

**DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**POLİMER ESASLI MALZEMELERDE DOLGU
MADDELERİNİN SICAK PLAKA KAYNAĞI
MUKAVEMETİNE ETKİSİ**

Emre TAŞKIRAN

Haziran, 2014

İZMİR

**POLİMER ESASLI MALZEMELERDE DOLGU
MADDELERİNİN SICAK PLAKA KAYNAĞI
MUKAVEMETİNE ETKİSİ**

Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Konstrüksiyon - İmalat Programı

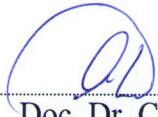
Emre TAŞKIRAN

Haziran, 2014

İZMİR

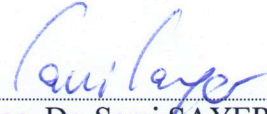
YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

EMRE TAŞKIRAN, tarafından DOÇ. DR. ÇİÇEK ÖZES ve DOÇ. DR. SAMİ SAYER yönetiminde hazırlanan “POLİMER ESASLI MALZEMELERDE DOLGU MADDELERİNİN SICAK PLAKA KAYNAĞI MUKAVEMETİNE ETKİSİ” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.



Doç. Dr. Çiçek ÖZES

Yönetici



Doç. Dr. Sami SAYER

Yönetici



Doç. Dr. Bülent Murat İÇTEN

Jüri Üyesi



Doç. Dr. Bihnur Gören Kırıl

Jüri Üyesi



Doç. Dr. Mustafa ÖZEL

Jüri Üyesi

Prof. Dr. Ayşe OKUR

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın tamamlanması sırasında benden yardımlarını esirgemeyen, bilgi ve deneyimleri ile bana yol gösteren danıőmanlarım Doç. Dr. iek zes'e ve Doç. Dr. Sami Sayer'e teőekkürlerimi sunmayı borç bilirim.

Ayrıca deney numunelerinin üretilmesi ve kaynak işleminin uygulanması sırasında benden desteklerini esirgemeyen Ege Üniversitesi Meslek Yüksek Okulu Lastik Plastik Laboratuvarı teknisyeni Uėur Balcı'ya teőekkürlerimi sunarım.

Çalıőmalarım sırasında benden yardımlarını esirgemeyen, bilgi ve deneyimlerini paylaőan Hayes Lemmerz Jantaő Jant San. ve Tic. A.Ő. firmasından sayın Mehmet Salih akmak, Emine Uslu, Okan Behzatoėlu, Bülent Alkıő ve Cemal Aydoėan'a teőekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

Son olarak ise bu çalışma boyunca ve hayatımın her aşamasında bana destek olup, her koőulda arkamda durarak beni cesaretlendiren annem Serpil Taşkıran'a, babam İlhami Taşkıran'a ve kardeőim Ebru Taşkıran'a teőekkürlerimi sunarım.

Emre TAŞKIRAN

POLİMER ESASLI MALZEMELERDE DOLGU MADDELERİNİN SICAK PLAKA KAYNAĞI MUKAVEMETİNE ETKİSİ

ÖZ

Bu çalışmada saf polipropilenin, çeşitli talk oranlarına sahip talk dolgulu polipropilenlerin ve yüzde 40 kalsit dolgulu polipropilenin dolgu maddesinin sıcak plaka kaynağı mukavemetine etkisi araştırılmıştır.

İlk olarak bu çalışmada kullanmak için plastik enjeksiyon metoduyla kaynaklı çekme numuneleri ve sıcak plaka kaynağı deneyleri için kaynak numuneleri üretilmiştir. Daha sonra kaynaklı çekme numuneleri, çekme cihazında çekilerek maksimum çekme mukavemeti ve yüzde uzamalar bulunmuştur.

Genel tam faktöriyel deney tasarımı metodu kullanılarak yüzde 10 talk dolgulu polipropilen numuneleriyle sıcak plaka kaynağı deneyleri yapılmıştır. Bu deneylerde plaka sıcaklığının, ısıtma süresinin, kaynak nüfuziyetinin ve kaynak süresinin maksimum çekme mukavemetine etkisi araştırılmıştır. Yapılan deneylerin sonuçları Minitab 17 programı ile analiz edilmiş ve optimum kaynak parametreleri ortaya çıkarılmıştır. Yüzde 10 talk dolgulu polipropilen malzeme ile yaptığımız çalışmalarımızın sonuçlarından yola çıkarak diğer polipropilen malzemeler çalışılmıştır.

Son olarak yüzde 40 talk dolgulu ve yüzde 40 kalsit dolgulu polipropilen malzemeler sıcak plaka kaynağı metoduyla birbirleriyle kaynatılmıştır ve maksimum çekme mukavemeti bulunmuştur.

Anahtar kelimeler: Polimer, polipropilen, talk, kalsit, sıcak plaka kaynağı, plastik enjeksiyon, faktöriyel deney tasarımı, Minitab.

FILLERS EFFECT ON THE STRENGTH OF THE HOT PLATE WELDING IN POLYMER BASED MATERIALS

ABSTRACT

In this study, the filler effect on the strength of the hot plate welding in pure polypropylene, talc filled polypropylenes which have several talc ratios and 40 percent calcite filled polypropylene is investigated.

Firstly, non-welded tensile test specimens and welding specimens for hot plate welding with plastic injection to use in this study are produced. After that, non-welded tensile test specimens are tested in tensile test machine and maximum tensile strength and tensile strains are determined.

10 percent talc filled polypropylene materials were welded using hot plate welding machine using general full factorial experimental design method. In these experiments, effect on maximum tensile strength of plate temperature, heating time, welding displacement and welding time are investigated. These experiments' results were analysed with Minitab 17 software and the optimal welding parameters are determined. According to these experiment results, other polypropylene materials are examined.

Lastly, 40 percent talc filled and 40 percent calcite filled polypropylene materials were welded using hot plate welding machine each other and maximum tensile strengths are determined.

Keywords: Polymer, polypropylene, talc, calcite, hot plate welding, plastic enjection, factorial experimental design, Minitab.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU	ii
TEŞEKKÜR	iii
ÖZ	iv
ABSTRACT	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	xi
TABLolar LİSTESİ	xiii
BÖLÜM BİR - GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Çalışması	2
BÖLÜM İKİ - POLİMER MALZEMELER.....	6
2.1 Polimer Malzemeler	6
2.1.1 Monomer Çeşidine Göre Polimerlerin Sınıflandırılması.....	6
2.1.1.1 Homopolimerler	6
2.1.1.2 Kopolimerler	7
2.1.2 Polimerlerin İşleme Şekillerine Göre Sınıflandırılması	7
2.1.2.1 Elastomerler	7
2.1.2.2 Termoset Polimerler.....	7
2.1.2.3 Termoplastik Polimerler	8
2.2 Polipropilen (PP)	9
2.2.1 Polipropilenin Üretimi	9
2.2.2 Polipropilenin Genel Özellikleri.....	10
2.2.3 Polipropilenin Kullanım Alanları	12
2.3 Dolgu Maddeleri.....	13

