

T.C.
GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK ve FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

PLASTİK ENJEKSİYON KALIPÇILIĞINDA PBT/PC/ABS
MALZEMENİN GERİ DÖNÜŞTÜRÜLMESİ SONUCU
MEKANİK VE KİMYASAL ÖZELLİKLERİNDEKİ
DEĞİŞİMİN ARAŞTIRILMASI

GÖKHAN TİMUR
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

GEBZE
2013

T.C.
GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK ve FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

PLASTİK ENJEKSİYON
KALIPÇILIĞINDA PBT/PC/ABS
MALZEMENİN GERİ DÖNÜŞTÜRÜLMESİ
SONUCU MEKANİK VE KİMYASAL
ÖZELLİKLERİNDEKİ DEĞİŞİMİN
ARAŞTIRILMASI

GÖKHAN TİMUR
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMANI
DOÇ. DR. BABÜR ÖZÇELİK

GEBZE

2013



GEBZE YÜKSEK
TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU

GYTE Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 17/06/2013 tarih ve 2013/32 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 11/10/2013 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Gökhan TİMUR'un tez çalışması Makine Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) : Doç. Dr. Babür ÖZÇELİK

ÜYE

: Doç. Dr. Faruk YILMAZ

ÜYE

: Doç. Dr. Mehmet Ali ARSLAN

M. Ali Arslan

ONAY

GYTE Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun tarih ve sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

ÖZET

Plastiklerin hızlı genişleyen kullanım alanı ve çevresel kaygılar nedeniyle çözülmesi gereken problemler oluşturması, geri dönüştürülmüş polimer malzeme kullanımının önemini arttırdı. Plastik işleyen işletmelerde nihai ürün haline gelemeyen plastik malzemeler yani diğer bir deyişle fireler hem maliyetleri açısından hem de çevresel bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu sebeple plastik malzemelere geri dönüşüm uygulanması önem teşkil etmektedir. Bu tez çalışmasında, PBT/PC/ABS karışımı malzemesi geri dönüşümünün mekanik ve kimyasal özelliklere etkisi Taguchi deney tasarımına göre hazırlanarak incelendi. Ayrıca mekanik özelliklerin karşılaştırılarak yorumlanması gereksiniminden dolayı PBT/PC/ABS-CE (cam elyaf katkılı PBT/PC/ABS) ve katkısız PBT/PC/ABS karışımı saf ve geri dönüşümlü olarak hazırlanarak tez çalışmasına dahil edildi.

Geri dönüşüm prosesi enjeksiyon makinesi ile beş kere uygulandı. Test numunelerine mekanik testler olarak; çekme testi, eğilme testi, izod darbe testi ve eriyik akış testi uygulanmıştır. Mekanik özelliklerdeki değişim, SEM’ de görülen matris fazı içindeki ayrışmalar ve bozunmalar ile desteklendi. Kızılötesi spektroskopisi geri dönüştürülmüş malzemelerin kimyasal yapısında değişiklik olmadığını gösterdi. Termal gravimetrik analizi ile kimyasal yapılar incelendi. DSC (Diferansiyel taramalı kalorimetre) karışımların ekstrüzyon ile hazırlandığını doğruladı. PBT/PC/ABS içerisine cam elyaf katılmasının mekanik özellikleri geliştirdiği gözlemlendi. Taguchi yöntemiyle, hazırlanan karışım enjeksiyon parametrelerinin, mekanik özellikleri üzerine etkisi araştırıldı.

Anahtar Kelimeler: PBT/PC/ABS, PBT/PC/ABS-CE, Mekanik ve Kimyasal Özellikler, Geri Dönüşüm, Polimer.

SUMMARY

As the plastics accelerating widespread usage and with the environmental concerns, which arise problematic issues required to be solved, increased the importance of the use of recyclable polymer material. Plastics which cannot be turned out to be in the final form in other words the wastage on the plants, where plastic material is processed, cause both financial and environmental problems. As a consequence, recycling on plastic materials has a significant importance. In this thesis, the mechanical and chemical features of the recycling of the mixture of PBT, PC and ABS are prepared based on Taguchi method and then analysed. Moreover, fibreglass and non fibreglass mixtures of PBT, PC and ABS are added to this thesis for the purpose of comparing the mechanical features and interpreting the results.

Recycling process is applied five times with the injection machine. For the mechanical tests; tensile, flexural, impact and melting tests are applied to the test samples. The change on mechanical features are supported with the decomposition and degradation within the matrix phase on SEM. Infrared spectroscopy has indicated there is no change on chemical features of the recycled material. Chemical features are analysed with the thermal gravimetric analysis. Differential scanning calorimeter confirmed the mixtures are prepared with the extrusion. It is observed that adding fibreglass to the PBT, PC and ABS mixture has been upgraded the mechanical features. The effects of injection parameters on mechanical features of the mixture prepared with the Taguchi method are researched.

Key Words: PBT/PC/ABS, PBT/PC/ABS-GF, Mechanical and Chemical Properties, Recycling, Polymer.

TEŞEKKÜR

Bu tez 110M245 nolu TÜBİTAK projesi kapsamında desteklenen projeden yapılmıştır. Tüm çalışmalarım boyunca her zaman bilgi ve deneyimleriyle yolumu açan değerli hocalarım Doç. Dr. Babür ÖZÇELİK ve Doç. Dr. Faruk YILMAZ'a, istatistiksel analizlerin yapılması ve yorumlanması aşamasında değerli bilgilerinden faydalandığım Sayın Arş. Gör. Emel KURAM'a, laboratuvar çalışmalarım boyunca hem projede hem de tezimde bana arkadaş olan destek ve yardımlarını aldığım değerli arkadaşlarım Levent SARAÇ ve Zeynep Münteha ŞAHİN'e içten teşekkürlerimi sunarım.

Hem bu zorlu ve uzun süreçte, hem de hayatım boyunca yanımda olan ve ideallerimi gerçekleştirmemi sağlayan annem Sabriye TİMUR'a, babam Necdet TİMUR'a ve kardeşim Serhan TİMUR'a yürekten teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	iv
SUMMARY	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
TABLolar DİZİNİ	xv
1. GİRİŞ	1
2. PLASTİKLERİN ÜRETİMİ VE TÜKETİMİ	3
3. PLASTİKLERDE GERİ DÖNÜŞÜM	6
3.1. Plastik Atık Kaynakları	7
3.2. Plastik Atık Geri Kazanımı	8
3.2.1. Birincil Geri Kazanım	9
3.2.2. İkincil Geri Kazanım	9
3.2.3. Üçüncül Geri Kazanım	10
3.2.4. Dördüncül Geri Kazanım	10
4. TAGUCHI YÖNTEMİ	11
4.1. Taguchi Metodunun Gelişimi	11
4.2. Taguchi Felsefesi	12
4.3. Taguchi Deney Planı	13
4.3.1. Sonuçların Değerlendirilmesi	17
5. LİTERATÜR TARAMASI	18
6. DENEYSEL ÇALIŞMA	23
6.1. Kullanılan Deney Araç-Gereçleri ve Özellikleri	23
6.1.1. Enjeksiyon Makinesi	23
6.1.2. Kırma Makinesi	25
6.1.3. Darbe Test Cihazı	26
6.1.4. Erime Akış Ölçüm Cihazı	26
6.1.5. Çekme Test Cihazı	27

6.1.6.Termal Gravimetrik Analizi	27
6.1.7.Kızıl ötesi Spektrometresi	28
6.1.8.Taramalı Elektron Mikroskobu	28
6.1.9.Diferansiyel Taramalı Kalorimetri	29
6.2. Kullanılan Plastik Malzeme ve Özellikleri	29
6.2.1.Polibütillen Teraftalat	29
6.2.2. Polikarbonat	30
6.2.3. Akrilonitril bütadien stiren	31
6.2.4. Polibütillen Teraftalat - Polikarbonat - Akrilonitril Bütadien Stiren	32
6.2.5. %10 Cam Elyaf Takviyeli Polibütillen Teraftalat - Polikarbonat Akrilonitril Bütadien Stiren	33
6.3. Deney Numuneleri	35
6.3.1. Çekme Test Numunesi	35
6.3.2. Darbe Test Numunesi (Çentikli)	35
6.3.3. Eğilme Test Numunesi	35
6.4. Deney Numunelerinin Plastik Enjeksiyonda Üretilmesi	36
6.4.1. PBT/PC/ABS-TAG	36
6.4.2. PBT/PC/ABS	37
6.4.3. PBT/PC/ABS-CE	38
7. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ	39
7.1. Çekme Testi Sonuçları	39
7.1.1. PBT/PC/ABS-TAG	39
7.1.2. PBT/PC/ABS ve PBT/PC/ABS-CE	44
7.2. Eğilme Testi Sonuçları	49
7.2.1. PBT/PC/ABS-TAG	49
7.2.2. PBT/PC/ABS ve PBT/PC/ABS-CE	51
7.3. İzod Darbe Testi Sonuçları	53
7.3.1. PBT/PC/ABS-TAG	53
7.3.2. PBT/PC/ABS ve PBT/PC/ABS-CE	55
7.4. Eriyik Akış Testi Sonuçları	57
7.4.1. PBT/PC/ABS-TAG	57
7.4.2. PBT/PC/ABS ve PBT/PC/ABS-CE	59

7.5. Sem Analiz Sonuçları	61
7.5.1. PBT/PC/ABS-TAG	61
7.5.2. PBT/PC/ABS ve PBT/PC/ABS-CE	62
7.6. Kızılötesi Spektroskopisi Sonuçları	64
7.6.1. PBT/PC/ABS-TAG	64
7.6.2. PBT/PC/ABS ve PBT/PC/ABS-CE	65
7.7. Termal Gravimetrik Analiz Sonuçları	66
7.7.1. PBT/PC/ABS-TAG	66
7.7.2. PBT/PC/ABS ve PBT/PC/ABS-CE	67
7.8. Diferansiyel Taramalı Kalorimetri Sonuçları	69
7.8.1. PBT/PC/ABS-TAG	69
7.8.2. PBT/PC/ABS ve PBT/PC/ABS-CE	70
7.9. Analiz Sonuçları	72
7.9.1. Analiz Çalışması	72
7.9.2. Numunelerin S/N Oranı	73
7.9.3. Numunelerin Varyans Analizi	83
7.10. Sonuçlar	89
7.11. Öneriler	92
 KAYNAKLAR	 93
ÖZGEÇMİŞ	98
EKLER	99

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler ve</u>	<u>Açıklamalar</u>
<u>Kısaltmalar</u>	
°C	: Santigrat
C-H	: Karbon hidrojen bağı
%	: Yüzde
T _m	: Erime sıcaklığı
T _g	: Camlı geçiş sıcaklığı
A.B.D.	: Amerika Birleşik Devletleri
ABS	: Akrilonitril Bütadien Stiren
ASTM	: Amerikan Test ve Malzemeler Derneği
AYPE	: Alçak yoğunluklu polietilen
CE	: Cam Elyaf
D	: Deney
dev/dk	: Dakikadaki dönüş sayısı
DSC	: Diferansiyel taramalı kalorimetri
E	: Elastisite modülü
FTIR	: Kızılötesi (Infrared) spektroskopisi
G.D.	: Geri dönüşüm
GPA	: Gigapascal
HP	: Beygir gücü
ISO	: Uluslararası Standartlar Teşkilâtı
iPP	: İsotaktik polipropilen
J	: Joule
Kcal	: Kilokalori
kN	: Kilonewton
KW	: Kilowatt
Maks.	: Maksimum
MEB	: Milli Eğitim Bakanlığı
Mpa	: Megapascal
PBT	: Poli(bütillen Teraftalat)
PC	: Polikarbonat

PET	: Polietilen tereftalat
PS	: Polistiren
PVC	: Poli(vinil klorür)
R.	: Recycle
Rpm	: Dakikadaki dönüş sayısı
SEM:	: Taramalı elektron mikroskobu
TAG	: Taguchi
TGA	: Termal gravimetrik analiz
THF	: Tetrahidrofur
YYPE	: Yüksek yoğunluklu polietilen

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil No:</u>	<u>Sayfa</u>
2.1: Malzemelerin tarihsel süreci ve kullanım ağırlıkları.	4
6.1: Plastik enjeksiyon makinesi.	23
6.2: Kalıp şartlandırıcısı.	24
6.3: Soğutucu.	24
6.4: Enjeksiyon makinesinde kullanılan kalıp.	25
6.5: Kırma makinesi.	25
6.6: Darbe test cihazı.	26
6.7: Erime akış ölçüm cihazı.	26
6.8: Çekme test cihazı.	27
6.9: Termal gravimetrik analiz cihazı.	27
6.10: Kızıl ötesi spektrometresi.	28
6.11: Taramalı elektron mikroskobu.	28
6.12: Diferansiyel taramalı kalorimetri.	29
6.13: PBT kimyasal formülü.	30
6.14: PC kimyasal formülü.	30
6.15: ABS kimyasal formülü.	32
6.16: PBT/PC/ABS karışımı kimyasal yapısı.	33
6.17: PBT/PC/ABS-CE karışımı kimyasal yapısı.	34
6.18: Çekme numunesinin şekil ve boyutları ISO 527.	35
6.19: ISO 180'e göre çentikli izod darbe test numunesi.	35
6.20: ISO 178'e göre eğilme test numunesi.	35
7.1: PBT/PC/ABS karışımı örnek gerilme - birim uzama grafiği.	39
7.2: PBT/PC/ABS karışımı maksimum uzama % grafiği.	41
7.3: PBT/PC/ABS karışımı çekme dayanımı grafiği.	42
7.4: PBT/PC/ABS karışımı akma dayanımı grafiği.	43
7.5: PBT/PC/ABS karışımı elastisite modülü grafiği.	43
7.6: PBT/PC/ABS saf numunenin örnek gerilme-birim uzama grafiği.	44
7.7: PBT/PC/ABS-CE saf numunenin deneyine ait örnek gerilme-birim uzama grafiği.	45
7.8: PBT/PC/ABS maksimum uzama % grafiği.	46

7.9: PBT/PC/ABS karışımı çekme dayanımı grafiği.	47
7.10: PBT/PC/ABS akma dayanımı grafiği.	48
7.11: PBT/PC/ABS elastisite modülü grafiği.	49
7.12: PBT/PC/ABS karışımı eğilme dayanımı grafiği.	51
7.13: PBT/PC/ABS karışımı eğilme dayanımı grafiği.	53
7.14: PBT/PC/ABS karışımı izod darbe dayanımı grafiği.	55
7.15: PBT/PC/ABS karışımı izod darbe dayanımı grafiği.	56
7.16: PBT/PC/ABS karışımı eriyik akış grafiği.	59
7.17: PBT/PC/ABS karışımı eriyik akış grafiği.	60
7.18: PBT/PC/ABS-TAG karışımının a) 3.D-Saf, b) 3.D-3.G.D., c) 3.D – 5.G.D., d) 9.D-SAF, e) 9.D-3.G.D. ve f) 9.D-5.G.D.'lerinin sem fotoğrafları.	61
7.19: PBT/PC/ABS karışımının a) Saf, b) 1.G.D. ve c) 5.G.D. 'lerinin sem fotoğrafları.	62
7.20: PBT/PC/ABS-CE karışımının a) Saf, b) 1.G.D. ve c) 5.G.D. 'lerinin sem fotoğrafları.	63
7.21: PBT/PC/ABS-TAG FTIR spektrumları.	64
7.22: PBT/PC/ABS FTIR spektrumları.	65
7.23: PBT/PC/ABS-CE FTIR spektrumları.	66
7.24: PBT/PC/ABS-TAG termal gravimetrik analiz termogramları.	67
7.25: PBT/PC/ABS termal gravimetrik analiz termogramları.	68
7.26: PBT/PC/ABS-CE termal gravimetrik analiz termogramları.	69
7.27: PBT/PC/ABS-TAG diferansiyel taramalı kalorimetri termogramları.	70
7.28: PBT/PC/ABS diferansiyel taramalı kalorimetri termogramları.	71
7.29: PBT/PC/ABS-CE diferansiyel taramalı kalorimetri termogramları.	72
7.30: Çekme dayanımı için S / N oranları ana etkileri.	76
7.31: Akma dayanımı için S / N oranları ana etkileri.	76
7.32: Eğilme dayanımı için S / N oranları ana etkileri.	77
7.33: Darbe dayanımı için S / N oranları ana etkileri.	77
7.34: MFI için S / N oranları ana etkileri.	78
7.35: Çekme dayanımı için S / N oranları ana etkileri.	78
7.36: Akma dayanımı için S / N oranları ana etkileri.	79

7.37: Eğilme dayanımı için S / N oranları ana etkileri.	79
7.38: Darbe dayanımı için S / N oranları ana etkileri.	80
7.39: MFI için S / N oranları ana etkileri.	80
7.40: Çekme dayanımı için S / N oranları ana etkileri.	81
7.41: Akma dayanımı için S / N oranları ana etkileri.	81
7.42: Eğilme dayanımı için S / N oranları ana etkileri.	82
7.43: Darbe dayanımı için S / N oranları ana etkileri.	82
7.44: MFI için S / N oranları ana etkileri.	83

TABLÖLAR DİZİNİ

<u>Tablo No:</u>	<u>Sayfa</u>
2.1: Bazı ölkelerin kişi başına plastik tüketimleri (kg/kişi).	5
3.1: A.B.D.'de katı atıkların içerisindeki plastik miktarı.	8
4.1: Üretim alanındaki taguchi yönetimi uygulamaları.	13
4.2: Taguchi yönteminde ortogonal dizi tablosu.	14
4.3: PBT/PC/ABS TAG enjeksiyon üretim şartları.	15
5.1: Geri dönüşömlere göre elastisite modölu ve çekme dayanımı.	20
5.2: Darbe dayanımı sonuçları.	20
5.3: PP saf ve geri dönüşüm karışım yüzdeleri.	21
5.4: Üretim parametreleri ve seviyeleri.	21
5.5: Saf ve geri dönüşüm durumlarına göre eğilme dayanımı ve modölu değeri.	22
6.1: Kullanılan PBT malzemenin teknik özellikleri	30
6.2: Kullanılan PC malzemenin teknik özellikleri.	31
6.3: Kullanılan akrilonitril bütadien stiren malzemenin teknik özellikleri.	32
6.4: PBT/PC/ABS TAG ekstrüzyon çalışma şartları.	33
6.5: PBT/PC/ABS-CE ekstrüzyon çalışma şartları.	34
6.6: PBT/PC/ABS TAG enjeksiyon üretim şartları.	37
6.7: PBT/PC/ABS enjeksiyon hazırlık ve üretim şartları.	37
6.8: PBT/PC/ABS-CE enjeksiyon hazırlık ve üretim şartları.	38
7.1: PBT/PC/ABS TAG malzemesinin çekme test sonuçları.	40
7.2: PBT/PC/ABS ve PBT/PC/ABS-CE malzemesinin çekme test sonuçları.	45
7.3: PBT/PC/ABS TAG malzemesinin eğilme test sonuçları.	50
7.4: PBT/PC/ABS Ve PBT/PC/ABS-CE malzemesinin eğilme test sonuçları.	52
7.5: PBT/PC/ABS TAG malzeme darbe test sonuçları.	54
7.6: PBT/PC/ABS ve PBT/PC/ABS-CE malzemesinin darbe test sonuçları.	56

7.7: PBT/PC/ABS-TAG malzemesinin eriyik akış sonuçları.	58
7.8: PBT/PC/ABS Ve PBT/PC/ABS-CE malzemesinin eriyik akış sonuçları.	60
7.9: Ürünlerin taguchi analizinde kullanılan parametreler ve seviyeleri.	73
7.10: PBT/PC/ABS için L9 (3**3) ortogonal dizisine göre deney şartları.	73
7.11: PBT/PC/ABS saf malzemesi için deneysel ve s/n verileri.	74
7.12: PBT/PC/ABS 3.G.D. malzemesi için deneysel ve s/n verileri.	74
7.13: PBT/PC/ABS 5.G.D. malzemesi için deneysel ve s/n verileri.	74
7.14: Optimal değerler.	75
7.15: Saf malzeme için maksimum çekme dayanımı ANOVA test sonucu.	85
7.16: 3.G.D. malzeme için maksimum çekme dayanımı ANOVA test sonucu.	85
7.17: 5.G.D. malzeme için maksimum çekme dayanımı ANOVA test sonucu.	85
7.18: Saf malzeme için akma dayanımı ANOVA test sonucu.	86
7.19: 3.G.D. malzeme için akma dayanımı ANOVA test sonucu.	86
7.20: 5.G.D. malzeme için akma dayanımı ANOVA test sonucu.	86
7.21: Saf malzeme için eğilme dayanımı ANOVA test sonucu.	87
7.22: 3.G.D. malzeme için eğilme dayanımı ANOVA test sonucu.	87
7.23: 5.G.D. malzeme için eğilme dayanımı ANOVA test sonucu.	87
7.24: Saf malzeme için izod darbe dayanımı ANOVA test sonucu.	88
7.25: 3.G.D. malzeme için izod darbe dayanımı ANOVA test sonucu.	88
7.26: 5.G.D. malzeme için izod darbe dayanımı ANOVA test sonucu.	88
7.27: Saf malzeme için eriyik akış ANOVA test sonucu.	89
7.28: 3.G.D. malzeme için eriyik akış ANOVA test sonucu.	89
7.29: 5.G.D. malzeme için eriyik akış ANOVA test sonucu.	89

1. GİRİŞ

Plastikler ilk olarak 1860 yılında Alexander Parker tarafından keşfedildi [Web 1, 2005]. Plastik malzemeler ekonomik ve kolay uygulanabilir malzemeler olduğundan cam, tahta ve demir gibi malzemelerin yerine kullanılmaktadırlar. Bunun sonucunda da bu malzemelerin tüketiminde azalma plastik malzemelerin tüketiminde artış olmaktadır.

Birçoğu geçtiğimiz yüzyılda geliştirilen değişik sentezleme yöntemleri ile çok sayıda polimer elde edilmiş ve elde edilen ürünler teknolojinin de hızlı gelişmesi ile birlikte birçok alanda kullanılır/tercih edilir hale gelmiştir. Ucuz olmaları, seri ve kolay üretilmeleri, uzun ömür ve yüksek dayanımları, rijit veya esnek olabilmeleri, hafiflik, düşük nem alma, elektrik iletkenliğinin az olması, çok düşük ısı iletkenliği, şekillendirmenin ve renklendirmenin kolay olması plastiklerin üstün yanlarına örnek verilebilir. Plastikler sayılan bu özellikleri nedeniyle günlük hayattaki basit uygulamalardan ileri teknoloji uygulamalarına kadar çok geniş bir yelpazede kullanılmaktadırlar [Tezcan, 2009].

Bu kadar hızlı genişleyen kullanım alanı nedeniyle plastik atıklar, çözülmesi gereken bir problem haline gelmiştir. Plastik ürünlerin işlenmesinde çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Enjeksiyon, ekstrüzyon ve şişirme bu yöntemlerin başında gelmektedir. Plastik işleyen işletmelerde bu proseslerde nihai ürün haline gelemeyen plastik malzemeler yani diğer bir deyişle fireler hem maliyetleri açısından hem de çevresel bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır. Plastik malzemeler doğada uzun yıllar boyunca çözünemediklerinden dolayı ciddi manada çevreyi kirletmektedirler. Bu sebeple plastik malzemelere geri dönüşüm uygulanması çok önemlidir [Balart et al., 2005].

Plastik malzemelerin geri dönüşümü kısaca; atıkların çevreyi kirletmesinin önlenmesi, sıfırdan plastik üretmek yerine atık kullanımı ile enerji tasarrufu sağlanması, hammadde ihtiyacının azaltılması ve artan tüketimin doğal dengeyi bozmasının engellenmesi açısından çok önemlidir [Web 2, 2013].

Tez çalışmasında kullanılan malzemeyi oluşturan, Polikarbonat ülkemizde ve dünyada en fazla kullanılan plastik çeşitlerindendir. Polibütlen tereftalat ise çok fazla tanınmamasına rağmen, sahip bulunduğu bazı üstün özellikleri ile mühendislik plastikleri içerisinde özel bir yere sahip olan ve tüketimi diğer malzemelere göre

daha hızla artmakta olan bir polimerdir. Akrilonitril bütadien stiren ise kalıp yolu ile üretilen ürünlerde çok yaygın olarak kullanılan hafif, sert bir polimerdir. Bu tez çalışmasında, polikarbonat, polibutilen tereftalat, akrilonitril bütadien stiren malzeme karışımının geri dönüşümünde, mekanik ve kimyasal özelliklerinin araştırılması esas olarak konu edinildi. Bu çalışma kapsamında geri dönüşümü incelenen malzemeler proses atıkları olarak düşünülmektedir. Yapılan çalışmalarda plastik basım sırasında sıcak ve soğuk yolluklarda kalan artık malzemeler, tam dolumu gerçekleştirmemiş, kalite kontrolden geçememiş malzemelerin geri dönüşümünün mekanik özellikleri üzerindeki etkisi incelendi.

Bu çalışmada, PBT/PC/ABS (Polibütillen tereftalat, polikarbonat, akrilonitril bütadien stiren) karışım malzemesinin saf ve 1., 2., 3., 4., 5. geri dönüşümleri hazırlandı. Geri dönüşüm için malzemeler kırma makinesinde kırılarak, numunelerin üretimi ise plastik enjeksiyon makinesinde gerçekleştirildi. Her bir enjeksiyon basımında testler için gerekli sayıda numune alındı. Test çubuklarının enjeksiyon ile üretiminde deneylerin tasarımı Taguchi metodu ile oluşturulmuştur. Taguchi metodu, deneylerin tasarlanmasında, ortogonal dizi olarak bilinen ve özel olarak elde edilen tablolardan faydalanmaktadır. Ortogonal dizilerin kullanımı deney tasarımını kolaylaştırdı ve daha az sayıda deney yapılmasını sağladı. Saf ve geri dönüşümlü malzemelerin mekanik özelliklerindeki değişimleri incelemek için çekme testi (maksimum uzama (%), çekme dayanımı, akma dayanımı ve elastisite modülü), eğilme testi, izod darbe testi ve eriyik akış testleri uygulandı. Bu testler beş kez tekrar edildi. Kimyasal özellikleri incelemek için ise malzemelere taramalı elektron mikroskobu analizi, kızılötesi spektroskopisi, termal gravimetrik analiz, diferansiyel taramalı kalorimetri testleri uygulandı.

2. PLASTİKLERİN ÜRETİMİ VE TÜKETİMİ

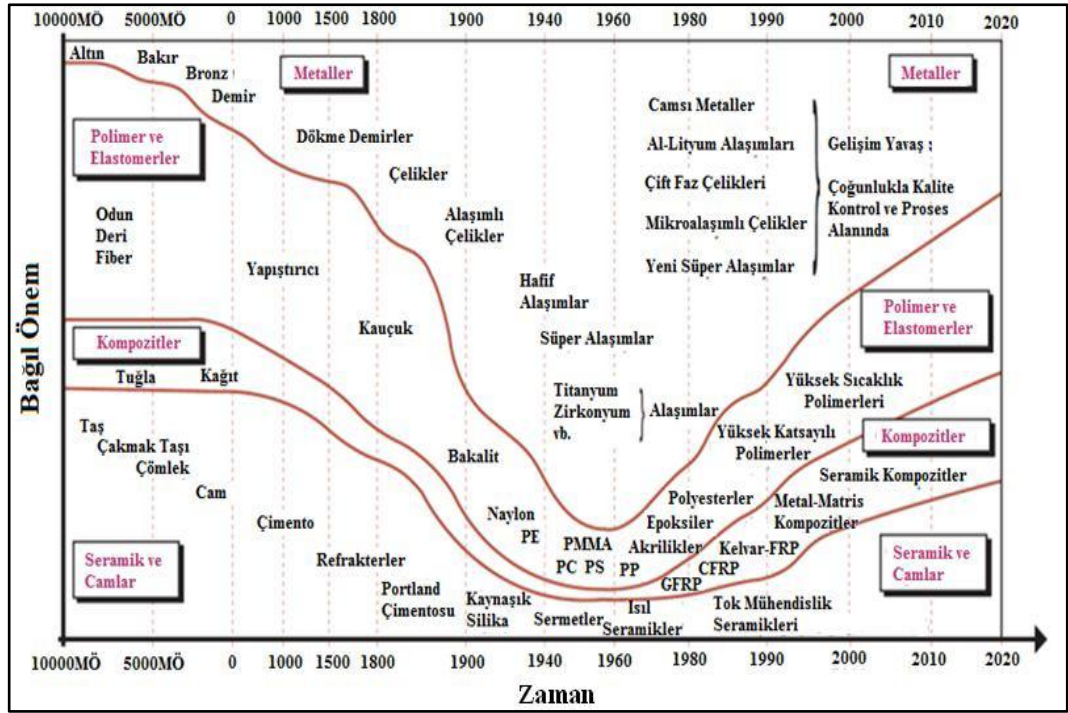
Plastiklerin genel tanımını yapmak oldukça zordur. Yapılan tanımlama, bir plastik maddeyi tüm özellikleri ile kapsadığı gibi diğer bir plastik maddeyi kapsamayabilir. Bu nedenle, plastik maddelerin genel özellikleri bir araya getirilirse, ortaya tüm plastikleri kapsayan bir tanımlama çıkmış olur. Bu açıklamaların ışığı altında, plastik maddeler, normal sıcaklıkta genellikle katı halde bulunan, basınç ve ısı ile şekillenebilen organik polimer olarak tanımlanabilirler. Polimerik maddeler, özellikleri aynı veya farklı olan moleküllerin birleşmesi sonucu oluşan ve molekül ağırlığı yüksek olan organik maddelerdir. Polimerik maddeler bir zincire benzetilebilir. Zincir halkalardan meydana gelmektedir. Zinciri oluşturan halkalar, aynı veya farklı malzemelerden yapılmış olabilir ve halkalar uç uca eklenerek veya farklı şekillerde bağlanarak zinciri meydana getirirler [Kaya, 2006].

Plastik sanayinin gelişmesi ikinci dünya savaşının bitiminden sonra başladı. Başlangıçta ham madde için kömür kullanıldı, çünkü 1950'lerin ortalarına kadar petrol yeteri kadar ekonomik değildi. Ham maddenin kömürden petrole dönüşümü plastik sanayini hızla geliştirdi. Birçok yeni ürün art arda bulunarak özellikle metal malzemeye büyük bir alternatif oluşturdu. Plastik malzemelerin ekstrüzyon, enjeksiyon ve diğer üretim yöntemleri ile kolay ve kitlesel üretimi, bu dönüşümü genişletti, hızlandırdı ve bu günkü seviyelere getirdi. Plastik malzemelerin diğer birçok malzemenin yerini alması, henüz devam eden bir süreçtir ve önümüzdeki yıllarda, şimdi metal, ağaç ve yün kullanılan birçok ürün, daha çok plastik malzemelerden üretilecektir [Web 3, 2006].

Plastik kelimesi isim olarak bir malzeme türünü belirtir, bir sıfat olarak kalıcı şekil değiştirebilen cisim anlamına gelir. Örneğin bakalit bir plastiktir, fakat plastik malzeme değildir, zira gevrek, plastik şekil değiştirmeden kırılır. Endüstride plastik denmesinin nedeni üretimlerinin belirli bir aşamasında akıcı veya plastik kıvam almaları ve basınçla bir kalıba enjekte edilerek şekil verilebilmeleridir [Onaran, 2000].

Tarih öncesi devirlerde kullanılan malzemeler (taş devrinde), seramikler ve camlar (taş, çakmaktaşı), doğal polimerler (odun) ve kompozitler (kerpiç) olmuştur. Altın ve gümüş kısmi olarak doğada bulunmakla birlikte zamanın teknolojisinde çok az bir rol aldı. Bakır, bronz ve demirin bulunması, (bronz çağı – demir çağı)

malzeme alanında büyük gelişmeler yarattı. Dökme demir teknolojisi 1690’larda mühendisliği domine etti. 1850’lerde çeliklerin gelişimi, 1940’larda hafif alaşımların gelişmesi, 1950 ve 1960’lı yıllarda metallerin kullanımını had safhaya çıkardı ve mühendislik malzemeleri neredeyse “metaller” ile eş anlamlı hale geldi. Malzemelerin tarihsel süreci ve kullanım ağırlıkları Şekil 2.1’de gösterildi. Günümüzde metal alaşımlarının gelişimi yavaşlamıştır. Fakat polimerler ve kompozitlerin gelişimi ve kullanım ağırlığı artan bir eğilim göstermektedir [Ashby, 2004].



Şekil 2.1: Malzemelerin tarihsel süreci ve kullanım ağırlıkları.

1998 yılında dünyada plastik tüketimi 115 milyon tondur. Bu miktarın 28,8 milyonu Batı Avrupa’da, 2,024 milyon tonu ise ülkemizde gerçekleşti. Ülkemizin plastik tüketimi Batı Avrupa’nın % 7,013’ü dünya tüketiminin de % 1,756’ı civarındadır. Termoplastik malzeme çeşitleri olarak plastik malzeme tüketimleri de Tablo 2.1’de verildi [Web 4, 2001].

Tablo 2.1: Bazı ülkelerin kişi başına plastik tüketimleri (kg/kişi).

	AYPE	YYPE	PVC	PP	PS	DİĞER	TOPLAM
BATI AVRUPA	17,1	10,9	14,4	16,8	5,7	4,1	69,0
ROMANYA	1,8	0,9	1,4	0,8	1,2	0,0	6,1
ÇİN	2,6	1,5	2,1	2,4	1,3	1,2	11,1
MALEZYA	9,3	6,9	5,5	8,4	4,8	4,7	39,6
HİNDİSTAN	0,4	0,6	0,7	0,7	0,2	0,1	2,7
ABD	24,0	21,0	20,5	19,9	9,1	3,6	98,1
TÜRKİYE	5,6	2,3	6,3	7,1	2,2	6,9	30,4

Çevreye atılan maddelerin; biyolojik, iklim ve kimyasal etkilerle bozunması, diğer bir deyişle çevre tarafından özümlemesi istenmektedir. Bu maddeler kullanılıp atıldığında çevreye zarar vermemesi arzulanmaktadır. Çevresel etkileri açısından plastiklere baktığımızda, bozunma sıcaklıklarının yüksek olması, ultraviyole ışınlarına dayanıklı olmaları ve doğada döngüyü sağlayan biyolojik aktivitelere karşı dayanıklı olmaları dolayısıyla doğada uzun süre bozunmadan kalabilmektedirler. Bu özelliklerinden dolayı doğayı kirletmekte ve geri kazanımı toplumsal gereklilik haline sokmaktadır. Son yıllarda artan sivil toplum örgütlerinin baskısı ve yeni kanunlar, bu gibi maddelerin geri kazanımını zorlamakta ve kaynakların etkin kullanımı konusuna yönlendirmektedir. Bu yüzden bu konudaki çalışmalar son yıllarda hızla artmaktadır.

3. PLASTİKLERDE GERİ DÖNÜŞÜM

Çok yönlü kullanım sonucunda her yerde bulunan plastiğin ödemesi gereken çevresel bir bedel söz konusudur. Plastikler, atıkları nedeniyle günümüzde en negatif imaja sahip ambalaj malzemesi haline geldi. 1970 yılından bu yana plastik kullanım beş kat arttı. Yakın zamana kadar bu kullanım sonucu ortaya çıkan atıkların çoğu toprağa gömme ile son bulmuştur. Ancak toprağa gömme plastik atık sorununa çözüm getiremedi. Bu nedenle soruna çözüm arayışı çerçevesinde plastikleri atıklardan ayırmak, onları en etkili yöntem ve en uygun maliyetle yeniden üretim prosesinde dahil etmek plastik atıkların etkin kullanılması açısından önemli bir faaliyet alanı olarak ortaya çıkmaktadır. Yeni kaynaklar kullanarak plastikleri üretmek yerine plastik atıklardan faydalanarak geri dönüşüm ürünler elde etmek % 85–90 oranında enerji tasarrufu sağlamaktadır. Ayrıca giderek artan tüketim nedeniyle ortaya çıkan atıkların bertaraf edilmesi de çevre ve insan sağlığına olan etkilerin azaltılmasını kolaylaştırmaktadır [Tezcan, 2009].

Halk tarafından plastiklerin kullanım sonrası çöp olması gibi yanlış bir anlayış, plastik imalat sektöründe de proses artıklarıyla sürdürülmektedir. Proses artıkları olarak anlatılmak istenen; plastik basımı sırasında sıcak ve soğuk yolluklarda kalan malzemeler, tam dolumu gerçekleşmemiş malzemeler, istenen rengi homojen olarak sağlayamamış malzemeler, kalite kontrolden geçememiş malzemeler ve benzeri tekrar kullanılabilirken, çöp olan plastik malzemelerdir. Plastik sanayi sektöründe toplam üretimi ve bu artıkların toplam üretimin % 10'u kadar olduğunu düşündüğümüzde çok yüksek bir maliyet ve enerji kaybı yaşanmaktadır. Bu tez çalışmasında kullanılan malzemelerin geri dönüşümü birincil geri kazanım yöntemiyle sağlandı. Bu yöntem kullanılarak bu malzemelerin geri dönüşüm sonucundaki mekanik özellikleri incelendi.

