüksek üretim kapasiteli ikiz vidalı ekstrüderin teknik bilgileri……	85
Tablo 4.8.	Tablo.4.8 Ekstrüzyon Makinesinde Kullanılan Proses Sıcaklıkları.....	85
Tablo 4.9.	ALLROUNDER 370 CMD model enjeksiyon makinesinin teknik özellikleri.....	86
Tablo 4.10	Deneyde Kullanılan Numunelerin Basım Sıcaklıkları.....	87
Tablo 4.11	Deney numunesi üretiminde kullanılan enjeksiyon ayarları.....	88
Tablo 5.1	Polietilen içerisindeki pirinç kabuğu dolgusunun artması ile çekme mukavemetinde gözlenen yüzdesel değişim……...	90
Tablo 5.2.	Polietilen içerisindeki pirinç kabuğu dolgusunun artması ile eğilme mukavemetinde gözlenen değişim oranı……	93
Tablo 5.3.	Polietilen içerisindeki wollastonit dolgusunun artması ile çekme mukavemetinde gözlenen değişim oranı……	96
Tablo 5.4.	Polietilen içerisindeki wollastonit dolgusunun artması ile eğilme mukavemetinde gözlenen değişim oranı……	98
Tablo 5.5.	Polietilen içerisindeki mika tozu dolgusunun artması ile çekme mukavemetinde gözlenen değişim oranı……	100
Tablo 5.6.	Polietilen içerisindeki mika tozu dolgusunun artması ile eğilme mukavemetinde gözlenen değişim oranı……	102
Tablo 5.7	ABS içerisindeki pirinç kabuğu dolgusunun artması ile çekme mukavemetinde gözlenen yüzdesel değişim…….	105

Tablo 5.8. ABS içerisindeki pirinç kabuğu dolgusunun artması ile eğilme mukavemetinde gözlenen değişim oranı…… 107
Tablo 5.9. ABS içerisindeki wollastonit dolgusunun artması ile çekme mukavemetinde gözlenen değişim oranı…… 109
Tablo 5.10. ABS içerisindeki wollastonit dolgusunun artması ile eğilme mukavemetinde gözlenen değişim oranı…… 111
Tablo 5.11 ABS içerisindeki mika tozu dolgusunun artması ile çekme mukavemetinde gözlenen yüzdesel değişim……..... 113
Tablo 5.12. ABS içerisindeki mika tozu dolgusunun artması ile eğilme mukavemetinde gözlenen yüzdesel değişim……..... 115
Tablo 5.13. PA6 içerisindeki pirinç kabuğu dolgusunun artması ile çekme mukavemetinde gözlenen yüzdesel değişim……..... 118
Tablo 5.14. PA6 içerisindeki pirinç kabuğu dolgusunun artması ile eğilme mukavemetinde gözlenen değişim oranı…… 120
Tablo 5.15 PA6 içerisindeki wollastonit dolgusunun artması ile çekme mukavemetinde gözlenen değişim oranı…… 122
Tablo 5.16. PA6 içerisindeki wollastonit dolgusunun artması ile eğilme mukavemetinde gözlenen değişim oranı…… 124
Tablo 5.17. PA6 içerisindeki mika tozu dolgusunun artması ile çekme mukavemetinde gözlenen yüzdesel değişim……..... 126
Tablo 5.18. PA6 içerisindeki mika tozu dolgusunun artması ile eğilme mukavemetinde gözlenen yüzdesel değişim……..... 128
Tablo 6.1 Yüzde oranları

ÖZET

Anahtar kelimeler:PA6,ABS,YYPE,Wollostanit,MikaTozu,Pirinç Kabuğu,Birleşme İzi

Plastikler kullanım alanları ve kullanım oranları hızla artmakta olan malzemelerden birisidir. Ortaya çıkan yeni ihtiyaçların uygun maliyetlerle karşılanması ve eldeki kaynakların daha verimli bir şekilde karşılanması amacıyla plastik esaslı kompozit malzeme üretimi günümüz de daha da önem kazanmıştır.

Bu çalışmada dolgu maddelerinin polimerler üzerindeki etkilerinin araştırılması amacıyla üç farklı doğal dolgu malzemesinin her biri (Wollostanit, Mika tozu ve Pirinç kabuğu), üç farklı polimer (PA6,YYPE ve ABS) içine %5,%10,%15 oranlarında katılmış, çalışma sonucunda yirmi yedi farklı yeni malzeme oluşturulmuştur.

Bu polimer malzemeler üç farklı sıcaklıkta birleşme izli ve birleşme izsiz numune üretimine olanak sağlayan kalıba enjekte edilerek 81tip birleşme izli ve 81 tip birleşme izsiz deney numunesi üretilmiştir. TSE normlarındaki numunelere çekme ve eğme deneyleri uygulanarak, dolgulu polimerlerin mekanik değerleri karşılaştırılmıştır. Ayrıca numunelerdeki birleşme bölgesindeki mekanik davranışları incelenerek, içyapıları değerlendirilmiştir, değerleri karşılaştırılmıştır. SEM ile iç yapılarına bakılmıştır.

Yapılan çalışma sonucunda dolgulu malzemelerde dolgu oranı arttıkça çekme ve eğme değerlerini incelenmiş farklı oranlardaki dolgular kendi aralarında kıyaslanmıştır.

THE EVALUATİON OF DİFFERENT FILLINGS İN THERMOPLASTIC MATERIALS SHAPING IN INJECTION TO WELD LINE

SUMMARY

Key words: PA6,ABS, YYPE, Wollastonit, Mica Powder, Brass Shell, Weld Line

The plastic materials are one of the materials of which the areas of application and rates of use have been rapidly increasing. Today, the production of plastic-based composite materials has gained even more important in order to meet the emerging needs cost-effectively and available resources more efficiently.

In this study, in order to examine the effects of fillers on polymers, each of three different natural fill material (Wollostanit, Mica powder and Brass Shell), three different polymer (PA6, HDPE and ABS) mixed in rates of 5%, 10%, 15%, as a result of the study twenty-seven different types of granules have been formed.

The 81 type weld line and without weldline test samples have been produced by these granules being injected the mold which has enabled the production of the weld line and without weld line samples at three different temperatures. Each type has been created four samples for the reliability of the tests. The mechanical values of filled polymers have been compared by applying tensile and bending tests to the samples which have the norms of TSE. In addition, mechanical behaviors of samples at weld line area have been examined and theirs internal structures have been evaluated and theirs values have been compared. The internal structure of plastics have been observed with sem.

As a result, the fill rate of filling materials were examined by increasing the tensile and bending values and fills in different proportions were compared with each other.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Plastikler diğer malzeme türlerine göre üretimlerinin belirli bir aşamasında akıcı veya plastik kıvam almaları ve basınçla bir kalıba enjekte edilerek şekil verilebilmelerinden dolayı büyük öneme sahiptirler. Gerçekte plastikler hafif olup kolay şekillendirilir, az bir çabayla en karışık geometrik şekiller kolaylıkla verilebilir. Bu nedenle de çok geniş uygulama alanlarına sahiptirler.

Plastikler, yüksek molekül ağırlıklı organik moleküllerden ya da polimerlerden oluşurlar. Organik moleküller ve polimerler, birbirine kimyasal olarak bağlı birimlerin yinelenmesiyle ortaya çıkan zincir yapılardır. Plastik, istenilen biçimi alabilen anlamına gelen yunanca "plastikos" sözcüğünden gelir. [1]

Polimer, monomer adı verilen küçük moleküllerin kovalent bağlarla birbirine bağlanmasıyla oluşturduğu iri moleküller olarak tanımlanır. Polimerizasyon, polimer zincirini oluşturan benzer moleküllerin bağlanması anlamına gelmektedir. Bir polimerizasyon ürünü olan plastiklerin ana kaynağı doğal gaz, petrol ve kömürden oluşmaktadır. [2]

Plastikler, normal sıcaklıkta genellikle katı halde bulunan, basınç ve ısı kullanılarak çeşitli yöntemlerle şekillendirilebilen veya kalıplanabilen maddelerdir.

İlk modern sentetik plastiklerin 1900'lerin başında geliştirilmesinin ardından, 1930'ların sonunda plastik malzemelerin özellikleri diğer malzeme çeşitleri ile boy ölçüşür düzeyde gelişmeye başlamıştır. Kolay biçim verilebilir olması, metallere oranla düşük yoğunlukta olması, üstün yüzey kalitesi ve korozyona karşı dayanımı plastiğin yükselmesindeki en önemli özelliklerdir. Birçok üstün özelliğinin yanı sıra sertlik ve dayanıklılık özelliklerinin düşük olması plastik malzemelerin güçlendirilmesi için çalışmalar

yapılmasına neden olmuştur. Bu eksikliğin giderilmesi amacıyla 1950'lilerde polimer esaslı kompozit malzemeler geliştirilmiştir. Kompozitler, özellikle polimer kompozitler yüksek mukavemet, boyut ve termal kararlılık, sertlik, aşınmaya karşı dayanıklılık gibi özellikleriyle pek çok avantajlar sunarlar. Ayrıca kompozit malzemeler dayanıklılık ve sertlik yönünden metallerle yarışabilecek durumdadırlar ve çok daha hafiftirler [2].

Kompozit malzeme tanımı, temel olarak iki veya daha fazla malzemenin bir arada kullanılmasıyla oluşturulan ve meydana geldiği malzemelerden farklı özelliklere sahip yeni tür malzemeleri belirtmek için kullanılmaktadır. Kompozit malzemeler reçine (Matrix) ve takviye (Reinforcement) bileşenlerinden oluşur.

Endüstriyel ihtiyaçların sürekli gelişmesinden dolayı iyileştirilmiş malzemelere olan ihtiyaçta artmaktadır. Yüksek dayanım ve modül, yüksel ısıl sönümleme özelliği, yüksek ısıl deformasyon sıcaklığı, kolay üretilebilirlik ve düşük fiyatlar nedeniyle dolgu maddesi katkılı polimer kullanımı tercih edilmektedir.

Plastikler için dolgu maddeleri aktif ve aktif olmayan olmak üzere iki gruba ayrılabilirler. Aktif dolgu maddeleri polimerik malzemenin genel özelliklerinin iyileşmesinde etkilidirler. Aktif olmayan dolgu maddeleri ise polimerik malzemenin özelliklerinde olumsuz sonuçlara neden olmasına rağmen, ucuzlukları nedeniyle tercih edilebilirler. Dolgu maddelerinin parçacıkları küresel, kübik, blok, plakamsı ve elyaf şeklinde olabilir. Farklı parçacık büyüklüklerinde bulunabilmelerine rağmen, iyi sonuçlar vermeleri nedeniyle küçük parçacık büyüklüğü tercih edilmektedir. Dolgu maddesi kullanımı ile polimerin fiziksel, kimyasal, ısıl ve elektriksel özelliklerinde değişmeler olabilir. Bu değişmelerin bazıları olumlu yönde olurken, bazıları ise olumsuz yönde gerçekleşebilir. Bu nedenle, uygun dolgu maddesi seçimi son ürün için istenilen özelliklere göre yapılmalıdır.

Son yıllarda endüstrinin her alanında etkisini arttıran nano teknoloji kendini kompozit biliminde de göstermiştir. Kompozit malzemelerin en yeni türü olan nano kompozitler, nano boyuttaki parçacıkların polimerlerin içinde dağılmalarıyla üretilmektedirler.

Nano kompozitlerin, normal kompozitlere ya da temel polimerlere oranla çok daha üstün özeliklere sahip oldukları kesin olarak bilinmektedir.

Polimer malzemelere gerek mekaniksel özelliklerini artırıcı gerekse maliyeti azaltmak maksatlı ve proses işlemlerini kolaylaştırmak için dolgu malzemeleri katılmaktadır. Bu işlem için polimer malzemenin ve dolgu maddesinin karışımına imkân sağlayan çift burgulu ekstrüzyon cihazı kullanılmaktadır.

Ekstrüzyon granül malzemeye ısı ve yüksek basma kuvvetiyle kalıptan çıkacak şekilde akmaya zorlayarak şekil verme işlemidir. İşlem diş macunu tüpünden diş macunu sıkılmasına benzetilir.

Siriwardena ve arkadaşları [3], polipropilen/etilen-propilen-dien termopolimer/ beyaz pirinç kabuğu tozu termoplastik elastomer üçlü karışımların üzerinde çalışmışlar. PP/EPDM/Beyaz pirinç kabuğu kauçukta ürün deformasyonunu azalttığı tespit etmişlerdir. Bunun yanında malzeme viskozitesini ve erime viskozitesini artırdığını % 4 lük bir dolgu karışımda düzgün yüzeyler elde edildiğini bildirmişlerdir.

Jilken ve arkadaşları [4], wollastonit (D: 10 ve 15μm), mika (D: 18μm), dolomit (D: 3.5, 6.6, 14.0, 21.0 ve 68.0μm) ve kalsiyum karbonat (D: 1.9μm) içeren polipropilen kompozitlerin mekanik özellikleri üzerinde partikül geometrilerinin, boyutlarının, oranlarının (φp: %0-60) ve yüzey işlemlerinin (titanat ve stearik asit) etkilerini incelemişler, çekme deneyleri (0.5, 5, 50mm/dak.) sonucunda katkısız polipropilene göre kompozitlerin partikül oranlarının artmasıyla E-modüllerinin arttığını, özellikle wollastonit ve mika kompozitlerinde bu artışın oldukça yüksek olduğunu; mika kompozitlerindeki E-modülü artışının Padawar-Beecher yaklaşımına, dolomit kompozitlerin E-modüllerinin ise Lewis-Nielsen yaklaşımına uyduğunu görmüşlerdir. Tüm kompozitlerde partikül oranı artışıyla akma mukavemetinin düştüğünü, bununla birlikte PP/wollastonit ve PP/mika kompozitlerinde bu düşüşün daha az olduğunu tespit etmişler, mika kompozitlerin akma mukavemetlerindeki değişimlerin Nicoalis-Nicodemo, dolomit kompozitlerin ise Bigg yaklaşımına uyduğunu görmüşlerdir. Wollastonit ve mika kompozitlerin darbe dayanımlarının partikül oranları artışıyla değişmezken dolomit ve kalsiyum karbonat kompozitlerin darbe mukavemetlerinin

partikül oranları artışıyla (φp: %30-50) yükseldiğini tespit etmişlerdir. Wollastonit ve mika partiküllerin titanat ve stearik asit ile işlenmelerinin kompozitlerin darbe mukavemetlerine etkisinin olmadığını, ayrıca küçük boyutlu wollastonit partiküllerin kompozitlerin darbe mukavemetlerini daha fazla arttırdığını belirtmişlerdir.

Jian ve arkadaşları [5], PP/wollastonit (φp: ağırlıkça %0-70 wollastonit) kompozitlerinin mekanik özellikleri üzerinde wollastonit partiküllerinin sol çözeltisi (hydrosol: stannic cloride monohydrate) ile işlenmesinin etkileri incelenmiş; çekme ve darbe deneyleri sonucunda işlenmemiş ve titanat ile kaplanmış wollastonit partikülleri içeren polipropilen kompozitlere göre sol çözeltisi ile işlenmiş partiküller içeren kompozitlerin çekme ve darbe mukavemetlerinin daha yüksek olduğunu tespit etmişler, titanat ile kaplanmış ve sol çözeltisi ile işlenmiş partiküllerin kullanılması halinde en yüksek mukavemet değerlerini elde etmişlerdir. Wollastonit oranlarının %50'yi geçmesi durumunda tüm örnekler için mekanik özelliklerde azalma görmüşlerdir.

Jarvela ve arkadaşları [6], wollastonit (D:10μm; L/D: 20), mika (D:40μm; L/D: 20- 100), cam küre (D:5-150μm) ve mikropoz (D: 0.5μm) partikülleri içeren polipropilen kompozitlerin ikili, üçlü, dörtlü ve beşli karışımlar halinde (φp: ağırlıkça %0-30) kompaund edilmesinin mekanik özellikler üzerindeki etkilerini incelemişler, aynı matris içerisinde uygun geometrik şekillere sahip farklı partiküllerin bir arada bulunması durumunda iki-fazlı kompozitlere göre daha üstün mekanik özellikler elde edilebileceğini ileri sürmüşlerdir. İki-fazlı kompozitlerin %10'dan daha düşük oranlarda partikül içermesi durumunda mekanik özelliklerinde gelişme olmadığını, partikül oranlarının artmasıyla wollastonit kompozitleri başta olmak üzere tüm ikili kompozitlerin darbe dayanımlarının düştüğünü, wollastonit ve mika kompozitlerin çekme mukavemetlerinin arttığını, mika kompozitleri başta olmak üzere tüm kompozitlerin modüllerinin arttığını tespit etmişlerdir. Çoklu kompozitlerde ise en yüksek darbe mukavemetinin wollastonit-mika kompozitlerinde, en düşük darbe ve çekme mukavemetlerinin cam küre kompozitlerinde, wollastonit kompozitlerin kopma uzamasının katkısız polipropilenin de üzerinde en yüksek değerde olduğunu saptamışlardır.

Chu ve arkadaşları [7], wollastonit (D:8μm) ve talk (D:3μm) içeren polipropilen kompozitlerin çizilme dirençlerini incelemişler, PP/wollastonit (φp: %13) kompozitlerin yüksek çizilme direncine sahip olduklarını, özellikle %0.5 lubrikant katılması ile çizilme direncinin daha da arttığını tespit etmişler; PP/talk (φp: %13) kompozitlerinin ise en düşük çizilme direncine sahip olduklarını belirtmişlerdir.

Wong ve arkadaşları [8], polipropilen/etilen-büten (φe: %25) blendine %10 oranında wollastonit (D: 3.5, 4.5, 8.0, 12, 15 ve 40μm) ve talk (D: 1.2μm) katılması ile elde edilen kompozitlerin mekanik özellikleri üzerinde partikül boyutunun ve enjeksiyon ile kalıplama hızlarının (12.7 ve 76.2mm/s) etkilerini incelemişler, çekme deneyleri (50mm/dak) sonucunda blende göre kompozitlerin E-modüllerinin %25 arttığını, partikül boyutu ve enjeksiyon hızları değişimlerinin E modülleri üzerinde etkili olmadığını, akma mukavemetlerinin değişmediğini, akma uzamasının yavaş enjeksiyon hızı için %16 hızlı enjeksiyon hızı için %12 düştüğünü, kaplı partiküllerde ise düşme oranının daha fazla olduğunu saptamışlardır. Çentikli örneklere uygulanmış İzod darbe deneyleri sonucunda blende göre kompozitlerin darbe mukavemetlerinin yüksek olduğunu, partikül boyutunun büyümesi ile darbe mukavemetinin azaldığını, kaplanmış partiküller içeren kompozitlerin darbe mukavemetlerinin daha düşük olduğunu tespit etmişlerdir. MFI ve kapiler reometre incelemelerinde blendlere göre kompozitlerin akışkanlıklarının düşük olduğunu, partikül büyüklüklerindeki değişimlerin akışkanlık üzerinde etkin olmadığını görmüşlerdir. Çizilme deneyleri sonucunda, küçük partikülerin kullanıldığı ve yüksek enjeksiyon hızında kalıplanmış örneklerin çizilme dirençlerinin daha yüksek olduğunu saptamışlardır. Ayrıca, büyük partiküller kullanılması ve yüksek enjeksiyon hızlarında işlem yapılması durumunda boya adhezyonunun azaldığını görmüşlerdir.

Kostrzewski ve arkadaşları. [9] almış oldukları patentte, PMMA/SAN/wollastonit kompozitlerin stiren-maleik anhidrid kopolimeri (SMA) ile uyumlu hale getirildiğini ileri sürmüşlerdir.

Qiu ve arkadaşları [10], 205°C'de ve 11mm/dak. hızında ekstrüde edilmiş ve 80°C'de %500 oranında uzatılmış PP/wollastonit (D: 2.8μm; L: 8.5μm; φp: hacimce %30

wollastonit) kompozit elyaflarının fiziksel yapılarını ve çekme mukavemetlerini incelemişler; elyaf yüzeylerinin pürüzlü olup, çaplarının 110–250 μm arasında değiştiğini, sıvı azot sıcaklığında kesilmiş elyaf yüzeylerinin SEM incelemelerinde partikül-matris ara yüzeylerinde ayrılma (debonding) olmamakla birlikte yapıda büyük gözeneklerin mevcut olduğunu görmüşler, yoğunluk deneylerinde kompozit elyafların yoğunluklarının polipropilenin ($0.92 g/cm^3$) ve wollastonitin ($2.90 g/cm^3$) yoğunluklarından oldukça düşük ($0.73 g/cm^3$) olduğunu tespit etmişlerdir. Geliştirdikleri matematiksel modele göre hesapladıkları elyaf modülünün çekme deneylerinde (0.4mm/dak) tespit ettikleri modüle göre % 6.1-9.5 yüksek olduğunu belirtmişlerdir.

Kim ve arkadaşları [11], PP/wollastonit (φp: ağırlıkça %0-40) kompozitler için almış oldukları patentte, wollastonit oranı artışı ile kompozitlerin yüzey sertliklerinin ve çizilme dirençlerinin arttığını, kompozitlere PP-g-MA katılması ile partikül-matris arayüzey adhezyonunun arttığını ileri sürmüşlerdir.

Rodhakrishan ve Sonawane [12], polipropilen matris içerisine wollastonit, mika, silika, kalsiyum karbonat, talk, cam ve karbon elyafları katılması (φp: ağırlıkça %10) ile kompozitlerin ısıl iletkenliklerinde meydana gelen artışın kristalizasyon ve morfoloji üzerindeki etkilerini incelemişler, partiküllerin ısıl iletkenliklerinin polipropilenden yüksek olması sonucu kompozitlerin ısıl iletkenliklerinin arttığını; kalıpta soğuma sürelerinin kısaldığını; kabuk-çekirdek (skin-core) yapısının artarak kompozit örneklerinin kabuk kalınlıklarının arttığını belirtmişlerdir.

Son zamanlarda Dasari ve arkadaşları [13], katkısız polipropilenin ve PP/wollastonit (D: 8μm; φp: hacimce %20) kompozitlerin mekanik ve morfolojik özellikleri üzerinde şekil değiştirme hızlarındaki değişimlerin (50, 125 ve 380mm/dak.) etkilerini incelemişler; katkısız polipropilene göre PP/wollastonit kompozitlerin kopma uzamalarının oldukça fazla düştüğünü, E-modüllerinin yaklaşık 2 kat arttığını ve akma mukavemetlerinde ~%2 civarında hafif bir artışın meydana geldiğini belirtmişlerdir. Deformasyon (şekil değiştirme) hızlarının arttırılmasıyla polipropilen ve kompozitlerinin çekme

mukavemetlerinin arttığını, düşük çekme hızlarında polipropilen örneklerinde boyun verme ve boyun verme sonrası şekil değiştirme (cold drawing) davranışı görülürken kompozitlerde tüm deformasyon hızları için makroskopik ölçekte boyun verme davranışını görememişlerdir. Malzemelerin çekme deformasyon hızı hassasiyetini (mm) ln(gerçek gerilme)/ln(çekme hızı) olarak ifade etmişler ve m değerinin artmasıyla boyun verme direncinin arttığını belirtmişlerdir. Katkısız polipropilen çekme örneklerinin kopma yüzeylerinin SEM incelemelerinde yüzey merkezinde gevrek kırılma, kenarlarda ise sünek kırılma (craze-tearing) görüntüsü tespit etmişler, çekme hızının arttırılmasıyla merkezdeki gevrek kırılma bölgesinin genişlerken sünek bölgenin daraldığını belirtmişlerdir.

Kompozitlerin kopma yüzeylerinin incelenmesinde merkezde fibrilasyon, kenarlarda ise gevrek kırılma bölgeleri tespit etmişler, çekme hızının arttırılmasıyla merkezdeki fibrilasyon bölgesinin daralırken gevrek bölgenin genişlediğini belirtmişlerdir. Çekme eksenine dik yönde (yan taraftan) yapılan SEM incelemelerinde düşük deformasyon oranlarında ($\%0<\varepsilon<\%8$) gerilme yığılması sonucu meydana gelmiş çekme yönüne paralel yönde kama (wedge) şeklinde deformasyon oluşumları tespit etmişler, deformasyonun artması ile kamaların matris yüzeyinden ayrıldığını ve matriste gözeneklerin meydana geldiğini görmüşlerdir.

Meng ve arkadaşları. [14]; polipropilen / wollastonit kompozitlerin morfolojisi ve mekanik özelliklerine pimelik asit kristalizasyonunun etkileri, adlı çalışmalarında Pimelik asit (PA) wollastonit için yeni bir yüzey değiştirici olarak kullanılmıştır. Taramalı elektron mikroskobu sonuçları pimelik asitin polipropilen ve wollastonit arasında yani dolgu ve matris arasındaki ara yüzey yapışmayı geliştirdiğini göstermiştir. Deneylerde dolgusuz propilen ve %1, %2,5 ve %5 dolgulu karışımlar ve bu karışımların pimelik asit kullanılanları kıyaslanmıştır. Sonuç olarak ta pimelik asit ara yüzeyli wollastonit içeriği %2,5 iken, darbe dayanımının maksimum değeri 17,33 kJ/m^2 olduğu, yani boş PP'den yaklaşık 3.19 kat daha fazla olduğunu saptamışlardır.

Singha ve arkadaşları. [15]; wollastonit ve kauçuk dolgulu propilenin mekanik özelliklerini inceledikleri çalışmalarında özel olarak,%10,%20,%30 ve %40 farklı kompozisyonlarda wollastonite sahip polipropilen kompozitlere % 5 kauçuk bir ek

olarak, ilave edilmiş ve elde edilen numunelerin ısı saptırma sıcaklığı HDT, çentikli darbe dayanımı ve eğilme mukavemeti ve çekme dayanımı incelenmiştir. Propilen içindeki wollastonit miktarının artması HDT, çekme, eğme çentikli ve çentiksiz darbe dayanımını arttırırken %5 kauçuk ilavesinin çekme değerlerinde ve elastikiyet modülünde düşmeye neden olurken eğme ve darbe değerlerinde iyileşmeye neden olmuştur.

Yılmaz ve Korkmaz'ın iki reçine malzemesinin kırılma tokluğu üzerine nano ve mikrofillerin etkisi üzerine yaptığı çalışmasında [16], Polimetilmetakrilat (PMMA) ve Polietilmetakrilat (PEMA) matris olarak kullanılmıştır. Al_2O_3 (%1,2,3) ve cam elyaf (%10,%20,%30) ve wollastonit (%10,%20,%30) de bu iki matris için dolgu maddesi olarak denenmiştir. Tokluk mukavemetlerinin incelendiği deneyde her iki matris içinde Al_2O_3 %2 den fazla takviye de tokluğu düşürdüğü cam elyafın %30 a kadar olan tüm deneylerde tokluğu arttırdığına ve wollastonitin %30 a kadar tokluğu artırdığına bu değerden sonra tokluğun sabit kaldığı sonucuna varmışlardır.

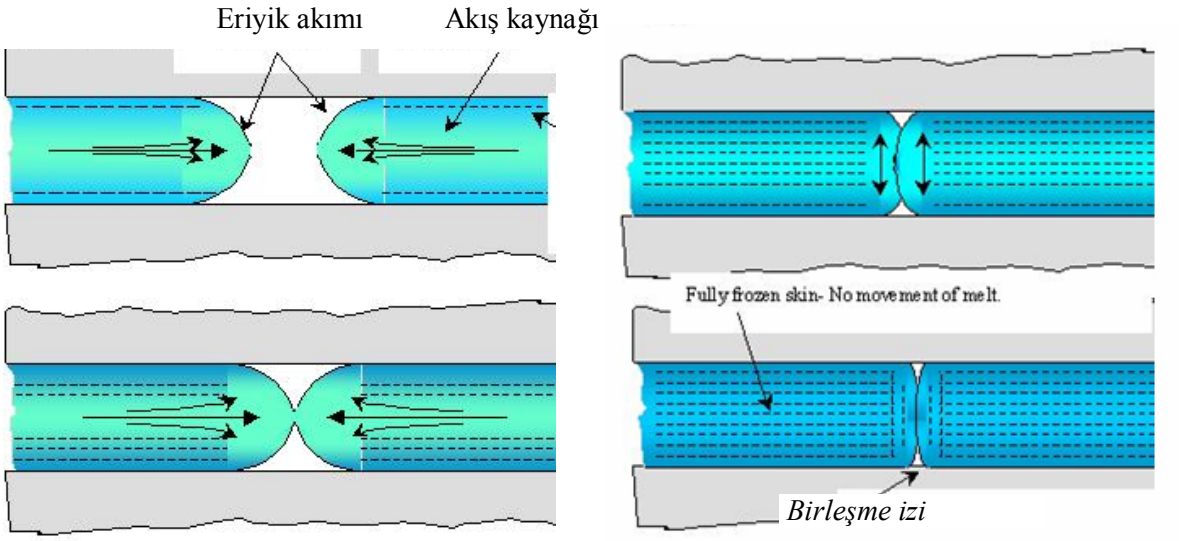
Plastiklerin çok geniş bir kullanım alanına sahip olmalarının diğer bir nedeni de, çeşitli ihtiyaçlara cevap verebilecek çok sayıda değişik türe sahip olmalarından kaynaklanmaktadır. Kullanım yerleri ve kullanılan plastik çeşitleri farklılaştıkça, gerek malzemenin özelliğine, gerekse kullanım yeri ve amacına göre plastik parçaların üretim yöntemleri de farklılaşmaktadır. Bu yöntemlerin en önemlilerinden biri de termoplastik ve termoset parçaların üretiminde kullanılan enjeksiyon kalıplarıdır.

Enjeksiyon kalıpçılığında üretimin esası, ısıtılarak akıcı bir kıvama gelmiş olan malzemenin enjeksiyon makinesi ile parçanın geometrisine uygun olarak hazırlanmış bir kalıp içine basınç altında doldurulması ve katılaşıncaya kadar bekletilmesidir. Yöntemin avantajları çok sayıda parçanın istenilen yüzey toleransları içinde elde edilebilmesi ve üretim süresinin kısa olmasıdır. Dezavantajları ise kalıp ve makine ilk yatırım maliyetlerinin yüksek olması dolayısı ile az sayıda parça için ekonomik olmamasıdır.

Enjeksiyon kalıpları ile üretilen ürünlerin kalitesi, estetik bir tasarım, kalıp dizaynı ve üretim yöntemleri, enjeksiyon makinesi seçimi ve enjeksiyon proses işlemleri sonucunda gerçekleşir. Ürünlerde ki hatalar yukarda ki süreçlerin biri veya birkaçının bir araya gelmesi ile oluşur. Kalıptan meydana gelen hatalar telafisi en zor olanıdır, enjeksiyon

işleminden meydana gelen hataların telafisi kalıba nazaran kolaydır. Bu nedenle ürünün kalitesi üzerindeki en önemli eleman kalıptır. Doğru tasarlanmış bir enjeksiyon kalıbı ile yüksek ürün kalitesi diğer faktörlerin uygun seçimi ile gerçekleşir.

Enjeksiyon prosesinde en çok karşılaşılan hatalardan birisi mamül üzerinde birleşme izinin oluşmasıdır ki oluştuğu kesitte mukavemetin düşmesine neden olur. Birleşme izi; kalıp boşluğunda, eriyik plastiğin akışının buluştuğu kesitteki birleşimin zayıf olması sonucu oluşan izlerdir.



Şekil 1.1.Birleşme izi oluşumu

Zha ve ark., iki ve daha fazla girişli enjeksiyon kalıplamasında en kritik iki hata olan birleşme izi ve çarpılma konusunda yapmış oldukları çalışmalarında, hataların azaltılması yada giderilmesi için belli neticeler elde etmişlerdir. Metotlarını dayattıkları üç adet yöntemi de şu şekilde açıklıyorlar. Kalıbın içinde birleşme izlerinin oluşacağı bölgeleri tayin etmek, en uygun giriş bölgelerine karar verip enjeksiyon basıncını arttırmak ve birleşme izlerini yolluk ölçülerindeki değişimlerle istenilen bölgelere kaydırmak gerektiği sonucuna varmışlardır [17].

Burçoğlu ve Ünsalan' göre, birleşme izlerinin azaltılması için silindir ve kalıp sıcaklığının yükseltilmesi kadar hızlı enjeksiyon işlemi ile malzeme soğumadan birleşmenin sağlanması da önemlidir. Buna karşılık kalıptaki havalandırmanın yerleri ve

etkinliği, hızlı enjeksiyon işlemine elverişli olmalıdır. Aksi durumda sıkışan hava, izlerin artmasına ve yanıklara neden olmaktadır [18].

Pecorini, 'Şekilsiz selüloz propilenler de mekanik kırılmaların birleşme izleri kırıklarına yaklaşım', konulu çalışmasında polimerler üzerinde meydana gelen birleşme izlerini incelemiştir. Kalıp içersinde dağılamayan polimerin donmasıyla meydana gelen birleşme izlerinin yüzeysel bir olay olduğunu tespit etmiş; mutlaka meydana gelecek ise izin dayanımının geliştirilmesi için kalıp şartlarının ayarlanması, birleşme uzunluğunun azaltılması ve kullanılacak malzeme yapısının mekanik özelliklerin geliştirilmesine imkân vermesi gerektiğini belirtmişlerdir [19].

Ersoy ve Nugay'a göre, [20]; PA6 içine katılan talk dolgusunun çekme deneyi sırasında birleşme izli bölgedeki mekanik özelliklerine etkilerini ve bu bölgenin morfolojik özelliklerini incelemişlerdir. Dağınık PA6 içerisindeki talkın birleşme hattını homojen yapıya dönüştürdüğü SEM ile gözlenmiştir. Bu ise bu bölgede mekanik özelliklerin artması için yeterli bir neden olduğunu ileri sürmüşlerdir.

Guo ve arkadaşları, [21] yapmış olduğu çalışmada enjeksiyon sonucu oluşan birleşme bölgesindeki dağınık yapıyı güçlendirmek için PS ve PMMA polimerlerini belli oranlarda karıştırmışlardır. PS/PMMA (%80/20,%70/30)oranlarında birleştirildiğinde birleşme bölgesinde mekanik değerler açısından iyileşmeye neden olmuş. PS/PMMA ın (% 20/80 ya da %30/70) oranlarında karışımında ise mekanik değerlerin çok daha fazla iyileştiğini, PS oranı azaldıkça birleşme bölgesinin daha homojen yapıya kavuştuğunu gözlemlemişlerdir.

Xie ve arkadaşları [22]; yapmış oldukları çalışmada PP içerisine belli oranlarda (%10,20,30,40) CNFs/TiO_2 dolgusu karıştırmışlar ve amaçlı birleştirme izi oluşturulmuş kalıba mikro enjeksiyon yöntemi ile enjekte ederek deney numunelerini (eğme ve çekme) oluşturmuşlardır. Deneyler sonucunda CNFs/TiO_2 oranının artması ile E modülünün artığını gözlemlemişlerdir.

Ersoy ve Nugay [23]; yapmış oldukları çalışmada PP ve PA için düşük boy oranlı talkı inorganik dolgu maddesi olarak kullanmışlardır. Amaçlı oluşturdukları birleşme izli numuneler üzerinde yaptıkları SEM incelemeleri ile birleşme bölgesinde PP ve PA6 karışımında talk dolgusunun $CaCO_3$'e göre daha homojen yapı oluşturduğunu gözlemlemişlerdir.

Mikro-enjeksiyon, mikro-mekanik polimer bileşenlerinin seri üretimini sağlayan bir süreçtir. Tosello makalesinin sonuç kısmında birleşme hatlarının derinliğini etkileyen ana etmenleri, kalıp sıcaklığı ve enjeksiyon hızı olarak belirtmiştir. Onlar bu parametrelerin birleşme izlerinin derinliğini %50 ye kadar azaltabildiğini iddia etmektedirler. Ancak birleşme izi genişliğinin, özellikle kalıp sıcaklığından etkilendiğini, daha yüksek kalıp sıcaklıklarında %50 ya kadar birleşme izi genişliğinin azaltıldığını tespit etmişlerdir [43].

Solymossy ve ark. [24]; enjeksiyonda kalıplanmış PP kompozitin birleşme izi özelliklerini incelemişlerdir. Bu çalışmada farklı fiber oranlarının birleşme izli ve izsiz numunelerin mekanik özelliklerine etkisini üç farklı proses sıcaklığı ve tutma basıncında incelemişlerdir. Çekme dayanımlarının darbeye nispeten fiber oranıyla arttığını belirtmişlerdir. Birleşme izsiz numunelere göre izli numunelerin darbe ve çekme dayanımlarını düşürdüğünü bunun da fiber miktarındaki değişimden kaynaklandığını ifade etmektedirler. Lif uzunluğunun mekanik özellikleri üzerinde önemli bir etkisinin olduğunu, darbe dayanımının ve çekme dayanımının artan lif içeriği ile arttığını tespit etmişlerdir .

Seowve arkadaşları, [26]; yapmış oldukları çalışmalarda birleşme bölgelerinin iyileşmesini etkileyen ana itici faktörün kalıp sıcaklığı ve enjeksiyon hızı ve proses sıcaklığı olduğunu ifade etmişlerdir.

Chena ve arkadaşları, [27]; bir enjeksiyonda kalıplanmış parça için birleşme izinin pozisyonunu kontrol etmek için bulanık mantığı başarıyla uygulamışlardır. Burada her ne kadar sadece iki kalıp parçası ele alındıysa da, kaynak hattı pozisyon kontrolü için CAE

yazılım paketi ile bulanık mantığı kullanma kalıp tasarım optimizasyonunda bir yenilik olarak verilmektedir. Deneyde birleşme izinin istenilen bölgede oluşturulması için çalışma yapılmış ve birleşme izi tahmin edilen bölgede elde edilmiştir.

Yapmış olduğumuz bu çalışmada termoplastik malzeme olarak PA6, YYPE ve ABS malzemeleri kullanılmıştır. Dolgu malzemeleri olarak termoplastik malzeme için ayrı ayrı %5, %10 ve %15 oranlarında wollastonit, mika tozu ve (öğütülmüş) pirinç kabuğu katkıları kullanılarak 27 adet farklı karışım granül halinde imal edilmiştir.

Ekstrüzyonda elde edilen malzemeler enjeksiyon makinesinde üç farklı proses sıcaklığında ve sabit kalıp sıcaklığında basılmıştır. Enjeksiyon kalıbına tek ve çift giriş oluşturularak numunelerin orta noktasında birleşme izi oluşturulması hedeflenmiştir. Yapılan çalışmada ilk olarak dolgu maddelerin etkisi incelenmiş. Örneğin Poliamid 6 içine karıştırılan %5 , %10 ve %15 oranlarındaki mika tozu ile oluşturulan üç farklı karışım numunenin çekme ve eğme değerleri kendi aralarında kıyaslanmıştır. Ayrıca katkı malzemesinin birleşme izine olan etkisi ve iz oluşmayan malzemeyle de kıyaslaması yapılarak birleşme izinin iyileştirilmesi hedeflenmiştir. Proses sıcaklığının artmasıyla birleşme izinin çekme ve eğme gerilmelerinin değerlerinde artış olduğu görülmüştür. Yüksek sıcaklığa çıkıldığında birleşme izsiz numunelerin mukavemet değerlerinde bir miktar düşme; birleşme izli numunelerin mukavemet değerlerinde ise genelde artış tespit edilmiştir. Birleşme izinin kaçınılamadığı yerlerde dolgu malzemelerinin gerek mukavemet ve gerekse maliyet açısından avantaj sağlayacağı düşünülmektedir.

BÖLÜM 2. POLİMERLER VE DOLGU MADDELERİ

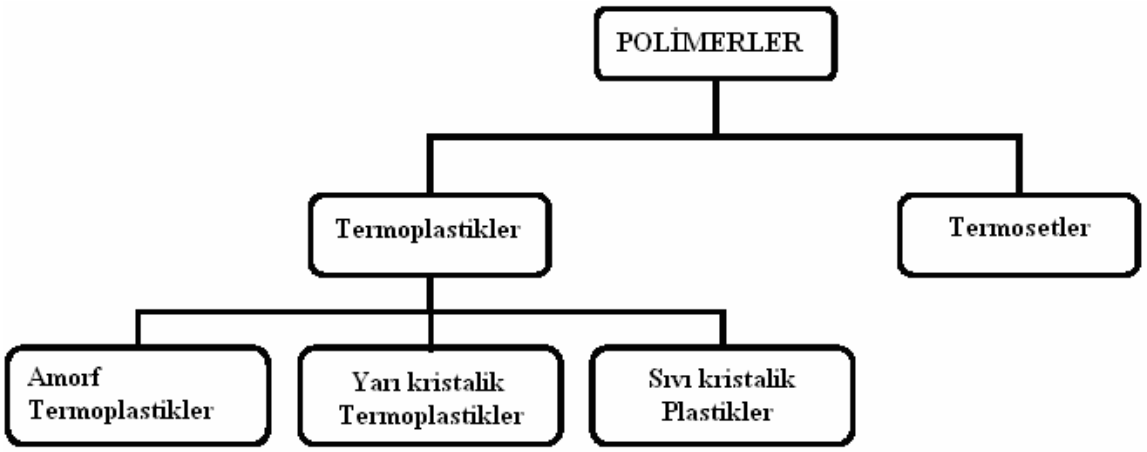
Polimer, mer adı verilen moleküllerin birleşmesiyle oluşan molekül zinciridirler. Poli kelime anlamı çoktur. Böylece bu iki kelimenin birleşimi polimer olarak ifade edilir. Bu zincirleri oluşturan mer'lerin (propilen, stiren, vb.) çeşitleri bu zincirlerin oluşturduğu plastik türünü belirler. Örneğin PS, PP, PA6 vb. Bu merlerin önüne poli eki ilave edilerek plastik türü belirlenir. Bu merler polimerizasyon adı verilen kimyasal bir işlemle birleştirilirler.

Termoplastiği oluşturan bu zincirleri bir arada zayıf Van Der Waals kuvvetleri tutarlar. Plastik ısıtıldığında bu zayıf kuvvetler daha da zayıflar veya kaybolurlar. Buna bağlı olarak plastik esnekleşmeye (kauçuk gibi davranmaya), daha sonra da sıcaklık miktarına bağlı olarak akmaya başlar. Plastiği işlemek için kimyasal yapısını detaylı olarak bilmeye gerek yoktur.

Polimer ve plastik kelime olarak aynı kabul edilmekle beraber aralarında bir farklılık da vardır. Polimer polimerizasyon sonucunda oluşmuş saf, uzun moleküllü malzemedir. Polimer saf olarak nadiren kullanılır. Polimere çeşitli sebeplerle katkı maddesi ilave edilir. Bu halde polimer plastik olarak ifade edilir [28].

Plastikler değişik kriterlere göre sınıflandırılabilirler. Genel olarak kendi içlerinde kabaca kimyasal yapılarına göre sınıflandırılabilirler. Kendi içlerindeki bu sınıflandırmadaki farklılık çapraz bağlı olanlar ve çapraz bağlı olmayanlar şeklindedir. Termoplastikler çapraz bağa sahip değildirler. Elostomerler ve termosetler ise çapraz bağ yapısına sahiptirler. Plastikler doğrusal veya dallanmış makro moleküllerden meydana gelirler.[29]

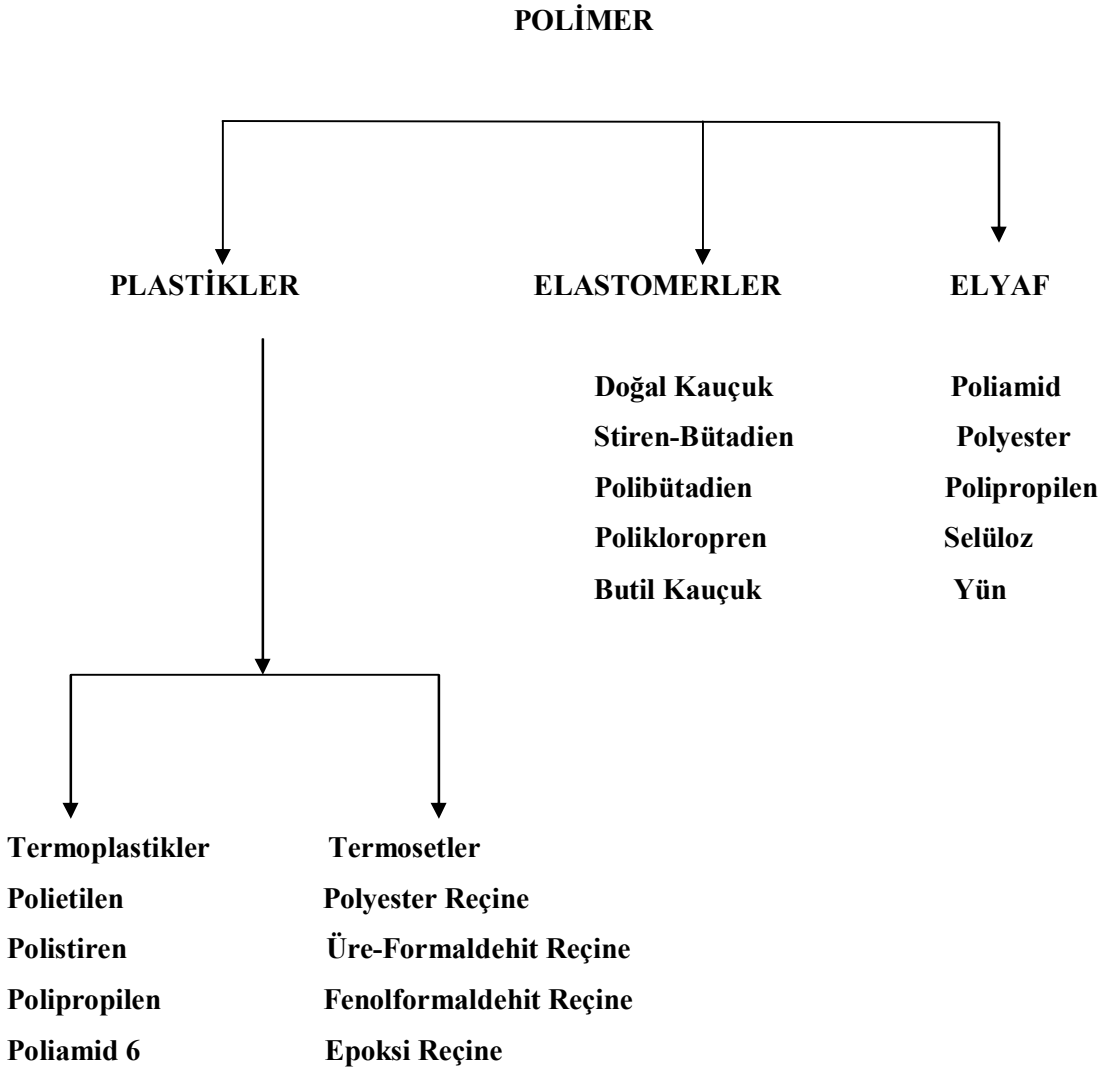
Termoplastik malzemeler ısı ve basıncın etkisi altında yumuşayıp, akabilen, bu durumda şekillendirilebilen ve soğutulduğunda sertleşip şeklini muhafaza edebilen şekil alabilen ve soğutulduğunda sertleşebilen maddedir. Bu şekillendirme sırasında kimyasal yapılarında herhangi değişiklik olmazken fiziksel özellikleri değişim gösterir [30].



Şekil 2.1. Plastiklerin Kimyasal Sınıflandırılması [30]

2.1.Polimerlerin sınıflandırılması

Polimerleri kimyasal yapılarına, menşeilerine ve fiziksel özelliklerine göre sınıflandırmak mümkündür. Fiziksel özelliklerine göre sınıflandırmada, sınıflandırma kesin çizgilerle ayrılmayabilir. Şöyle ki; aynı polimer hem elyaf hem termoplastik sınıfı içinde yer alabilir. Örneğin poliesterden hem elyaf hem de plastik malzeme yapmak mümkündür. Aşağıdaki tablo polimerleri fiziksel özelliklerine göre sınıflandırmaktadır [31].



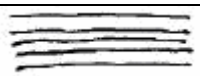
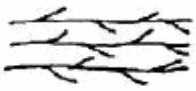
Şekil 2.2: Polimerlerin Sınıflandırılması [31]

Termoplastiklerde makro moleküller arası kimyasal bağ yoktur. Bu yüzden bu tür plastikler yeniden kullanılabilirler. Ancak dezavantajları kimyasal olarak çözülebilmeleridir [29].

Termoplastikleri makro moleküllerin rast gele veya belli bölgelerde düzenli bir şekilde bulunmalarına göre de farklılaşırlar. Eğer makro moleküllerin dizilişi rast gele ise bu tür malzemeler amorf olarak adlandırılır. Eğer herhangi bir renklendirici malzeme katılmamışsa bu tür termoplastikler saydamlıkları ile tanımlanabilirler. Bazı bölgelerde

makro moleküllerin düzenli bir şekilde bulunduğu termoplastikler ise yarı kristalize olarak adlandırılırlar. Bunlar herhangi bir renklendirici katılmasa da saydam değildirler. Makro moleküller birbiri üzerinde dolandıkları veya karışık halde bulundukları için tam olarak kristalizasyon mümkün değildir [29].