2.3.1 Talk.....	13
2.3.2 Kalsit.....	15
BÖLÜM ÜÇ - PLASTİK ENJEKSİYON YÖNTEMİ	18
3.1 Plastik Enjeksiyon Yöntemi	18
3.2 Plastik Enjeksiyon Makinesi ve Parça İmalatı	18
3.3 Parça Üretim Süreci.....	19
3.4 Plastik Enjeksiyon Yönteminin Avantaj ve Dezavantajları	21
BÖLÜM DÖRT - POLİMERLERİN KAYNAKLI BİRLEŞTİRMESİ.....	22
4.1 Polimerlerin Kaynağı	22
4.2 Plastiklerin Kaynağının Tarihsel Gelişimi	23
4.3 Sıcak Plaka Kaynağı.....	23
4.3.1 Sıcak Plaka Kaynağının Uygulama Metodu.....	24
4.3.2 Sıcak Plaka Kaynağı Makinesi	26
4.3.3 Sıcak Plaka Kaynağı Parametreleri	29
4.3.4 Sıcak Plaka Kaynağının Avantajları ve Dezavantajları.....	30
4.3.5 Sıcak Plaka Kaynağı ile Kaynatılabilen Malzemeler	31
4.3.6 Sıcak Plaka Kaynağı Uygulamaları	31
BÖLÜM BEŞ - DENEY TASARIMI	33
5.1 Kullanılan Deney Tasarımı Yöntemleri	33
5.1.1 Genel Tam Faktöriyel Deney Tasarımı	33
5.1.2 İki Seviyeli Tam Faktöriyel Deney Tasarımı	33
5.2 Faktör ve Faktör Seviyesi.....	34
5.3 Etkileşim.....	34

5.4 Tekrarlar	34
5.5 Sıcak Plaka Kaynağına Etki Eden Faktörler	36
5.6 Deneylerde Kullanılan Polipropilen Malzemelerin Teknik Özellikleri	36
5.6.1 Saf Polipropilen	36
5.6.2 %10, %20, %30 ve %40 Talk Dolgulu Polipropilen.....	37
5.6.3 %40 Kalsit Dolgulu Polipropilen.....	37
5.7 Kaynaksız Numunelerin Çekme Deneylerinin Tasarımı.....	38
5.8 Görüntüleme Deneyleri	38
5.8.1 %10 Talk Dolgulu Polipropilenin Görüntüleme Deneyleri.....	38
5.8.1.1 %10 Talk Dolgulu Polipropilenin Plaka Sıcaklığı ve Isıtma Süresi Deneylerinin Tasarımı	39
5.8.1.2 %10 Talk Dolgulu Polipropilenin Kaynak Nüfuziyeti Deneylerinin Tasarımı	39
5.8.1.3 %10 Talk Dolgulu Polipropilenin Isıtma Süresi Deneylerinin Tasarımı	40
5.9 Saf Polipropilenin, %10, %20, %30 ve %40 Talk Dolgulu Polipropilenlerin Sıcak Plaka Kaynağı Deneylerinin Tasarımı.....	40
5.10 Polipropilen Karışımının Talk Oranının Kaynak Mukavemetine Etkisi.....	41
5.11 %40 Kalsit Dolgulu Polipropilenin Sıcak Plaka Kaynağı Deneylerinin Tasarımı.....	42
5.12 %40 Talk Dolgulu Polipropilen ve %40 Kalsit Dolgulu Polipropilen Malzemelerin Birbiriyle Sıcak Plaka Kaynağı Deneylerinin Tasarımı.....	42
BÖLÜM ALTI - DENEY NUMUNELERİNİN ÜRETİMİ	44
6.1 Plastik Enjeksiyon Yöntemiyle Numune Üretimi	44
6.2 Sıcak Plaka Kaynağı ile Numune Üretimi	47

BÖLÜM YEDİ - TEST SONUÇLARI VE TARTIŞMA 49

7.1 Üniwersal Test Makinası.....	49
7.2 Kaynaksız Numunelerin Çekme Testlerinin Sonuçları.....	50
7.3 %10 Talk Dolgulu Polipropilen Malzemenin Sıcak Plaka Kaynak Parametreleri Görüntüleme Deneylerinin Çekme Testlerinin Sonuçları.....	53
7.3.1 %10 Talk Dolgulu Polipropilenin Plaka Sıcaklığı ve Isıtma Süresi Deneylerinin Çekme Testlerinin Sonuçları.....	54
7.3.2 %10 Talk Dolgulu Polipropilenin Kaynak Nüfuziyeti Deneylerinin Çekme Testlerinin Sonuçları.....	55
7.3.3 %10 Talk Dolgulu Polipropilenin Isıtma Süresi Deneylerinin Çekme Testlerinin Sonuçları.....	55
7.4 Saf Polipropilen, %10, %20, %30 ve %40 Talk Dolgulu Polipropilen Malzemelerin Plaka Sıcaklığı ve Isıtma Süresi Deneylerinin Çekme Testlerinin Sonuçları.....	56
7.4.1 Saf Polipropilenin Plaka Sıcaklığı ve Isıtma Süresi Deneylerinin Çekme Testlerinin Sonuçları.....	57
7.4.2 %10 Talk Dolgulu Polipropilenin Plaka Sıcaklığı ve Isıtma Süresi Deneylerinin Çekme Testlerinin Sonuçları.....	59
7.4.3 %20 Talk Dolgulu Polipropilenin Plaka Sıcaklığı ve Isıtma Süresi Deneylerinin Çekme Testlerinin Sonuçları.....	60
7.4.4 %30 Talk Dolgulu Polipropilenin Plaka Sıcaklığı ve Isıtma Süresi Deneylerinin Çekme Testlerinin Sonuçları.....	60
7.4.5 %40 Talk Dolgulu Polipropilenin Plaka Sıcaklığı ve Isıtma Süresi Deneylerinin Çekme Testlerinin Sonuçları.....	61
7.5 Polipropilen Karışımının Talk Oranının Kaynak Mukavemetine Etkisi.....	62
7.6 %40 Kalsit Dolgulu Polipropilenin Plaka Sıcaklığı, Isıtma Süresi ve Kaynak Nüfuziyeti Deneylerinin Çekme Testlerinin Sonuçları.....	66

7.7 %40 Talk Dolgulu Polipropilen ve %40 Kalsit Dolgulu Polipropilen Malzemelerin Birbiriyle Sıcak Plaka Kaynağı Deneylerinin Tasarımı.....	68
7.8 Kaynak Verimi Hesaplamaları	69
BÖLÜM SEKİZ - SONUÇLAR.....	72
KAYNAKLAR	76

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 Polipropilenin monomer yapısı.....	9
Şekil 3.1 Plastik enjeksiyon makinesi genel görünüşü	19
Şekil 3.2 Plastik enjeksiyon işlemi.....	20
Şekil 4.1 Polimer kaynağı çeşitleri.....	23
Şekil 4.2 Sıcak plaka kaynağının dört aşamasını gösteren basınç-zaman grafiği.....	25
Şekil 4.3 Sıcak plaka kaynak makinesi	27
Şekil 4.4 Sıcak plaka kaynak makinesinin şematik gösterimi	28
Şekil 5.1 %40 talk dolgulu polipropilen ile %40 kalsit dolgulu polipropilen malzemelerin birbirleriyle sıcak plaka kaynağı	43
Şekil 6.1 Kaynaksız çekme numunesinin ölçüleri	44
Şekil 6.2 Kaynak numunesinin ölçüleri	45
Şekil 6.3 Numune üretiminde enjeksiyon aşaması	46
Şekil 6.4 Numunenin kalıptan ayrılma aşaması.....	47
Şekil 6.5 Sıcak plaka kaynak makinesi parçaları	48
Şekil 6.6 Sıcak plaka kaynak makinesinin nümerik kontrol panosu.....	48
Şekil 7.1 Shimadzu marka universal test makinesi	49
Şekil 7.2 Talk oranına bağlı olarak ortalama maksimum çekme mukavemetinin çizgi grafiği	50
Şekil 7.3 Talk oranına bağlı olarak ortalama yüzde uzamanın çizgi grafiği.....	51
Şekil 7.4 Çekme test sonrasında malzemelerin kopma görüntüleri (PPT 10, PPT 20, PPT 30, PPT 40)	52
Şekil 7.5 %20 talk dolgulu polipropilen çekme numunesinin çekme testi sonrası kopma yüzeyleri	52
Şekil 7.6 %40 talk dolgulu polipropilen çekme numunesinin çekme testi sonrası kopma yüzeyleri	53
Şekil 7.7 %10 talk dolgulu polipropilenin plaka sıcaklığı ve ısıtma süresi bağlı olarak ortalama kaynak mukavemetinin etkileşim grafiği	54
Şekil 7.8 %10 talk dolgulu polipropilenin kaynak nüfuziyetine bağlı olarak ortalama kaynak mukavemetinin çizgi grafiği	55