Tüketici tarafından geri dönüşüm plastiklerin giderek benimsenmesi, kullanılması ve devletlerin teşvik sağlaması geri dönüşüm plastik piyasasını yükselen bir piyasa konumuna getirdi. Plastiklerin geri dönüşüm yöntemlerinin geliştirilmesi, geri dönüşüm ürünler için kullanım alanlarının oluşturulması ile piyasalarda arz talep dinamikleri oluşmuştur [Tezcan, 2009].

3.1. Plastik Atık Kaynakları

Atık plastikler, günümüzde dünya kamuoyunun üzerinde durduğu en önemli konulardan birisidir. Konunun önemi, plastiklerin geri dönüşümü ve enerji üretmek amacıyla değerlendirilmesi konularındaki araştırma ve geliştirme çalışmalarına hız kazandırdı. Gelişmiş ülkelerde atık plastiklerin geri kazanımı için atık yakma tesisleri kurulmuştur. Bu sayede hem atıklar ortadan kaldırılmakta hem de elektrik enerjisi üretilmektedir. Japonya’da endüstriyel ve evsel kaynaklardan gelen atık plastikler 1997’de yaklaşık 9,5 milyon tona ulaşmıştır. Bu miktarın % 34’ü (yaklaşık 3,25 milyon ton) araziye gömülmekte, kalan 6 milyon ton ise yakılmaktadır. Yakılan kısmın yaklaşık 2,8 milyon tonu elektrik üretiminde ya da ısı geri kazanımında kullanılmaktadır. Geri dönüştürülen miktar ilave edilse bile, % 40’tan biraz fazlası ya da 4 milyon tonluk miktar ancak verimli olarak kullanılmaktadır [Web 4, 2001].

Plastikler, katı atık depolama alanlarında çok yer kaplamaktadırlar. Bu nedenle depolama alanlarının ömrü azaltılmaktadır. Gelişmekte olan dünya ile birlikte katı atıkların içerisindeki plastik oranı da artmıştır. Tablo 3.1’ de ABD’de katı atıkların içerisindeki plastik miktarındaki artış görülmektedir [Web 1, 2005]. Ülkemizde katı atıkların içinde plastik hacimce % 15, ağırlıkça % 5 oranında bulunmaktadır. İngiltere’de katı atıkların içerisindeki plastik miktarı % 8 ile % 10 arasındadır. 1990’lı yıllarda Almanya’da katı atıkların içerisindeki plastik miktarı hacimce % 50 iken, ağırlıkça % 30 idi. Fransa’da katı atıkların içerisindeki plastik miktarı % 15 civarındadır. Avusturya’da ise % 17’dir. Avusturya’da her biri 760000 ton kapasiteli 101 geri kazanım tesisi kurulmuştur. 61 adet depolama tesisi inşa edildi. Avusturya’da depolanan katı atık miktarı 1990 yılında 1,37 milyon ton iken, 1996 yılında bu değer 0,89 milyon tona azaltıldı. Avustralya’da üçer yıllık planlama yapılarak katı atık miktarı düşürülmeye çalışılmaktadır [Web 1, 2005].

Tablo 3.1: A.B.D.'de katı atıkların içerisindeki plastik miktarı.

Yıllar	Plastik Miktarı (%)
1960	0,5
1970	2,6
1980	5,0
1990	9,8
1992	10,6
1994	11,2
1995	11,0
1996	12,3

Kullanım sonrası atıklarla ilgili birçok sınıflanma yapılmakla birlikte bunları oluşturdıkları sektörlerle göre incelemek gerekmektedir. Bunlar, kentsel atıklar (süpermarketler, alış-veriş merkezleri ve ev atıkları vb.), ambalaj, ziraat, otomotiv, inşaat ve elektrik - elektronik atıkları olarak sınıflanabilir [Telli, 2009]. Bu kaynağın sağlıklı bir şekilde değerlendirilebilmesi için plastik katı atıkların diğer atıklardan ayrılması, ayrılmış olan plastik atıkların plastik türlerine göre birbirinden ayrılması ve ayrılan bu plastiklerin temizleme, kıyma ve benzeri gibi işlemlerle uygulanacak prosese hazırlanması gerekmektedir [Tan et al, 2006].

3.2. Plastik Atık Geri Kazanımı

Kaynakların etkin kullanımına katkısı ve zamanımızda oluşan çevre bilincinin baskısı ile plastiklerin geri kazanımı oldukça önemlidir. Bugüne kadar ekonomik uygulanabilir bir yöntem (kâğıt, metal ve cam sanayilerinde olduğu gibi) ortaya konulmadığından plastik atıkların giderilmesinde yoğun araştırmalar yapılmaktadır. Atıkların çevreyi kirletmemesi için; toplama, nakliye, araziye doldurma ve benzeri gibi sarf edilecek maliyet düşünüldüğünde geri dönüşüm proseslerinin yakın bir gelecekte ekonomik olarak uygulanacağı beklenmektedir.

Plastik atıklar kullanım sonrası atıklar ve proses atıkları olarak iki gruba ayrılır. Proses atıkları plastik imal eden fabrikalardan elde edilen soğuk yolluk atıkları, üretim hatası parçalar ve çapaklardır. Proses atıkları toplam üretimin % 10'u kadardır ve genel olarak temizdirler. Kullanım sonrası atıklar ile ilgili birçok sınıflandırma mevcuttur. Bunları sektörlerine göre incelemek gerekir. Bunlar

ambalaj, otomotiv, ziraat, kentsel atıklar (ev, alışveriş merkezleri ve süpermarket atıkları vb.), elektronik-elektrik ve inşaat atıkları olarak sınıflandırılabilirler [Telli, 2009].

Doğada imalat artıkları ve şehir çöp artıkları olarak atık plastikler vardır. Atık plastiklerin geri kazanımı incelendiğinde; 4 çeşit yol izlendiği görülür. Bunlar, birincil, ikincil, üçüncül ve dördüncül geri kazanım yöntemleridir. Bu yöntemlerin ayrıntıları aşağıda açıklanmıştır.

3.2.1. Birincil Geri Kazanım

Atıkları, orijinal plastiklere katıp orijinal polimere yakın yeni plastik elde etmek için yapılan geri kazanım yöntemidir. Bu tip geri kazanımda, makinelerden çıkan artık plastikler ile temiz çöp plastikler kullanılır. Bu yöntem genelde termoplastikler için kullanılmaktadır, asıl amaç atık plastiklerden, orijinal polimerlerden elde edilen ürünlere yakın eşdeğerde ürün elde etmektir. Birincil geri kazanım yönteminde atık plastikler mekanik kıyıcılarla boyutları küçültülmekte, orijinal plastiklerle karıştırılıp tekrar işlenmektedir. Özellikle bu yöntemde proses atıklarının (imalat sırasında kalıptan çıkan maddelerin tıraşlanması vb. gibi oluşan plastikler) yeniden kullanılması ve kullanım sonrası atıklardan temiz olarak toplanabilen (toptan dağıtım merkezlerinde açılan büyük koli paketlenmelerinde kullanılan kirlenmemiş ambalaj plastikleri) atıklar kullanılmaktadır. Bu tip atıkların geri kazanılması ucuz olduğu kadar da basittir. Eğer plastikler herhangi bir madde ile (gübre torbalarındaki gibi) ya da dış etkiler ile (sera örtüleri) kirletilmiş ise, bunlara uygulanacak işlemler daha karmaşık ve pahalıdır. Atık plastiklerin bu yöntemde uygulanabilmesi için temel unsur, orijinal polimerden elde edilen ürüne eşdeğer özellikte ürün elde etmektir.

3.2.2. İkincil Geri Kazanım

İkinci geri kazanım yöntemi, orijinal plastik elde etme yerine ikinci kalite mal elde etmek için yapılan işlemdir. Plastik kullanılıp kirlendikten sonra, yani çöp haldeki plastik artıklar, ayrılır, temizlenir eritilerek kullanılır. Atık plastikten orijinal polimerden elde edilen ürüne eşdeğer olmayan ikincil kalitede mamul üretimine

yönelik geri kazanımdır. Burada kullanım sonrası kirlenmiş plastik atıkların, eritilerek ekstrüderden geçirilmesi esnasında temizleme, kurutma vb. işlemlerden sonra bir kıyıcıyla küçük boyutlara getirilerek tekrar işlenmesidir. Bunlar genel olarak imalatla polimerin içine fazla katkı maddesi katılması ve sera örtüleri, gübre torbaları gibi kullanım sonrasında kirlenmeden dolayı kalitesinde düşmeler olan plastik atıklara uygulanmaktadır. İkincil geri kazanım ile elde edilen plastik atıklar genel olarak ikinci sınıf kalitesiz mamullerin üretiminde kullanılmaktadır.

3.2.3. Üçüncül Geri Kazanım

Üçüncül geri kazanım, kimyasal geri kazanım olarak da tarif edilmektedir. Bu geri kazanımda temel amaç atık plastiklerden, plastiğin üretildiği polimerin monomerini, orijinal polimerini (veya daha düşük molekül ağırlıklı polimerini) ve diğer amaçlar için kullanılmak üzere çeşitli kimyasal maddelerin üretilmesidir. Bu geri kazanımda plastik atıklar, ya kendi polimerinin üretimi için monomer üretmek üzere değerlendirilmekte, ya da hammadde ve ara madde olarak kullanılmak üzere çeşitli kimyasallara dönüştürülebilmektedir. Kimyasal geri kazanım yöntemi ile plastik atıkların geri kazanımı üzerinde dünyada son yıllarda birçok araştırma yapılmıştır ve yapılmaktadır.

3.2.4. Dördüncül Geri Kazanım

Plastik atıklardan ısı geri kazanmak için yapılan bir yakma işlemidir. Burada plastik atıklar yakılarak enerjisinden faydalanılmaktadır. Özellikle son yıllarda çıkan çevre kanunlar ve diğer yaptırımlar yüzünden en son düşünülmesi gereken bir yöntemdir. Diğer yandan atıkların yakılması sonucu meydana gelecek toksik özelliğe sahip gazlar yüzünden insan sağlığı açısından da mahsurlu bir yöntemdir. Ayrıca, bir takım üretimlerde potansiyel kaynak olarak kullanılabilecek böyle bir imkânın değerlendirilmesinde, yakıt olarak düşünülmesi en kötü değerlendirme olarak nitelendirilmektedir.

4. TAGUCHI YÖNTEMİ

Taguchi yöntemi, Dr. Genichi Taguchi tarafından geliştirilmiş deneysel bir tekniktir. Amacı üretim alanı ve mühendislik analizinde yaygın olarak kullanılan işlem parametrelerinin en uygun aralıklarını belirlemektir. Taguchi yöntemi, zaman ve ekonominin çok önemli olduğu günümüz endüstrisinde geniş bir yer tutmaktadır. Bu yöntem, yüksek kaliteye sahip sistemlerin tasarlanması ve geliştirilmesi için kullanılan çok güçlü bir araçtır. Bu sebeplerden dolayı, Taguchi yöntemi kullanılarak endüstriler maliyetten hiç ödün vermeksizin ürün geliştirme zamanını önemli ölçüde azaltabilirler [Savaşkan vd., 2004].

Dr. Taguchi kendi adıyla anılan deney tasarımı tekniği ile deney sayısını oldukça azaltan bir teknik geliştirdi. Taguchi tekniği; kaliteyi arttıran, maliyeti düşüren, araştırma-geliştirme faaliyetlerini hızlandırmaya yarayan bir tekniktir [Öktem et al., 2007]. Taguchi yöntemi sayesinde sistemi etkileyen parametrelerin etkisi verimli bir şekilde elde edilir [Erzurumlu and Özçelik, 2006].

4.1. Taguchi Metodunun Gelişimi

Toplam kalite anlayışının gelişmesinde önemli katkıları olan Isikawa Kaoru Japonya'daki kalite hareketinde kalite denetimini; geleneksel muayene, istatistiksel kalite denetimi ve ürün-süreç tasarımı olarak üç aşamada belirtmiştir [Şirvancı, 1997]. Taguchi metodunun temelini oluşturan deney tasarımı, 1920'lerde istatistik biliminin babası sayılan İngiliz istatistikçi Sir Ronald Fisher tarafından, tarım alanında araştırmalar yaparken bulunmuş ve geliştirilmiştir. Fisher, ayrıca deney verilerinin analizi için bugün klasik sayılan ANOVA (varyans analizi) yöntemini de geliştirdi. Yöntem, kısa bir süre içinde, Amerika'da tarım sektöründe üretimin geliştirilmesi için yoğun olarak uygulanmış ve Amerika'nın bu alanda dünyada lider konuma gelmesine büyük katkıda bulunmuştur.

4.2. Taguchi Felsefesi

Taguchi'nin felsefesi şu şekilde özetlenebilir;

- Üretilen bir ürünün kalitesine ait önemli bir boyut da o ürünün toplumda meydana getirdiği kayıptır.
- Rekabetin olduğu bir ekonomide kaliteyi sürekli geliştirmek ve maliyetleri azaltmak işletmenin kalıcılığı için zorunludur.
- Sürekli bir kalite geliştirme programı ürün hedef değerlerinden sapmaları sürekli azaltmayı içerir.
- Bir ürünün performansındaki bir sapmadan dolayı tüketicide meydana gelen kayıp yaklaşık olarak o sapmanın karesi ile orantılıdır.
- Üretilen bir ürünün nihai kalitesi ve maliyeti (geniş bir şekilde) ilgili ürünün tasarım mühendisliği ve üretim prosesi tarafından belirlenir.
- Bir ürünün performansındaki sapmayı azaltmak için ürünün performans karakteristikleri üzerinde etkili olan parametrelerin lineer olmayan etkilerini kontrol altına almak gerekir.
- İstatistiki olarak tasarlanmış deneyler ürün veya proseslere ait performans sapmalarını azaltmak için kullanılır [Canyılmaz, 2001].

Taguchi yöntemi, üründe ve proseste değişkenliğe neden olan kontrol edilebilen faktörlerin seviyelerini, kontrol edilemeyen faktörlere karşı duyarsız olacak şekilde belirleyerek, ürün ve prosesteki değişkenliği en aza indirmeye çalışan bir deneysel tasarım yöntemidir. Bu yöntem, ürünlerin kalitesinin iyileştirilmesinin yanı sıra çok daha az deneme ile iyi sonuçlar veren ve istatistiksel araçlar ile ilgili bilgisi az uygulayıcıların da kolaylıkla uygulayabilecekleri bir yaklaşımdır [Şehirlioğlu, 1997].

Taguchi yöntemi, üretim organizasyonlarında daha geniş bir uygulamaya sahiptir. Tablo 4.1'de Taguchi yönteminin çeşitli üretim sektörlerindeki uygulamaları ve yöntemin kullanımının faydaları gösterilmektedir [Antony, 2001]

Tablo 4.1: Üretim alanındaki taguchi yönetimi uygulamaları.

SÜREÇ/ÜRÜN	PROBLEM	DENEY SAYISI	FAYDALARI
Enjeksiyon kalıbı yapma	Yüksek süreç değişkenliğine karşın yüksek ıskarta	8 deneme	Yıllık tasarruf 40.000 paund
Dizel akıtma	Yüksek yeniden işleme oranı	16 deneme	Yıllık tasarruf 10.000 paund üzerinde
Kaynak süreci	Düşük kaynak dayanımı	8 deneme	Yıllık tasarruf 10.000 paund üzerinde
Kimyasal süreç	Düşük süreç çıktısı	8 deneme	Süreç çıktısı 10% gelişti
Bisküvi	Bisküvi boylarındaki yüksek değişkenlik	16 deneme	Bisküvi uzunluklarındaki değişkenlik 25% azaldı
Tel bağlama süreci	Düşük tel çekme dayanımı	16 deneme	Yıllık tasarruf 30.000 paund üzerinde

4.3. Taguchi Deney Planı

Taguchi yöntemi farklı parametrelerin, farklı seviyeleri arasından en iyi kombinasyonu saptamak için oldukça kullanışlı bir yöntemdir. Her bir parametrenin, her bir seviyesini içeren tüm kombinasyonlar için oldukça fazla deneysel çalışma yapılması gereken durumlarda Taguchi yönteminde ortogonal dizi tablosu kullanılarak (Tablo 4.2) çok daha az sayıda deneysel çalışmayla sonuca ulaşmak mümkündür [Güral, 2003].

Seviye Sayısı													
2			3			4			5				
P=2	S=2	L4	P=2	S=3	L9	P=2	S=4	L16	P=2	S=5	L25		
P=3	S=2		P=3	S=3		P=3	S=4		P=3	S=5			
P=4	S=2		P=4	S=3		P=4	S=4		P=4	S=5			
P=5	S=2	L8	P=5	S=3	L18	P=5	S=4	L32	P=5	S=5	L50		
P=6	S=2		P=6	S=3		P=6	S=4		P=6	S=5			
P=7	S=2		P=7	S=3		P=7	S=4		P=7	S=5			
P=8	S=2	L11	P=8	S=3	L27	P=8	S=4		P=8	S=5			
P=9	S=2		P=9	S=3		P=9	S=4		P=9	S=5			
P=10	S=2		P=10	S=3		P=10	S=4		P=10	S=5			
P=11	S=2	L16	P=11	S=3	L36				P=11	S=5			
P=12	S=2		P=12	S=3					P=12	S=5			
P=13	S=2		P=13	S=3									
P=14	S=2	L32	P=14	S=3									
P=15	S=2		P=15	S=3									
P=16	S=2		P=16	S=3									
P=17	S=2		P=17	S=3									
P=18	S=2		P=18	S=3									
P=19	S=2		P=19	S=3									
P=20	S=2		P=20	S=3									
P=21	S=2		P=21	S=3									
P=22	S=2		P=22	S=3									
P=23	S=2		P=23	S=3									
P=24	S=2												
P=25	S=2												
P=26	S=2												
P=27	S=2												
P=28	S=2												
P=29	S=2												
P=30	S=2												
P=31	S=2												

Tablo 4.2: Taguchi yönteminde ortogonal dizi tablosu.

Bu çalışmada, seçilen üç parametrenin değişik kombinasyonları ile Taguchi deneysel tasarım yöntemine göre dokuz farklı enjeksiyon deney seti (L9) oluşturulmuştur. Diğer enjeksiyon parametreleri sabit tutulmuştur. PBT/PC/ABS TAG (PBT/PC/ABS-Taguchi) için enjeksiyon parametreleri ve deney planı Tablo 4.3'te verildi.

Taguchi yöntemi; sistem tasarımı, parametre tasarımı ve tolerans tasarımı olmak üzere üç aşamaya ayrılmıştır: Sistem tasarımı, bir ürünü üretmek için gerekli olan mühendislik ve bilimsel bilginin kullanılmasından oluşur. Parametre tasarımı, en uygun işlem parametreleri altında bir ürünün parametre değerlerini belirlemek ve performans karakteristiklerini geliştirmek için işlem parametrelerinin en uygun aralıklarını bulur. Tolerans tasarımı ise parametre tasarımı tarafından önerilen en

uygun aralıklar civarındaki toleransların analiz edilmesini ve saptanmasını sağlar. Bahsedilen bu tasarımlar arasında parametre tasarımı, maliyeti artırmaksızın yüksek kaliteye ulaşılmasında anahtar bir rol oynadığı için oldukça önemli ve en yaygın kullanılan aşamadır [Kayı, 2006].

Tablo 4.3: PBT/PC/ABS TAG enjeksiyon üretim şartları.

Deney No	Enjeksiyon Sıcaklığı (°C)	Enjeksiyon Basıncı (bar)	Ütüleme Basıncı (bar)
1	260	90	75
2	260	100	80
3	260	110	85
4	270	90	80
5	270	100	85
6	270	110	75
7	280	90	85
8	280	100	75
9	280	110	80

Klasik deneysel tasarım tekniklerinde işlem parametrelerinin sayısı arttıkça zaman yapılacak deney sayısı da artmak zorundadır. Taguchi yöntemi bu problemleri çözebilmek için, ortogonal deneysel tasarım, S/N (sinyal/gürültü) oranı ve Varyans analizi gibi üç önemli aracını birleştirerek sonuca ulaşır. Ortogonal deneysel tasarım, çok az sayıda deneyle tüm parametre uzayını tarayan özel bir tasarım oluşturmak için kullanılır. Ortogonal deneysel tasarıma göre planlanmış deneylerden elde edilen sonuçlar, S/N oranı içine taşınarak analiz edilir. S/N oranı, istenen değerlerden çıkarılan performans karakteristiklerinin ölçülmesi için kullanılır. ANOVA ise performans karakteristikleri üzerinde etkili olan işlem parametrelerinin önemlilik derecesini istatistiksel olarak saptamak için uygulanır.

Taguchi kayıp fonksiyonu olarak bilinen ve aynı zamanda gürültü oranı fonksiyonu olarak da ifade edilen 3 farklı amaca uygun fonksiyon bulunmaktadır. Buna göre, amacın “en küçük en iyi”, “en büyük en iyi” ve “nominal en iyi” olmasına göre aşağıdaki eşitlikler kullanılarak S/N oranları hesaplanır.

En düşük (küçük) en iyi olduğu durum,

$$S/N = -10 \log_{10} \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right] \quad (4.1)$$

En yüksek (büyük) en iyi olduğu durum,

$$S/N = -10 \log_{10} \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right] \quad (4.2)$$

Nominal en iyi olduğu durum,

$$S/N = 10 \log_{10} \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \bar{y}^2 / s^2 \right] \quad (4.3)$$

Eşitliklerde;

- y_i : Performans yanıtının i . gözlem değeri,
- n : bir denemede test sayısı,
- $\bar{y}$: Gözlem değerlerinin ortalaması,
- s^2 : Gözlem değerlerinin varyansını,

ifade etmektedir. Hangi hedef kullanılırsa kullanılsın sonuçta elde edilen en büyük S/N oranı en iyi sonuçtur. Bunun yanı sıra yapılan ANOVA analizi ile hangi faktörün deney sonucunu % kaç etkilediği belirlenir. Ayrıca ANOVA analizi ile sonuçların güven seviyesi belirlenir [Savaşkan vd., 2004].

Bu tez çalışmasında PBT/PC/ABS malzemenin geri dönüştürülmesinde mekanik özelliklerindeki değişimin; Taguchi yöntemiyle, işleme sırasında kullanılacak parametrelerin (enjeksiyon sıcaklığı, enjeksiyon basıncı, ütüleme basıncı) etkileri incelendi. Bu parametrelere ait seviye değerlerinin (üç farklı değer) oluşturduğu kombinasyonların en iyi mekanik özellikleri oluşturan birleşimi bulmak için ise L9 ortogonal dizi seti seçildi.

4.3.1. Sonuçların Değerlendirilmesi

Sonucun değerlendirilmesi için bir dizi istatistiksel işlem yapılması gerekmektedir. Fonksiyonun gürbüzlüğünü değerlendiren, hedef performans civarındaki varyansı, istikrar ve güvenilirliğini ölçen bir Sinyal/Gürültü (S/N) oranı belirlenmelidir [Sakarya ve Gloęlu, 2006].

Bu çalışmadaki amaç S/N oranını maksimize etmektir. Maksimize etmek, bir yandan sinyali arttırırken, diğer yandan da varyansı azaltmaktadır. Deneyler sonucunda elde edilen S/N değerleri hakkında yorum yapmak için bu değerlerin standart sapmaları, aritmetik ortalamaları, serbestlik derecelerinin hesaplanması gibi matematiksel ve istatistiksel işlemler yapılarak Varyans Analizi (ANOVA) tablosu oluşturulmaktadır.

5. LİTERATÜR TARAMASI

Şirketler karlarını maksimize etmek ve malzemelerin oluşturduğu çevre üzerindeki etkisini azaltmak için malzemelerin geri dönüşümüne önem göstermektedirler. Ancak, teknik bilgi eksikliği nedeniyle geri dönüşümlü malzemelerin kullanımı ile ilgili mecburi bir kısıtlanma söz konusudur [Candido, 2011].

Ürünlerin geri dönüşümü çevresel uygulamalar arasında önemli bir teknik rol oynamaktadır. Bu tekniğin önemi; ürün sonrası tüketim aşamalarına ilişkin bilgi ve doğal kaynakların ekonomi için neyi temsil ettiğini ve nasıl yönlendirilmesi gerektiğini iyi kavrayabilmektedir. Bu yüzden ürünlerin geri dönüşümü birçok çalışmada ortak amaç olarak gözetildi [Knight and Jenkins, 2009], [Conrad and Johansson, 2010]. Dizayn edilecek ürün için geri dönüşümlü malzeme kullanımını sağlıklı bir şekilde gerçekleştirmek, bunların geri dönüşüm özelliklerinin malzeme morfolojisine ve mekanik özelliklerine etkisini doğru saptayabilmek önemli bir stratejik hareket olarak kabul edilmektedir.

Geri dönüşümlü malzemelerin kalitesini değerlendirmek için üç ana nokta tanımlanır. Bunlar; bileşim, yapıların bozunması ve kirleticilerin (katkı maddeleri, dolgu maddeleri vs.) seviyesi olarak ifade edilir [Domingo, 2008]. Literatürde var olan plastik geri dönüşüm ile ilgili çalışmaların çoğu, katkı maddesi ilavesi ve geri dönüşümlü malzeme karakterizasyonu geliştirme üzerine gerçekleştirilmiştir. Bu katkı maddeleri geri dönüşümlü malzemelerin bazı mekanik özelliklerini değiştirmiş ve geliştirilmiş olmasına rağmen, bu malzemelerin maliyetinde önemli miktarda artışa sebep olmuştur [Ramirez and Sandoval, 2006].

Enjeksiyonla kalıplama yönteminin uygulamasında, bu geri dönüşümlü plastikleri kullanmak karmaşık işleme parametrelerini barındıran bir yöntem gerektirir. Etkili bir üretim sürecinde; bir bütünü etkileyen işleme parametrelerinin kontrolü, özellikle geri dönüşümlü malzemelerde önem taşımaktadır. Bu işleme parametrelerin her biri diğerlerine bağlıdır ve değişen herhangi bir parametre, bir diğerini veya tümünü etkiler.

PBT (poli bütilen Teraftalat) yarı kristalin, kimyasal ve termal özellikleri harika olarak bilinen bir malzemedir. Enjeksiyon kalıpcılığında kısa döngü zamanına sahiptir [Fu et al., 2013]. PBT otomotiv elektronik endüstrisinde yaygın bir şekilde

kullanılmaktadır [Zhang et al., 2009] . Düşük darbe dayanımına sahiptir [Liu et al., 2011]. Bu negatif özelliğin etkisini ortadan kaldırılabilmesi için ABS (akrilonitril bütadien stiren) veya PC (polikarbonat) polimeri ile karışım halinde literatürde çalışmalar yapılmıştır [Yao et al., 2007], [Chen et al., 1997].

PC ise amorf bir polimerdir. Düşük yorulma dayanımı ve yüksek vizkositeye sahip olmakla birlikte tok bir malzemedir. Bilgisayar parçalarının imalatında stabil ölçülendirilebilme ve yüksek darbe dayanımı özelliklerinden dolayı yaygın bir şekilde kullanılmaktadır [Zhang et al., 2009] .

ABS polimeri akrilonitril, bütadien ve stiren olmak üzere içinde üç yapı bulundurmaktadır. Akrilonitril; ABS polimerine kimyasal direnç özelliği, bütadien; darbe direnci ve tokluk özelliği, stiren ise sertlik ve işleme kolaylığı özelliği sağlamaktadır [Frounchi and Burford, 1993].

Esas çalışma konusu olarak karışımın geri dönüşümü ve mekanik özelliklerinin araştırılması hedeflendi. Literatürde bu üçlü karışım malzemesi hakkında herhangi bir çalışma yapılmamıştır. Bu yüzden bu çalışmaya referans olarak literatürdeki geri dönüşüm üzerine çalışılmış tekli ve ikili karışımlar seçildi.

Fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikler bakımından geniş bir yelpazeye sahip olan ve ayrıca geri dönüşüme elveriş sunan ABS/PC karışımları gibi polimer karışımlarının üretimleri, ticari kullanım oranı açısından artış göstermektedir. Yapılan çalışmalarda farklı oranlardaki ABS/PC karışımları üzerinde, geri dönüşümlü ABS malzeme kullanıldı. Bu durumun mekanik özelliklere etkisi araştırıldı. PC'nin karışıma eğilme dayanımı ve tokluk açısından olumlu anlamda etkisi olduğu gözlemlendi [Jin et al., 1997].

ABS/PC karışımları çeşitli ticari alanlarda kullanılmaktadır. Elektronik sektöründe (cep telefonu ve elektronik cihazlarda) de çok fazla tercih edilen bir karışımdır. Bunun sebebi olarak içeriğe ayrı ayrı bakıldığında; PC'nin karışıma mekanik ve termal özellikler açısından önemli katkıda bulunduğu, ABS'nin ise daha kolay işlenebilirliğe sahip olması ve düşük maliyete önemli anlamda katkısı olduğu gösterilebilir [Jin et al., 1997].

PC/ABS bileşimlerinde PC içeriğinin artmasıyla darbe dayanımının arttığı görülmüştür [Wong, 2003]. Genelde PC'nin karışım içindeki oranını arttırmak karışımın çekme dayanımını, elastisite modülünü, eğilme dayanımı ve eğilme modülünü arttırdığı gözlenmiştir. Literatürde var olan çalışmalarda % 30 PC içeren ABS/PC bileşimlerinde; esnekliğin, saf ABS polimerine yakın çıktığı bulunmuştur

[Jin et al., 1997]. Molekül ağırlığınca % 15 ile % 45 oranında PC içeren ABS/PC karışımın tokluğunda artış saptanmıştır. Ayrıca darbe mukavemetinde ABS/PC için 70/30'luk bir karışım söz konusu iken $35 - 42 \text{ kJm}^{-2}$ değerleri arasında bir değişim gözlenmiştir.

ABS/PC karışımı geri dönüşümünün mekanik özelliklerine etkisini araştıran başka bir çalışmada elde edilen değerler Tablo 5.1 ve Tablo 5.2' de gösterildi [Candido, 2011].

Tablo 5.1: Geri dönüşümlere göre elastisite modülü ve çekme dayanımı.

	70/30	1.G.D.	2.G.D.	3.G.D.	4.G.D.	5.G.D.
Elastisite Modülü (Mpa)	2438	2384	2350	2326	2310	2293
Gerilme Dayanımı (N)	1762	1689	1675	1614	1620	1622

Tablo 5.1'de elastisite modülünde doğrusal bir azalma gözlenmiştir. Bu sonuç literatürdeki başka bir çalışmayla benzerlik göstermektedir [Balert, 2006]. PC ilavesi karışımın elastisite modülünün düşmesine sebep olmuştur. Tablo 5.2'de verilen sonuçlara göre darbe dayanımı beş kez geri dönüşümü yapılan her numunede, saf numuneye göre daha düşük çıkmıştır. Fakat G.D. (geri dönüşüm) sayısı arttıkça darbe dayanımı değerlerinde bir artış söz konusudur.

PC'ın çok yüksek darbe dayanımı özelliğine sahip olduğu bilinmektedir. Tablo 5.2'de saf ABS/PC (70/30) karışım için darbe mukavemeti değerleri, geri dönüşüm süreçlerine referans olarak kullanılmıştır [Candido, 2011].

Tablo 5.2: Darbe dayanımı sonuçları.

	70/30	1.G.D.	2.G.D.	3.G.D.	4.G.D.	5.G.D.
Darbe Dayanımı Kj/m^2	40	17,5	18,3	20,7	20,9	21,5

ABS/ PC karışımlarında darbe mukavemeti, karışıma PC eklenmesi ile geliştirildi. Karışımın darbe dayanımı performansı için sorumlu bileşeni bütadien olduğundan ve stiren akrilonitril (SAN) matrisi içinde dağılmış olduğunda, bütadien peklik kazandırır ve iki bileşen (ABS ve PC) arasındaki yapışmayı arttırıcı özellik sağlar [Jin et al., 1997]. Bu özellik bu iki karışımın darbe mukavemetinin artmasının sebebini açıklamaktadır.

Literatürdeki bir başka çalışmada saf PP ve geri dönüştürülmüş PP'in belirli oranlarda ilave edilmesiyle oluşturulan karışımın, Taguchi yöntemi kullanılarak mekanik özelliklerinin optimizasyonu araştırılmıştır. Amaç optimal işleme parametrelerini belirlemek ve geri dönüşümlü plastiklerin ilave yüzdelere karar vermektir. Zaman ve maliyet açısından tüm kombinasyonlar için çok sayıda deneyin yapılması uygulanabilir değildir. Taguchi yöntemi, deneyleri kolaylaştırmak için; bir ortogonal dizi tasarlayarak, daha az sayıda deneylerle çalışmayı sağlar. Bu çalışmada, dört işlem parametresi ve bu parametreler için üç seviye seçildi. Tablo 5.3'te malzemelerin saf ve geri dönüşüm karışım yüzdeleri, Tablo 5.4'te ise üretim parametreleri ve seviyeleri verildi [Nik, 2011].

Tablo 5.3: PP saf ve geri dönüşüm karışım yüzdeleri.

Malzeme	Saf PP(%)	Dönüşümlü PP(%)
PP100	100	0
PP75	75	25
PP50	50	50
PP25	25	75

Tablo 5.4: Üretim parametreleri ve seviyeleri.

Kolon	Parametreler	Seviye1	Seviye2	Seviye3
A	Eriyik Sıcaklığı	220	240	260
B	Ütüleme Basıncı (%)	70	80	85
C	Enjeksiyon Zamanı (s)	0,2	0,6	1
D	Ütüleme Zamanı (s)	10	20	30

Taguchi yönteminde kalite özellikleri; daha küçük en iyi, daha büyük en iyi ve nominal en iyi olarak kategorize edilebilir. Mekanik özelliklerin çalışmasında, yüksek mukavemet beklenmektedir. Bu nedenle S/N oranı daha büyük en iyi olarak istenmektedir [Nik, 2011].

Enjeksiyon işleme parametrelerinin, deneysel analizin kalitesi üzerinde büyük bir etkisi vardır. Çeşitli kompozisyonlarda parametrelerin değişimi sonucu saf ve geri dönüşümlü plastikten yapılmış parçaların mekanik özellikleri iyileşme veya bozulma gösterebilir. Bu çalışmada yük altında ürünün eğilimi ve deformasyona karşı direnç kabiliyeti gibi iki mekanik özellik deneylerde vurgulanmıştır.

Tablo 5.5: Saf ve geri dönüşüm durumlarına göre eğilme dayanımı ve modülü değerleri.

Malzeme	Eğilme Modülü (Mpa)	Eğilme Dayanımı (Mpa)
PP100	1572,73	43,24
PP75	1624,07	41,75
PP50	1540,33	40,15
PP25	1584,00	41,18

Tablo 5.5'ten de görülebileceği gibi eğilme modülü için yüksekten aşağıya doğru olan değerler sıralaması PP75, PP25, PP100, PP50 olarak bulunmuştur. Eğilme dayanımı için ise en yüksekten aşağıya doğru olan değerler sıralaması PP100, PP75, PP25, PP50 olarak bulunmuştur.

Eğilme modülü için optimum işleme parametreleri PP100, PP75, PP50, PP25 ve PP0 sırasına göre A1B3C2D1, A2B2C3D1, A3B3C3D2, A1B3C2D1 ve A1B1C2D3' tür. Eğilme dayanımı için ise, en uygun işleme parametreleri sırasıyla A1B3C3D1, A2B2C3D1, A3B3C3D1, A1B3C2D1 ve A3B3C3D2' dir [Nik, 2011].

Bu tez çalışmasında, literatürden farklı olarak, daha önce üzerine herhangi bir çalışma yapılmamış PBT/PC/ABS karışım malzemesi geri dönüşümünün mekanik ve kimyasal özelliklere etkisi Taguchi deney tasarımına göre hazırlanarak incelendi. Ayrıca mekanik özelliklerin karşılaştırılarak yorumlanması gereksiniminden dolayı cam elyaf katkılı ve katkısız PBT/PC/ABS karışımı saf ve geri dönüşümlü olarak hazırlanarak tez çalışmasına dahil edildi. Yöntem olarak; PBT/PC/ABS malzemesinin saf ve 1., 2., 3., 4., 5. geri dönüşümleri hazırlandı. Geri dönüşüm için malzemeler kırma makinesinde kırıldı. Üretimi ise plastik enjeksiyon makinesinde gerçekleştirildi. Her bir enjeksiyon basımında testler için gerekli sayıda numune alınarak saf ve geri dönüşümlü malzemelerin mekanik özelliklerindeki değişimleri incelemek için hazırlanan numuneler çekme testi (maksimum uzama (%), çekme dayanımı, akma dayanımı ve elastisite modülü), eğilme testi, izod darbe testi ve eriyik akış testlerine tabi tutuldu. Kimyasal özellikleri incelemek için ise malzemelere SEM (taramalı elektron mikroskobu) analizi, kızılötesi spektroskopisi, termal gravimetrik analiz, diferansiyel taramalı kalorimetri testleri uygulandı.