Bunun anlamı kristalize olmuş bölgeler arasında halen amorf bölgelerinde bulunuyor olmasıdır. Kristalize olmuş bölgelerin tüm yapıya oranı kristalize olma derecesi olarak tanımlanır ve bu oran işlem esnasında işlem şartlarından etkilenebilir. Kristalize olma derecesi büyük oranda, malzemenin kendisine bağlıdır. Daha basit zincir yapısında olan malzemeler daha yüksek oranda kristalize olabilirler. Ayrıca plastikler, üretim işleme parametrelerine bağlı olarak amorf veya yarı kristalize olarak üretilebilirler. Üretim işlemine göre amorf ve yarı kristalize plastikler farklı özelliklere sahiptirler ve aynı zamanda farklı performans özellikleri gösterirler. [29]

	Doğrusal zincir moleküller	Termoplastikler *Ergitilebilir *Çözülebilir *Oda sıcaklığında tok ve kırılgan
	Dallanmış zincir moleküller	
	Zayıf çapraz bağlı zincir moleküller	Elastomerler *Ergitilemez *Esnek *Çözülemez *Oda sıcaklığında elastik ve yumuşak
	Kuvvetli çapraz bağlı zincir moleküller	Termosetler *Ergitilemez *Çözülemez *Esnek değil *Oda sıcaklığında sert ve kırılgan

Şekil 2.3. Farklı plastiklerin uzun zincir yapılarının şematik gösterimi ve genel özellikleri [29]

Şekil 2.4. Polimerlerin morfolojisi [32]

Termoplastiklerin yanı sıra plastiklerin diğer büyük bir grubu ise, zayıf ve güçlü çapraz bağlı olmak üzere ayrılan çapraz bağlı plastiklerdir. Termoplastiklerden farklı olarak bu malzemeler geri dönüşümsüzdür ve defalarca kullanılamazlar. Çapraz bağlanmanın anlamı makro moleküllerin bir kimyasal reaksiyonla çapraz olarak bağlanmasıdır.
Zayıf çapraz bağlı olanlar elastomerler olarak adlandırılırlar. Bunlar solventlerle çözülemezler. Çok sayıda karşılıklı çapraz bağlar malzemeyi daha sert ve kırılgan yapar ve kimyasal olarak şişmesine de engel olur. Bu şekildeki güçlü çapraz bağlara sahip malzemeler termosetler olarak adlandırılır. Bu malzemelerde çok sayıdaki makro molekül çok kompleks çapraz bağlı tek bir moleküle dönüşür [29].

Termoset malzemeler ise bir defaya mahsus olmak üzere ısıtıldığında istenilen biçimlendirmeyi elde ettikten sonra, yeniden ısıtıldığında eski biçimine dönüştürülemeyen plastikler grubudur [30].

Termoset plastikler kimyasal değişime uğradığı zaman bir daha kalıplama amaçlarında kullanılamazlar. Tıpkı çimentonun donduktan sonra eski halinde dönüşemediği gibi. Mühendislik plastikleri yüksek çekme kuvveti, kırılganlığa, darbeye dayanıklı, eskimeye, kimyasallara ve sıcaklığa dirençli plastik grubudur [33].

2.1.1 Termosetler

2.1.1.1 Amino (Melamin, Üre)

Amino plastikleri yapısındaki amino grubu ile karakterize edilirler. Oda sıcaklığında sıvı veya katı reçine halinde bulunurlar. %imalat sırasında katalizör etkisi altında meydana gelen ilave tepkimesi ile sert ve mukavim özellikler kazanırlar. En çok kullanılan amino termoplastikleri üre ve melaminden elde edilir. Genellikle amino reçineleri sert, rijit, aşınmaya karşı dayanıklı, az şekil değiştiren malzemelerdir. Fevkalade elektriksel iletkenliğe ve yiyeceklere koku vermeme özelliklerine sahiptirler. Asit, alkali, sıcak ve kaynar suya dayanıklıdırlar [34].

a.Amino reçinelerinin özellikleri;

Tanımlayıcı polimer: Melamin-formaldehit
Monomerler: Melamin($C_3H_6N_6$) ve formaldehit(C_2H_2O)
Polimerizasyon yöntemi: Yoğuşma
Elastisite Modülü: 9000 MPa
Çekme mukavemeti: 50 MPa
Uzama: %1 den daha az
Özgül Ağırlığı: 1.5 gr/cm^3
Yaklaşık Pazar Payı: Yaklaşık %4 üre ve melamin toplam[35].

2.1.1.2 Epoksiler

Ölçü tamlığı, adezif malzemelere karşı yüksek direnci ve ısıya ve kimyasallarla karşı iyi bir dirence sahip olan epoksiler mükemmel mekanik ve elektriksel özelliklere sahiptirler. Tipik uygulama alanları yüksek mekanik dayanım yüksek izolasyon gerektiren elektrik ile ilgili parçalardır. Fiberle güçlendirilmiş epoksiler mükemmel mekanik özelliklere sahiptir ve basınçlı kaplar, roket yakıt depoları, tanklar ve benzer araçlarda kullanılırlar [36].

a-Epoksinin özellikleri;

Polimerizasyon yöntemi: Yoğuşma
Elastisite Modülü: 7000 MPa
Çekme mukavemeti: 70 MPa
Uzama: %0
Özgül Ağırlığı: 1.1 gr/cm^3
Yaklaşık Pazar Payı: Yaklaşık %1[54]

2.1.1.3 Fenolikler

Fenolik malzemeler kırılganlıklarına rağmen rijit, iyi ölçü tamlığına sahip. Isı, su ve kimyasallara karşı dirençli malzemelerdir. Bunların yanında elektrik dirençleri de oldukça yüksektir. % izolasyon malzemesi olarak kullanılırlar [36].

a-Fenol formaldehitin özellikleri;

Monomerler: Fenol(C_6H_5OH) ve formaldehit(C_2H_2O)
Polimerizasyon yöntemi: Yoğuşma
Elastisite Modülü: 7000 MPa
Çekme mukavemeti: 70 MPa
Uzama: %1 den daha az
Özgül Ağırlığı: 1.4 gr/cm^3
Yaklaşık Pazar Payı: Yaklaşık %6 [54].

2.1.1.4 Polyester

Polyester malzemeler iyi mekanik ve fiziksel ve elektriksel özeliklere sahiptir. Polyester malzemeler genellikle cam veya diğer fiberlerle güçlendirilerek kullanılırlar. Tipik uygulama alanları tekneler, valiz gibi kişisel eşya taşımada kullanılan araçlar, sandalyeler, otomotiv ve yüzme havuzlarıdır [36].

a-Polyesterin özellikleri;

Polimerizasyon yöntemi: Yoğuşma
Elastisite Modülü: 7000 MPa
Çekme mukavemeti: 30 MPa
Uzama: %0
Özgül Ağırlığı: 1.1gr/cm^3
Yaklaşık Pazar Payı: Yaklaşık %3 [35].

2.1.1.5 Silikon

Silikonun özellikleri kimyasal kompozisyonuna bağlıdır. Genel olarak mükemmel elektriksel özelliklere sahip olup, yüksek sıcaklıkta uzun zaman ısıya ve kimyasallara karşı dirençlidir. Tipik uygulama alanları yüksek sıcaklıklarda çalışabilen elektriksel parçalar ve su yalıtımıdır [36].

a-Silikonun özellikleri;

Polimerizasyon yöntemi: Yoğuşma
Çekme mukavemeti: 30 MPa
Uzama: %0
Özgül Ağırlığı: 1.65 gr/cm^3
Yaklaşık Pazar Payı: Yaklaşık %1 [35].

2.1.2 TERMOPLASTİKLER

2.1.2.1 ABS (Akrilonitril-bütadien-stiren kopolimeri)

ABS malzemeler kolay işlenebilir, tok, düşük maliyetli, rijit termoplastik malzemelerdir. Darbe mukavemeti yüksektir. Tornalama, delme, frezeleme, testere ile kesme, pres ile kesme, makas ile kesme yöntemleri ile işlenebilirler. İnorganik tuz solüsyonları, alkaliler asitler ve bazı yağlara karşı kimyasal dirence sahiptirler fakat bu özellik zamana, kullanım yerine, sıcaklığa ve zorlama seviyesine bağlıdır. Yorulma kırılmasına karşı direnci yüksektir. Bunlara ek olarak ABS malzemeler mükemmel bir aşınma direncine, elektriksel özelliklere, nem ve sürünme direnci özelliklerine sahiptirler. Güneş ışınları altında uzun süre beklediklerinde renkleri değişir, gevrekleşir, sürekliği ve darbe mukavemeti azalır [34] .

a- ABS malzemenin özellikleri;

Polimer: Akrilonitril (C_3H_3N), bütadien (C_4H_6), stirenin (C_8H_8) termopolimeri
Polimerizasyon metodu: ilave (zincir)
Sembol: ABS
Elastisite Modülü: 2100 MPa
Çekme mukavemeti: 50 MPa
Uzama: %10 - %30
Özgül Ağırlığı: 1.06 gr/cm^3
Kristalinite derecesi: Amorf
Yaklaşık Pazar payı: %3 [35]

2.1.2.2 Asetal (POM-Polioksimetilen)

Asetal yüksek yoğunlukta nem içeren ortamlarda fiziksel özelliklerini koruyabilen dayanıklı bir plastiktir. Yüksek kristalinite derecesine sahip olan bu plastik malzeme formaldehitin polimerizasyonu ile üretilmektedir. Sert, rijit ve kimyasal solventlere karşı dirençlidir. Yüksek sıcaklığa dayanıklıdırlar. Sürünme mukavemetleri yüksektir. Elastik bölgede yüksek çekme ve eğilme mukavemetine sahiptirler.

Yorulma mukavemetleri yüksektir. Düşük sürtünme katsayısına ve nem emme özelliğine sahiptirler. Aşınmaya karşı dirençlidirler [34].

a- Asetalin özellikleri;

Polimer: Polioksimetilen, poliasetal $(OCH_2)_n$
Polimerizasyon yöntemi: Yoğuşma
Sembol: POM
Elastisite Modülü: 3500 MPa
Çekme mukavemeti: 70 MPa
Uzama: %25 - %75
Camsı geçiş sıcaklığı -80C^o
Erime sıcaklığı:180C^o
Özgül Ağırlığı: 1.42 gr/cm^3
Kristalinite derecesi: %75
Yaklaşık Pazar Payı : %1 den çok daha az [35]

2.1.2. 3 Akrilik (PMMA-Polimetilmetakrilat)

Akrilik termoplastikleri kristal berraklığı ve havada yıpranmaya karşı dayanıklılığı ile tanınan plastik malzemelerdir. Akrilik malzemeler güneş ışığı altında renk kaybetmeye dayanıklı, boyutsal kararlılığa sahip malzemelerdir. İş merkezlerinin pencerelerinde ultraviyole emici veya güneş ışığını yansıtan ayna göreviyle kullanıldığı gibi jetlerin camları akrilik malzemeden yapılmaktadır. Akrilik malzemeler kısa süreli yüklemelere

karşı dayanıklı fakat uzun süreli yüklemelere karşı oldukça dayanıksız malzemelerdir [34].

İnorganik asitlere ve alkali malzemelere karşı dirençlidirler, fakat organik çözücülerin büyük bir kısmından etkilenirler. Akriliğin berraklığı ve kararlı yapısından dolayı deney tüpü gibi laboratuar araçlarının yanında, mutfak araç gereçleri imalatında da oldukça çok kullanım alanına sahiptirler. Akrilik plastikler 70 Cº sıcaklığın altında sürekli, 90Cº sıcaklığın üzerinde kısa periyotlar halinde kullanılabilmektedirler. Kalınlığı 10mm ve üzerinde olan akrilik malzeme ile üretilen muhafaza kapları beta ışımalarına karşı etkili bir bariyer olarak kullanılmaktadır [37].

a. Akriliğin özellikleri;

Polimer: Polimetakrilat $(C_3H_8O_2)_n$
Polimerizasyon metodu: ekleme(zincir)
Sembol: PMMA
Elastisite Modülü: 2800 MPa
Çekme mukavemeti: 55 MPa
Uzama: %5
Camsı geçiş sıcaklığı: 105Cº
Erime sıcaklığı: 200Cº
Özgül Ağırlığı: 1.2 gr/cm^3
Kristalinite derecesi: Amorf
Yaklaşık Pazar payı: Yaklaşık %1[35]

2.1.2.4 Fluoroplastikler (PTFE- Politetrafloroetilen):

Genel olarak teflon (Politetrafloroetilen) olarak bilinirler. Kimyasal ve çevresel etkilere karşı aşırı derecede dayanıklıdırlar. Sudan etkilenmez, elektrik iletkenliği yüksektir. Isıl direnci yüksek ve sürtünme katsayısı küçüktür. Bu son iki özelliğinden dolayı gıda sektöründe ve yaşlanmayan rulmanlarda sıklıkla kullanılırlar [34].

a. Fluoroplastiklerin özellikleri;

Polimer: Politetrafloroetilen $(C_2F_4)_n$
Polimerizasyon yöntemi: ekleme
Sembol: PTFE
Elastisite Modülü: 425 MPa
Çekme mukavemeti: 20 MPa
Uzama: %100 - %300
Camsı geçiş sıcaklığı:127Cº
Erime sıcaklığı: 327Cº
Özgül Ağırlığı: 2.2 gr/cm^3
Kristalinite derecesi: %95
Yaklaşık Pazar Payı: %1 den az. [35]

2.1.2. 5 Naylon (PA-Poliamid)

Bu sınıfın en önemli üyesi naylondur. Naylonunda en çok kullanılan ve monomer zincirindeki karbon atomunun durumuna göre adlandırılan en önemli iki çeşidi Naylon 6,6 ve Naylon 6 dır. Naylon 6,6 ilk olarak 1930 yılında Du Pont firması tarafından üretilmiştir. Naylon 6,6 ile benzer özelliklere sahip olan Naylon 6 ise Almanya da geliştirilmiştir. Naylon güçlü, oldukça elastik, tok aşınmaya karşı dirençli, kendinden yağlamalıdır. 125C° sıcaklığın üzerindeki sıcaklıklarda mekanik özelliklerini muhafaza edebilir. Su emme özelliğine sahiptir [34].

a. Poliamidin özellikleri;

Polimer: Naylon–6,6 $((CH_2)_6(CONH)_2(CH_2)_4)_n$
Polimerizasyon yöntemi: Yoğuşma
Sembol: PA–6,6
Elastisite Modülü: 700 MPa
Çekme mukavemeti: 70 MPa
Uzama: %300
Camsı geçiş sıcaklığı:50Cº
Erime sıcaklığı:260Cº
Özgül Ağırlığı: 1.14 gr/cm^3
Kristalinite derecesi: Oldukça kristalin
Yaklaşık Pazar Payı: %1 (tüm poliamidler) [35]

2.1.2.6 Polikarbonat (PC)

Polikarbonat yüksek tokluk ve iyi sürünme direncine sahiptir. Genel olarak bakıldığında mükemmel mekanik özelliklere sahiptirler. Isıl direnç olarak bakıldığında en iyi termoplastiklerden biridir. 125C° civarındaki sıcaklıklarda kullanılabilirler. Şeffaftır ve yanmaya karşı dirençlidir [34].

a- Polikarbonatın özellikleri;

Polimer: Polikarbonat $(C_3H_6(C_6H_4)_2CO_3)_n$
Polimerizasyon yöntemi: Yoğuşma
Sembol: PC
Elastisite Modülü: 2500 MPa
Çekme mukavemeti: 65 MPa
Uzama: %110
Camsı geçiş sıcaklığı: 150Cº
Erime sıcaklığı: 230Cº
Özgül Ağırlığı: 1.2
Kristalinite derecesi: Amorf
Yaklaşık Pazar Payı: %1'den az [35]

2.1.2.7. Polyester (PET)

Polyester hem termoplastik hem termoset grubuna dahil edilebilir. Bunu belirleyen yapısında bulunan çapraz bağlardır. Termoplastik grubuna giren polyesterler PET olarak bilinirler. Bu malzemenin amorf ve yaklaşık olarak %30 oranında kristalinite derecesine sahiptir. İşlenmesi sırasında hızla soğutma oldukça şeffaf ve amorf bir yapı kazandırır. Önemli uygulama alanları içerisinde şişirilerek şekillendirilen depolama ve içecek kapları, fotoğraf filmleri, manyetik teyp bantları gelir. Bunlara ek olarak giysilerde fiber olarak oldukça geniş bir kullanım alanı bulmuştur. Giysilerde kullanılan polyester malzemeler çok düşük nem emme ve yüksek şekil koruma kabiliyetlerinden ötürü yıka ve giy ürünleri için ideal bir malzeme halini almışlardır [34].

a- Termoplastik polyesterlerin özellikleri;

Polimer: Polietilen teripalit $(C_2H_4\text{-}C_8H_4O_4)_n$
Polimerizasyon yöntemi: Yoğuşma
Sembol: PET
Elastisite Modülü: 2300 MPa
Çekme mukavemeti: 55 MPa
Uzama: %200
Camsı geçiş sıcaklığı: 70C^o
Erime sıcaklığı: 265C^o
Özgül Ağırlığı: 1.3 gr/cm^3
Kristalinite derecesi: Amorf dan %30 kristaline kadar.
Yaklaşık Pazar Payı: Yaklaşık %2 [35]

2.1.2. 8. Polietilen (PE)

Polietilen 1930'lu yıllarda sentezlenen bir polimerdir. Bugün için tüm plastikler arasında en çok kullanım alanına sahip plastik malzeme sınıfıdır. Kolay işlenmesi, kimyasal duyarsızlığı, düşük maliyeti polietileni çekici bir mühendislik malzemesi haline getirmiştir. Polietilenin en çok kullanılan iki sınıfı düşük yoğunluklu polietilen(LPDE) ve

yüksek yoğunluklu polietilen(HPDE) dir. Düşük yoğunluklu polietilen düşük kristalinite ve düşük yoğunluk bakımdan oldukça fazla alt kola ayrılmaktadır. Yüksek yoğunluklu polietilenler ise daha lineer bir kristal yapıya, daha fazla kristalinite derecesine ve yoğunluğa sahiptirler. Bu fark HPDE'yi daha sert ve güçlü, yüksek erime sıcaklığına sahip bir plastik haline getirmektedir [34].

a- Düşük yoğunluklu polietilenin özellikleri (AYPE-LDPE);

Polimer: Polietilen $(C_2H_4)_n$
Sembol: LDPE
Elastisite Modülü: 140 MPa
Çekme mukavemeti: 15 MPa
Uzama: %100 - %500
Camsı geçiş sıcaklığı:-100Cº
Erime sıcaklığı: 115Cº
Özgül Ağırlığı: 0.92 gr/cm^3
Kristalinite derecesi: %55 tipik.
Yaklaşık Pazar Payı: Yaklaşık %20 [54]

b- Yüksek yoğunluklu polietilenin özellikleri (YYPE-HDPE);

Polimer: Polietilen $(C_2H_4)_n$
Polimerizasyon yöntemi: Ekleme
Sembol: HPDE
Elastisite Modülü: 700 MPa
Çekme mukavemeti: 30 MPa
Uzama: %20 - %100
Camsı geçiş sıcaklığı: -115Cº
Erime sıcaklığı: 135Cº
Özgül Ağırlığı: 0.96gr/cm^3
Kristalinite derecesi: %92 tipik.
Yaklaşık Pazar Payı: Yaklaşık %15 [35]

2.1.2. 9 Polipropilen (PP)

Polipropilen hafif ve dayanım/ağırlık oranı yüksek bir plastik malzemedir. Çoğunlukla HPDE malzeme ile karıştırılmaktadır. Bunun nedeni maliyetlerinin ve çoğu özelliklerinin birbirine yakın olmasıdır. Polipropilen malzemenin ergime sıcaklığının yüksek olması özellikle yüksek sıcaklıklarda sterilize edilmesi gereken tıbbi gereçlerde polipropilenin tercih edilmesini sağlar [34].

a- Polipropilenin özellikleri;

Polimer: Polipropilen $(C_3H_6)_n$
Polimerizasyon yöntemi: Ekleme
Sembol: PP
Elastisite Modülü: 1400 MPa
Çekme mukavemeti: 35 MPa
Uzama: %10 - %500
Camsı geçiş sıcaklığı:-20Cº
Erime sıcaklığı: 176Cº
Özgül Ağırlığı: 0.90 gr/cm^3
Kristalinite derecesi: Yüksek, işleme göre değişir
Yaklaşık Pazar Payı: Yaklaşık: %13 [35]

2.1.2. 10- Polistren (PS)

Polistren lineer homopolimer ve amorf yapısı nedeniyle kırılganlığı ile ünlü bir malzemedir. Şeffaf, kolay renklendirilebilir ve kolayca kalıplanabilme özelliğine sahiptir. Isıya karşı dirençli değildir 90C° üzerinde mekanik özelliklerini kaybetmeye bağlar. Kimyasal çözücülere karşı dirençli değildir. Kırılganlığını azaltmak için içerisine %10 - %15 civarında kauçuk ilave edilir. Bu ilaveli polistren malzemeye yüksek etkili polistren(HIPS) denilmektedir. HIPSin polistrene göre tokluğu yüksek fakat şeffaflık özelliği ve çekme mukavemeti düşüktür [34].

a- Polistrenin özellikleri;

Polimer: Polistren $(C_8H_8)_n$
Polimerizasyon yöntemi: Ekleme
Sembol: PS
Elastisite Modülü: 3200 MPa
Çekme mukavemeti: 50 MPa
Uzama: %1
Camsı geçiş sıcaklığı: 100C^o
Erime sıcaklığı: 240C^o
Özgül Ağırlığı: 1.05 gr/cm^3
Kristalinite derecesi: Yok, Amorf
Yaklaşık Pazar Payı: Yaklaşık %10 [35]

2.1.2. 11 Polivinil Klorür (PVC)

Polivinil Klorürler, malzeme yapısındaki polimerlerin kombinasyonuna göre çok değişik özelliklere sahip olabilmektedirler. Ayrıca çeşitli katkı maddeleri kullanılarak amaca uygun hale getirilebilmektedirler. Kullanım alanı oldukça geniştir. Bunlara örnek olarak; rijit borular, tesisat, tel ve kablo izolasyonu, film, kaplama, yemek kapları, zemin döşemeleri ve oyuncaklar verilebilir. PVC tek başına ısı ve güneş ışınlarına dirençli değildir, fakat stabilizatörler eklenerek çevresel etkilere karşı direnci artırılabilir [34].

a- Polivinil Klorürün özellikleri;

Polimer: Polivinil Klorür $(C_2H_3Cl)_n$
Polimerizasyon yöntemi: Ekleme
Sembol: PVC
Elastisite Modülü: 2800 MPa
Çekme mukavemeti: 40 MPa
Uzama: %2
Camsı geçiş sıcaklığı: 81C^o

Erime sıcaklığı: 212Cº
Özgül Ağırlığı: 1.4 gr/cm^3
Kristalinite derecesi: Yok, Amorf
Yaklaşık Pazar Payı: Yaklaşık %16 [35]

2.2 Alternatif Dolgu Maddeleri

Dolgu maddelerinin seçiminde önem taşıyan faktörlerden biri malzemenin parçacık geometrisidir. Parçacık şekline göre malzemeyle elastomer arasındaki temas yüzeyi ve buna bağlı olarak birçok mekanik özellikler de değişebilmektedir. Parçacık geometrisi aynı zamanda özelliklerin izotropisini (malzemenin özelliklerinin yöne bağlı olması) de belirler. Küresel ya da küp şeklindeki parçacıklar (örneğin; cam küre, kalsit) izotropik özellikler sağlarken, boyut oranları yüksek olan parçacıklar (örneğin; cam elyaf) anizotropik özellikler gösterir. Örneğin; cam elyaf dolgu plastiklerin genellikle akış yönündeki mekanik özellikleri akış yönüne dik olandan daha düşüktür. Yine elyaflı ürünlerde de akış ve akışa dik yönde çekme oranları farklı olacağından kalıplama sonrası parçada çarpılmalar görülebilir. Parçacık geometrisi haricinde dolgu maddelerinde önem taşıyan faktörler; parçacık boyu ve dağılımı, dolgu oranı, kimyasal yapı, yüzey aktivitesi, ısısal özellikler, elektriksel özellikler, yoğunluk, sertlik, yüzey kaplaması, maliyet olarak sıralanabilir [38].

2.2.1. Cam küre

Cam küre; az çok saf halde bulunan kristalleşmiş silisyum dioksit (SiO2) çeşitlerine verilen addır. Kuars, birçok kayacın bünyesinde, yer kabuğunda en yaygın bulunan özgül ağırlığı 2,85 gr/cm3, çizgisi beyaz, çabuk kırılır ve kırılma yüzü sedef içi şeklinde (Konkoidal), ergime sıcaklığı 1785 °C olan kayaç yapıcı bir ana mineraldir.
Karayolları işaretlemesinde ve fosforlamada kullanılan cam kürecik, tüm dünyadaki geçmişi yakın zaman dayanmaktadır. Tüm dünyada yansıma (reflection) başlığı altında üretilen cam kürecik üretimi, insan hayatının değerinin ilerlemişlik göstergesiyle paralel olarak daha fazla önem kazanmasıyla, çoğunlukla trafikte kullanılmak üzere üretimi ve yaygınlığı gün geçtikçe artmaktadır [39].

Hemen hemen her türlü boya çeşidine karıştırılarak kullanılan cam küreciğin farklı kullanım amaçlarına göre değişik ebat ve türde üretimi söz konusudur. Boyalara katılarak kullanılan cam kürecik karanlıkta veya görüş mesafesinin kısa olduğunda ışık yansıması sayesinde görüşü ve ilgiyi arttırmaktadır. Plastik malzemelerde ekstrüzyon ve enjeksiyon yöntemine uygun olmaları, aşınma direnci ve sertlik özellikleri nedeni ile dolgu maddesi olarak kullanılabilir.

2.2.2. Mika tozu

Mika çok kolay dilimlenen yapraksı bir silikat grubuna verilen addır. En yaygın olan mineralleri beyaz mika ve siyah mika dır. Mika genellikle $K_2AI_4(AI_4Si_6O_{20})$ formülü müskovit veya $K_2(MgFe)_6$ $(OHF)_4$ formülü flogopite minerallerinden elde edilir. Lamellar yapıya sahip bir mineraldir. Özgül ağırlığı 2,7 gr/cm3 dır. Mika tozu termoplastiklere; yüksek dayanıklılık, sağlamlık, yüksek boyutsal sabitlik, yalıtkanlığa karşı iyi elektriksel özellikler, ısı altında boyutsal sabitlik kazandırır.
Mika kristalli kayaçların çoğunda bulunur ve granitin üç temel mineralinden birini teşkil eder.
Ayrıca granitlerin parçalanmasından meydana gelen kumtaşları, kumlar ve mikasistler içinde de bulunur. En önemli özelliği yalıtkan olmasıdır. Mika 500 °C in üstünde bile sıcaklıktan etkilenmez yapısını değiştirmez.

Mikanın kullanımı; yalıtkanlığı, saydamlığı ve ince levhalara ayrılabilmesi gibi niteliklerine bağlı olarak elektronik, plastik-boya ve kâğıt sanayiinde, yapı malzemeleri üretiminde, sondajcılıkta, lastik ve duvar kâğıdı imalinde görülür [39].

Plastiklerde yüksek sıcaklıklara karşı direnci, yüksek sertlik, boyut kararlılığı, iyi elektrik özelliği ve ekonomik özellikleri nedeniyle dolgu maddesi olarak kullanılmıştır.

2.2.3. Wollastonit

Asit intrusiflerin kalkerlerle kontağında oluşan bir kalsiyum silikat minerali ($CaSiO_3$) dir. Saf halde iken rengi beyaz olup, lifsi görünüşlüdür. Yoğunluğu 2,94 g/cm^3 tür. Çeşitli impüritelerle rengi kurşuni veya kahverengine dönebilir. Enerji tasarrufu yanında düşük pişme küçülmesi, yüksek ısıya dayanımı, yüksek mekanik direnci, kontrol edilebilir porozite ve iyi izolasyon kabiliyeti gibi özellikleri, kullanım yerlerini belirler. Buna göre yer ve duvar karoları, tek pişirimli fayans imali, elektrik izolatörleri, porselen, sır, emaye, mineral elyaf, beyaz boya ve abrasive disk imalinde kullanılır.

Plastiklerdeki ısı kararlılığı, elektrik direnci, kimyasal direnç ve mekanik özellikleri artırması nedeni ile çalışmada dolgu maddesi olarak kullanılmıştır.

2.2.4. Cam elyaf

Cam elyafı, dünyanın her yerinde kullanım amacına uygun nitelikteki alkalisi düşük "E" camının, 5–20 mikron çaplarında devamlı proses ile ince lifler halinde çekilmiş türüdür.

Silisyum, kalsiyum, alüminyum ve bor oksit karışımından meydana gelen gözle seçilmesi zor cam elyaf tanecikleri bir bağlayıcı malzeme aracılığı ile birbirine bağlanarak aynen kumaş topları gibi, belli boy ve ölçülerde satılır. Bağlayıcı eleman işlenme sırasında reçine tarafından çözülür ve elyaflar bir alttaki katla ve birbirleriyle reçineler sayesinde yapıştırılırlar. Elyaflar metrekare ağırlıklarına göre tasnif edilir ve satılırlar (300, 450 veya 600 g/m^2 gibi) [40].

1940'lı yıllardan bu yana, değişik cam elyafı tipleri plastiklerin takviyesinde kullanılmaktadır. Cam elyaflar; kırılgan bir yapıya sahip olan plastiklerin çekme ve eğilme dayanımları, rijitlik ve darbe dayanımları gibi fiziksel özellikleri arttırılabilmektedir.

Cam elyafı başlangıçta sadece termoset yapıdaki plastiklerin takviyesinde kullanılırken, günümüzde termoplastiklerin takviyesinde de hızlı bir artış göstermektedir. İplikler ve lifler halinde bulunabildiği gibi kırpılmış ve toz halde de üretilmektedir. Kopma dayanımı

ve sertlik değerin artırır. Esneme dayanımını artırıcı özellikleri nedeni ile dolgu maddesi olarak kullanılmıştır [40].

2.2.5. Pirinç Kabuğu:

Tarımsal esaslı materyal; gıda amacıyla üretilen ve birincil prosesten sonra (gıda elde etme) atık ve artık olarak kalan ürünler ile lifleri için özel olarak üretilen veya doğadan doğal olarak elde edilen bitkisel materyal olmak üzere iki ana baslık altında toplanabilir. Birinci gruptakilere Pirinç atıkları (çeltik), Tahıl samanı, Ayçiçeği sapı, Seker kamışı artığı, ikinci grup hammadde kaynaklarına ise Jüt, Kenaf ve Bambu örnek olarak verilebilir.

Ajiwe ve ark, yapmış olduğu çalışmada, pirinç kabuğu ve talaşı gibi tarımsal atıklardan taban döşemeleri için levhalar üretmişlerdir. Bu örneklerin çekme direnci, su absorpsiyon oranı ve rutubet içeriği test edilmiştir. Yapılan testler sonucunda üretilen levhaların ticari olarak mevcut levhalara benzer standartlarda olduğunu rapor etmişlerdir [41].

Organik katkı maddesi olarak kullanılan mısır sapı, küspe, buğday sapı, pirinç sapı gibi tarımsal atıklar ile güçlendirilmiş termoplastik kompozitler bina yapıları gibi yapısal uygulamalarda büyük önem kazanmıştır. Odun-plastik kompozitlerinin sağlamlık ve direncini geliştirmek için çeşitli formulasyonlarda deneme çalışmaları yapılmıştır.

Yang ve ark, yapmış olduğu çalışmada, pirinç sapı-odun partikülü kompozit levhaları, odun esaslı panel endüstrisinde kullanılan metot kullanılarak izolasyon levhaları üretmişlerdir. Üretim parametreleri; özgül ağırlığı 0,4-0,6-0,8 ve pirinç sapı oranı 10, 20, 30 (pirinç sapı/odun partikül oranı; 10/90, 20/80, 30/70) olarak uygulanmıştır. Özgül ağırlığı 0,4 gr/cm^3 olan örneklerin eğilmede elastikiyet modülü 140-290 psi, özgül ağırlığı 0,6 gr/cm^3 olan örneklerin eğilmede elastikiyet modülü 700-900 psi, özgül ağırlığı 0,8 gr/cm^3 olan örneklerin eğilmede elastikiyet modülü 1400-2900 psi olarak bulunmuştur. Kompozit bağlayıcı olarak ticari üre formaldehit yapıştırıcısı kullanılmıştır. Üretilen kompozit levhaların tümü izolasyon levhaları için üstün özelliklere sahip olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca pirinç sapı partiküllerinin genişlik ve uzunluklarının eğilmede elastikiyet modülünü etkilemediğini rapor etmişlerdir. Özgül ağırlığı 0,4 ve 0,6 gr/cm^3

olan kompozit levhaların ses izolasyonu ve ev içi yaşam yerinin sıcaklığını muhafaza etmesi için ses izolasyon katsayısı belirlenmiştir. Düşük özgül ağırlıktaki kompozit levhaların izolasyon levhalarından daha yüksek eğilmede elastikiyet modülü değeri verdiği rapor edilmiştir. pirinç sapı-odun partikül kompozit levhaların ses izolasyon katsayısı, ticari olarak kullanılan odun esaslı materyaller, yonga levha, lif levha gibi materyallerden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir [42].

Kurt ve Mengeloğlu, yakılarak kullanılan orman endüstri atığını ve tarlalarda yakılarak ya da toprakla sürülen tarımsal atıkların, un haline getirilerek ya da liflendirilerek termoplastiklerle karıştırılması ile kompozit üretiminde değerlendirilmesi hakkında bir çalışma yapmıştır. Hem maliyeti düşürmek hem de son ürünün özelliklerini iyileştirmek amacıyla bu atıkların kompozit üretiminde dolgu maddesi olarak kullanılması önerilmiştir [43].

BÖLÜM 3: EKSTRÜZYON VE ENJEKSİYON PROSESİ

3.1. Ekstrüzyon Makinesinin Tanımı

Plastik ürünlerin aynı kesitte, hassas ölçülerde ve istenilen uzunlukta, devamlı (kesiksiz) olarak elde edilmesini sağlayan makinelere ekstrüzyon makineleri denir (Resim 1.1). Bu makineler bazen kısaca ekstrüderler olarak da adlandırılmaktadır.
Bu makinelerde üretilen ürünlere plastik boru ve profil örnek olarak verilebilir.

3.2. Ekstrüzyon Makinesinin Kısımları

3.2.1. Huni

Huni, ekstrüderde işlenecek malzemenin düzenli olarak beslenmesini sağlar. Bütün malzemeler serbestçe akma eğiliminde değildir, bu nedenle huni genellikle bir konveyör veya karıştırıcı ile donatılırlar. [44]

3.2.2. Vida (Burgu veya Helezon)

Vida plastiğin beslenmesi, taşınması, ergitilmesi ve homojenleştirilmesi dâhil birçok işlevi yerine getirir. Bu bakımdan ekstrüderin kalbidir. [44]

Çok değişik tipte vida mevcuttur. En çok kullanılan, üç bölgeli vida olup termoplastiklerin çoğunu ısıl ve ekonomik açıdan tatmin edici bir şekilde işler. Bu bölgeler besleme, sıkıştırma ve ölçme bölgeleri olarak adlandırılır. [44]

3.2.3. Silindir (Kovan-Ocak)

Silindir vidanın yataklandığı, rezistansları üzerinde taşıyan makine elemanıdır. Bu kısım kovan veya ocak olarak da adlandırılmaktadır.

Ekstrüderlerin silindir tasarımına göre farklı tipleri vardır. [44]

A- Tek vidalı ekstrüderler

• Geleneksel

• Yivli

B- Çift vidalı ekstrüderler

• Birlikte dönen (içe doğru dönen)

• Tersine dönen (dışa doğru dönen) [44]

Geleneksel tek vidalı ekstrüderler iç yüzeyi düz olan bir silindire sahiptirler. Kalıp direncini yenmek için gerekli basıncın ölçme bölgesinde geliştirilmesi karakteristik özelliklerindendir. Hammadde silindir duvarı ile parçacıklar arasında meydana gelen sürtünme ile iletilir. [44]

Yivli tek vidalı ekstrüderlerde, yivli kovan silindir duvarı, besleme bölgesinde uzunlamasına açılmış konik yivlere sahiptir. Bu yivler malzemenin iletilmesini ve böylece sıkıştırılmasını artırır. Bu tip ekstrüderlerde basıncın meydana gelmesi, besleme bölgesi içinde başlar. [44]

Çift vidalı ekstrüderler öncelikle homojen bir karışım elde etmek için kullanılır.
Malzeme vida ve silindir arasındaki temas sürtünmesi ile iletilir. Vidalar dönerken birbirlerini temizleyecek şekilde tasarlanmışlardır. Tersine dönen çift vidalı ekstrüderler özellikle PVC gibi toz haline getirilmiş malzemeler için kullanılır. Sekiz rakamı şeklinde bir kesite sahip olan silindir, geçitler arasında kapalı hücreler oluşturacak formda düzenlenmiştir. Malzeme bu hücreler içinde zorlamayla beslenir. Vidanın ucuna yakın (basınç oluştuğu yerde) malzeme sürtünme ile eritilir. [44]

3.2.4. Soğutma ve Vakumlama Ünitesi

Soğutma ve vakumlama ünitesi, bir vakum pompası ve bir soğutma pompası yardımı ile ürünün soğutma ve vakumlamasının yapıldığı kısımdır. [44]

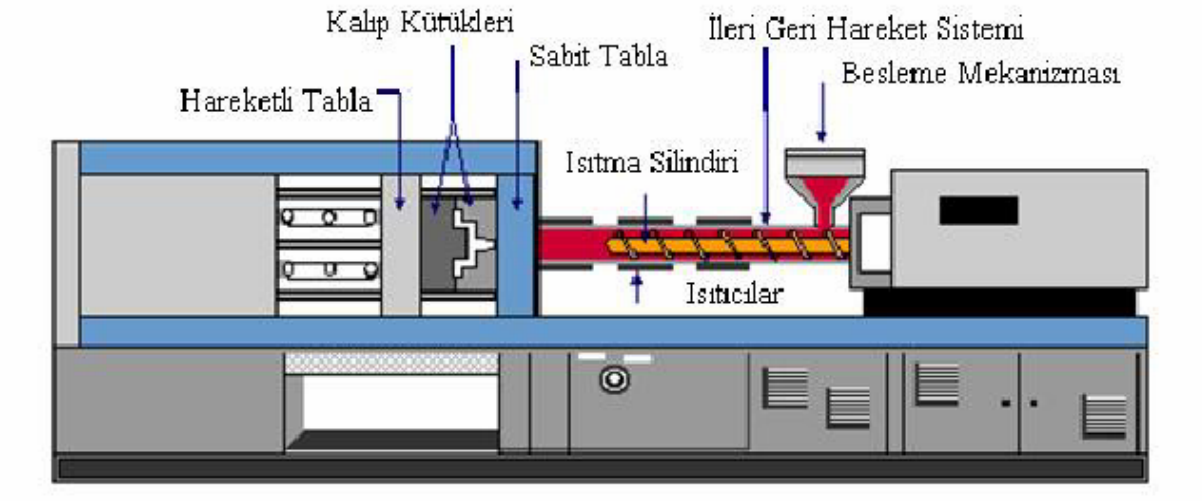
3.2.5. Çekici

Makinede işlenip kalıp ve kalibreden geçen ürünü çekerek kesime hazırlayan sistemdir. Ürün genellikle bir palet sistemi yardımı ile çekilir. [44]

3.3. Enjeksiyon Makinesinin Tanımı:

Plastik enjeksiyon, sıcaklık yardımı ile eritilmiş plastik hammaddenin bir kalıp içine enjekte edilerek şekillendirilmesi ve soğutularak kalıptan çıkarılmasını içeren bir imalat yöntemidir. İşlemin gerçekleştirildiği makineye plastik enjeksiyon makinesi denir. [45]

Enjeksiyon ile imal edilen malzemelere birkaç örnek vermek gerekirse bunlar: ev eşyaları, otomotiv parçaları, oyuncaklar, CD'ler, disketler ve daha birçok malzemelerdir. [45]



Şekil 3.1. Şematik vidalı plastik ünitesi [47].

3.3.1. Enjeksiyon yönteminin avantajları

1. Seri şekilde üretim yapılabilmesi,
2. Büyük hacimli ürün elde edilebilmesi,
3. Maliyetin düşük olması,
4. Otomasyona uygun olması,
5. Hemen hemen son işlem gerektirmemesi,
6. Çok farklı yüzey, renk ve şekillerde ürün elde edilebilmesi,
7. Malzeme kaybının çok az olması,
8. Aynı makinede ve aynı kalıpta farklı malzemelerin basılabilmesi,
9. Küçük toleranslarda çalışabilmesi,
10. Kalıba metaller yerleştirerek (insert) basılabilmesi,
11. Plastik malzemeye asbest, talk, karbon gibi dolgu maddelerinin eklenerek ürünün daha ucuza üretilebilmesi,
12. Katkı maddeleri ilavesiyle ürünün mekanik özelliklerinin iyileştirilebilmesidir. [46].

3.3.2. Enjeksiyon yönteminin dezavantajları

1. Sektördeki yoğun rekabetten dolayı kar marjının düşük olması,
2. Kalıp fiyatlarının pahalı olması,
3. Enjeksiyon makinelerinin ve yedek parçalarının pahalı olması,
4. Kalitede sürekliliğin tam olarak tanımlanamaması ve sağlanamaması [46].

3.3.3. Plastik Enjeksiyon Yönteminin Aşamaları

Enjeksiyonla kalıplama yönteminin esası, kalıplanacak plastik malzemeyi homojen olarak kalıplama sıcaklığına kadar ısıtmak ve piston yardımı ile meme ve yolluk sisteminden geçirerek ısıtılmış kalıp boşluğuna basınçla enjekte etmektir. Bu yöntem tüm plastik malzemelere uygulanabilmektedir. Enjeksiyonla kalıplama yöntemi, toz veya granül hâldeki plastik malzemeyi, homojen olarak ısıtan, çeşitli katıkları homojen olarak karıştıran ve istenen biçime getiren en hızlı kalıplama yöntemidir. Bu nedenle parça

halindeki mamullerin imalinde en çok plastik enjeksiyonla kalıplama yöntemi kullanılmaktadır [69].

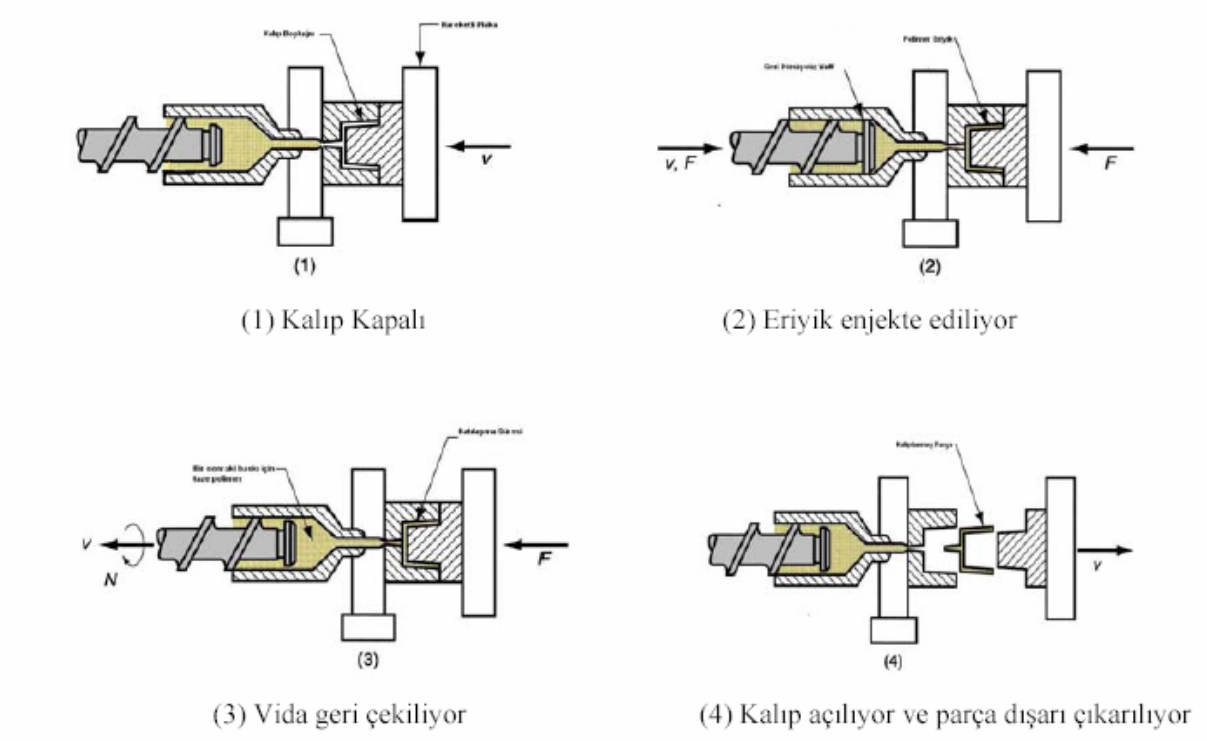
Enjeksiyon kalıplama yöntemi her biri kısmi olarak bir sonraki safhayı da giren çeşitli aşamalardan oluşmuştur. Yöntemin nasıl işlediğini ve her safhanın parça kalitesini nasıl etkilediğini anlamak için bu safhalar kısaca anlatılmıştır [69].

1. Çevrim kalıbın kapanması ile başlar.

2. Makinenin plastik ünitesi lüle kalıbın yolluk burcuna dayanana kadar ileri doğru hareket eder. Bu safha sıcak yolluk sistemli kalıplarda atlanabilir. Konvansiyonel yolluk sistemlerinde ise makine enjeksiyon lülesi kalıbı ısıtmaması için enjeksiyon işlemi bittikten sonra geriye çekilmelidir.

3. Makine enjeksiyon lülesi ile yolluk burcunun teması sağlanır sağlanmaz plastik ünitesi basıncı arttırmaya başlar ve artık enjeksiyon işlemi başlayabilir. Bu safha parça boyutuna ve işlem sırasına göre birkaç saniye kadar devam edebilir. Enjeksiyon safhası süresince oluşan koşullar kalite açısından parçanın bazı önemli karakteristiklerini etkiler.

4. Tutma (ütüleme) basıncı safhası enjeksiyon safhasını takip eder. İşlemin bu safhası boyunca plastik ünitesi vidasının eksenel hareketi, kavite içinde soğumadan dolayı meydana gelen çekmeyi azaltmak için yeteri kadar malzemeyi kaviteye sokabilmek amacıyla yavaştır. Bu safha parçanın ağırlığını, boyut hassasiyetini ve içyapısını etkilemesi açısından yöntemin en önemli safhalarından biridir. Enjeksiyon ve tutma safhalarında plastik ünitesi kalıp ile temas halindedir.



(1) Kalıp Kapalı (2) Eriyik enjekte ediliyor

(3) Vida geri çekiliyor (4) Kalıp açılıyor ve parça dışarı çıkarılıyor

Şekil 3.2 Bir enjeksiyon prosesi [35]

5. Tutma basıncı safhasından sonra makine lülesi geriye çekilir. Plastik ünitesi geri geldikten sonra bir sonraki çevrim için plastikleşme işlemi başlar. Ancak bu durum makine lülesinin plastik ünitesi geri geldikten sonra kapanabilir tip olması durumunda mümkündür. Eğer lüle açık tip bir lüle ise, plastikleşme süreci lüle yolluk burcuna temas edince başlar. Uygun seçilmiş olan bir makinede plastikleşme safhası kalıbın soğuması tamamlanmadan önce biter. Pratikte bu faz parçaların cidar kalınlığına ve plastikleştirilecek malzemeye bağlı olarak tamamlanır. Eğer makinenin plastikleşme performansı yeterli değilse çevrim zamanı plastikleşme zamanı tarafından belirlenir ve üretim maliyeti artar.

Plastikleşme safhasını takiben parça yeterli mekanik kararlılığa ulaşana kadar soğutulur.

6. Enjeksiyon kalıplama çevriminin en son safhasında kalıp açılır ve parça kalıptan çıkartılır. Bundan sonra artık bir sonraki çevrim başlar. Tüm safhaların zamanları toplamından oluşan çevrim zamanı parça maliyeti açısından kritik bir önem taşır. Tüm safhaların sürelerinin mümkün olduğu kadar kısaltılabilmesi için belirli bir çaba

gereklidir ve tüm makine ve kalıp hareketleri mümkün olduğu kadar kısa sürelerde gerçekleştirilmelidir [48].

3.3.4. Ürün Kalitesine Etki Eden Makine Kontrol Parametreleri

Ürün geometrisi ve malzeme özellikleri yanında, enjeksiyon prosesinin kendisinin de ürünün ve son özelliklerinin üzerinde kesin etkileri vardır. Belki kalıp tasarımındaki hatalar kolay kolay düzeltilemez ama bu hataların prosese etkileri belli oranlarda azaltabilir ve istenen kalitede ürünler imal edilebilir. Kalıp haricinde çevre şartlarının ve makine çalışma parametrelerinin bilinmesi de yüksek kalitede ürün imali için şarttır. Bu bölümde plastik enjeksiyon prosesinde ürün kalitesi üzerine etki eden makine kontrol parametreleri açıklanmıştır [29].

3.3.4. 1. Enjeksiyon zamanı

Enjeksiyon zamanı, kalıba malzemenin dolmaya başladığı anla tutma basınçlarının uygulanmaya başladığı an arasındaki safhadır. Bu safha genelde hız kontrollü olarak gerçekleştirilir. Yani helezon, malzemeyi 5 ile 10 basamak arasında değişen bir hız profili ile kalıba iter. Hız profili de diğer işlem parametreleri gibi malzemeye ve kalıba (yani parçaya) göre ayarlanmalıdır. Genelde malzemenin kalıba enjeksiyonu düşük bir hızda başlar, zamanı kısaltmak için hız arttırılır ve kalıp boşluğu tam dolmadan hız tekrar azaltılır. Başlarken ve biterken enjeksiyon yapılan hızların düşük tutulması, kalıba herhangi bir zarar vermemek içindir. Her malzeme, makine ve kalıp (yani ürün) için bir optimal enjeksiyon zamanı aralığı vardır. Bu zaman aralığı özellikle ekonomik sebeplerden dolayı çok önemlidir [29].

Enjeksiyon zamanının çok kısa tutulması birim zamanda daha büyük miktarda hacim akışı gerektirdiği için, yüksek basınç kayıplarına neden olur. Çok uzun enjeksiyon zamanı ise, kalıp duvarına yakın eriyiğin katılaşmaya başlamasından dolayı serbest kanal kesit alanının azalmasına, dolayısıyla yüksek basınç kayıplarına neden olur. Bu sebeplerden dolayı enjeksiyon zamanının minimum basınç değerlerini sağlayacak şekilde ayarlanması gerekir [29].