Şekil 7.9 %10 talk dolgulu polipropilenin ısıtma süresine bağlı olarak ortalama kaynak mukavemetinin çizgi grafiği.....	56
Şekil 7.10 Saf polipropilenin plaka sıcaklığı ve ısıtma süresine bağlı olarak ortalama kaynak mukavemetinin etkileşim grafiği	57
Şekil 7.11 Saf polipropilenin ortalama kaynak mukavemetinin plaka sıcaklığı ve ısıtma süresine bağlı olarak ana etkiler grafiği.....	58
Şekil 7.12 Optimum kaynak parametreleriyle kaynatılan saf polipropilen numunesi	58
Şekil 7.13 %10 talk dolgulu polipropilenin plaka sıcaklığı ve ısıtma süresine bağlı olarak ortalama kaynak mukavemetinin etkileşim grafiği	59
Şekil 7.14 %20 talk dolgulu polipropilenin plaka sıcaklığı ve ısıtma süresine bağlı olarak ortalama kaynak mukavemetinin etkileşim grafiği	60
Şekil 7.15 %30 talk dolgulu polipropilenin plaka sıcaklığı ve ısıtma süresine bağlı olarak ortalama kaynak mukavemetinin etkileşim grafiği	61
Şekil 7.16 %40 talk dolgulu polipropilenin plaka sıcaklığı ve ısıtma süresine bağlı olarak ortalama kaynak mukavemetinin etkileşim grafiği	62
Şekil 7.17 Kaynak mukavemetinin plaka sıcaklığı, ısıtma süresi ve talk oranına bağlı olarak ana etkiler grafiği	63
Şekil 7.18 Varyans analizi ve modelin güvenilirliği	64
Şekil 7.19 Kaynak mukavemetine etki eden parametrelerin etki güçlerinin dağılımı	65
Şekil 7.20 Ortalama kaynak mukavemetinin talk oranına göre değişimi	65
Şekil 7.21 Kaynak mukavemetinin plaka sıcaklığı, ısıtma süresi ve kaynak nüfuziyetine bağlı olarak ana etkiler grafiği	66
Şekil 7.22 %40 kalsit dolgulu polipropilenin plaka sıcaklığı ve ısıtma süresine bağlı olarak ortalama kaynak mukavemetinin etkileşim grafiği	67
Şekil 7.23 Optimum kaynak parametreleriyle kaynatılan %40 kalsit dolgulu polipropilen numuneleri.....	68
Şekil 7.24 %40 talk dolgulu polipropilen ve %40 kalsit dolgulu polipropilen malzemelerin birbiriyle kaynatılıp çekildikten sonraki kopma yüzeyleri	68
Şekil 7.25 Ortalama sıcak plaka kaynağı veriminin talk oranına bağlı olarak çizgi grafiği	70

TABLULAR LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1 Talkın kompozisyonu	14
Tablo 5.1 PETOPLen® MH 418'in teknik özellikleri.....	36
Tablo 5.2 EMOPLen® HP MTF serisi malzemelerin teknik özellikleri.....	37
Tablo 5.3 EMOPLen® HP MCF 40 malzemenin teknik özellikleri	37
Tablo 5.4 %10 talk dolgulu polipropilenin plaka sıcaklığı ve ısıtma süresi deneylerinin parametreleri ve seviyeleri.....	39
Tablo 5.5 %10 talk dolgulu polipropilenin kaynak nüfuziyeti deneylerinin parametreleri ve seviyeleri.....	40
Tablo 5.6 %10 talk dolgulu polipropilenin ısıtma süresi deneylerinin parametreleri ve seviyeleri.....	40
Tablo 5.7 Saf polipropilen, %10, %20, %30 ve %40 talk dolgulu polipropilenlerin plaka sıcaklığı ve ısıtma süresi deneylerinin parametreleri ve seviyeleri .	41
Tablo 5.8 Polipropilen karışımlarında talk oranı, plaka sıcaklığı ve ısıtma süresi deneylerinin parametreleri ve seviyeleri	41
Tablo 5.9 %40 kalsit dolgulu polipropilenin plaka sıcaklığı, ısıtma süresi ve kaynak nüfuziyeti deneylerinin parametreleri ve seviyeleri	42
Tablo 5.10 %40 talk dolgulu polipropilen ile %40 kalsit dolgulu polipropilen malzemelerin birbirleriyle sıcak plaka kaynağında kullanılan optimum parametre seviyeleri.....	43
Tablo 6.1 Plastik enjeksiyon numune üretim parametreleri.....	45
Tablo 7.1 Kaynaksız numunelerin çekme testlerinin sonuçları	50
Tablo 7.2 Saf polipropilen ve talk dolgulu polipropilen karışımlarının optimum kaynak parametre seviyeleri ve kaynak mukavemetleri	62
Tablo 7.3 %40 talk dolgulu polipropilen ile %40 kalsit dolgulu polipropilen malzemelerin birbirleriyle optimum parametre seviyeleri kullanılarak sıcak plaka kaynağının çekme testi sonucu.....	69
Tablo 7.4 Saf polipropilen ve talk dolgulu polipropilen karışımlarının sıcak plaka kaynağı verimleri.....	70

Tablo 7.5 %40 talk dolgulu polipropilen ile %40 kalsit dolgulu polipropilenin birbiriyle sıcak plaka kaynağının verimi.....	71
--	----

BÖLÜM BİR

GİRİŞ

Günümüzde plastikler, çeşitli mühendislik uygulamalarında hızla geleneksel malzemelerin yerini almaktadır. Plastiklerin alt sınıfı olan termoplastik malzemeler; ticari plastikler, mühendislik plastikleri ve yüksek performans plastiklerinden oluşmaktadır (Yeni, Sayer ve Ülker, 2010). Ticari plastiklerin içinde yer alan saf polipropilen ve polipropilen karışımları, mühendislik uygulamalarında kullanılan malzemelere iyi bir alternatif olmaktadır. Özellikle polipropilen, kolay işlenebilirliği ve fiyat/performans oranının iyi olması sebebiyle paketleme, tekstil, ev eşyaları ve otomobil gibi birçok farklı alanda kullanılan bir polimerdir (Chen, Wang, Lin, Chan, ve Wu, 2007).

Saf polipropilen malzemeye çeşitli oranlarda talk, kalsit, kaolin, baryum sülfat, zeolit, silan ve cam küre katılabilmektedir. Dolgu maddelerinin polipropilen ile karıştırılmasıyla, karışımın yoğunluğu, elastisite modülü, eğilme dayanımı, sertliği artar. Karışımın içerdiği saf polipropilen azaldığı için üretilen ürünlerin birim maliyeti azalır (Gachter ve Müller, 1993).

Polipropilen malzemeden üretilen taşıma ve sevk paletleri, otomobilin soğutma ve cam yıkama sıvılarının hazneleri sıcak plaka kaynağı yöntemiyle birleştirilerek üretilmektedir (Uçar, 2013).

Bu çalışmada sıcak plaka kaynağı ile birleştirilmiş, dolgu maddesi içermeyen saf polipropilen, değişik oranlarda talk katkılı polipropilen ve yüzde 40 kalsit katkılı polipropilen malzemeler için kaynak parametrelerinin optimizasyonu yapılarak bu malzemelerin sıcak plaka kaynağı sonrası maksimum çekme mukavemetine etkisi araştırılmıştır. Yüzde 40 talk dolgulu ve yüzde 40 kalsit dolgulu polipropilen malzemeler sıcak plaka kaynağı metoduyla birbirleriyle birleştirilerek kaynaklı birleştirmenin maksimum çekme mukavemeti araştırılmıştır.