6. DENEYSEL ÇALIŞMA

6.1. Kullanılan Deney Araç-Gereçleri ve Özellikleri

Deneylerde kullanılan malzeme, makine ve araçların teknik özellikleri aşağıda belirtildi.

6.1.1. Enjeksiyon Makinesi

Deney numunelerinin basılmasında 125 gr basma kapasitesi, 900 kN kapama kuvveti, WENSUI 5HP gücünde soğutma sistemi ve maksimum 95 °C'ye ayarlanabilen kalıp şartlandırıcısı olan Şekil 6.1'deki YIZUMI-UN90A2 marka enjeksiyon makinesi kullanıldı. Ayrıca, standartlara uygun test çubukları verecek şekilde tasarlanmış olan kalıp enjeksiyon makinesinde kullanıldı. Plastik enjeksiyon makinesinin teknik özellikleri Ekler bölümünde Şekil A1.1'de verildi. Şekil 6.2'de kalıp şartlandırıcısının resmi verildi.



Şekil 6.1: Plastik enjeksiyon makinesi.

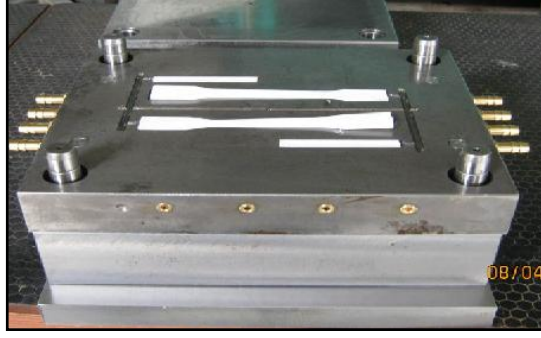


Şekil 6.2: Kalıp şartlandırıcısı.

Ekler bölümünde Şekil A1.2’ de kalıp şartlandırıcısının teknik özellikleri verildi. Soğutucunun resmi Şekil 6.3’de, soğutucunun teknik özellikleri Ekler bölümünde Şekil A1.3’te verildi. Enjeksiyon makinesinde kullanılan kalıbın resmi de Şekil 6.4’te verildi.



Şekil 6.3: Soğutucu.



Şekil 6.4: Enjeksiyon makinesinde kullanılan kalıp.

6.1.2. Kırma Makinesi

Şekil 6.5’te resimle gösterilen Ekler bölümünde Şekil A1.4’te teknik özellikleri verilmiş olan kırma makinesi plastik enjeksiyon makinesinde üretilen malzemelerin geri dönüştürülmesinde kullanıldı.



Şekil 6.5: Kırma makinesi.

6.1.3. Darbe Test Cihazı

Dokunmatik ekranlı, otomatik çekiç tanımlama özelliğine sahip Şekil 6.6’da gösterilmiş manuel INSTRON (Ceast 9050) marka cihaz darbe mukavemet ölçümleri için kullanıldı. Bu test cihazının teknik özellikleri Ekler bölümünde Şekil A1.5’te verildi.



Şekil 6.6: Darbe test cihazı.

6.1.4. Erime Akış Ölçüm Cihazı

Maksimum 300 °C kapasiteli, zaman ayarlı, $\pm$ % 1 duyarlılıklı, otomatik kesme özellikli Devotrans-EA3 marka cihaz eriyik akış ölçümleri için kullanıldı. Erime akış ölçüm cihazının fotoğrafı Şekil 6.7’de verildi.



Şekil 6.7: Erime akış ölçüm cihazı.

6.1.5. Çekme Test Cihazı

Bilgisayar yazılımı ile kontrol edilen INSTRON 5569 marka cihaz çekme mukavemet ölçümleri için kullanıldı. Şekil 6.8’de çekme test cihazının resmi, Ekler bölümünde Şekil A1.6’da teknik özellikleri verildi.



Şekil 6.8: Çekme test cihazı.

6.1.6. Termal Gravimetrik Analizi

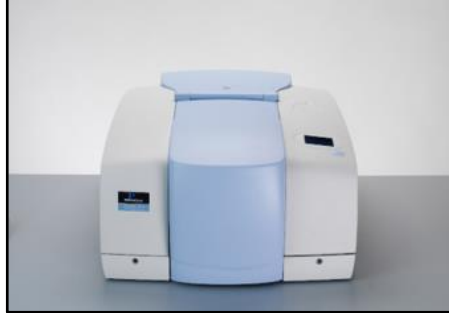
GYTE Kimya bölümünde bulunan Şekil 6.9’da gösterilen Mettler Toledo-TGA/SDTA 851 marka cihaz termal analizler için kullanıldı. TGA (Termal gravimetrik analiz) cihazı teknik özellikleri Ekler bölümünde Şekil A1.7’de verildi.



Şekil 6.9: Termal gravimetrik analiz cihazı.

6.1.7. Kızıl ötesi Spektrometresi

GYTE Kimya bölümünde bulunan Şekil 6.10’da gösterilmiş Perkin Elmer 100 21.JPEG marka cihaz ile kızıl ötesi (infrared) spektrometresi analizleri gerçekleştirildi.



Şekil 6.10: Kızıl ötesi spektrometresi.

6.1.8. Taramalı Elektron Mikroskobu

SEM analizleri GYTE Malzeme Mühendisliği laboratuvarında bulunan Philips XL 30 SFEG marka taramalı elektron mikroskobu cihazı ile gerçekleştirildi. Şekil 6.11’de taramalı elektron mikroskobunun resmi verildi.



Şekil 6.11: Taramalı elektron mikroskobu.

6.1.9. Diferansiyel Taramalı Kalorimetri

GYTE Kimya Bölümünde bulunan Şekil 6.12’de gösterilmiş DSC 822 (Mettler Toledo) marka cihaz ile diferansiyel taramalı kalorimetri analizleri gerçekleştirildi.



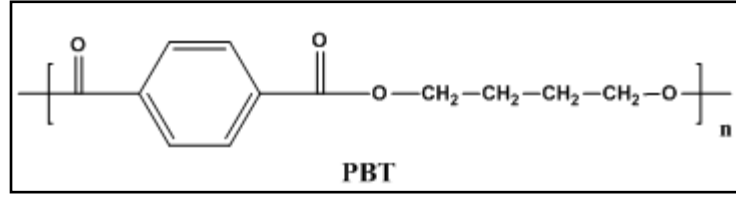
Şekil 6.12: Diferansiyel taramalı kalorimetri.

6.2. Kullanılan Plastik Malzeme ve Özellikleri

Bu çalışmada, PBT/PC/ABS ve PBT/PC/ABS-CE malzemeleri kullanılmıştır. Bu malzemelerle ilgili detaylı bilgi aşağıda verilmiştir.

6.2.1. Polibütlen Teraftalat

PBT, 1,4 bütlen glikol ile dimetil teraflatalat veya teraftalik asidin esterleşme reaksiyonu sonucu elde edilen yarı kristal mühendislik termoplastik malzemesidir [Liu et al., 2007]. PBT-PC ikili karışımında PBT ise yapıya kimyasal direnç kazandırmaktadır. Karışımın özelliklerinde ise yüksek bozunma sıcaklığı, boyutsal kararlılık ve iyi akışkanlık gibi özelliklerin olması otomotiv sektöründe dış parçalarda kullanımını sağlamaktadır [Bai et al., 2005]. PBT-PC malzemesinin kimyasal yapısı Şekil 6.13’te verilmiştir. PBT malzemeye ait SABIC üretici firma tarafından sağlanan teknik bilgiler Tablo 6.1’de verilmiştir.



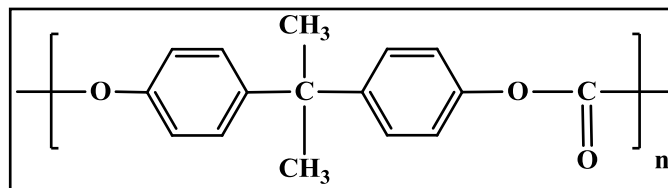
Şekil 6.13: PBT kimyasal formülü.

Tablo 6.1: Kullanılan PBT malzemenin teknik özellikleri.

Test	Birim	Değer	Test Metodu
	Fiziksel		
Eriyik Akış İndeksi (250 °C/1,2 kg)	g/10 dk	127	ASTM D-1238
Yoğunluk	g/cm ³	1,31	ISO 1183
	Mekanik		
Maksimum Dayanım (23 °C, hız=50mm/dk)	kgf/	500	ASTM D638
Maksimum Uzama (23 °C, hız=50mm/dk)	%	2	ASTM D638
İzod Darbe Testi (23 °C, çentiksiz)	Kg. cm/cm	90	ASTM D-256

6.2.2. Polikarbonat

Yoğunluğu 1,2 g/cm³ civarındadır, serttir ve –100 C°' ye kadar darbe dayanımı vardır. Yük altında deformasyon sıcaklığı yüksektir. Cam gibi şeffaftır. Toksik değildir. Elektrik iletkenliği yoktur (Şekil 6.14). Yağlara, yakıtlara, sulandırılmış asitlere ve alkollere dayanıklı; güçlü asitlere, alkalın çözeltilerine ve benzene dayanıksızdır. Parlak sarı ve dumanlı yanar, kömürleşir. Tipik bir kokusu yoktur.



Şekil 6.14: PC kimyasal formülü.

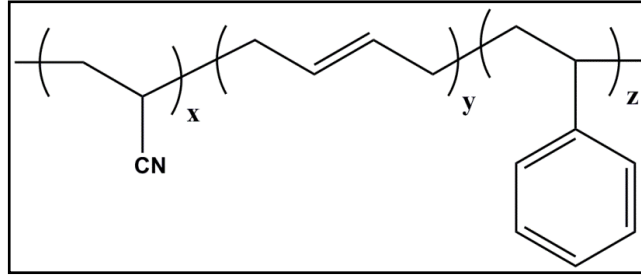
Tez kapsamında malzemelerin karışımında PC malzeme olarak DOW CALIBRE 201-15 marka ürün kullanılmıştır. DOW CALIBRE 201-15 PC malzemeye ait üretici tarafından sağlanan teknik bilgiler Tablo 6.2’de verildi.

Tablo 6.2: Kullanılan PC malzemenin teknik özellikleri.

Test	Birim	Değer	Test Metodu
	Fiziksel		
Eriyik Akış İndeksi (300 °C/1,2 kg)	g/10 dk	14,5	ASTM D-1238
Yoğunluk	g/cm ³	1,2	ASTM D-792
	Mekanik		
Maksimum Dayanım (23 °C, hız=50mm/dk)	Mpa	71	ASTM D638
Akma Dayanımı (23 °C, hız=50mm/dk)	MPa	60	ASTM D638
İzod Darbe Testi (23 °C, çentikli)	J/m	850	ASTM D-256

6.2.3. Akrilonitril bütadien stiren

ABS, akrilonitril ve stiren monomerlerinin polibütadien yanında polimerizasyonu ile sentezlenen bir terpolimerdir (Şekil 6.15). Akrilonitril ve stiren kopolimeri polibütadien ana zincir üzerinde yan dallar halinde bulunur. Akrilonitril bileşeni, polimere kimyasal direnç ve ısı kararlılık, bütadien vurma dayanımı, stiren ise sertlik özellikleri kazandırır [Saçak, 2005]. ABS ürünleri, otomotiv parçaları, ofis makineleri ve ev eşyaları gibi birçok endüstriyel ve tüketici ürünleri uygulamalarında koruyucu ve dekoratif amaçlı olarak kullanılır [Jin et al., 2010].



Şekil 6.15: ABS kimyasal formülü.

Tez kapsamında karışımlarda ABS malzeme olarak LG Chem HI121H ABS marka ürün kullanıldı. LG Chem HI121H ABS malzemeye ait üretici tarafından sağlanan teknik bilgiler Tablo 6.3'te verildi.

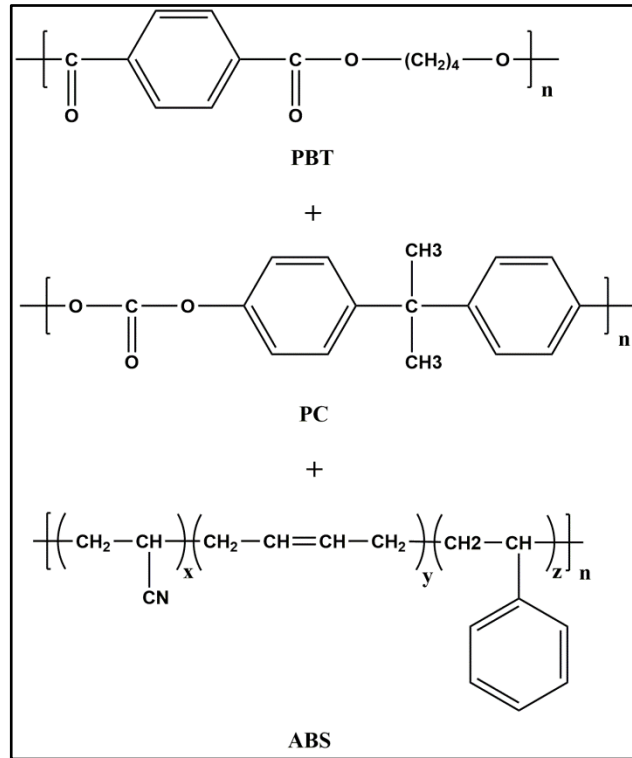
Tablo 6.3: Kullanılan akrilonitril bütadien stiren malzemenin teknik özellikleri.

Test	Birim	Değer	Test Metodu
	Fiziksel		
Eriyik Akış İndeksi (230 °C/2,16 kg)	g/10 dk	23	ASTM D-1238
Yoğunluk	g/cm ³	1,04	ASTM D-792
	Mekanik		
Maksimum Dayanım (23 °C, hız=50mm/dk)	kg/	520	ASTM D638
Maksimum Uzama (23 °C, hız=50mm/dk)	%	30	ASTM D638
İzod Darbe Testi (23 °C, çentikli)	Kg. cm/cm	20	ASTM D-256

6.2.4. Polibütilen Teraftalat - Polikarbonat - Akrilonitril Bütadien Stiren

PBT/PC/ABS üçlü karışımı (Şekil 6.16), % 33 oranında Dow firmasından temin edilen akrilonitril bütadien stiren, % 33 oranında Sabic firmasından temin edilen polikarbonat ve % 33 oranında Sabic firmasından temin edilen polibütilen teraftalat polimerleri ile ekstrüzyon makinesinde hazırlandı. Ayrıca bu üçlü karışıma

toplam oranlarının % 5'i oranında uyumlaştırıcı malzeme ilave edildi. Karışımın ekstrüzyon şartları Tablo 6.4'te verildi.



Şekil 6.16: PBT/PC/ABS karışımı kimyasal yapısı.

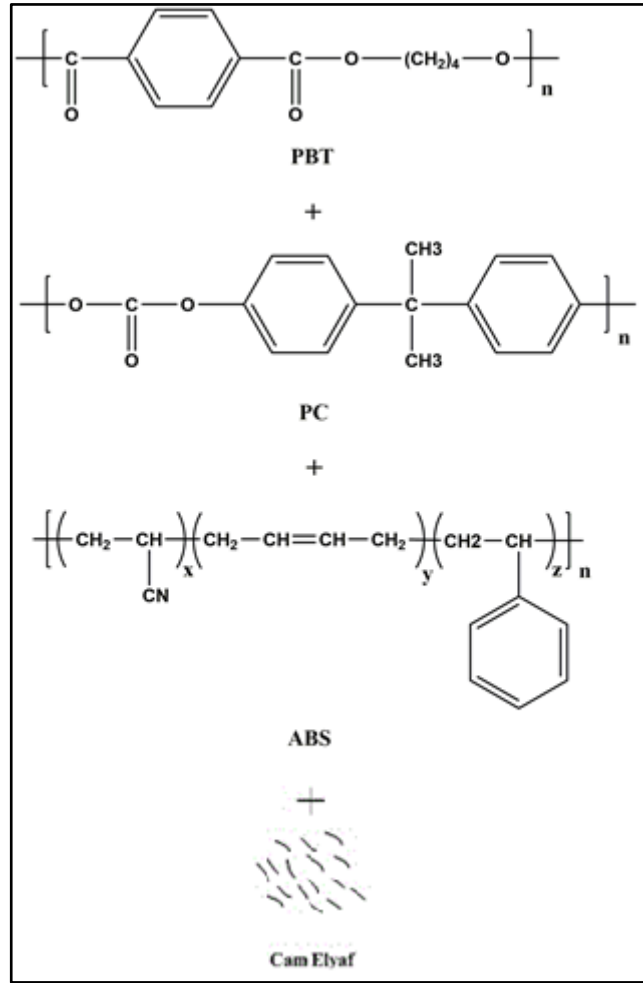
Tablo 6.4: PBT/PC/ABS TAG ekstrüzyon çalışma şartları.

Ekstrüder vida dönüş hızı	350 rpm
Tork	50 amp
Kapasite	70 kg/saat
Kovan Sıcaklıkları	220-260 °C

6.2.5. %10 Cam Elyaf Takviyeli Polibütilen Teraftalat - Polikarbonat - Akrilonitril Bütadien Stiren

% 10 Cam elyaf takviyeli PBT/PC/ABS üçlü karışımı (Şekil 6.17), % 28 oranında Dow firmasından temin edilen akrilonitril bütadien stiren, % 28 oranında Sabc firmasından temin edilen polikarbonat ve % 28 oranında Sabc firmasından temin edilen polibütilen teraftalat polimerleri ile ekstrüzyon makinesinde % 5

oranında uyumlaştırıcı katılarak hazırlandı. Karışım Tablo 6.5'te verilen şartlarda ekstrüzyonda karıştırıldı.



Şekil 6.17: PBT/PC/ABS-CE karışımı kimyasal yapısı.

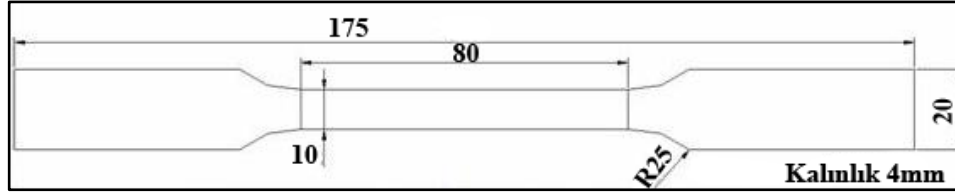
Tablo 6.5: PBT/PC/ABS-CE ekstrüzyon çalışma şartları.

Ekstrüder vida dönüş hızı	350 rpm
Tork	55 amp
Kapasite	70 kg/saat
Kovan Sıcaklıkları	220-260 °C
Kül içeriği	%10.2

6.3. Deney Numuneleri

6.3.1. Çekme Test Numunesi

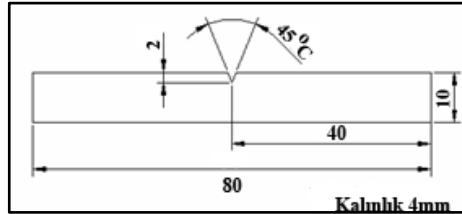
Şekil 6.18'de görülen numunenin çekme testleri ISO 527 standardına göre yapıldı.



Şekil 6.18: Çekme numunesinin şekil ve boyutları ISO 527.

6.3.2. Darbe Test Numunesi (Çentikli)

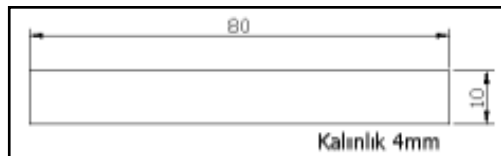
Şekil 6.19'da görülen numunenin darbe testleri ISO 180 standardına göre yapıldı.



Şekil 6.19: ISO 180'e göre çentikli izod darbe test numunesi.

6.3.3. Eğilme Test Numunesi

Şekil 6.20'de görülen numunenin eğilme testleri ISO 178 standardına göre yapıldı.



Şekil 6.20: ISO 178'e göre eğilme testi numunesi.

6.4. Deney Numunelerinin Plastik Enjeksiyonda Üretilmesi

Deneyler üçlü malzeme için enjeksiyon şartları göz önünde bulundurularak yapıldı. Bu aşamada, Taguchi metodu kullanılarak enjeksiyon şartlarının belirlenmesi için, üretim şartları değiştirilerek uygun deney numuneleri üretildi. Deneme basımları ve deney numunelerinin üretiminde toplamda her bir malzeme çeşidi için yaklaşık olarak 1 çuval (25 kg) hammadde harcandı. Üretime önce saf malzeme basımıyla başlandı. Basımdan sonra yeterli sayıda test numunesi ayrıldı. Kalan malzemeler kırılarak 1. geri dönüşüm gerçekleştirildi. 1. geri dönüşümden basılan malzemelerden test numuneleri ayrıldı ve kalan malzemeler yine kırılarak 2. geri dönüşüm için hazırlandı. 3. , 4. ve 5. geri dönüşüm işlemleri için de aynı proses takip edildi. PBT/PC/ABS malzemesi için sadece saf ve 1., 2., 3., 4. ve 5. geri dönüşüm malzemeleri hazırlandı. Tüm malzemeler için üretim şartları ve üretilen deney numunesi adetleri belirtildi.

6.4.1. PBT/PC/ABS-TAG

Test çubuklarının enjeksiyon ile üretiminde deneylerin tasarımı Taguchi metodu ile oluşturuldu. Taguchi metodu, deneylerin tasarlanmasında, ortogonal dizi olarak bilinen ve özel olarak elde edilen tablolardan faydalanır. Ortogonal dizilerin kullanımı deney tasarımını kolaylaştırır ve daha az sayıda deney yapılmasını sağlar. Taguchi ortogonal dizisi kullanılarak, toplamda 27 deney seti ($3 \times 3 \times 3$, tüm faktöriyel tasarım için), 9 sete (Tablo 6.6) indirilmiş olur. Böylece, deneysel maliyetler, zaman ve iş gücü azaltılmış olur. Bu projede, enjeksiyon sıcaklığı, enjeksiyon basıncı ve ütüleme basıncı değişken parametreler olarak seçildi. Taguchi deney tasarımına göre enjeksiyonda basılan numuneler tez boyunca PBT/PC/ABS TAG (Taguchi) olarak ifade edildi.

Tablo 6.6: PBT/PC/ABS TAG enjeksiyon üretim şartları.

Deney No	Enjeksiyon Sıcaklığı (°C)	Enjeksiyon Basıncı (bar)	Ütüleme Basıncı (bar)
1	260	90	75
2	260	100	80
3	260	110	85
4	270	90	80
5	270	100	85
6	270	110	75
7	280	90	85
8	280	100	75
9	280	110	80

6.4.2. PBT/PC/ABS

Tez çalışmasında, Taguchi deney planına ilave olarak PBT/PC/ABS malzemesi için şartlar sabit tutularak test çubukları basıldı. Bu test çubuklarının Tablo 6.7'deki üretim şartlarına göre plastik enjeksiyonda basımı gerçekleştirildi.

Tablo 6.7: PBT/PC/ABS enjeksiyon hazırlık ve üretim şartları.

Kurutma Süresi (saat)	2
Kurutma Sıcaklığı (°C)	100
Kalıp Sıcaklığı (°C)	80
	Meme 280
Isıtıcılar (°C)	Fırın 1 275
	Fırın 2 270
	Fırın 3 265
Enjeksiyon Basıncı (bar)	125
Enjeksiyon Hızı (%)	65
Soğuma Zamanı (sn)	30
Ütüleme Basıncı (bar)	75
Ütüleme Zamanı (sn)	2,5
Mal Alma Hızı (%)	55
Kalıp Sıcaklığı (°C)	55
Chiller Soğutma Ünitesi Sıcaklığı (°C)	15

6.4.3. PBT/PC/ABS-CE

Çalışmada, üçüncü deney planı olarak cam elyafı PBT/PC/ABS (PBT/PC/ABS-CE) malzemesi için şartlar sabit tutularak test çubukları basıldı. PBT/PC/ABS-CE test çubuklarının Tablo 6.8'deki üretim şartlarına göre plastik enjeksiyonda basımı gerçekleştirildi.

Tablo 6.8: PBT/PC/ABS-CE enjeksiyon hazırlık ve üretim şartları.

Kurutma Süresi (saat)		2
Kurutma Sıcaklığı (°C)		100
Kalıp Sıcaklığı (°C)		80
	Meme	280
Isıtıcılar (°C)	Fırın 1	275
	Fırın 2	270
	Fırın 3	265
Enjeksiyon Basıncı (bar)		125
Enjeksiyon Hızı (%)		65
Soğuma Zamanı (sn)		30
Ütuleme Basıncı (bar)		75
Ütuleme Zamanı (sn)		2,5
Mal Alma Hızı (%)		55
Kalıp Sıcaklığı (°C)		55
Chiller Soğutma Ünitesi Sıcaklığı (°C)		15

7. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

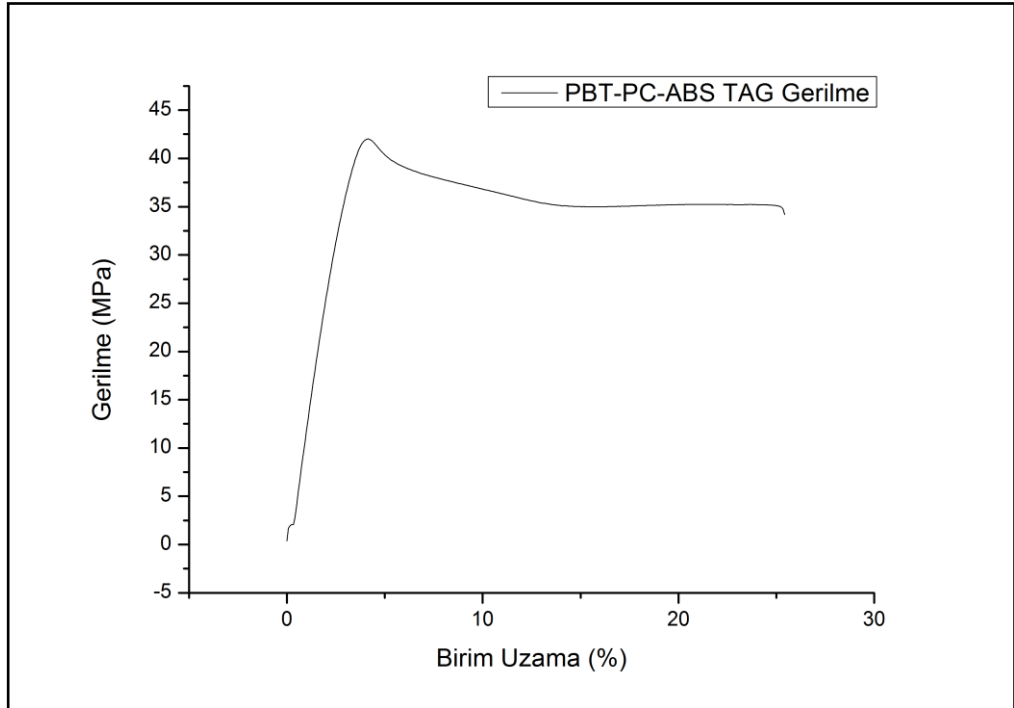
PBT/PC/ABS-TAG, PBT/PC/ABS ve PBT/PC/ABS-CE malzemeler için gerçekleştirilen mekanik ve kimyasal testlerin sonuçları ve değerlendirilmesi bu bölümde yapılmıştır.

7.1. Çekme Testi Sonuçları

PBT/PC/ABS-TAG, PBT/PC/ABS ve PBT/PC/ABS-CE malzemeler için gerçekleştirilen çekme dayanımı test sonuçları aşağıda verilmiştir.

7.1.1. PBT/PC/ABS-TAG

PBT/PC/ABS karışımının saf örneğinin gerilme - birim uzama (%) grafiği Şekil 7.1’de verildi.

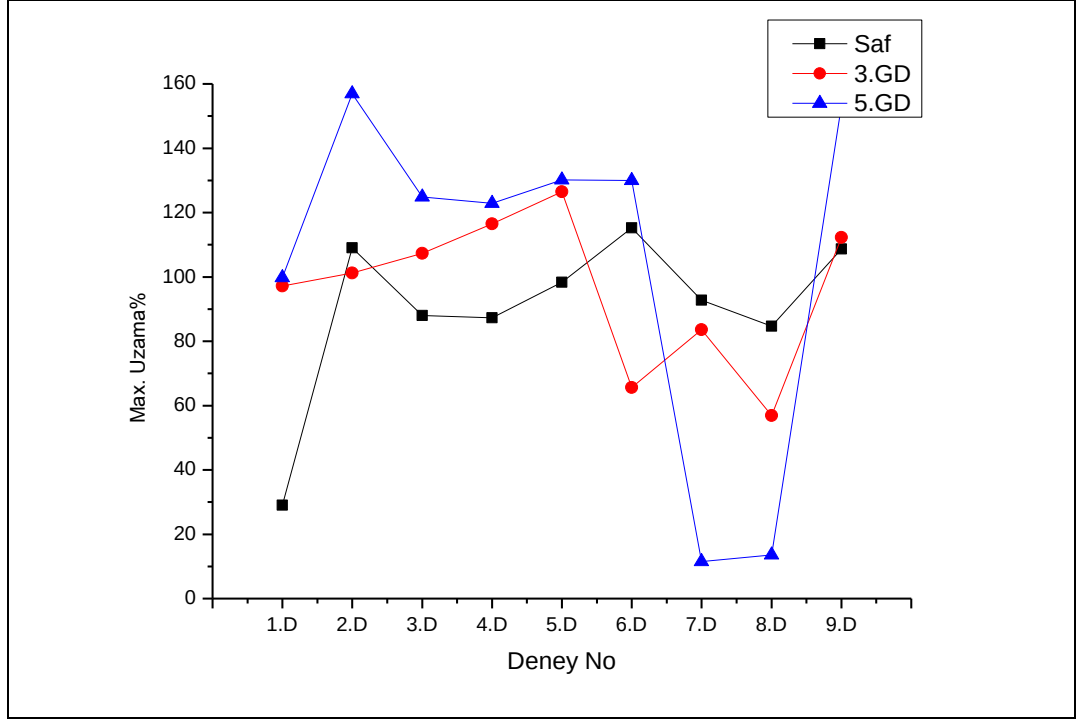


Şekil 7.1: PBT/PC/ABS karışımı örnek gerilme - birim uzama grafiği.

Tablo 7.1’de PBT/PC/ABS’nin saf, 3. ve 5. geri dönüşümlerinin çekme test sonuçları verildi. PBT/PC/ABS’nin çekme hızı 5 mm/dak olup, ISO 527 test standardı kullanıldı. Şekil 7.2’de ise maksimum uzama (%) grafiği verildi.

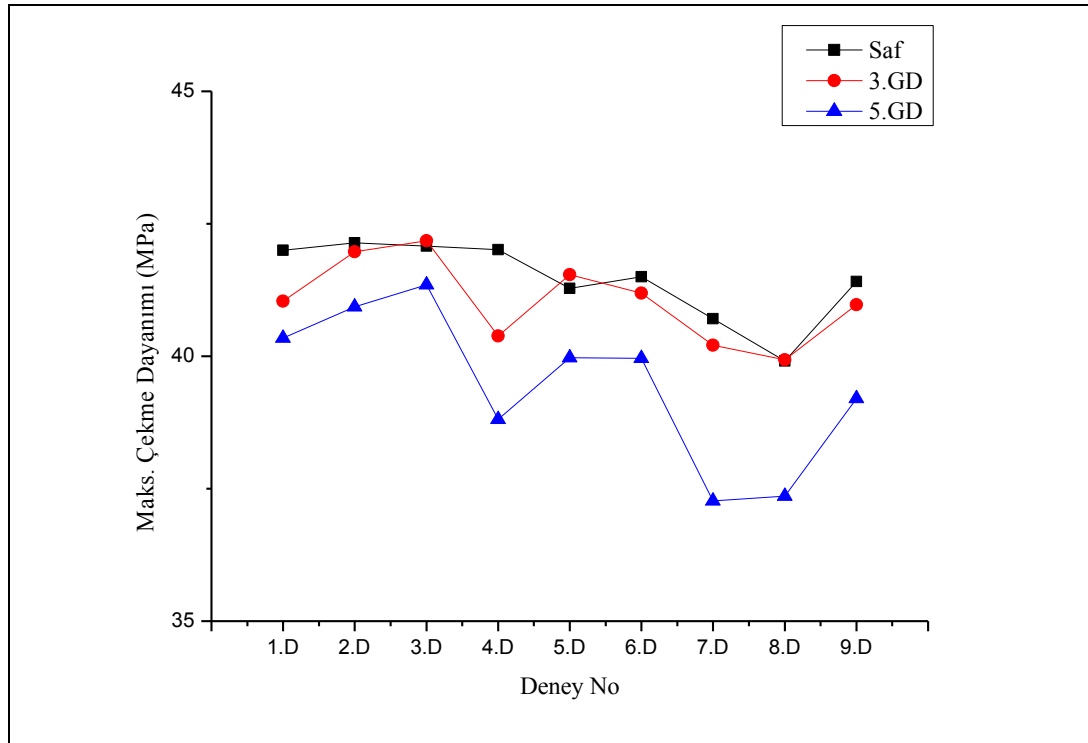
Tablo 7.1: PBT/PC/ABS TAG malzemesinin çekme test sonuçları.

Malzeme	Maksimum Uzama (%)	Maksimum Çekme Dayanımı (MPa)	Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Elastisite Modülü (MPa)
	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama
PBT/PC/ABS-TAG SAF 1.D	29,02	42	31,81	1240,67
PBT/PC/ABS-TAG SAF 2.D	108,99	42,14	32,36	1284,2
PBT/PC/ABS-TAG SAF 3.D	87,97	42,08	32,53	1288,6
PBT/PC/ABS-TAG SAF 4.D	87,29	42,01	31,99	1231,84
PBT/PC/ABS-TAG SAF 5.D	98,33	41,28	31,8	1235,98
PBT/PC/ABS-TAG SAF 6.D	115,27	41,5	31,8	1252,04
PBT/PC/ABS-TAG SAF 7.D	92,72	40,71	28,34	1317,43
PBT/PC/ABS-TAG SAF 8.D	84,63	39,91	27,76	1308,78
PBT/PC/ABS-TAG SAF 9.D	108,63	41,41	28,21	1323,69
PBT/PC/ABS-TAG 3.G.D. 1.D	97,16	41,04	31,77	1312,59
PBT/PC/ABS-TAG 3.G.D. 2.D	101,22	41,97	30,94	1367,34
PBT/PC/ABS-TAG 3.G.D. 3.D	107,37	42,18	31,72	1355,76
PBT/PC/ABS-TAG 3.G.D. 4.D	116,45	40,38	31,52	1298,29
PBT/PC/ABS-TAG 3.G.D. 5.D	126,49	41,54	32,16	1319,45
PBT/PC/ABS-TAG 3.G.D. 6.D	65,62	41,19	31,74	1322,54
PBT/PC/ABS-TAG 3.G.D. 7.D	83,58	40,21	30,79	1300,26
PBT/PC/ABS-TAG 3.G.D. 8.D	56,94	39,93	31,02	1287,61
PBT/PC/ABS-TAG 3.G.D. 9.D	112,27	40,97	30,09	1319,7
PBT/PC/ABS-TAG 5.G.D. 1.D	99,77	40,34	28,53	1282,26
PBT/PC/ABS-TAG 5.G.D. 2.D	156,96	40,93	28,8	1331,85
PBT/PC/ABS-TAG 5.G.D. 3.D	124,86	41,35	28,82	1317,61
PBT/PC/ABS-TAG 5.G.D. 4.D	122,84	38,81	28,45	1274,03
PBT/PC/ABS-TAG 5.G.D. 5.D	130,14	39,97	28,22	1281,93
PBT/PC/ABS-TAG 5.G.D. 6.D	130	39,96	27,65	1283,46
PBT/PC/ABS-TAG 5.G.D. 7.D	11,53	37,27	27,77	1189,42
PBT/PC/ABS-TAG 5.G.D. 8.D	13,57	37,36	27,18	1175,31
PBT/PC/ABS-TAG 5.G.D. 9.D	153,33	39,2	28,1	1252,71



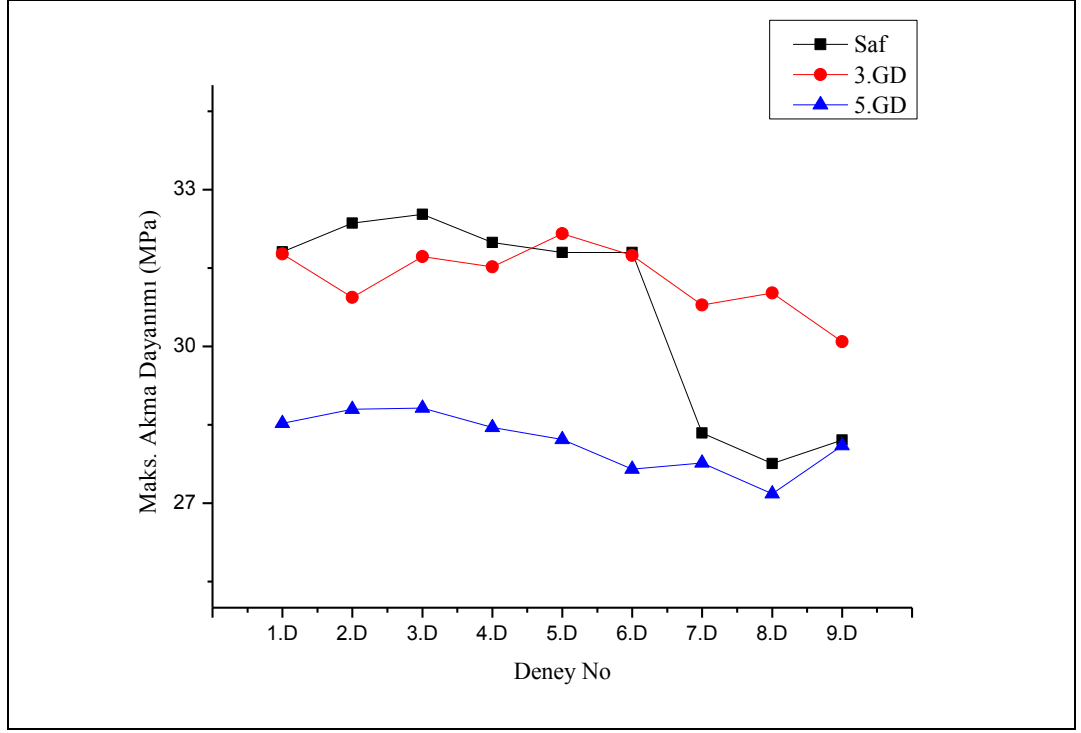
Şekil 7.2: PBT/PC/ABS karışımı maksimum uzama % grafiği.