Çıkan ürünün iyi kalitede olmasının şartlarından biri de kalıp içindeki malzemenin ortalama sıcaklığının kalıbın her tarafında sabit tutulmasıdır. Eğer enjeksiyon zamanı kısa tutulursa, malzeme akış yolunun sonundaki (uç noktasındaki) sıcaklık, malzemenin ilerleyişi sırasında meydana gelen iç sürtünmeden dolayı enjeksiyon sıcaklığından daha yüksek olabilir. Yani kalıp boşluğunda akan malzemenin maruz kaldığı sürtünme, sıcaklığını arttırır. Enjeksiyon zamanı uzun tutulursa da tam tersi meydana gelir, yani akış çizgisinin uç noktasının sıcaklığı enjeksiyon sıcaklığından düşük olabilir. Oysa enjeksiyon sıcaklığıyla malzeme akış çizgisinin uç noktasındaki sıcaklığın aynı olması ürünün boyutsal kararlılığı açısından önemli olup bunu sağlayan ortalama bir enjeksiyon zamanının olduğu da unutulmamalıdır [29].

3.3.4.2. Enjeksiyon hızı

Vida piston gibi hareket ettiğinde, kalıbın dolma hızıdır. İnce kısımları olan parça, imalatında yüksek enjeksiyon hızı kullanımı kalıbı plastik donmadan doldurmak için gereklidir. Fakat kalın kısımları olan parçada daha iyi yüzey yavaş enjeksiyon hızı kullanılarak elde edilir. Kalıp doldurma esnasında enjeksiyon hızı programlanabilir. Bu ayar kapalı veya açık devre sistemiyle yapılabilir [33].

Makine ayarında hangi enjeksiyon hızı kullanılırsa kullanılsın enjeksiyon süresiyle birlikte kayıt edilmelidir. Bu zaman ilk enjeksiyon basınç değerine ulaşmak gereklidir ve vidanın ileri hareket zamanının bir parçasıdır. Modern enjeksiyon makinelerinin çoğu kapalı devre sistemiyle baskı süresini kontrol eder. Vidanın pozisyonu sensör kullanılarak takip ve zamana göre grafik şeklinde kayıt edilebilir. Sensörden gelen bilgi kontrol paneline gönderilir ve bu bilgiyle kontrol ünitesi yüksek enjeksiyon basıncını uygulayarak sabit baskı sağlar. Dolma esnasında basınç gittikçe artar çünkü kalıbın dolması esnasında akışkanlık direnci artar. Kalıp dolmasının belirli bir noktasında örneğin kalıp hemen hemen dolarken veya yolluk girişi donarken akışkanlığa direnç oldukça yüksektir ve vidanın bu oranda basınç vermesini beklemek gerçekçi değildir. Bu noktada kontrol, hız kontrolden basınç kontrole değiştirilir. Bu noktada hızdan basınca geçiş noktası “(VPT-velocity pressure transfer point)” diye bilinir [33].

3.3.4. 3. Enjeksiyon basıncı

Kalıbı doldurma esnasında yüksek hızla kalıbı doldurmak için yüksek basınca ihtiyaç duyulur. Kalıp dolduktan sonra yüksek basınç gerekli değildir veya arzu edilmeyebilir. Birçok baskıda yüksek ilk basıncı düşük ikinci basınç (ütüleme) takip eder. Asetal, naylon gibi bazı yarı kristal termoplastiklerin baskısı esnasında bu ikinci basınca ihtiyaç olmayabilir. Çünkü ani basınç değişimi kristal yapıda istenmeyen değişikliğe sebep olur. Oryantasyon (moleküllerin yönlenmesi ki bu özellikle plastiğin akış yönünde olur) oranının azaltılması önemlidir. Bunun için kalıp mümkün olduğu kadar çabuk doldurulmalıdır ve erimiş plastik soğutulurken sürtünmemelidir. Çünkü bu durum, plastiğin soğuk ve uzayarak (creep) akışı demektir ki hiç de arzu edilmez [33].

Eğer hızdan basınca geçiş noktası (VPT) yanlış pozisyonda ayarlanırsa yani hızdan basınca geçiş çok erken olursa bu duruma sebep olur. Yolluk girişi donmadan ve enjeksiyon basıncı yeterince yüksek olarak kalıp yavaşça dolar. Bu da baskıda yüksek dahili gerilime sebep olur. Çünkü kalıp yavaşça doldurulurken soğumayla baskıdaki oryantasyon seviyesi maksimumlaşır. Bu durumlar enjeksiyon basıncı kalıp doldurma hızı ile birlikte arttırılarak üstesinden gelinir [33].

Hızdan basınca geçiş noktası (VPT) nın kesin olarak ayarlanması çok önemlidir. Eğer bu şart yerine getirilmezse değişik yapılarda baskıya sebep olur. Enjeksiyon baskısında baskının aynı özelliklerde yapılması büyük önem arz eder. Farklı yapıya sahip baskı hiç arzu edilmez. Hızdan basınca geçiş noktası (VPT) daki değişim aşağıdaki özellikler değerlendirilerek tespit edilir:

1- Vida pozisyonu,
2- Hidrolik basınç, (hat basıncı olarak da bilinir),
3- Nozzle (meme) basıncı, (erimiş plastik basıncı olarak da bilinir),
4- Kalıp boşluğu (cavity) basıncı, (CPC olarak da bilinir),
5- Kalıp açma gücü,
6- Kalıp açma pozisyonu [33]

Hızdan basınca geçiş noktası (VPT), duruma uygun kalıp boşluğu basıncı (CPC) istenilen yerde kontrol için kullanılabilir. Kalıbın içindeki, basınç, çekmeyi ve baskı ağırlığını kontrol eder. Kalıp boşluğu basıncı (CPC) kullanımı çok kalıbı olan fabrikalar tarafından belirtilen sebeplerden dolayı kullanılamazlar. Çünkü kalıpta değişikliğe ihtiyaç duyar [33].

Basınç ölçme aletini itici blok içine yerleştirmek zordur. İtici pimlerin boyutlarındaki farklılıktan dolayı ayarlama, kalibre etme problemleri vardır. [33]

Basınç ölçme aletinin kolayca zarara uğraması ve tamirinin zor olması da bir handikaptır. Hızlı enjeksiyon makinelerinde hidrolik sistemin hızlı bir şekilde karşılık vermemesi nedeniyle hızdan basınca geçiş noktası (VPT) ayarı, kalıp boşluğu basıncı (CPC) kullanıldığında etkili değildir [33].

3.3.4. 4.Ütüleme Basıncı ve Zamanı

Ütüleme basıncı; enjeksiyon basıncından hemen sonra, enjeksiyon memesi kalıpla temas halindeyken uygulanır. Enjeksiyon işleminin bu aşamasında, düşük eksenel hızda hareket eden, ilerleyen vida; soğuk kalıp duvarlarına temas eden erimiş plastik malzemenin hemen büzülmeye başlamasını telafi edebilmek için yeterli miktarda erimiş plastik malzemeyi, genelde farklı basınç değerlerinde enjekte etmeye devam eder. Ütüleme basıncı; parçanın ağırlık, boyutsal hassasiyeti ve içyapısına önemli etkileri vardır [68].

Ütüleme basıncının uygulandığı bu zaman dilimine; ütüleme zamanı denir. Ütüleme zamanı gereğinden az olursa; ütüleme basıncıyla birlikte kalıp içerisine giren erimiş malzeme de az olur. Bu da; enjeksiyon esnasında kalıp içerisine giren ve soğuyarak büzülen malzemenin daha iyi kalitede üretilmesini etkiler. Ütüleme zamanı daha uzun olduğunda; kalıp içerisine giren eriyik malzeme daha çok olacaktır. Dolayısıyla ürünün kalitesi de artacaktır [49].

Ütüleme basınçları safhasının en önemli yönü; uygulanan basınçlar sayesinde, soğumaya başlayan malzemede termal büzülme (çekme)den dolayı meydana gelmesi muhtemel

hava boşluğu ve kanal izlerine, kasılma ve yamulmalara (çarpıklıklara) engel olabilmek için, kalıba malzeme doldurulmaya devam edilmesidir. Tutma basınçları safhası, helezonun belirlenen bir konumundan itibaren başlar ve belirlenen bir süre için devam eder. Tutma basınçları enjeksiyon işlemi biter bitmez, malzeme daha tam soğumadan uygulanmaya başlamalıdır çünkü malzeme kalıp duvarlarına değdiği andan itibaren soğumaya ve hızlı bir şekilde donmaya geçer [29].

Tutma basınçları safhası, basınç kontrollü olarak gerçekleştirilir. Bu da çoğu zaman helezonun 5 ile 10 arası basamakta, farklı değerlere sahip basınçlarla yüklenmesi anlamına gelir. Basınç değerleri ile basınç profili, kullanılan malzemeye, kalıba ve diğer işlem parametrelerine göre ayarlanmalıdır. Basınç profili, üretilecek parçanın büzülme ve yamulma davranışlarını optimize edebilmek için kullanılmalıdır. Enjeksiyondan tutma basınçları safhasına geçiş, ani basınç değişimleri olmaması ve dolayısıyla kalıbın aniden aşırı yüklenmemesi açısından büyük önem taşır [29].

3.3.4. 5. Eriyik sıcaklığı

Enjeksiyon makinesinde sert plastik granüller enjeksiyon ünitesindeki vida yardımıyla içeri alınır. Bu plastik granüllere, ocak duvarlarından ısı verilir. Ayrıca; vidanın dönmesi de ilave bir ısı sağlar ve plastik bu sayede ısıtılır. Enjeksiyon ünitesindeki bu vidanın geometrisinde; vida ön tarafına doğru dişler azalmaktadır. Sonuçta; bu azalma yumuşayan plastiğin, erimiş plastiğe geçmesini sağlar. Bu erimiş plastik; enjeksiyon ünitesinin memesine iletilir. Burada; ocak duvarlarından ve vida dönmesiyle elde edilen ısı, eriyik ısısıdır. Bu sıcaklığın düşük tutulması; kalıp içerisine gönderilen erimiş plastiğin daha erken soğuyup, kalıplanan parçanın kalitesinin istenilen düzeyde olmasını engeller. Eriyik ısısının daha yüksek tutulması da; erimiş plastiğin kalıp içerisinde daha geç soğumasına ve parçanın kalitesinin arttırılmasına sebep olur [49].

Ayrıca eriyik sıcaklıkları, parçaların yüzey görünümü üzerinde çok büyük etkiye sahiptir. Çoğu üretici, materyallerin her biri için uygun bir sıcaklık aralığını belirtir. Genellikle eriyik sıcaklığı ne kadar yüksek olursa, kalıp sıcaklığı o kadar yüksek ve yüzey parlaklığı o derece iyi olur. Bununla birlikte eriyik sıcaklığını çok fazla artırmak, bazen parçalarda çukurluklar oluşma ihtimalini arttırır. Özel bir materyalin, tavsiye edilen sıcaklık

aralığında yapılan bir dizi parça üretiminde, her bir parçanın ağırlığı belli bir sıcaklıkta maksimum olduğu görülür. Düşük sıcaklıklarda büyük basınç düşüşü nedeniyle parça ağırlığı düşük olacaktır. Eriyik sıcaklığını artırmak basınç düşmesini azaltacak ve böylece parça ağırlığı, maksimum düzeye yükselecektir. Maksimum düzey geçilirse, bundan sonraki sıcaklık artışları viskoziteyi etkilemekten çok, çekmeyi etkileyecektir ve parça ağırlığı düşecektir [50].

3.3.4. 6. Kalıp sıcaklığı

Kalıp cidarı sıcaklığı, parça kalitesi işlemin ekonomikliği ve boyut hassasiyeti için çok daha önemlidir. Bu sıcaklık malzemenin ısısal karakteristiğinden başka soğuma zamanını da belirlemektedir. Burada kalıp cidarı yüzeyinin sıcaklığı, kalıp sıcaklığı olarak kabul edilmekte ve mevzii sıcaklık değişimleri dikkate alınmamaktadır. Cidar kalınlığı 2.5 mm den daha ince olan ince kesitli parçalarda enjeksiyon safhasında hidrolik basınçtaki belirli bir artışın erken meydana geldiğine dikkat edilmelidir. Bu durum, eriyik merkezindeki sıcak eriyiğin kalınlığının büyümesi ve kalıp cidarının soğuma etkisinden olabilir [2].

Kalıp ısı transfer sistemi termoplastik işleyen makinelerde “kalıp soğutma sistemi”, termoset işleyen makinelerde “kalıp ısıtma sistemi” ismini alır. Bu bölümde, kullanımı termosetlere oranla daha yaygın olan termoplastikler yani kalıp soğutma sistemleri üzerinde durulacaktır [29].

Soğutma tasarımı kalıbın çevrim zamanını direk etkileyen parametrelerden biridir. Bilindiği gibi çevrim zamanı uzadıkça parça birim maliyeti de o oranda artacak demektir. Parçadan, kalıptan çıkarılmaya uygun hale gelene kadar ısı çekilmelidir. Bu amaca ulaşmak için geçen zamana soğuma zamanı denir. Çekilmesi gereken ısı miktarı ergimiş malzemenin sıcaklığına, parçanın kalıptan çıkarılabileceği sıcaklığa ve plastik malzemenin özgül ısısına bağlıdır. Örneğin bir kalıp 6 saniyelik bir çevrim zamanı ile çalışıyorsa kalıba uygulanacak daha iyi bir soğutma ile bu 5 saniyeye çekilebilir. Daha iyi bir soğutma kalıbın ilk yatırım maliyetini arttırsa bile %17’lik çevrim zamanındaki bu artış kalıbın uzun süreli çalışmasında inanılması zor miktarlarda tasarruf sağlar [48].

Optimum bir soğutma çözümü için oldukça teorik olan birçok yaklaşımlar mevcuttur. Bu tür sayısal analiz yöntemleri bilgisayarlar yardımıyla üniversitelerde veya bu konuda uzman firmalarda yapılmaktadır. Bu tür çalışmaların sonucunda kalıp tasarımcıları için pratik bilgiler elde edilebilmektedir. Fakat bu teorik çalışmaları her zaman uygulamaya almak üretim şartları gereği veya ekonomik sebeplerden dolayı mümkün olmamaktadır. Eriyik haldeki plastik malzeme basınçla kalıp boşluğunun içine enjekte edilerek istenen ürün elde edilmiş olur. Ürünün kalıptan çıkabilmesi için itici sisteminin uyguladığı itme kuvvetine karşı yeterli dayanımı göstermesi ve deformasyona uğramadan kalıbı terk etmesi gerekir. Bu sebeple itme çevrimi esnasında plastiğin sıcaklığı enjeksiyon esnasındaki sıcaklığa göre daha düşük olması gerekmekle beraber oda sıcaklığında olmasına da gerek yoktur. Kalıp bir çeşit ısı değiştiricisi görevi görürken kalıba ilave edilen soğutma sistemi de bu etkiyi arttırır [48].

Bu yüzden yüksek üretim kapasiteli kalıplar için bu kayıp zamanın en aza indirilmesi bir zorunluluk olmaktadır. Bununla beraber soğutma tasarımı yaparken tasarımcının göz önünde bulundurması gereken birçok genel tasarım esasları da vardır [48].

Tablo 3.1. Çeşitli malzemelerin enjeksiyon ve kalıp sıcaklıkları [48]

Malzeme	Enjeksiyon Sıcaklığı (°C)	Kalıp Sıcaklığı (°C)
Polietilen (PE)	170-230	0-70
Polistryren (PS)	200-250	0-60
Polyamide (PA)	240-320	40-120
Acrylonitrile-stiren	230-260	50-80
Polikarbonat (PC)	280-310	85-140
Poliasetal	180-230	70-130
Polipropilen (PP)	180-280	0-80
ABS	180-240	50-120

Tablo 1.l.'de görüldüğü gibi plastik malzemelerin enjeksiyon ve kalıp sıcaklıkları oldukça geniş bir aralıkta bulunmaktadır. Bu sebeple tasarımcının ve malzeme tedarikçisinin tecrübeleriyle tavsiye ettiği en uygun sıcaklıklar seçilmelidir. Tecrübeli bir kalıp tasarımcısı kalıplanan ürüne ait plastik malzemenin fiziksel özelliklerinin ve görünüşünün soğutma sistemine bağlı olarak nasıl değişeceğini bilmelidir. Örneğin kalıplanan ürün kırılgan veya yetersiz parlaklıkta olmasının sebebi çok hızlı soğuma veya

çok düşük kalıp sıcaklığı olabilir. Çok yavaş soğumada veya kalıp yeterli soğuklukta olmaması halinde ise üründe istenmeyen kristalleşme gözlenebilir [48].

Plastik modelin homojen olarak katılaşmasını sağlamak için kalıpların belirli sıcaklık değerleri arasında tutulmaları gerekmektedir. İdeal bir soğutma sağlanabilmesi için kalıplanan malzemenin özelliklerinin ve transferi yapılacak ısı miktarının bilinmesini gerektirir. Su ile soğutmada uyulması gereken genel kurallar aşağıdaki gibi sıralanabilir [51].

1. Soğutma kanalları kalıp yüzeyine çok yakın yapılmamalıdır, Aksi halde ani sıcaklık değişimleri kalıp yüzeyinde istenmeyen ısıl gerilimlere çatlamalara ve deformasyonlara sebep olabilir.

2. Kanallar kalıp yüzeyinden fazla uzakta olmamalıdır. Bu durumda ısı transferi belirli süre içinde yeterince sağlanamaz.

3. Kanal düzenlemelerinde ve soğutma hattı giriş çıkışlarının tasarımında suyun belirli bir basınçta ve hızda dolaşımım temin edecek şekilde düzenlenmelidir.

4. Soğutma suyu debisi kalıbı belirlenen sıcaklıkta tutabilecek seviyede olmalıdır.

5. Soğutma suyunun giriş ve çıkış sıcaklıkları arasında fazla fark olmamalıdır [51].

Soğutma sıvısı olarak genellikle su kullanılır. Kullanılan suyun kireçli olması kalıbın uzun süreli çalışmasında soğutma kanallarının tıkanmasına yol açabilir. Ayrıca kanal çeperini kaplayan kireç tortusu ısı transferini olumsuz etkileyecektir. Kalıp çıkışında ısınan su kapalı bir çevrim ile soğutma kulesine veya kulelerine gönderilerek kuleler vasıtasıyla sıcaklığı düşürülür ve soğumuş olarak tekrar kalıbın soğutma kanalları girişine gönderilir. Bazı plastik malzemelerde ise ABS veya PC gibi kullanılacak soğutma suyu kalıba girmeden bir ısıtıcıdan geçirilerek sıcaklık belli bir seviyeye getirilir. Çünkü kalıbın sağlıklı çalışabilmesi için kalıbın belli bir sıcaklıkta tutulması gerekmektedir.

ABS ve PC kalıp içerisinde çok çabuk akıcılığını kaybettiği için kalıbın sıcak tutulması plastiğin akışını kolaylaştıracaktır [30].

Su ile soğutmanın uygun olmadığı veya su ile soğutmanın kalıba ve kalıplanan parçaya zarar verdiği hallerde, basınçlı havayla soğutulur. Basınçlı havayla yapılacak kalıp soğutma sisteminde basınçlı hava, kalıp içerisine açılan kanalları dolaşarak kalıptan ayrılır. Soğutma etkisi, su soğutmalı sisteme oranla daha yavaştır. Bu nedenle genellikle et kalınlığı az ve kalıp sıcaklığının çok fazla değişmesi gerekmeyen kalıplama işlemlerinde, basınçlı havalı soğutma sistemi kullanılır [48].

3.3.4.7. Sıcak yolluklu kalıplar

Plastiklerin enjeksiyon kalıplarında şekillendirilmesinde son yıllarda daha çok sıcak yolluk sistemleri kullanılmaya başlanmıştır. Önemli ölçüde enerji, malzeme ve işçilik kazançları gibi birçok avantajlar sağlayan bu sistemin giderek gereği ve önemi artmaktadır. Bununla beraber kullanımdan ve bilhassa tasarımdan kaynaklanan hatalar da sıkça karşımıza gelmektedir [52].

Sıcak yolluk sisteminde eriyik haldeki malzeme, enjeksiyon silindirinden kalıp gözüne kadar olan mesafede sıcaklık ve basınç kaybı olmadan ve hasara uğramadan iletilmektedir. Bu süre boyunda plastik malzemenin; içinde eriyik olarak kaldığı ve böylece giriş memesine kadar uzandığı plakaya manifold (dağıtıcı plaka) denir. Plastiğin manifold içinde eriyik halde kalmasının sağlanması için, manifoldun ısıtıcılar vasıtasıyla eriyik sıcaklığına kadar ısıtılması ve sürekli bu sıcaklıkta kalmasının temin edilmesi gerekmektedir. Bu ısı kontrolü de termokupoller kullanılarak sağlanır [53].

Bir termoplastik kalıbın sıcak yolluk sistemi ayrı ve ısıtılan bir manifold olarak düşünülür. 180 °C den fazla olan sıcaklığı ile termoplastik malzemenin ergime sıcaklığı aralığındadır ve bu yüzden ortalama kalıp sıcaklığından 20 ila 120 °C daha sıcaktır. Manifold içindeki yolluklar ergimiş malzemeyi makine plastik ünitesi lülesinden kavite girişlerine kadar sıcaklık kaybı olmadan taşırlar. Basit olarak sıcak yolluklar makine plastik ünitesi lülesinin kavitelere kadar olan devamı olarak göz önüne alınabilirler. Standart yollukların aksine termoplastik malzeme sıcak yolluk içinde sıvı olarak kalır. Bu

yüzden yolluğun kalıptan çıkarılmasına gerek yoktur ve bir sonraki çevrim için kullanıma hazırdır. Sıcak yolluk sistemlerindeki temel problem sıcak manifoldun kendisine göre daha soğuk olan kalıptan termal olarak yalıtılmasıdır. Sıcak yolluk sistemleri konvansiyonel yolluk sistemlerinden, hazır olarak monte edilmiş sistemlere geçişteki en önemli ve geniş aşamayı temsil etmektedir [48].

3.3.4. 8. Mengene ünitesi ve basıncı

Enjeksiyon olayının sürekli bir işlem olmaması, kalıbın ürünün çıkması için açılmasını ve sonraki baskı için tekrar kapanmasını gerektirmektedir. İşte mengene ünitesi bu işi yapar. Plastiğin çok yüksek basınçlarda kalıba enjekte edilmesi sebebiyle mengene ünitesi kalıbı enjeksiyon ve tutma basınçları safhasında sıkıca kapalı tutmalı, kalıbın açılıp çapak yapmasını önlemelidir [29].

3.3.4.9. İtici ve sıyırıcı sistemler

Plastik ürün kalıp boşluğunda soğuduktan ve kalıp açıldıktan sonra kalıptan çıkarılması gerekir. Bunun için hemen hemen her plastik enjeksiyon kalıplarında bir itici sistemi kullanılır. Sadece birkaç örnek almak için yapılmış prototip kalıplarda pahalı bir itici sistemi uygulamak yerine ürün elle kalıptan alınabilir. Aynı zamanda oldukça büyük ve hacimli, şekil olarak kompleks ürünler de elle veya robot yardımıyla kalıptan çıkarılır [54].

İtici mekanizmasının çalışması iki türlü olabilir. Bunlar otomatik itme ve yarı otomatik itme sistemleri olarak adlandırılabilir. Otomatik itme sisteminde itme olayının başlaması ve bitmesi tamamen otomatik olarak operatöre ihtiyaç duyulmaksızın olur. Genellikle kalıpların otomatik itme sistemiyle çalışılması tercih edilir. Yarı otomatik itme sisteminde ise operatörün her itme çevrimi bittikten sonra, emniyet kapısını açmak ve kalıp kapanmadan da kapamak zorundadır [54].

İtme çevriminde temel kural kalıp açıldığında ürünün itme olayının gerçekleşeceği tarafta kalmış olmasıdır. Eğer ürüne yeterli ve doğru bir şekilde çıkış açısı verilmişse ürün

istenilen tarafta kalacaktır. Hatta ürünün kalacağı tarafı garanti etmek için kalıbın uygun yerlerine ters açı (undercut) verilebilir [48].

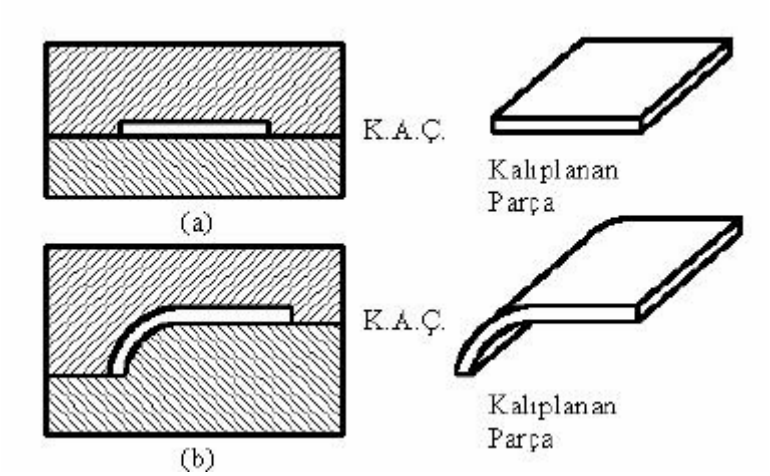
Enjeksiyon makinelerinde kilitleme mekanizmasının bulunduğu tarafta itici mekanizması da yer alır. Bu sebeple çoğu kalıpta itici sistemi enjeksiyon makinesinin kilitleme tarafına gelecek şekilde yerleştirilir. Üç plakalı kalıplarda da yolluk itici sistemi enjeksiyon tarafında yer alırken, normal iticiler ise kilitleme mekanizması tarafında yer alır [54]

Erkek kalıp plakası ile dişi kalıp plakası arasında ürünün erkek forma takılmadan serbestçe düşebilmesi için yeteri kadar açıklığın bulunması şarttır. Benzer şekilde eğer ürün elle veya robotla alınacak ise erkek ve dişi plakaların bu işlemi güçleştirmeyecek kadar birbirlerinden uzaklaşmış olmaları gerekir. Genel bir kural olarak derin ürünler için strok mesafesi S=2.5H, daha derin ve az açılı ürünlerde ise bu değer daha da büyük olabilir. (H:ürün yüksekliği veya derinliği) [54].

3.4. Kalıp Tasarımında Önemli Kavramlar

3.4.1. Kalıp Açılma Çizgisi

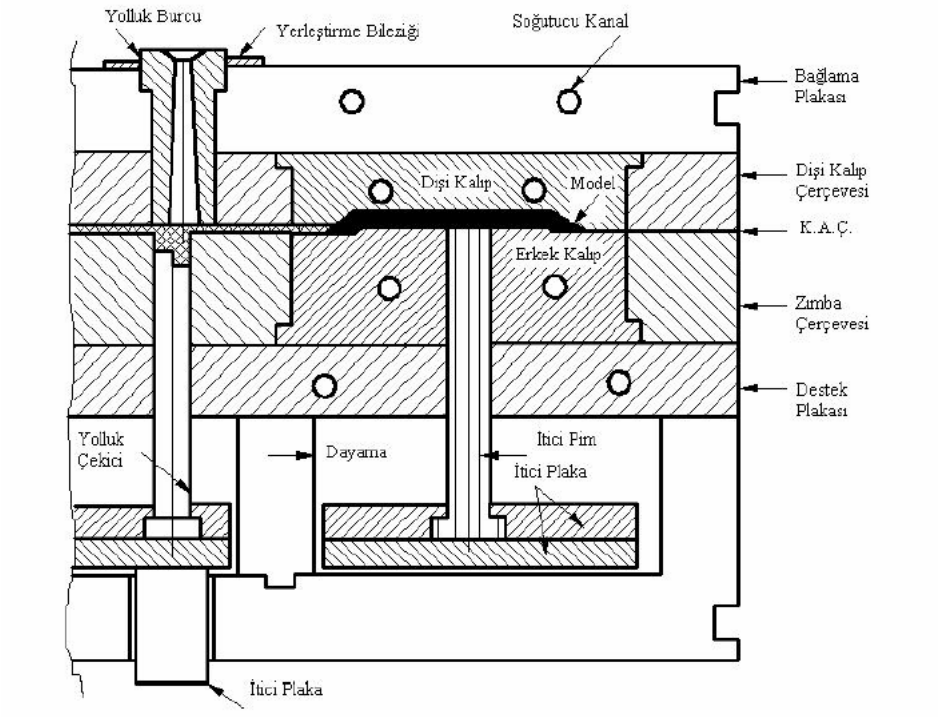
Kalıp yarımlarının açılıp kapandığı ve kalıplanan parçanın açılma düzlemi üzerinde meydana gelen çizgiye, Kalıp Açılma Çizgisi (K.A.Ç) denir [6]. Kalıplanacak parçanın biçim ve boyutlarına göre kalıbın birden fazla açılma çizgisi bulunabilir. Ayrıca kalıplanacak parçanın biçimi, üretim sayısı, parçaya verilecek eğim açısı, boyutsal toleranslar, parçanın estetik görünüşü, ön kalıplama işlemleri, parça içerisine konacak plastik taşıyıcılar, hava tahliye kanalı, parça kalınlığı, kalıplama boşluğu sayısı ve yerleşim planına göre kalıp açılma çizgisi sayısı belirlenir. Şekil 2.3 de kalıplanan parça ve kalıp açılma çizgisine örnek verilmiştir [55].



Şekil 3.3. Kalıplanan parça ve kalıp açılma çizgisi [55]

a-) Tek Açılma Çizgisi Bulunan Kalıplar

Tek açılma çizgisi bulunan kalıplar dişi ve erkek kalıp yarımlarından oluşan kalıplardır. Bu tip kalıplara uygulanacak soğutma kanalları dişi veya erkek kalıp elemanlarına açılır. Şekil 2.4. de tek açılma çizgisi bulunan kalıp gösterilmektedir [30].

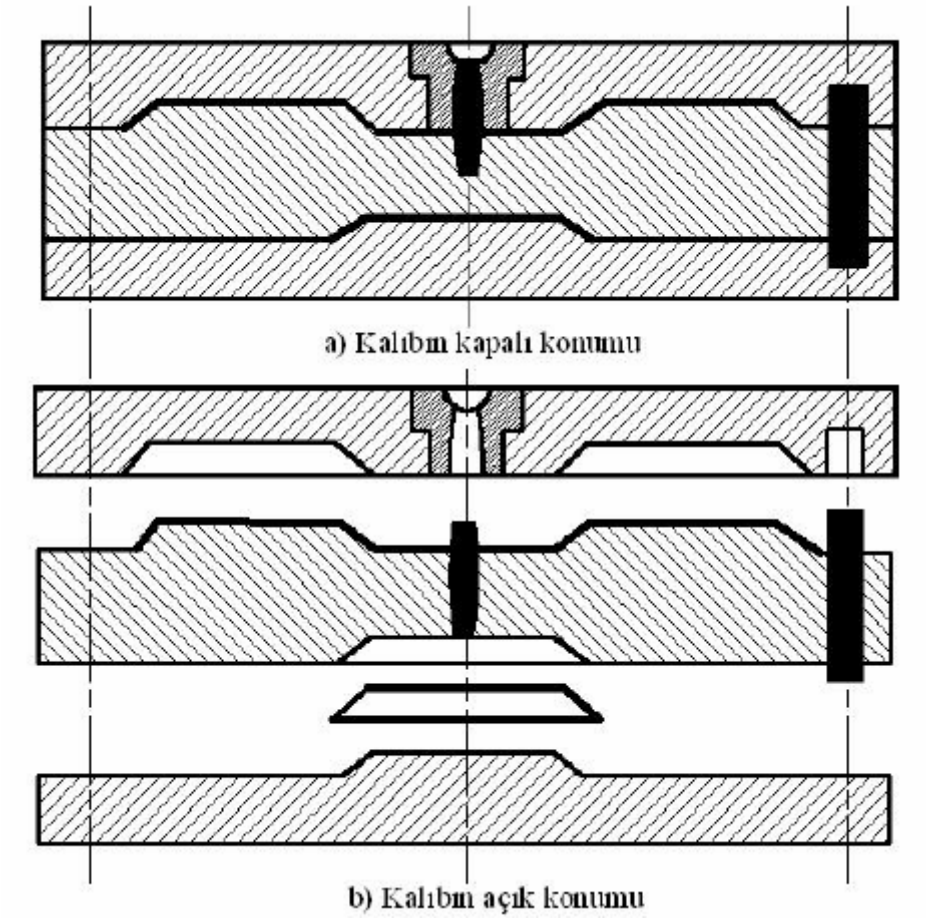


Şekil 3.4. Tek açılma çizgisi bulunan kalıp [30].

b-) İki Açılma Çizgisi Bulunan Kalıplar

Bu tip kalıplarda dişi kalıp veya erkek kalıp kütüğü çift yollu kalıplama işlemini görür ve kalıp dayanımını artırmak için esas kalıp elemanları, destek plakaları ile takviye edilir. Ayrıca kalıp içersinde ısıtıcı veya soğutucu kanallar da açılabilir.

İki açılma çizgisi bulunan kalıp ve kalıplama işlemi gösterilmektedir [30]



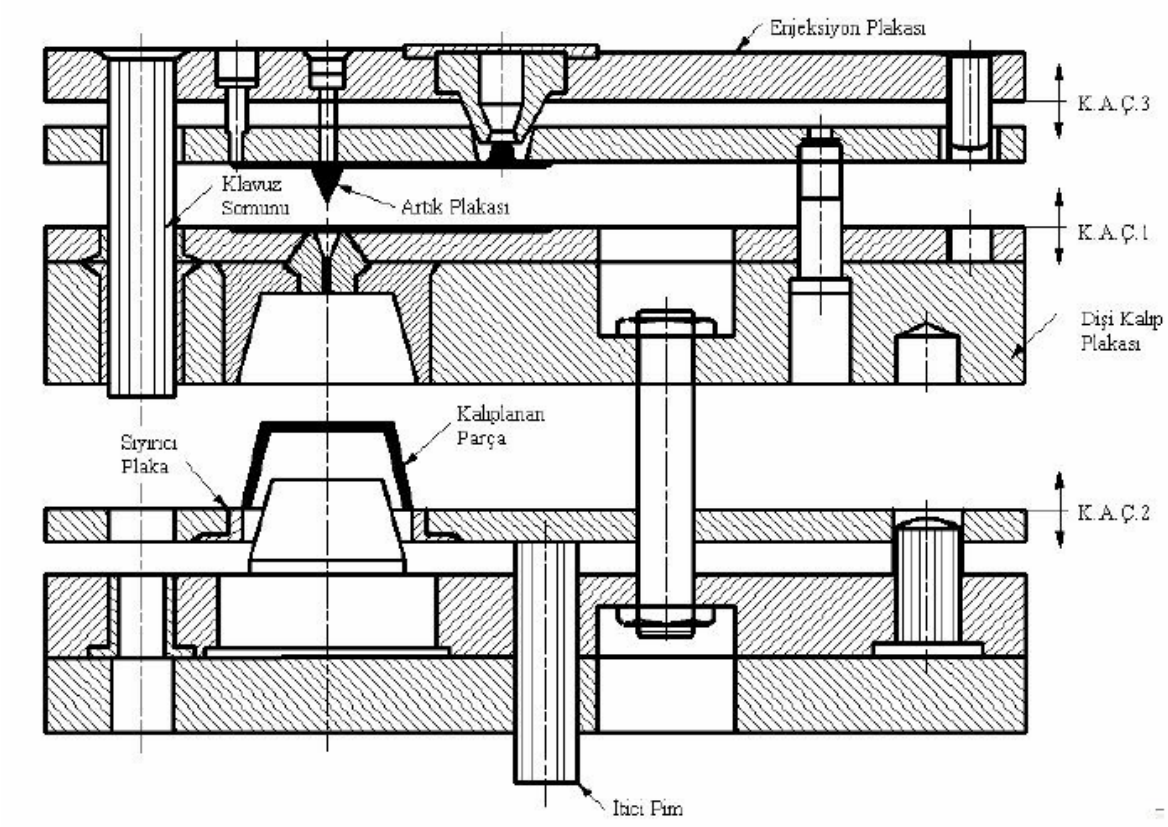
Şekil 3.5. İki açılma çizgisi bulunan kalıp [30]

c-) Üç Açılma Çizgisi Bulunan Kalıplar

Bir merkez çerçevesinde çoklu kalıplama boşluğu bulunan kalıpların genellikle üç açılma çizgisi bulunur. Çoklu veya değişik profilli parçaların aynı kalıp kullanılarak üretilmesinde üç açılma çizgisi yapılması zorunludur. Aksi halde parçanın kalıptan

çıkartılması veya artık plastik maddenin alınması zorlaşır ve kalıplama işlemi tam olarak yapılamayabilir. [30]

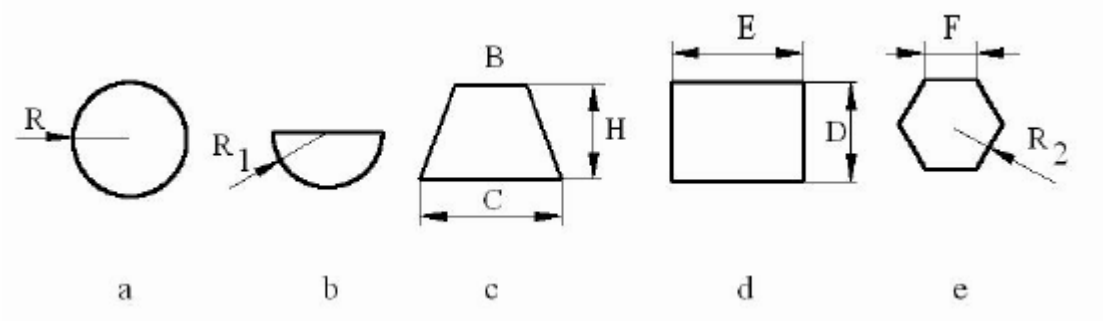
Şekil 3.6 'da üç adet kalıp açılma çizgisi bulunan ve her kalıplamada altı parça üretilen kalıp gösterilmektedir. [30]



3.4.2. Dağıtıcı Kanallar

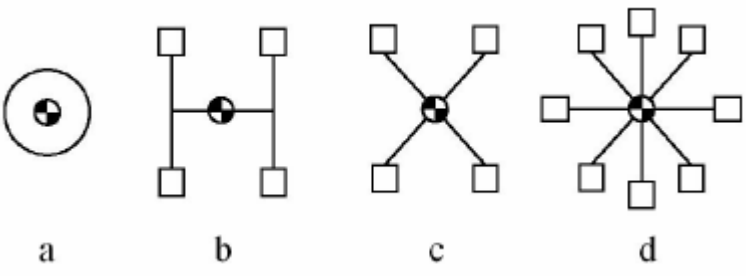
Dağıtıcı kanallar, yolluk ve giriş kanalı arasındaki bağlantı kanalıdır. Dağıtıcı kanalların biçim ve boyutları, kalıp tasarımının en önemli kısımlardan biridir. Bu kanallar enjeksiyon basınç kaybını en aza indirecek ve plastik maddenin akışını hızlandıracak boyutlarda olmalıdır. Plastik kalıp imalatında genel olarak açılma çizgisi üzerindeki dağıtıcı kanal tipleri; yuvarlak, yarım-yuvarlak, trapez ve dikdörtgen kesitli biçimlerdedir. [56]

Şekil 3.7'de farklı dağıtıcı kanal kesitleri gösterilmektedir. Yuvarlak kesitli dağıtıcılar basınç ve sıcaklık kaybını önleyen en iyi yolluk giriş bağlantı kanalıdır.



Dağıtıcı kanal kesitleri, a. Daire, b. Yarım daire, c. Trapez, d. Dikdörtgen, e. Altıgen.

Plastik maddenin akacağı uzaklık eşit ise dairesel veya "H" tipi dağıtıcı kanal sistemini tercih edilebilir. "H" tipi uygulamalarında bazen plastik madde giriş kanalı yakınlarında donabilir. Bu durunda dengelenmiş dağıtıcı kanal tipi veya dağıtıcı kanal civarlarına ısıtıcı sistem yerleştirilmiş "H" tipi tercih edilir. Şekil 2.8'de çoklu kalıplama boşluğu bulunan kalıplarda dağıtıcı kanal tipleri gösterilmektedir. Dağıtıcı kanal ölçüleri, kalıplanacak plastik maddenin cinsi veya parça boyutlarına bağlıdır [56].



Şekil 3.8: Çoklu kalıplama boşluğu bulunan kalıplarda dağıtıcı kanal tip örnekleri.

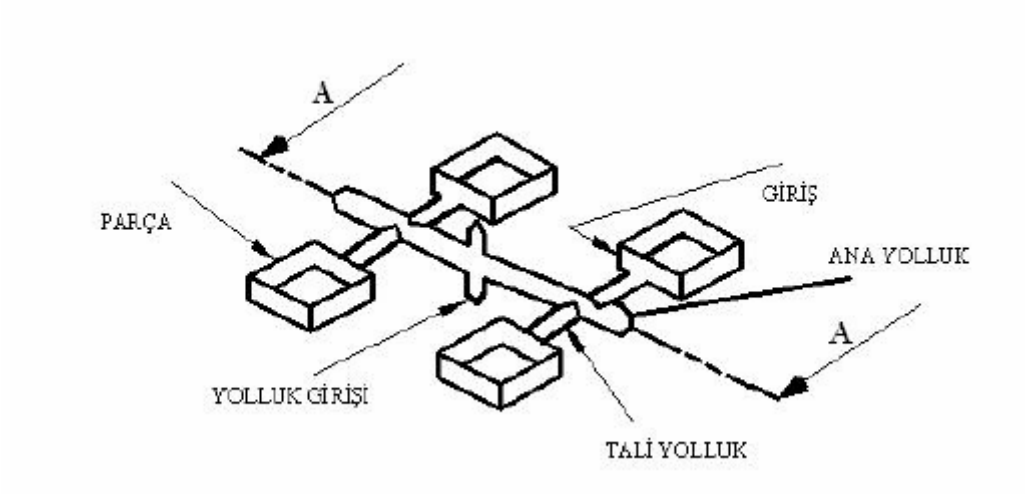
$D_{max} = S_{max} + 1.5$ mm. [2.1]

D_{max}: Dağıtıcı kanal çapı(mm),

S_{max}: Kalıplanacak parçanın et kalınlığı(mm).

$d_{max} = D_{max}/2$ (Kavite giriş çapı)

Şekil 3.9'da bir yolluk sistemini oluşturan elemanlar gösterilmiştir. Bu elemanlar yolluk girişi, birincil (ana) ve ikincil (tali) yolluklar ve parça girişi dir. Yolluğun boyutları parça büyüklüğüne, kalıbın tasarımına ve kalıplanan plastik malzemenin cinsine bağlıdır [56].

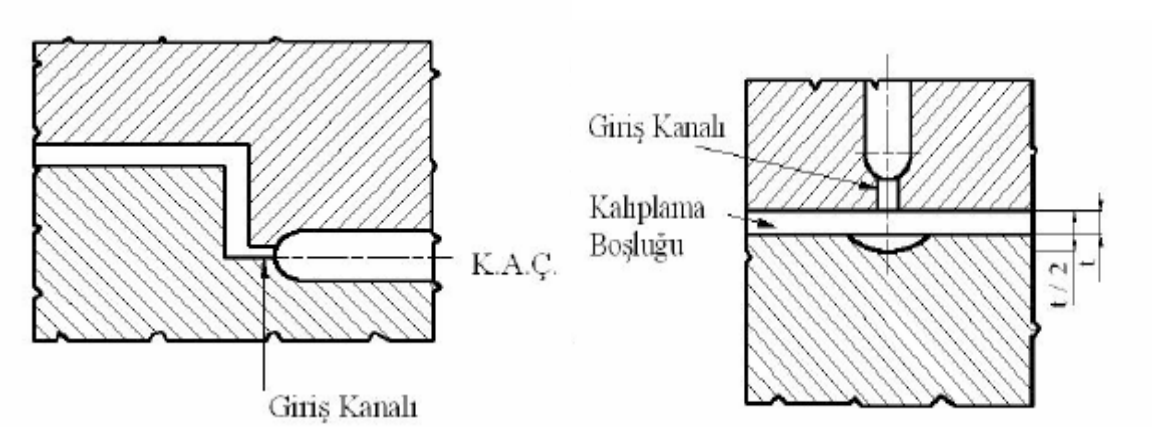


Şekil 3.9:Yolluk sistemi elemanları [56]

a-) Giriş Kanalları

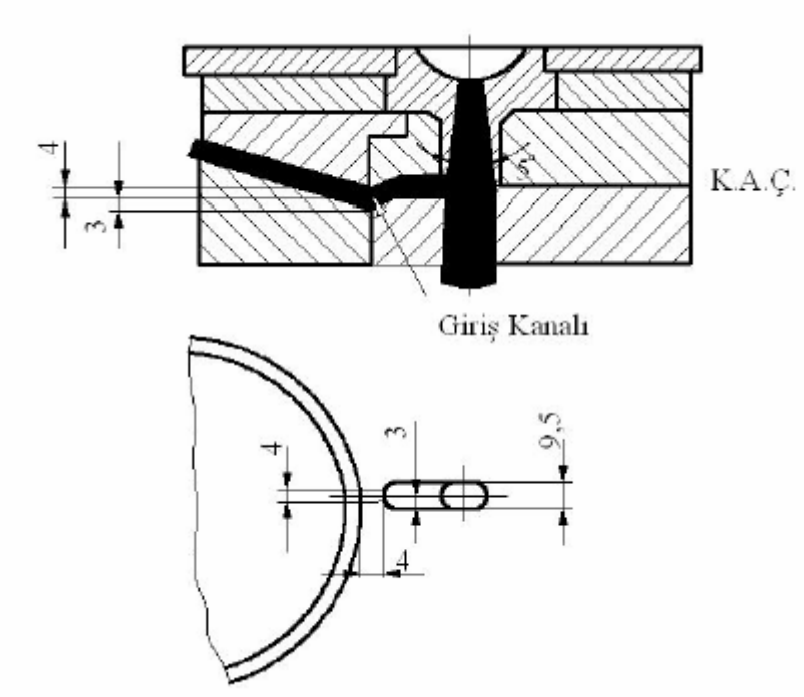
Dağıtıcı kanal ile kalıplama boşluğunu birbirine bağlayan belli biçim ve boyutlardaki kanallara, giriş kanalı denir. Giriş kanalları, yeterli miktardaki plastik maddenin kalıplama boşluğuna girmesini ve kalıbı doldurmasını sağlar. Ayrıca kalıplanan parçanın çekme payını bir miktar önler. Giriş kanallarının boyutları, tipi ve yerleşim planı kalıplanan parçaya etki ederek fiziksel özelliklerini değiştirir. Bu nedenle giriş kanalı boyutları, kalıplanacak plastik maddenin cinsine, kalıplama hacmine dağıtıcı kanal boyutlarına ve enjeksiyon basıncına göre seçilir. Giriş kanalları doğrudan giriş kanalı ve sınırlandırılmış giriş kanalı olmak üzere ikiye ayrılır.

Şekil 3.10 a, ve Şekil 3.10 b'de kenar ve merkezden giriş kanallarına örnek verilmiştir. Şekil 3.11 de doğrudan kenar giriş kanalına örnek verilmiştir [57].



a)Kenardan giriş kanalı b) Merkezden giriş kanalı

Doğrudan giriş kanalları genellikle kesit alanı büyük olan kanallarıdır. Bu tip giriş kanalları termoplastiklerin kalıplanmasında kullanılmaktadır [56].



Şekil 3.11 Doğrudan Giriş Kanalı

3.4.3. Kalıbın Soğutulması

Enjeksiyonla kalıplamada temel prensip, sıcak plastiği kalıp içerisine basınçla gönderip eriyiğin kalıp boşluğunun şeklini alarak bu şekilde kalacak kadar soğuyup sertleşmesini beklemektir. Kalıp sıcaklığı, baskı süresini belirleyeceğinden önemlidir.
Sıcak kalıpta ergimiş plastik, kolayca akmasına rağmen, baskının soğuyup kalıptan dışarı atılabileceği sıcaklığa düşme süresi uzun olmaktadır. Soğuk kalıpta ergimiş plastiğin soğuması çabuk olur, bazı durumlarda kalıbı doldurmadan soğuyup katılaşır.
Bu iki durum, en uygun baskı suresini elde etmede alt ve üst sınırları belirlemeye yardımcı olmaktadır [58].

Kalıbın dolması esnasında en sıcak ergimiş plastik kalıp girişinde ve en soğuk ergimiş plastik yolluk girişinden en uzak noktadadır. Soğutma suyunun sıcaklığı, bu kanallardan geçtikçe artar, bundan dolayı baskıda eşit soğuma sağlamak için, kalıbın sıcak bölgelerine soğuk sıvı ve parçanın soğuk kısımlarına sıcak (ısınan) sıvı girişi sağlanmalıdır.

Kalıpta su sirkülasyonunu sağlamak için gerekli üniteler ticari olarak hazır bulunmaktadır. Bu soğutma üniteleri kalıba esnek hortumlarla bağlanmaktadır. Bu ünitelerle kalıp sıcaklığı dar sınırlar içinde korunmaktadır. Soğutma suyunu doğrudan şehir şebekesinden almak, iyi sıcaklık kontrolü sağlamaktadır [32].

Soğutma kanalının diğer işlevsel bölgelere emniyetli olarak ne kadar yakın açılacağı delinecek soğutma kanalının uzunluğuna büyük ölçüde bağlıdır. Genellikle 150 mm çapta ve daha büyük ölçüde delik delme işleminde uygulanacak kural, soğutma kanalının herhangi bir deliğe 3mm'den yakın olmamasıdır. Bu gibi durumlarda soğutma kanalları için uygulanacak mesafe en az 5mm'dir [32].

Plastik modelin homojen olarak katılaşmasını sağlamak için kalıpların belirli sıcaklık değerleri arasında tutulmaları gerekmektedir. İdeal bir soğutma sağlanabilmesi için kalıplanan malzemenin özelliklerinin ve transferi yapılacak ısı miktarının bilinmesini gerektirir. Su ile soğutmada uyulması gereken genel kurallar aşağıdaki gibi sıralanabilir[51].

1. Soğutma kanalları kalıp yüzeyine çok yakın yapılmamalıdır, Aksi halde ani sıcaklık değişimleri kalıp yüzeyinde istenmeyen ısıl gerilimlere çatlamalara ve deformasyonlara sebep olabilir.

2. Kanallar kalıp yüzeyinden fazla uzakta olmamalıdır. Bu durumda ısı transferi belirli süre içinde yeterince sağlanamaz.