1.1 Literatür Çalışması

Kodal (2009), polipropilen ve dolgu maddeleri ile hazırlanan karışımların fiziksel ve kimyasal özelliklerini incelemiştir. Çalışmalarında dolgu maddesi olarak talk, kalsit, kaolin, baryum sülfat, zeolit ve silan kullanmışlardır. Kaolin ve baritin artan miktarlarda kullanılması akış özelliklerini daha da iyileştirirken, kalsit, talk ve zeolitin artan miktarlarda kullanılması akış özelliklerinde azalmalara neden olmuştur. Talkın tabakalı yapıda olmasının, zeolitin ve kalsitin yüksek oranlarda polipropilen içerisine katıldığında ekstrüderin vidalarının dönmesini iyice zorlaştırmasının bu duruma neden olduğu düşünülmüştür. Talkın tabakalı yapıda olmasından dolayı diğer katkı maddelerine göre daha iyi yüzde uzama ve akma dayanımı değerleri vermesi düşünülmese rağmen, talk içeren kompozitlerin, artan talk miktarı ile akma dayanımı değerleri %10,81 azalırken, bu durum kaolinde %13,79, kalsitte %19,69 ve baritte ise %21,03 olmuştur. Deneysel olarak kullanılan katkı maddeleri içinde en iyi sonuçlar sırasıyla kalsit, barit, talk, kaolin ve zeolitte elde edilmiştir.

Kansu (2005), cam küre, kalsit ve talk dolgulu polipropilen hibrit kompozitlerin mekanik ve fiziksel özelliklerini incelemiştir. Talkın plakamsı şeklinden dolayı polipropilen ile iyi yapışma özelliğine sahip olması, akış yönüne paralel yönelmesi ve kristalleşmeyi artırması ile kazandırdığı avantajlardan dolayı polipropilenin çekme ve eğilme dayanımı, elastik modülü, vicat yumuşama sıcaklığı, ısıyla deformasyon sıcaklığı gibi özelliklerini iyileştirmiştir. Öte taraftan, uzama değerini ve darbe kuvveti özelliklerini de olumsuz olarak etkilediği bulunmuştur. Kalsitin polipropilen ile zayıf bağlanma özelliğinden dolayı kazandığı olumsuz etki nedeniyle, dolgu maddesi olarak kullanımı ile polipropilenin çekme ve eğilme dayanımında ve uzama yüzdelerinde azalmalar olduğu tespit edilmiştir. Ancak, vicat yumuşama sıcaklığı, ısıyla deformasyon sıcaklığı ve elastisite modülünde iyileşme olmaktadır. Kalsitin kazandırdığı en belirgin özelliğin yüksek darbe kuvvetine neden olduğu tespit edilmiştir. Talkın kalsit ile birlikte kullanımı durumunda, karışım daha yüksek darbe dayanımına sahip olduğu görülmüştür.

Koca (2009), dolgu maddeli polimer malzemelerin taguchi yöntemi ile performans optimizasyonu üzerine çalışmışlardır. Çalışmalarında dolgulu polipropilen ve

polietilen kullanmışlardır. Sabit sıcaklıkta ve sabit yük altında yapılan sürünme deneylerinin sonucunda sürünme yükü arttıkça sürünme için harcanan toplam enerjinin arttığı görülmüştür. Gerilme seviyesi ve kalsit oranı arttıkça yüzde uzamanın dikkate değer şekilde arttığı tespit edilmiştir. Tane boyutu, artıkça zorlanma ve sürünme değerleri de artan gerilme faktörü ile birlikte artmıştır. 5 µm tane boyutlu %25 kalsit dolgululu polipropilen 16 MPa ile en iyi sonucu vermiştir.

Oral (2006), kalsit dolgululu polipropilen kompozitlerde ara yüzey etkileşimindeki gelişimin mekanik ve fiziksel özelliklere etkilerini incelemiştir. Elde edilen test sonuçlarında yapıya uyumlaştırıcı ajan olarak ilave edilen maleik anhidrit aşılansız polipropilen (MA-g-PP) ile kompozitin uzama değerindeki azalmanın yanında çekme ve eğilme mukavemetinde artış gözlenmiştir. SEM incelemesinde kalsit partiküllerinin yüzeyi ile polipropilen arasında bir ara yüzey olduğu gözlenmiştir. Bu ara yüzey etkileşiminden dolayı kompozitin kristallenme sıcaklığında bir artış gözlemlenmiştir.

Uçar (2013), yapıştırılmalı ve kaynaklı bağlantıların deneysel ve nümerik olarak karşılaştırmasını yapmıştır. ABS ve SAN polimer malzemelerini kullanarak sıcak plaka kaynağı ve çözücüyle yapıştırma işlemiyle parçalar birbirlerine birleştirilmiştir. Birleştirilen bu parçalar prosese uygun bekleme sürelerinden sonra çekme testine tabi tutulmuştur. Taguchi deneysel tasarımı yöntemine göre L9 ortogonal dizi kullanılmıştır. Uygulanan deneylerin sonuçları Minitab 16 yazılımı ile analiz edilmiştir. Taguchi metodu ile analiz edilen numunelerden ABS'nin kendi arasındaki kaynakların mukavemetine etki eden en önemli parametrenin sıcaklık olduğu gözlemlenmiştir. SAN polimerinin kendi arasındaki kaynakların mukavemetine etki eden en önemli parametrenin kaynak mesafesi olduğu gözlemlenmiştir. ABS ve SAN polimerlerinin birbirine kaynağında kaynak mukavemetine etki eden en önemli faktörün kaynak mesafesi olduğu gözlemlenmiştir. Aynı polimerlerle yapılan çözücüyle yapıştırma işleminde ise birleştirme türü olarak sıcak plakada uygulanan alın tipi değil de bindirme tipi kullanılmıştır. Bindirme uzunluğu kalınlığın yaklaşık 10 katı seçilmiştir. Yapılan çekme testlerinde malzemenin bindirme bölgesinden kopmadığı, bindirmenin bittiği kısımdan koptuğu gözlemlenmiştir. Bu da o bölgede ani kalınlık değişiminden dolayı çentik etkisinin oluştuğunu göstermektedir.

Kocatüfek (2013), poliamid esaslı malzemelerde cam elyaf katkısının sıcak plaka kaynağı üzerinde etkisini araştırmışlardır. Bu çalışmada poliamid 6 (PA 6), poliamid 6 cam elyaf oranı ağırlıkça yüzde 15 (PA 6 GF 15) ve poliamid 6 cam elyaf oranı ağırlıkça yüzde 30 (PA 6 GF 30), poliamid 66 (PA 6), poliamid 66 cam elyaf oranı ağırlıkça yüzde 15 (PA 66 GF 15) ve poliamid 66 cam elyaf oranı ağırlıkça yüzde 30 (PA 66 GF 30) olan mühendislik plastiklerinin sıcak plaka kaynak yöntemi ile birleştirilmesinde, plaka sıcaklığı, ısıtma süresi, kaynak nüfuziyeti ve kaynak süresinin kaynak mukavemetine etkisi incelenmiştir. Bu dört parametrenin her birinde üç farklı değer göz önüne alınmıştır. Numunelerin sıcak plaka kaynağı ile birleştirilme prosesinde Taguchi deney tasarımı yöntemi göre L9 ortogonal dizi kullanılmıştır.