Şekil 7.3'te çekme dayanımı grafiği, Şekil 7.4'de akma dayanımı grafiği verildi. Saf numuneler için çekme dayanımı 39,91 – 42,11 MPa, 3. geri dönüşüm uygulanmış numunelerde 39,93 – 42,18 MPa ve 5. geri dönüşüm uygulanmış numunelerde ise 37,27 – 41,35 MPa aralığında değişti. En yüksek çekme dayanımı değeri 3. geri dönüşüm uygulanmış numune ile 3. deneyde elde edildi. En düşük çekme dayanımı değeri 5. geri dönüşüm uygulanmış numune ile 7. deneyde elde edildi. 5. geri dönüşüm, 3. geri dönüşüm ve saf numune arasında çekme dayanımı açısından ciddi bir değişim görülmedi. Çekme dayanımındaki değişimler artan geri dönüşüm sayısı ile birlikte ciddi bir değişim göstermese de azalma eğilimi içerisindedir. Bununla birlikte; saf, 3. geri dönüşüm ve 5. geri dönüşüm durumlarında PBT/PC/ABS karışım malzemesi deney sayılarına göre paralel olarak benzer değişimler göstermektedir (Şekil 7.3). Literatürde ise PC-ABS ikili karışımı için çekme dayanımı değerinin karışımdaki PC oranına bağlı olarak 36 – 38 MPa arasında değiştiği bulunmuştur [Balart et al., 2006].



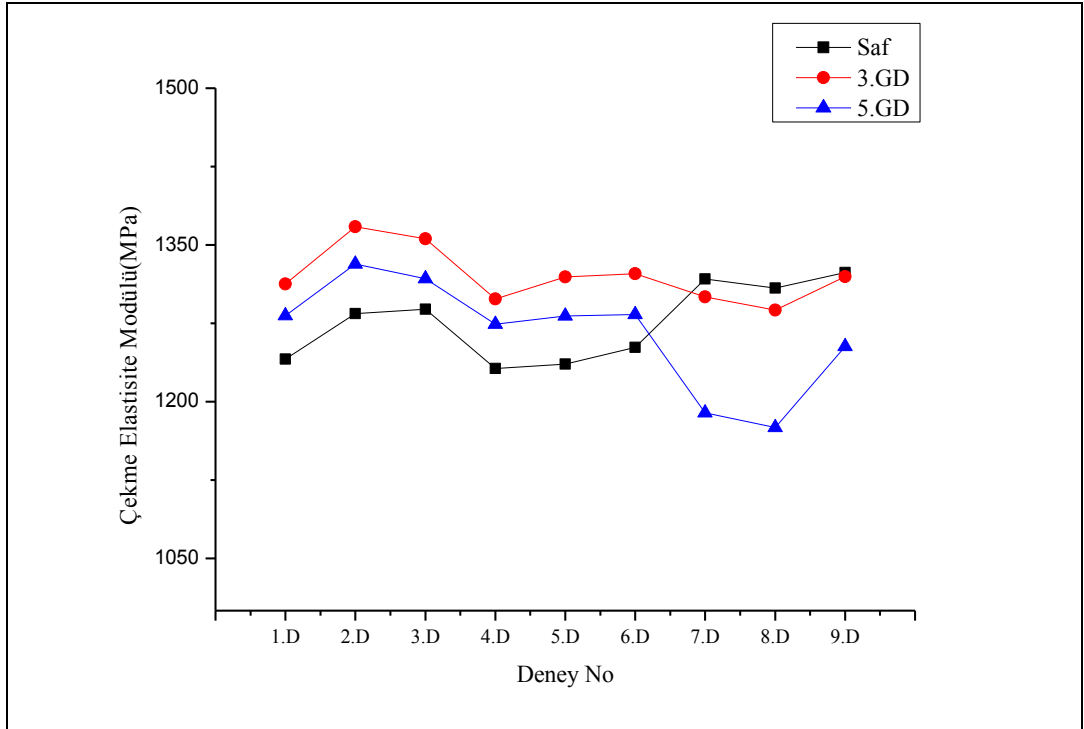
Şekil 7.3: PBT/PC/ABS karışımı çekme dayanımı grafiği.

İncelenen bazı enjeksiyon şartlarında ortalama olarak, 3. geri dönüşüm uygulanmış numuneler saf ve 5. geri dönüşüm numunelerden daha yüksek akma dayanımı değerleri verdi (Şekil 7.4). Literatürde PP polimerinin akma dayanımının artan geri dönüşüm sayısı ile arttığı bulunmuştur. Bunun nedeni geri dönüşüm uygulanmış PP polimerinin daha yüksek kristalliteye sahip olmasıdır [Aurrekoetxea et al., 2001]. Bazı çalışmalarda ise akma dayanımının geri dönüşüm sayısı ile çok az değişime uğradığı görülmüştür [Elloumi et al., 2010]. Literatürde PP/PE ikili karışımının akma dayanımının geri dönüşüm ile arttığı bulunmuştur [Nedkov et al., 2008]. Bu tezde, PBT/PC/ABS üçlü karışımı için en yüksek akma dayanımı ortalama olarak 32,53 MPa değeri ile saf numunelerden elde edildi. En düşük akma dayanımı değeri ise ortalama olarak hesaplandığında 27,18 MPa değeri ile 5. geri dönüşüm numunelerinde elde edildi. Artan geri dönüşüm sayısı ile çekme dayanımında olduğu gibi akma dayanımında da ciddi bir değişim görülmedi. Akma dayanımı 27,18 – 32,53 MPa aralığında gerçekleşti. En yüksek akma dayanımı değeri saf numuneden, en düşük değer ise 5. Geri dönüşüm uygulanmış numuneden elde edildi (Şekil 7.4).



Şekil 7.4: PBT/PC/ABS Karışımı Akma Dayanımı Grafiği.

En yüksek elastisite modülü değeri 3. geri dönüşüm uygulanmış numuneden elde edildi (Şekil 7.5).

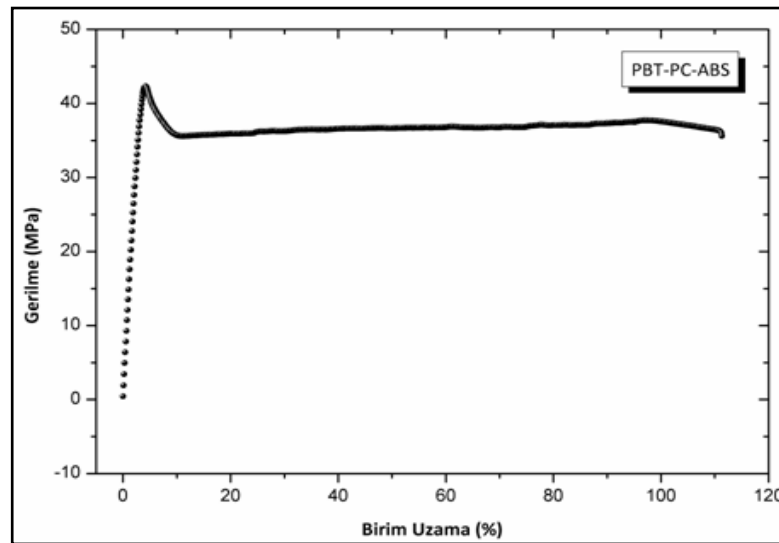


Şekil 7.5: PBT/PC/ABS karışımı elastisite modülü grafiği.

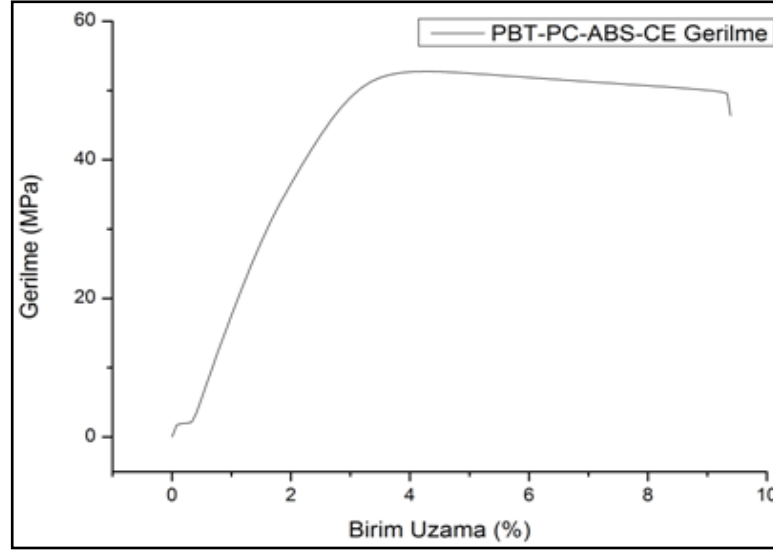
7.1.2. PBT/PC/ABS ve PBT/PC/ABS-CE

Yapılan literatür taraması sonucunda PBT/PC/ABS üçlü karışımının ne saf halinin ne de geri dönüşüm uygulanmış halinin incelenmediği görülmüştür. Bu tez çalışması kapsamında kullanılan PBT/PC/ABS üçlü karışımını oluşturan polimerlerin, literatürde saf ikili karışımlarının mekanik özellikleri (PBT-PC [Sanchez, 2007], PBT-ABS [Ambrósio and Junior, 2012] ve PC-ABS [Tan et al., 2006]) araştırılmıştır. Fakat bu ikili karışımların da geri dönüşüm potansiyeli incelenmemiştir. Literatürde sadece PBT-PC ikili karışımının geri dönüşümü araştırılmıştır [Sanchez, 2007]. Bu nedenle üçlü karışımlar için elde edilen sonuçlar literatür ile doğrudan karşılaştırılamamıştır. Sonuçlar literatürdeki bu polimerlerin tekli hali ile karşılaştırılmıştır. PBT/PC/ABS'nin çekme test hızı 5 mm/dak olarak ISO 527 test standardına göre yapıldı. Örnek gerilme-birim uzama (%) grafiği Şekil 7.6'da verildi. PBT/PC/ABS üçlü karışımının gerilme-uzama grafiği PBT-PC [Bai et al., 2006] ikili karışımının gerilme-uzama grafiğine benzediği görüldü.

PBT/PC/ABS-CE'nin de çekme hızı ise 5 mm/dak olup, test standardı ISO 527 normlarında gerçekleştirildi ve örnek gerilme-birim uzama (%) grafiği Şekil 7.7'de verildi. PBT/PC/ABS üçlü karışımına cam elyaf katkısı tipik gerilme-birim uzama grafiğinde PBT/PC/ABS üçlü karışımının tipik grafiğine göre farklılık olmasına neden olmuştur. PBT/PC/ABS-CE karışımının gerilme değerinin PBT/PC/ABS üçlü karışımına göre %24.85 arttığı, uzama değerinin ise % 12,24 azaldığı görüldü.



Şekil 7.6: PBT/PC/ABS saf numunenin örnek gerilme-birim uzama grafiği.



Şekil 7.7: PBT/PC/ABS-CE saf numuneninin deneyine ait örnek gerilme-birim uzama grafiği.

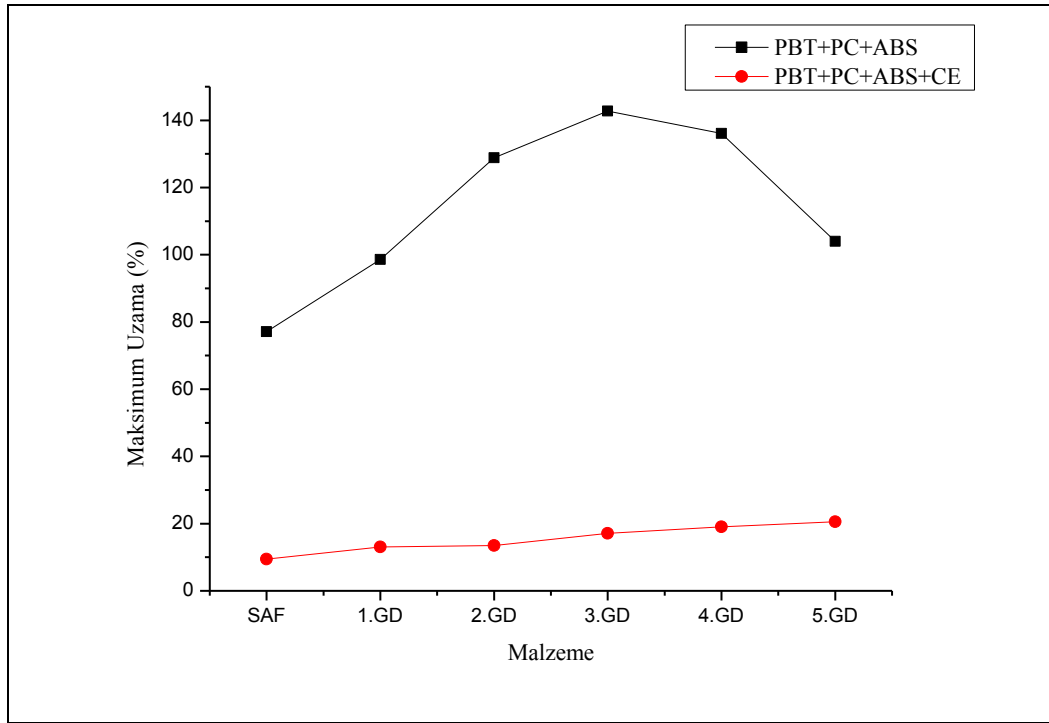
Gerilme-uzama grafiğinden; maksimum uzama, çekme dayanımı, akma dayanımı ve elastisite modülü değerleri elde edildi. PBT/PC/ABS ve cam elyaf katkılı saf ve geri dönüşümlerinin maksimum uzama (%), çekme dayanımı, akma dayanımı ve elastisite modülü değerleri Tablo 7.2’de verildi.

Tablo 7.2: PBT/PC/ABS ve PBT/PC/ABS-CE malzemesinin çekme test sonuçları.

Malzeme	Maksimum Uzama (%)	Maksimum Çekme Dayanımı (MPa)	Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Elastisite Modülü (MPa)
	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama
PBT/PC/ABS Saf	77.13	42.01	30.88	1326.95
PBT/PC/ABS 1.G.D.	98.60	42.61	30.45	1367.4
PBT/PC/ABS 2.G.D.	128.87	42.56	29.87	1385.74
PBT/PC/ABS 3.G.D.	142.75	41.31	30.38	1366.72
PBT/PC/ABS 4.G.D.	136.06	40.90	29.28	1395.75
PBT/PC/ABS 5.G.D.	104.00	40.55	29.44	1370.25
PBT/PC/ABS-CE Saf	9,44	52.45	41.30	1890.36
PBT/PC/ABS-CE 1.G.D.	13,03	49.69	41.61	1919.94
PBT/PC/ABS-CE 2.G.D.	13,5	46.79	39.84	1775.73
PBT/PC/ABS-CE 3.G.D.	17,13	44.64	36.90	1804.42
PBT/PC/ABS-CE 4.G.D.	19,08	42.97	35.06	1729.67
PBT/PC/ABS-CE 5.G.D.	20,6	41.95	34.32	1707.90

Şekil (7.8), (7.9), (7.10), (7.11)'de sırasıyla çekme testi sonuçlarından elde edilen maksimum uzama (%), çekme dayanımı, akma dayanımı ve elastisite modülü grafikleri verildi. Şekil 7.8'de görüldüğü gibi PBT/PC/ABS üçlü karışımı için 3. geri dönüşüme kadar maksimum uzama değeri arttı. 3. geri dönüşümden sonra maksimum uzama azaldı, fakat 5. geri dönüşüm sonucunda elde edilen maksimum uzama saf PBT/PC/ABS üçlü karışımından fazladır.

PBT/PC/ABS-CE üçlü karışımı için ise artan geri dönüşüm sayısı ile birlikte maksimum uzama değeri arttı. Saf numuneden 5. geri dönüşüme maksimum uzamadaki artış % 118.22'dir. PBT/PC/ABS üçlü karışımı ile karşılaştırıldığında PBT/PC/ABS-CE karışımında maksimum uzama değerleri çok düşüktür.



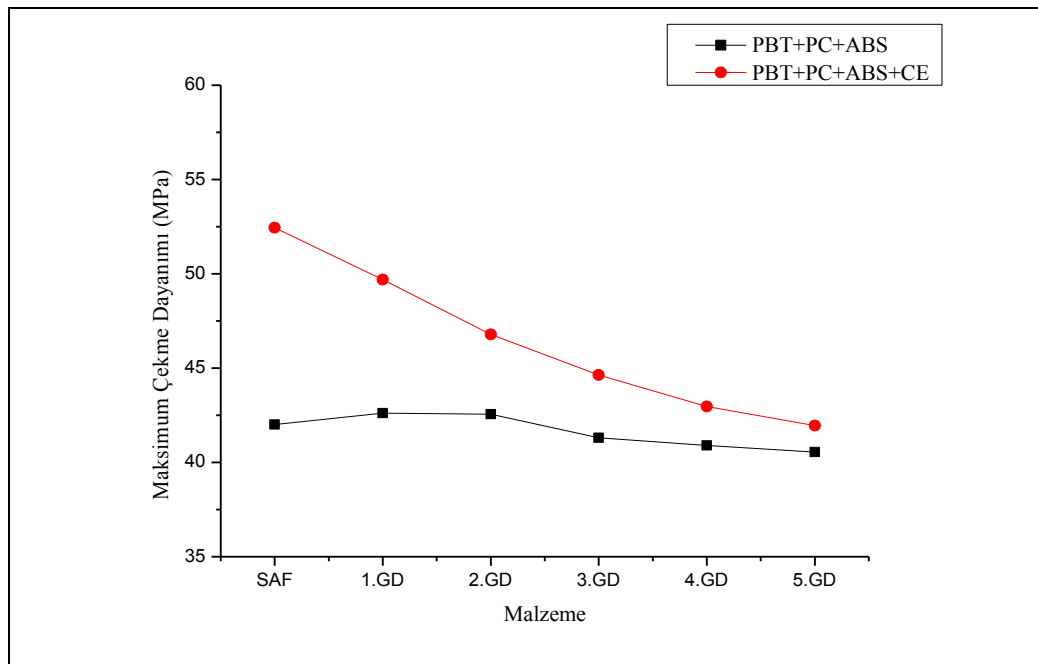
Şekil 7.8: PBT/PC/ABS maksimum uzama % grafiği.

PBT/PC/ABS karışımı için artan geri dönüşüm sayısı ile çekme dayanımında ciddi bir değişim görülmedi, çekme dayanımı 40,55 – 42,60 MPa aralığında değişti. Fakat az da olsa, 1. ve 2. geri dönüşüm sonucunda elde edilen çekme dayanımı değerleri saf PBT/PC/ABS karışımından fazladır. Fakat 3. geri dönüşüm ile birlikte çekme dayanımında bir düşüş görülmektedir (Şekil 7.9). Literatürde ise PC-ABS ikili karışımı için çekme dayanımı değerinin karışımdaki PC oranına bağlı olarak 36 – 368 MPa arasında değiştiği bulunmuştur [Balart et al., 2006].

Artan geri dönüşüm sayısı ile PBT/PC/ABS-CE üçlü karışımının çekme dayanımında azalma görüldü (Şekil 7.9). Saf ve 5. geri dönüşüm uygulanmış numune arasında yaklaşık % 20’lik bir azalma oluştu. Literatürde polimer karışımlarının çekme dayanımının artan geri dönüşüm sayısı ile azalmasının nedeni olarak molekül ağırlığının azalması gösterilmiştir [Hamad et al., 2011]. Ayrıca cam elyaf takviyeli PBT/PC/ABS üçlü karışımında artan geri dönüşüm sonucunda cam elyaf boyunun kısılması da çekme dayanımının azalmasına neden olabilir. Literatürde cam elyaf takviyeli poliamit 6 malzemesi için cam elyafların boyları ölçülmüştür. Cam elyaf takviyeli poliamit 6 malzemesi için artan geri dönüşüm sayısı ile cam elyafların boylarının kısaldığı ve bunun sonucu olarak çekme dayanımının azaldığı bulunmuştur [Kuram et al., 2013].

Saf PBT/PC/ABS üçlü karışımı ile karşılaştırıldığında saf PBT/PC/ABS-CE karışımında çekme dayanımı %24,85 artmıştır. Bu artışın nedeni cam elyafın yüksek dayanıma sahip olmasıdır. Ayrıca PBT/PC/ABS-CE üçlü karışımı için geri dönüşüm sonucunda elde edilen numunelerin çekme dayanımı saf PBT/PC/ABS den daha fazla olduğu görüldü.

Bu tez çalışmasında incelenen PBT/PC/ABS-CE üçlü karışımının çekme dayanımının artan geri dönüşüm sayısı ile azalması literatürde ABS polimerinin geri dönüşüm prosesinde de görülmüştür [Scaffaro et al., 2012].

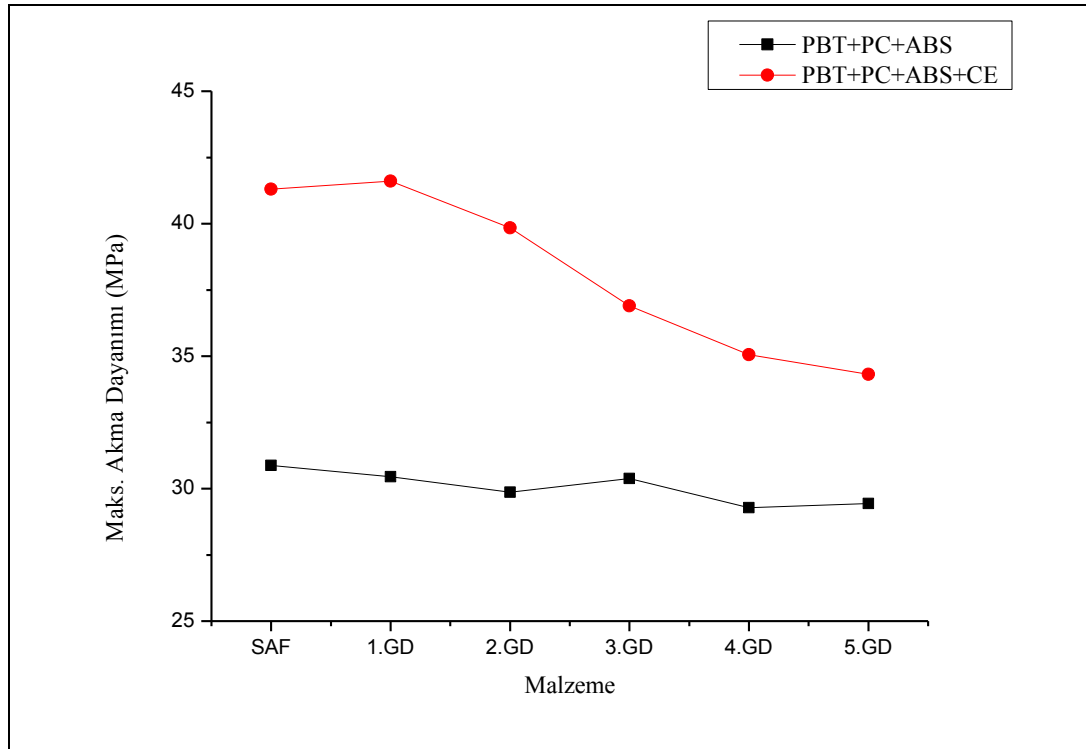


Şekil 7.9: PBT/PC/ABS karışımı çekme dayanımı grafiği.

PBT/PC/ABS karışımı için artan geri dönüşüm sayısı ile çekme dayanımında olduğu gibi akma dayanımında da ciddi bir değişim görülmedi. Akma dayanımı 29,28 – 30,88 MPa aralığında değişti. En yüksek akma dayanımı değeri saf numuneden, en düşük değer ise 5. geri dönüşüm uygulanmış numuneden elde edildi (Şekil 7.10).

Artan geri dönüşüm sayısı ile PBT/PC/ABS-CE karışımı için akma dayanımında genellikle azalma görüldü. En yüksek akma dayanımı değeri ise 1. geri dönüşüm uygulanmış numuneden, en düşük değer ise 5. geri dönüşüm uygulanmış numuneden elde edildi (Şekil 7.10). Çekme dayanımı sonuçlarında ifade edildiği gibi, PBT/PC/ABS-CE üçlü karışımının artan geri dönüşüm sayısı ile akma dayanımı değerlerindeki azalmanın nedeni molekül ağırlığının azalması ve cam elyaf boylarının kısalması olabilir.

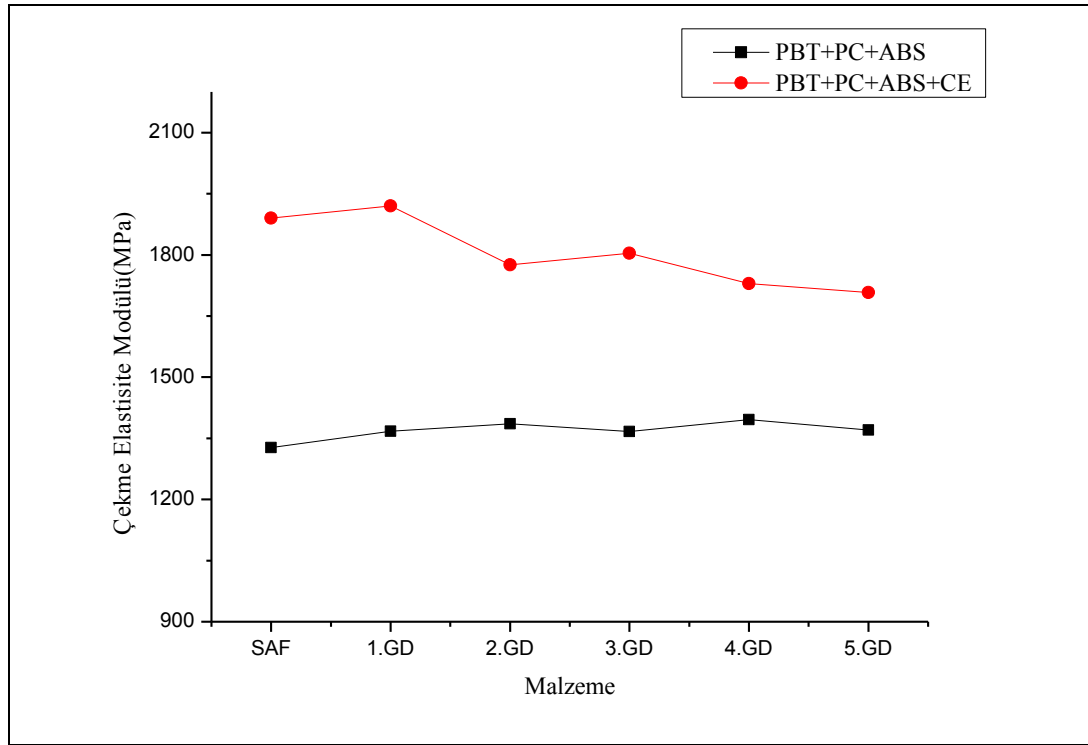
Saf PBT/PC/ABS üçlü karışımı (bkz. Tablo 7.2) ile karşılaştırıldığında saf PBT/PC/ABS-CE karışımında akma dayanımı % 33,74 arttı. Bu artışın nedeni cam elyafın yüksek dayanıma sahip olmasıdır. Ayrıca PBT/PC/ABS-CE üçlü karışımı için geri dönüşüm sonucunda elde edilen numunelerin akma dayanımı saf PBT/PC/ABS (Tablo 7.2) den daha fazla olduğu görüldü.



Şekil 7.10: PBT/PC/ABS akma dayanımı grafiği.

PBT/PC/ABS karışımı için geri dönüşümlerin sonucunda elde edilen numunelerin tamamı saf numuneden daha yüksek elastisite modülü değerleri verdi. En yüksek elastisite modülü değeri 4. geri dönüşüm uygulanmış numuneden elde edildi (Şekil 7.11).

PBT/PC/ABS-CE üçlü karışımı için, en yüksek elastisite modülü değeri 1. geri dönüşüm uygulanmış numuneden ve en düşük elastisite modülü değeri 5. geri dönüşüm uygulanmış numuneden elde edildi (Şekil 7.11). PBT/PC/ABS-CE üçlü karışımı için, en düşük elastisite modülü 5. geri dönüşüm sonucunda 1707,9 MPa olarak ölçülmüştür. Fakat bu değer bile saf PBT/PC/ABS üçlü karışımından (Tablo 7.2) % 28,71 daha fazladır.



Şekil 7.11: PBT/PC/ABS elastisite modülü grafiği.

7.2. Eğilme Testi Sonuçları

7.2.1. PBT/PC/ABS-TAG

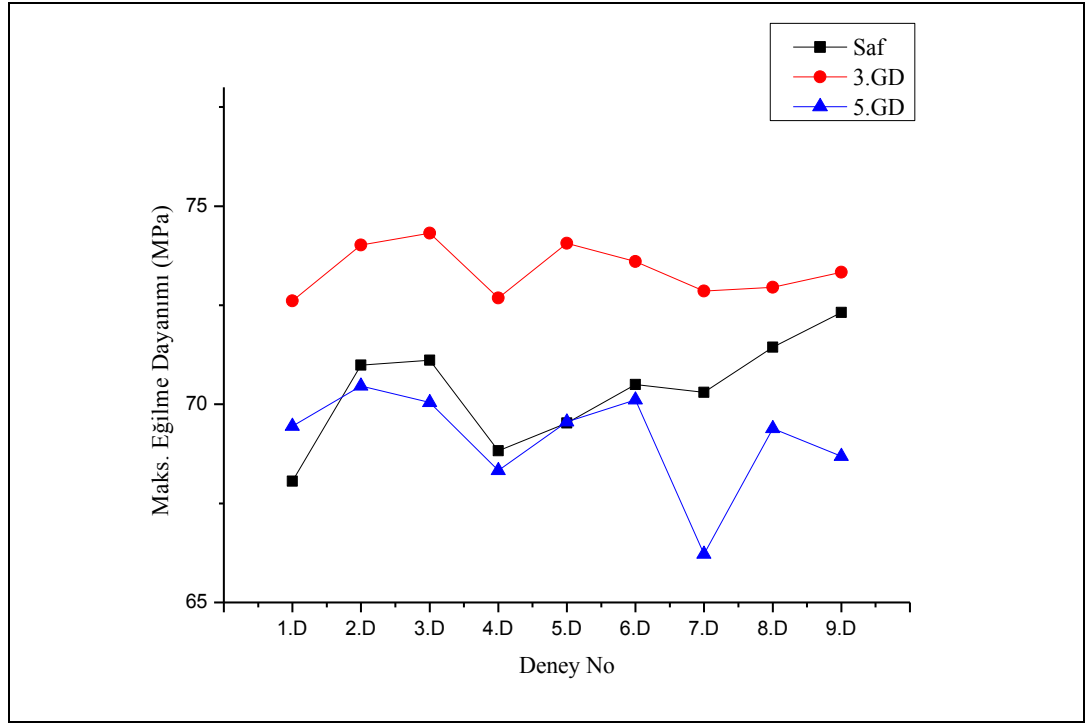
PBT/PC/ABS TAG malzemesine üç nokta eğilme dayanımı ISO 178 standardına uygun olarak, numunelere 5 mm/dak hız uygulandı. Tablo 7.3'te

PBT/PC/ABS malzemesinin eğilme dayanımı ve eğilme modülü değerleri verildi. Artan geri dönüşüm sayısı ile eğilme dayanımında ciddi bir değişim görülmedi. Proses şartlarındaki değişme, eğilme dayanımı ve modülü değerleri; saf, 3. geri dönüşüm ve 5. geri dönüşüm numuneleri için kıyaslandığında paralel doğrultuda bir değişim göstermesine sebebiyet gösterdi. Literatürde ABS polimeri için de geri dönüşümün eğilme dayanımını çok fazla etkilemediği ifade edildi [Chen et al., 2011].

Tablo 7.3: PBT/PC/ABS TAG malzemesinin eğilme test sonuçları.

Malzeme	Eğilme Dayanımı (MPa) Ortalama	Eğilme Modülü (MPa) Ortalama
PBT/PC/ABS-TAG SAF 1.DENEY	68,06	1789,33
PBT/PC/ABS-TAG SAF 2.DENEY	70,99	1899,31
PBT/PC/ABS-TAG SAF 3.DENEY	71,11	1880,88
PBT/PC/ABS-TAG SAF 4.DENEY	68,83	1818,84
PBT/PC/ABS-TAG SAF 5.DENEY	69,53	1873,94
PBT/PC/ABS-TAG SAF 6.DENEY	70,50	1853,40
PBT/PC/ABS-TAG SAF 7.DENEY	70,30	1857,52
PBT/PC/ABS-TAG SAF 8.DENEY	71,44	1875,56
PBT/PC/ABS-TAG SAF 9.DENEY	72,32	1908,78
PBT/PC/ABS-TAG 3.G.D. 1.DENEY	72,61	2071,10
PBT/PC/ABS-TAG 3.G.D. 2.DENEY	74,02	2116,81
PBT/PC/ABS-TAG 3.G.D. 3.DENEY	74,32	2100,47
PBT/PC/ABS-TAG 3.G.D. 4.DENEY	72,68	2108,52
PBT/PC/ABS-TAG 3.G.D. 5.DENEY	74,06	2100,74
PBT/PC/ABS-TAG 3.G.D. 6.DENEY	73,60	2089,74
PBT/PC/ABS-TAG 3.G.D. 7.DENEY	72,86	2054,78
PBT/PC/ABS-TAG 3.G.D. 8.DENEY	72,95	2051,24
PBT/PC/ABS-TAG 3.G.D. 9.DENEY	73,33	2058,69
PBT/PC/ABS-TAG 5.G.D. 1.DENEY	69,45	1850,59
PBT/PC/ABS-TAG 5.G.D. 2.DENEY	70,46	1829,20
PBT/PC/ABS-TAG 5.G.D. 3.DENEY	70,05	1841,18
PBT/PC/ABS-TAG 5.G.D. 4.DENEY	68,33	1810,43
PBT/PC/ABS-TAG 5.G.D. 5.DENEY	69,56	1824,18
PBT/PC/ABS-TAG 5.G.D. 6.DENEY	70,11	1845,43
PBT/PC/ABS-TAG 5.G.D. 7.DENEY	66,22	1837,55
PBT/PC/ABS-TAG 5.G.D. 8.DENEY	69,39	1852,47
PBT/PC/ABS-TAG 5.G.D. 9.DENEY	68,69	1816,85

Geri dönüşüm uygulamanın PBT/PC/ABS üçlü karışımının eğilme dayanımında önemli bir değişikliğe neden olmadığı bulunmuştur (Şekil 7.12). PBT/PC/ABS üçlü karışımı için en yüksek eğilme dayanımı değeri 3. geri dönüşüm uygulanmış numune ile 3. deneyde elde edildi. En düşük eğilme dayanımı değeri 5. geri dönüşüm uygulanmış numune ile 7. deneyde elde edildi.



Şekil 7.12: PBT/PC/ABS karışımı eğilme dayanımı grafiği.