3. Kanal düzenlemelerinde ve soğutma hattı giriş çıkışlarının tasarımında suyun belirli bir basınçta ve hızda dolaşımım temin edecek şekilde düzenlenmelidir.

4. Soğutma suyu debisi kalıbı belirlenen sıcaklıkta tutabilecek seviyede olmalıdır.

5. Soğutma suyunun giriş ve çıkış sıcaklıkları arasında fazla fark olmamalıdır [51].

3.4.3.1.Soğutma Hatlarının Pratik Tasarımları

a-Dairesel Kesitli Maça ve Parçalar için Isı Değiştirme Sistemleri

Gerekli olan ısı akışını ihtiyaçlara göre uyarlamak ve kalıbın tüm kısımlarında bunu esas almak, özellikle kalıbın kritik kısımlarında dikkate değer zorluklara neden olmaktadır. Örneğin; ince silindirik tipte bir maçayı elde etmek zor olmaktadır. Bu tip maçalar soğutma süresinin artmasına yol açmaktadır. Soğutma sadece kalıp tabanından maça çevresi boyunca olur. Enjeksiyon işlemi ve kalıp açılması arasındaki süreçte ortaya çıkan ikincil zamanın ve bunun sonucu olarak maça soğutma süresindeki azalmanın olumsuzluğunu gidermek için ayrı bir soğutma düzeni uygulanması gerekmektedir. Kalıp sıcaklığı, maça sıcaklığı ile aynı olmalıdır. Eğer maça tabanındaki soğutma daha güçlü olursa, o zaman maça ucundan tabana doğru arzu edilmeyen bir sıcaklık dağılımı oluşur. Maça cidarları ile soğutucu akışkan arasındaki sıcaklık farkının yüksek olması, dinamik özelliklerde zayıflığa sebep olur ki bu durum başlangıçta çok önemlidir. Bunun anlamı, kalıp sıcaklık seviyelerinin sabit bir değere varması için uzun zaman gereksinimidir [59].

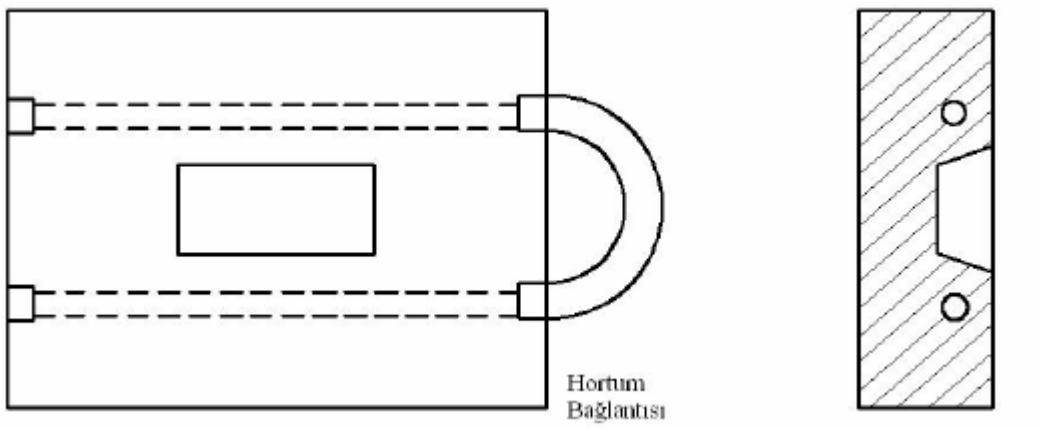
Yukarıda bahsedilen bu çevrim zaman artışı sebebiyle soğutulamayan maça sorunu olarak üretim kalitesine etki etmektedir. Bu sorun özellikle kare ve dikdörtgen kesitli maçalarda sıklıkla görülmektedir. Bu gibi durumlarda derin çentiklerden ve çarpık kenarlardan mümkün olduğunca kaçınılmalıdır. Elbette ki maçaların soğutulmasını sağlamak mümkündür. [59].

Silindirik maçaların en verimli soğutulması dalgıç tip soğutma kullanımı ile elde edilebilmektedir. İçeri sokulan bir dalgıç buru hattı vasıtasıyla, maçanın en uç noktasına kadar soğutma mümkün olmaktadır. Hem maçanın hem de dalgıcın çapı, her iki kısımdaki akış direnci aynı olacak şekilde ayarlanmalıdır. Bunun şartı, iç çap/dış çap=0,5 olmalıdır [60].

b-Maça soğutma teknikleri

Düz Plakaların Soğutma Sistemi

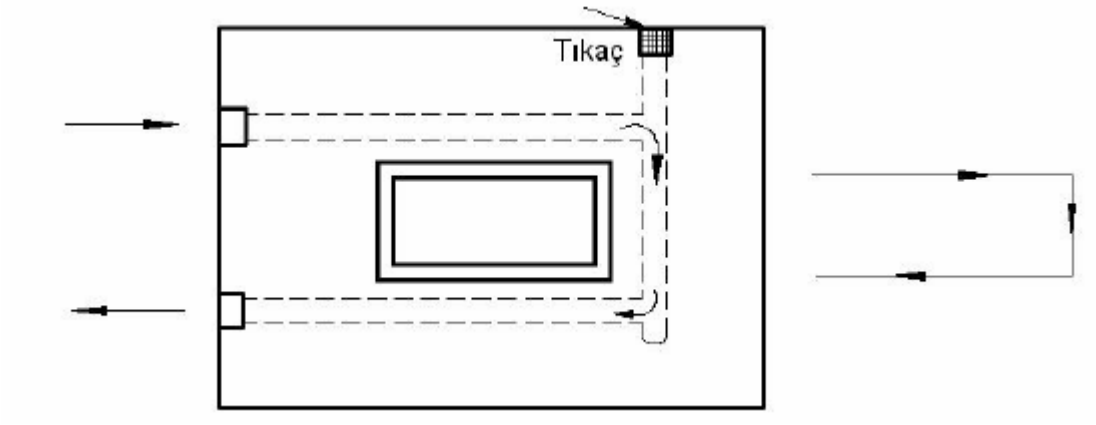
Kalıp plakası ufak ve sığ bir kalıp boşluğuna sahipse, bu kalıp için en basit yaklaşım iki tane su kanalı kalıp boşluğunun her iki tarafına açılır ve bunlar esnek hortumla birbirine bağlanır, akma kanalının sonuna adaptör takılır. Yukarıda anlatılan su devresi Şekil 3.13. da gösterilmektedir [60].



Şekil 3.13. Tek parçalı dişi kalıp soğutması

Dışardan yapılan esnek hortumlu su kanalı bağlantısı, kalıp içine kanal delinerek dahili olarak da yapılabilir.

U şeklinde tasarlanan su devresinden, dar ve uzun kalıp boşluklarının soğutulmasında faydalanılmaktadır.



Şekil 3.14 Tek parçalı dişi kalıp soğutması devresi

c-Kalıplanan Malzemelerdeki Çekme Olayı

Eğer plastikler enjeksiyon yöntemiyle işleniyorsa, üretilen parçanın boyutları kavite boyutlarından farklı olur. Nominal boyutlardaki bu farklılık çekme olarak özetlenir [56] .Enjeksiyon kalıplama tekniğinde çekme kavite boyutları referans alındığında, kavite boyutlarıyla parça boyutları arasındaki üç boyutlu farktır. Bu fark aşağıdaki eşitlikle ifade edilir.

$\% Sç = (I_C - I_M / I_C). 100$

Burada;

Sç: Çekme miktarı %,
Ic: Kavite boyutu,
IM: Parça boyutudur.

Çekmeyi tam olarak tanımlamak için bu ifade tek başına yeterli değildir. Enjeksiyon sonrası parçada meydana gelen çekme, normal ortam şartlarından 16 saat sonra ölçülür. Bu durumda kavite boyutları 23 ± 2 °C sıcaklık için belirlenir. Eğer parça uzun süre stokta bekletilirse sıcaklık ve ortam değişikliklerinden dolayı parça boyutları değişebilir. Bu değişiklik kalıntı gerilmelerin boşalmasından, kristal malzemelerin yeniden kristalizasyonundan dolayı meydana gelir. Kristal malzemeler hariç bu ikincil çekme

ihmal edilebilecek kadar küçüktür. Proses çekmesi ve ikincil çekmenin toplamına toplam çekme adı verilir.

Ayrıca parçadaki malzeme akış yönüne de bağlıdır. Radyal çekme akış doğrultusundaki çekme, teğetsel çekme de akışa dik doğrultudaki çekmedir. Proses çekmesindeki fark radyal ve teğetsel çekmeler arasındaki farktır ve çekme anizotropisinin ölçüsüdür [56] Yukarıdaki ifadedeki boyutlar parça ve kavite hacmi ile değiştirilecek olursa aşağıdaki ifade ile verilen hacimsel çekme elde edilir [56].

SV= VC - VM / Vc

Aşağıdaki tabloda (Tablo 3.2) bazı termoplastiklerin boyutsal çekme değerleri verilmiştir [56].

Malzeme	% Çekme	Malzeme	% Çekme
Naylon 6	1-1.5	Polikarbonat	0.8
Naylon 6-GR	0.5	Polioksimetilen	2
Naylon 6/6	1-2	Poli Vinil Klorür (katı)	0.5-0.7
Naylon 6/6-GR	0.5	Poli Vinil Klorür (yumuşak)	1-3
Polietilen LD	1.5-3	ABS	0.4-0.6
Polietilen HD	2-3	Polipropilen	1.2-2
Polisitiren	0.5-0.7	Selüloz asetat	0.5
Sitren Akrilonitril	0.4-0.6	Selüloz asetat bütrat	0.5
Polimetil metaakrilat	0.3-0.6	Selüloz propiyonat	0.5

3.5.Plastik Enjeksiyon Parça Hataları Ve Çözümleri

Bir problemi çözerken probleme doğru yaklaşılmalıdır. Üretilen parça istenildiği gibi değilse problem;

- Malzeme
- Kalıp
- Proses çalışma şartları
- Makine dörtlüsünden birine ya da birkaçına birden müdahale edilerek çözülür. [29]

Temel olarak, bir parçada problem;

• Proses öncesinde (malzeme tedariki ve depolama)
• Proses sırasında (çevrim sırasındaki çalışma şartları)
• Veya proses sonrasında (parçalara son işlem uygulanması, paketlenme, taşınma) meydana gelir. Proses öncesinde ya da sonrasında meydana gelen problemler genelde "malzeme kirlenmesi, renklendirme, tozlanma, nem alma" gibi sebeplerden kaynaklanmaktadır. Bu tür problemlerin çözümleri genelde açık ve kolaydır. Ama proses sırasında meydana gelen problemler daha karışık ve dikkat isterler. [29]

Bu problemler de;
• Makineden
• Kalıptan
• Çalışma şartlarından (zaman -sıcaklık-basınç)
• Malzemeden
• Ürün tasarımından kaynaklanırlar. [29]

Proses sırasında oluşan problemlerde, plastik malzemeye çalışma parametrelerinin ne tür etkilerde bulunduğu araştırılmalıdır. Bu parametreler;

• Enjeksiyon zamanı
• Tutma basınçları değerleri ve zamanı
• Soğutma zamanı
• İtme (parçayı kalıptan çıkarma) zamanı
• Mengene bekleme zamanı
• Kalıp sıcaklığı
• Yolluk tasarımı
• Yolluk geçidi ve büyüklüğü
• Parça et kalınlığı
• Akış yolu uzunluğudur. [29]

Çevrim sırasında oluşan problemler ana olarak üç faktöre bağlıdır. Bunlar:

Enjeksiyon makinesi: Kapama kuvveti yeterli mi? Baskı kapasitesi yeterli mi? vs.

Kalıp: Kalıp doğru tasarlanmış mı? Kendinden istenen fonksiyonları yerine getirebiliyor mu? vs.

Malzeme: Üretilen parça için doğru malzeme mi seçildi? Gerekli çalışma şartlarında istenildiği verimi verebiliyor mu? vs,

Enjeksiyon makinesinin, kalıbın ve malzemenin performansları, yani verimli bir şekilde çalışabilmesi de üç ana değişkene bağlıdır. Bu değişkenler "zaman, basınç ve sıcaklıktır. Enjeksiyon prosesi sırasında meydana gelebilecek problemlerin birçoğu bu üç değişkenin doğru şekilde ayarlanması ile giderilebilmektedir. Bu arada bu üç değişkenin birbiriyle bağlantılı olduğu unutulmamalı ve ayarlar buna göre yapılmalıdır. [29]

1-Yolluk girişi çevresinde mat bölgeler

Hata Nedeni: Yolluk girişi çevresinde malzeme akış problemi olabilir. [28]

a-)Enjeksiyon makinesinden kaynaklanabilecek muhtemel olasılık ve çözümleri

Erime hızı çok yüksek: Değişken enjeksiyon hız profili kullanılır. Yavaş-Daha Hızlı-Hızlı
Erime sıcaklığı çok düşük: Silindir sıcaklığı artırılır, vida hızı artırılır.
Kalıp sıcaklığı çok düşük: Kalıp sıcaklığı artırılır. [28]

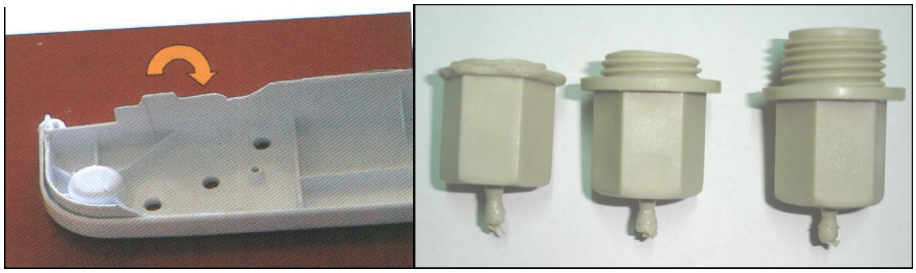
Şekil 3.15: Yolluk girişi çevresinde mat bölgeler [61]

2-Tam doldurulamamış parçalar (Eksik Ürün):

a-)Hata Nedeni: Basınç kalıbı tam doldurmak için yetersiz, malzeme kalıp dolmadan önce katılaşıyor olması. [28]

b-)Enjeksiyon makinesinden kaynaklanabilecek muhtemel olasılık ve çözümleri:

Enjeksiyon basıncı çok düşük: Enjeksiyon basıncı artırılır.
Enjeksiyon hızı çok düşük: Enjeksiyon hızı artırılır.
Geri basınç çok düşük: Geri basınç artırılır.
Tutma basıncına çok erken geçilmiş: Tutma basıncına daha sonra geçilir.
Erime sıcaklığı çok düşük: Ocak sıcaklığı artırılır, vida geri basıncı artırılır.
Tutma süresi çok düşük: Tutma basıncına daha sonra geçilir.
Kalıp sıcaklığı çok düşük: Kalıp sıcaklığı artırılır.
Yüzük – torpil takımını temizleyiniz [28].



Şekil 3.16: Eksik Ürün [61]

3-Gaz kabarcıkları

a-)Hata Nedeni: Gaz kabarcıkları plastikleştirme sırasında oluşur. [28]

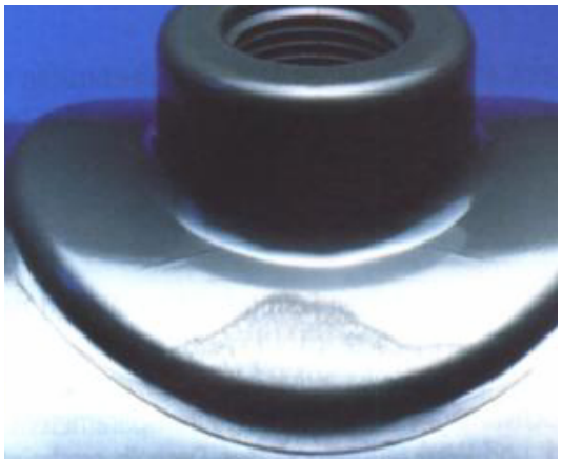
Şekil 3.17: Gaz kabarcıkları [61]

b-Enjeksiyon makinesinden kaynaklanabilecek muhtemel olasılık ve çözümleri:

Eriyik sıcaklığı çok fazla: Ocak sıcaklığı düşürülür, geri basınç düşürülür.
Vida devir hızı düşürülür.
Eriyik ocak içinde çok fazla kalmış: Daha küçük çaplı vida kullanılır.
Uygun olmayan vida geometrisi: Daha düşük sıkıştırma oranlı vida kullanılır. [28]

4-Köşelerden sonra mat bölgeler

Hata Nedeni: Kalıp boşluğunda malzeme akış problemi olabilir.



Şekil 3.18: Mat bölgeler [61]

a-Enjeksiyon makinesinden kaynaklanabilecek muhtemel olasılık ve çözümleri:
Erime ön hızı: Değişken enjeksiyon hız profili kullanılır.
Erime sıcaklığı çok düşük: Silindir sıcaklığı artırılır, vida hızı artırılır.
Kalıp sıcaklığı çok düşük: Kalıp sıcaklığı artırılır [28].

b-Kalıptan kaynaklanabilecek muhtemel olasılık ve çözümleri:

Yolluk girişinden parçaya çok keskin geçim: Yolluk giriş ve parça arasında küçük yarıçaplı geçim sağlanır.
Yolluk giriş çapı çok küçük: Yolluk giriş çapı artırılır.
Yanlış yolluk giriş pozisyonu: Yolluk girişi parçanın herhangi başka bir yerine taşınır [28].

5-Boşluklar / kabarcıklar: Dairesel veya elips şeklinde, parçanın içinde veya tek tarafında boşluk veya kabarcıklardır [28].

a-Hata Nedeni: Tam olarak erimeyen granüllerin ya da enjeksiyon işlemi sırasında içeride kalan hava, Hammadde miktarı mesafesinin vida çapının 3 katını geçmesi,
Vida diş derinliği fazla, Geri basınç düşük, Eriyik sıcaklığı düşük, Vida devir sayısı yüksektir [28].

Şekil 3.19: Parça üzerindeki boşluk hataları [61]

b-Enjeksiyon makinesinden kaynaklanabilecek muhtemel olasılık ve çözümleri:

Ocak sıcaklığını arttırınız, Tutma basıncını ve zamanını arttırınız,
Meme sıcaklığını arttırınız, Enjeksiyon hızını azaltınız,

Geri basıncını arttırınız, Kalıp sıcaklığını arttırınız,
Yolluk geçitlerini büyütünüz, Kuru malzeme kullanınız,
Vida devir sayısını azaltınız, Uygun vida tasarımı olan makine kullanınız[28]

6-Parçada siyah - gri duman izleri

a-Hata Nedeni: Plastikleştirme sırasında sıkışarak yanan hava; vidadaki ergitme sırasında hava besleme bölgesi yönüne kaçabilmektedir. Malzemenin çok hızlı ergitilmesi durumunda hava kaçamamakta, sıkışan hava siyah veya gri duman izlerine neden olmaktadır [28].

Şekil 3.20: Parçada siyah - gri duman izleri [61]

b-Enjeksiyon makinesinden kaynaklanabilecek muhtemel olasılık ve çözümleri:

Geri basınç çok düşük: Geri basınç artırılır.
Besleme tarafındaki ocak sıcaklığı çok fazla: Besleme tarafındaki ocak sıcaklığı düşürülür.
Vida devri çok yüksek: Vida devri düşürülür.
Plastikleştirme ünitesinde yabancı madde var: Plastikleştirme ünitesi temizlenir.
Uygun olmayan vida geometrisi: Daha uzun ve daha büyük vida derinlikli besleme ünitesi olan vida kullanılır.
Plastikleştirme ünitesinde aşınma var: Plastikleştirme ünitesi veya parçaları değiştirilir. Aşınma ve pas dayanımlı bir plastikleştirme ünitesi kullanılır.
Hava tahliye kanalı açınız ya da ölçülerini büyütünüz.
Meme deliğini büyütünüz.
Yolluk sisteminin ölçülerini arttırınız [28].

7-Akış izleri:

a-Hata Nedeni: Plastiğin yolluk girişinden akış hızının çok yüksek olması [28].

Şekil 3.21:Akış İzleri [61]

b-Enjeksiyon makinesinden kaynaklanabilecek muhtemel olasılık ve çözümleri:

Enjeksiyon hızı çok Fazla Enjeksiyon hızı düşürülür
Sabit enjeksiyon hızı Yavaş-hızlı değişken enjeksiyon hız profili kullanılır.
Eriyik sıcaklığı çok düşük: Ocak sıcaklığı yükseltilir, geri basınç artırılır.
Kalıp sıcaklığı çok düşük: Yolluk girişi bölgesinde kalıp sıcaklığı yükseltilir.
Yolluk girişi ile parça arasındaki geçişte keskin kenar olmamalıdır. Geçiş yuvarlatılmalıdır.
Yolluk girişi çok küçük Yolluk girişi büyütülür.
Yolluk girişi parça kesitinin tam ortasında: Yolluk yeri değiştirilir. Parça bir dirence karşı doldurulur (örnek: karşı duvara çarptırılır) [28].

8-Çapak: Plastik hammaddenin kalıp boşluğundan taşan kısmıdır [28].

a-Hata Nedeni: Malzemenin uyguladığı basınç kuvveti tezgâh kapama kuvvetini aşarak kalıbın açılmasına neden oluyor. Kalıp bağlantısı hatalı. Kalıpta aşınmalar var. Makine kolonlarında esneme var [28].

b-Enjeksiyon makinesinden kaynaklanabilecek muhtemel olasılık ve çözümleri

Kapama kuvveti çok düşük: Kapama kuvvetini artırılır.
Geri basınç çok fazla: Geri basıncı düşürülür.
Enjeksiyon hızı çok yüksek: Enjeksiyon hızını düşür. Değişken hız profili kullanılır.

Tutma basıncına geç geçiliyor: Tutma basıncına daha erken geçilir.
Eriyik sıcaklığı çok fazla: Ocak sıcaklığını düşürülür.
Kalıp sıcaklığı çok fazla: Kalıp sıcaklığını düşürülür [28].

c-Kalıptan kaynaklanabilecek muhtemel olasılık ve çözümleri:

Kalıp boyutsal olarak stabil değil: Daha rijit kalıp tasarımı yapılmalıdır.
Kalıp ayrılma yüzeyinde kalıp alıştırması uygun değil, kalıp yüzeyleri öpüşmüyor:
Kalıp imalatı iyileştirilmelidir.
Kalıp ayrılma yüzeyinde aşınma var: Kalıp ayrılma yüzeyi alıştırılması tekrar yapılmalıdır[28].

Şekil 3.22: Çapak [42]

9-İtici izleri: Parçanın yüzeyinde iticinin şekli açık şekilde görülür. [28]

a-Hata Nedeni: İtici parçaya batacak kadar yüksek basınç kuvveti uyguluyor. Kalıp sıcaklığı itici bölgelerinde yüksek, Soğuma süresi kısa, Kalıp tasarımı rijit değil, Kalıp eğim açısı az, Maçalar sıkı, Kalıp parlaklığı yetersiz, İtici çapı ya da boyutu küçük, İtici yeri doğru değildir. [28]

Şekil 3.23:İtici İzleri [61]

b-Enjeksiyon makinesinden kaynaklanabilecek muhtemel olasılık ve çözümleri

Tutma basıncını azaltınız.

Enjeksiyon hızını azaltınız.

Tutma basıncını erken başlatınız.

Soğuma zamanını arttırınız.

Kalıbı parça çıkma yönünde parlatınız.

Eğim açılarını arttırınız.

İtici boyutunu büyütünüz.

İtici yerlerini ayarlayınız.

Maça boyutunu küçültünüz.

İtici hızını ve basıncını azaltınız. [28]

10-Çarpılma: Parça üzerinde oluşan gerilmeler sonucu ölçü tamlığının sağlanamaması [28].

a-Hata Nedeni: Parça dizaynı hatalı, İç gerilmeler, Farklı kesitlerdeki, farklı çekmeler, Harici yüklenmeler, Kalıp soğutmasının uygun olmaması [28].

Şekil 3.24: Çarpılmaya uğramış parça [61]

b-Enjeksiyon makinesinden kaynaklanabilecek muhtemel olasılık ve çözümleri:

Parçadaki basınç çok fazla: Geri basınç düşürülür, geri basınca daha erken geçilir.

Kalıp sıcaklığı çok düşük: Kalıp sıcaklığı yükseltilir.

Akış cephesi hızı çok düşük: Enjeksiyon hızı yükseltilir.

Eriyik sıcaklığı çok düşük: Ocak sıcaklığı yükseltilir, geri basınç yükseltilir.
Kalıp sıcaklığı homojen değil: Soğutma homojen hale getirilmelidir.
Et kalınlığı farklılıkları: Parça geometrisi kaynaklı etkenler minimize edilmelidir.
Cam elyaf yönlenmesi uygun değil: Parça ve yolluk tasarımı ile uygun elyaf yönlenmesi elde edilir [28].

11-Çöküntü izleri: Parça yüzeyinde oluşan çukurluklardır [28].

a-Hata Nedeni: Parçaya yeterli ütüleme uygulanamıyor [28].

Şekil 3.25:Parça üzerindeki çöküntü izleri[61]

b-Enjeksiyon makinesinden kaynaklanabilecek muhtemel olasılık ve çözümleri :
Geri basınç çok düşük Geri basınç artırılır.
Geri basınç süresi çok kısa Geri basınç süresi artırılır.
Kalıp sıcaklığı çok fazla Kalıp sıcaklığı düşürülür.
Eriyik sıcaklığı çok fazla Eriyik sıcaklığı düşürülür, ocak sıcaklığı düşürülür [28].

c-Kalıptan kaynaklanabilecek muhtemel olasılık ve çözümleri:

Yolluk girişi kesiti çok dar: Yolluk girişi büyütülür.
Basınç düşüşü çok fazla Yolluk yeri veya sayısını artırarak akış uzunluğu düşürülür.
Yolluk burcu çapı çok dar: Yolluk burcu çapını düşürülür.
Yolluk girişi ince kesit üzerinde: Yolluk girişi en kalın kesit üzerine alınmalıdır.
Feder kalınlığı/taban et kalınlığı oranı hatalı tasarlanmış: Parça tasarımı düzeltilmelidir[28].

12-Yolluk girişi uzağında Diesel etkisi

a-Hata Nedeni: Akış hattı sonunda, birleşme yerlerinde, köşelerde görülen siyah izler. [28]

Şekil 3.26:Parça üzerindeki diesel etkisi[61]

b-Enjeksiyon makinesinden kaynaklanabilecek muhtemel olasılık ve çözümleri:

Enjeksiyon hızı çok fazla: Enjeksiyon hızı düşürülür, değişken hız profili kullanılır.
Eriyik sıcaklığı çok fazla: Ocak sıcaklığı düşürülür.
Kapama kuvveti çok fazla: Kapama kuvveti düşürülür.
Hava çıkışı yok: Hava çıkış kanalları eklenir. Hava çıkışı için lokma / pim eklenir. İtici pimler bu bölgelerde kullanılır.
Parça tasarımı uygun değil: Daha iyi doldurma için parça tasarımı değiştirilir.
Yolluk yeri değiştirilir [28]

13-Birleşme izleri: Kalıp boşluğunda, eriyik plastiğin akışının buluştuğu kesitteki birleşimin zayıf olması sonucu oluşan izler [28].

a-Hata Nedeni: Birleşme yerinde yetersiz basınç, Malzeme ya da kalıp yüzeyi çok soğuk, Gaz sıkışması var, Kalıp girişinden, birleşme yerine olan uzaklık fazla, Kalıp yüzeyinde aşırı yağlayıcı var, Farklı akış uzunlukları, Parça üzerinde farklı kalınlıklar, Akışın kesildiği kesitler [28].

Şekil 3.26: Birleşme izleri [61]

b-Enjeksiyon makinesinden kaynaklanabilecek muhtemel olasılık ve çözümleri:

Enjeksiyon hızı çok düşük: Enjeksiyon hızı yükseltilir.
Eriyik sıcaklığı çok düşük: Ocak sıcaklığı artırılır, geri basınç artırılır.
Kalıp yüzey sıcaklığı çok düşük: Kalıp sıcaklığı artırılır.
Geri basınç çok düşük: Geri basınç artırılır, geri basınç daha erken etki ettirilir.
Yolluk girişi uygun yerde değil: Birleşme izini görünmeyen bir yere taşıyacak şekilde yolluk giriş yeri değiştirilir.
Kalıp ayrılma hattında hava tahliye edilemiyor: Malzemeye göre hava çıkış kanalları açılır.(ABS 0,02 mm, PA - 0,01 mm. vb.) [28].

3.6-Birleşme İzi Oluşumu ve Etkilerinin İncelenmesi

Büyük ebatlı ve karmaşık parçaların üretiminde tek giriş çoğu zaman kalıp içine malzeme doldurmakta yeterli olmayabilir. Bu gibi durumlarda çok girişli sistemler kullanılır. Ancak iki farklı yolluktan gelen plastiğin tek hat üzerinde birleşmesi ile birleşme izi oluşumu gözlenir. Böyle bir uygulama yapılırken tasarım öyle yapılmalıdır ki: ürün üzerinde oluşacak birleşme izi, ürünün mukavemet değerlerini düşürmemelidir.Bu sebeple birleşme izi mümkün olduğunca ölü noktalara kaydırılmalıdır. Mümkünse kalıp tasarlanırken, ürün üzerinde ek bir kısım oluşturulmalı ve birleşme izi bu kısımda oluşturulmalı basımdan sonra bu kısım kesilerek ürün ana ölçülerine getirilmelidir.
Birleşme izinde bir diğer etkende sıcaklıktır. Sıcaklık basım sırasında birleşmenin kuvvetli olabilmesi için yeterli olmalıdır.

Yapılan bu çalışmada wollastonit,mika tozu ve pirinç kabuğu dolgularının polimerlere katkıları ve birleşme bölgesindeki etkileri incelenecektir.

Çalışmada polimerlere wollastonit,mika tozu ve pirinç kabuğu dolguları ayrı ayrı ve farklı miktarlarda uygulanarak polimerlerin saf ve dolgulu haldeki mukavemet değerlerini karşılaştırmak amacı ile çekme,eğme, darbe numuneleri üretecek kalıp tasarlanmıştır.Kalıp tasarlanırken her numuneye çift yolluk girişi verilmiş ve numunelerde birleşme izi oluşturulmuştur.Daha sonra bu girişlerden birer tanesi tasarlanan aparat ve vida sistemi ile kapatılarak tek girişli ve birleşme izsiz numuneler basılmıştır.

İlk olarak basılan birleşme izli numunelerin basım amacı dolgu maddelerinin birleşme izli bölge üzerindeki etkilerini incelemektir.Bu sebeple oluşturulan çekme,eğme ve darbe numuneleri ilgili deneylere tabi tutularak mukavemet değerleri alınmış ve SEM ile de birleşme bölgelerinin morfolojisi incelenmiştir.

Birleşme izsiz numunelerde ise amaç saf ve dolgulu polimerlerin mukavemet değerlerini karşılaştırarak dolgu maddelerinin avantaj ve dezavantajlarını irdelemektir.Bu amaçla üretilen numunelere çekme,eğme ve darbe deneyleri uygulanmış.Sem ile saf haldeki polimer ile dolgulu polimerlerin morfolojisi gözlenmiştir.

BÖLÜM 4 DENEYLER

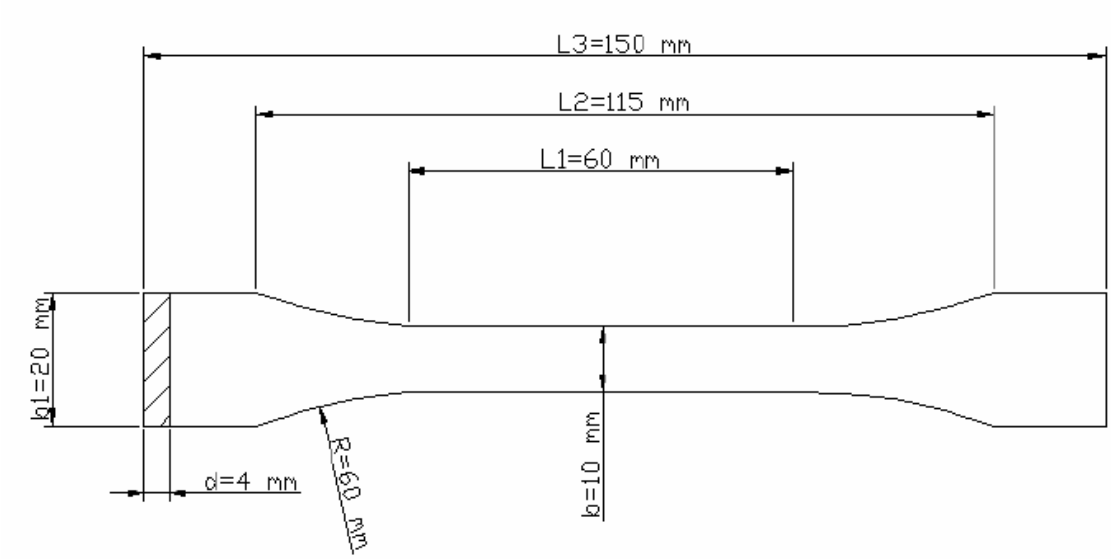
Plastikleri tanımlamada bazı fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikler kullanılır. Bunların belirlenmesi için çok sayıda standart deney vardır. Bu deneylerin yardımı ile, üretici-işleyici ve kullanıcılar; bu malzemelerin özelliklerini ortak bir dille anlamakta ve aralarındaki ilişkileri düzenlemektedirler. Bu deneylerin hemen hepsi, ulusal ve uluslar arası deney standartları olarak bilinmekte ve kullanılmaktadır, bu standartların en yaygın olarak kullanılanları arasında, kısaltılmış şekilleri ile birlikte Türk -TS-,Amerikan-ASTM-,Alman-DIN, ingiliz-BS- ve Uluslar arası-lSO bulunmaktadır [62].

4.1. Uygulanan Mekanik Deneyler

4.1.1. Gerilme (Çekme) Deneyi (Tensile Test)

Standartlar TS.90 ve 1398.ISO.1184, ASTM.D638–84, BS.2782 (kısım 10.1003), DIN.53455. (TS.3860:takviyeli, TS 1972: köpük plastik)

Şekil 4.1:Çekme Deneyi, Kullanılan Örneğin Şekli ve Aletin Çenelerine Yerleştirilmesi. [63]



Şekil 4.2. Standart papyon deney numunesi

Çekme deneyi ile malzemelerin;

a) Elastiklik modülü

b) Elastik sınır

c) Rezilyans: Malzemenin elastik sekil değiştirdiğinde absorbe ettiği enerjiyi sekil değişimini yapan kuvvetin kaldırılmasıyla geri vermesi özelliğine denir.

d) Akma gerilmesi

e) Çekme dayanımı

f) % uzama

g) % kesit daralması gibi özellikleri saptanır [64].

Basit çekme deformasyonunda, malzemeye uygulanan kuvvetler sadece bir yönde olup gerilmeler; $\sigma_1=\sigma$, $\sigma_2=\sigma_3=0$ olup sekil değişimleri ise, Poisson oranının 0,5 olduğu kabulü altında, kuvvet uygulanan doğrultuda uzama olurken diğer iki doğrultuda eşit miktarda daralma meydana gelir.

$$\lambda_1=\lambda \qquad \lambda_2=\lambda_3=\frac{1}{\sqrt{\lambda}}$$

Burada λ_1 asal doğrultulardaki uzama oranı olup uzama oranı şekil değiştirme cinsinden;

$\lambda=1+\varepsilon$ denklemi ile tanımlanır [64].

a- Çekme deneyi ile ilgili hesaplar

a) Gerilim direnci;

$\sigma = \frac{F}{A_0}$ A_0 = İlk kesit alanı, F = Yük[64].

b- Uzama;

$e = \frac{L_1 - L_0}{L_0} = \frac{\Delta L}{L_0}$ L_1 = Numunenin son uzunluğu L_0 = Numunenin ilk uzunluğu[64].

c- Kesit alanındaki değişim;

$A_0 * L_0 = A_1 * L_1$

A_0 = İlk kesit alanı A_1 = Uzama sonunda oluşan kesit alanı [64].

d- Gerçek gerilim direnci; Kesit alanındaki değişim dikkate alınarak hesaplanan gerilim direncidir.

$\sigma_g = \sigma (1+e)$ [64].

e- Genel formül;

$\frac{A_0}{A} = \frac{L}{L_0} = \frac{L_0 - \Delta L}{L_0} = 1+e$ [64].

f-Çekmede kalıcı deformasyon

Çekme deformasyonu genellikle şerit ya da papyon numuneyi belli bir germe ve uzama yüzdesinde standart müddet tutup, germeyi kaldırınca parçanın 30 dakika kendini toplamasından sonra yapılan ölçüm farkı tespiti seklinde olmaktadır. Sekil 3.2'deki papyonun ince kısmındaki işaretler arasındaki veya şerit numunenin iki işaret arasındaki ölçü uzaması test değerini vermektedir. [64].

Çekmede kalıcı deformasyon; [64].

$\frac{L_1 - L_0}{L_s - L_0} * 100$

L_S = işaretli kısmın çekmedeki boyu

L_0 = orijinal işaretli boy

L_1 = çekmeden sonra kendini toplamış parçanın işaretli kısmının boyu

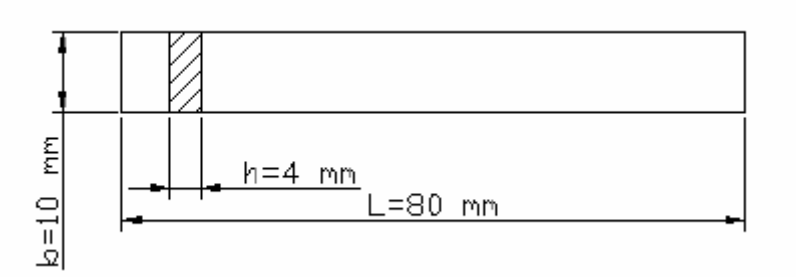
g-Çekmede kopma mukavemeti

Kopma mukavemeti, genellikle yassı bir papyon seklindeki numunenin kopma anında vardığı azami gerilme mukavemetidir. Gerekli kuvvet orijinal kesitin birim alanına göre belirtilir. Uzama bu papyon numunede işaretlenen iki çizginin tatbik edilen çekme ile birbirinden uzaklaşma yüzdesidir. Kopmadaki uzama, numunenin koptuğu andaki yüzde uzamasıdır [64].

Çekme gerilmesi veya modülü, belli uzama yüzdesi için gerekli gerilme gücüdür. 7 MPa'lık bir germe gücü % 200 uzama veriyorsa numunenin % 200 'de 7 MPa lık elastik modülü var demektir [64].

4.1.2 Esneme (Eğilme) Özellikleri Deneyi (Flexure Test)

a-Standartlar:TS.985,.ISO.178 , ASTM.D790-84, BS.2782(kısım 3.335A), DIN.53452. (TS.1722:sert köpüklü,TS 3783:takviyeli plastikler)



Şekil 4.3 Eğilme Numunesi

b-Deney; Örnek aralarında 100 mm. açıklık olan, iki destek ortasına yerleştirilir (Şekil 4.5). Daha sonra örneğin ortasına, standart bir başlıkla ve belirli bir hızla; örnek kırılana kadar, yük uygulanır. Çubuğun kırılmasına neden olan güç,örneğin en yüksek esneme (eğilme) gücü olarak kayıt edilir. Eğer örnek kırılmıyor ise, %5 esnemede kaydedilen güç esneme(eğilme) gücü olarak kayıt edilir [62].

Şekil 4.4 Esneme (Eğilme) Deneyi Test Sistemi ve Çalışma Prensibi

c-Deneyin Yorumu ve Notlar: Deney sırasında kullanılan örnekler, hem "gerilme" hem de "basma"ya maruz kalmaktadır . Termoplastiklerin çoğu bu deney sırasında kırılmaz ve örnek dış yüzeyinin (3 numaralı nokta) %5 gerdirildiği an olan- %5 esnemedeki güç dikkate alınır. Her örnek için en az 5 deney yapılıp ortalaması alınmalıdır [62].

4.1.3 Esneme (Eğilme) Deneyi Test Sistemi ve Çalışma Prensibi

Deneyin Yorumu ve Notlar : Deney sırasında kullanılan örnekler, hem "gerilme" hem de "basma"ya maruz kalmaktadır (Şekil 8.3'de sırasıyla 3 ve 1 noktaları). Termoplastiklerin çoğu bu deney sırasında kırılmaz ve -örnek dış yüzeyinin (3 nolu nokta) %5 gerdirildiği an olan- %5 esnemedeki güç dikkate alınır. Her örnek için en az 5 deney yapılıp ortalaması alınmalıdır [62].

Şekil 4.5 Esneme (Eğilme) Deneyi Test Cihazı [63]

4.2. Deneylerde Kullanılan Polimer Malzemeler ve Teknik Özellikleri

Deneylerde kullanılan polimer malzemeler dolgusuz sade polimerler olup (Tablo 4.1-2-3) ektrüzyon makinesinde %5 – 10 ve 15 oranlarında üç farklı dolgu ilavesiyle elde edilmiştir. Dolgu olarak pirinç kabuğu tozu, wollastonit ve mika tozu dolgularıdır (Tablo 4.4-5).

Tablo 4.1 PA6 Teknik Özellikleri

PA6 (NOVAMID B 24 LN)				
ÖZELLİKLER	**Koşullar**	**Test Metotları**	**Birimler**	**Değerler**
FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ				
Yoğunluk	23ºC	ISO 1183	g/cm3	**1,12**
Su Emmesi	23ºC	ISO 62	%	**3**
Nem Emmesi	23ºC	ISO 62	%	**9,5**
Yanmazlık	1,6mm	UL-94		**V-2**
İŞLEME KOŞULLARI				
Hacim Erime Oranı	275ºC/5kg	ISO 1133	cm3/10min	**296**
Kalıpta erime sıcaklığı			ºC	**250-270**
Kalıp Sıcaklığı			ºC	**40-80**
Kalıp Büzülmesi	Boyuna Enine		%	**0,9-1,1** **0,8-1,1**
MEKANİK ÖZELLİKLERİ				**dry/cond.**
Elastikiyet Modülleri	23ºC, 1mm/min	ISO 527-2	Mpa	**3100/1050**
Çekme Mukavemeti	23ºC, 50mm/min	ISO 527-2	MPa	**85/40**
% Uzama	23ºC, 50mm/min	ISO 527-2	%	**3,5/25**
Kopma Nominal Gerinimi	23ºC, 50mm/min	ISO 527-2	%	**18/>50**
Eğilme Mukavemeti	23ºC, 2mm/min	ISO 178	MPa	**110/30**

Tablo 4.2 YYPE Teknik Özellikleri

YYPE (PETKİM)				
ÖZELLİKLER	**Koşullar**	**Test Metodları**	**Birimler**	**Değerler**
Yoğunluk	23ºC	ASTM D-1505	g/cm3	**0,952-0,956**
Erime Akış Hızı	2160g,190ºC	ASTM D-1238	g/10d	**0,10-0,20**
Akmada Ger. Dayanımı		ASTM D-638	kg/cm2	**225**
Kopmada Ger. Dayanımı		ASTM D-638	kg/cm2	**290**
Kopmada Uzama		ASTM D-638	%	**750**
Bükülme Dayanımı		ASTM D-747	kg/cm2	**7160**
İzod Darbe Dayanımı		ASTM D-256	kg/cm2	**20**
Çev.Bas.Kır.Day.(F50)		ASTM D-1693	saat	**min. 600**

Tablo 4.3.ABS Teknik Özellikleri

ABS (TERLURAN GP-22 NATURAL)				
ÖZELLİKLER	**Koşullar**	**Test Metodları**	**Birimler**	**Değerler**
FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ				
Yoğunluk	23ºC	ISO 1183	g/cm3	**1,04**
Su Emmesi	23ºC	ISO 62	%	**1,00**
Nem Emmesi	23ºC	ISO 62	%	**0,22**
Yanmazlık	1,6mm	UL-94	class	**94HB**
İŞLEME KOŞULLARI				
Hacimsel Erime Oranı	220ºC/10kg	ISO 1133	cm3/10min	**20,0**
Proses sıcaklığı			ºC	**220-260**
Kalıp Sıcaklığı			ºC	**30-60**
Kalıpta yüzde çekmesi	Boyuna Enine		%	**0,40** **0,70**
MEKANİK ÖZELLİKLERİ dry/cond.				
Elastikiyet Modülü	23ºC, 1mm/min	ISO 527-2	Mpa	**2300**
Çekme Mukavemeti	23ºC, 50mm/min	ISO 527-2	MPa	**45**
% Uzama	23ºC, 50mm/min	ISO 527-2	%	**2,6**
Kopma Nominal Gerilimi	23ºC, 50mm/min	ISO 527-2	%	**10,0**
Eğilme mukavemeti	23ºC, 2mm/min	ISO 178	MPa	**65**

2.5. Deneyimizde Kullanılan Dolgular Ve Teknik Özellikleri

Tablo 4.4. Wollastonit Teknik Özellikleri

WOLLASTONİT (NYCO)	
TİPİK ÖZELLİKLERİ	**DEĞERLER**
GÖRÜNÜM	**BEYAZ**
MOLEKÜLER AĞIRLIĞI	**116**
ÖZGÜL AĞIRLIK	**2,9 m^2/gr**
KIRILMA İNDEXİ	**1,63**
pH	**9,9**
SUDA ÇÖZÜNÜRLÜĞÜ	**0,0095 g/100cc**
YOĞUNLUĞU	**181**
SERTLİĞİ (Moh's scala)	**4,5**
ÇÖZÜNME NOKTASI (teorikal)	**1540**
ÇÖZÜNME NOKTASI (ASTM D-1857)	**1410**
ORTALAMA PARÇA BÜYÜKLÜĞÜ (µm)	**9**
TEDARİKÇİ FİRMA ADI	**Emaş Plastik**

Tablo 4.5. MİKA TOZU Teknik Özellikleri

MİKA TOZU (micro minerals)	
TİPİK ÖZELLİKLERİ	**DEĞERLER**
MOLEKÜLER AĞIRLIĞI (ISO 787-7)	**99,99**
ÖZGÜL AĞIRLIK (ISO 4652)	**8,3 m^2/gr**
KIRILMA İNDEXİ	**1,58**
pH (ISO 787-9)	**9**
SUDA ÇÖZÜNÜRLÜĞÜ	**0,0015 g/100cc**
YOĞUNLUĞU (ISO 787-10)	**2,84 g/ml**
SERTLİĞİ (Moh's scale)	**2,5**
ORTALAMA PARÇA BÜYÜKLÜĞÜ	**10/3,4 µm**
TEDARİKÇİ FİRMA ADI	**Emaş Plastik**

Tablo 4.6. Pirinç Kabuğu Teknik Özellikleri

PİRİNÇ KABUĞU	**TİPİK ÖZELLİKLERİ**
GÖRÜNÜM	**GRİ**
ORTALAMA PARÇA BÜYÜKLÜĞÜ (µm)	**12 µm**
TEDARİKÇİ FİRMA ADI	**Besintaş Un Mamulleri**

Deneylerde kullanılan pirinç kabuğu Besintaş Gıda Mamülleri firmasından tedarik edilmiştir. Gıda sektöründe iki tip değirmen kullanılmaktadır. Bunlardan en yaygın olarak kullanılanı hemen hemen tüm aktarlarda bulunan bıçaklı değirmendir. Genellikle baklagillerin öğütülmesinde kullanılmaktadır. Ancak bıçaklar arası mesafe sabit olduğundan üretilecek ürünün partikül boyutunun küçük olması istendiğinde yetersiz kalır. İkinci tip değirmen ise genellikle köylerde un öğütmek için kullanılan taşlı değirmendir. Pirinç kabuğu Bursa'ya bağlı çivili köyünde bulunan taşlı değirmende öğütülerek son halini almıştır.

4.4.Ekstrüzyon ve Enjeksiyon Prosesinin Teknik Özellikleri

En uygun hammadde ve mineral seçimi için yapılan ön denemeler ve hammadde ile mineral dolgu seçimi yapıldıktan sonra harmanların hazırlanmasında Bursa' da yerleşik EMAS Plastik Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketi bünyesinde bulunan ve teknik özellikleri tabloda verilen ZSK 70 Mcc çift vidalı Ekstrüzyon Makineleri kullanılmıştır.

Tablo 4.7. Hammaddelerinin hazırlanmasında kullanılan yüksek üretim kapasiteli ikiz vidalı ekstrüderin teknik bilgileri (EMAS, 2010)

Makine Adı :	ZSK 70 Mcc Coperion
Burgu boyu:	2700 mm
L/D:	38,5
Devir (1/dak):	1.200
Kapasite (kg/h)	1600-1800
Maksimum Tork [Nm]	3.500
Özgül tork [Nm / cm ³]	18
Kesim Şekli :	Düz Fitil Kesme

Tablo.4.8 Ekstrüzyon Makinesinde Kullanılan Proses Sıcaklıkları

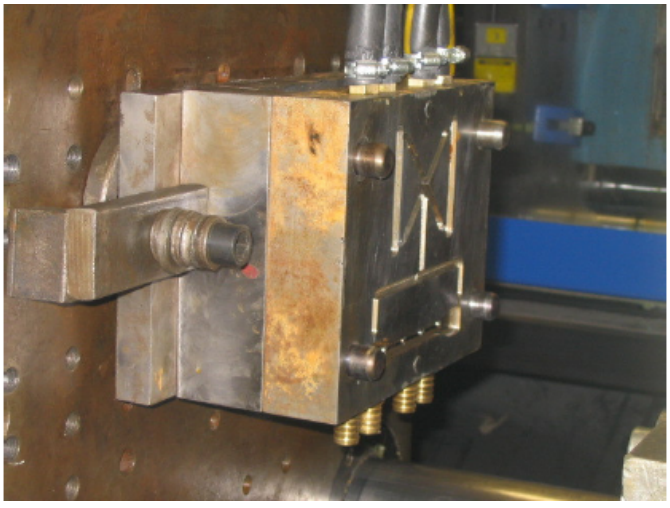
YYPE	ABS	PA6
180˚C	220˚C	235˚C

Enjeksiyon numunelerinin üretiminde Bursa' da yerleşik EMAS Plastik Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketi bünyesinde bulunan ve teknik özellikleri Tablo 3.5' te verilen, ARBURG ALLROUNDER Enjeksiyon makineleri firmasına ait 370 CMD Model Enjeksiyon Makinesi kullanılmıştır.