Oliveira, Bernardo ve Hemsley (2002), alev geciktiricilerin talk dolgulu polipropilenin sıcak plaka kaynağı üzerinde etkisini araştırmışlardır. Çalışmalarında %20 talk dolgulu polipropilen ve %30 talk dolgulu ve alev geciktirici ilaveli polipropilen kullanmışlardır. Talk dolgulu polipropilenin sıcak plaka kaynağının malzemenin dayanımının düşmesine neden olduğu görülmüştür. %20 talk dolgulu polipropilenin kaynak verimi, %50 ve %30 talk dolgulu polipropilenin kaynak verimi %45 olarak bulunmuştur. %20 talk dolgulu polipropilenin en yüksek kaynak mukavemeti, 19,1 MPa olarak bulunmuştur ve optimum kaynak parametreleri; plaka sıcaklığı 260 °C, ısıtma süresi 50 saniye ve kaynak nüfuziyeti 1 mm'dir. %30 talk dolgulu polipropilenin en yüksek kaynak mukavemeti, 13,5 MPa olarak bulunmuştur ve optimum kaynak parametreleri; plaka sıcaklığı 220 °C, ısıtma süresi 100 saniye ve kaynak nüfuziyeti 1 mm'dir.

Stokes (1998), çift plakaya sahip olan ve her plakanın sıcaklıklarının ayrı ayrı kontrol edildiği sıcak plaka kaynak makinesini kullanarak polieterimid, polikarbonat ve polibütilen tereftalat kaynak edilebilirliğini incelemiştir. Kaynak işleminde, ergimiş malzeme kalınlığı ısıtma süresiyle, ergirken taşan malzeme miktarı sıcak plaka üzerindeki durdurucularla, kaynak sırasında taşan malzeme ise kaynak makinesi üzerindeki durdurucularla kontrol edilmiştir. Plakanın sıcaklığı ve ısıtma süresinin kaynak mukavemetine etkisi incelenmiştir. Kaynak nüfuziyeti ve basınç sabit tutulmuştur. Deneylerin sonucunda farklı termoplastikler birbirleriyle kaynatıldığında yüksek dayanım değerlerine ulaşılmıştır.

Stokes (1998), polikarbonat malzemenin sıcak plaka kaynağı ile yapılan kaynak işleminde polikarbonat kurutulup kurutulmamasının etkileri araştırmıştır. Kaynak işleminde, ergimiş malzeme kalınlığı ısıtma süresiyle, ergirken taşan malzeme miktarı sıcak plaka üzerindeki durdurucularla, kaynak sırasında taşan malzeme ise kaynak makinesi üzerindeki durdurucularla kontrol edilmiştir. Plaka sıcaklığı, ısıtma süresi ve kaynak nüfuziyeti kaynak parametreleri olarak kullanılmıştır. 3 farklı kalınlıktaki polikarbonatın kaynak mukavemetleri incelenmiştir. Kurutulmamış polikarbonatın kaynak mukavemetinin kurulmamış olana göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Stokes ve Conway (2001), çeşitli ticari termoplastik malzeme karışımların sıcak plaka kaynağı yöntemiyle kaynak edilebilme kabiliyetlerini ve kaynak mukavemetlerini incelemiştir. Çalışmada polikarbonat, akrilonitril bütadien stiren (PC/ABS), polikarbonat, polibütillen tereftalat (PC/PBT), polifenilen oksit ve poliamid (PFO/PA) kullanılmıştır. Deneylerde kalınlığı 3,2 mm olan kaynak numuneleri kullanılmıştır. Kaynak işleminde, ergimiş malzeme kalınlığı ısıtma süresiyle, ergirken taşan malzeme miktarı sıcak plaka üzerindeki durdurucularla, kaynak sırasında taşan malzeme ise kaynak makinesi üzerindeki durdurucularla kontrol edilmiştir. Plaka sıcaklığı, ısıtma süresi ve kaynak nüfuziyeti kaynak parametreleri olarak kullanılmıştır. Kaynak makinesinin basıncı ise sabit tutulmuştur. Çalışmanın sonucunda deneyde kullanılan termoplastiklerin optimum kaynak parametreleri ve kaynak mukavemetleri bulunmuştur ve tek tek raporlanmıştır.

Bir başka çalışmada ise B. Lee, J. Kim, S. Lee ve K. Kim (2012) çift cidarlı polietilen boruları sıcak plaka kaynağı yöntemiyle alın altına kaynatarak ve kaynaklı birleştirmenin mekanik özelliklerini incelemiştir. Plaka sıcaklığı ve ısıtma süresi kaynak parametreleri olarak kullanılmıştır. Kaynatılan boruların kaynak kaliteleri borulara içten hava basıncı uygulayarak ve çekme testleriyle incelenmiştir. Yapılan testlerin sonucunda sıcak plaka kaynağı ile atık su borularının başarılı bir şekilde kaynatılarak tamir edilebileceği görülmüştür.

BÖLÜM İKİ

POLİMER MALZEMELER

2.1 Polimer Malzemeler

Polimerler molekülleri yüksek molar kütlelere sahiptir ve monomerler olarak adlandırılan çok sayıdaki molekülün sıralı olarak dizilmesiyle meydana gelmektedirler. Polimerler, doğal oluşumlu olarak veya sentetik olarak üretilmişlerdir. Doğal oluşumlu polimerlere örnek olarak proteinler, selüloz, nişasta ve kauçuk örnek verilebilir. Sentetik polimerler laboratuvar koşullarında ticari olarak yüksek üretim kapasiteleriyle üretilmektedirler ve yaşamımızda çok geniş kullanım alanına sahiptirler.

Polimerlerin bir kısmı tek bir monomer çeşidinin dizilmesiyle oluşur. Diğer bir kısmı ise iki veya üç monomer çeşidinin bir araya gelmesiyle oluşur. Polimerlerin karakteristik özellikleri düşük yoğunluklu ve dayanımlı olmalarının yanında yüksek mekanik sönümleme özelliğine sahip olmalarıdır. Polimerler genellikle düşük ve yüksek sıcaklıklara karşı direnç gösterememektedirler. Bu nedenle genellikle oda sıcaklıklarında ve oda sıcaklığına yakın sıcaklıklarda kullanılırlar.

Polimerler yapılarına, oluşumlarında meydana gelen reaksiyonların tipine, fiziksel özelliklerine ve teknolojik kullanım alanlarına göre sınıflandırılırlar.

2.1.1 Monomer Çeşidine Göre Polimerlerin Sınıflandırılması

Monomer çeşidine göre ise polimerler 2'ye ayrılırlar.

2.1.1.1 Homopolimerler

Bir polimer, tek bir monomer biriminin tekrarlanmasıyla oluşuyorsa bu homopolimer olarak adlandırılır. Örneğin, propilen grubunun tekrarlandığı polipropilen bir homopolimerdir (Kodal, 2009).

2.1.1.2 Kopolimerler

Eğer polimerler iki farklı monomerin birleşmesinden oluşuyorsa kopolimer olarak adlandırılır. Kopolimer ise kendi aralarında ardışık, rastgele, blok ve aşırı olmak üzere dört gruba ayrılır (Kodal, 2009).

2.1.2 Polimerlerin İşleme Şekillerine Göre Sınıflandırılması

Mühendislik polimerleri genel olarak termoplastikler, termosetler ve elastomerler olmak üzere üçe ayrılırlar.

2.1.2.1 Elastomerler

Elastomerler birçok defa uzatılıp bırakıldığında ilk ölçülerine geri dönebilen kauçuk türü malzemelerdir. Elastomerler, düşük yoğunlukta çapraz bağlara sahiptirler. Bu malzeme cinsi genellikle düşük elastikiyet modülüne ve yüksek akma mukavemetine sahiptir. Elastomer malzemelerde polimer zincirleri belli seviyede hareket serbestliğine sahiptirler, ancak çapraz bağlar sonucu oluşabilecek daimi taşınmalara karşı da korumalıdır. Elastomerlerin hareketli zincir sayısını azaltmak için elastomerler camsı veya kristalimsi faza soğutulmalıdır. Başlıca elastomerlere polibütadien, stiren bütadien, nitril kauçuk örnek gösterilebilir (Uçar, 2013).