7.2.2. PBT/PC/ABS ve PBT/PC/ABS-CE

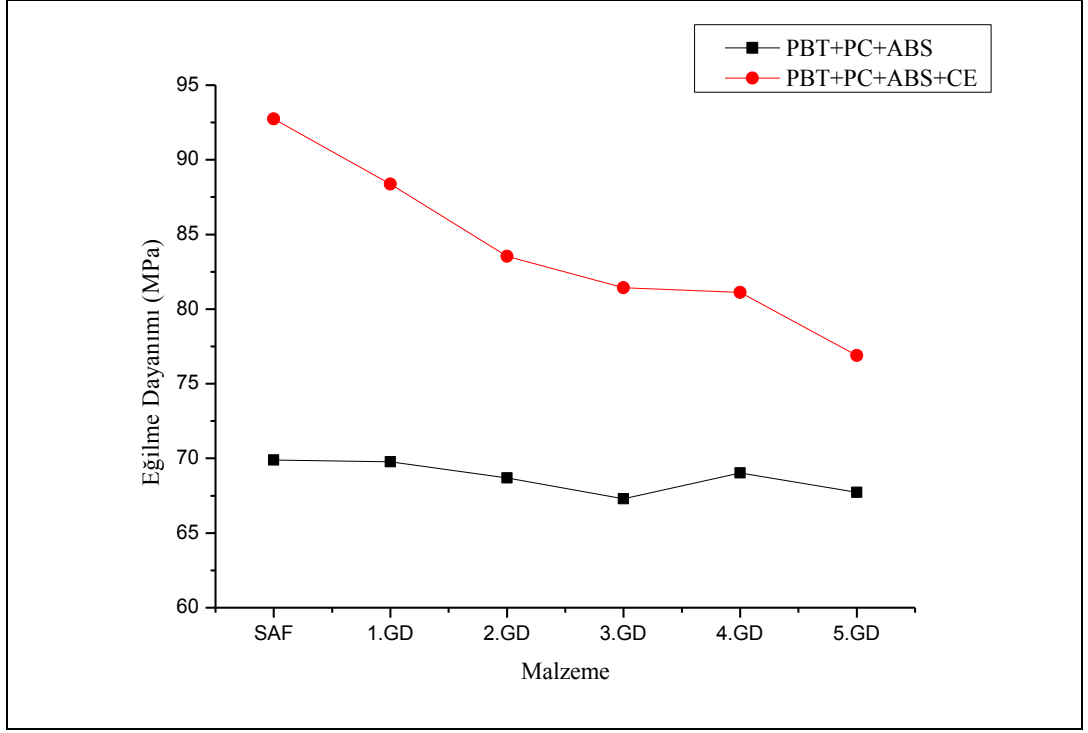
PBT/PC/ABS malzemesine üç nokta eğilme dayanımı testi 5 mm/dak hızla uygulanmıştır. Tablo 7.4'te PBT/PC/ABS malzemesinin eğilme dayanımı ve eğilme modülü değerleri, Şekil 7.13'te ise eğilme dayanımı grafiği verildi. Artan geri dönüşüm sayısı ile eğilme dayanımında ciddi bir değişim görülmedi, eğilme dayanımı 67,30 – 69,90 MPa aralığında değişti. Fakat az da olsa, saf PBT/PC/ABS karışımından elde edilen eğilme dayanımı tüm geri dönüşüm uygulanmış numunelerden fazladır. En düşük eğilme dayanımı 3. geri dönüşüm uygulanmış numune ile elde edildi (Şekil 7.13). Literatürde ABS polimeri için de geri dönüşümün eğilme dayanımını çok fazla etkilemediği ifade edildi [Chen et al., 2011].

PBT/PC/ABS-CE malzemesine ise üç nokta eğilme dayanımı testi 5 mm/dak hızla, ISO 178 standardına göre uygulandı. Tablo 7.4'te PBT/PC/ABS-CE malzemesinin eğilme dayanımı ve eğilme modülü değerleri, Şekil 7.13'te ise eğilme dayanımı grafiği verildi. Artan geri dönüşüm sayısı ile eğilme dayanımında azalma görülmüştür. Eğilme dayanımının artan geri dönüşüm sayısı ile azalması literatürde ABS polimeri için de gözlemlendi [Scaffaro et al., 2012].

Saf PBT/PC/ABS üçlü karışımı (Tablo 7.4) ile karşılaştırıldığında saf PBT/PC/ABS-CE karışımında eğilme dayanımı %32,68 artmıştır. Ayrıca PBT/PC/ABS-CE üçlü karışımı için geri dönüşüm sonucunda elde edilen numunelerin eğilme dayanımı saf PBT/PC/ABS (Tablo 7.4) den bile fazladır.

Tablo 7.4: PBT/PC/ABS ve PBT/PC/ABS-CE malzemesinin eğilme test sonuçları.

Malzeme	Eğilme Dayanımı (MPa) Ortalama	Eğilme Modülü (MPa) Ortalama
PBT/PC/ABS Saf (Virjin)	69,90	1902,11
PBT/PC/ABS 1. Geri Dönüşüm	69,78	1871,14
PBT/PC/ABS 2. Geri Dönüşüm	68,69	1840,01
PBT/PC/ABS 3. Geri Dönüşüm	67,30	1799,57
PBT/PC/ABS 4. Geri Dönüşüm	69,03	1847,46
PBT/PC/ABS 5. Geri Dönüşüm	67,73	1808,93
PBT/PC/ABS-CE Saf (Virjin)	92,74	2930,25
PBT/PC/ABS-CE 1. Geri Dönüşüm	88,37	2846,91
PBT/PC/ABS-CE 2. Geri Dönüşüm	83,54	2736,07
PBT/PC/ABS-CE 3. Geri Dönüşüm	81,44	2700,93
PBT/PC/ABS-CE 4. Geri Dönüşüm	81,12	2695,71
PBT/PC/ABS-CE 5. Geri Dönüşüm	76,90	2545,26



Şekil 7.13: PBT/PC/ABS karışımı eğilme dayanımı grafiği.

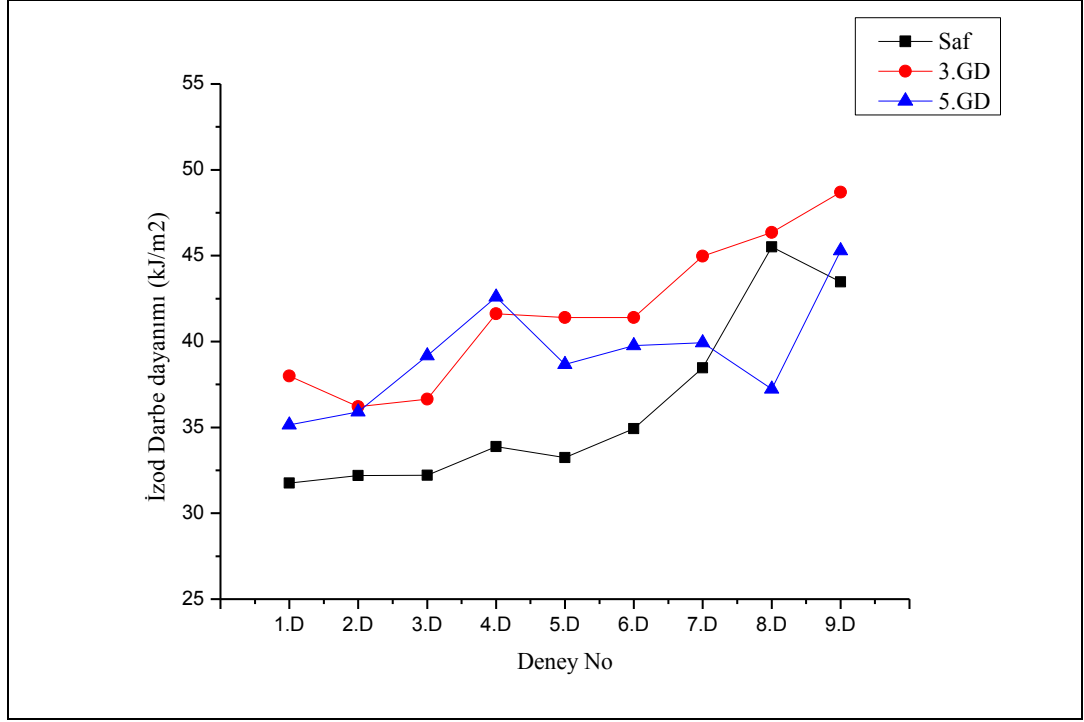
7.3. İzod Darbe Testi Sonuçları

7.3.1. PBT/PC/ABS-TAG

PBT/PC/ABS izod darbe testi ISO 180 numaralı standarda göre A tipi çentikli çubuklar kullanılarak 5,5 joule'luk çekiçe yapılmıştır. Test sonuçları Tablo 7.5'te verildi. Şekil 7.14'te ise izod darbe dayanımı grafiksel olarak verildi. İzod darbe dayanımı genellikle artan geri dönüşüm sayısı ile artmıştır. PBT/PC/ABS üçlü karışımı için en yüksek darbe dayanımı değeri 3. geri dönüşüm uygulanmış numune ile 9. deneyde elde edildi. En düşük eğilme dayanımı değeri saf numune ile 1. deneyde elde edildi.

Tablo 7.5: PBT/PC/ABS TAG malzeme darbe test sonuçları.

Malzeme	Enerji (J)	İzod Darbe dayanımı (kJ/m ²)
	Ortalama	Ortalama
PBT/PC/ABS-TAG SAF 1.DENEY	1,29	31,76
PBT/PC/ABS-TAG SAF 2.DENEY	1,32	32,19
PBT/PC/ABS-TAG SAF 3.DENEY	1,33	32,22
PBT/PC/ABS-TAG SAF 4.DENEY	1,40	33,88
PBT/PC/ABS-TAG SAF 5.DENEY	1,37	33,25
PBT/PC/ABS-TAG SAF 6.DENEY	1,44	34,92
PBT/PC/ABS-TAG SAF 7.DENEY	1,59	38,47
PBT/PC/ABS-TAG SAF 8.DENEY	1,88	45,51
PBT/PC/ABS-TAG SAF 9.DENEY	1,79	43,47
PBT/PC/ABS-TAG 3.G.D. 1.DENEY	1,56	38,00
PBT/PC/ABS-TAG 3.G.D. 2.DENEY	1,48	36,21
PBT/PC/ABS-TAG 3.G.D. 3.DENEY	1,51	36,64
PBT/PC/ABS-TAG 3.G.D. 4.DENEY	1,69	41,62
PBT/PC/ABS-TAG 3.G.D. 5.DENEY	1,67	41,40
PBT/PC/ABS-TAG 3.G.D. 6.DENEY	1,68	41,40
PBT/PC/ABS-TAG 3.G.D. 7.DENEY	1,82	44,97
PBT/PC/ABS-TAG 3.G.D. 8.DENEY	1,88	46,36
PBT/PC/ABS-TAG 3.G.D. 9.DENEY	1,97	48,69
PBT/PC/ABS-TAG 5.G.D. 1.DENEY	1,44	35,15
PBT/PC/ABS-TAG 5.G.D. 2.DENEY	1,47	35,90
PBT/PC/ABS-TAG 5.G.D. 3.DENEY	1,61	39,18
PBT/PC/ABS-TAG 5.G.D. 4.DENEY	1,75	42,60
PBT/PC/ABS-TAG 5.G.D. 5.DENEY	1,57	38,67
PBT/PC/ABS-TAG 5.G.D. 6.DENEY	1,62	39,76
PBT/PC/ABS-TAG 5.G.D. 7.DENEY	1,65	39,94
PBT/PC/ABS-TAG 5.G.D. 8.DENEY	1,53	37,23
PBT/PC/ABS-TAG 5.G.D. 9.DENEY	1,85	45,30



Şekil 7.14: PBT/PC/ABS karışımı izod darbe dayanımı grafiği.

7.3.2. PBT/PC/ABS ve PBT/PC/ABS-CE

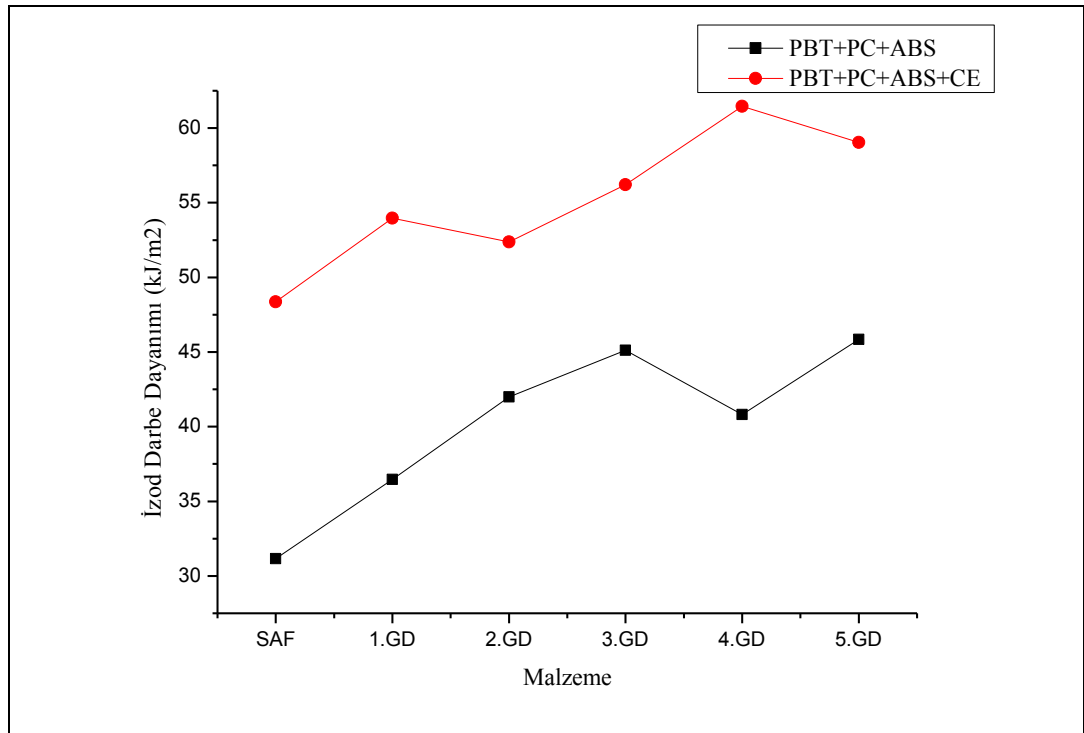
PBT/PC/ABS izod darbe testi ISO 180 numaralı standarda göre A tipi çentikli çubuklar kullanılarak 5,5 joule'luk çekiçle yapıldı. Test sonuçları Tablo 7.6'da verildi. Şekil 7.15'te ise izod darbe dayanımı grafiksel olarak verildi. İzod darbe dayanımı genellikle artan geri dönüşüm sayısı ile artmıştır. 5. geri dönüşüm sonucunda PBT/PC/ABS üçlü karışımının izod darbe dayanımında saf karışıma göre % 47,14'lük bir artış elde edildi.

PBT/PC/ABS-CE izod darbe testi ISO 180 numaralı standarda göre A tipi çentikli çubuklar kullanılarak 5,5 joule'luk çekiçle yapılmıştır. Test sonuçları Tablo 7.6'da verildi. Şekil 7.15'te ise izod darbe dayanımı grafiksel olarak verildi. İzod darbe dayanımı genellikle artan geri dönüşüm sayısı ile artmıştır. 5. geri dönüşüm sonucunda PBT/PC/ABS-CE üçlü karışımının izod darbe dayanımında saf karışıma göre % 22,06'lık bir artış elde edildi.

Saf PBT/PC/ABS üçlü karışımı ile karşılaştırıldığında saf PBT/PC/ABS-CE karışımında izod darbe dayanımı % 55,20 arttı. Ayrıca PBT/PC/ABS-CE üçlü karışımı için geri dönüşüm sonucunda elde edilen numunelerin izod darbe dayanımı saf PBT/PC/ABS den bile fazladır.

Tablo 7.6: PBT/PC/ABS ve PBT/PC/ABS-CE malzemesinin darbe test sonuçları.

Malzeme	Enerji (J)	İzod Darbe Dayanımı (kJ/m ²)
	Ortalama	Ortalama
PBT/PC/ABS Saf (Virjin)	1,27	31.16
PBT/PC/ABS 1. Geri Dönüşüm	1,49	36.47
PBT/PC/ABS 2. Geri Dönüşüm	1,71	41.99
PBT/PC/ABS 3. Geri Dönüşüm	1,83	45.11
PBT/PC/ABS 4. Geri Dönüşüm	1,67	40.81
PBT/PC/ABS 5. Geri Dönüşüm	1,86	45.85
PBT/PC/ABS-CE Saf (Virjin)	1,95	48.36
PBT/PC/ABS-CE 1. Geri Dönüşüm	2,21	53.96
PBT/PC/ABS-CE 2. Geri Dönüşüm	2,13	52.37
PBT/PC/ABS-CE 3. Geri Dönüşüm	2,28	56.20
PBT/PC/ABS-CE 4. Geri Dönüşüm	2,50	61.45
PBT/PC/ABS-CE 5. Geri Dönüşüm	2,39	59.03



Şekil 7.15: PBT/PC/ABS karışımı izod darbe dayanımı grafiği.

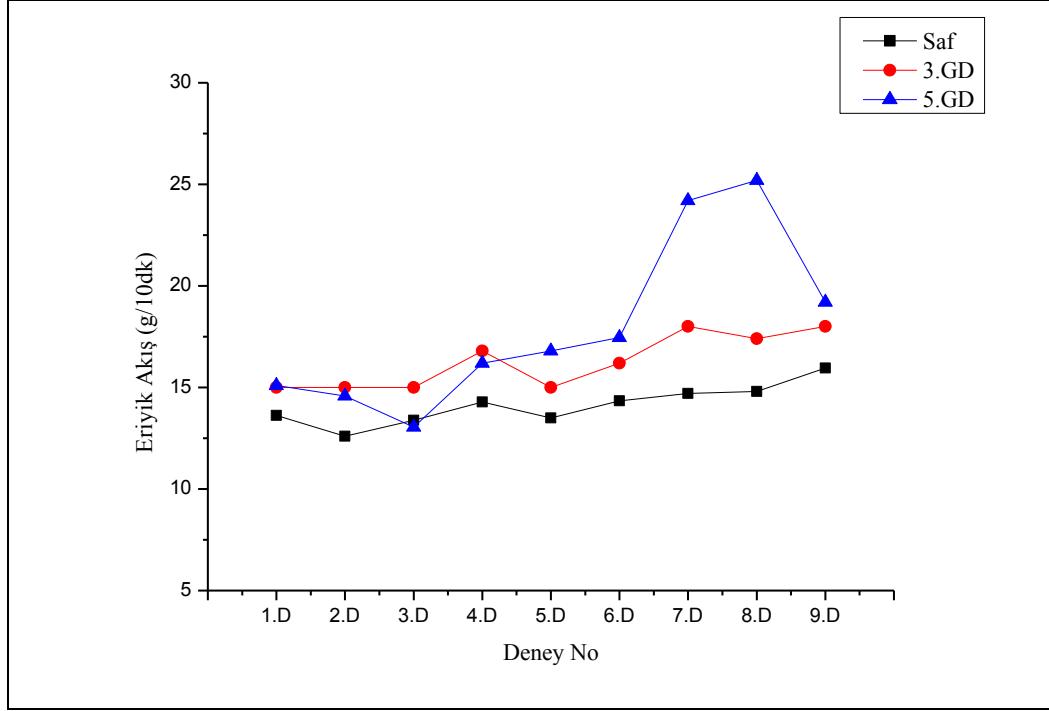
7.4. Eriyik Akış Testi Sonuçları

7.4.1. PBT/PC/ABS-TAG

PBT/PC/ABS üçlü karışımının saf ve geri dönüşümlerinin eriyik akış testleri 250 °C sıcaklık ve 5 kg yük altında ISO 1133 standardına göre yapıldı ve sonuçları Tablo 7.7’de verildi. Saf ve geri dönüşümlerinin eriyik akış değerleri de Şekil 7.16’da gösterildi. Eriyik akış oranı değerlerinden de görüldüğü gibi değerler ortalama olarak hesaplandığında en yüksekten en düşüğe doğru sıralama; 5. geri dönüşüm, 3. geri dönüşüm uygulanmış numuneler ve saf numuneler olarak elde edildi. Literatürde de PP polimeri için artan geri dönüşüm sayısı ile eriyik akış oranının arttığı bulunmuştur [Williams and Bevis, 1980], [Aurrekoetxea et al., 2001], [Mehat and Kamaruddin, 2011]. Ayrıca artışın nedeni olarak polimer zincirlerinin kırılmasının ve oksidasyon olmaması ile ifade edildi [Aurrekoetxea et al., 2001]. Literatürde eriyik akış oranındaki artışı, polimerin molekül ağırlığının geri dönüşüm prosesinde azalması ile açıklanmıştır [Williams and Bevis, 1980], [Mehat and Kamaruddin, 2011].

Tablo 7.7: PBT/PC/ABS-TAG malzemesinin eriyik akış sonuçları.

Malzeme	Ortalama (g/10 dak)
PBT/PC/ABS-TAG SAF 1.DENEY	13,62
PBT/PC/ABS-TAG SAF 2.DENEY	12,6
PBT/PC/ABS-TAG SAF 3.DENEY	13,38
PBT/PC/ABS-TAG SAF 4.DENEY	14,28
PBT/PC/ABS-TAG SAF 5.DENEY	13,5
PBT/PC/ABS-TAG SAF 6.DENEY	14,34
PBT/PC/ABS-TAG SAF 7.DENEY	14,7
PBT/PC/ABS-TAG SAF 8.DENEY	14,8
PBT/PC/ABS-TAG SAF 9.DENEY	15,96
PBT/PC/ABS-TAG 3.G.D. 1.DENEY	15
PBT/PC/ABS-TAG 3.G.D. 2.DENEY	15
PBT/PC/ABS-TAG 3.G.D. 3.DENEY	15
PBT/PC/ABS-TAG 3.G.D. 4.DENEY	16,8
PBT/PC/ABS-TAG 3.G.D. 5.DENEY	15
PBT/PC/ABS-TAG 3.G.D. 6.DENEY	16,2
PBT/PC/ABS-TAG 3.G.D. 7.DENEY	18
PBT/PC/ABS-TAG 3.G.D. 8.DENEY	17,4
PBT/PC/ABS-TAG 3.G.D. 9.DENEY	18
PBT/PC/ABS-TAG 5.G.D. 1.DENEY	15,1
PBT/PC/ABS-TAG 5.G.D. 2.DENEY	14,58
PBT/PC/ABS-TAG 5.G.D. 3.DENEY	13,05
PBT/PC/ABS-TAG 5.G.D. 4.DENEY	16,2
PBT/PC/ABS-TAG 5.G.D. 5.DENEY	16,8
PBT/PC/ABS-TAG 5.G.D. 6.DENEY	17,46
PBT/PC/ABS-TAG 5.G.D. 7.DENEY	24,2
PBT/PC/ABS-TAG 5.G.D. 8.DENEY	25,2
PBT/PC/ABS-TAG 5.G.D. 9.DENEY	19,2



Şekil 7.16: PBT/PC/ABS karışımı eriyik akış grafiği.

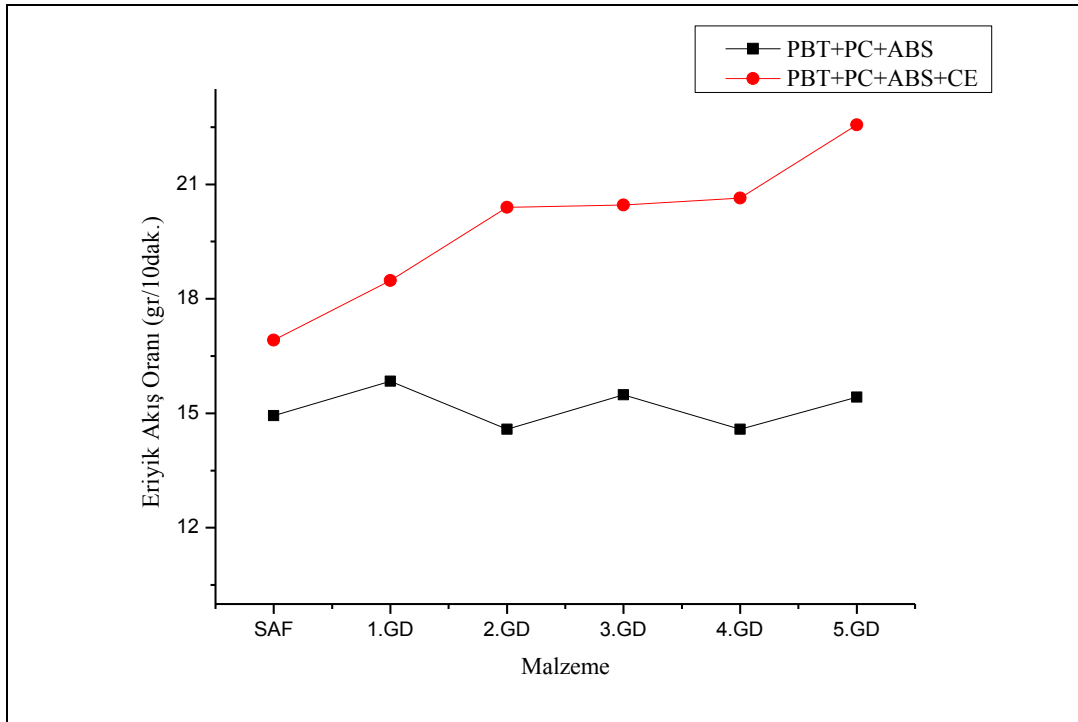
7.4.2. PBT/PC/ABS ve PBT/PC/ABS-CE

PBT/PC/ABS üçlü karışımının saf ve geri dönüşümlerinin eriyik akış testleri 250 °C sıcaklık ve 5 kg yük altında ISO 1133 standardına göre yapıldı ve sonuçları Tablo 7.8’de verildi. Saf ve geri dönüşümlerinin eriyik akış değerleri de Şekil 7.17’de gösterildi. Bu şekilden görüldüğü gibi, en yüksek eriyik akış oranı 1. geri dönüşüm uygulanmış numuneden, en düşük değer ise 2. ve 4. geri dönüşüm uygulanmış numunelerden elde edildi.

PBT/PC/ABS-CE üçlü karışımının saf ve geri dönüşümlerinin eriyik akış testleri 250 °C sıcaklık ve 5 kg yük altında ISO 1133 standardına göre yapıldı ve sonuçları Tablo 7.8’de verildi. Saf ve geri dönüşümlerinin eriyik akış değerleri de Şekil 7.17’de gösterildi. Şekil 7.17’de görüldüğü gibi PBT/PC/ABS-CE için, eriyik akış oranı artan geri dönüşüm sayısı ile artmıştır. 5. geri dönüşüm sonucunda PBT/PC/ABS-CE üçlü karışımının eriyik akış oranında saf karışıma göre % 33,33’lük bir artış elde edildi. Literatürde de ABS polimerinin 3. geri dönüşümü sonucunda eriyik akış oranının arttığı sonucu bulunmuştur. Eriyik akış oranının geri dönüşüm ile artmasının nedeni antioksidan ve dengeleyicilerin geri dönüşüm prosesi esnasında tüketilmesidir [Scaffaro et al., 2012].

Tablo 7.8: PBT/PC/ABS ve PBT/PC/ABS-CE malzemesinin eriyik akış sonuçları.

Malzeme	Ortalama (g/10 dak)
PBT/PC/ABS Saf (Virjin)	14.94
PBT/PC/ABS 1. Geri Dönüşüm	15.84
PBT/PC/ABS 2. Geri Dönüşüm	14.58
PBT/PC/ABS 3. Geri Dönüşüm	15.48
PBT/PC/ABS 4. Geri Dönüşüm	14.58
PBT/PC/ABS 5. Geri Dönüşüm	15.42
PBT/PC/ABS-CE Saf (Virjin)	16.92
PBT/PC/ABS-CE 1. Geri Dönüşüm	18.48
PBT/PC/ABS-CE 2. Geri Dönüşüm	20.40
PBT/PC/ABS-CE 3. Geri Dönüşüm	20.46
PBT/PC/ABS-CE 4. Geri Dönüşüm	20.64
PBT/PC/ABS-CE 5. Geri Dönüşüm	22.56

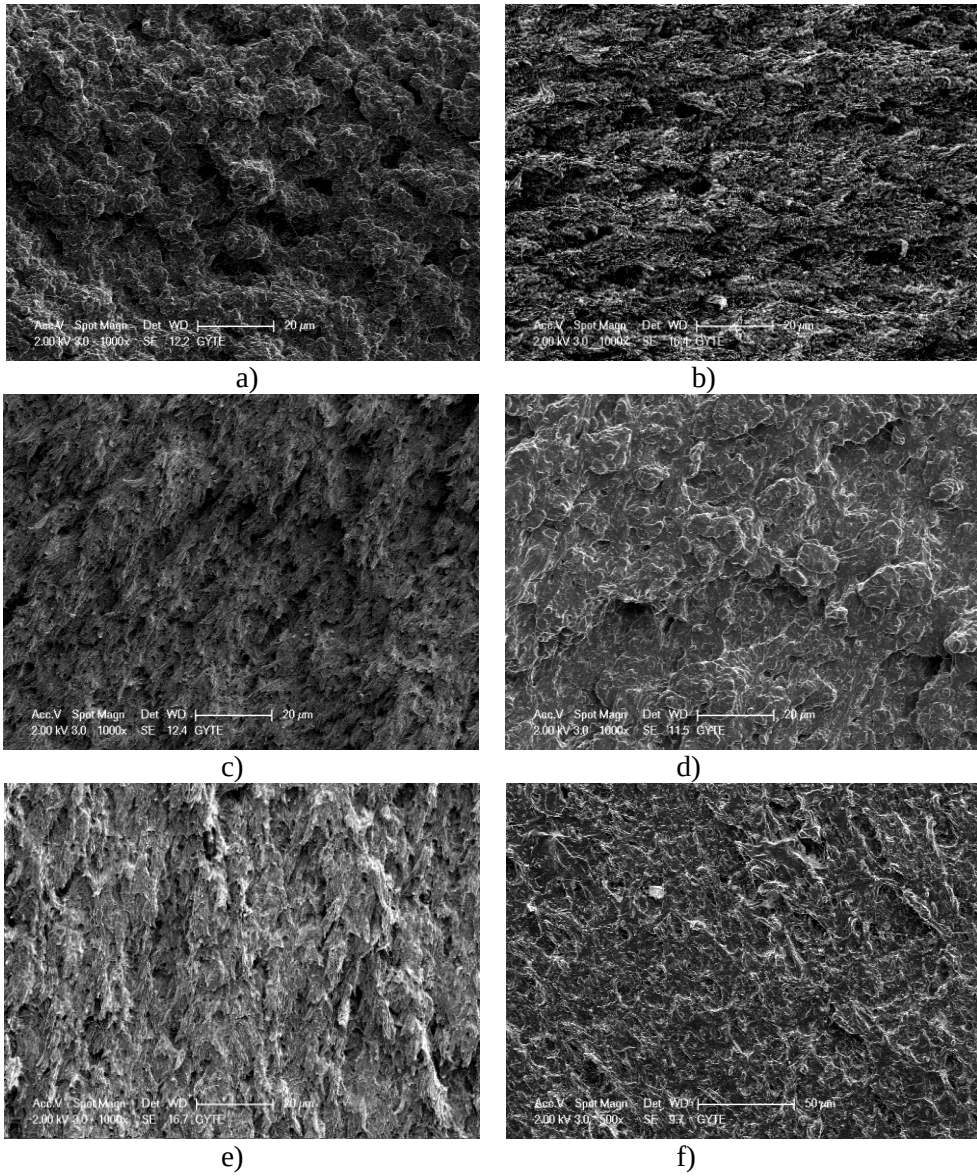


Şekil 7.17: PBT/PC/ABS karışımı eriyik akış grafiği.

7.5. Sem Analiz Sonuçları

7.5.1. PBT/PC/ABS-TAG

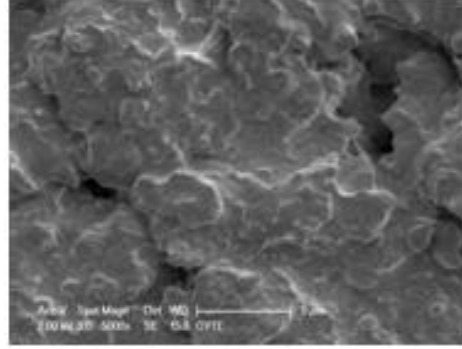
PBT/PC/ABS-TAG malzemesinin SEM analiz görüntüleri 5000x büyütme yapılarak alındı. 3. ve 9. deney setlerine ait saf, 3. ve 5. geri dönüşümlü PBT/PC/ABS-TAG malzemesinin kopma yüzeylerinin SEM görüntüleri Şekil 7.18’de verildi. Görüntülere bakıldığında geri dönüşümlerin sonucunda yapıda ayrılmalar görülmektedir.



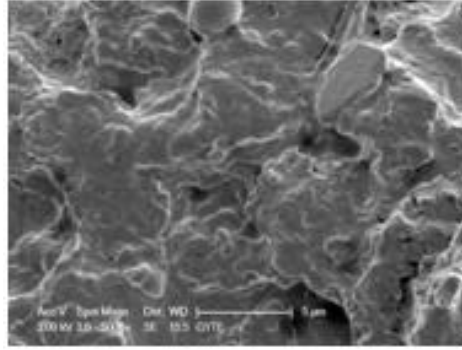
Şekil 7.18: PBT/PC/ABS-TAG karışımının a) 3.D-Saf, b) 3.D-3.G.D., c) 3.D-5.G.D., d) 9.D-SAF, e) 9.D-3.G.D. ve f) 9.D-5.G.D.’lerinin sem fotoğrafları.

7.5.2. PBT/PC/ABS ve PBT/PC/ABS-CE

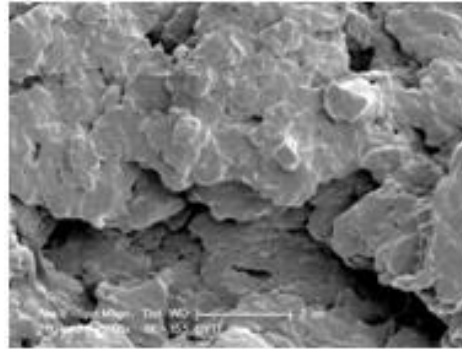
PBT/PC/ABS malzemesinin SEM analiz görüntüleri 5000x büyütme yapılarak alındı. Saf, 1. geri dönüşümlü ve 5. geri dönüşümlü PBT/PC/ABS malzemesinin kopma yüzeylerinin SEM görüntüleri Şekil 7.19’da verildi. Görüntülere bakıldığında geri dönüşümlerin sonucunda yapıda ayrılmalar görülmektedir.



a)



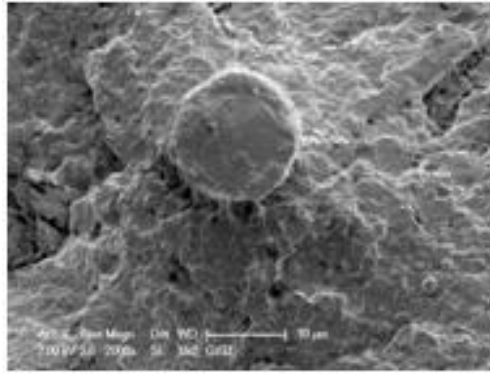
b)



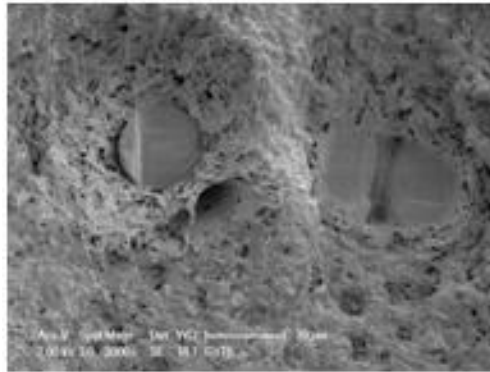
c)

Şekil 7.19: PBT/PC/ABS karışımının a) Saf, b) 1.G.D. ve c) 5.G.D. 'lerinin sem fotoğrafları.