Tablo 4.9. ALLROUNDER 370 CMD model enjeksiyon makinesinin teknik özellikleri (ARBURG, 2010)

Enjeksiyon Ünitesi	Birim Sistemi	Boyutları
Vida çapı	mm	25
Etkili vida uzunluğu	L/ D	25
Vida hızı	devir/dak	42
Vida stroğu (maksimum)	mm	100
Maksimum enjeksiyon hacmi	cm^3	31
Spesifik enjeksiyon basıncı	kg/cm^2	2240
Enjeksiyon meme dayanma kuvveti	kN	50
Eritme kapasitesi	kg/sa	8
Isıtma gücü	kW	4,3
Isıtma bölgesi	bölge	4

Hammaddeler ön görünüşü şekilde verilen kalıba Tablo 5.78'de verilen enjeksiyon ayarlarında ve kalıp soğutma suyu sıcaklıklarında her basımda bir adet çekme ve iki adet eğme numunesinden oluşan numuneler basılmıştır.



Şekil 4.6.Enjeksiyon kalıbının önden görünüşü

Tablo 4.10.Deneyde Kullanılan Numunelerin Basım Sıcaklıkları

Malzemeler	**Enjeksiyon Sıcaklığı °C**			**Kalıp Sıcaklığı °C**
Poliamid 6 + %5 W	230	245	260	40-45
Poliamid 6 + %10 W				
Poliamid 6 + %15 W				
Poliamid 6 + %5 MT				
Poliamid 6+ %10 MT				
Poliamid 6 + %15 MT				
Poliamid 6 + %5 PK				
Poliamid 6 + %10 PK				
Poliamid 6 + %15 PK				
YYPE + %5 W	210	230	250	
YYPE + %10 W				
YYPE + %15 W				
YYPE + %5 MT				
YYPE + %10 MT				
YYPE + %15 MT				
YYPE + %5 PK				
YYPE + %10 PK				
YYPE + %15 PK				
ABS + %5 W	230	245	260	
ABS + %10 W				
ABS + %15 W				
ABS + %5 MT				
ABS + %10 MT				
ABS + %15 MT				
ABS + %5 PK				
ABS + %10 PK				
ABS + %15 PK				

Tablo 4.11. Deney numunesi üretiminde kullanılan enjeksiyon ayarları

Sıcaklık (°C)	Meme	1. Bölge	2. Bölge	3.Bölge	4. Bölge
PA6	230°C	230°C	225°C	220°C	215°C
	245°C	245°C	2400°C	235°C	230°C
	260°C	260°C	255°C	250°C	245°C
ABS	230°C	230°C	220°C	215°C	210°C
	245°C	245°C	235°C	225°C	220°C
	260°C	260°C	250°C	240°C	235°C
YYPE	210°C	210°C	205°C	200°C	195°C
	230°C	230°C	225°C	220°C	215°C
	250°C	250°C	245°C	240°C	235°C

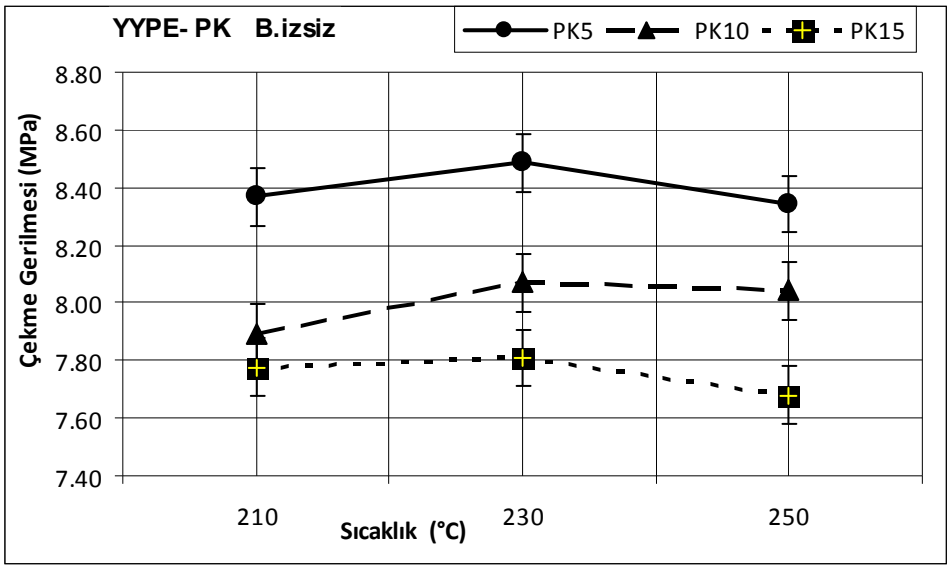
Basınç ve Hızlar (PA6,YYPE,ABS)	Enjeksiyon Basıncı (bar)	Ütüleme Basıncı (bar)	Ütüleme Hızı (m/s)
	100	50	0,33

Şekil 4.7. Enjeksiyon Makinasında Kalıplanmış numuneler

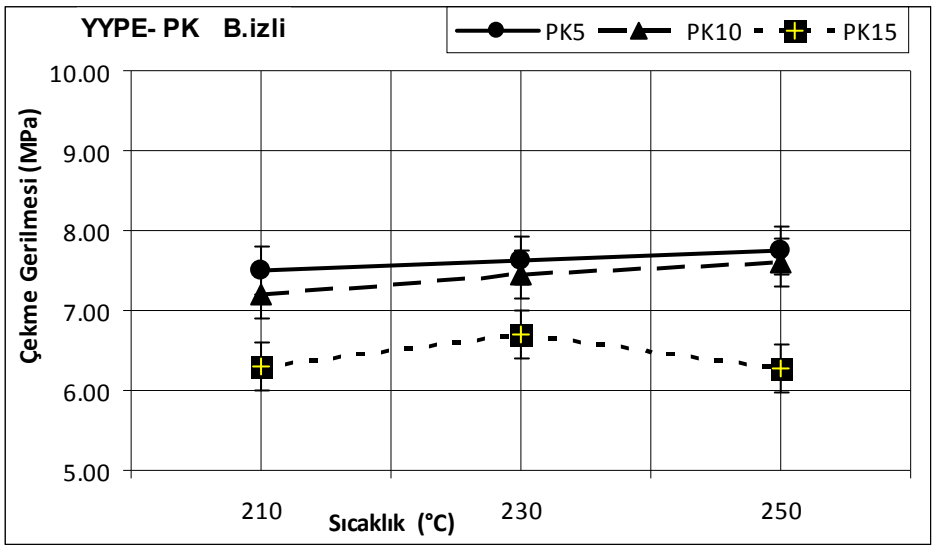
BÖLÜM 5. SONUÇLAR

Çekme ve eğilme testlerine ait elde edilen grafikler aşağıda verilmektedir.

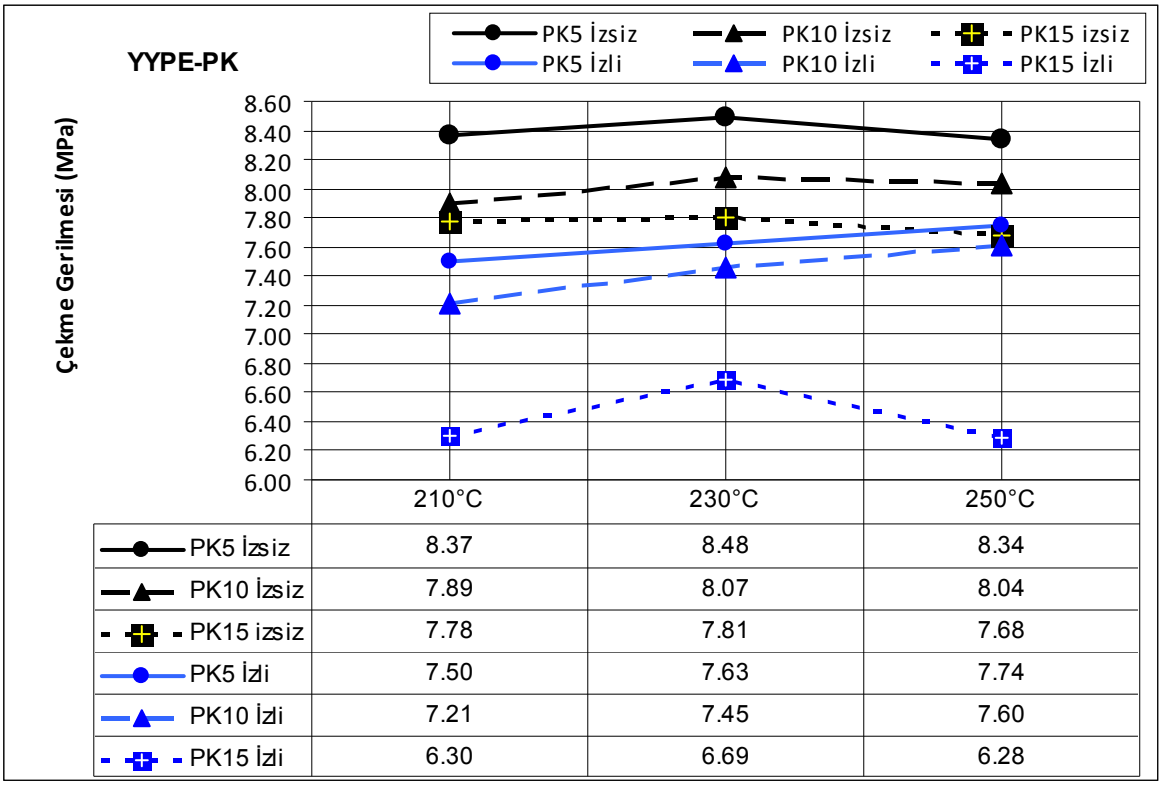
5.1 YYPE'nin Çekme ve Eğilme Testleri



Şekil 5.1.YYPE + PK Birleşme İzsiz Çekme Grafiği



Şekil 5.2.YYPE+ PK Birleşme İzli Çekme Grafiği



	210°C	230°C	250°C
PK5 İzsiz	8.37	8.48	8.34
PK10 İzsiz	7.89	8.07	8.04
PK15 izsiz	7.78	7.81	7.68
PK5 İzli	7.50	7.63	7.74
PK10 İzli	7.21	7.45	7.60
PK15 İzli	6.30	6.69	6.28

Şekil 5.3. YYPE+ PK Çekme Genel Grafiği

Tablo 5.1.Polietilen içerisindeki pirinç kabuğu dolgusunun artması ile çekme mukavemetinde gözlenen yüzdesel değişim

YYPE+PK		210°C	230°C	250°C
İZSİZ	%5ten %10a	5.73	4.83	3.60
	%10dan %15e	1.39	3.22	4.48
	%5ten %15e	7.05	7.90	7.91
İZLİ	%5ten %10a	3.87	2.36	1.81
	%10dan %15e	12.62	10.20	17.37
	%5ten %15e	16.00	12.32	18.86

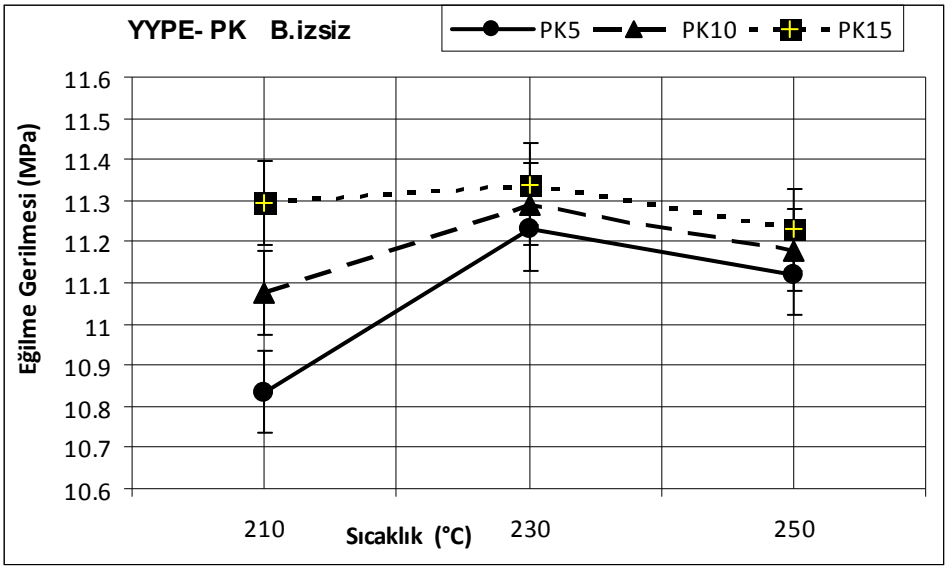
Yüzdesel artışın hesaplanmasını örnekle anlatacak olursak;

((%5 PK içen YYPE'nin çekme gerilmesi - %10 PK içen YYPE'nin çekme gerilmesi)*100)/%5 PK) ifadesi ile hesaplanmaktadır. Tablodaki pozitif değerler mekanik

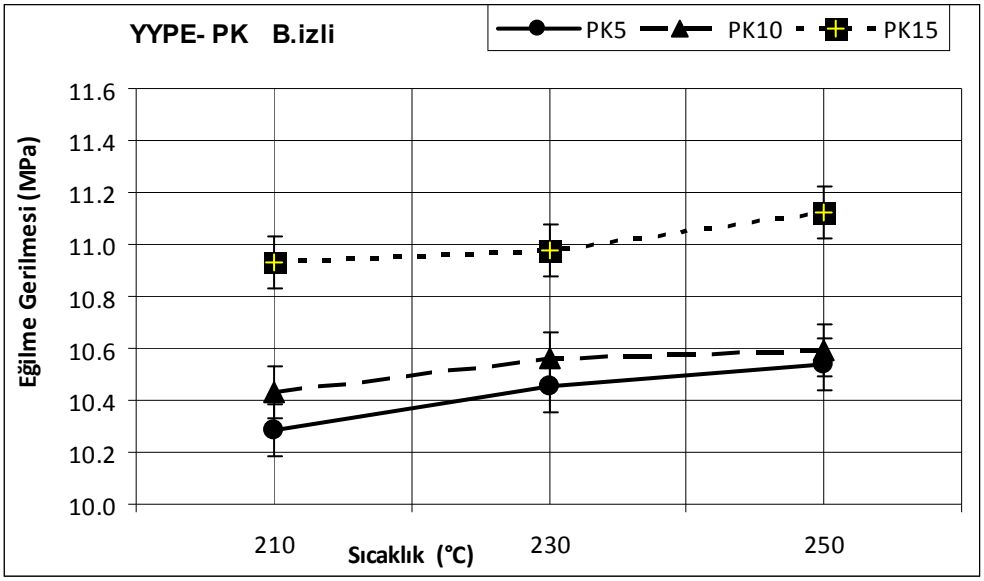
değerlerin dolgu miktarının artması ile yüzdesel olarak azaldığını negatif değerler ise arttığını göstermektedir.
Yukarıdaki tablodan da anlaşılacağı üzere birleşme izsiz numunelerde 210 °C de PK oranı %5' ten %10'a yükseltildiğinde çekme mukavemeti %5.73 oranında düşmektedir. Dolgu oranı %10'dan %15'e yükseltildiğinde ise çekme mukavemeti %1.39, %5'e göre ise %7.05 oranında düşmektedir.

YYPE içerisinde PK oranı artıkça çekme mukavemeti azalmaktadır (Şekil 5.3). Birleşme izsiz numunelerde en iyi çekme mukavemetine 230°C de ulaşılmıştır. İzli numunelerde ise en iyi çekme değerlerinin gözlendiği sıcaklık %5 ve %10 PK katkılı YYPE için 250°C'dir .

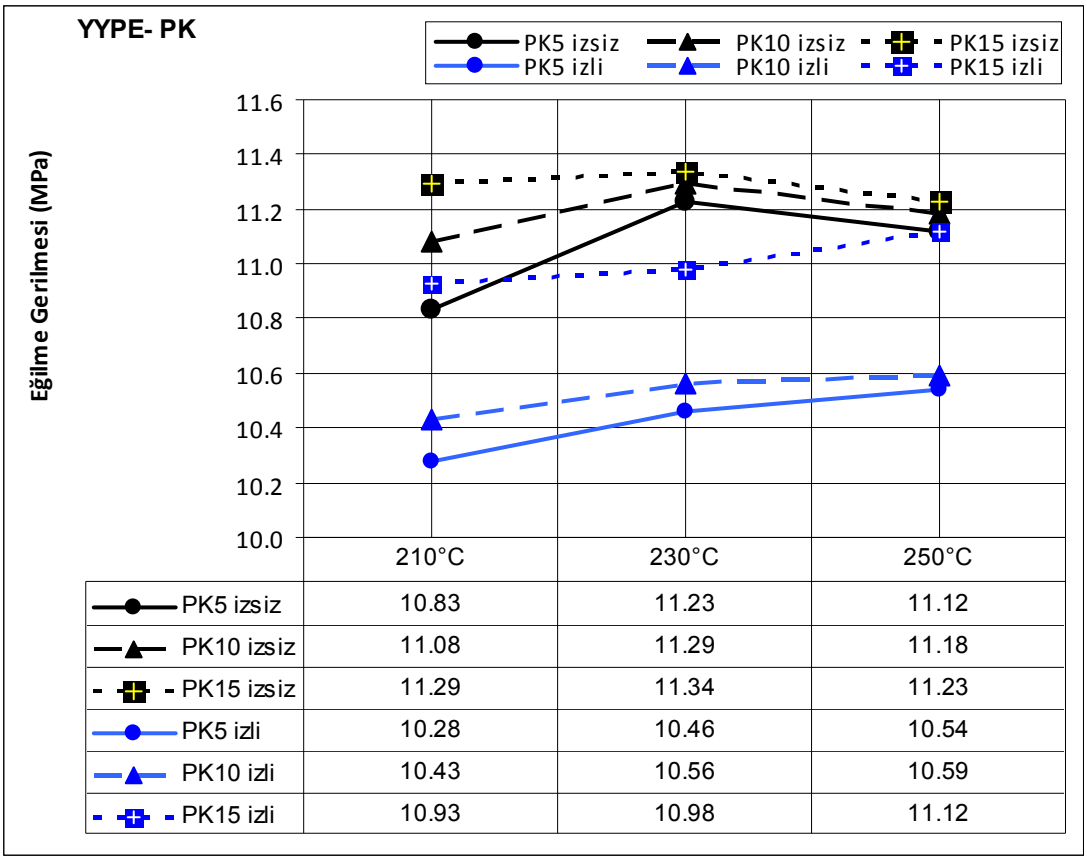
Orta proses sıcaklığı (230°C) dikkate alındığında birleşme izli ve izsiz numunelerde en iyi çekme değerlerini %5 dolgulu numunelerde görülmektedir. %5 dolgulu PK için izsiz numune ile izli numune arasındaki çekme mukavemetindeki azalma oranı %10,02'dir. İzlinin yüksek sıcaklığı dikkate alındığında bu oran %8,72'ye düşmektedir.



Şekil 5.4.YYPE+PK Birleşme İzsiz Eğilme Grafiği



Şekil 5.5.YYPE+PK Birleşme İzli Eğilme Grafiği



Şekil 5.6.YYPE+PK Eğilme Genel Grafiği

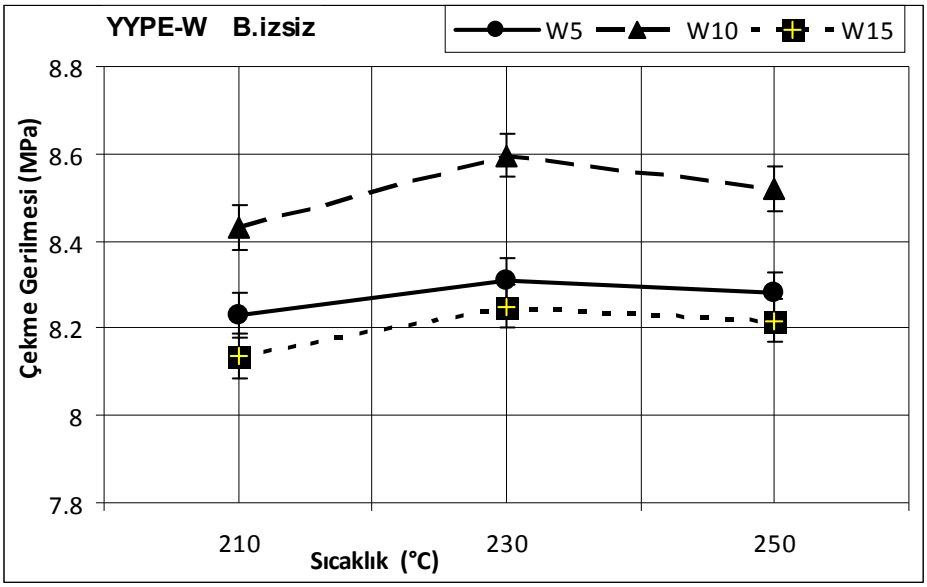
Tablo 5.2.Polietilen içerisindeki pirinç kabuğu dolgusunun artması ile eğilme mukavemetinde gözlenen değişim oranı

YYPE+PK		210°C	230°C	250°C
İZSİZ	%5ten %10a	-2.31	-0.53	-0.54
	%10dan %15e	-1.90	-0.44	-0.45
	%5ten %15e	-4.25	-0.98	-0.99
İZLİ	%5ten %10a	-1.46	-0.96	-0.47
	%10dan %15e	-4.79	-3.98	-5.00
	%5ten %15e	-6.32	-4.97	-5.50

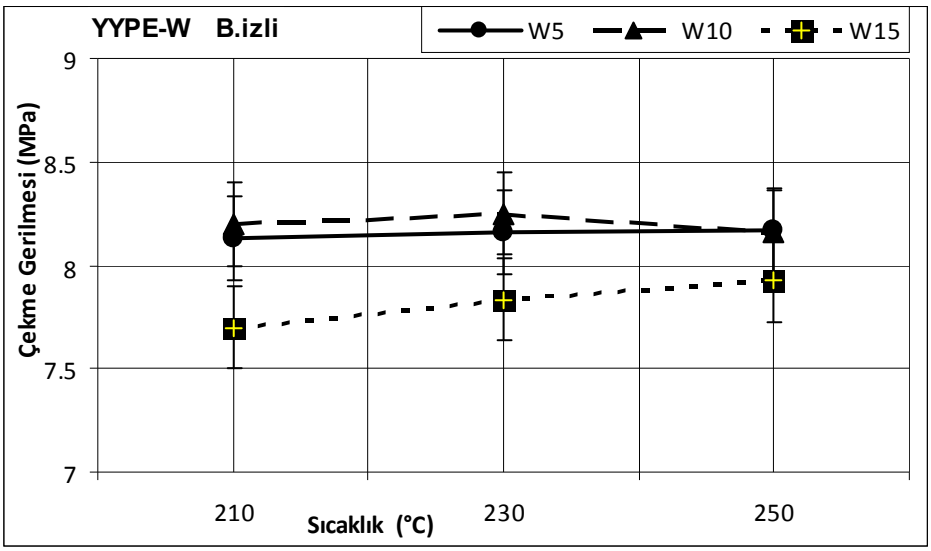
Tablo 5.2'den de görüleceği üzere PK dolgusu %5'ten %10'a yükseltildiğinde eğilme mukavemeti %2.31 oranında artmaktadır.

Hem birleşme izsiz, hem birleşme izli numunelerde PK dolgusunun artması eğilme geriliminin artmasına sebebiyet vermiştir. Birleşme izsiz numunelerde eğilme mukavemeti için en ideal sıcaklık 230°C iken, izli numunelerde 250°C daha iyi sonuç vermiştir. İzli numune orta sıcaklıkta çift girişten birleşme bölgesine gelinceye kadar aynı sıcaklığı koruyamamaktadır. Birleşme bölgesindeki sıcaklık proses sıcaklığından daha düşük olmaktadır. 250°C basılan bir numunenin birleşme bölgesindeki proses sıcaklığı 250°C dir diyemeyiz fakat 250°C den düşen sıcaklık birleşme bölgesinde ideal proses sıcaklığına yakın değer almaktadır.

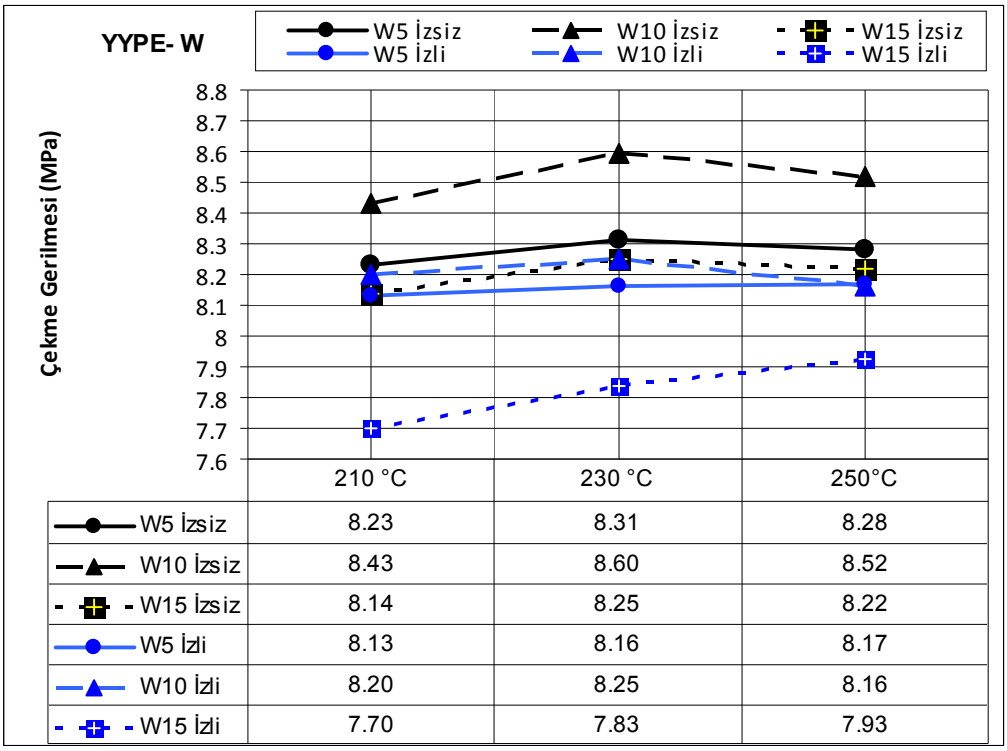
Orta proses sıcaklığı (230°C) dikkate alındığında en iyi eğilme değerleri %15 dolgulu numunelerde görülmektedir. %15 dolgulu PK için izsiz numune ile izli numune arasındaki eğilme mukavemetindeki azalma oranı % 3,17'dir. İzlinin yüksek sıcaklığı dikkate alındığında bu oran % 1,94'e düşmektedir.



Şekil 5.7.YYPE+ W Birleşme İzsiz Çekme Grafiği



Şekil 5.8.YYPE+ W Birleşme İzli Çekme Grafiği



	210 °C	230 °C	250°C
W5 İzsiz	8.23	8.31	8.28
W10 İzsiz	8.43	8.60	8.52
W15 İzsiz	8.14	8.25	8.22
W5 İzli	8.13	8.16	8.17
W10 İzli	8.20	8.25	8.16
W15 İzli	7.70	7.83	7.93

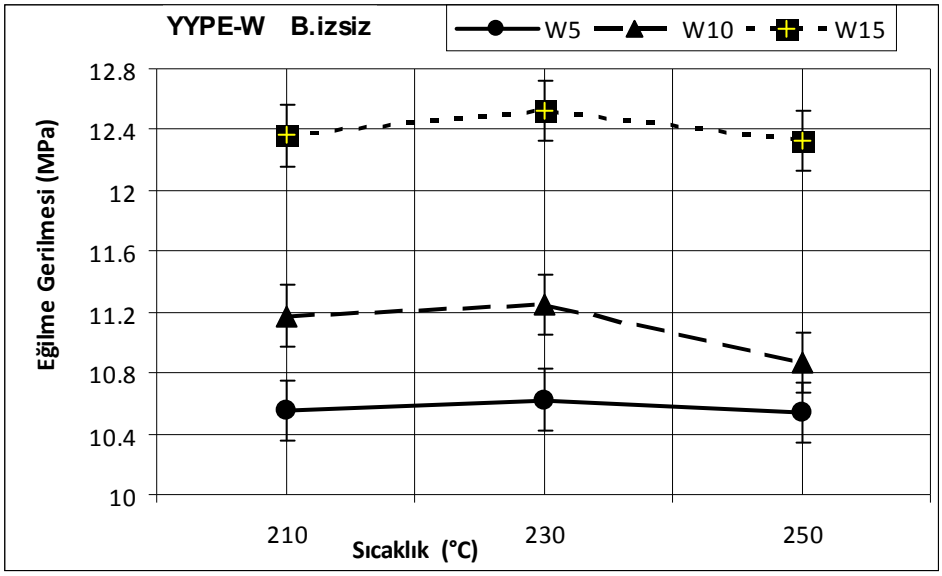
Şekil 5.9.YYPE+W Çekme Genel Grafiği

Tablo 5.3.Polietilen içerisindeki wollastonit dolgusunun artması ile çekme mukavemetinde gözlenen değişim oranı

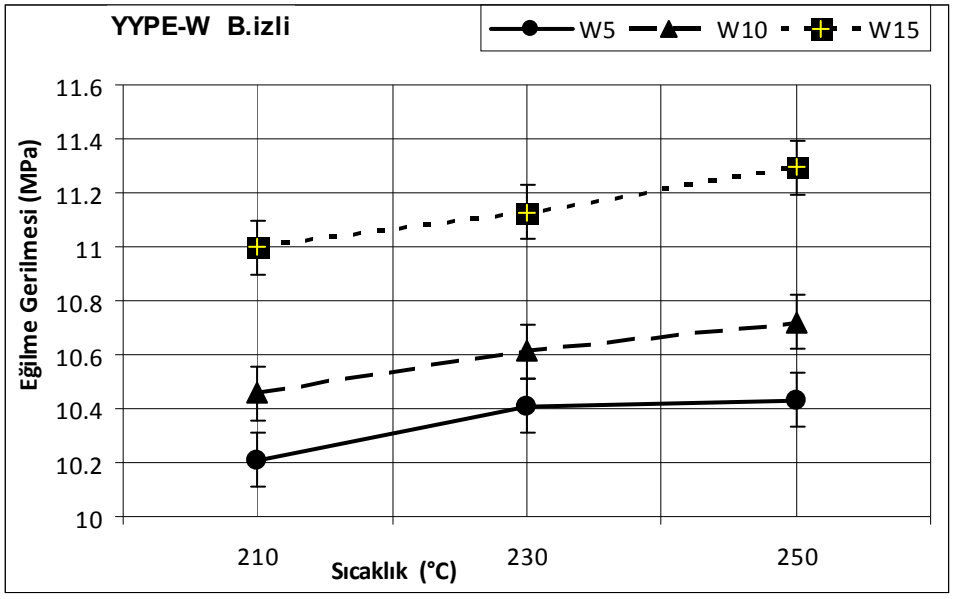
YYPE+W		210°C	230°C	250°C
İZSİZ	%5ten %10a	-2.43	-3.49	-2.90
	%10dan %15e	3.44	4.07	3.52
	%5ten %15e	1.09	0.72	0.72
İZLİ	%5ten %10a	-0.86	-1.10	0.12
	%10dan %15e	6.10	5.09	2.82
	%5ten %15e	5.29	4.04	2.94

Şekil 5,9'tanda anlaşılacağı üzere YYPE'nin birleşme izli ve birleşme izsiz numunelerinde %15 wollastonit dolgusu çekme mukavemetinde düşmeye neden olmuştur. YYPE numuneler için en ideal dolgu oranı %10 olduğu görülmektedir. Birleşme izsiz numunelerde üç sıcaklık içinde 230°C çekme gerilimi açısından en iyi değeri verirken, izli numunelerde %5 ve %15 dolgu içeren numunelerde 250°C; %10 dolgu oranlı YYPE için ise 230°C'nin ideal sıcaklık olduğu görülmektedir. Orta proses

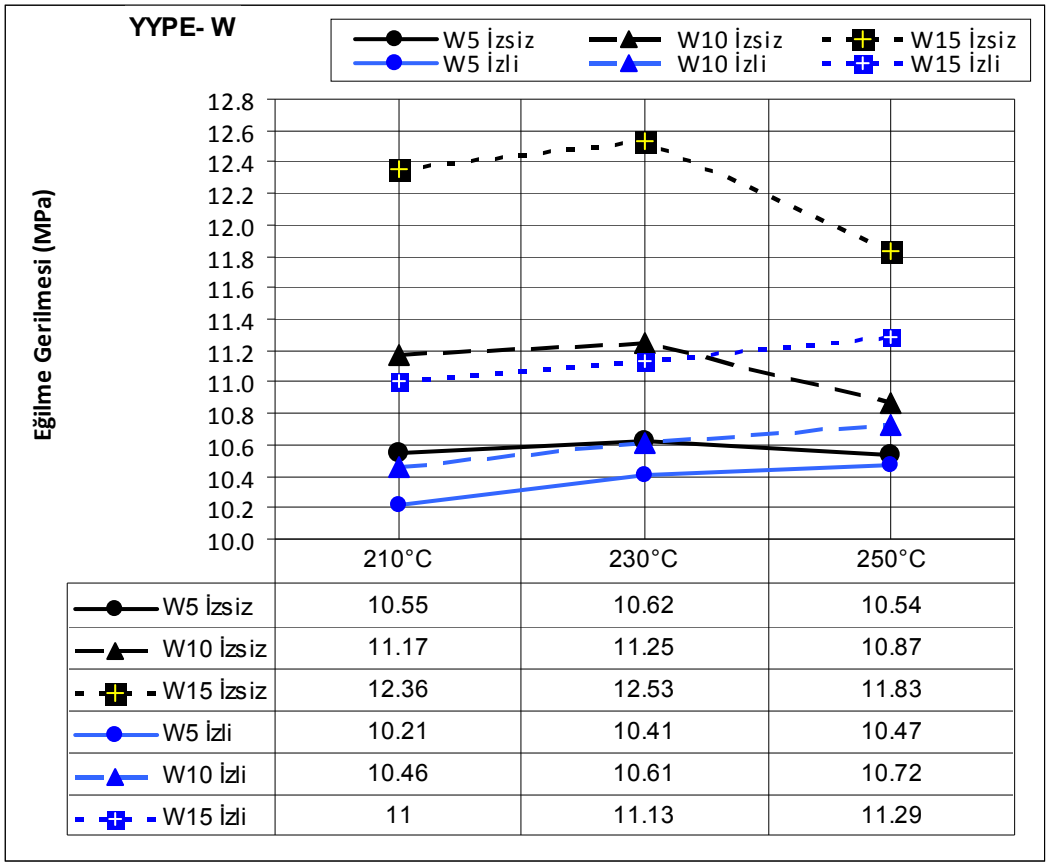
sıcaklığı (230°C) dikkate alındığında birleşme izli ve izsiz numunelerde en iyi çekme değerleri %10 dolgulu numunelerde W için izsiz numune ile izli numune arasındaki çekme mukavemetindeki azalma oranı % 4,07'dir. İzlinin yüksek sıcaklığı dikkate alındığında bu azalma oranı % 5,12 olmaktadır.



Şekil 5.10. YYPE+W Birleşme İzsiz Eğilme Grafiği



Şekil 5.11. YYPE + W Birleşme İzli Eğilme Grafiği



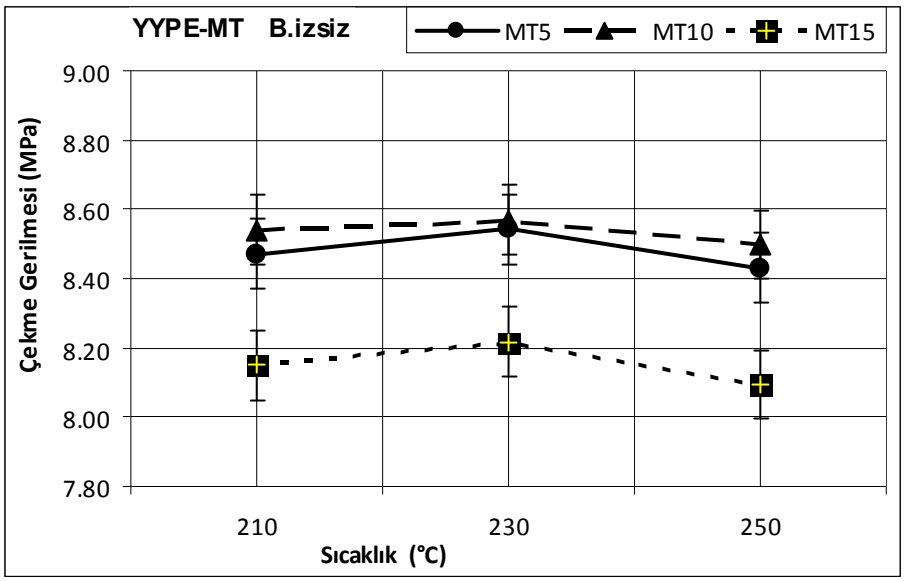
Şekil 5.12.YYPE+W Eğilme Genel Grafiği

Tablo 5.4.Polietilen içerisindeki wollastonit dolgusunun artması ile eğilme mukavemetinde gözlenen değişim oranı

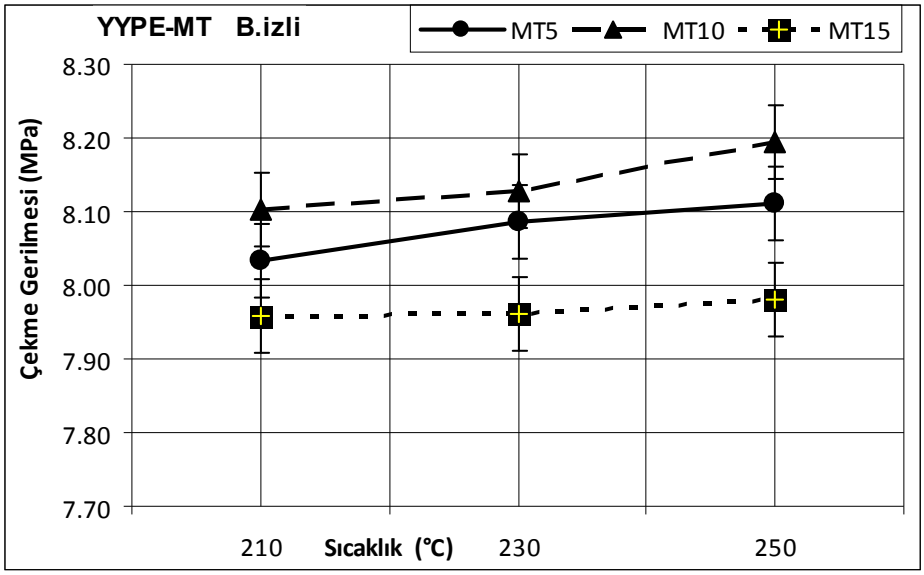
YYPE+W		210°C	230°C	250°C
İZSİZ	%5ten %10a	-5.88	-5.93	-3.13
	%10dan %15e	-10.65	-11.38	-8.83
	%5ten %15e	-17.16	-17.98	-12.24
İZLİ	%5ten %10a	-2.45	-1.92	-2.39
	%10dan %15e	-5.16	-4.90	-5.32
	%5ten %15e	-7.74	-6.92	-7.83

Şekil 5.12'de gözleneceği üzere YYPE içerisindeki wollastonit oranı arttıkça eğilme mukavemetide artmaktadır. Birleşme izli ve izsiz numunelerin hepsinde %15 wollastonit dolgusu en yüksek eğilme gerilimini vermektedir. İzsiz numunelerde 230°C üç sıcaklık

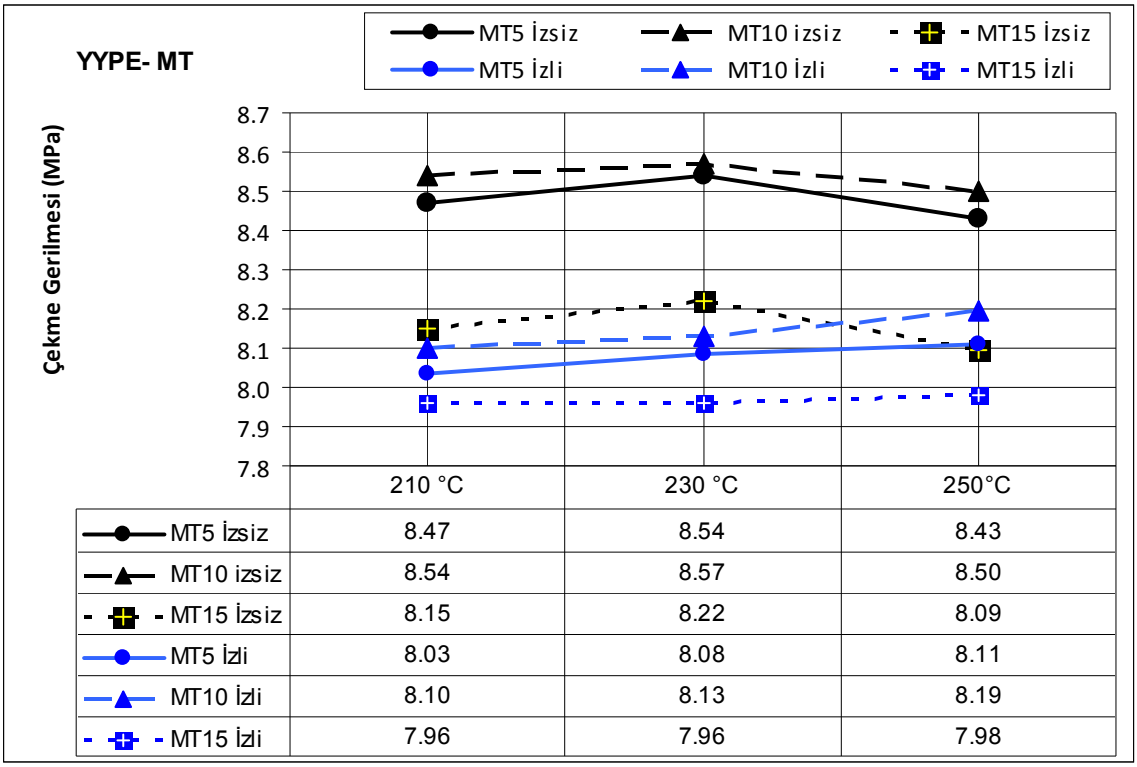
arasında en ideal sıcaklık iken izlilerde 250°C'dir. Orta proses sıcaklığı (230°C) dikkate alındığında en iyi eğilme değerleri %15 dolgulu numunelerde görülmektedir. %15 dolgulu W için izsiz numune ile izli numune arasındaki eğilme mukavemetindeki azalma oranı %11,17'dir. İzlinin yüksek sıcaklığı dikkate alındığında bu oran % 9,90'a düşmektedir



Şekil 5.13.YYPE+ MT Birleşme İzsiz Çekme Grafiği



Şekil 5.14.YYPE-MT Birleşme İzli Çekme Grafiği



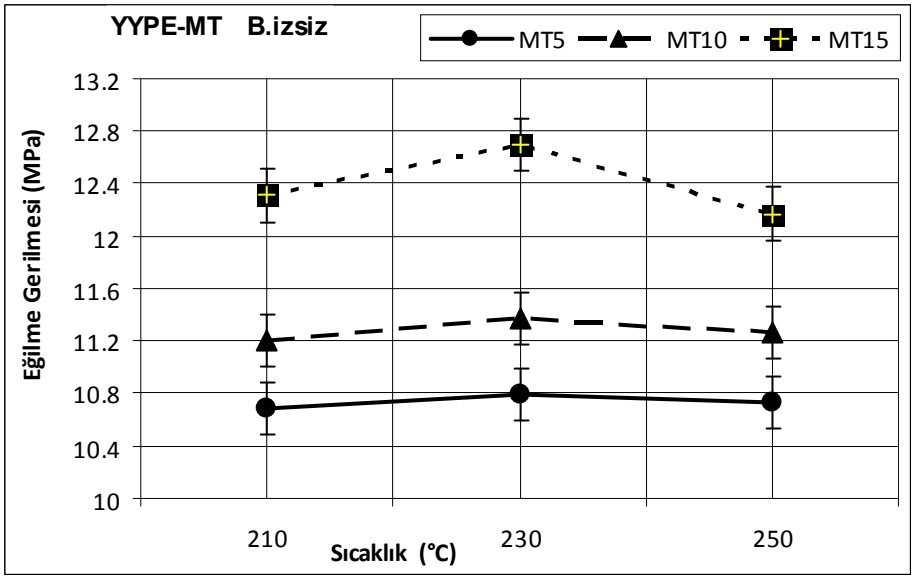
Şekil 5.15.YYPE+MT Çekme Genel Grafiği

Tablo 5.5.Polietilen içerisindeki mika tozu dolgusunun artması ile çekme mukavemetinde gözlenen değişim oranı

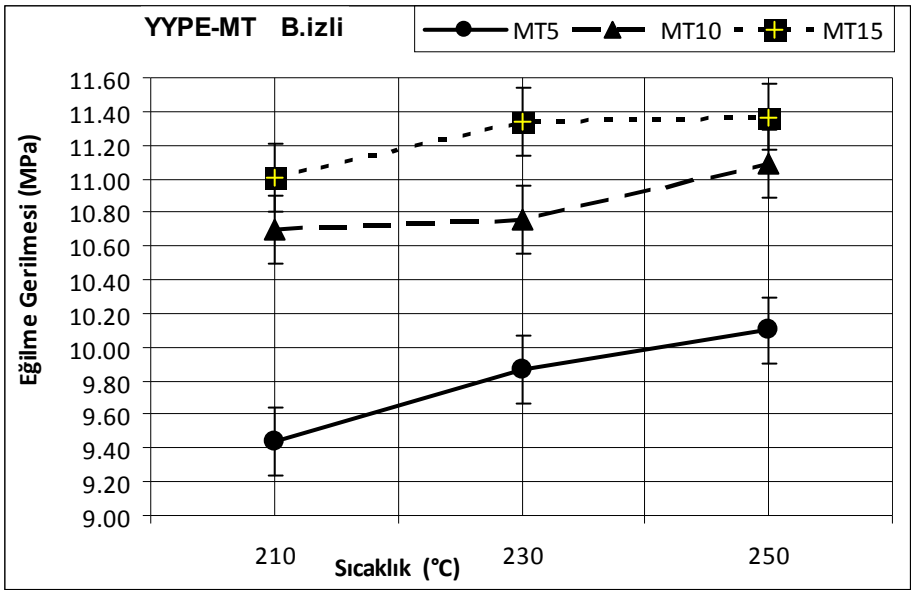
YYPE+MT		210°C	230°C	250°C
İZSİZ	%5ten %10a	-0.83	-0.35	-0.83
	%10dan %15e	4.57	4.08	4.82
	%5ten %15e	3.78	3.75	4.03
İZLİ	%5ten %10a	-0.87	-0.62	-0.99
	%10dan %15e	1.73	2.09	2.56
	%5ten %15e	0.87	1.49	1.60

Şekil 5.15'deki değerlere baktığımızda gerek birleşme izli, gerekse birleşme izsiz numunelerde çekme mukavemeti için üç farklı dolgu miktarı arasında en uygun dolgu oranının %10 olduğu görülmektedir. İzsiz numunelerde wollastonit dolgusunda olduğu gibi en ideal sıcaklık 230°C iken izlilerde ise 250°C'dir. Orta proses sıcaklığı (230°C)

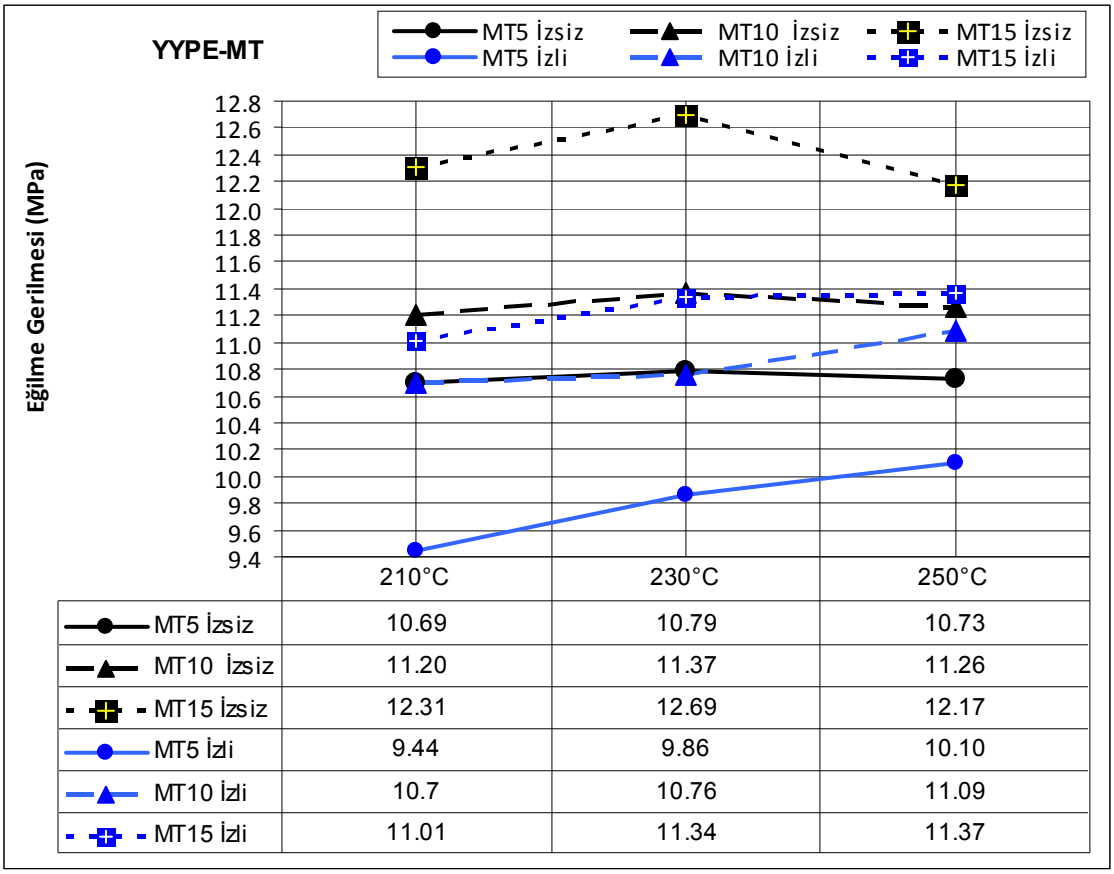
dikkate alındığında birleşme izli ve izsiz numunelerde en iyi çekme değerleri %10 dolgulu numunelerde MT için izsiz numune ile izli numune arasındaki çekme mukavemetindeki azalma oranı %5,13'dür. İzlinin yüksek sıcaklığı dikkate alındığında bu azalma oranı % 4,43 olmaktadır.