2.1.2.2 Termoset Polimerler

Termoset polimerler, ısı uygulandıktan sonra verilen şekli alarak soğuyup katılaştıran malzemelerdir. Bu sertleşme işlemi, malzemenin molekül zincirleri arasında oluşan daimi bağlar sonucu geri dönüşü olmayan bir işlemdir. Molekül zincirleri arasında oluşan çapraz bağlar, polimerin rijitliğinin yüksek olmasını sağlar.

Termoset polimerler katılaştıktan sonra tekrar ısı verilerek eritilemez. Isı verilirse yanarlar. Bu nedenle geri dönüşümü olmayan malzemelerdir. Termoset polimerler, termoplastik polimerlere göre mekanik özellikler, kimyasal direnç ve ısıya dayanma bakımından daha üstün malzemelerdir. Ancak bu özelliklerinin yanında termoset

polimerler kırılğan malzemelerdir. Başlıca termoset polimerlere örnek olarak polyester reçinesi, epoksi reçinesi, poliüretan, bakalit ve vulkanize kauçuk örnek verilebilir (Uçar, 2013).

2.1.2.3 Termoplastik Polimerler

Termoplastik polimerler belirli bir sıcaklığın üstünde bükülebilen ve kalıplanabilen, soğutulduklarında ise tekrar katı hale dönebilen malzemelerdir. Bu karakteristik özelliğinden dolayı termoplastik polimerler geri dönüşümü olan malzemelerdir. Ergimiş halden soğutulurken termoplastik polimerlerinin bozulan zincir yapısını tekrardan düzenli bir yapıya sokmak için dışarıdan yüksek enerji verilmesi gerekir.

Termoplastik polimerler lineer molekülere sahiptir. Bu molekülde zinciri oluşturan birimlerin arasında kuvvetli kovalent bağlar bulunmaktadır. Moleküller arası bağlar ise ısıya karşı duyarlıdır ve moleküller arası zincirlerin birbirlerine göre hareketlerini bu bağlar arası kuvvetler sınırlar. Bu nedenden dolayı bir termoplastik polimer ısıtıldığında moleküller arası bağlar zayıflar ve polimere kolayca şekil verilebilir. Malzeme soğuduğunda ise moleküller arası bağ kuvveti artar ve malzeme katı durumdaki haline döner.

Termoplastikler malzemeler elastomerlerden farklı mekanik özelliklere sahiptirler. Bir elastomer malzeme iki yana çekilerek uzatıldığında ve serbest bırakıldığında eski şekline döner. Ancak termoplastik parçaları çekme kuvveti uygulayarak çektiğinizde termoplastik malzeme belli bir noktaya kadar uzar (elastik deformasyon), daha sonra ise kalıcı olarak deformasyona (plastik deformasyon) uğrar ve daha da çekilince kopar. Termoplastik polimerler grubunda yer alan bazı polimerler şunlardır;

- a) Polipropilen
- b) Polistiren
- c) Naylon
- d) Polivinilklorür ve vinil kopolimerleri
- e) Akrilonitril bütadien stiren

- f) Stiren akrilonitril
- g) Selülozikler

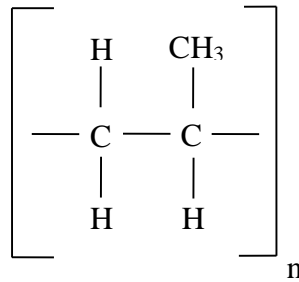
2.2 Polipropilen (PP)

Polipropilen, stereoregüler polimerler arasında üretilen polimerdir (Beşergil, 2008, s. 55). Stereoregüler polimerler, doğrusal moleküllerin aynı boyutsal konfigürasyondaki tekrar birimlerden oluştuğu (izotaktik), veya aynı olmayan, fakat dönüşümlü olarak muntazam şekilde tekrarlanan gruplardan oluştuğu (sindiyotaktik) polimerlerdir veya tek bir ardışık düzende bulunan ve bir stereo (üç boyutlu) tekrar birimi ile tanımlanabilen makromoleküller şeklinde de tarif edilir (Beşergil, 2014). Örneğin izotaktik polipropilen, yapay stereoregüler polimerdir (Beşergil, 2008, s. 337). Polipropilen kısaca PP olarak ifade edilmektedir (Beşergil, 2008, s. 55).

2.2.1 Polipropilenin Üretimi

Polipropilen ilk olarak 1954 yılında G.Natta'nın propilenin polimerizasyonu esnasında metal alkil/metal tuzları tipi katalizörlerin bir stereospesifik etkisi olduğunu keşfetmesiyle bulunmuştur (Roff, 1971).

Monomer propilenin moleküler yapısı $CH_2 = CH - CH_3$ şeklindedir. Ziegler-Natta katalizörleri olarak bilinen $TiCl_3$ katalizörü etkisinde aradaki çift bağ açılarak açık kalan uçlara $-CH_3$ ve $-H$ radikallerinin bağlanması sonucu polimer oluşur. Oluşan zincirin sonuna $-H$ radikali bağlandığı zaman zincir oluşumu sona erer (Ezdeşir ve diğer.,1999) (Şekil 2.1).



Şekil 2.1 Polipropilenin monomer yapısı

2.2.2 Polipropilenin Genel Özellikleri

Polipropilen, kolay işlenebilirliği ve fiyat/performans oranının iyi olması sebebiyle paketlenme, tekstil, ev eşyaları ve otomobil gibi birçok farklı alanda kullanılan bir polimerdir (Chen ve diğer., 2007). Polipropilen; yarı şeffaf, beyaz ve katı bir termoplastiktir. 121 °C'ye kadar olan sıcaklıklarda uzun süre kullanılabilir. Polipropilen malzemelerin ergime noktası 160 °C'dir. Soğuk organik çözücülerde çözünmez, sıcak çözücülerde ise yumuşar. Isı ve ışığın etkisiyle kolayca bozulduğundan antioksidantlarla birlikte kullanılmalıdır. Elektriksel direnci iyidir. Su absorpsiyonu ve geçirgenliği düşüktür. -9.4 °C'nin altındaki sıcaklıklarda kırılmalıdır. Mantarlara ve bakterilere karşı oldukça dayanıklıdır. Asitlere ve bazlara karşı 60 °C'ye kadar ki sıcaklıklarda dayanıklıdır. Klor, nitrik asit, sülfürik asit ve diğer kuvvetli oksitleyiciler tarafından etkilenir. Yakılabilir olmasına rağmen yavaş yanan bir maddedir. Gıda tüzüğüne uygundur. Uygun bir şekilde modifiye edildiğinde ısı dayanımı iyileştirilebilir. Metal kaplanarak, enjeksiyon veya şişirme ile kalıplanarak ve ekstrüde edilerek kullanılabilir (Ezdeşir ve diğer., 1999).

Polipropilenin sıcaklıkla genişmesi ve soğudukça büzülmesi polietilene nazaran çok küçüktür. Bundan dolayı nadiren deforme olurlar ve çatlarlar. Polipropilen kristalin bir malzeme olmasına rağmen polietilenlerle kıyaslandığında daha iyi bir berraklığa sahip olan bir malzemedir (Ezdeşir ve diğer., 1999).

Polipropilenin bazı avantajları aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

- 1) Öz ağırlığı düşüktür.
- 2) Darbeye karşı dayanıklıdır.
- 3) Şeklini koruma özelliği iyidir.
- 4) Kimyasallara karşı dayanıklıdır.
- 5) Elektrik geçirgenliği çok azdır.
- 6) Isı geçirgenliği çok azdır (Abu Bakar, Leong, Ariffin ve Mohd. Ishak, 2007)

Polipropilenin bazı dezavantajları aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

- 1) Düşük sıcaklıklarda kırılımandır.
- 2) Hızlı bir şekilde oksidasyona uğrar (Ezdeşir ve diğer., 1999; Wang, 1996).