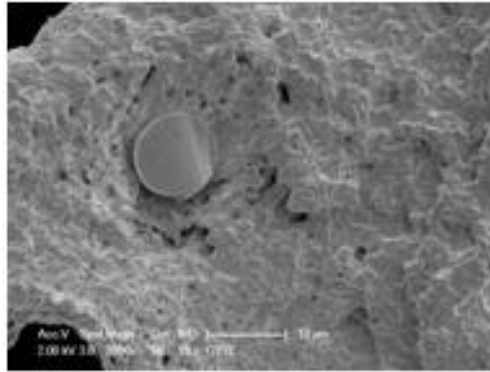
PBT/PC/ABS-CE malzemesinin SEM analiz görüntüleri 2000x büyütme yapılarak alındı. Saf, 1. geri dönüşümlü ve 5. geri dönüşümlü PBT/PC/ABS-CE malzemesinin kopma yüzeylerinin SEM görüntüleri Şekil 7.20’de verildi. Resimlerde yapıdaki cam elyaflar net bir şekilde görülmektedir. Resimler karşılaştırıldığında saf malzemede matris malzemesiyle cam elyafların birbirine iyi tutundukları görülmektedir. 1. ve 5. geri dönüşümlü malzemelerde ise cam elyaflar ile matris malzemesi arasında boşluklar oluşmuştur. Bu durum geri dönüşümler sonucunda çekme dayanımlarında düşüşlere sebep olmuştur.



a)



b)



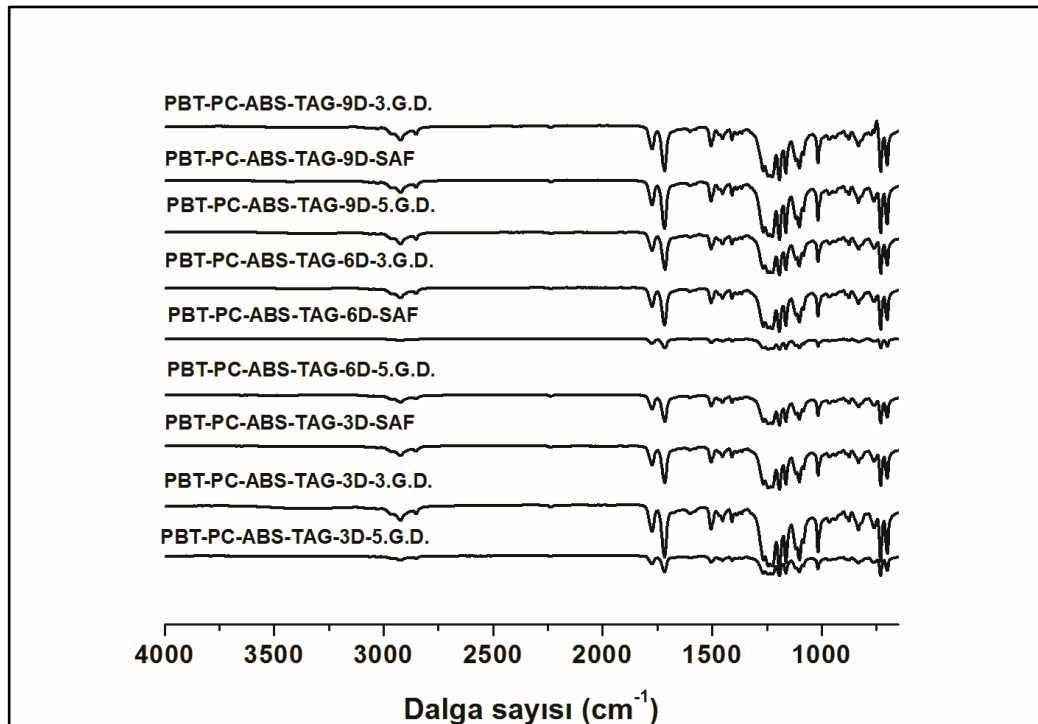
c)

Şekil 7.20: PBT/PC/ABS-CE karışımının a) Saf, b) 1. G.D. ve c) 5. G.D. ’lerinin sem fotoğrafları.

7.6. Kızılötesi Spektroskopisi Sonuçları

7.6.1. PBT/PC/ABS-TAG

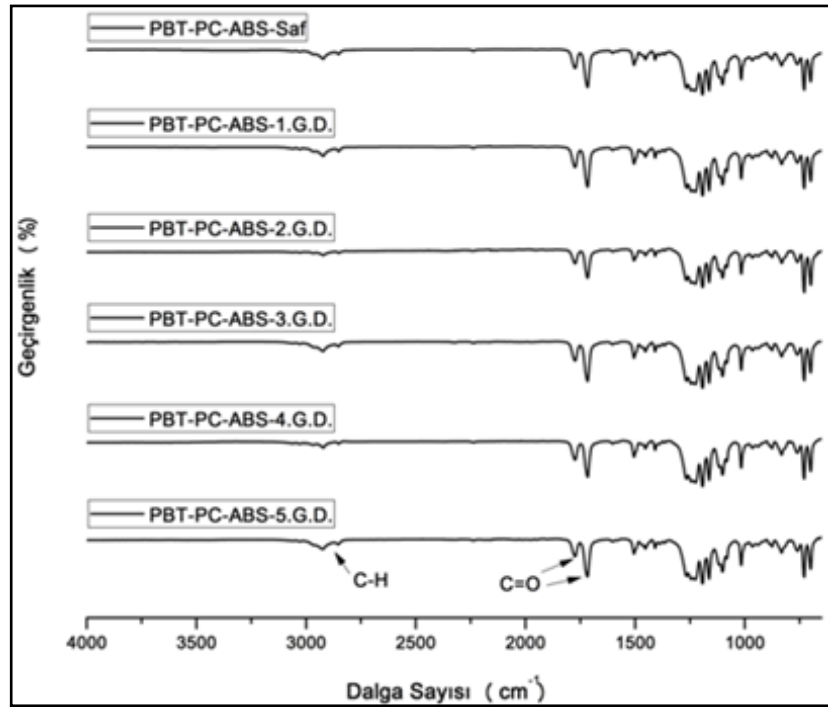
Kızılötesi spektrometresi, saf ve geri dönüştürülmüş PBT/PC/ABS-TAG üçlü karışım malzemelere uygulanan prosesler sonucunda kimyasal bir değişiklik olup olmadığını gözlemlemek için kullanıldı. Şekil 7.21 saf ve geri dönüştürülmüş malzemelerin kızılötesi spektrumlarını göstermektedir. Spektrumlardan görülebileceği gibi, PBT/PC/ABS-TAG malzemesine ait bantlar saf ve geri dönüştürülmüş malzemeler için aynı şekilde görülmektedir. 2800 – 3200 cm^{-1} aralığında görülen pikler yapıdaki alifatik ve aromatik C-H gerilmelerine karşılık gelmektedir. 1717 cm^{-1} 'deki C=O piki PBT fazından gelen ve 1774 cm^{-1} C=O gerilmesi PC fazından gelen piktir. FTIR (kızılötesi spektroskopisi) spektrumlarından elde ettiğimiz bu sonuç ile elde edilen karışımdaki PC ve PBT fazlarını içerdiği görülmektedir. Benzer sonuçlar literatürde de yer almaktadır [Hopfe et.al., 1997].



Şekil 7.21: PBT/PC/ABS-TAG FTIR spektrumları.

7.6.2. PBT/PC/ABS ve PBT/PC/ABS-CE

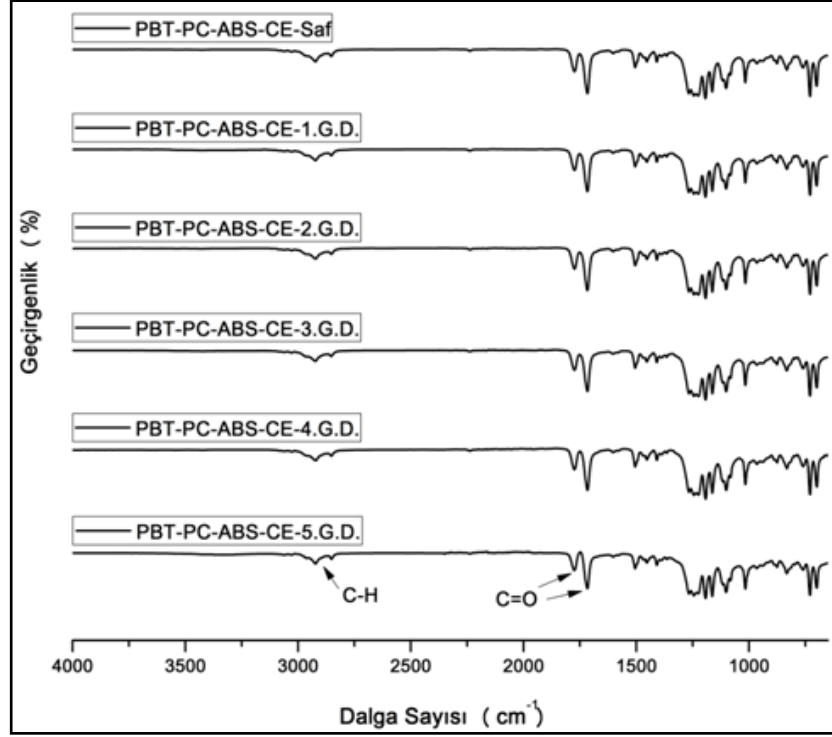
Kızılötesi spektrometresi, saf ve geri dönüştürülmüş PBT/PC/ABS üçlü karışım malzemelere uygulanan prosesler sonucunda kimyasal bir değişiklik olup olmadığını gözlemlemek için kullanıldı. Şekil 7.22 saf ve geri dönüştürülmüş malzemelerin kızılötesi spektrumlarını göstermektedir. Spektrumlardan görülebileceği gibi, PBT/PC/ABS malzemesine ait bantlar saf ve geri dönüştürülmüş malzemeler için aynı şekilde görülmektedir. $2800 - 3200\text{ cm}^{-1}$ aralığında görülen pikler yapıdaki alifatik ve aromatik C-H gerilmelerine karşılık gelmektedir. 1717 cm^{-1} 'deki C=O piki PBT fazından gelen ve 1774 cm^{-1} C=O gerilmesi PC fazından gelen piktir. FTIR spektrumlarından elde ettiğimiz bu sonuç ile elde edilen karışımdaki PC ve PBT fazlarını içerdiği görülmektedir. Benzer sonuçlar literatürde de yer almaktadır [Hopfe et.al., 1997].



Şekil 7.22: PBT/PC/ABS FTIR spektrumları.

Şekil 7.23 saf ve geri dönüştürülmüş PBT/PC/ABS-CE karışım malzemelerin kızılötesi spektrumlarını göstermektedir. Spektrumlar incelendiğinde, PBT/PC/ABS-CE malzemesine ait pikler saf ve geri dönüştürülmüş malzemeler için aynı şekildedir. Ayrıca, cam elyaf içermeyen PBT/PC/ABS üçlü karışım malzemeye

benzer spektrumlar elde edildi. $2800 - 3200\text{ cm}^{-1}$ aralığında görülen pikler yapıdaki alifatik ve aromatik C-H gerilmelerine karşılık gelmektedir. 1717 cm^{-1} 'deki C=O piki PBT fazına ait ve 1774 cm^{-1} C=O gerilmesi PC fazına ait piktir.

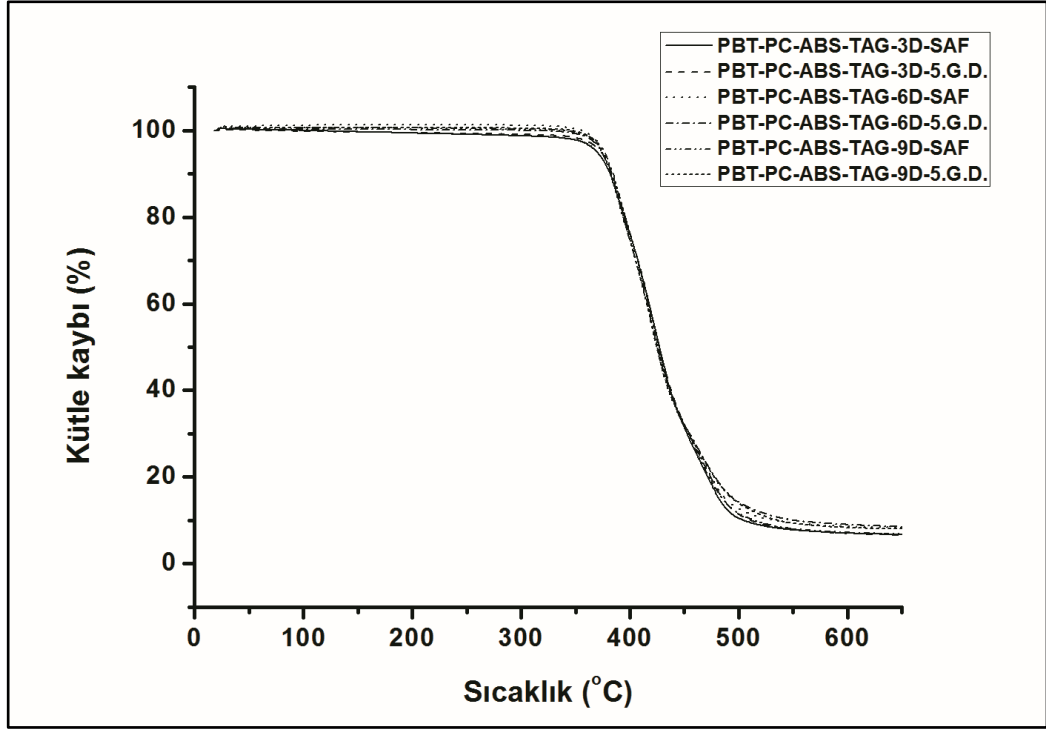


Şekil 7.23: PBT/PC/ABS-CE FTIR spektrumları.

7.7. Termal Gravimetrik Analiz Sonuçları

7.7.1. PBT/PC/ABS-TAG

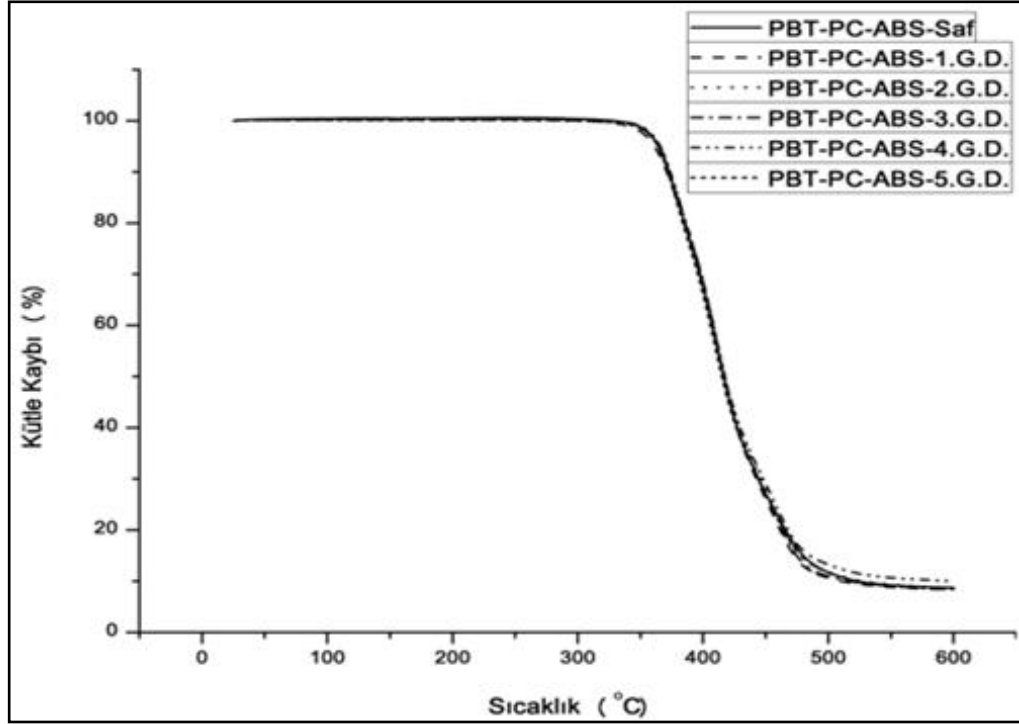
PBT/PC/ABS-TAG üçlü karışım malzemesi oda sıcaklığından 600 °C 'ye kadar 20 °C /dak hızında TGA analizine tabi tutulmuştur. PBT/PC/ABS-TAG'in saf ve geri dönüşüm olanlarının TGA analiz sonuçları Şekil 7.24'te grafik halinde sunulmuştur. PBT/PC/ABS malzemeler kütle kaybına uğramaya 340 °C sıcaklığında başlamış, iki kademedeki gerçekleşen bozulma ise 600 °C 'de sona ermiştir. $340 - 420\text{ °C}$ aralığında yapıdaki glikol ve asit grupları bozunmaya uğramış sonraki adımda yapıdaki diğer kısımlar bozunmuştur. Benzer kütle kayıplarının sonucunda kalan miktar $\% 10 - 12$ civarındadır.



Şekil 7.24: PBT/PC/ABS-TAG termal gravimetrik analiz termogramları.

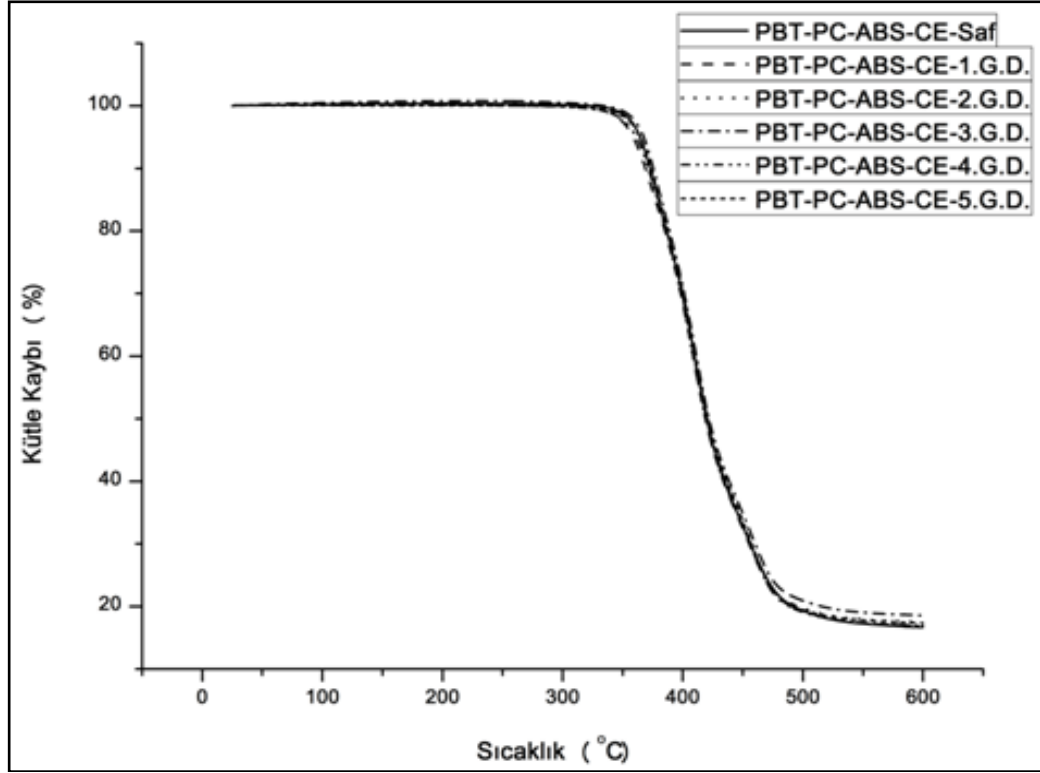
7.7.2. PBT/PC/ABS ve PBT/PC/ABS-CE

PBT/PC/ABS üçlü karışım malzemesi oda sıcaklığından 600 °C'ye kadar 20 °C /dak hızında TGA analizine tabi tutulmuştur. PBT/PC/ABS'nin saf ve geri dönüşüm olanlarının TGA analiz sonuçları Şekil 7.25'te grafik halinde sunulmuştur. PBT/PC/ABS malzemeler kütle kaybına uğramaya 330°C sıcaklığında başlamış, iki kademedeki gerçekleşen bozulma ise 600 °C'de sona ermiştir. 330 – 420 °C aralığında yapıdaki glikol ve asit grupları bozunmaya uğramış sonraki adımda yapıdaki diğer kısımlar bozunmuştur. Benzer kütle kayıplarının sonucunda kalan miktar %8 – 9 civarındadır.



Şekil 7.25: PBT/PC/ABS termal gravimetrik analiz termogramları.

% 10 cam elyaf takviyeli PBT/PC/ABS üçlü karışım malzemelerin termal olarak bozunma analizi oda sıcaklığından 600 °C'ye kadar 20 °C /dak hızında TGA analizi ile gerçekleştirildi. Karışımların saf ve geri dönüşüm olanlarının TGA analiz sonuçları Şekil 7.26'da grafik halinde verildi. % 10 cam elyaf katkılı PBT/PC/ABS karışım malzemelere ait TGA termogramları cam elyaf içermeyen PBT/PC/ABS üçlü karışım malzemeler ile benzer bozunma eğrilerine sahiptir. Farklı olarak TGA analizi ile karışıma eklenen % 10 cam elyaf gözlemlenmektedir. PBT/PC/ABS üçlü karışım malzemelerde kütle kayıpları ile kalan kömür miktarı % 7 – 8 civarında iken % 10 cam elyaf içeren PBT/PC/ABS karışım malzemelerde kalan kömür miktarı % 17 – 18 civarındadır.

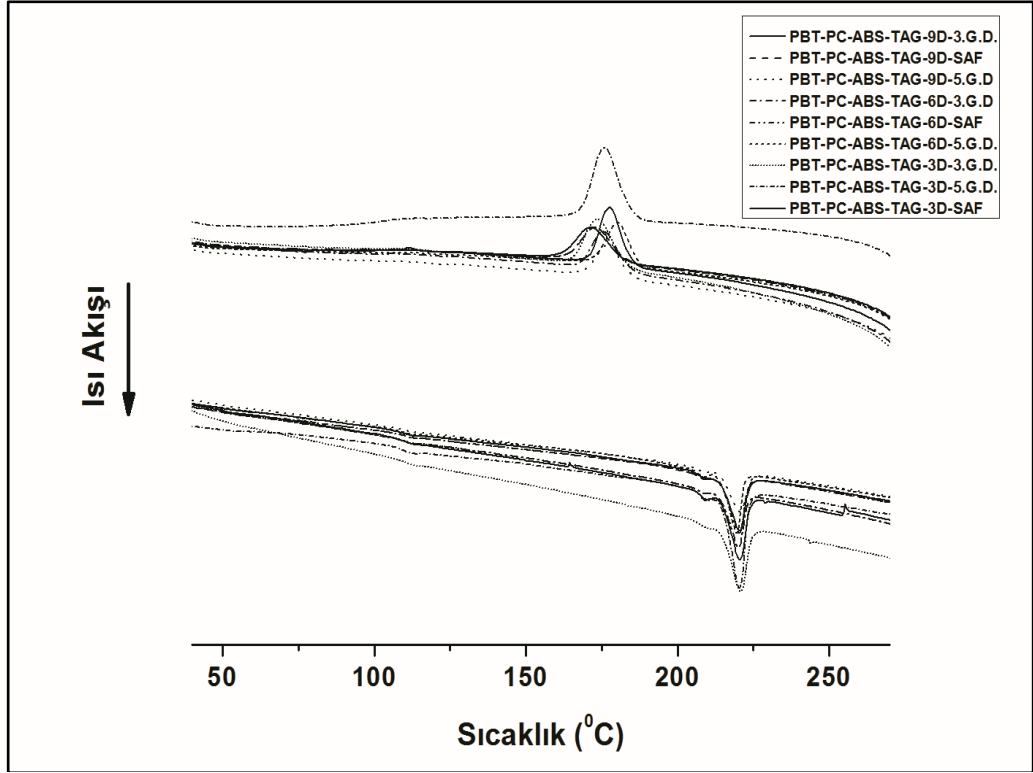


Şekil 7.26: PBT/PC/ABS-CE termal gravimetrik analiz termogramları.

7.8. Diferansiyel Taramalı Kalorimetri Sonuçları

7.8.1. PBT/PC/ABS-TAG

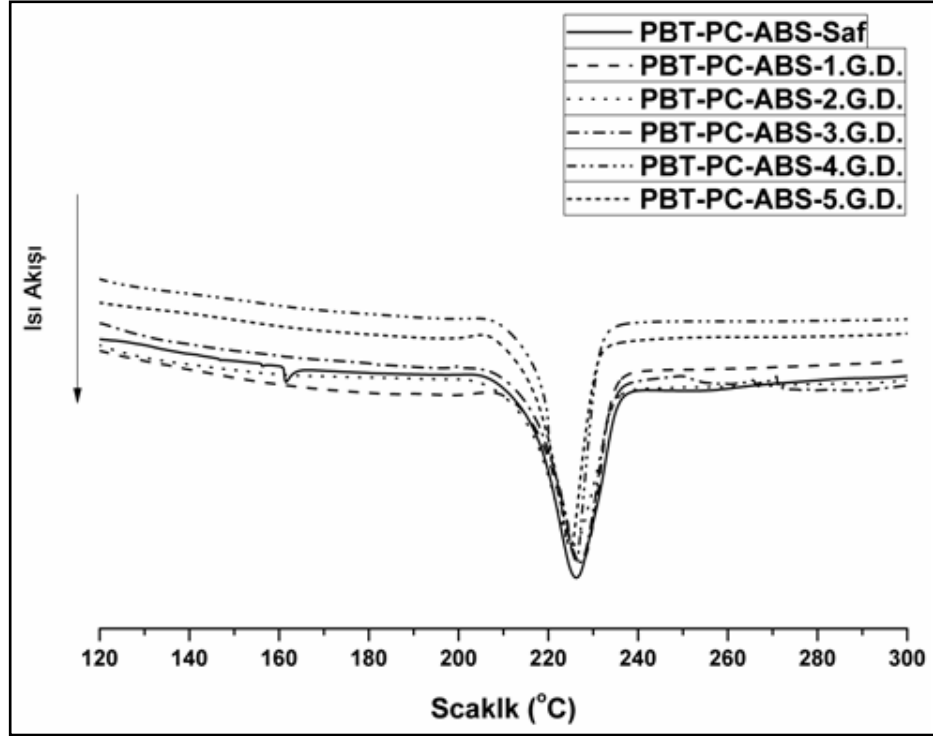
Şekil 7.27’de PBT/PC/ABS-TAG üçlü karışım malzemelerin DSC termogramları grafik halinde gösterildi. Grafikte 0 – 240 °C arasında, 10 °C /dak ısıtma hızında maddelerin soğuma ve ikinci ısıtma grafikleri gösterildi. Buna göre T_g (camsı geçiş sıcaklığı) PC homopolimeri için 148 °C, ABS polimeri için 106 °C’dir [Hopfe et.al., 1997], [Hua et.al., 2007]. PBT için temel erime piki 215 – 225°C civarındadır. Üçlü karışımlarda özellikle yapıda kristal özellik gösteren PBT malzemeye ait erime, 225 °C’de keskin pik olarak görülmektedir. Diğer bileşenler amorf yapıda olduğu için pik yoğunlukları PBT kadar güçlü değildir ve T_g değerleri gözükmemektedir. Ayrıca, geri dönüşüm işlemleri sonucunda erime sıcaklığı değerlerinde önemli farklılık gözlenmedi (Şekil 7.27).



Şekil 7.27: PBT/PC/ABS-TAG diferansiyel taramalı kalorimetri termogramları.

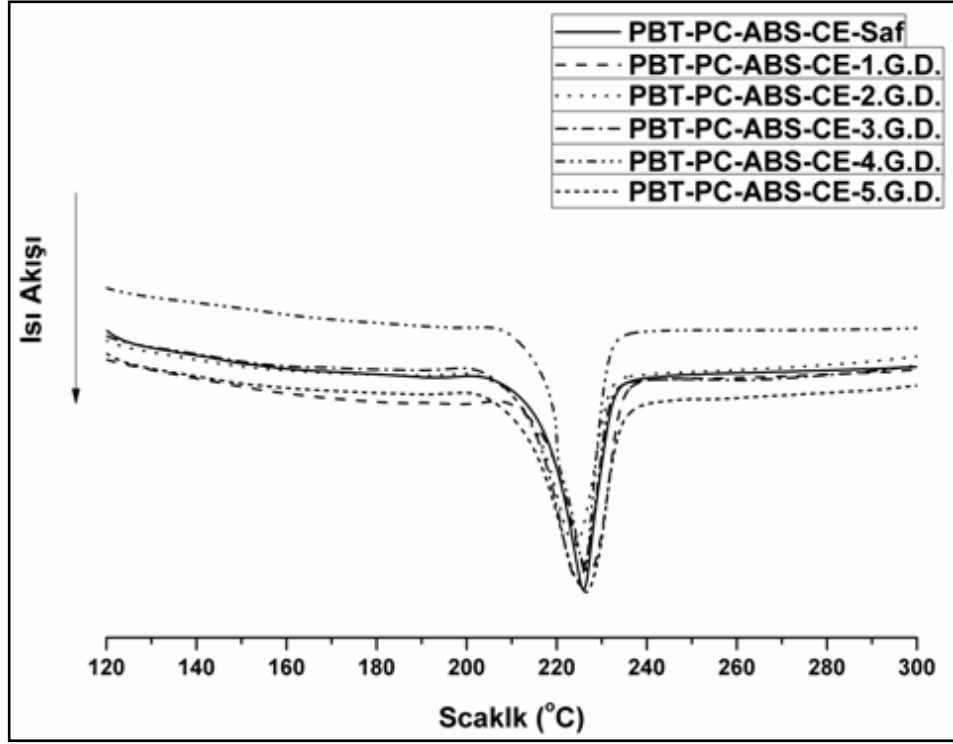
7.8.2. PBT/PC/ABS ve PBT/PC/ABS-CE

Şekil 7.28’de PBT/PC/ABS üçlü karışım malzemelerin DSC termogramları grafik halinde gösterildi. Camsı geçiş sıcaklığı PC homopolimeri için 148 °C, ABS polimeri için 106°C’dir [Hopfe et.al., 1997], [Hua et.al., 2007]. PBT için temel erime piki 215 – 225°C civarındadır. Üçlü karışımlarda özellikle yapıda kristal özellik gösteren PBT malzemeye ait erime, 225 °C’de keskin pik olarak görülmektedir. Diğer bileşenler amorf yapıda olduğu için pik yoğunlukları PBT kadar güçlü değildir ve Tg değerleri gözükmemektedir. Ayrıca, geri dönüşüm işlemleri sonucunda Tm (erime sıcaklığı) değerlerinde önemli farklılık gözlenmedi (Şekil 7.28).



Şekil 7.28: PBT/PC/ABS diferansiyel taramalı kalorimetri termogramları.

Şekil 7.29’da PBT/PC/ABS-CE karışım malzemelerin DSC termogramları grafik halinde gösterildi. Şekil 7.29 incelendiğinde saf ve geri dönüşümlü malzemelerin temel erime pikleri göz önüne alındığında yakın değerler elde edildi. Temel erime piki 225 °C civarında PBT kristallerinin oluşturduğu omuz şeklindeki piktir. Cam elyaf katkısız PBT/PC/ABS malzemeler ile matriksi aynı olduğu için PBT/PC/ABS-CE malzemelerinde aynı DSC termogramları elde edildi.



Şekil 7.29: PBT/PC/ABS-CE diferansiyel taramalı kalorimetri termogramları.

7.9. Analiz Sonuçları

7.9.1. Analiz Çalışması

Plastik enjeksiyon teknolojisiyle imal edilmiş ürünlerde, Taguchi tasarımında seçilen enjeksiyon sıcaklığı, enjeksiyon basıncı ve ütüleme basıncı parametrelerinin mekanik özelliklere etkisinin araştırılması amacıyla çekme ve darbe test numuneleri incelenecek parçalar olarak seçildi (Şekil 6.17, Şekil 6.18). Taguchi ve anova analizi çekme dayanımı, akma dayanımı, eğilme dayanımı, darbe dayanımı ve eriyik akış indeksine etki eden parametrelerin etki yüzdeleri ve değerlerini belirlemek için yapıldı. Tablo 7.9’da belirlenen parametre ve seviyelere uygun Taguchi metodunun L9 (3**3) deney serisi seçilerek Tablo 7.9 oluşturulmuştur.

Tablo 7.9: Ürünlerin taguchi analizinde kullanılan parametreler ve seviyeleri.

KOLON	PARAMETRELER	SEVİYE 1	SEVİYE 2	SEVİYE 3
A	Enjeksiyon Sıcaklığı (°C)	260	270	280
B	Enjeksiyon Basıncı (bar)	90	100	110
C	Ütöleme Basıncı (bar)	75	80	85

Tablo 7.10: PBT/PC/ABS için L9 (3**3) ortogonal dizisine göre deney şartları.

Deney No	Enjeksiyon Sıcaklığı (°C)	Enjeksiyon Basıncı (bar)	Ütöleme Basıncı (bar)
1	260	90	75
2	260	100	80
3	260	110	85
4	270	90	80
5	270	100	85
6	270	110	75
7	280	90	85
8	280	100	75
9	280	110	80

7.9.2. Numunelerin S/N Oranı

Mekanik ve akış testlerinden elde edilen değerler programa girilerek S/N değerleri elde edildi. Minitab R16, veri analizi ve sunumu için kapsamlı ve kullanımı kolay bir istatistiksel yazılım paketidir. Birden fazla çalışma sayfasını ve grafiği saklayabilmek, grafikleri bir den fazla formatta kaydedebilmek ve grafikleri diğer uygulamalara ihraç edebilmek yazılımın özelliklerinden birkaçı olarak göze çarpmaktadır. Yeni başlayanlardan profesyonel şirketlere kadar, dünyanın her yerindeki kalite uzmanları, temel ve ileri düzeyde istatistik, regresyon ve ANOVA gibi ihtiyaç duydukları daha pek çok metot için MINITAB'ı tercih ediyorlar [Kayı, 2006].

Analizler saf, 3. ve 5. Geri dönüşüm malzemeler için ayrı ayrı olmak üzere; çekme, eğilme, darbe ve eriyik akış indeks değerleri için ayrı ayrı yapıldı. Her analiz için sonuçlar aşağıda belirtildi.

Bu işlemlere göre alınan sonuçlar;

Tablo 7.11: PBT/PC/ABS saf malzemesi için deneysel ve S/N verileri.

Deney No	Maksimum Çekme Dayanımı (MPa)		Akma Dayanımı (MPa)		Eğilme Dayanımı (MPa)		İzod Darbe dayanımı (Kj/m^2)		Eriyik Akış Değeri (g/10 dak)	
	Deney Sonuçları	S/N	Deney Sonuçları	S/N	Deney Sonuçları	S/N	Deney Sonuçları	S/N	Deney Sonuçları	S/N
1	42,00	32,46	31,81	30,05	68,06	36,66	31,76	30,04	13,62	22,68
2	42,14	32,49	32,36	30,20	70,99	37,02	32,19	30,15	12,60	22,01
3	42,08	32,48	32,53	30,25	71,11	37,04	32,22	30,16	13,38	22,53
4	42,01	32,47	31,99	30,10	68,83	36,76	33,88	30,60	14,28	23,09
5	41,28	32,31	31,80	30,05	69,53	36,84	33,25	30,44	13,50	22,61
6	41,50	32,36	31,80	30,05	70,50	36,96	34,92	30,86	14,34	23,13
7	40,71	32,19	28,34	29,05	70,30	36,94	38,47	31,70	14,70	23,35
8	39,91	32,02	27,76	28,87	71,44	37,08	45,51	33,16	14,80	23,41
9	41,41	32,34	28,21	29,01	72,32	37,19	43,47	32,76	15,96	24,06

Tablo 7.12: PBT/PC/ABS 3. G.D. malzemesi için deneysel ve S/N verileri.

Deney No	Maksimum Çekme Dayanımı (MPa)		Akma Dayanımı (MPa)		Eğilme Dayanımı (MPa)		İzod Darbe dayanımı (Kj/m^2)		Eriyik Akış Değeri (g/10 dak)	
	Deney Sonuçları	S/N	Deney Sonuçları	S/N	Deney Sonuçları	S/N	Deney Sonuçları	S/N	Deney Sonuçları	S/N
1	41,04	32,26	31,77	30,04	72,61	37,22	38,00	31,60	15,00	23,52
2	41,97	32,46	30,94	29,81	74,02	37,39	36,21	31,18	15,00	23,52
3	42,18	32,50	31,72	30,03	74,32	37,42	36,64	31,28	15,00	23,52
4	40,38	32,12	31,52	29,97	72,68	37,23	41,62	32,39	16,80	24,51
5	41,54	32,37	32,16	30,15	74,06	37,39	41,40	32,34	15,00	23,52
6	41,19	32,30	31,74	30,03	73,60	37,34	41,40	32,34	16,20	24,19
7	40,21	32,09	30,79	29,77	72,86	37,25	44,97	33,06	18,00	25,11
8	39,93	32,03	31,02	29,83	72,95	37,26	46,36	33,32	17,40	24,81
9	40,97	32,25	30,09	29,57	73,33	37,31	48,69	33,75	18,00	25,11

Tablo 7.13: PBT/PC/ABS 5. G.D. malzemesi için deneysel ve S/N verileri.