Şekil 5.16.YYPE+MT Birleşme İzsiz Eğme Grafiği



Şekil 5.17.YYPE+MT Birleşme İzli Eğme Grafiği



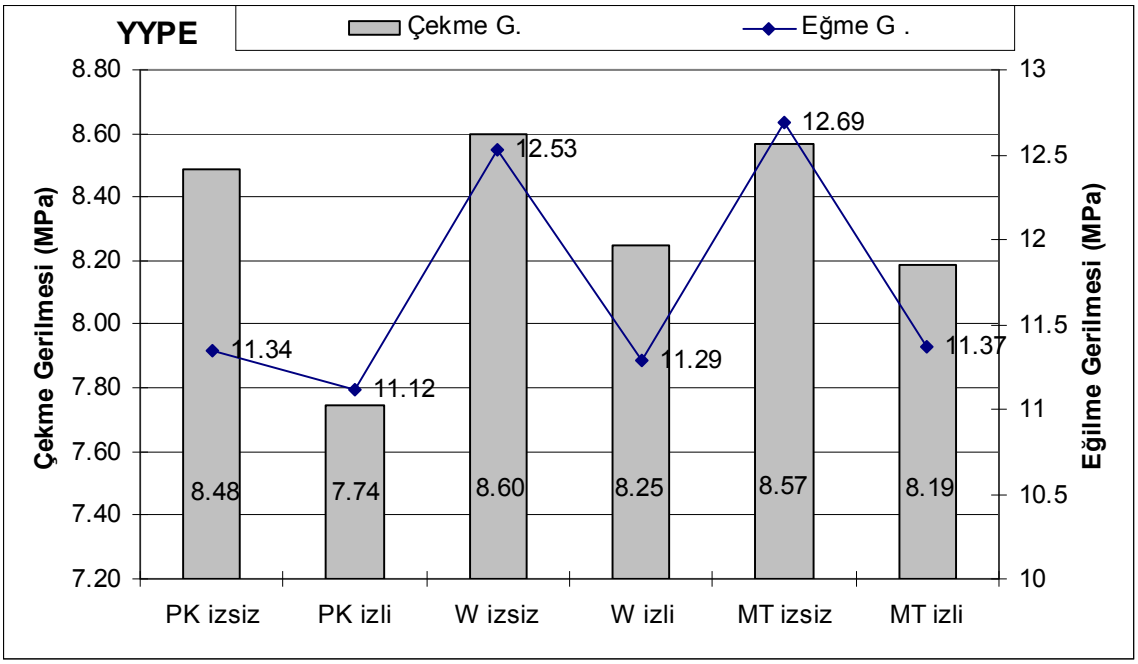
Şekil 5.18.YYPE+MT Eğme Genel Grafiği

Tablo 5.6.Polietilen içerisindeki mika tozu dolgusunun artması ile eğilme mukavemetinde gözlenen değişim oranı

YYPE+MT		210°C	230°C	250°C
İZSİZ	%5ten %10a	-4.77	-5.38	-4.94
	%10dan %15e	-9.91	-11.61	-8.08
	%5ten %15e	-15.15	-17.61	-13.42
İZLİ	%5ten %10a	-13.35	-9.13	-9.80
	%10dan %15e	-2.90	-5.39	-2.52
	%5ten %15e	-16.63	-15.01	-12.57

Şekil 5.18'de İzsiz numunelerde %15 MT dolgulu YYPE nin 230°C de en iyi eğilme mukavemetini gösterdiği, izli numunelerde ise yine %15 MT dolgulu ve 250°C de en iyi eğilme mukavemetin ulaştığı görülmektedir. Orta proses sıcaklığı (230°C) dikkate alındığında en iyi eğilme değerleri %15 dolgulu numunelerde görülmektedir. %15

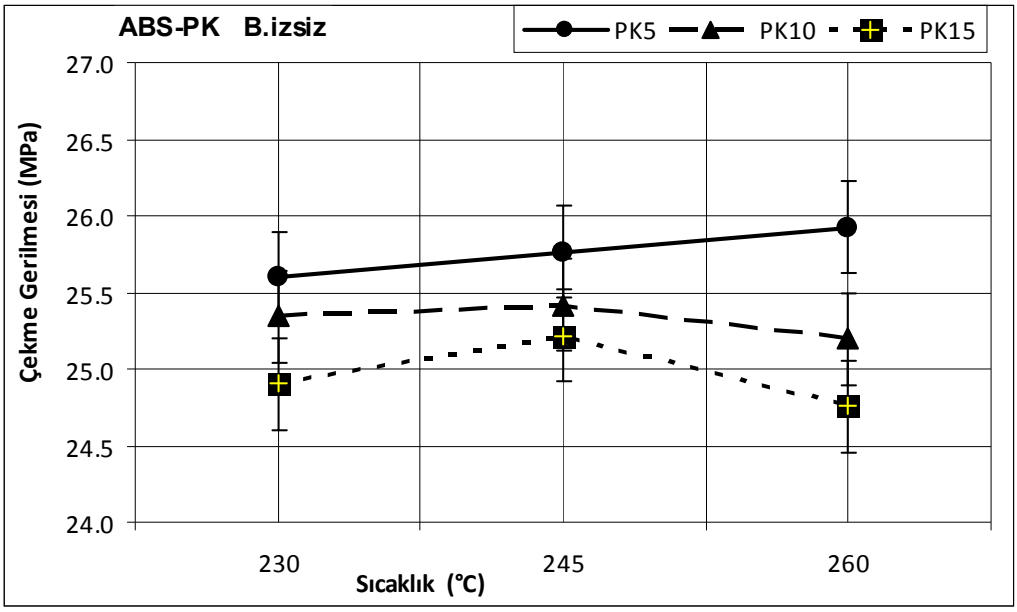
dolgulu MT için izsiz numune ile izli numune arasındaki eğilme mukavemetindeki azalma oranı %10,64'dür. İzlinin yüksek sıcaklığı dikkate alındığında bu oran % 10,40 düşmektedir.



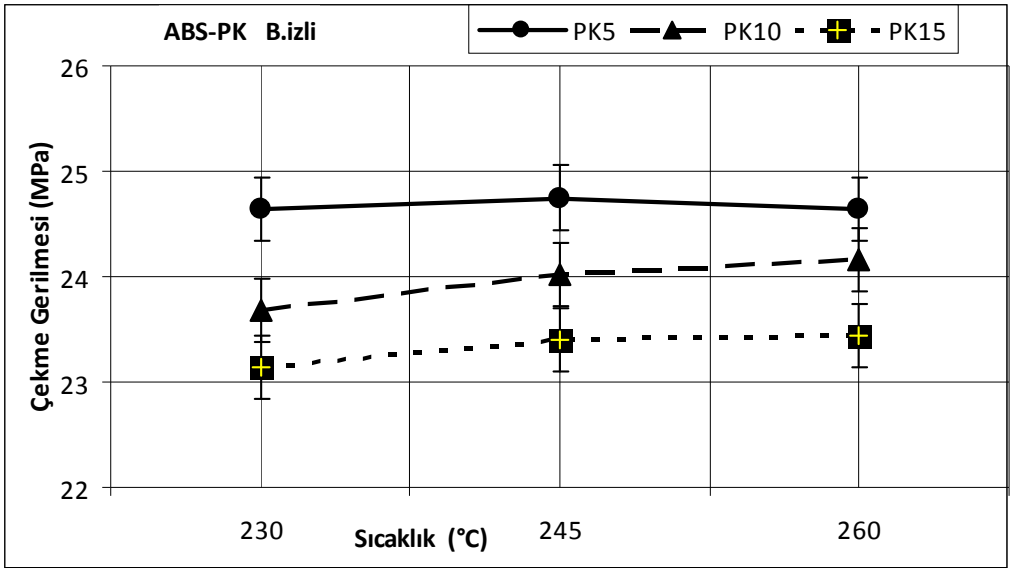
Şekil 5.19.YYPE'de tüm dolgular için en iyi eğme ve çekme değerleri

Şekil 5.19'u inceleyecek olursak; birleşme izli ve izsiz numunelerde en kötü çekme ve eğilme mukavemetini pirinç kabuğu içeren YYPE de gözlenirken, en iyi çekme mukavemetini wollastonit dolgulu; en iyi eğme mukavemetini ise mika tozu içeren YYPE vermektedir. Buna rağmen wollastonit ve mika tozu içeren YYPE'nin mekanik değerleri birbirine çok yakın olduğundan her ikisi de kalıplamada kullanıcıya önerilebilir.

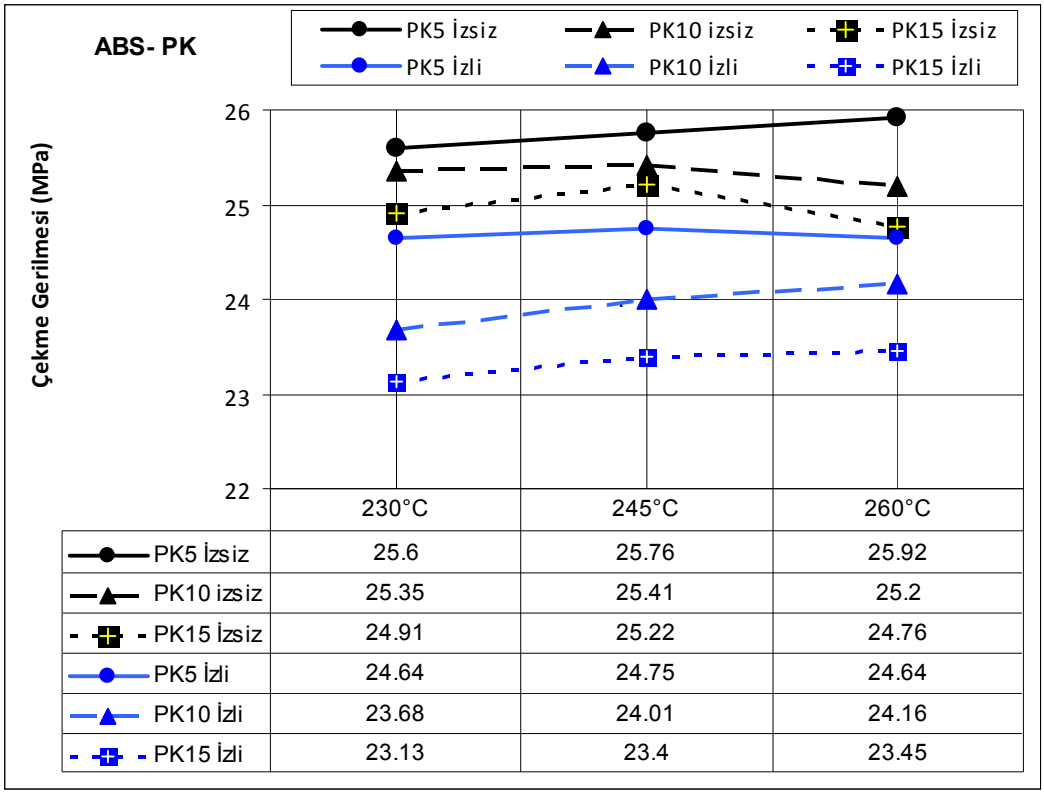
5.2 ABS'nin Çekme ve Eğme Testleri



Şekil 5.20.ABS+PK Birleşme İzsiz Çekme Grafiği



Şekil 5.21. ABS+PK Birleşme İzli Çekme Grafiği



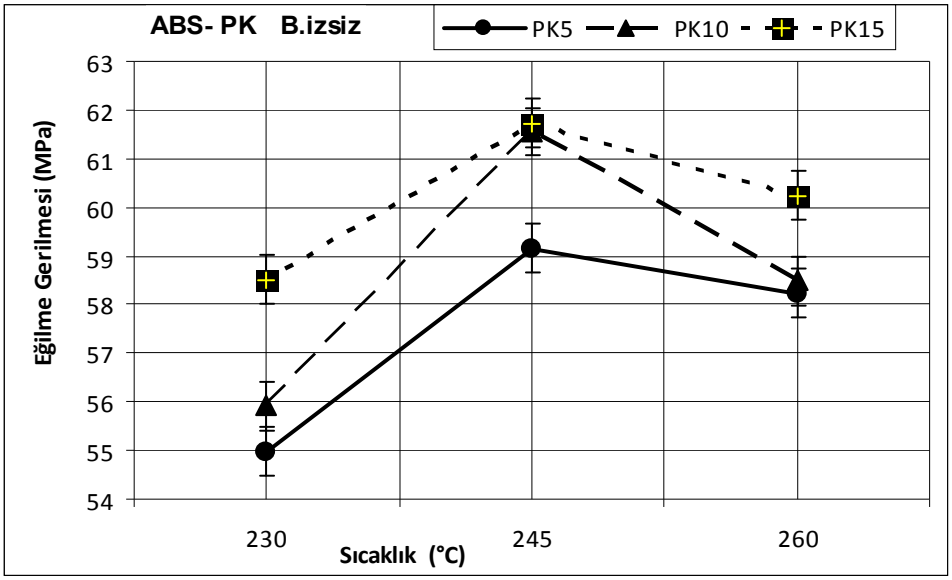
Şekil 5.22.ABS+PK Çekme Genel Grafiği

Tablo 5.7.ABS içerisindeki pirinç kabuğu dolgusunun artması ile çekme mukavemetinde gözlenen yüzdesel değişim

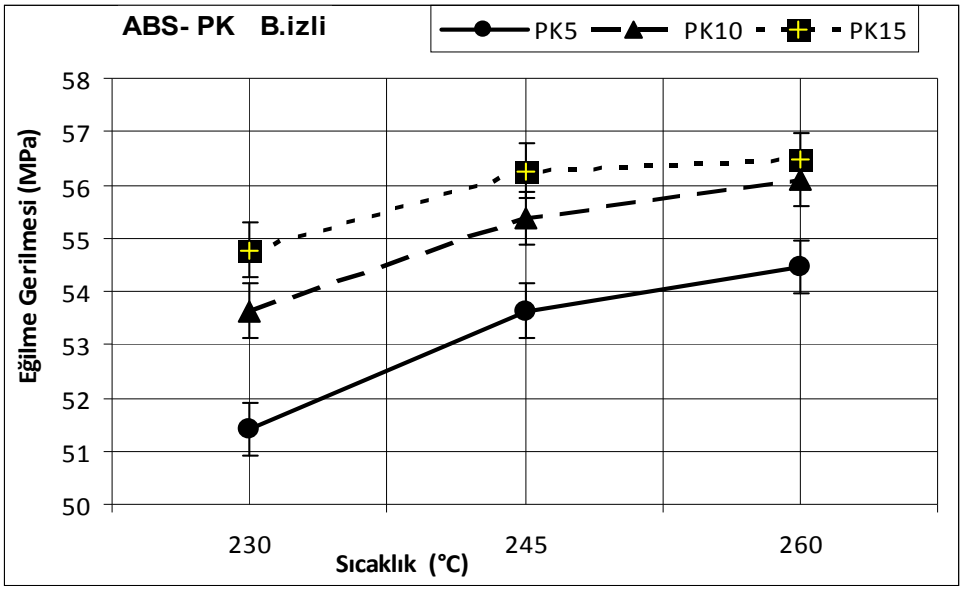
ABS+PK		230°C	245°C	260°C
İZSİZ	%5ten %10a	0.98	1.36	2.78
	%10dan %15e	1.74	0.75	1.75
	%5ten %15e	2.70	2.10	4.48
İZLİ	%5ten %10a	3.90	2.99	1.95
	%10dan %15e	2.32	2.54	2.94
	%5ten %15e	6.13	5.45	4.83

Şekil 5.22'ye bakıldığında; izsiz numunelerde %5 PK dolgulu ABS'nin 260°C de en iyi çekme mukavemetini verdiği, izli numunelerde ise %5 PK dolgulu ABS'nin 245°C de en iyi çekme mukavemetini verdiği görülmektedir. Birleşme izsiz numunelerde %10 ve %15 oranındaki PK dolgulu numunelerde en ideal sıcaklık 245°C'dir. %5 dolgulu numunelerde dolgu miktarının az oluşu sıcaklık artışıyla dolgunun polimer içerisine daha

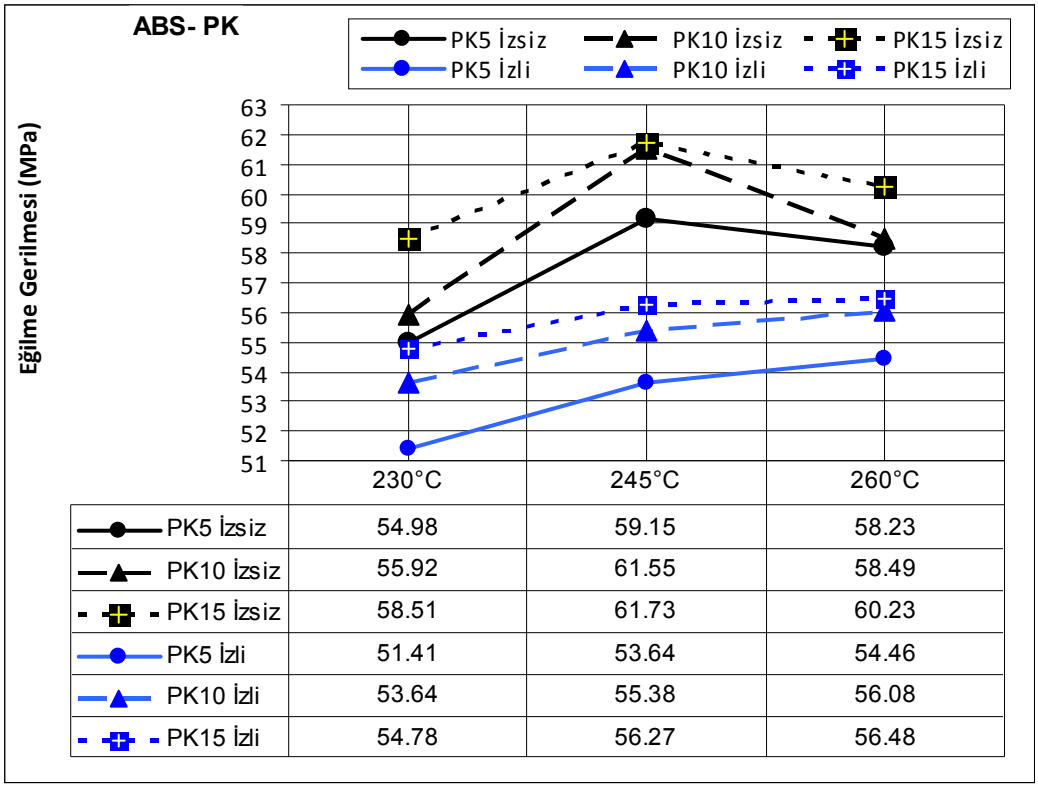
fazla karışmasına olanak sağladığından 260°C %5 dolgulu numuneler için en ideal sıcaklık olduğu görülmektedir. İzli numunelerde ise %5 PK dolgusu 245°C çekme gerilimi için en iyi sonucu verirken,%10 ve %15 dolgulu numunelerde 260°C daha iyi sonuçlar vermiştir. Orta proses sıcaklığı (245°C) dikkate alındığında en iyi çekme değerleri %5 dolgulu numunelerde görülmektedir. %5 dolgulu PK için izsiz numune ile izli numune arasındaki çekme mukavemetindeki azalma oranı % 4,51'dir. (25,92 den 24,75 e düşmüştür)



Şekil 5.23. ABS+PK Birleşme İzsiz Eğilme Grafiği



Şekil 5.24. ABS+PK Birleşme İzli Eğilme Grafiği



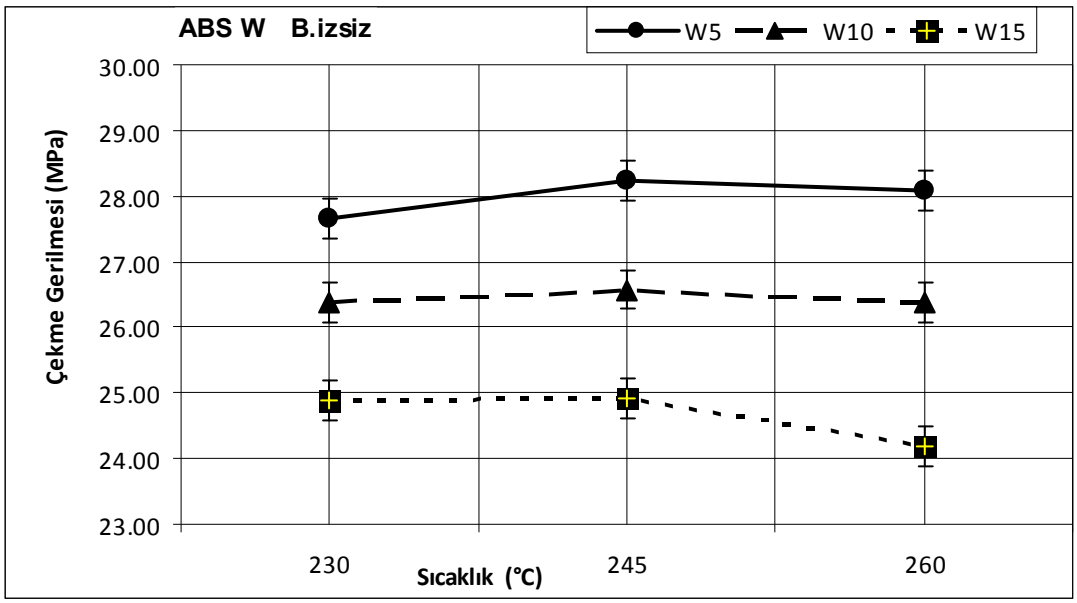
Şekil 5.25. ABS-PK Eğme Genel Grafiği

Tablo 5.8.ABS içerisindeki pirinç kabuğu dolgusunun artması ile eğilme mukavemetinde gözlenen yüzdesel değişim

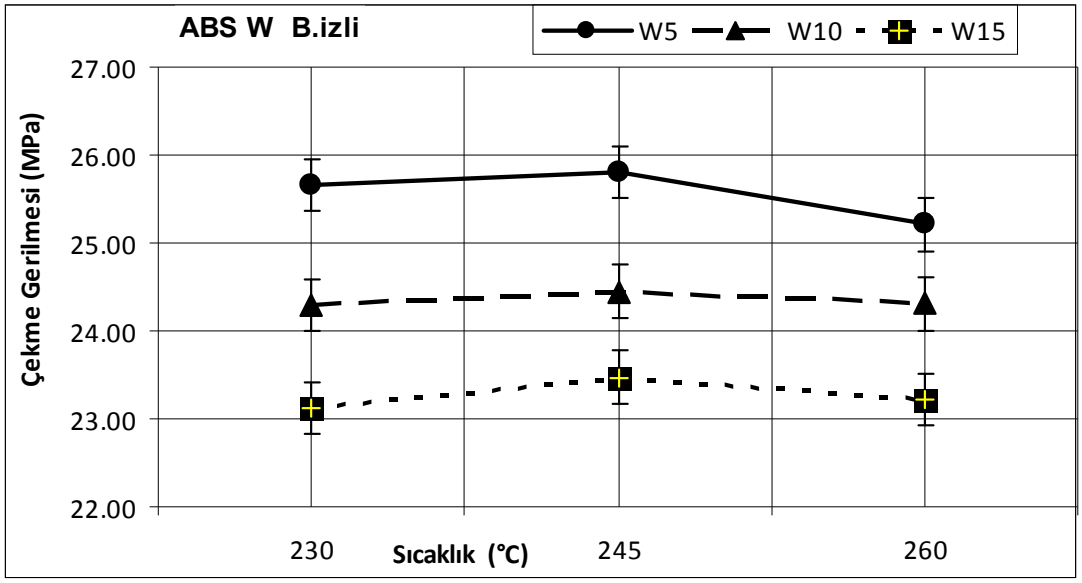
ABS+PK		230°C	245°C	260°C
İZSİZ	%5ten %10a	-1.71	-4.06	-0.45
	%10dan %15e	-4.63	-0.29	-2.97
	%5ten %15e	-6.42	-4.36	-3.43
İZLİ	%5ten %10a	-4.34	-3.24	-2.97
	%10dan %15e	-2.13	-1.61	-0.71
	%5ten %15e	-6.56	-4.90	-3.71

ABS'in birleşme izli ve birleşme izsiz tüm numunelerinde PK dolgusunun artması ile eğme mukavemeti de artmıştır Bu yüzden %15 dolgu oranı diğer oranlarla kıyaslandığında en ideal oran olarak saptanabilir. Birleşme izsiz numunelerde 245°C, izlilerde ise 260°C en ideal sıcaklıklardır. İzli bölgede sıcaklığın proses sıcaklığından

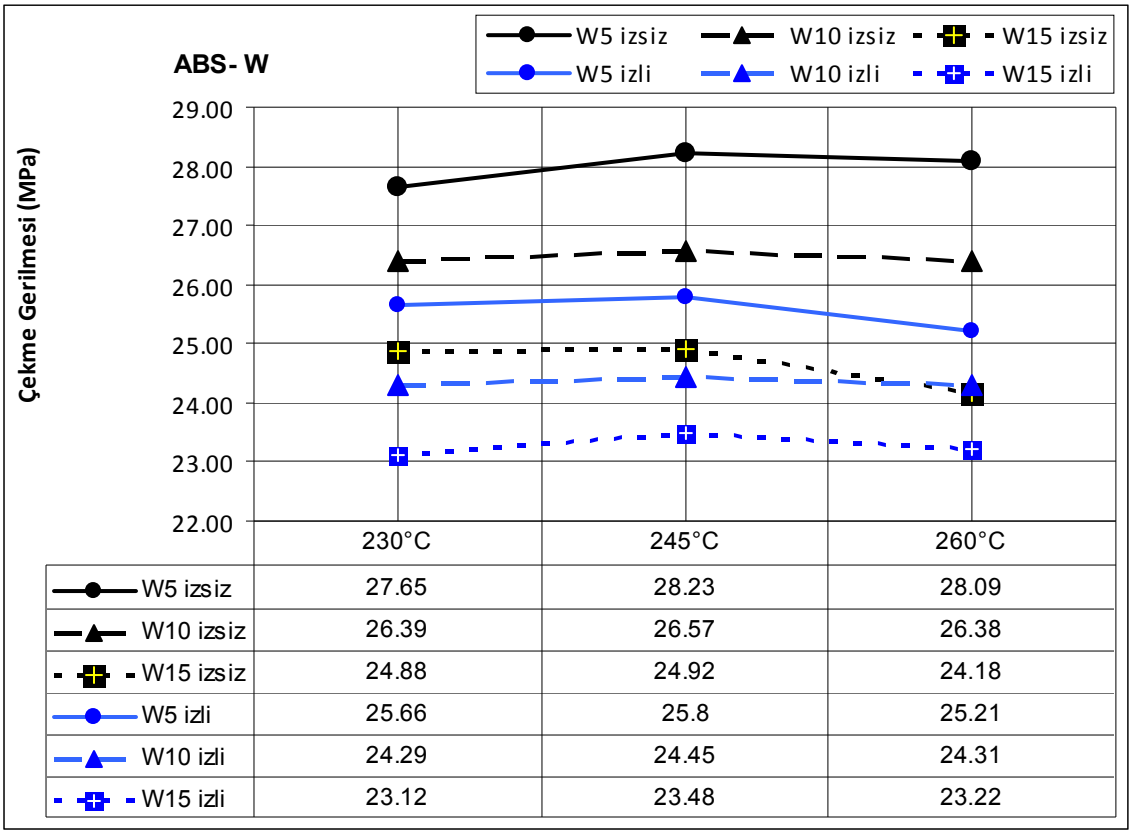
düşük olması nedeniyle daha yüksek sıcaklıkta daha iyi eğilme gerilmesi gözlenmiştir. Orta proses sıcaklığı (245°C) dikkate alındığında en iyi eğilme değerleri %15 dolgulu numunelerde görülmektedir. %15 dolgulu PK için izsiz numune ile izli numune arasındaki çekme mukavemetindeki azalma oranı %8.84'dir. İzlinin yüksek sıcaklığı dikkate alındığında bu oran % 8.50'e düşmektedir. (61,73'den 56,48'e düşmektedir.)



Şekil 5.26. ABS+W Birleşme İzsiz Çekme Grafiği



Şekil 5.27. ABS+W Birleşme İzli Çekme Grafiği



	230°C	245°C	260°C
W5 izsiz	27.65	28.23	28.09
W10 izsiz	26.39	26.57	26.38
W15 izsiz	24.88	24.92	24.18
W5 izli	25.66	25.8	25.21
W10 izli	24.29	24.45	24.31
W15 izli	23.12	23.48	23.22

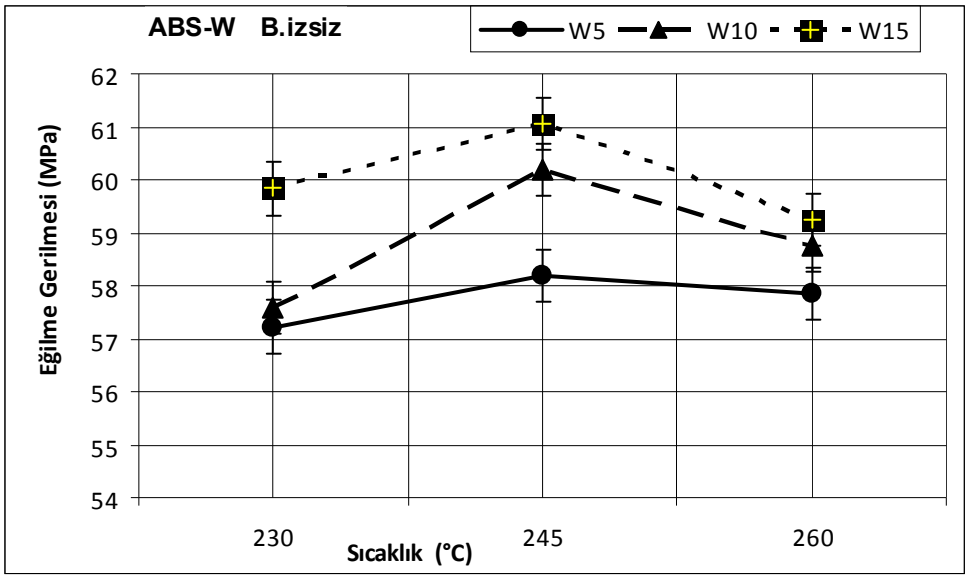
Şekil 5.28. ABS+W Çekme Genel Grafiği

Tablo 5.9.ABS içerisindeki wollastonit dolgusunun artması ile çekme mukavemetinde gözlenen yüzdesel değişim

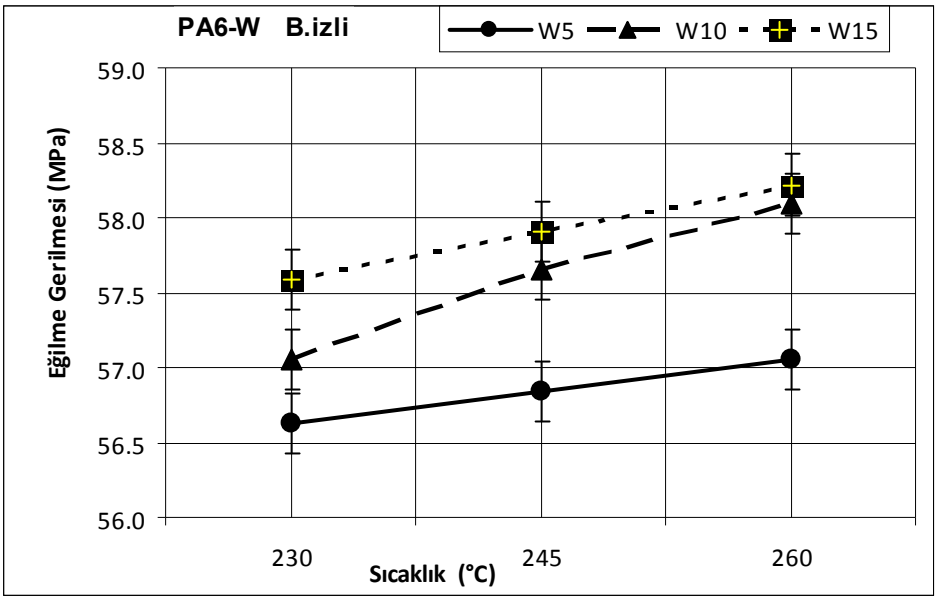
ABS+W		230°C	245°C	260°C
İZSİZ	%5ten %10a	4.56	5.88	6.09
	%10dan %15e	5.72	6.21	8.34
	%5ten %15e	10.02	11.73	13.92
İZLİ	%5ten %10a	5.34	5.23	3.57
	%10dan %15e	4.82	3.97	4.48
	%5ten %15e	9.90	8.99	7.89

ABS'in birleşme izli ve birleşme izsiz tüm numunelerinde wollastonit oranı arttıkça çekme mukavemetinin düştüğü görülmektedir. Tüm numuneler içinde üç sıcaklık arasından en uygun sıcaklığın 245°C olduğu Şekil 5.28 de görülmektedir. Dolgular kıyaslandığında PK dolgulu izli numunelerin bir kısmı 260°C en iyi çekme gerilimini

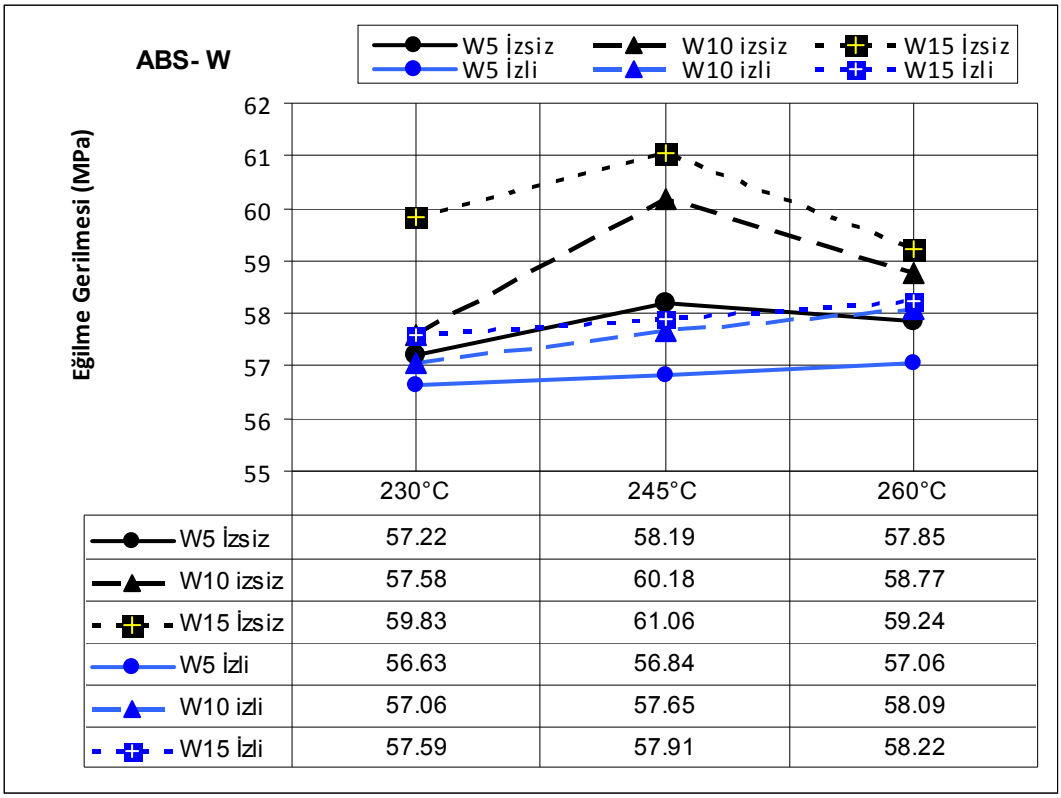
vermişti. Wollastonit dolgulu numunelerde ise 245°C sıcaklıkta en iyi çekme gerilimini verdiğini söyleyebiliriz. Orta proses sıcaklığı (245°C) dikkate alındığında en iyi çekme değerleri %5 dolgulu numunelerde görülmektedir. %5 dolgulu W için izsiz numune ile izli numune arasındaki çekme mukavemetindeki azalma oranı %8,61'dir. İzlinin yüksek sıcaklığı dikkate alındığında bu oran % 10.69'a yükselmektedir.



Şekil 5.29. ABS+W Birleşme İzsiz Eğilme Grafiği



Şekil 5.30. ABS+W Birleşme İzli Eğilme Grafiği



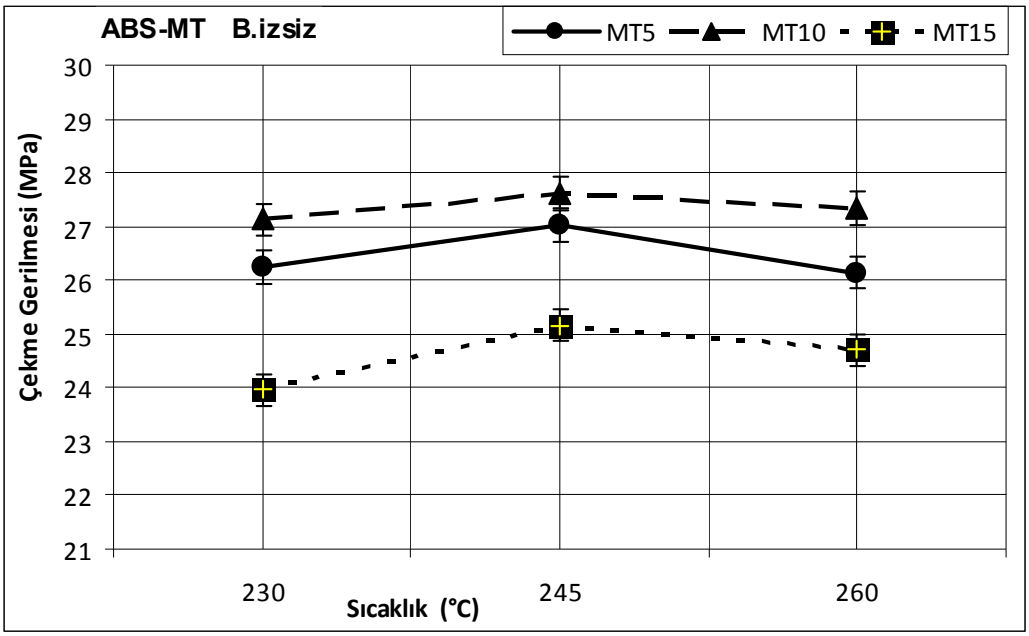
Şekil 5.31. ABS-W Eğme Genel Grafiği

Tablo 5.10.ABS içerisindeki wollastonit dolgusunun artması ile eğilme mukavemetinde gözlenen yüzdesel değişim

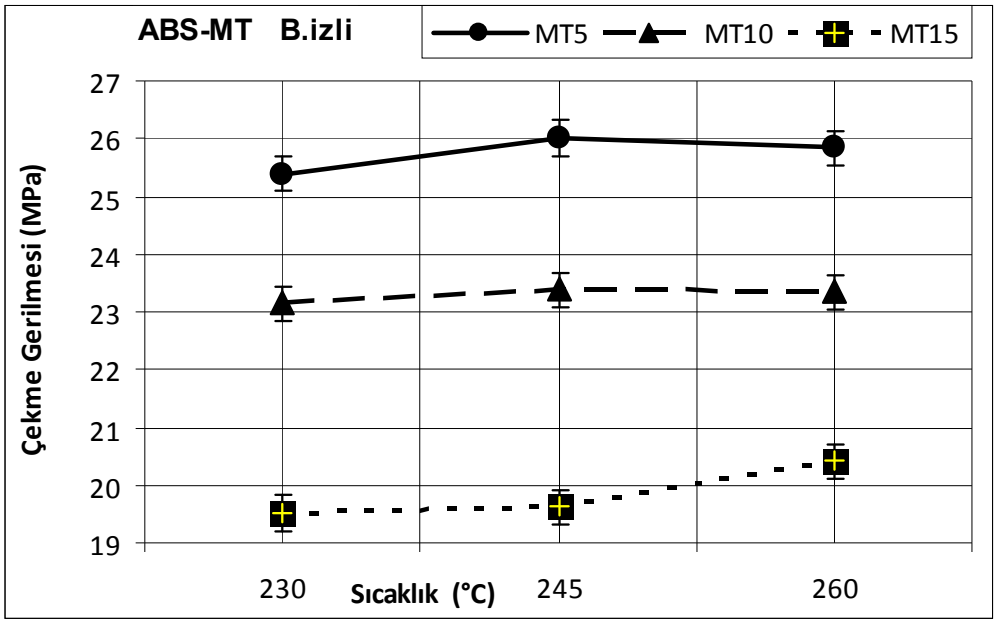
ABS+W		230°C	245°C	260°C
İZSİZ	%5ten %10a	-0.63	-3.42	-1.59
	%10dan %15e	-3.91	-1.46	-0.80
	%5ten %15e	-4.56	-4.93	-2.40
İZLİ	%5ten %10a	-0.76	-1.43	-1.81
	%10dan %15e	-0.93	-0.45	-0.22
	%5ten %15e	-1.70	-1.88	-2.03

ABS'in tüm numunelerinde wollastonit oranı arttıkça eğme mukavemetinin arttığı Şekil 5.31'de görülmektedir. Birleşme izsiz numuneler için en ideal sıcaklık 245°C iken izliler için en uygun sıcaklığın 260°C olduğu görülmektedir (Şekil 5.31). İzli bölgede proses sıcaklığının bir miktar düşüyor olması nedeniyle 260°C birleşme bölgesinde üç sıcaklık içerisinde en ideal eğilme gerilimini vermiştir. Orta proses sıcaklığı (245°C) dikkate

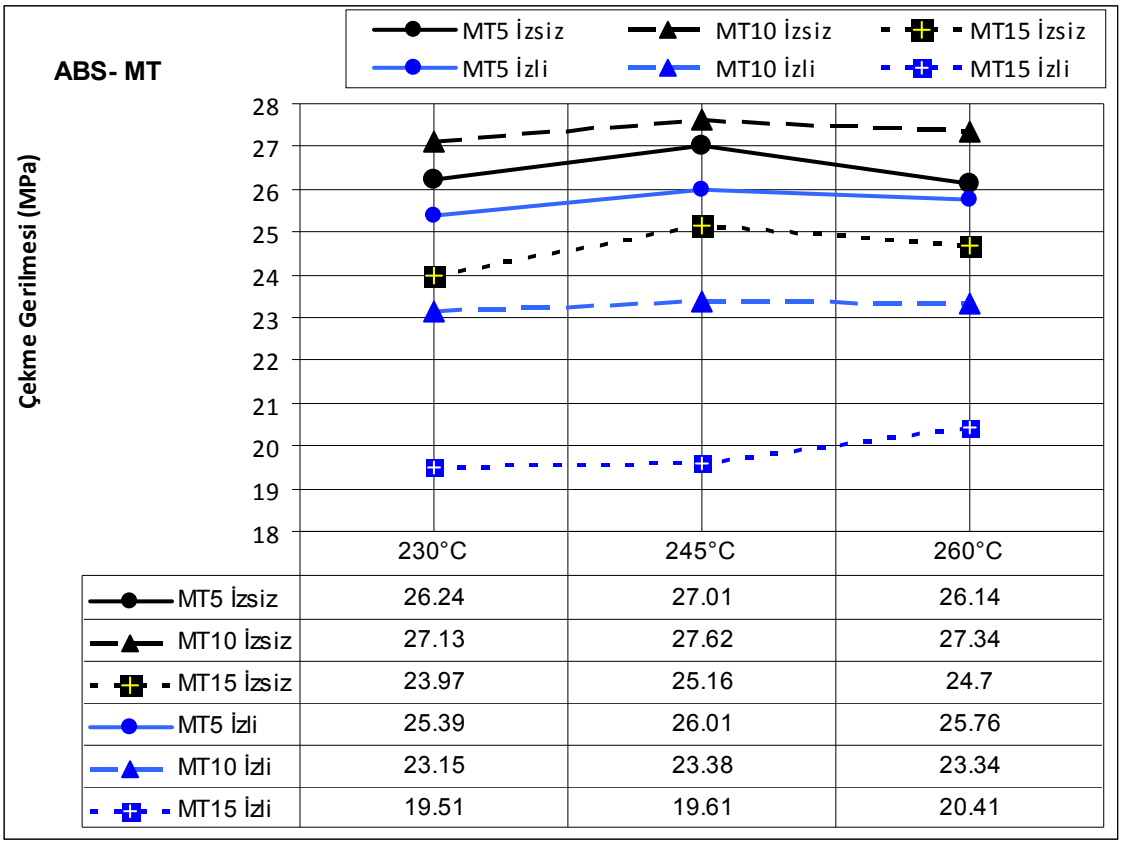
alındığında en iyi eğilme değerleri %15 dolgulu numunelerde görülmektedir. %15 dolgulu W için izsiz numune ile izli numune arasındaki eğilme mukavemetindeki azalma oranı %5.58'dir. İzlinin yüksek sıcaklığı dikkate alındığında bu oran %4.86 'e düşmektedir. (61,06'dan 57,65'e, 260 C de ise 58,09'a düşmektedir.)



Şekil 5.32. ABS+MT Birleşme İzsiz Çekme Grafiği



Şekil 5.33. ABS+MT Birleşme İzli Çekme Grafiği



	230°C	245°C	260°C
MT5 İzsiz	26.24	27.01	26.14
MT10 İzsiz	27.13	27.62	27.34
MT15 İzsiz	23.97	25.16	24.7
MT5 İzli	25.39	26.01	25.76
MT10 İzli	23.15	23.38	23.34
MT15 İzli	19.51	19.61	20.41

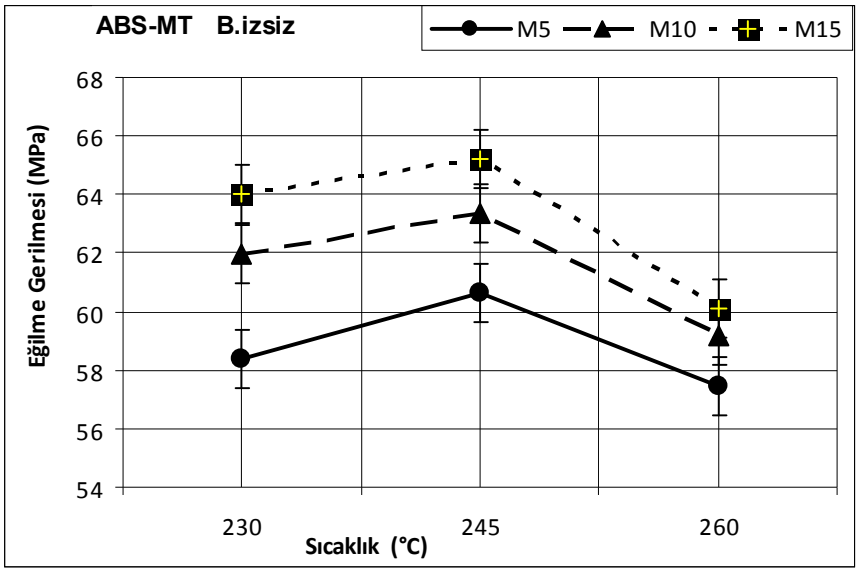
Şekil 5.34. ABS+MT Çekme Genel Grafiği

Tablo 5.11.ABS içerisindeki mika tozu dolgusunun artması ile çekme mukavemetinde gözlenen yüzdesel değişim

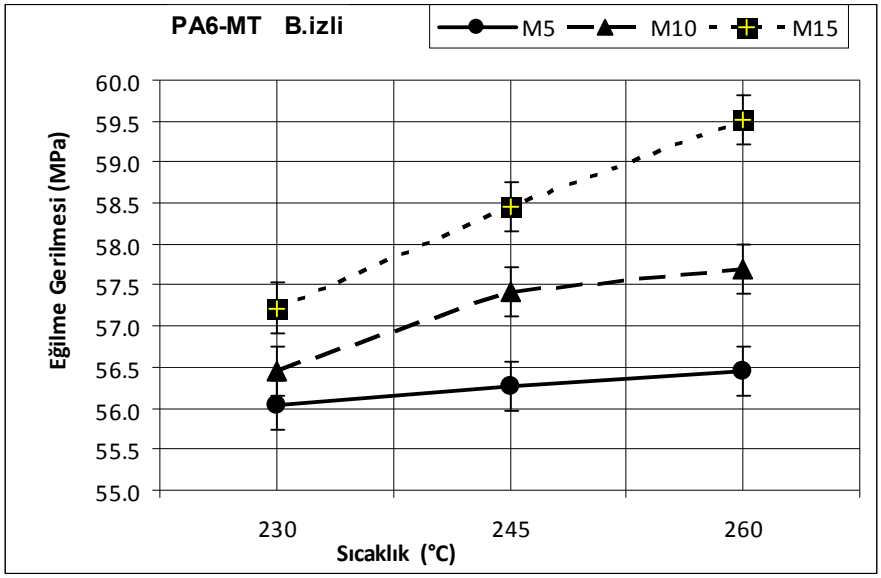
ABS+MT		230°C	245°C	260°C
İZSİZ	%5ten %10a	-3.39	-2.26	-4.59
	%10dan %15e	11.65	8.91	9.66
	%5ten %15e	8.65	6.85	5.51
İZLİ	%5ten %10a	8.82	10.11	9.39
	%10dan %15e	15.72	16.12	12.55
	%5ten %15e	23.16	24.61	20.77

Şekil 5.34'e bakıldığında ABS'nin MT içeren ve birleşme izsiz ve birleşme izli tüm numunelerinde en iyi çekme mukavemeti 245°C de görülmektedir. İzli numunelerde dolgu oranı arttığında çekme mukavemeti azaldığı için %5 dolgu oranı daha idealdir. İzli numunelerde %5 ve %10 MT dolgulu numuneler için 245 °C en iyi çekme gerilimini

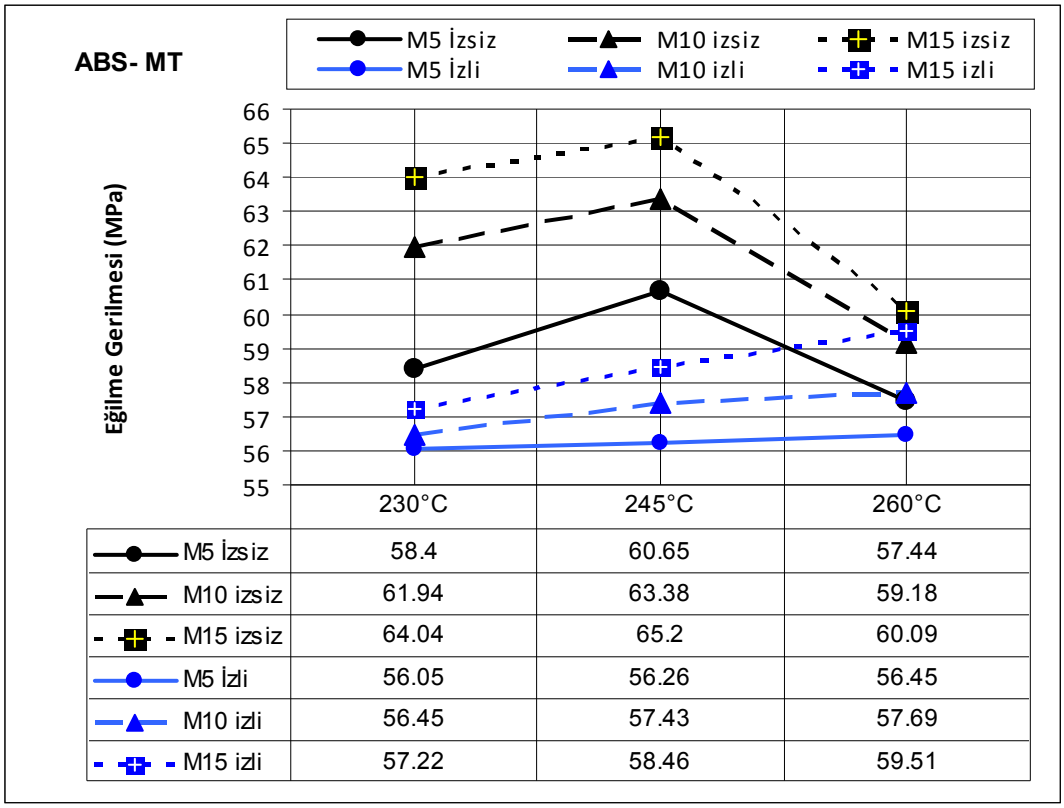
verirken %15 dolgulu ABS'te 260°C en ideal çekme gerilimini vermiştir. Bunun nedeni dolgu oranı arttıkça birleşme bölgesinin daha fazla sıcaklığa ihtiyaç duymasıdır. Orta proses sıcaklığı (245°C) dikkate alındığında izli numunelerde en iyi çekme değerleri %5 dolgulu numunelerde görülmektedir. %5 dolgulu MT için izsiz numune ile izli numune arasındaki çekme mukavemetindeki azalma oranı %5,83'dür. (27,62'den 26,01'e düşmektedir.)