Polipropilenin mekanik özelliklerini iyileştirmek için, polipropilen bazı elastomerler ve dolgu maddeleri ile birlikte kullanılır. Darbe özellikleri ve gerilme direnci, polimer mineral katkı maddelerinin ilavesi ile iyileştirilebilir. Aynı zamanda elektriksel özelliklerinde de bazı değişiklikler olur. Yüzeyler arası yapışmayı iyileştirmek için, bazı düşük molekül ağırlıklı polimerler dolgu maddesinin dağılımını desteklemek ve polipropilen içerisinde eşit oranda dağılmasını sağlamak için kullanılırlar. Düşük yoğunluklu polietilen (LDPE), yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) veya stiren-bütadien-stiren blok kopolimeri (SBS) polipropilenin darbe direncini artırabilir (Wang, 1996). Polipropilen filmlerinin elektriksel özellikleri de katkı maddelerinin kullanılmasıyla geliştirebilir (Mohmeyer, 2007).

Polipropilenin yüksek sıcaklıklarda ki kimyasal ve gerilim altındaki çatlama direnci, polipropilenin dolgu maddeleri ve güçlendiriciler ile kullanılmasıyla artar ve oda sıcaklığında daha yüksek dirilik kazanır. 0 °C'nin altında polipropilenin artan gevrekliği dolgu maddelerinin kullanılmasıyla kuvvetlendirilir. Bu şartlar altında etilenle oluşturulan kopolimerlerin darbe dayanımı artar ve aynı zamanda matris ve dolgu/güçlendiriciler arasında daha iyi bir yapışma sağlar (Gachter ve Müller, 1993).

Dolguların kimyasal saflığı çok önemlidir. Bakır, mangan ve kobalt gibi ağır metalleri içermemelidir, içerse dahi bu gibi ağır metaller dolgu maddesinin içinde çok düşük miktarlarda olmalıdır. Çünkü bu tür maddeler polipropilenin termal stabilitesini ters yönde etkiler. Kullanılacağı yere bağlı olarak güçlendirici veya dolgu kullanılmış olan polipropilen, UV ışınlarının zararlı etkilerine karşı stabilize edilmelidir (Gachter ve Müller, 1993).

Diğer termoplastiklerde olduğu gibi, güçlendiricilerin kullanılmasıyla polipropilenin rijitliğinde ve elastisite modülünde, bükülme-sürünme modülünde, yüksek sıcaklıklarda boyutsal kararlılığında, sertliğinde, kopma dayanımında,

yoğunluğunda, termal iletkenliğinde ve viskozitesinde artma olur. Diğer taraftan; yüzde uzamasında, darbe dayanımında, ısıl genişmesinde, eriyik akış indisinde (M.F.I.) azalma gözlenebilir (Gachter ve Müller, 1993).

Polipropilenin uygulama alanları çeşitli katkı maddelerinin ilavesi ile artırılabilir. Yaygın olarak kullanılan dolgu maddeleri talk, kalsiyum karbonat, magnezyum hidroksit ve cam küredir (Wang, 1996). Polipropilene dolgu maddelerinin ilavesi sertlik, sünme direnci, çekme ve ısı altında boyut kararlılığı gibi pek çok mekanik ve termal özelliklerinin iyileşmesini sağlar (Kotek, Kelnar, Baldrian ve Raab, 2004; Zhou ve Mallick, 2005; Othman, Ismail ve Mariatti, 2006).

2.2.3 Polipropilenin Kullanım Alanları

Polipropilen hafiftir ve yüksek dayanıma sahiptir. Bu nedenle geniş bir kullanım alanına sahiptir.

Enjeksiyon kalıplama yöntemiyle üretilen polipropilenin homo ve kopolimerlerinden otomotiv, optik ve elektrik malzemeleri, ev ve mutfak eşyaları, mekanik dayanım istenen parçalar, endüstriyel amaçlı parçalar, seyahat ürünleri, akü kutuları, konteynırlar, kasalar, boru, bira kasaları ve gaz yağı bidonları yapılabilir.

Ekstrüzyon yöntemiyle film, filament, lifler, profil, levha ve şerit şeklinde üretim yapılabilir. Polipropilen berrak, sağlam ve parlak olduğundan ambalaj imalatında, film, halı ve çuval yapımında, balık ağı, halat, keçe, paspas, conta imalatında kullanılır.

Şişirme (üfleme) kalıplama yöntemiyle gıda, deterjan ve şampuan sanayinde ambalaj imalatında polipropilen kullanılır (Ezdeşir ve diğer., 1999; Birlik, 1994).

Estetik görünüşleri olduğu için, kolay şekil verilebildiği ve işlenebildiği için termoplastiklerin kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. Bu nedenle polipropilen gelecekte mekanik ve termal özellikleri iyi olduğu için kullanılmaya devam edilecektir (Freedonia Group Şirketi, 2005).

2.3 Dolgu Maddeleri

Dolgu maddeleri, katı halde bulunan katkı maddeleridir. Kimyasal bileşim ve yapı olarak plastik matrislerden farklıdır. Polimerlerin içerisine hacmini artırmak ya da özelliklerini iyileştirmek için katılırlar. Genellikle inorganiktirler. Ama az da olsa organik olanları da vardır. İnert dolgu maddeleri polimerlerin hacmini artırır ve parça başı maliyeti azaltırlar. Aktif dolgu maddeleri belirli mekanik ve fiziksel özelliklerde özel iyileşmeler sağlarlar. Bu nedenle aktif dolgu maddelerine güçlendiriciler denir. Dolgu maddeleri ve güçlendiricilerin artan kullanımı bu tür malzemelerin önemini göstermektedir (Gachter ve Müller, 1993; Hohenberger, 2003).

Dolgu maddelerinin yapısal etkisi, onların şekline, tanecik boyutuna ve tanecik boyutu dağılımına bağlıdır. Mineral dolgu maddeleri; küre, küp, blok, yonga ve lifli olmak üzere 5 farklı tanecik şeklinde olabilir. Lifli dolgu maddesi genellikle gerilme direncini artırır (Leong, Abu Bakar, Mohd. Ishak, Ariffin ve Pukanszky, 2004).

Termoplastikler içerisine çeşitli dolgu maddeleri katılması ile bu tür polimerlerin elastisite modülü gibi bir takım mekanik özelliklerinde gelişmeler sağlanabilir. Fakat bu tür dolgu maddelerinin ilavesi ile çekme dayanımı gibi mekanik özelliklerde azalma meydana gelebilir. Bu tür negatif etkiler çok küçük partiküllerin ilavesi ile minimize edilebilir. Küçük boyutlarından dolayı bu partiküller topaklanma eğilimindedirler. Matris içerisinde iyi bir partikül yayılımı elde etmek için, partiküller arası etkileşimi azaltan işlemlere ihtiyaç vardır (Mareri, Bastide, Binda ve Crespy, 1998).

Termoplastikler içerisinde dolgu maddelerinin kullanımının artması, modifiye edilmiş dolgu ve güçlendiricilerin kullanımının son yıllarda artmasına neden olmuştur. Polimer fiyatları yükselirken, mineral katkı maddeleri polimerlerin kalitesini bozmadan onların maliyetini azaltmaktadır (Hohenberger, 2003; Markarian, 2007).

2.3.1 Talk

Talk, $3MgO \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O$ formülüne sahip hidratlı magnezyum silikattır. Beyaz renkte, kaygan ve yumuşaktır. Sertliği Mohs cetveline göre 1-1,5 arasında değişir.

Kristal yapısının hiçbir yüzü birbirinin aynı genişlik, uzunluk veya ağırlığa sahip değil olmadığı için kristal şekli monoklinikdir. Talkın ısı ve elektrik iletkenliği zayıftır (İnel, 2001). Talk; lifli, lamelli, yapraksı veya iri parçacık formunda olabilir. Fakat sadece lamelli formu ticari uygulamalarda kullanılır. Talkın kompozisyonu Tablo 2.1’de verilmiştir.