Deney No	Maksimum Çekme Dayanımı (MPa)		Akma Dayanımı (MPa)		Eğilme Dayanımı (MPa)		İzod Darbe dayanımı (Kj/m^2)		Eriyik Akış Değeri (g/10 dak)	
	Deney Sonuçları	S/N	Deney Sonuçları	S/N	Deney Sonuçları	S/N	Deney Sonuçları	S/N	Deney Sonuçları	S/N
1	40,34	32,11	28,53	29,11	69,45	36,83	35,15	30,92	15,10	23,58
2	40,93	32,24	28,80	29,19	70,46	36,96	35,90	31,10	14,58	23,28
3	41,35	32,33	28,82	29,19	70,05	36,91	39,18	31,86	13,05	22,31
4	38,81	31,78	28,45	29,08	68,33	36,69	42,60	32,59	16,20	24,19
5	39,97	32,03	28,22	29,01	69,56	36,85	38,67	31,75	16,80	24,51
6	39,96	32,03	27,65	28,83	70,11	36,92	39,76	31,99	17,46	24,84
7	37,27	31,43	27,77	28,87	66,22	36,42	39,94	32,03	24,20	27,68
8	37,36	31,45	27,18	28,68	69,39	36,83	37,23	31,42	25,20	28,03
9	39,20	31,87	28,10	28,97	68,69	36,74	45,30	33,12	19,20	25,67

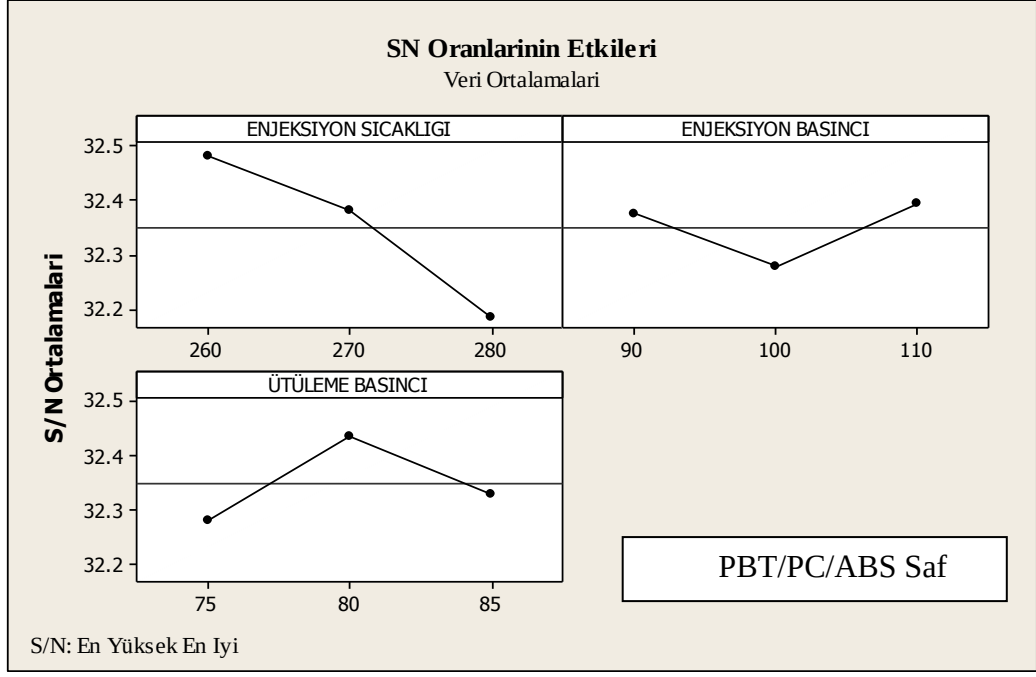
PBT/PC/ABS malzemesinin saf, 3. geri dönüşüm, 5. geri dönüşüm halleri için maksimum çekme dayanımı, akma dayanımı, eğilme dayanımı, darbe dayanımı ve

eriyik akış indeks değerleri için sinyal/gürültü oranları büyük değer iyi formülüne göre Tablo 7.11, Tablo 7.12 ve Tablo 7.13'te verildi.

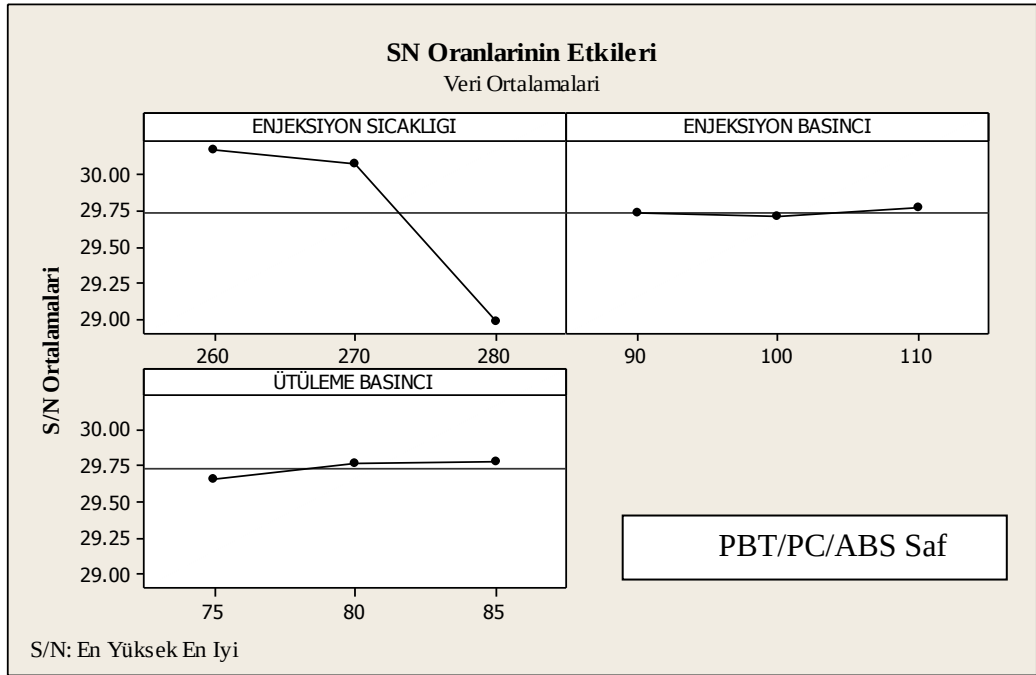
En yüksek S/N seviyesi o parametrenin optimal değerini işaret eder. PBT/PC/ABS malzemesinin saf hali için (Şekil 7.30) - (Şekil 7.34), 3. G.D. hali için (Şekil 7.35) – (Şekil 7.39) ve 5. G.D. hali için S/N grafiklerine bakıldığında (Şekil 7.40) – (Şekil 7.44) optimal değerler tablosu Tablo 7.14'te verildi. Tabloda yer alan A, B, C sırasıyla enjeksiyon sıcaklığı, enjeksiyon basıncı ve ütüleme basıncını temsil etmektedir. PBT/PC/ABS 3. G.D. numunesinde akma dayanımı değeri için enjeksiyon basıncı S/N parametre değeri seviye 1 ve seviye 2 eşit çıkmıştır. Üretim maliyeti ve zamanı düşünüldüğünde, avantaj sağlayacak değer düşük enjeksiyon basıncı olacağından seviye 1 seçilmiştir.

Tablo 7.14: Optimal değerler.

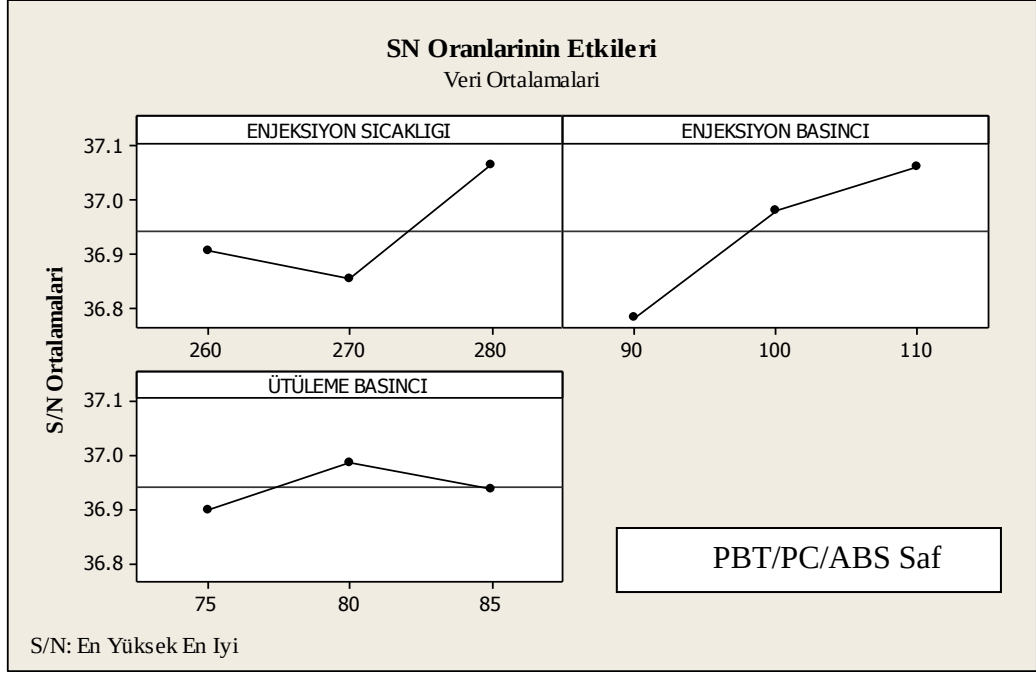
KALİTE KARAKTERİSTİĞİ	PBT/PC/ABS SAF	PBT/PC/ABS 3.G.D.	PBT/PC/ABS 5.G.D.
Maksimum Çekme Dayanımı	A1B3C2	A1B3C3	A1B3C2
Akma Dayanımı	A1B3C3	A2B1C3	A1B1C2
Eğilme Dayanımı	A3B3C2	A1B3C3	A1B2C1
İzod Darbe Dayanımı	A3B3C1	A3B3C2	A3B3C2
Eriyik Akış Değeri	A3B3C1	A3B1C2	A3B2C1



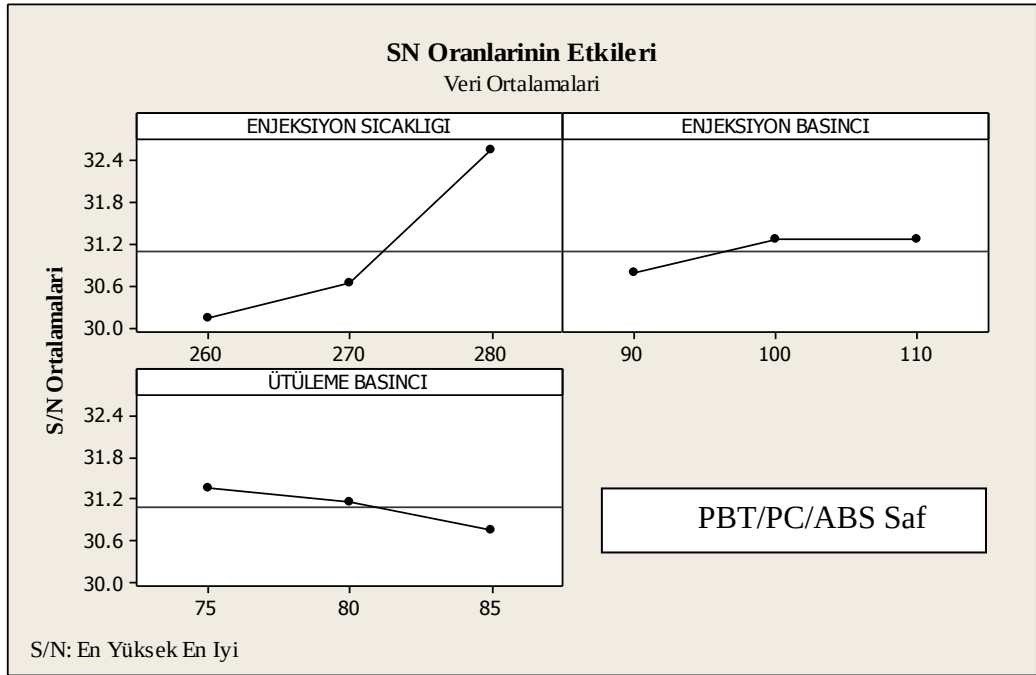
Şekil 7.30: Çekme dayanımı için S/N oranları ana etkileri.



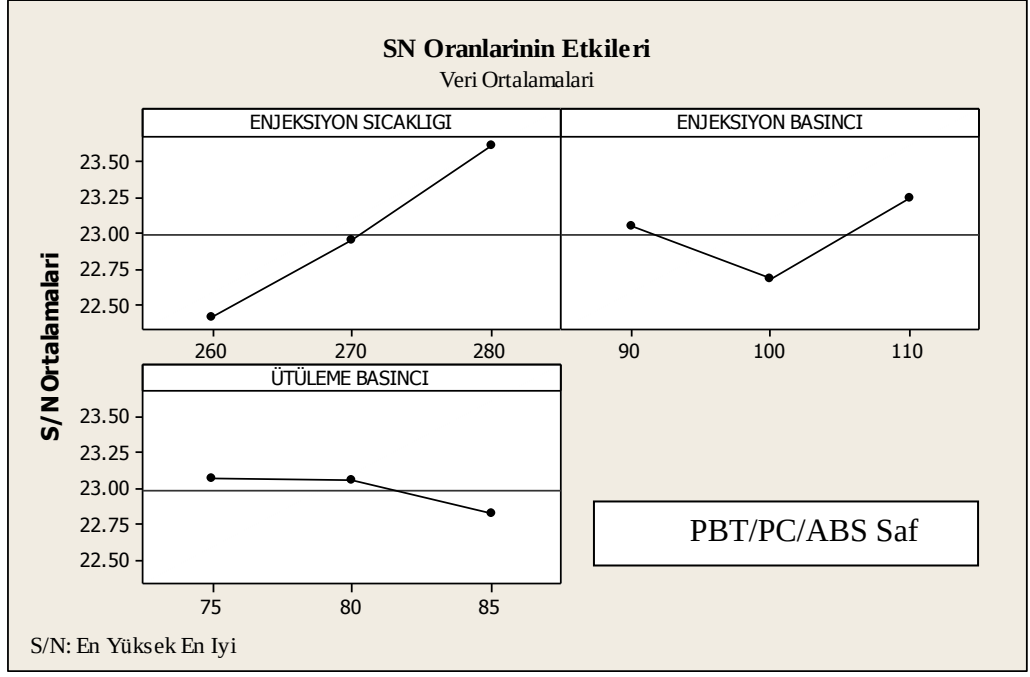
Şekil 7.31: Akma dayanımı için S/N oranları ana etkileri.



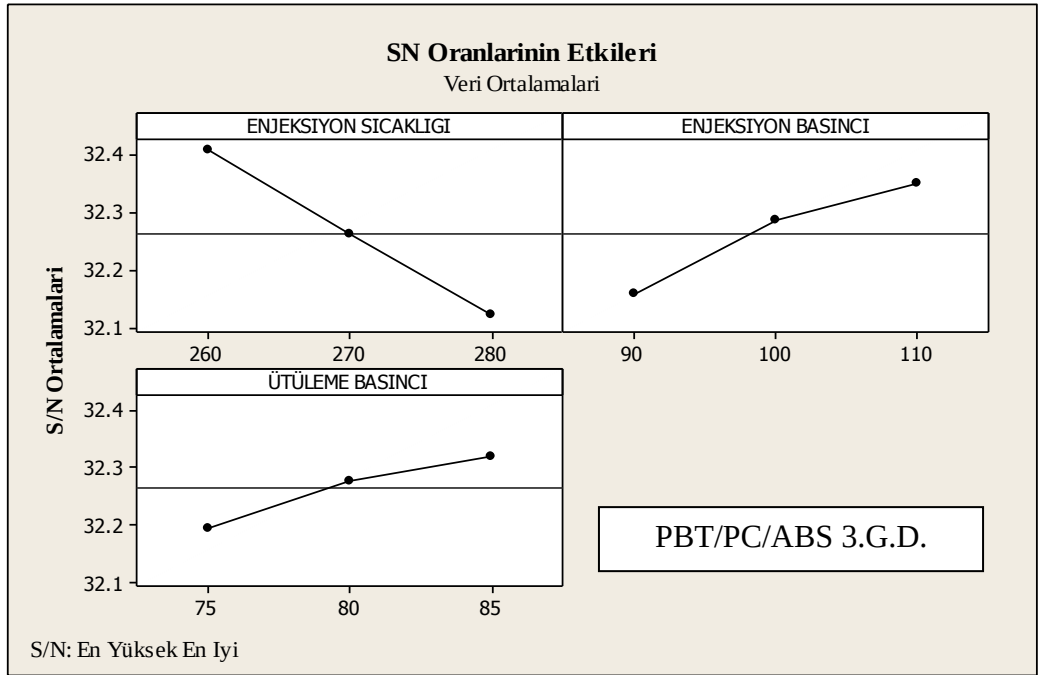
Şekil 7.32: Eğilme dayanımı için S/N oranları ana etkileri (saf).



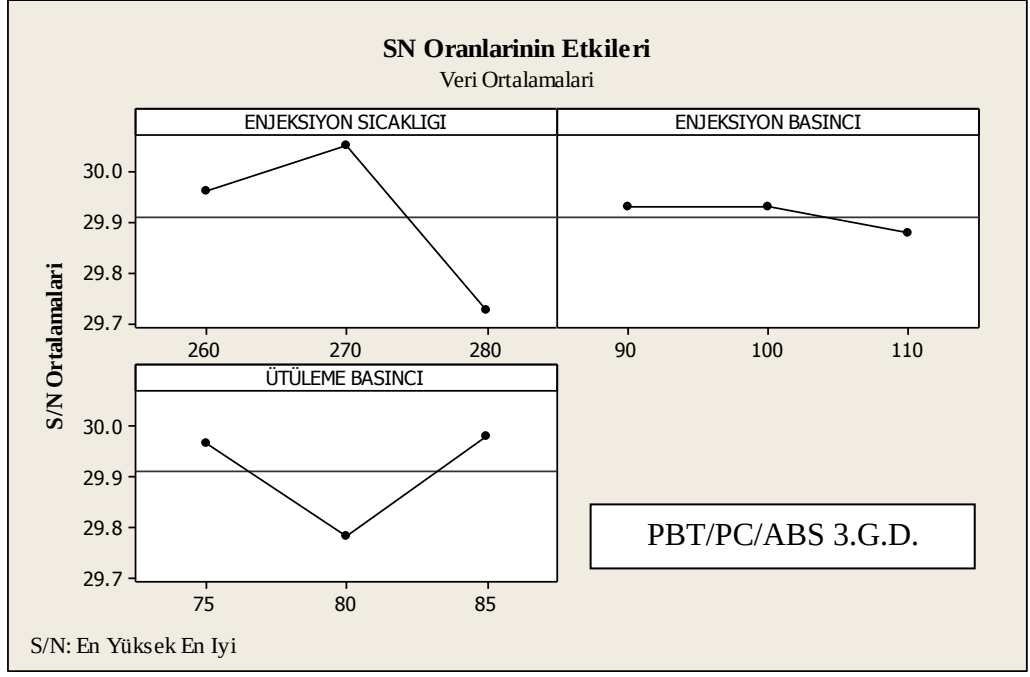
Şekil 7.33: Darbe dayanımı için S/N oranları ana etkileri.



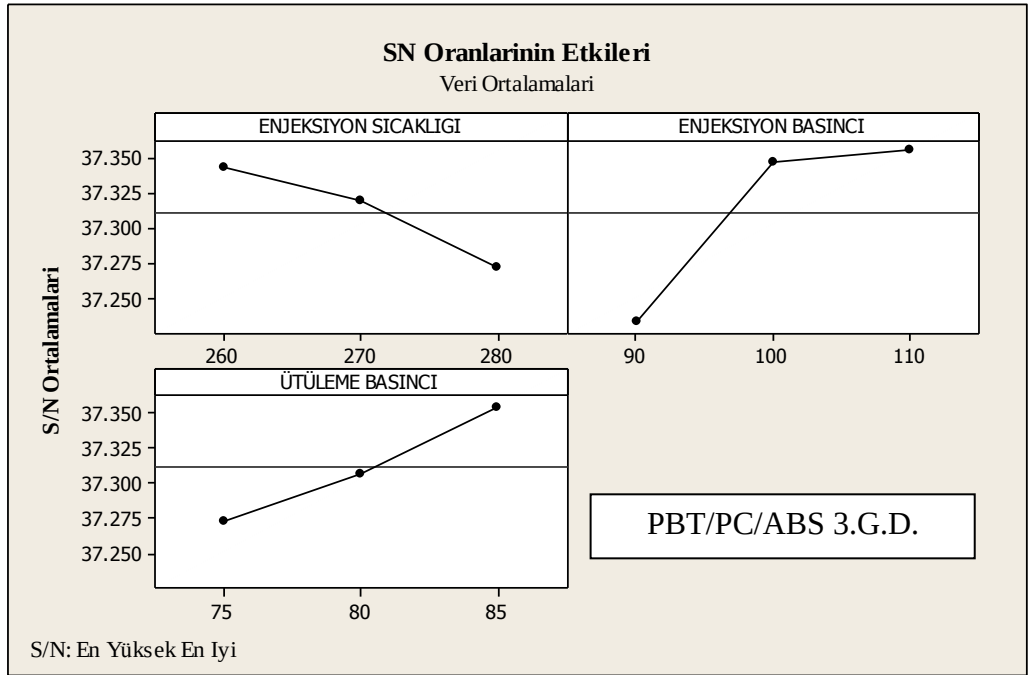
Şekil 7.34: MFI için S/N oranları ana etkileri.



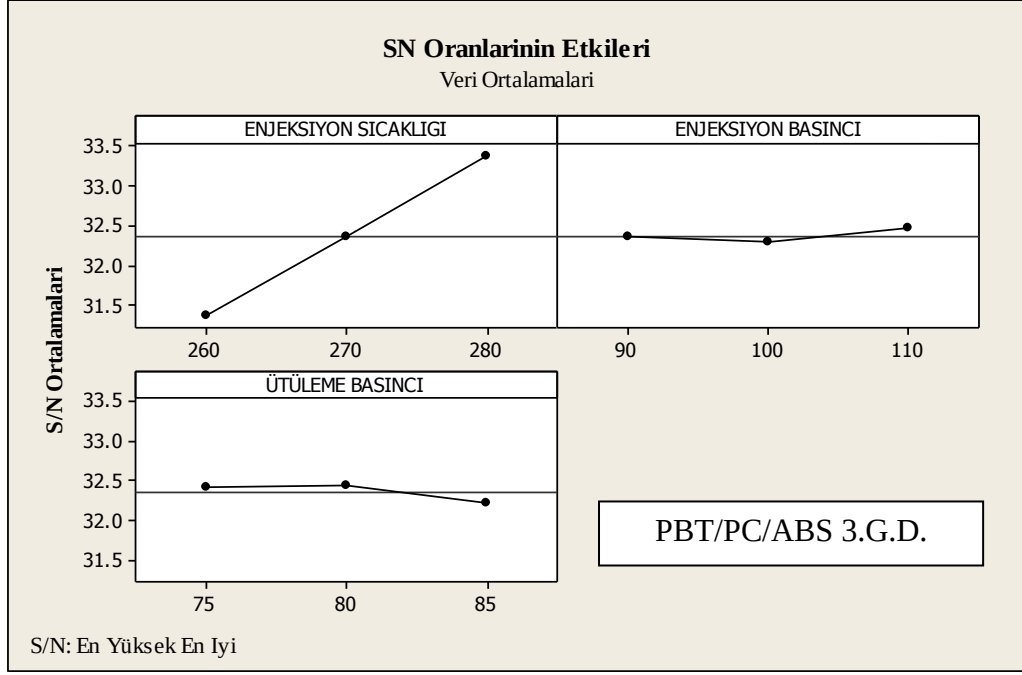
Şekil 7.35: Çekme dayanımı için S/N oranları ana etkileri.



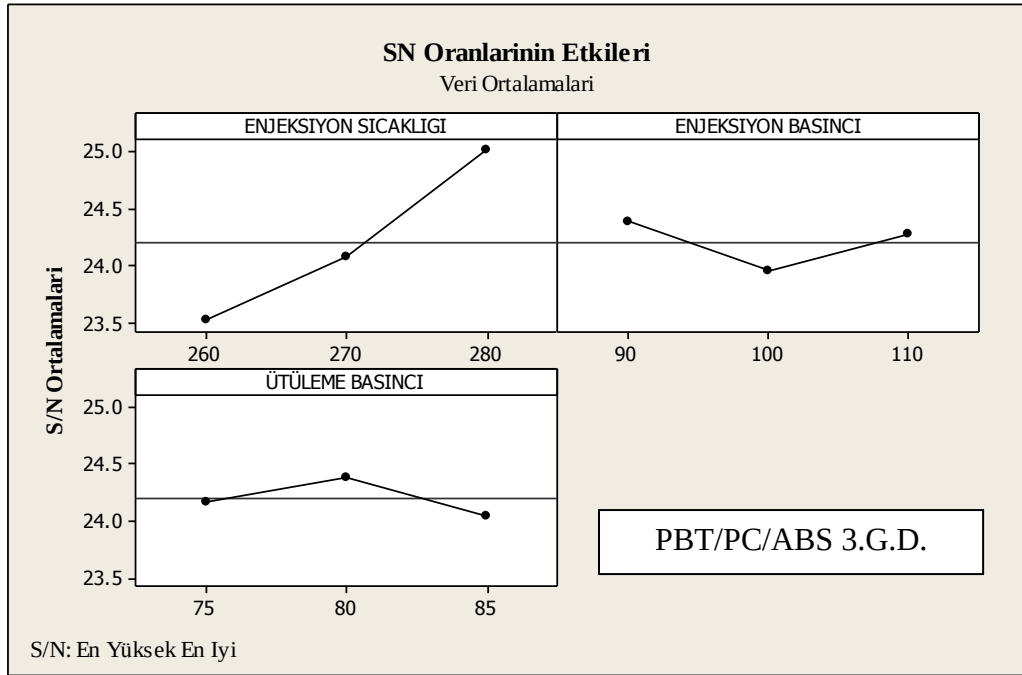
Şekil 7.36: Akma dayanımı için S/N oranları ana etkileri.



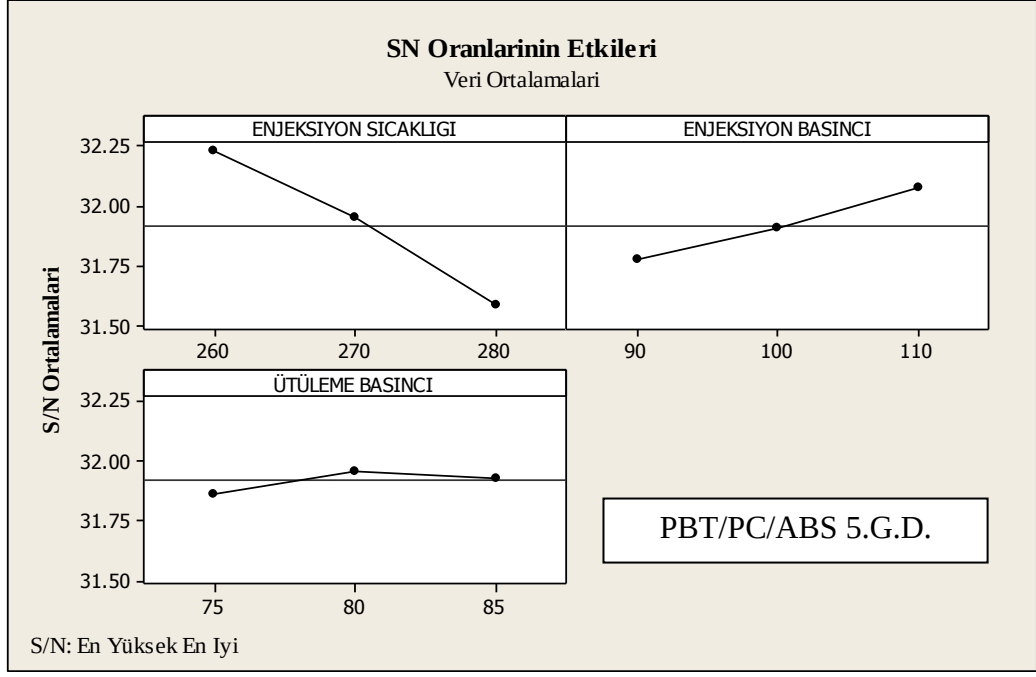
Şekil 7.37: Eğilme dayanımı için S/N oranları ana etkileri.



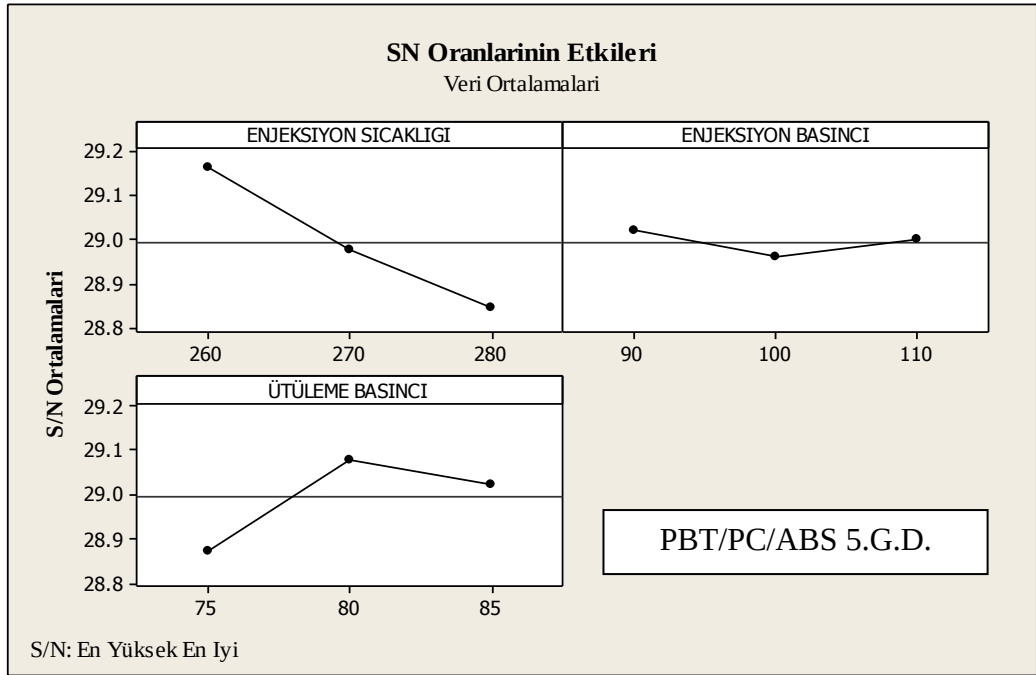
Şekil 7.38: Darbe dayanımı için S/N oranları ana etkileri.



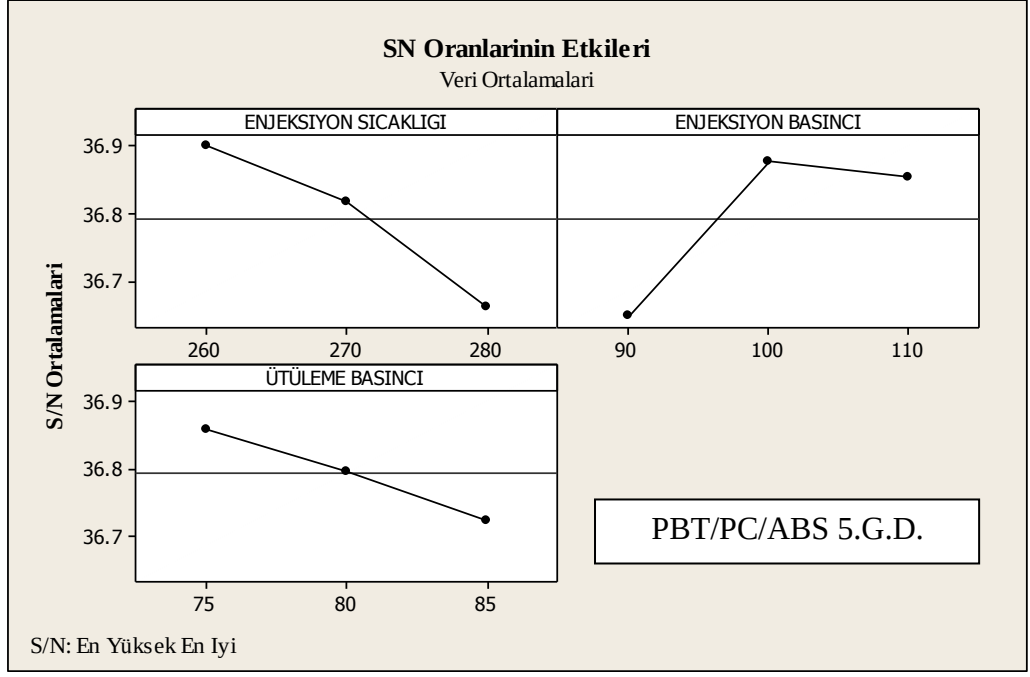
Şekil 7.39: MFI için S/N oranları ana etkileri.



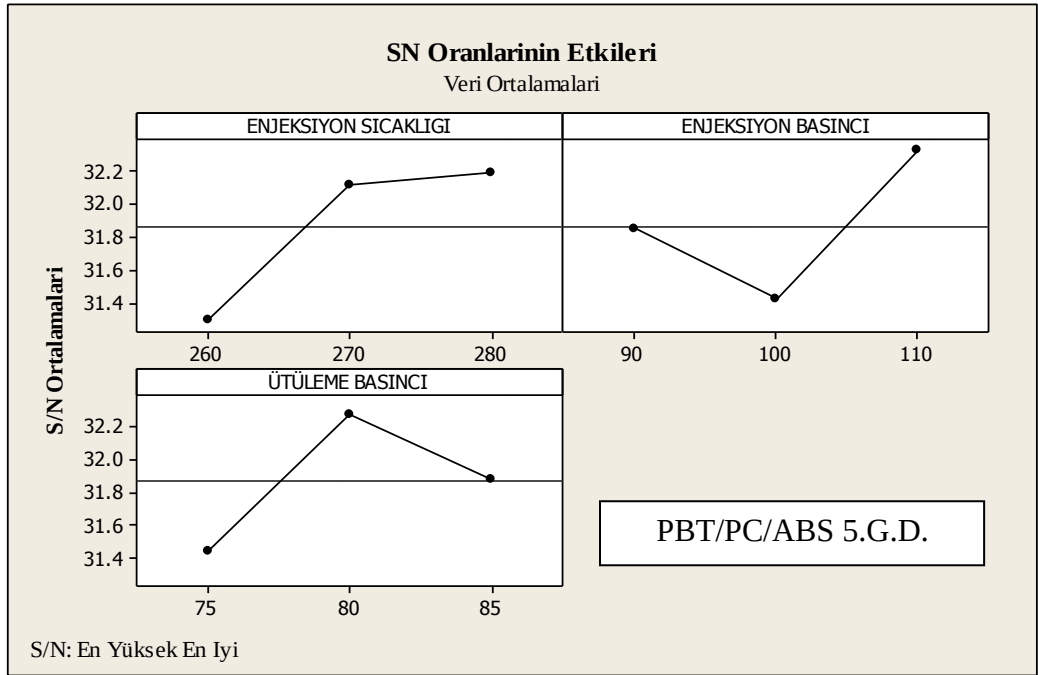
Şekil 7.40: Çekme dayanımı için S/N oranları ana etkileri.



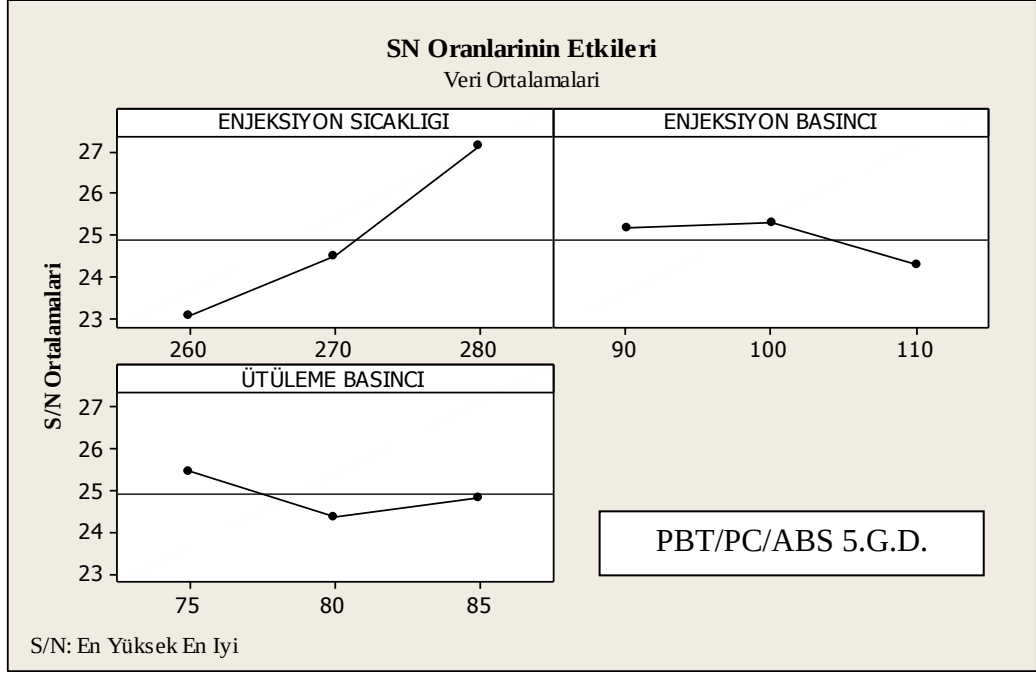
Şekil 7.41: Akma dayanımı için S/N oranları ana etkileri.