Şekil 5.35. ABS+MT Birleşme İzsiz Eğilme Grafiği



Şekil 5.36. ABS+MT Birleşme İzli Eğilme Grafiği



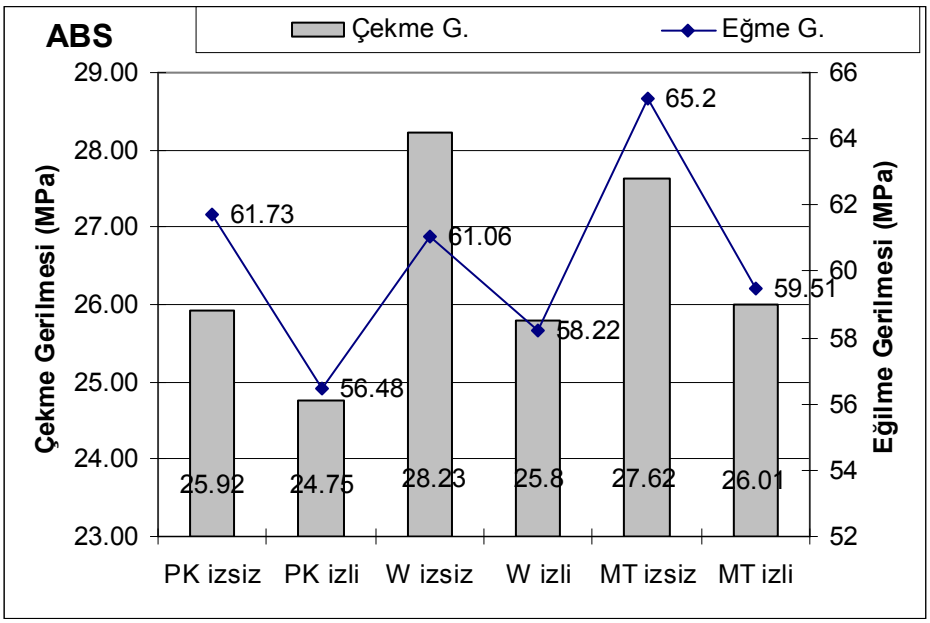
Şekil 5.37. ABS+MT Eğilme Genel Grafiği

Tablo 5.12.ABS içerisindeki mika tozu dolgusunun artması ile eğilme mukavemetinde gözlenen yüzdesel değişim

ABS+MT		230°C	245°C	260°C
İZSİZ	%5ten %10a	-6.06	-4.50	-3.03
	%10dan %15e	-3.39	-2.87	-1.54
	%5ten %15e	-9.66	-7.50	-4.61
İZLİ	%5ten %10a	-0.71	-2.08	-2.20
	%10dan %15e	-1.36	-1.79	-3.15
	%5ten %15e	-2.09	-3.91	-5.42

Şekil 5.37 incelendiğinde birleşme izli ve birleşme izsiz tüm numunelerde ABS içerisindeki MT oranı artıkça eğme mukavemetinin artığı görülmektedir. Bu yüzden %15 dolgu oranı %10 ve %5 dolgu oranına göre daha idealdir. Birleşme izsiz numunelerde 245°C de birleşme izlilerde 260°C de en iyi eğilme mukavemeti görülmektedir. Bunun

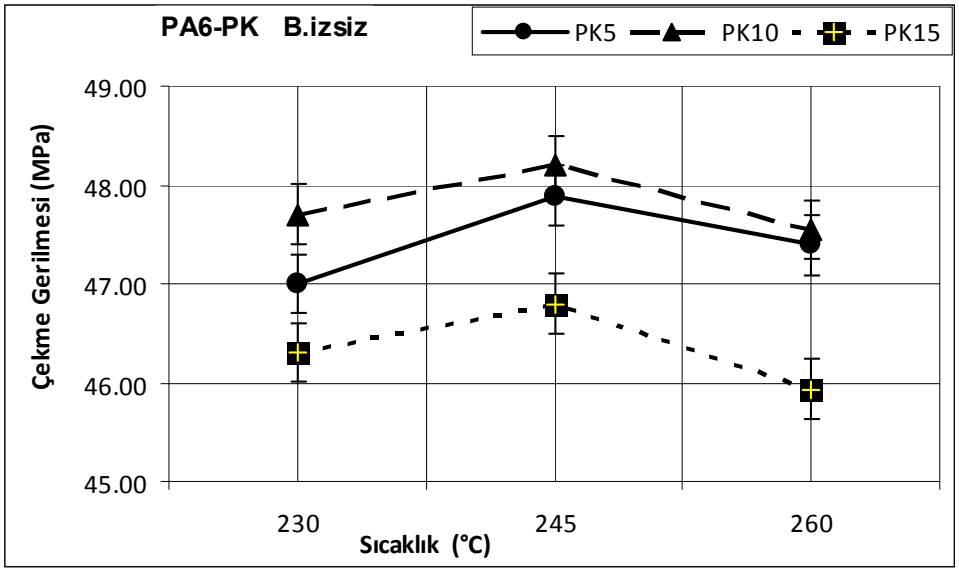
nedeni birleşme bölgesinin homojen yapıya ulaşabilmesi için daha yüksek sıcaklığa ihtiyaç duymasıdır. Orta proses sıcaklığı (245°C) dikkate alındığında en iyi eğilme değerleri %15 dolgulu numunelerde görülmektedir. %15 dolgulu MT için izsiz numune ile izli numune arasındaki çekme mukavemetindeki azalma oranı %10.34'dür. İzlinin yüksek sıcaklığı dikkate alındığında bu oran % 8.73'e düşmektedir. (65,20'den 58,46'ya, 260 C de ise 59,51'e düşmektedir.)



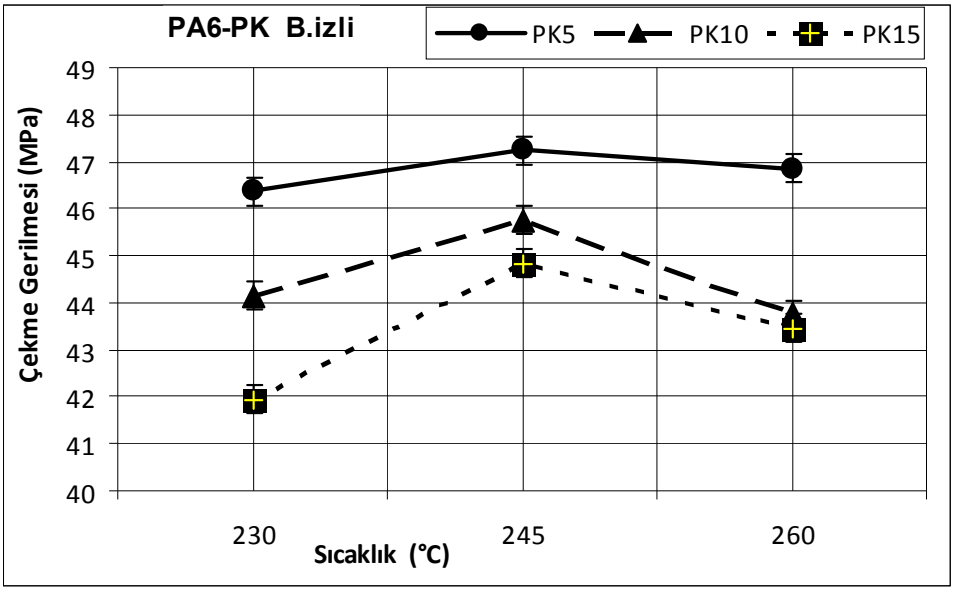
Şekil 5.38. ABS'de tüm dolgular için en iyi eğme ve çekme değerleri

Şekil 5.38. incelendiğinde; Birleşme izsiz numunelerde en iyi çekme mukavemetini wollastonit dolgulu ABS'te, en iyi eğilme mukavemetini ise mika tozu içeren ABS'de görülmektedir. Eğer oluşan kompozit malzeme aşırı çekmeye maruz kalacak ise ABS içerisine wollastonit, eğilmeye maruz kalacak ise ABS içerisine mika tozu kullanılabilir. İzli numunelerde wollastonit ve mika tozu içeren ABS'in eğilme değerleri birbirine yakın olduğundan aynı mekanik eğilme şartlarında kullanılabilirler.

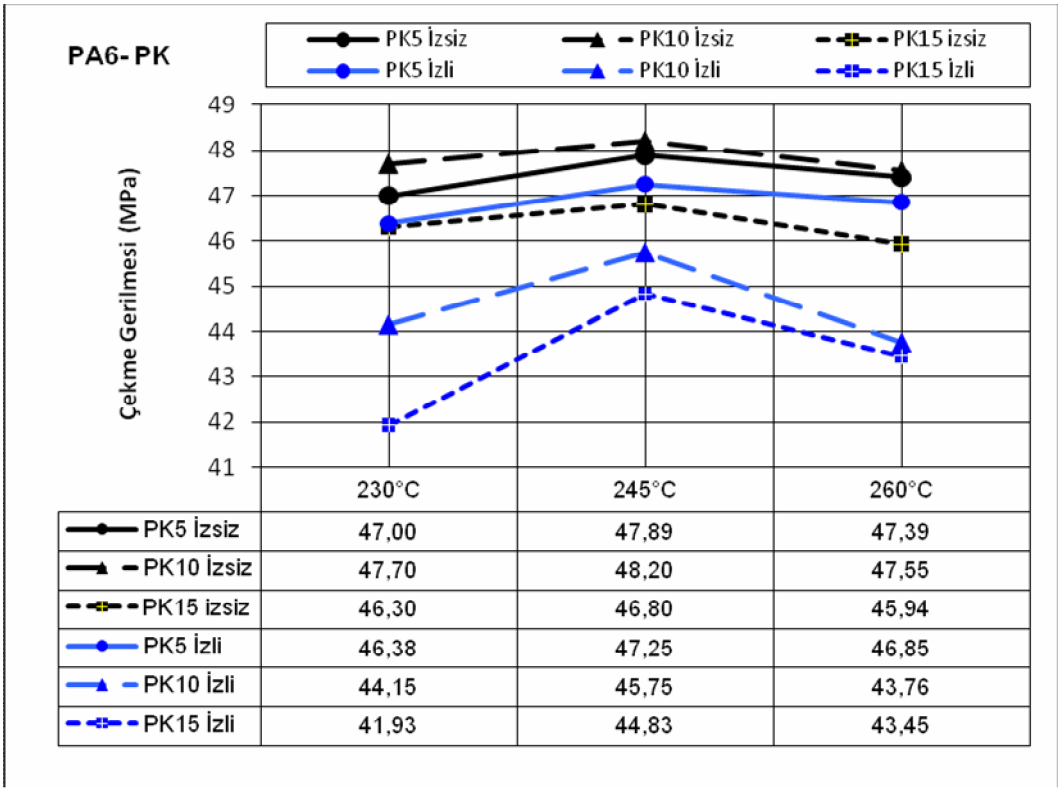
5.3 PA6'nın Çekme ve Eğme Testleri



Şekil 5.39.PA6 +PK Birleşme İzsiz Çekme Grafiği



Şekil 5.40.PA6 +PK Birleşme İzli Çekme Grafiği



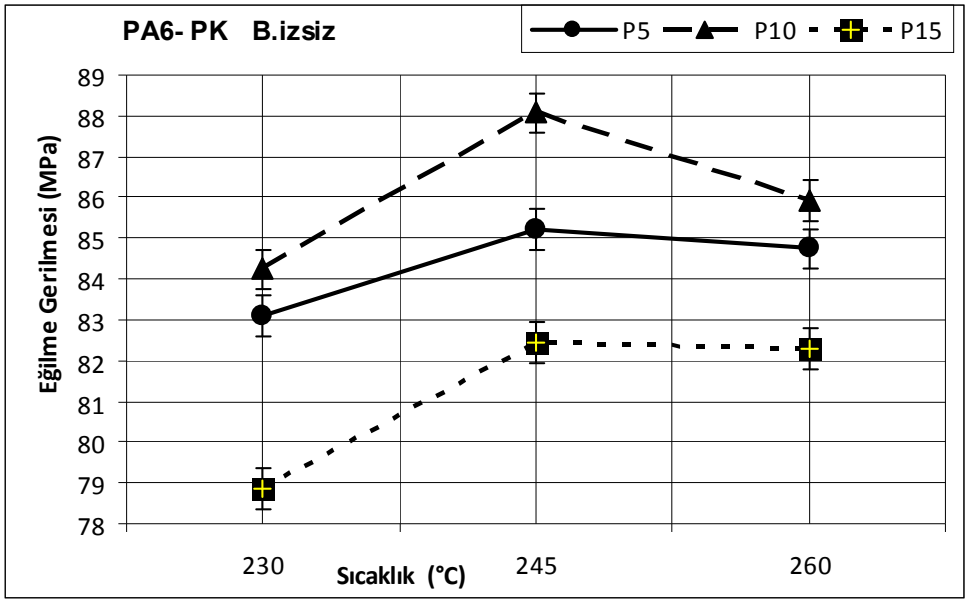
Şekil 5.41.PA6+PK Çekme Genel Grafiği

Tablo 5.13.Poliamid 6 içerisindeki pirinç kabuğu dolgusunun artması ile çekme mukavemetinde gözlenen yüzdesel değişim

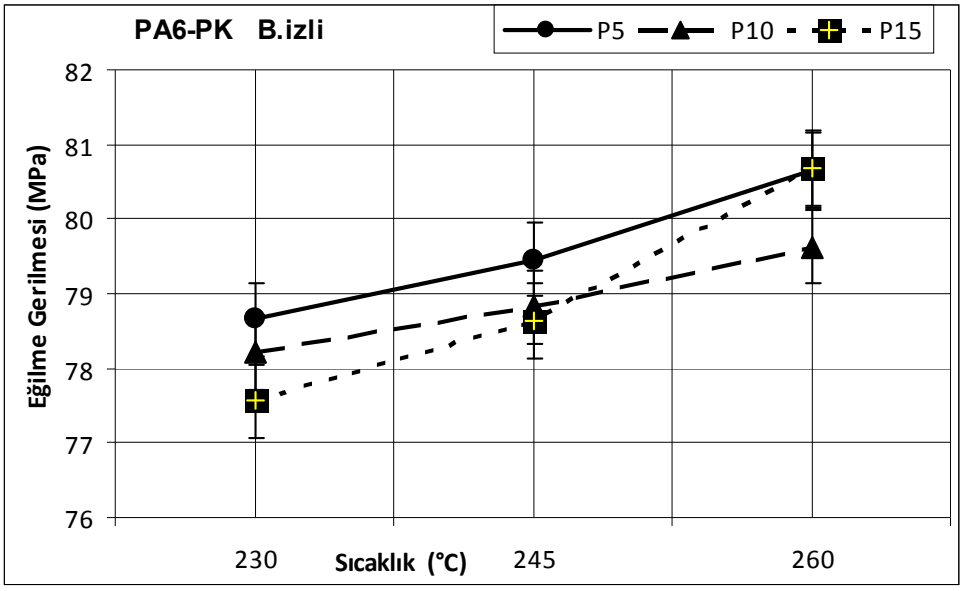
PA6+PK		230°C	245°C	260°C
İZSİZ	%5ten %10a	-1.49	-0.65	-0.34
	%10dan %15e	2.94	2.90	3.39
	%5ten %15e	1.49	2.28	3.06
İZLİ	%5ten %10a	4.81	3.17	6.60
	%10dan %15e	5.03	2.01	0.71
	%5ten %15e	9.59	5.12	7.26

Şekil 5.41'i inceleyecek olursak; PA6'nın birleşme izsiz numunelerinde en iyi çekme mukavemeti %10 PK dolgusunda ve 245°C de görmekteyiz. İzli numunelerde ise dolgu miktarı arttıkça çekme mukavemeti düştüğünden en iyi çekme mukavemeti %5'lik karışımda 245°C sıcaklıkta görülmektedir. Çekme için en ideal sıcaklığın üç sıcaklık arasında 245°C olduğunu söyleyebiliriz. Orta proses sıcaklığı (245°C) dikkate alındığında

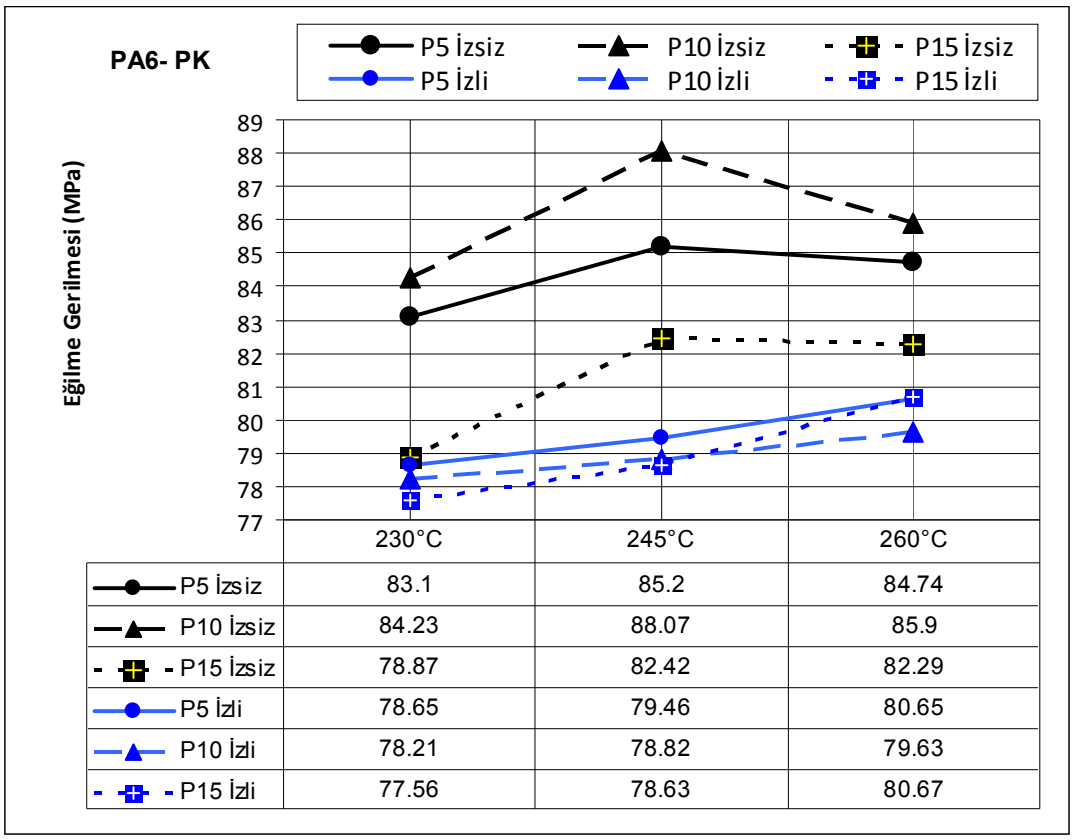
birleşme izli numunelerde en iyi çekme değerleri %5 dolgulu numunelerde görülmektedir. %5 dolgulu PK için izsiz numune ile izli numune arasındaki çekme mukavemetindeki azalma oranı %1.97'dir.



Şekil 5.42.PA6 +PK Birleşme İzsiz Eğme Grafiği



Şekil 5.43.PA6 +PK Birleşme İzli Eğme Grafiği



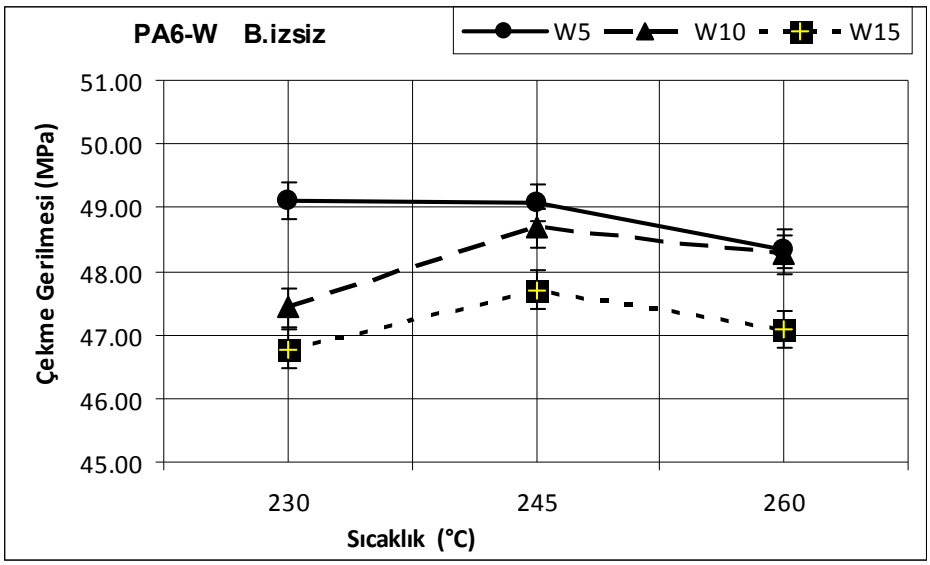
Şekil 5.44.PA6 +PK Eğilme Genel Grafiği

Tablo 5.14.Poliamid 6 içerisindeki pirinç kabuğu dolgusunun artması ile eğilme mukavemetinde gözlenen yüzdesel değişim

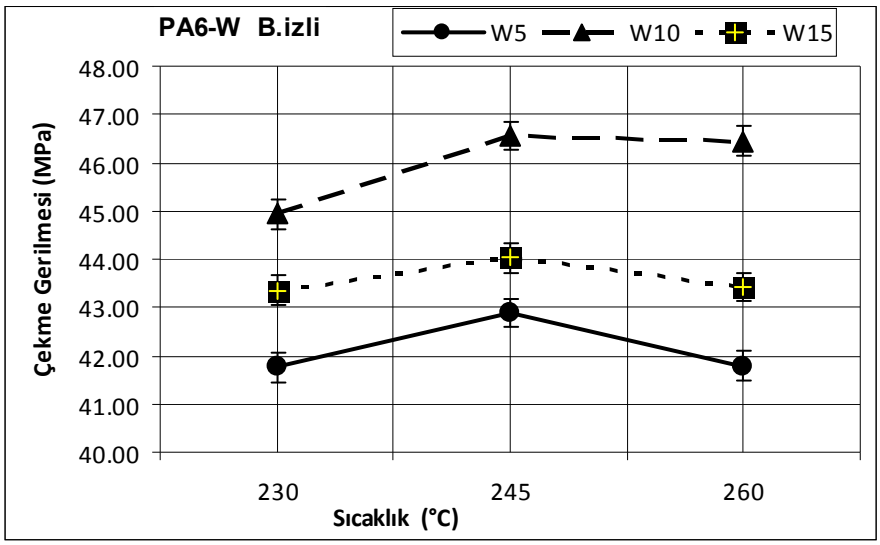
PA6+PK		230°C	245°C	260°C
İZSİZ	%5ten %10a	-1.36	-3.37	-1.37
	%10dan %15e	6.36	6.42	4.20
	%5ten %15e	5.09	3.26	2.89
İZLİ	%5ten %10a	0.56	0.81	1.26
	%10dan %15e	0.83	0.24	-1.31
	%5ten %15e	1.39	1.04	-0.02

Şekil 5.44'e baktığımızda birleşme izsiz numunelerde %10 PK dolgulu PA6 245°C en iyi eğilme mukavemetini göstermektedir. İzli numunelerde ise en iyi eğilme mukavemeti %5 dolgulu PA6 da gözlenirken , %10 ve %15 dolgulu PA6'nın 260°C'de eğilme

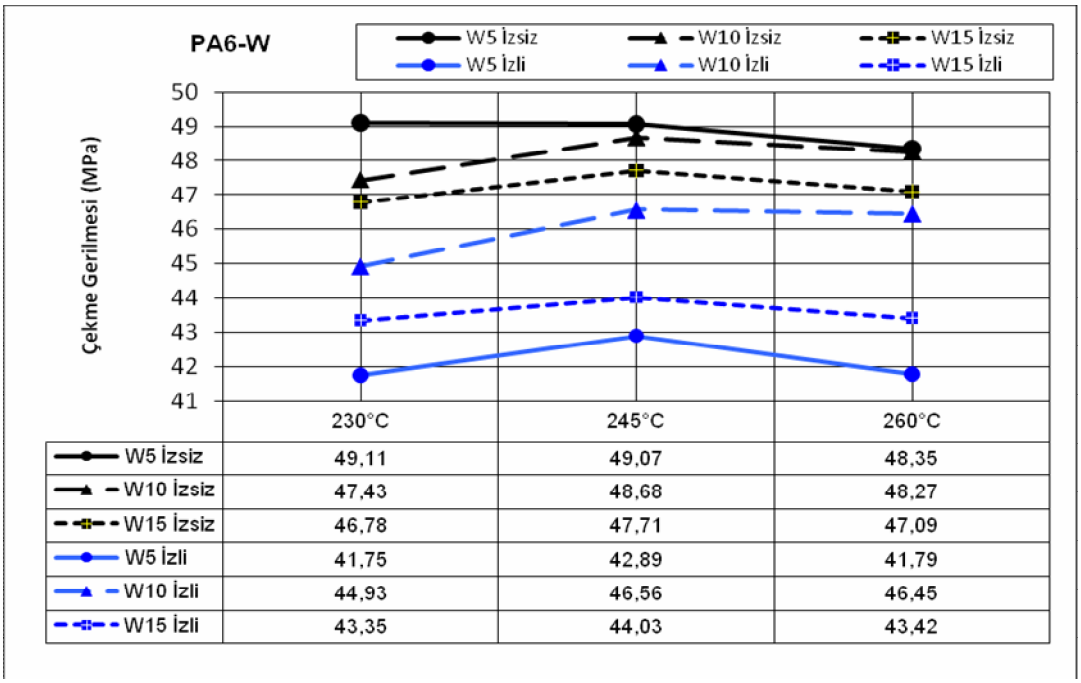
değerlerinin biraz daha arttığı görülmektedir. Bu da eğilme mukavemeti açısından sıcaklığın artması ile PA6'nın içerisine daha homojen yapıda ve daha fazla PK dolgusunun kullanılabileceğini göstermektedir. Orta proses sıcaklığı (245°C) dikkate alındığında birleşme izli numunelerde en iyi eğilme değerleri %5 dolgulu numunelerde, izsizde ise %10 dolgulu numunelerde görülmektedir. PK için izsiz numune ile izli numune arasındaki eğilme mukavemetindeki azalma oranı %9,78'dir. İzlinin yüksek sıcaklığı dikkate alındığında bu oran % 8,43'e düşmektedir.(88,07 den 79,46'ya, 260 C de ise 80,65'e düşmektedir.)



Şekil 5.45.PA6 +W Birleşme İzsiz Çekme Grafiği



Şekil 5.46.PA6 +W Birleşme İzli Çekme Grafiği



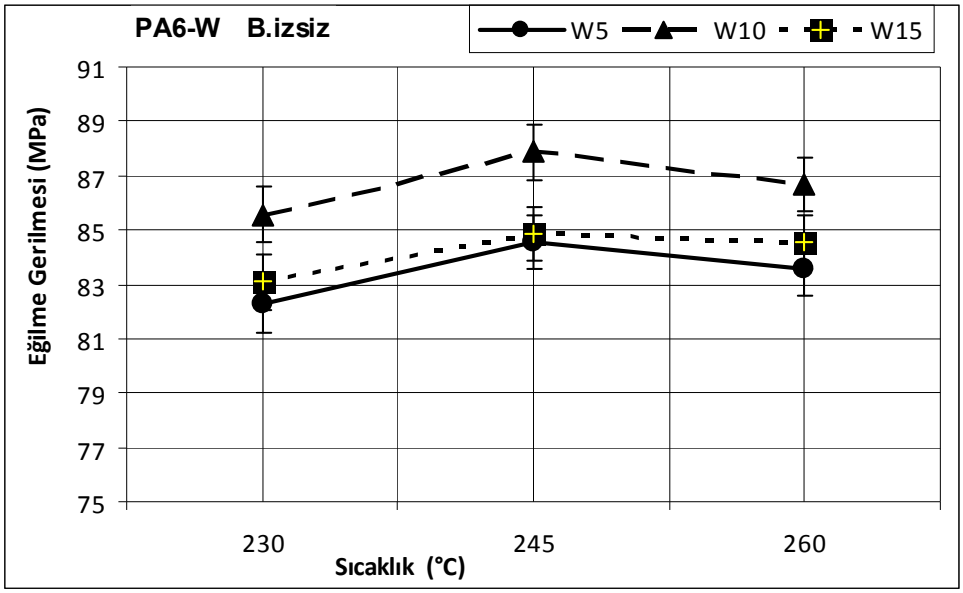
	230°C	245°C	260°C
W5 İzsiz	49,11	49,07	48,35
W10 İzsiz	47,43	48,68	48,27
W15 İzsiz	46,78	47,71	47,09
W5 İzli	41,75	42,89	41,79
W10 İzli	44,93	46,56	46,45
W15 İzli	43,35	44,03	43,42

Şekil 5.47.PA6 +W Çekme Genel Grafiği

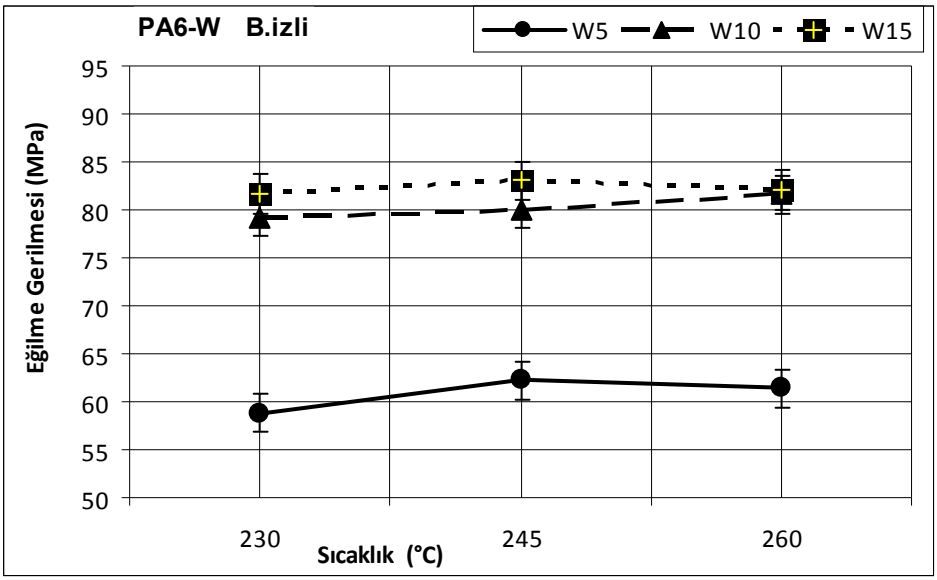
Tablo 5.15.Poliamid 6 içerisindeki wollastonit dolgusunun artması ile çekme mukavemetinde gözlenen yüzdesel değişim

PA6+W		230°C	245°C	260°C
İZSİZ	%5ten %10a	3.42	0.79	0.17
	%10dan %15e	1.37	1.99	2.44
	%5ten %15e	4.74	2.77	2.61
İZLİ	%5ten %10a	-7.62	-8.56	-11.15
	%10dan %15e	3.52	5.43	6.52
	%5ten %15e	-3.83	-2.66	-3.90

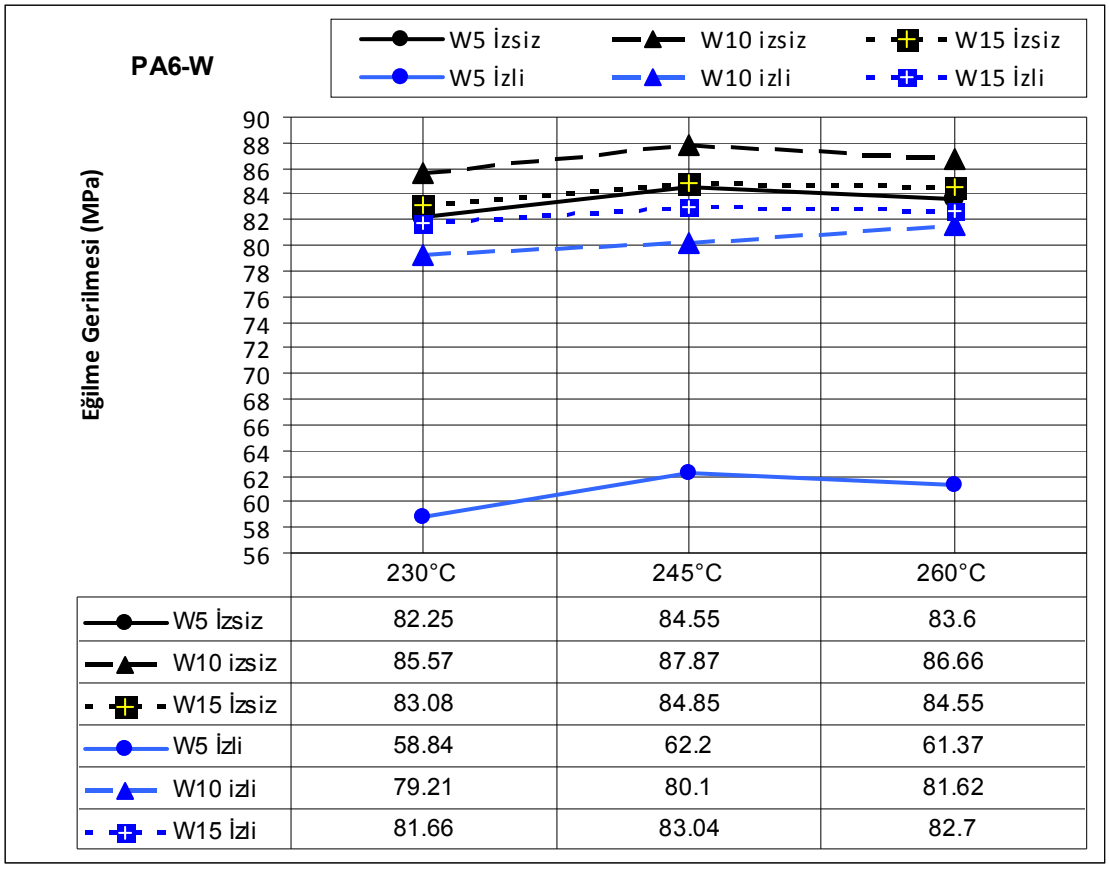
Şekil 5.47'ye bakıldığında; PA6+W bileşiğinde en iyi çekme mukavemeti birleşme izsiz numunelerde %5 dolgulu, izli numunelerde ise %10 dolgulu wollastonit karışımında 245°C de gerçekleşmektedir. Orta proses sıcaklığı (245°C) dikkate alındığında W için izsiz numune ile izli numune arasındaki eğilme mukavemetindeki azalma oranı %5,12'dir.



Şekil 5.48.PA6+W Birleşme İzsiz Eğilme Grafiği



Şekil 5.49.PA6+W Birleşme İzli Eğilme Grafiği



	230°C	245°C	260°C
W5 İzsiz	82.25	84.55	83.6
W10 izsiz	85.57	87.87	86.66
W15 İzsiz	83.08	84.85	84.55
W5 İzli	58.84	62.2	61.37
W10 izli	79.21	80.1	81.62
W15 İzli	81.66	83.04	82.7

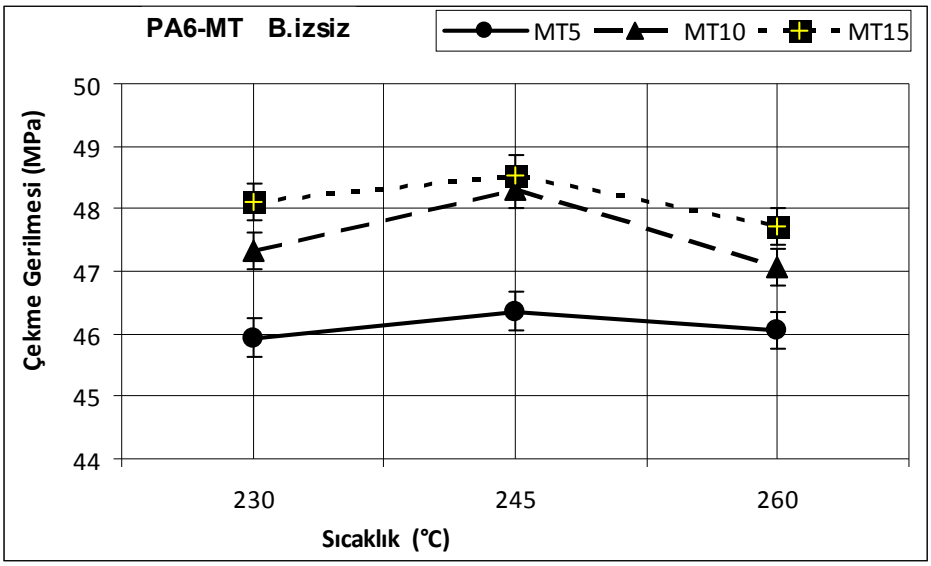
Şekil 5.50.PA6+W Eğilme Genel Grafiği

Tablo 5.16.Poliamid 6 içerisindeki wollastonit dolgusunun artması ile eğilme mukavemetinde gözlenen yüzdesel değişim

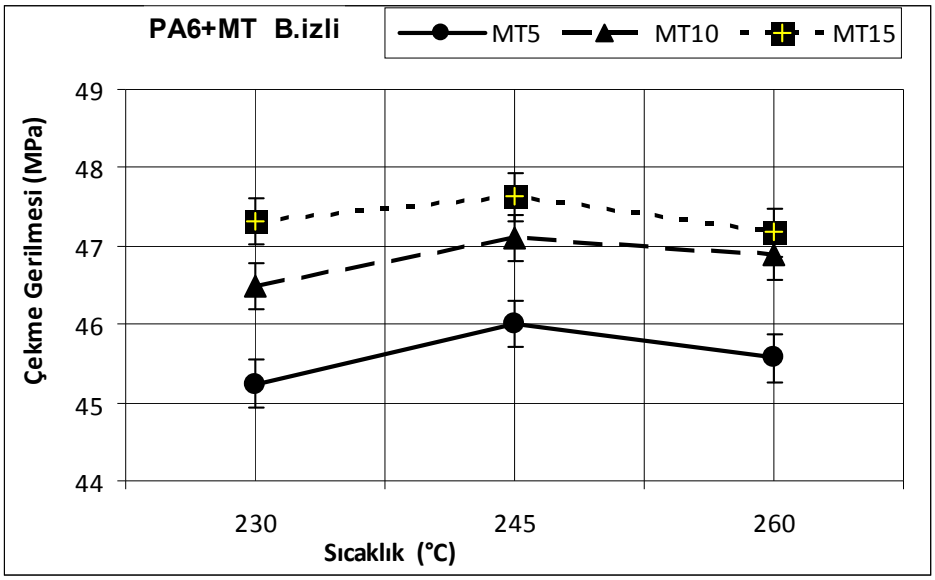
PA6+W		230°C	245°C	260°C
İZSİZ	%5ten %10a	-4.04	-3.93	-3.66
	%10dan %15e	2.91	3.44	2.43
	%5ten %15e	-1.01	-0.35	-1.14
İZLİ	%5ten %10a	-34.62	-28.78	-33.00
	%10dan %15e	-3.09	-3.67	-1.32
	%5ten %15e	-38.78	-33.50	-34.76

Şekil 5.50 incelendiğinde; birleşme izsiz numunelerde en iyi eğilme mukavemetini %10 W katkılı PA6 245°C göstermiştir. İzli numunelerde ise en iyi eğilme mukavemetini

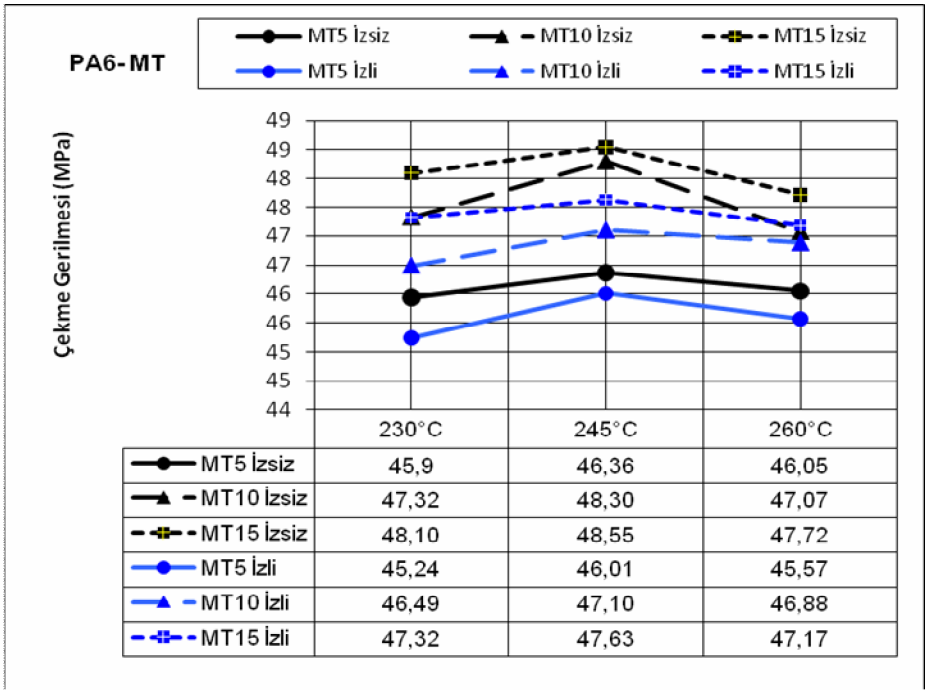
%15 W içeren PA6 yine 245°C de göstermiştir. Orta proses sıcaklığı (245°C) dikkate alındığında izsiz numune ile izli numune arasındaki eğilme mukavemetindeki azalma oranı %5,50'dir. (87,87'den 83,04'e düşmektedir.)



Şekil 5.51.PA6 +MT Birleşme İzsiz Çekme Grafiği



Şekil 5.52.PA6 +MT Birleşme İzli Çekme Grafiği



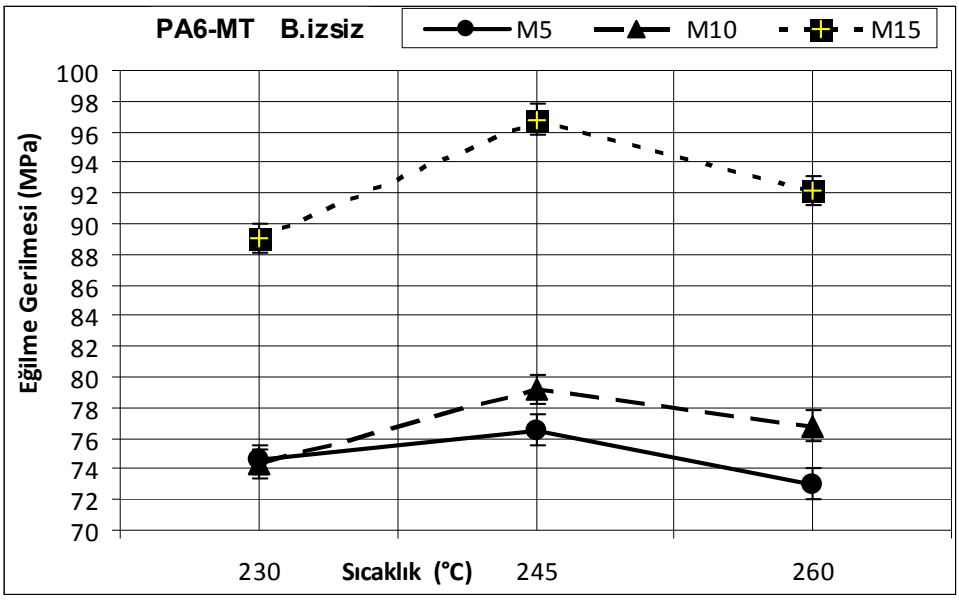
	230°C	245°C	260°C
MT5 İzsiz	45,9	46,36	46,05
MT10 İzsiz	47,32	48,30	47,07
MT15 İzsiz	48,10	48,55	47,72
MT5 İzli	45,24	46,01	45,57
MT10 İzli	46,49	47,10	46,88
MT15 İzli	47,32	47,63	47,17

Şekil 5.53.PA6 +MT Çekme Genel Grafiği

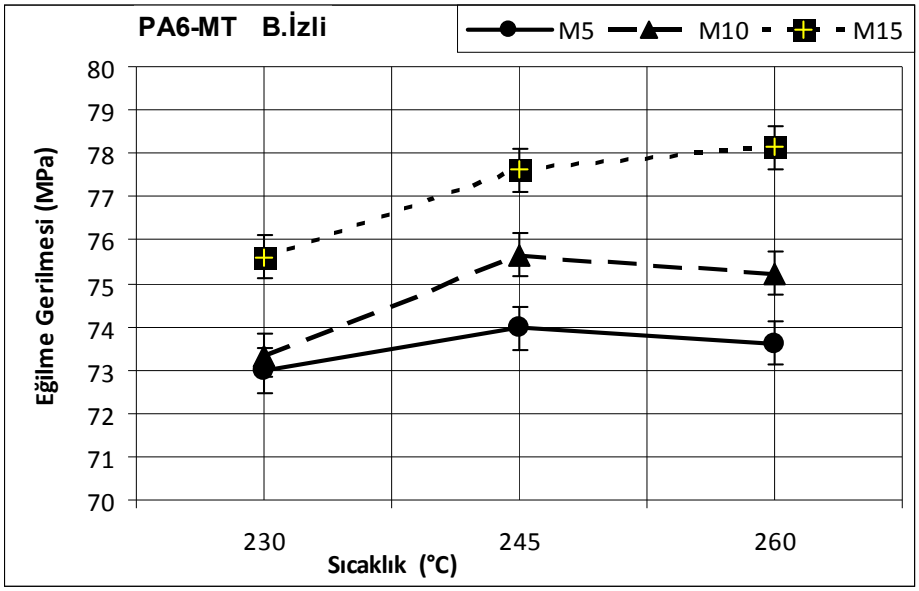
Tablo 5.17.Poliamid 6 içerisindeki mika tozu dolgusunun artması ile çekme mukavemetinde gözlenen yüzdesel değişim

PA6+MT		230°C	245°C	260°C
İZSİZ	%5ten %10a	-3.00	-4.18	-2.21
	%10dan %15e	-1.65	-0.52	-1.38
	%5ten %15e	-4.70	-4.72	-3.63
İZLİ	%5ten %10a	-2.76	-2.37	-2.87
	%10dan %15e	-1.79	-1.13	-0.62
	%5ten %15e	-4.60	-3.52	-3.51

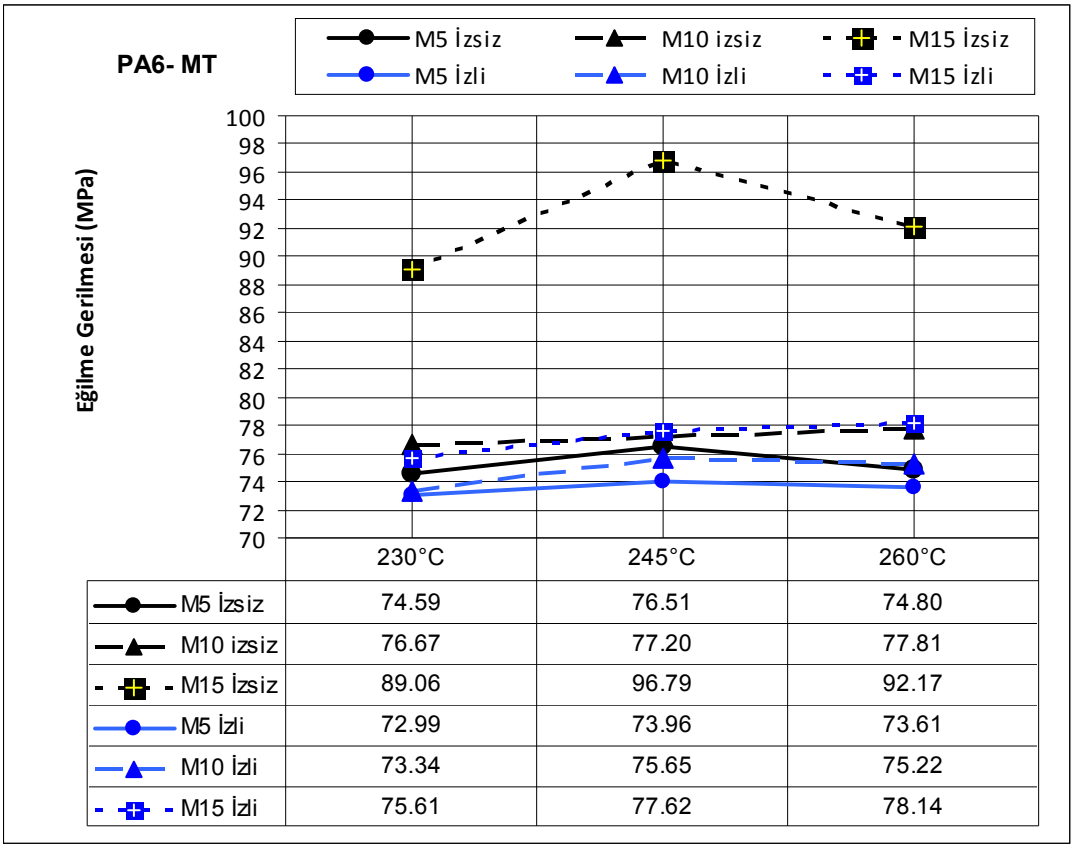
PA6'nın MT içeren tüm çekme numunelerinde en iyi çekme mukavemeti, 245°C sıcaklıkta ve %15 MT içeriğinde gerçekleşmiştir. Diğer dolgulardan farklı olarak mika tozu PA6 içerisindeki miktarı arttıkça daha iyi çekme gerilmesine sebebiyet vermiştir. Orta proses sıcaklığı (245°C) dikkate alındığında birleşme izli numunelerde en iyi çekme değerleri %15 dolgulu numunelerde görülmektedir. %15 dolgulu MT için izsiz numune ile izli numune arasındaki çekme mukavemetindeki azalma oranı %1.90'dır. (48,55'den 47,63'e düşmüştür.)



Şekil 5.54.PA6 +MT Birleşme İzsiz Eğilme Grafiği



Şekil 5.55.PA6 +MT Birleşme İzli Eğilme Grafiği



	230°C	245°C	260°C
M5 İzsiz	74.59	76.51	74.80
M10 izsiz	76.67	77.20	77.81
M15 İzsiz	89.06	96.79	92.17
M5 İzli	72.99	73.96	73.61
M10 İzli	73.34	75.65	75.22
M15 İzli	75.61	77.62	78.14

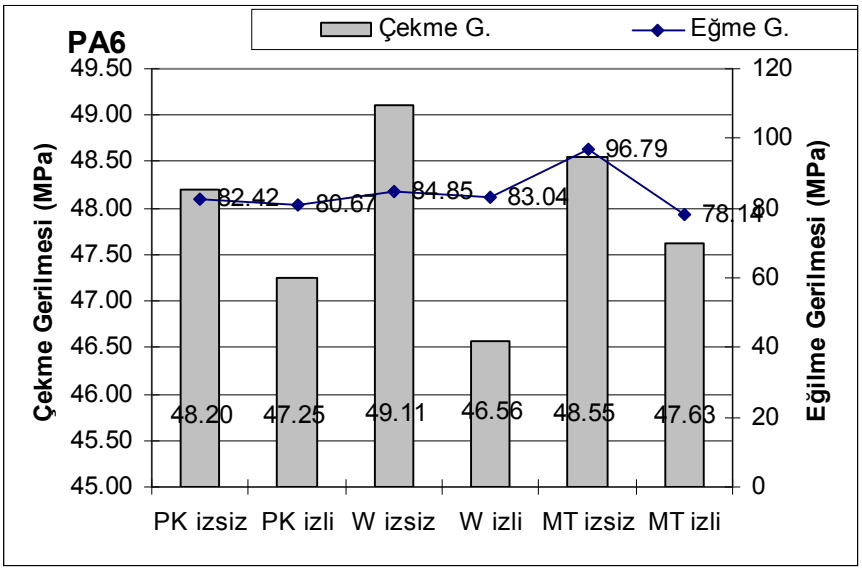
Şekil 5.56.PA6 -MT Eğme Genel Grafiği

Tablo 5.18.Poliamid 6 içerisindeki mika tozu dolgusunun artması ile eğilme mukavemetinde gözlenen yüzdesel değişim

PA6+MT		230°C	245°C	260°C
İZSİZ	%5ten %10a	-2.79	-0.90	-4.02
	%10dan %15e	-16.16	-25.38	-18.46
	%5ten %15e	-19.40	-26.51	-23.22
İZLİ	%5ten %10a	-0.48	-2.29	-2.19
	%10dan %15e	-3.10	-2.60	-3.88
	%5ten %15e	-3.59	-4.95	-6.15

Birleşme izsiz numunelerde en iyi eğilme mukavemeti 245°C de %15 MT dolgulu PA6'da, izli numunelerde ise en iyi eğme mukavemeti 260°C de %15 MT içeren PA6 da gerçekleşmiştir. İzsiz tüm numunelerde ideal sıcaklık 245°C iken izli numunelerde %5 ve %10 dolgu miktarı için 245°C sıcaklık yeterli gelmiştir. Dolgu oranı %15 e çıktığında akışın hızlanarak birleşme bölgesinde daha homojen yapının oluşması 260°C

gerçekleşmiş bu sıcaklıkta ideal eğilme gerilimi gözlenmiştir. Orta proses sıcaklığı (245°C) dikkate alındığında birleşme izli numunelerde en iyi eğilme değerleri %15 dolgulu numunelerde görülmektedir. %15 dolgulu MT için izsiz numune ile izli numune arasındaki eğilme mukavemetindeki azalma oranı %19.27'dir. İzlinin yüksek sıcaklığı dikkate alındığında bu oran % 19.81'e düşmektedir. (96,79 dan 78,14'e, 260 C de ise 77,62'ye düşmektedir.)

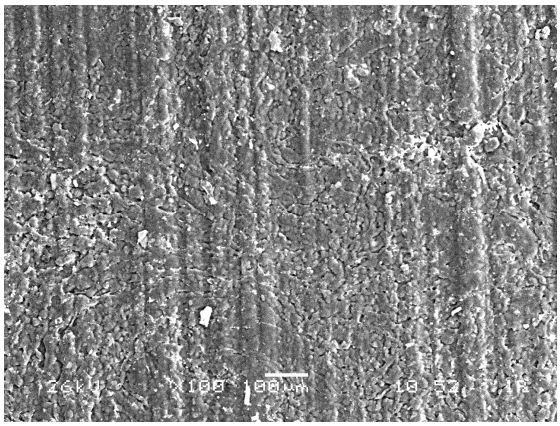


Şekil 5.57. PA6'da tüm dolgular için en iyi eğme ve çekme değerleri

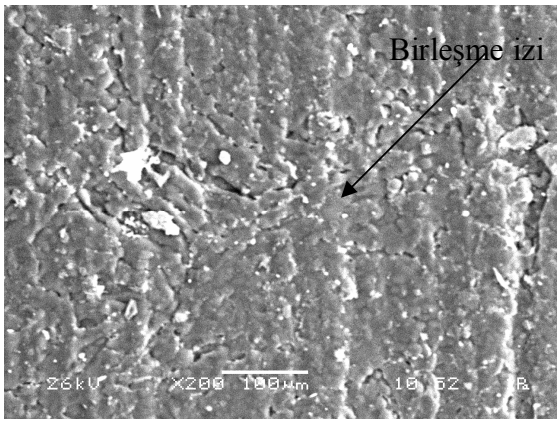
Şekil 5.57 incelenecek olursa birleşme izsiz numunelerde en iyi çekme mukavemeti wollastonit içeren PA6 da, en iyi eğilme mukavemeti mika tozu içeren PA6 da görülmektedir. Eğer oluşan kompozit malzeme aşırı çekmeye maruz kalacak ise wollastonit, eğilmeye maruz kalacak ise mika tozu dolgulu PA6 kullanılması daha uygun görülmektedir. İzli numunelerde ise kompozit malzeme aşırı çekme kuvvetinin bulunduğu ortamda kullanılacak ise kullanıcıya mika tozu dolgulu PA6, aşırı eğmeye maruz kalacak ise wollastonit katkılı PA6 önerilebilir.

Mika tozu ve wollastonit katkılı polimerlerin mekanik değerleri birçok deneyde pirinç kabuğu katkılı polimerlerinkinden yüksek çıksa da aradaki fark 3-4 MPa'lı geçmediğinden pirinç kabuğu katkılı polimerler diğer polimerlerin kullanıldığı çoğu yerde kullanılabilirler. Ayrıca pirinç kabuğunun atık malzeme olması ve diğerlerine oranla dışarıdan kolayca ulaşılabilmesi bizim için ayrı bir avantajdır.

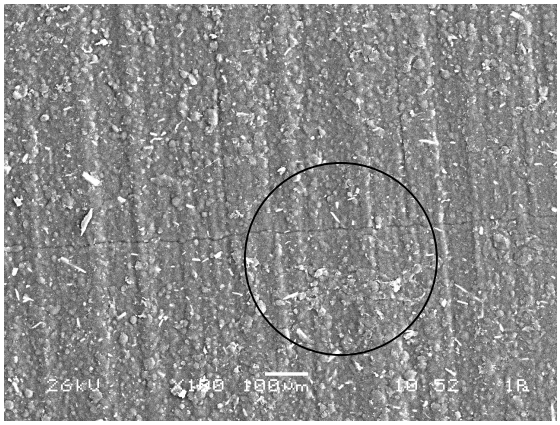
5.4. ABS Numunelerin SEM Görüntüleri



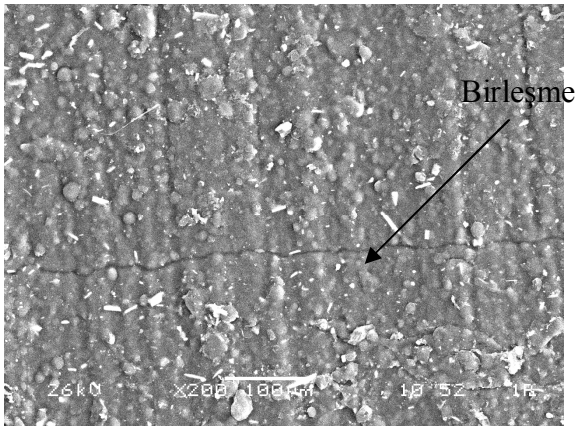
(a)



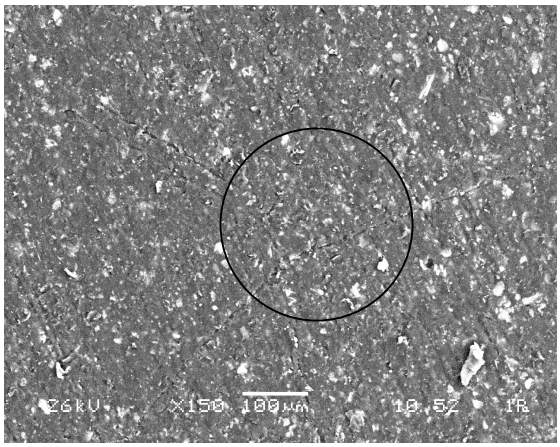
(b)



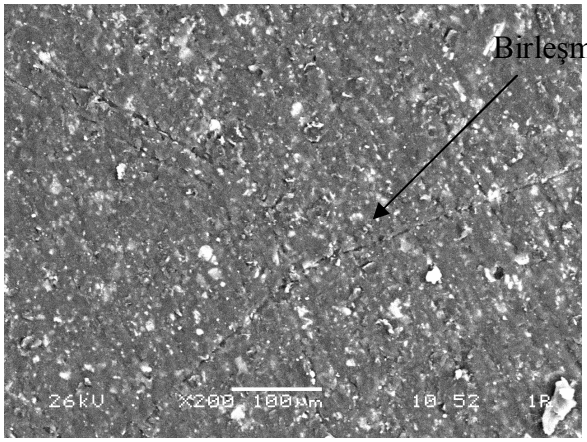
(c)



(d)



(e)



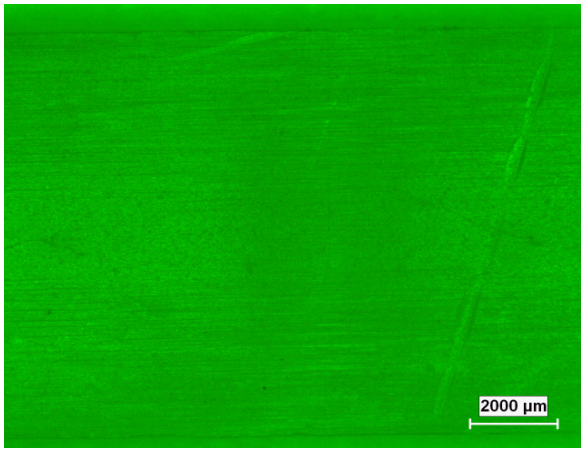
(f)

Şekil 5.58. ABS kompozit numunelerin birleşme izi bölgesine ait SEM görüntüleri

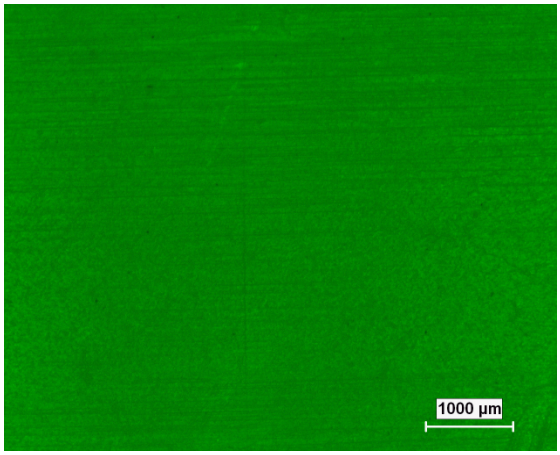
(a)ABS+ %15PK 230˚C, x100 (b) ABS+ %15PK 230˚C, x200 (c)ABS+%5W 245˚C, x100

(d) ABS+%5W 245˚C, x200 (e)ABS+%15MT245˚C,x150 (f)ABS+%15MT 245˚C, x200

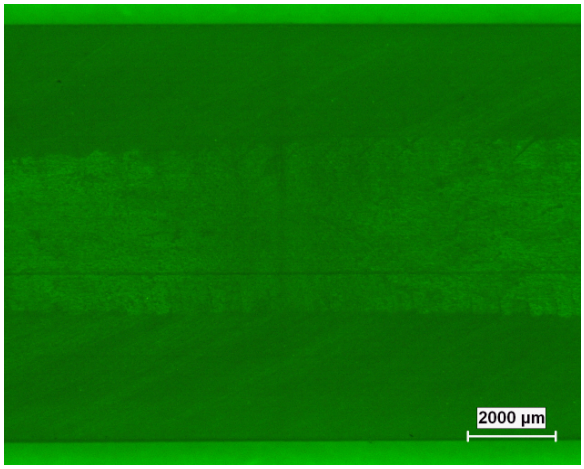
5.5.İzli Numunelerin Stereoskop Makro Görüntüleri



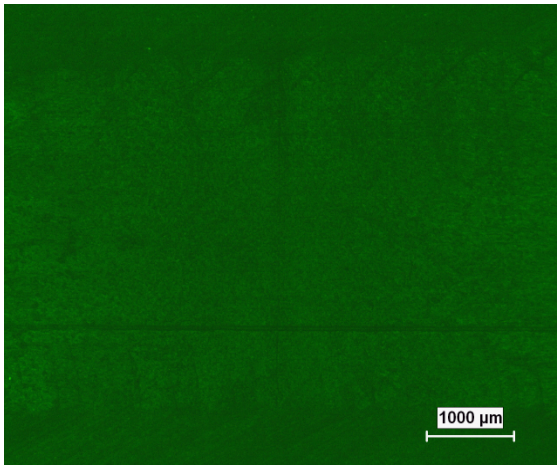
(a)



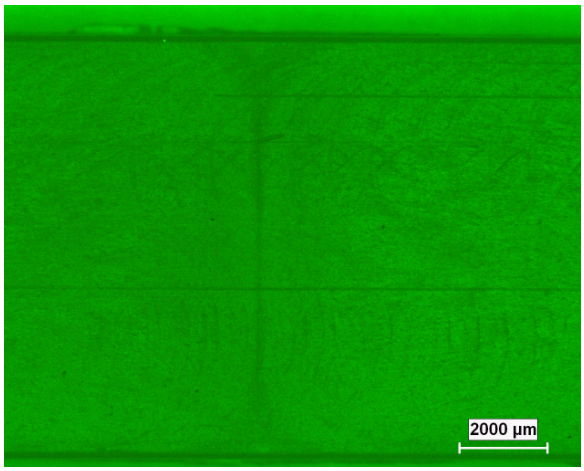
(b)



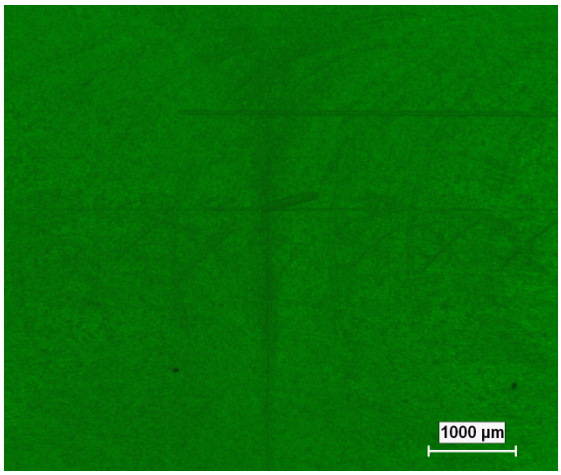
(c)



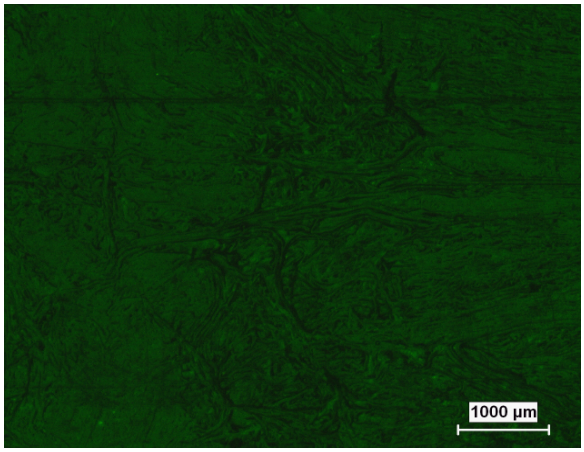
(d)



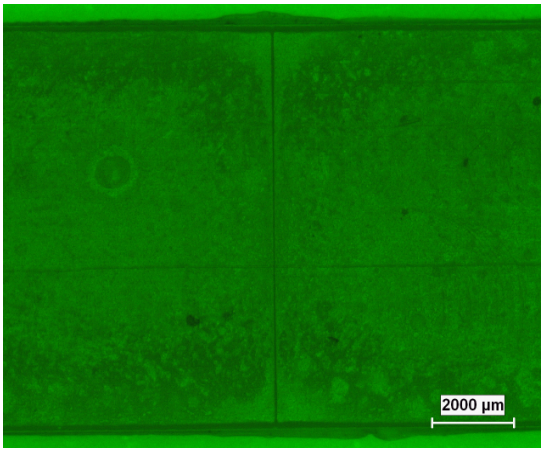
(e)



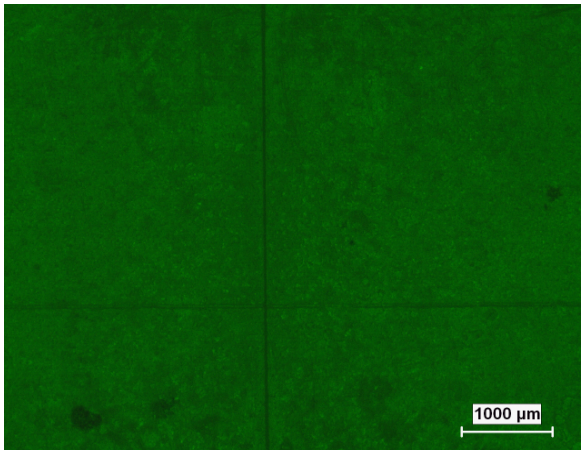
(f)



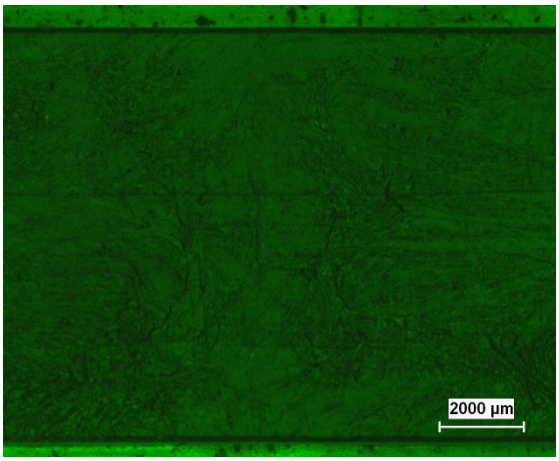
(g)



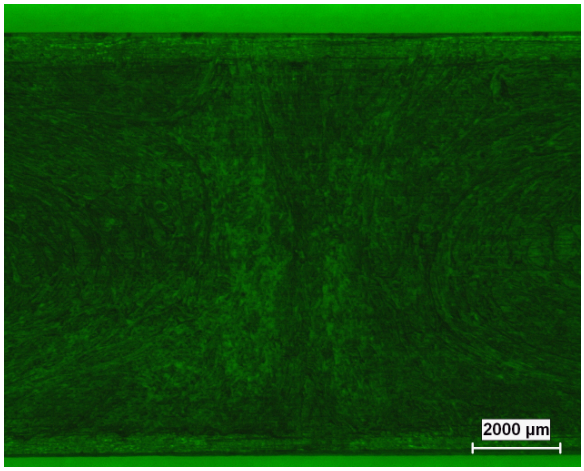
(h)



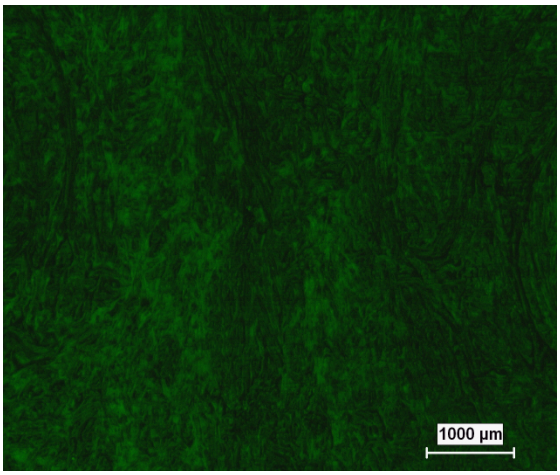
(ı)



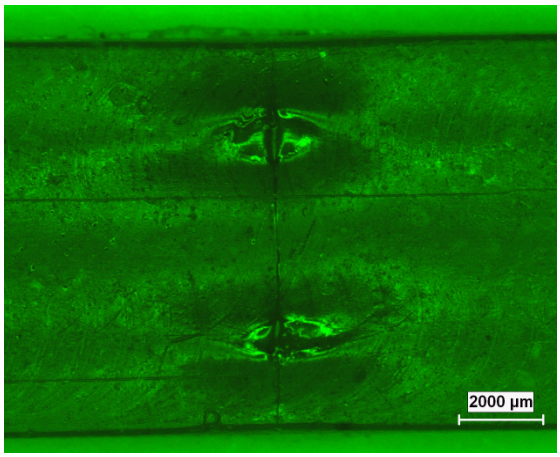
(i)



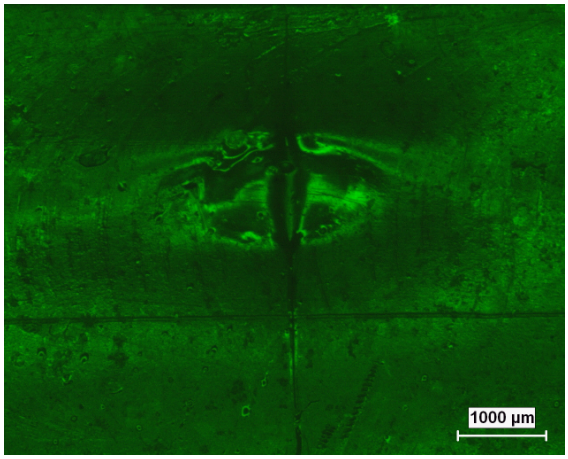
(j)



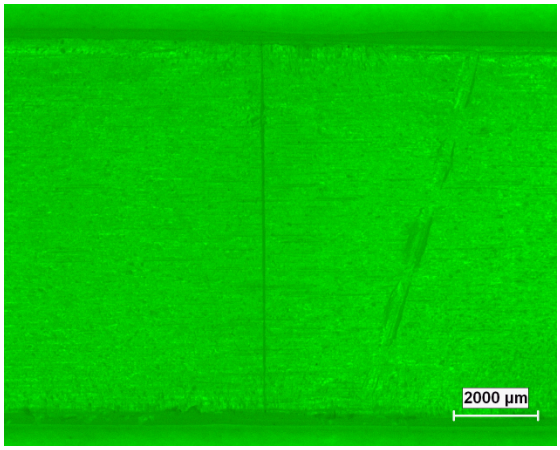
(k)



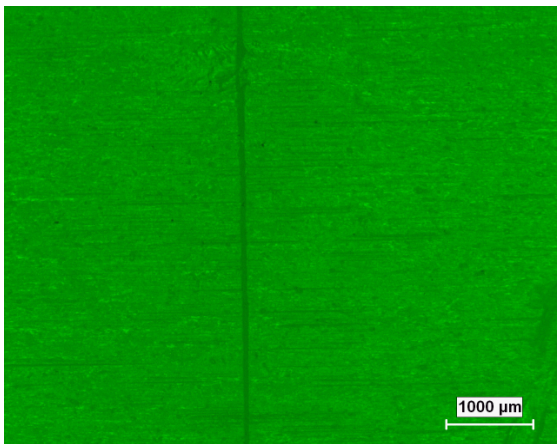
(l)



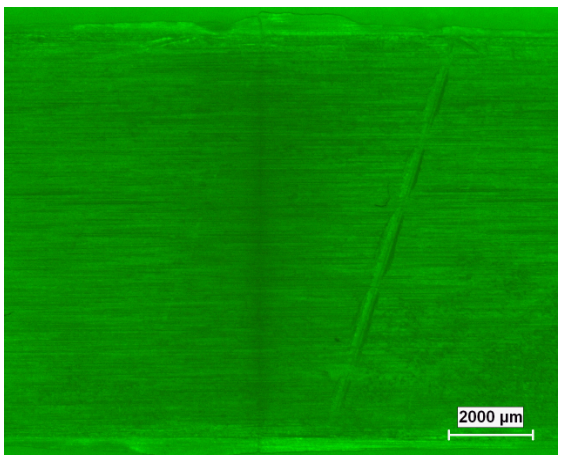
(m)



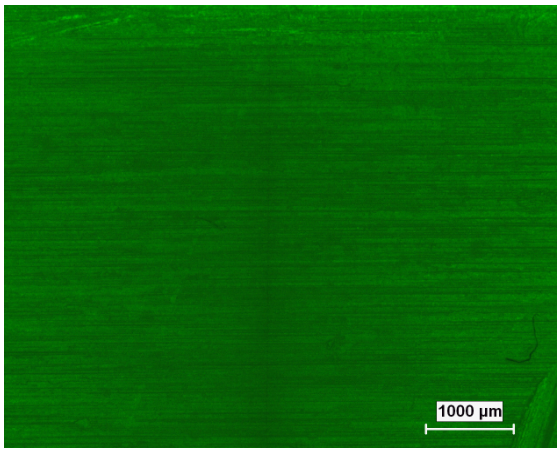
(n)



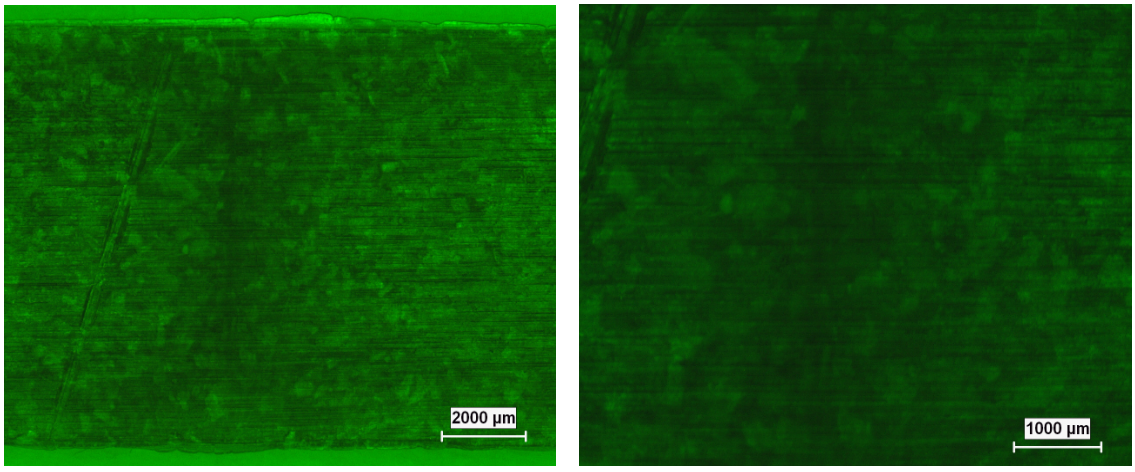
(o)



(ö)



(p)



(r) (s)

Şekil 5.59.Numunelerin birleşme izi bölgesine ait stereoskop makro görüntüleri

(a)ABS+ %15W 250˚C, x5 (b) ABS+ %15W 250˚C, x10 (c)ABS+%15MT 245˚C, x5
(d)ABS+%15MT 245˚C, x10 (e)ABS+%5MT245˚C,x5 (f)ABS+%5MT 245˚C, x10
(g)PA6+5PK 245˚C, x10 (h) PA6+15MT 230˚C, x5 (ı) PA6+15MT 230˚C, x10
(i) PA6+15PK 245˚C, x5 (j) PA6+10PK 260˚C, x5 (k) PA6+10PK 260˚C, x10
(l)YYPE+ %5PK 210˚C, x5 (m) YYPE+ %5PK 210˚C, x10 (n) YYPE+ %15W 250˚C, x5
(o) YYPE+ %15W 250˚C, x10 (ö)YYPE+%5MT 210˚C,x10 (p) YYPE+%5MT 210˚C,x5
(r) YYPE+%15PK 250˚C,x5 (s) YYPE+%15PK 250˚C,x10

BÖLÜM 6. TARTIŞMA VE ÖNERİLER

6.1.Tartışmalar

Jian ve arkadaşları yapmış oldukları çalışma ile PP içerisine %(0-70) oranında wollastonit karıştırmışlar mekanik özelliklerin ise dolgu oranının %50 ve üzerine çıkması halinde düştüğünü belirtmişlerdir. Fakat yapılan çalışma göstermiştir ki dolgu oranı arttıkça eğilme mukavemetinde artarken çekme mukavemeti hızla düşmektedir.

Jarvela ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada wollastonit ve mika tozunun polimerler içerisinde diğer dolgulara oranla daha homojen bir yapıda karışarak mekanik özellikleri iyileştirdiğini savunmuşlardır. Çalışmalarındaki mekanik özellikler incelendiğinde en iyi sonucu %10 un altındaki dolgular göstermektedir. Sonuçlar karşılaştırıldığında elde ettiğimiz sonuçlarla benzerlik göstermektedir.

Wong ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada dolgu miktarının artması ile kompozit malzemenin akışkanlığının azaldığını savunmuşlardır. Polimerlerde sıcaklığın artması akışkanlığı artırmaktadır. Çalışmada dolgu miktarı artışı ile mekanik değerlerin düşmesinin nedeni malzeme içerisinde ki homojen yapının dolgudaki artışla birlikte bozulmasıdır. Yaptığımız çalışmada da sıcaklığın artırılması ile akışkanlığı artan polimer malzemelerde daha iyi sonuçlar gözlenmiştir.

Ersoy ve arkadaşları, polipropilen (PP), poliamid-6 (PA6) ve talktan oluşan bir üçlü karışıma sahip kompozitin birleşme izi özellikleri ve morfolojisini incelemişlerdir. Çekmeye maruz kalan numunelerin birleşme izi dayanımı açısından dolgu düzeylerinin uygunluğunu ve etkilerini araştırmışlardır. Talk dolgusu, PP ve PA malzemelerde birleşme izi dayanımlarında düşüş eğilimine rağmen PPPA kompozit malzemelerdeki birleşme izlerinin dayanımı üzerinde olumlu bir etkisi olduğunu görmüşlerdir. Wollastonit,mika tozu ve pirinç kabuğu dolguları da farklı proses sıcaklığında birleşme bölgesinde farklı mekanik değer gösterdiğinden sonuçlarımız bu çalışmayı doğrular niteliktedir.

Seowve arkadaşları, yapmış oldukları çalışmalarda birleşme bölgelerinin iyileşmesini etkileyen üç faktörün kalıp sıcaklığı ve enjeksiyon hızı ve proses sıcaklığı olduğunu ifade etmişlerdir. Yapılan çalışmada değişken olarak proses sıcaklığı kullanılmıştır.Sıcaklık artışı ile birleşme bölgesinin mekanik değerlerinin iyileştiği görülmektedir.

Chena ve arkadaşları, bir enjeksiyonda kalıplanmış parça için birleşme izinin pozisyonunu kontrol etmek için bulanık mantığı başarıyla uygulamışlardır. Deney sonucunda birleşme izi tahmin edilen bölgede görülmüştür. Fakat kompozit malzemelerde bu tahmini yapmak için dolgunun polimer içerisindeki tahmini akışkanlığının bilinmesi gerekir.Bir diğer hususta dolgu miktarı ve proses sıcaklığının artışı akışkanlığı değiştiren farklı faktörlerdir.Örneğin %5 ve %10 oranındaki pirinç kabuğu dolgulu polimerlerin akışkanlıkları birbirinden farklıdır.Dolgu miktarının artışı akışkanlığı düşüreceğinden polimer istenilen bölgede birleşmeyecektir.Bu yüzden kompozit malzemelerde birleşme izinin tahmini deneyler sonucunda gözlenmelidir.

Solymossy ve arkadaşları, enjeksiyonda kalıplanmış PP kompozitin birleşme izi özelliklerini incelemişlerdir. Bu çalışmada farklı fiber oranlarının birleşme izli ve izsiz numunelerin mekanik özelliklerine etkisini üç farklı proses sıcaklığı ve tutma basıncında incelemişlerdir.

Çalışmada kullanılan dolgular değişse de gerek birleşme izli gerek birleşme izsiz numunelerde benzer mekanik değerlerin gözlenmemesinin nedeni birleşme izli numunelerin çoğunlukla daha yüksek proses sıcaklığına ihtiyaç duymasıdır.

Yapılan çalışmada kullanılan üç termoplastik malzemeye üç farklı dolgu maddesi kullanılmış olup birleşme izli ve izsiz çekme ve eğilme deneyleri karşılaştırılmıştır.YYPE malzeme için en iyi çekme ve eğilme sonuçları, sırasıyla W,MT, ve PK'da görülmeltedir.

ABS malzeme için en iyi çekme sonuçları sırasıyla W,MT ve PK, eğilmede ise MT,PK ve MT'de görülmektedir.

PA6 malzeme için en iyi çekme sonuçları sırasıyla;W,MT ve PK'da, eğilmede ise sırasıyla MT,W, ve PK 'da görülmektedir.Yüzde oranları ise Tablo 6.1'de verilmektedir.

Malzemeler	En İyi	İyi	Orta	Mukavemet
YYPE	%10 W	%10 MT	%5 PK	Çekme Gerilimi
	%5 W	%15 MT	%15 PK	Eğilme Gerilimi
ABS	%5 W	%5 MT	%5 PK	Çekme Gerilimi
	%15 MT	%15 PK	%15 W	Eğilme Gerilimi
PA6	%10 W	%15 MT	%5 PK	Çekme Gerilimi
	%10 MT	%15 W	%15 PK	Eğilme Gerilimi

6.2 Öneriler

- Daha sonraki yapılacak çalışmalar için aşağıdaki öneriler verilmiştir.
- Proses sıcaklıkları sabit tutularak kalıp sıcaklıklarının birleşme izine etkileri incelenebilir.
- Enjeksiyon basıncı ve ütüleme basıncının birleşme izine etkileri araştırılabilir.
- Kalıpta bekleme süresinin etkisi incelenebilir.
- Farklı dolgu ve katkı malzemelerinin birleşme izine etkileri çalışılabilir.
- Dolgu malzemelerinin tane büyüklüğü değiştirilerek oluşan izin etkileri araştırılabilir.
- Enjeksiyon kalıp tasarımında yolluk ve akış üzerine optimizasyon çalışmaları yapılabilir.
- Farklı mekanik testler uygulanarak örneğin çentikli ve çentiksiz darbe testi, burulma testi vb. birleşme izine etkileri karşılaştırılabilir.
- Sıcak ve normal yolluklu numunelerdeki birleşme izi farkı araştırılabilir.

KAYNAKLAR

[1] http://www.bilgininadresi.net/Madde/36523/=plastikler Erişim Tarihi:08.03.2009

[2] DPT, 2001. Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, Plastik Ürünleri Sanayi Özel İhtisas Komisyonu Raporu, DPT:2547-ÖİK:563, Ankara.

[3] Siriwardena, S., Ismail, H., Ishıaku,U., S., The Effect of Filler Loading And Curing Agent Concentrastion On Rheoligal Properties of Polypropylene/Ethylene-Propylene-Dıene-Terpolymer/With Rice Husk Ash Thermoplastic Elastomer Ternary Composites, School of Materials and Mineral Resources Engineering, University Sains, Malaysia, 2001.

[4] Jilken, L.; Malhammar, G.; Selden, R.: "The Effect of Mineral Fillers on Impact and Tensile Properties of Polypropylene", Polymer Testing, 10 (1991) 329-344

[5] Jian, S.; Gending, J.; Yuanfu, H.: "A New Method for Surface Modification of Wollastonite", J.Mater. Sci. Lett., 11 (1992) 409-410

[6] Jarvela, P.A.; Jarvela, P.K.: "Multicomponent Compounding of Polypropylene", J.Mater. Sci., 31 (1996) 3853-3860

[7] Chu, J.; Rumao, L.; Coleman, B.: "Scratch and Mar Resistance of Filled Polypropylene Materials", Polym. Eng. Sci., 38 (1998) 1906-1914

[8] Wong, T.L.; Barry, C.M.F.; Orroth, S.A.: "The Effects of Filler Size on the Properties of Thermoplastic Polyolefin Blends", J. Vinyl Add. Technol., 5 (1999) 235-240

[9] Kostrzewski, W.; Elbon, L.; O'Dell, R. D.; Franzoi, E.: "Solid Thermoplastic Surfacing Material", US Patent, US 5 856 389, Jan. 5 (1999)

[10] Qiu, Y.; Batchelor, S.D.; Jack, P.R.; McCord, M.G.: "Estimation of the Axial Tensile Modulus of a Particle-Reinforced Composite Fiber with Variable Radius", Compos. Sci.Technol., 60 (2000) 2731-2737

[11] Kim, S.-W.; Kim, Y.-W.; Chae, K.-S.: "Polypropylene Resin Composition with Improved Surface Hardness and Scratch Resistance Properties", US Patent, US2004/0082696 A1, Apr. 29 (2004)

[12] Smit, I.; Musil, V.; Svab, I.: "Effects of EPDM and Wollastonite on Structure of Isotactic Polypropylene Blends and Composites", J. Appl. Polym. Sci., 91 (2004) 4072-4081

[13] Dasari, A.; Sarang, S.; Misra, R.D.K.: "Strain Rate Sensitivity of Homopolymer Polypropylenes and Micrometric Wollastonite-Filled Polypropylene Composites", Mater. Sci. Eng., A368 (2004) 191-204

[14] Ming-Rui Meng, Qiang Dou,A modified model predictions and experimental results of weld line,january 2009

[15] Upinder Pal Singha, Bidyut Kumar Biswasb, Bidhan Chandra Rayb,Weld line strench of polyethlene blend, january 2009

[16] Caner Yilmaz , Turan Korkmaz,Characteryzation and analysis of weld lines on micro injection moulded parts,November 2010

[17] Zha M. at all, "Numerical Simulation of the Mould-Filling Process in Resin-Transfer Moulding" , Composites Science and Technology, Volume 60, Issue 6, May 2000

[18] Burçoğlu M. ve Ünsalan B., "Plastik İsleme Teknikleri ve Kalite Kontrol" , TMMOB, Kimya Müh. Odası Ekim 1989

[19] Pecorini T. J. , "A Fracture Mechanics Approach to Weld-Line Fracture inan Amorphous Cellulosa Acetate Propionate" , Polimer Engineering And Science, February 1997

[20] Ersoy, Osman G., Nugay Nihan, A new approach to increase weld line strength of incompatible polymer blend composites: selective filler addition,december 2003

[21] Guo, Shaoyun, Ait-Kadi A., M. Bousmina, A modified model predictions and experimental results of weld-line strength in injection molded PS/PMMA blends , 23 February 2004

[22] Xie, Lei, Kirchberg Stefan, Steuernagel Leif, Ziegmann Gerhard, A mechanism influencing micro injection molded weld lines of hybrid nano filled polypropylene, 26 April 2010

[23] Ersoy, Osman G,Nugay Nihan, Combined effect of the nature of the filler and the line properties of blends, january 2006

[24] Tosello, G., Gava, A., Hansen, H.N., Lucchetta, G., and Marinello, F., (2009),Characterization and Analysis of Weld Lines on Micro-Injection Moulded Parts Using Atomic Force Microscopy (AFM), WEAR 266 pp.534–538.

[25] Solymossy, B. and Kovács, J.G., (2008), The Examination of Weld Line Properties in Injection Molded PP Composites, Materials Science Forum, Vol. 589 pp. 263-267

[26] Seow, L.W. and Lam, Y.C., (1997). Optimizing Flow in Plastic Injection Molding",Journal of Materials Processing Technology72 pp.333–341.

[27] Ersoy, Osman G,Nugay Nihan, Combined effect of the nature of the filler and the line properties of blends, january 2006

[28] Turaçlı, H., (1999), Enjeksiyon Hataları ve Çözümleri, Pagyay Yayıncılık, İstanbul

[29] Akyüz Ö.F., (1993), Plastikler ve Plastik Enjeksiyon Teknolojisine Giriş, PAGEV Yayınları, İstanbul,2001

[30] Şeker, C., (1999), Termoplastiklerin Şekillendirilmesinde Kullanılan Enjeksiyon Kalıplarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, MÜFBE Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul

[31] Savran, H., 2001. Elastomer Teknolojisi-1. Acar Matbaac l k, stanbul, 136 s.

[32] Turaçlı, H., (2000), Enjeksiyon Kalıpları İmalatı, Pagyay Yayıncılık, İstanbul

[33] Turaçlı H., Enjeksiyoncunun El Kitabı, PAGEV Yayınları, İstanbul, 2003

[34] Akkurt, S. (1991). Plastik malzeme bilgisi. İstanbul: Birsen Yayınevi.

[35] Groover, M. P. (2002). Fundamentals of modern manufacturing. NJ: Jhon Willey & Sons, Inc.

[36] Kalpakjan, S., & Schmid, R. S. (2003). Manufacturing process for engineering materials (4th ed.). NJ: Pearson Education, Inc.

[37] Dynalab Corp. Plastic properties of polymethylmethacrylate, Retrieved March 15, 2006, from http://www.dynalabcorp.com/technical_info_acrylic.asp.

[38] Demirkıran, E., Polimerlerde Dolgu Maddesi Olarak Kullanılan Silkat Bileşikleri, PAGEV Plastik Dergisi, Sayfa 156-162, Kasım-Aralık, İstanbul, 2005.

[39] http://www.metalurji.org.tr/dergi., 2007.

[40] www.camelyaf.com.tr., 2007.

[41] Ajiwe, V.I.E., Okeke, C.A., Ekwuozor, S.C., UBA, I.C. 1998. A Pilot Plant for Production of Ceiling Boards from Rice Husks. Biores. Technol., 66: 41-43.

[42] Yang, H.S., Kim, D.J., Kim, H.J. 2003. Rice Straw-Wood Particle Composite for Sound Absorbing Wooden Construction Materials. Bioresource Technol., 86: 17-121.

[43] Kurt, R., Mengeloğlu, F. 2006. Orman endüstrisi ve Tarımsal Atıkların Odun/Plastik Kompozit Üretiminde Değerlendirilmesi İmkanları. Proceedings of the Fifth Gap Engineering Congress, Şanlıurfa.

[44] www. Teknik Rehber .NET

[45] Palabıyık M. ,Plastik İmalat Yöntemleri ve Techizatı Dersi Notları,2005

[46] www. mertmakina.com, Ağustos 2003

[47] Uzun İ., Erişkin Y., Enjeksiyon Kalıplama Metodu, Hacim Kalıpçılığı, İstanbul 1984.

[48] Esenlik, M., "Plastik Enjeksiyon Kalıpçılığında Karşılaşılan Sorunlar ve Çözüm Önerileri", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul 2001

[49] Uyaroğlu, R., "Plastik Enjeksiyon Kalıpçılığında Parça Üstünde Oluşan Kaynak Yeri Probleminin İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Gebze 2003

[50] Kılıç, N., "Plastik Enjeksiyon Makinalarının Endüstriyel Uygulamaları", Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir 1993

[51] Güneş, T., Plastik Enjeksiyon Kalıplarının Tasarımı, Segem Yayınları, Ankara, 19 1987

[52] Demirer, A., "Sıcak Yolluk Dağıtıcılarının Tasarımı - 2", Pagev Plastik (68), 2003, (114-116)

[53] Karataş, Ç., Karasungur, H., "Sıcak Yolluk Sistemlerinde Manifold Kullanımı",Pagev Plastik (67), 2003, (124-128)

[54] Bucaklıgil, C., "Plastik Kalıp Tasarım Esasları ve Uygulamalı Kalıp Tasarım Örneği ", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul 1999

[55] Alkaya, A.R., Plastik Enjeksiyon Kalıplarının Tasarımı ve Üretimi, İTÜFBE Makine Mühendisliği Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 1998.

[56] Menges, G., Mohren, P., D.V., How To Make İnjection Moulds, 8. Edition, Hanser Publishers, Barcelona, 1995.

[57] Kazmer, D., Best Practices in Injection Molding, Journal of Injection Molding Technology, pp 10-17, 1997-1998.

[58] Kluz, J., (Çeviren: Erci, G., Editör: Bağcı, M.), Plastik ve Metal Döküm Kalıpları, Erkek Teknik Yüksek Öğretmen Okulu, Ankara,1998.

[59] Kwon, T. H., Shen, S. F. and Wang, K. K., Computer-Aided Cooling-System Design For İnjection Moulding, SPE ANTEC, 1986.

[60] Tuğrul, M., Enjeksiyonla Üretilen Termoplastik Parçalarda Çekme, Metal-Makine Dergisi, Ocak, 1996.

[61] www.enplast.com

[62] TMMOB, Kimya Mühendisleri Odası, Plastik İşleme Teknikleri ve Kalite Kontrol

[63] http:// www.özbal.com .tr Nisan 2009

[64] Hikmet Yapar, Plastikler Dünyası,TMMOB,Mayıs 2001,Ankara

[65] ISO 180, "Plastics–Determination of Izod Impact Strength of Rigid Plastics",International Standart Organization, (1982).

ÖZGEÇMİŞ

Zeki Hüseyin GÜNEY, 29.03.1983 de Bursa'da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Bursa'da tamamladı. 2001 yılında Tophane Teknik Lisesi, Elektrik Bölümünden mezun oldu.2003 yılında başladığı Abant İzzet Baysal Üniversitesi Makine Eğitimi bölümünü 2008 yılında bitirdi. 2009 yılında Sakarya Üniversitesi, Makine Eğitimi ana bilim dalında yüksek lisans eğitimine başladı. . 2008 – 2010 yılları arasında Ovaakça Endüstri Meslek Lisesinde Makine öğretmeni olarak çalıştı. Şu anda Hoşseven Isı ve Yalıtım Sanayi. A.Ş. de tasarım sorumlusu olarak görev yapmaktadır.