Şekil 7.42: Eğilme dayanımı için S/N oranları ana etkileri.



Şekil 7.43: Darbe dayanımı için S/N oranları ana etkileri.



Şekil 7.44: MFI için S/N oranları ana etkileri.

7.9.3. Numunelerin Varyans Analizi (ANOVA)

Varyans analizinde, incelenen faktörlerin, seçilen çıktı değerini (elastisite modülü, akma dayanımı vb.) ne ölçüde etkiledikleri ve farklı seviyelerin nasıl bir değişkenliğe yol açtıkları belirlenir.

Bunun yanı sıra elde edilen sonuçların istatistiksel olarak güvenilirliği de test edilir [Savaşkan vd., 2004]. Bu amaçla öncelikle sinyal/gürültü oranının toplam değişkenliğini belirten SST değeri (toplam karelerin toplamı) hesaplanır.

$$SST = \sum_{i=1}^n (\eta_i - \eta_m)^2 \quad (7.1)$$

Burada;

- η_i : Ölçülen değer üzerinden hesaplanan sinyal gürültü oranı,
- η_m : Ölçülen değer üzerinden hesaplanan sinyal gürültü oranlarının ortalaması,
- n : Toplam deney sayısını, ifade etmektedir.

SST değeri, dört faktörün ayrı ayrı karelerinin toplam değerleri ile hata payının karelerinin toplamı olan SSE değerinin toplamından oluşmaktadır.

Her faktörün kareleri,

$$SSA(SSB, SSC, \dots) = \sum_{i=1}^{k_a} [\eta_{ai} \cdot x(\eta_{ai} - \eta_m)^2] \quad (7.2)$$

Şeklinde hesaplanır [Özçelik and Özbay, 2011].

- k_a : a faktörünün seviye sayısı,
- η_{ai} : a faktörünün i seviyesindeki deney sayısı,
- η_m : ortalama S/N oranıdır.

Her faktörün karelerinin toplamının ayrı ayrı hesaplanması sonucu ortaya çıkan değerler Tablo 7.15'ten Tablo 7.29'a kadar gösterildi.

Tablo 7.15'e göre saf malzeme için çekme dayanımına en fazla etki eden faktör % 67,73 değeri ile enjeksiyon sıcaklığıdır. Diğer iki faktörün etkisi ise hemen hemen aynıdır. Benzer durum Tablo 7.16, Tablo 7.17 için de geçerlidir.

Tablo 7.18'e göre akma dayanımına en fazla etki eden faktör % 98,49 değeri ile enjeksiyon sıcaklığıdır. Tablo 7.19, Tablo 7.20'de ise en etkili faktör sırasıyla enjeksiyon sıcaklığı ve ütüleme basıncıdır. Bunun nedeni saf malzemeye göre geri dönüşüm karışımının kalıba basıldıktan sonra bağ oluşumunu tamamlayabilmesi için yüksek ütüleme basıncına ihtiyaç duyması olduğu düşünülmektedir.

Tablo 7.21, Tablo 7.22 ve Tablo 7.23'e göre eğilme dayanımına en fazla etki eden faktörler sırasıyla enjeksiyon basıncı, enjeksiyon sıcaklığı ve ütüleme basıncıdır.

Darbe dayanımına en fazla etki eden faktör % 88,76 ve % 94,78 değerleri ile Tablo 7.24 ve 7.25'e göre enjeksiyon sıcaklığıdır. Tablo 7.26'da ise bu faktörlerin etkisinin hemen hemen aynı olduğu görülmektedir.

Eriyik akış indeks değerleri için Tablo 7.27, Tablo 7.28 ve Tablo 7.29'da en etkili faktör enjeksiyon sıcaklığı olarak görülmektedir.

Tablo 7.15: Saf PBT/PC/ABS malzeme için maksimum çekme dayanımı ANOVA test sonucu.

	Serbestlik Derecesi	Toplam Kareler	Varyans	F	Katkı %
Enjeksiyon Sıcaklığı	2	0,1344	0,0672	35,04	67,71
Enjeksiyon Basıncı	2	0,024	0,012	6,27	12,09
Ütuleme Basıncı	2	0,0362	0,0181	9,43	18,24
Hata	2	0,0038	0,0019		1,91
Toplam	8	0,1985			99,95

Tablo 7.16: 3. G.D. PBT/PC/ABS malzeme için maksimum çekme dayanımı ANOVA test sonucu.

	Serbestlik Derecesi	Toplam Kareler	Varyans	F	Katkı %
Enjeksiyon Sıcaklığı	2	0,1242	0,0621	12,24	57,79
Enjeksiyon Basıncı	2	0,0567	0,02835	5,59	26,38
Ütuleme Basıncı	2	0,0239	0,01195	2,35	11,12
Hata	2	0,0101	0,00505		4,7
Toplam	8	0,2149			100

Tablo 7.17: 5. G.D. PBT/PC/ABS malzeme için maksimum çekme dayanımı ANOVA test sonucu.

	Serbestlik Derecesi	Toplam Kareler	Varyans	F	Katkı %
Enjeksiyon Sıcaklığı	2	0,6338	0,3169	17,28	77,04
Enjeksiyon Basıncı	2	0,1377	0,06885	3,75	16,74
Ütuleme Basıncı	2	0,0146	0,0073	0,4	1,77
Hata	2	0,0367	0,01835		4,46
Toplam	8	0,8227			100,01

Tablo 7.18: Saf PBT/PC/ABS malzeme için akma dayanımı ANOVA test sonucu.

	Serbestlik Derecesi	Toplam Kareler	Varyans	F	Katkı %
Enjeksiyon Sıcaklığı	2	2,6184	1,3092	438,21	98,48
Enjeksiyon Basıncı	2	0,0057	0,00285	0,96	0,21
Ütuleme Basıncı	2	0,0285	0,01425	4,78	1,07
Hata	2	0,006	0,003		0,23
Toplam	8	2,6587			100

Tablo 7.19: 3. G.D. PBT/PC/ABS malzeme için akma dayanımı ANOVA test sonucu.

	Serbestlik Derecesi	Toplam Kareler	Varyans	F	Katkı %
Enjeksiyon Sıcaklığı	2	0,1708	0,0854	20,43	66,25
Enjeksiyon Basıncı	2	0,0055	0,00275	0,66	2,13
Ütuleme Basıncı	2	0,0731	0,03655	8,74	28,36
Hata	2	0,0084	0,0042		3,26
Toplam	8	0,2578			100

Tablo 7.20: 5. G.D. PBT/PC/ABS malzeme için akma dayanımı ANOVA test sonucu.

	Serbestlik Derecesi	Toplam Kareler	Varyans	F	Katkı %
Enjeksiyon Sıcaklığı	2	0,1542	0,0771	22,81	65,73
Enjeksiyon Basıncı	2	0,0053	0,00265	0,79	2,26
Ütuleme Basıncı	2	0,0683	0,03415	10,1	29,11
Hata	2	0,0068	0,0034		2,9
Toplam	8	0,2346			100

Tablo 7.21: Saf PBT/PC/ABS malzeme için eğilme dayanımı ANOVA test sonucu.

	Serbestlik Derecesi	Toplam Kareler	Varyans	F	Katkı %
Enjeksiyon Sıcaklığı	2	0,0742	0,0371	6,99	33,79
Enjeksiyon Basıncı	2	0,1231	0,06155	11,61	56,06
Ütöleme Basıncı	2	0,0117	0,00585	1,1	5,33
Hata	2	0,0106	0,0053		4,83
Toplam	8	0,2196			100,01

Tablo 7.22: 3. G.D. PBT/PC/ABS malzeme için eğilme dayanımı ANOVA test sonucu.

	Serbestlik Derecesi	Toplam Kareler	Varyans	F	Katkı %
Enjeksiyon Sıcaklığı	2	0,0078	0,0039	9,64	16,67
Enjeksiyon Basıncı	2	0,028	0,014	34,43	59,83
Ütöleme Basıncı	2	0,0101	0,00505	12,47	21,58
Hata	2	0,0008	0,0004		1,71
Toplam	8	0,0468			99,79

Tablo 7.23: 5. G.D. PBT/PC/ABS malzeme için eğilme dayanımı ANOVA test sonucu.

	Serbestlik Derecesi	Toplam Kareler	Varyans	F	Katkı %
Enjeksiyon Sıcaklığı	2	0,0885	0,04425	24,17	41,37
Enjeksiyon Basıncı	2	0,0951	0,04755	25,97	44,46
Ütöleme Basıncı	2	0,0267	0,01335	7,29	12,48
Hata	2	0,0037	0,00185		1,73
Toplam	8	0,2139			100,05

Tablo 7.24: Saf PBT/PC/ABS malzeme için izod darbe dayanımı ANOVA test sonucu.

	Serbestlik Derecesi	Toplam Kareler	Varyans	F	Katkı %
Enjeksiyon Sıcaklığı	2	9,7937	4,89685	40,2	88,76
Enjeksiyon Basıncı	2	0,4554	0,2277	1,87	4,13
Ütüleme Basıncı	2	0,5416	0,2708	2,22	4,91
Hata	2	0,2436	0,1218		2,21
Toplam	8	11,0343			100

Tablo 7.25: 3. G.D. PBT/PC/ABS malzeme için izod darbe dayanımı ANOVA test sonucu.

	Serbestlik Derecesi	Toplam Kareler	Varyans	F	Katkı %
Enjeksiyon Sıcaklığı	2	6,1587	3,07935	29,38	94,78
Enjeksiyon Basıncı	2	0,0474	0,0237	0,23	0,73
Ütüleme Basıncı	2	0,0825	0,04125	0,39	1,27
Hata	2	0,2096	0,1048		3,23
Toplam	8	6,4982			100

Tablo 7.26: 5. G.D. PBT/PC/ABS malzeme için izod darbe dayanımı ANOVA test sonucu.

	Serbestlik Derecesi	Toplam Kareler	Varyans	F	Katkı %
Enjeksiyon Sıcaklığı	2	1,4715	0,73575	13,06	38,35
Enjeksiyon Basıncı	2	1,2211	0,61055	10,84	31,83
Ütüleme Basıncı	2	1,0317	0,51585	9,16	26,89
Hata	2	0,1127	0,05635		2,94
Toplam	8	3,8369			100

Tablo 7.27: Saf PBT/PC/ABS malzeme için eriyik akış ANOVA test sonucu.

	Serbestlik Derecesi	Toplam Kareler	Varyans	F	Katkı %
Enjeksiyon Sıcaklığı	2	2,1581	1,07905	16,89	74,55
Enjeksiyon Basıncı	2	0,4969	0,24845	3,89	17,16
Ütölleme Basıncı	2	0,1123	0,05615	0,88	3,88
Hata	2	0,1278	0,0639		4,41
Toplam	8	2,895			100

Tablo 7.28: 3. G.D. PBT/PC/ABS malzeme için eriyik akış ANOVA test sonucu.

	Serbestlik Derecesi	Toplam Kareler	Varyans	F	Katkı %
Enjeksiyon Sıcaklığı	2	3,3835	1,69175	32,98	85,73
Enjeksiyon Basıncı	2	0,2958	0,1479	2,88	7,5
Ütölleme Basıncı	2	0,1646	0,0823	1,6	4,17
Hata	2	0,1026	0,0513		2,6
Toplam	8	3,9465			100

Tablo 7.29: 5. G.D. PBT/PC/ABS malzeme için eriyik akış ANOVA test sonucu.

	Serbestlik Derecesi	Toplam Kareler	Varyans	F	Katkı %
Enjeksiyon Sıcaklığı	2	25,4867	12,74335	36,05	85,46
Enjeksiyon Basıncı	2	1,775	0,8875	2,51	5,95
Ütölleme Basıncı	2	1,8531	0,92655	2,62	6,21
Hata	2	0,707	0,3535		2,37
Toplam	8	29,8217			100

7.10. Sonuçlar

Bu tez çalışmasında PBT/PC/ABS TAG, PBT/PC/ABS ve % 10 cam elyaf katkılı PBT/PC/ABS karışımlarının plastik enjeksiyonda basılan numunelerine beş adet geri dönüşüm uygulandı ve geri dönüşümler sonucunda mekanik ve kimyasal özelliklerindeki değişimler incelendi. PBT/PC/ABS TAG, PBT/PC/ABS ve PBT/PC/ABS-CE malzemelerine çekme testi (maksimum uzama (%), çekme dayanımı, akma dayanımı ve elastisite modülü), eğilme testi, izod darbe testi ve eriyik akış testi uygulandı. Kimyasal testler olarak; SEM analizi, kızılötesi

spektroskopisi , termal gravimetrik analiz ve diferansiyel taramalı kalorimetri uygulandı. Elde edilen sonuçlar maddeler halinde aşağıda sıralanmıştır.

PBT/PC/ABS TAG ve geri dönüşümleri için;

- PBT/PC/ABS TAG' ın maksimum uzama (%) değeri geri dönüşümler sonucunda ortalama değerler olarak 29,02'den, 97,14 ve 156,96'ya doğru artış gösterdi. Bunun nedeni geri dönüşümler sırasında polimer zincirlerinin kırılarak birbirinden ayrılmasıdır. Geri dönüşümlü malzemeler karşılaştırıldığında çekme dayanımı ve akma dayanımı değerleri birbirine yakın çıktı. Saf malzeme ile 5. Geri dönüşümlü malzeme karşılaştırıldığında ise çekme ve akma dayanımında azalma olduğu görülmektedir.
- PBT/PC/ABS TAG malzemenin eğilme dayanımı test sonuçlarında saf ve geri dönüşümlü malzemelerin eğilme dayanımı değerleri birbirine yakın çıktı. 5 geri dönüşüm uygulamanın eğilme dayanımına fazla etkisi olmadığı söylenebilir. Bu sonuçlara göre eğilme dayanımının önemli olduğu durumlarda PBT/PC/ABS malzemesinin geri dönüşüm yöntemiyle imal edilmesi de tercihlere dahil olabilir.
- PBT/PC/ABS TAG malzemesinin izod darbe dayanımı sonuçları birbirine yakın çıktı. Bu sonuçlara göre darbe dayanımının önemli olduğu durumlarda PBT/PC/ABS malzemesinin geri dönüşüm yöntemiyle imal edilmesi de tercihlere dahil olabilir.
- Eriyik akış sonuçları geri dönüşüm sayısı arttıkça % 12 civarında bir artış göstermektedir.
- Çekme testi sonuçlarındaki çekme dayanımının geri dönüşümler sonucunda azalması SEM görüntüleriyle örtüşmektedir. SEM görüntüleriyle mekanik özelliklerdeki düşüş desteklenmektedir.
- Kızılötesi spektroskopisi kimyasal yapıda değişim olmadığını, PBT/PC/ABS-TAG malzemesine ait bantlar saf ve geri dönüştürülmüş malzemeler için aynı şekilde görülmektedir.

PBT/PC/ABS ve geri dönüşümleri için;

- Maksimum uzama (%) saf PBT/PC/ABS'de 77,13 mm iken geri dönüşüm sayısı arttıkça yaklaşık %76 değerinde artış göstermektedir.

- PBT/PC/ABS malzemenin eğilme dayanımı test sonuçlarında saf ve geri dönüşümlü malzemelerin eğilme dayanımı değerleri birbirine yakın çıktı. 5 geri dönüşüm uygulamanın eğilme dayanımına fazla etkisi olmadığı söylenebilir. Bu sonuçlara göre eğilme dayanımının önemli olduğu durumlarda PBT/PC/ABS malzemesinin geri dönüşüm yöntemiyle imal edilmesi de tercihlere dahil olabilir.
- PBT/PC/ABS malzemesinin izod darbe dayanımı sonuçları geri dönüşüm sayısı arttıkça % 47 civarında yükselme göstermektedir. Bu sonuçlara göre darbe dayanımının önemli olduğu durumlarda PBT/PC/ABS malzemesinin geri dönüşüm yöntemiyle imal edilmesi de tercihlere dahil olabilir.
- Eriyik akış sonuçları geri dönüşüm sayısı arttıkça çok fazla bir değişim göstermemektedir.
- SEM görüntülerine bakıldığında geri dönüşümlerin sonucunda yapıda ayrılmalar görülmektedir. Kızılötesi spektroskopisi kimyasal yapıda değişim olmadığını, PBT/PC/ABS malzemesine ait bantlar saf ve geri dönüştürülmüş malzemeler için aynı şekilde görülmektedir.

PBT/PC/ABS'ye cam elyaf katkısının etkisi ve geri dönüşümü;

- PBT/PC/ABS-CE karışımının PBT/PC/ABS karışımından farkı karışımın içerisinde % 10 oranında cam elyaf bulunmaktadır. Bu da karışımın mekanik özelliklerini arttırdı.
- Maksimum uzama (%) saf PBT/PC/ABS'de 77,13 mm iken PBT/PC/ABS-CE'de 9,44 mm olmuştur. PBT/PC/ABS-CE'nin içerisindeki cam elyaf lifleri maksimum uzamayı (%) düşürmüştür. PBT/PC/ABS-CE malzemesinin maksimum uzaması (%) geri dönüşümler sonucunda yaklaşık % 112 arttı.
- PBT/PC/ABS-CE malzemesine cam elyaf katkısı saf malzemenin çekme dayanımını % 24,85, akma dayanımını % 33,74 arttırdığı görüldü. Geri dönüşümler sonucunda ise PBT/PC/ABS-CE'nin çekme dayanımı 52,45 MPa'dan 41,95 MPa'a düşmüştür. Akma dayanımı ise 41,30 MPa'dan 34,32 MPa'a düşmüştür.
- Cam elyaf ilavesi saf PBT/PC/ABS-CE'nin eğilme dayanımını % 32,67 geliştirdi. Geri dönüşümler sonucunda ise PBT/PC/ABS-CE'nin eğilme dayanımı ve eğilme modülü lineer olarak azaldı.

- PBT/PC/ABS-CE izod darbe dayanımı geri dönüşümler sırasında artıp azalmıştır. Saf malzeme ile 5. geri dönüşümlü malzeme karşılaştırıldığında darbe dayanımında % 22’lik bir artış olduğu görülür.
- Eriyik akış oranı sonuçlarına baktığımızda cam elyaf ilavesi PBT/PC/ABS-CE’nin akıcılığı yaklaşık % 46,30 oranında artmıştır. Geri dönüşümler sonucunda polimer zincirleri ve cam elyaflar kırıldığı için PBT/PC/ABS-CE’nin eriyik akış oranı arttı.
- Beş geri dönüşüm sonunda PBT/PC/ABS-CE malzemenin mekanik özellikleri saf PBT/PC/ABS malzemesinden daha yüksek çıkmıştır.
- SEM görüntülerinde geri dönüşüm sonrasında cam elyaflar matrise tutunmaya devam etmektedirler. Fakat görüntülerde geri dönüşüm işleminin matriste bozunma ve ayrışmaya neden olduğu görülmektedir.

7.11. Öneriler

PBT/PC/ABS-TAG, PBT/PC/ABS ve PBT/PC/ABS-CE malzemelerin geri dönüşümleri incelendi. PBT/PC/ABS malzemesine cam elyaf katılmasıyla özelliklerin geliştirilmesi sağlandı. Bir sonraki çalışma konusu olarak farklı oranlarda cam elyaf takviyesinin mekanik özelliklere etkisi incelenebilir.

PBT/PC/ABS ve PBT/PC/ABS-CE malzemelerinin geri dönüşüm sonucunda mekanik özelliklerini arttırmak için takviye malzemesi veya farklı uyumlaştırıcı malzemesi kullanılabilir. Takviye ve uyumlaştırıcı malzemesinin karışımdaki oranı çok önemli olduğu için farklı oranlarda karıştırılıp etkisi incelenebilir.

Bazı mekanik test sonuçlarında 5 geri dönüşüm yapmak sağlıklı sonuç vermemektedir. Bu yüzden daha sonraki çalışmalarda geri dönüşüm sayısı arttırılarak 5’ten sonraki geri dönüşümlü malzemelerin test sonuçları incelenebilir. Ayrıca geri dönüşüm sayısı arttığında malzemenin mekanik özelliklerinde ani düşüşler yaşanabilir veya malzeme plastik enjeksiyonda basılamayacak hale gelebilir. Böylelikle optimum geri dönüşüm sayısı da hesaplanabilir. Bu tez çalışmasında malzemelerin karışım oranları değiştirilmemiş geri dönüşümlerin malzeme üzerine etkisi incelendi. Bir sonraki çalışmada karışım oranları değiştirilerek karışım oranları ile geri dönüşümün mekanik özelliklere etkisi incelenebilir.

KAYNAKLAR

- Ambrósio J.D., Junior E.H., (2012), “Effect of processing parameters on the mechanical properties of in situ compatibilized polybutylene terephthalate/acrylonitrile-butadiene-styrene blends”, *Journal of Applied Polymer Science*, 124, 2753-2765.
- Antony J., (2001), “Teaching the Taguchi method to industrial engineers”, *Work Study*, 50(4), 141-149.
- Ashby, M. F., (2004), “Materials Selection in Mechanical Design”, 5th Edition, Butterworth Inc.
- Aurrekoetxea J., Sarrionandia M.A., Urrutibeascoa I., MasPOCH M.LI., (2001), “Effects of recycling on the microstructure and the mechanical properties of isotactic polypropylene”, *Journal of Materials Science*, 36, 2607-2613.
- Bai H., Zhang Y., Zhang X., Zhou W., (2005), “Toughening modification of PBT/PC blends by PTW”, *Polymer Testing*, 24, 235–240.
- Bai H., Zhang Y., Zhang X., Zhou W., (2006), “Toughening modification of PBT/PC blends with PTW and POE”, *Journal of Applied Polymer Science*, 101, 54-62.
- Balart R., Lopez J., García D. and Dolores S. , (2005), "Recycling of ABS and PC from Electrical and Electronic Waste. Effect of Miscibility and Previous Degradation on Final Performance of Industrial Blends." *European Polymer Journal*, 41(9), 2150-2160.
- Balart R., Sanchez L., Lopez J., Jimenez A., (2006), “Kinetic analysis of thermaldegradation of recycled polycarbonate/acrylonitrile butadiene styrene mixtures from waste electric and electronic equipment”, *Polymer Degradation and Stability*, 91, 527-534.
- Candido L., (2011), “The recycling cycle of materials as a design project tool”, *Journal of Cleaner Production*, 19, 1438-1445.
- Canyılmaz E., (2001), “Kalite Geliştirmede Taguchi Metodu ve Bir Örnek Uygulama”, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi.
- Chen R.S., Lee H.H., Yu C.Y., (1997), “Application of Taguchi's method on the optimal process design of an injection molded PC/PBT automobile bumper, *Composite Structures*, 39, 209-214.
- Chen S.-C., Liao W.-H., Hsieh M.-W., Chien R.-D., Lin S.-H., (2011), “Influence of recycled ABS added to virgin polymers on the physical, mechanical properties and molding characteristics”, *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 50, 306-311.

Conrad L., Johansson J., (2010), "Improved Recycling with Life Cycle Information Tagged to the Product", *Journal of Applied Polymer Science*, 100(5), 3696–3706.

Domingo F., (2008), "Analytical strategies for the quality assessment of recycled highimpact polystyrene (HIPS)", PhD thesis, Department of Thermal Engines and Machines, Polytechnic University of Valencia.

Elloumi A., Pimbert S., Bourmaud A., Bradai C., (2010), "Thermomechanical properties of virgin and recycled polypropylene impact copolymer/CaCO₃ nanocomposites", *Polymer Engineering and Science*, 50, 1904-1913.

Erzurumlu T., Özcelik B., (2006), "Minimization of warpage and sink index in injection molding thermoplastic part using taguchi optimization method", *Metarials and Design*, 27, 853-861.

Frounchi M., Burford R.P., (1993), "State of compatibility in crystalline polypropylene/ABS amorphous terpolymer thermoplastic blends. Effect of styrenic copolymers as compatibilisers", *Iranian Journal Of Polymer Science and Technology*, 2, 59-68.

Fu Y., Song H., Zhou C., Sun S., Zhang H., (2013), "Influence of core-shell particles structure on the morphology and brittle-ductile transition of PBT/ABS-g-GMA blends", *Polymer Composites*, 34, 15-21.

Güral, G., (2003), "Gaz Kaynağında proses parametrelerinin optimizasyonu", *Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi*.

Hamad K., Kaseem M., Deri F., (2011), "Effect of recycling on rheological and mechanical properties of poly(lactic acid)/polystyrene polymer blend", *Journal of Materials Science*, 46, 3013-3019.

Hopfe I., Pompe G. K., Eichhorn J., (1997), "Ordered structures and progressive transesterification in PC/PBT melt blends studied by FTi.r. spectroscopy combined with d.s.c, and n.m.r.", *Polymer*, 38, 2321-2327.

Hua K., Horng J., Ching C., (2007), "Influence of reprocessing on the mechanical properties and structure of polyamide 6", *Journal of Materials Processing Technology*, 42, 532–538.

Jin F., Lai S., Biao Z., Xun J., Zhang L., Sun J., Ping C., (2010), "Effect of rubber contents on brittle-tough transition in acrylonitrile-butadiene-styrene blends", *Material Science and Engineering A*, 527, 3438–3441.

Jin D., Shon K., Jeong M., Kim B., (1997), "Compatibility enhancement of ABS/polycarbonate blends", *Journal of Applied Polymer Science*, 69(3), 533-542.

Kaya F., (2006), "Plastikler ve Özellikleri", *Plastik ve Ambalaj Teknolojisi*, 110, 100–105.

Kayı Y. (2006), “Plastik enjeksiyon prosesindeki parametrelerin çekme problemine etkilerinin taguchi metodu ile incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi.

Knight P., Jenkins O. J., (2009), “Adopting and applying eco design techniques: a practitioners perspective”, *Journal of Cleaner Production* 17, 549–558.

Kuram E., Tasci E., Altan A.I., Medar M.M., Yilmaz F., Ozcelik B., (2013) “Investigation of the effects of recycling number and injection parameters on the mechanical properties of recycled glass-fibre reinforced nylon 6 using Taguchi method”, *Materials and Design*, 49, 139-150.

Liu S., Lin M. J., Wu Y. C., (2007), “An experimental study of the water-assisted injection molding of glass fiber filled poly-butylene-terephthalate (PBT) composites”, *Composites Science and Technology*, 67, 1415–1424.

Liu S., Qin S., Luo Z., Yu J., Guo J., He M., (2011), “Reactive compatibilization of poly(butylene terephthalate)/acrylonitrile-styrene-acrylate blends by epoxy resin: morphology and mechanical properties”, *Journal of Macromolecular Science*, 50(9), 1780-1790.

Mehat N.M., Kamaruddin S., (2011), “Optimization of mechanical properties of recycled plastic products via optimal processing parameters using the Taguchi method”, *Journal of Materials Processing Technology*, 211, 1989-1994.

Nedkov T., Lednický F., Mihailova M., (2008), “Compatibilization of PP/PE blends and scraps with royalene: Mechanical properties, SAXS, and WAXS”, *Journal of Applied Polymer Science*, 109, 226-233.

Nik M., (2011), “Optimization of mechanical properties of recycled plastic products via optimal processing parameters using the Taguchi method”, *Journal of Materials Processing Technology*, 211, 1989– 1994.

Onaran K., (2000), “Malzeme Bilimi”, 1. Baskı, Bilim Teknik Yayınevi.

Öktem H., Erzurumlu T., Uzman İ., (2007), “Application of Taguchi optimization technique in determining plastic injection molding process parameters for a thin-shell part”, *Materials and Design*, 28, 1271-1278.

Özçelik B.,Özbay A., (2011), “Determination Of Effect On The Mechanical Properties Of Polypropylene Product Of Molding Materials Using Taguchi Method”, *Journal of Engineering and Natural Sciences*, 29, 289-300.

Ramirez E., Sandoval Z., (2006), “Compatibility of HDPE / postconsumer HDPE blends using compatibilizing agents”, *Journal of Applied Polymer Science* 100, 3696-3706.

Saçak M., (2005), “Polimer Teknolojisi”, 1. Baskı, Gazi Kitabevi.

Sakarya N., Göloğlu C., (2006), “Taguchi Yöntemi İle Cep İşlemede Kullanılan Takım Yolu Hareketlerinin Ve Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkilerinin Belirlenmesi”, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 21(4), 603-611.

Sanchez E., (2007), “Ageing of PC/PBT blend: Mechanical properties and recycling possibility”, Polymer Testing, 26, 378-387.

Savaşkan M., Taptık Y., Ürgen M., (2004), “Deney tasarımı yöntemi ile matkap uçlarında performans Optimizasyonu”, İstanbul Teknik Üniversitesi Dergisi, 3(6), 117-128.

Scaffaro R., Botta L., Benedetto G., (2012), “Physical properties of virgin-recycled ABS blends: Effect of post-consumer content and of reprocessing cycles”, European Polymer Journal, 48, 637-648.

Şehirlioğlu K., (1997), “Ürün Ve Süreç Kalitesini İyileştirmede Kullanılan İstatiksel Modelleme Teknikleri Üzerine Bir Araştırma”, Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi.

Şirvancı M., (1997), “Kalite İçin Deney Tasarımı, Taguchi Yaklaşımı”, 1. Baskı, Literatür Yayıncılık.

Tan Z. Y., Xu X. F., Sun L., Zhou C., Ao H., Zhang H. X., Han Y., (2006), “Influence of rubber content in ABS in wide range on the mechanical properties and morphology of PC/ABS blends with different composition”, Polymer Engineering and Science, 46, 1476-1484.

Telli S., (2009), “PP Malzemelerin Geri Dönüşümlerinde Elde Edilen Ürünlerin Mekanik Özelliklerinin Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü.

Tezcan Y., (2009), “PP Ve Geri Dönüşümlü EPDM Karışımlarında Epdm Toz Boyutunun Mekanik Özellikler Üzerindeki Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi.

Web 1 , (2005), http://www.pagev.org.tr/admin/pics/dosyalar/plastik_geri_kazanim.pdf, (Erişim Tarihi: 14/06/2013)

Web 2, (2013), http://www.yildiz.edu.tr/~akdogan/lessons/plastikmalzeme/PlastiklerinGeri_Kazanimi.pdf , (Erişim Tarihi:11/05/2013)

Web 3, (2006), <http://www.pagev.org.tr/>, (Erişim Tarihi:27/06/2013)

Web 4, (2001), <http://ekutup.dpt.gov.tr/imalatsa/plastik/oik563.pdf>, (Erişim Tarihi: 25/08/2013)

Williams D., Bevis M., (1980), “The effect of recycled plastic and compound additives on the properties of an injection-moulded polypropylene co-polymer”, Journal of Materials Science, 15, 2843-2860.

Wong A. C., (2003), "Polycarbonate effects on selected mechanical properties of polycarbonate/acrylonitrile-butadiene-styrene (PC/ABS) binary blending systems", Polymer-Plastics Technology and Engineering, 42, (2), 171-180.

Yao Z., Lin M., Zhou J., Wang H., Zhong W., Du Q., (2007), "Influence of epoxy resin on the morphological and rheological properties of PBT/ABS blends compatibilized by ASMA", Polymer Engineering and Science, 47, 1943-1950.

Zhang F., Sun S., Liu X., Zhang L., Zhang H., (2009), "Toughening of PBT/PC blends with epoxy functionalized core-shell modifiers", e-Polymers, 77, 1-11.

ÖZGEÇMİŞ

Gökhan TİMUR 1986 yılında ev hanımı bir anne ve devlet memuru bir babanın ilk çocukları olarak İstanbul’da doğdu. Orta öğrenimini Nişantaşı Nuri Akın Lisesi’nde tamamladıktan sonra 2005 yılında Balıkesir Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Anabilim Dalında öğrenim görmeye hak kazandı. 2009 yılında Makine Mühendisliği Lisans Derecesini başarıyla elde etti. 2009-2012 yılları arasında Display Teknoloji ve Ford OTOSAN ürün geliştirme bölümlerinde tasarım mühendisi olarak görev aldı. 2011 yılında Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı. 2013 yılından itibaren Doç. Dr. Babür ÖZÇELİK’ in yürütücü olduğu “Plastik Enjeksiyonda Oluşan Plastik Atıkların Tekrar Kullanılabilme Şartlarının Araştırılması ve Mekanik Özelliklerinin Geliştirilmesi” konulu Tübitak Projesinde görev almaktadır. İyi derecede ingilizce bilmektedir.

EKLER

Ek A: Tez Kapsamında Kullanılan Makinelerin Teknik Özellikleri

Tablo A1.1: Enjeksiyon Makinesinin Teknik Özellikleri

	BİRİM	UN90A2
ENJEKSİYON ÜNİTESİ		
Vida Tipi		A
Vida Çapı	mm	32
Teorik Enjeksiyon Hacmi (PS)	cm ³	132,7
Enjeksiyon Kapasitesi (PS)	g	122,1
Enjeksiyon Basıncı	MPa	222,2
Vida L/D Oranı		22:05:01
Maksimum Enjeksiyon Hızı	mm/s	107
Vida Stroku	mm	165
Vida Hızı	dev/dk	0-219
KAPAMA ÜNİTESİ		
Kapama Gücü	kN	900
Açma Stroku	mm	330
GÜÇ ÜNİTESİ		
Hidrolik Sistem Basıncı	Bar	175
Motor Güç Kapasitesi	kW	11
Elektrikli Isıtıcı Kapasitesi	kW	7
Isı Kontrol Bölge Sayısı		4
GENEL ÖZELLİKLER		
Kuru Çevrim Süresi	sn	1,8
Yağ Tank Kapasitesi	L	200
Makine Ölçüleri	m ³	4,2x1,15x2
Makine Ağırlığı	Ton	3,4

Tablo A1.2: Kalıp Şartlandırıcısının Teknik Özellikleri

Model	Ort. Isı Trans. Bölg.	Mks. Isı (°C)	Pmp. Gücü (kw)	Pompa Kaldır. Kapsts. (m)	Tank Kapsts. (L)	Orta Giriş Çıkış Ölç.	Soğtma Kapsts. (kcal/saat)
WSTW-06	Su	95	0,37	30	5	12mm x3	10.000

Tablo A1.3: Soğutucunun Teknik Özellikleri

TEKNİK ÖZELLİKLER	BİRİM	WENSUI 5HP
Soğutma Kapasitesi	kcal/saat	12.900
Kompresör Giriş Gücü	kw	4,5
Hesaplanmış Kompresör Gücü	HP	5
Evaporatör Modeli		Evaporatör
Evaporatör Boru Ölçüsü	Inch	1
Soğutucu Tipi		R 22
Soğutucu Miktarı		2,5
		Shell
Su Soğutma Kondansatör Tipi		Kondansatör
Su Soğutma Kondansatör Boru Ölçüsü	Inch	1
Soğutulmuş Su Debisi	L/dk	70
Su Tankı Kapasitesi	L	50
Pompa Gücü	kw	0,75
Pompa Akış Hızı	L/dk	60
Makine Ölçüleri	cm	131x65x124

Tablo A1.4: Kırma Makinesinin Teknik Özellikleri

TEKNİK ÖZELLİKLER	BİRİM	WSGP 230
Kırma Ağzı	mm	230x200
Kırma Kapasitesi	kg/saat	100-150
Sabit Kesici	Adet	2
Döner Kesici	Adet	6
Güç	kw	4
	HP	5
Ölçüler (Boy X Genişlik X Yükseklik)	cm	95x60x119
Net Ağırlık	kg	290

Tablo A1.5: Darbe Test Cihazının Teknik Özellikleri

CEAST 9050 Manual Darbe Test Cihazı	
Çekiç Enerji aralığı	0.5 – 50
Çekiç Serbest Bırakma	Elle
Çekiç Durdurma	Elle
Çekiç düzeltme	(Pnömatik Opsiyonel)
Çekiç Tanımlama	Otomatik
Elektrik Tedariği	100 - 240 V 50 - 60 Hz
Basınçlı hava Kaynağı	5 bar
Cihaz Boyutları (g × k × y)	1035 × 430 × 880
Cihaz ağırlığı	220 (Çekişsiz)

Tablo A1.6: Çekme Ve Eğilme Test Cihazının Teknik Özellikleri

Model	Yük Kapasitesi	Maksimum Hız	Çapraz kafa Hareketi	Dikey Test Boşluğu	Kolon Aralığı	Boyutlar (y x g x d)	Ağırlık
	kN	mm/dak	mm	mm	mm	mm	kg
5969	50	600	1.140	1.212	418	1630 x 779 x 725	250

Tablo A1.7: Termal Gravimetrik Analiz Cihazı Teknik Özellikleri

TEKNİK ÖZELLİKLER	
	Oda Sıcaklığı-1600 °C
Sıcaklık Aralığı	°C
Isıtma Hızı (oda sıcaklığından 1100 °C'ye)	20 dk
Soğutma hızı (1000°C'den oda sıcaklığına)	20 dk
Sıcaklık hassasiyeti	±% 0,25