Tablo 2.1 Talkın kompozisyonu (Gachter ve Müller, 1993)

Mineraller	Kompozisyon
SiO ₂	40-62 %
Al ₂ O ₃	0,2-11 %
Fe ₂ O ₃	0,1-1,5 %
FeO	0,1-6 %
CaO	0,3-1 %
MgO	30-33 %
H ₂ O	16-17 %

Talk temel olarak iki silisyum oksit tabakası arasına magnezyum oksit ve hidroksitin girmesiyle oluşur. Bu, talkın her bir lamelinin suya karşı dirençli olmasını ve kimyasal olarak stabil olmasını sağlar. Polimerin rijitliğini artırmak için polimerin içerisine lamelli yapıya sahip talk katılır.

Talkın termoplastiklerin içine katılmasıyla aşağıdaki iyileştirmeler sağlanır:

- 1) Rijitlik ve eğilme modülü artar.
- 2) Eğilme dayanımı artar.
- 3) Yüksek sıcaklıklarda dahi sürünme eğilimi azalır.
- 4) Belirli bir yük altındaki polimerlerde görülen deformasyonda azalma olur ve böylece boyutsal kararlılıkta iyileşme sağlanır.
- 5) Isıl genleşme katsayısı azalır.
- 6) Isı iletkenliği artar.
- 7) Sertlik artar (Gachter ve Müller, 1993).

Talkın termoplastiklerin içine katılmasıyla aşağıdaki dezavantajlar oluşur:

- 1) Kopmada uzama noktası ve gerilme direnci azalır.
- 2) Çentik darbe dayanımı azalır. Gevreklik artar.

- 3) Karışımın eriyik akış indisi (M.F.I.) azalır.
- 4) Karışımın kaynak kabiliyetini ve kaynak sonrası kaynağın mekanik özelliklerini azaltır.
- 5) Anizotropik (dolgu maddesinin farklı yönlenmesi) davranış gösterir.
- 6) Kullanılan talkın doğal rengine bağlı olarak kompozit malzemenin renk tonu değişir. Polipropilene talk katıldığında karışımın yüzeyi mat olur.
- 7) Talkın tipine bağlı olarak yiyeceklerle temas edememe durumu (asbest içeriği, ağır metaller) oluşur.
- 8) Saf talk türleri pahalıdır.

Talk, polipropilen içerisine yüksek oranlarda katılabilen bir dolgu ve güçlendiricidir. Talk lamelli yapıda olduğu için polimerin boyutsal kararlılığı artar ve belirli bir yük altındayken yüksek sıcaklıklarda polimerin deforme olmaya karşı olan direncini artırır (Ariffin, Mansor, Jikan ve Mohd. Ishak, 2008). Talk, polimer içerisine az oranda katılsa bile ürünün fiyatında azalma sağlanır. Polimere talk katıldığında karışımın yoğunluğu arttığı için enjeksiyon süresi artar. Talkın dolgu maddesi olarak polipropilen içerisinde kullanılmasının dezavantajlarından bazıları; düşük sıcaklıklarda darbe dayanımını azaltması, kopma noktasında düşük gerilme dayanımı oluşturması, mat bir yüzey oluşturması, karışımın kaynak kabiliyetini ve kaynak sonrası kaynağın mekanik özelliklerini azaltmasıdır (Gachter ve Müller, 1993).

2.3.2 Kalsit

Kalsit, CaCO_3 formülüne sahip kalsiyum karbonattır. Kalsit; camsı parlaklıkta ve renksizdir. Kolay öğütülür ve öğütüldüğünde beyaz renkli bir toz elde edilir. Sertliği Mohs cetvelinde 3'tür. Yoğunluğu ise 2,6-2,7 civarındadır. Kalsit; tebeşir, kireç taşı veya mermer formunda olabilir (Gachter ve Müller, 1993).

Karbonat içeren dolgu maddelerine olan ilgi fiyatından dolayı istenilen düzeyde değildir. Jeolojik orijini, kimyasal saflığı, miktarı, modifikasyon metotları gibi özellikleri ise plastik endüstrisinin ilgisini çekmektedir (Gachter ve Müller, 1993).

Kalsit; plastik mobilya, boru, otomotiv vb. birçok plastikten ürün üretiminde gerek doğal öğütülmüş gerekse kaplanmış halde kullanılmaktadır. Kaplama çoğunlukla stearik asitle bazen de kalsiyum stearatla yapılmaktadır. Kalsiyum karbonatın bu tür kimyasallarla kaplanması nereden yüzey enerjisini azaltmak ve polimer içerisinde daha iyi dağılmasını sağlamaktır (Maged, Ayman ve Ulrich, 2004). Polipropilen, poliamid ve PVC reçineleri esas itibarıyla kalsitin dolgu olarak kullanıldığı plastiklerdir (Arslan, 2001). Fabrikalar, günümüzde sağlık açısından olumsuz etkisi olmayan kalsiti kullanmaktadırlar (Gachter ve Müller, 1993).

Plastikler içerisinde en fazla kullanılan kalsiyum karbonat formu tebeşirdir. İnert bir dolgu maddesi olan kalsiyum karbonat, karışımların fiziksel ve mekanik özellikleri koruyarak maliyetleri azaltır.

Polipropilen içerisinde kullanılan kalsit, talk ile benzer özellikler gösterir, polipropilen içerisinde talk ile aynı miktarda kullanıldığında talk dolgulu karışımın sertliği daha fazladır, ancak kalsit dolgulu karışımın da darbe dayanımı talkli olana daha yüksektir. Kalsit, talka göre aşağıdaki avantajlara sahiptir:

- 1) Polimer içerisinde daha kolay dağılır.
- 2) Karışımın M.F.I. değeri daha yüksek olur. Yani karışım daha çok akışkandır.
- 3) Karışım kaynak mukavemeti kaynak sonrasında daha yüksek olur.
- 4) Elde edilen ürünün yüzeyi daha iyidir.
- 5) Gıda sektöründe kullanılacak parçaların üretimi yapılabilir. İnsan sağlığına olumsuz etki yapmaz.
- 6) Proses makinelerinin temas eden parçalarında daha az aşınma olur (Gachter ve Müller, 1993).

Kalsit, polipropilenin mekanik özelliklerini geliştirmek için sıkça kullanılır. Küresel formda bulunan kalsit, polipropilene katıldığında karışımın darbe dayanımı artar (Chen ve diğer., 2007).

Plastik enjeksiyon yöntemiyle kalıplamada kullanılan kalsit dolgulu polipropilen, talk dolgulu olana göre daha akışkan olduğundan enjeksiyon süresi de daha azdır.

Kalsit, polipropilen filmlerinde çekme özelliklerinin daha iyi olmasını sağlar (Gachter ve Müller, 1993).

BÖLÜM ÜÇ

PLASTİK ENJEKSİYON YÖNTEMİ

3.1 Plastik Enjeksiyon Yöntemi

Plastik enjeksiyon yöntemi, plastik tüketim ürünlerinin üretilmesinde kullanılan ekonomik ve popüler yöntemlerdendir. Bu yöntemle araç panelleri, bilgisayar parçaları, ev eşyaları, mutfak aletlerinin gövdeleri gibi ürünler üretilebilmektedir. Bu ürünler plastik enjeksiyon yöntemi kullanılarak farklı ölçülerde ve çeşitli ihtiyaçları karşılamak için seri üretim yoluyla üretilebilmektedir (Uçar, 2013).

Bu yöntemle termoplastikler, termosetler ve bazı elastomerler kullanılarak imalat yapılabilmektedir. 1995 yılından beri plastik enjeksiyona uygun malzemelerin sayısı gün geçtikçe artmıştır (Uçar, 2013).

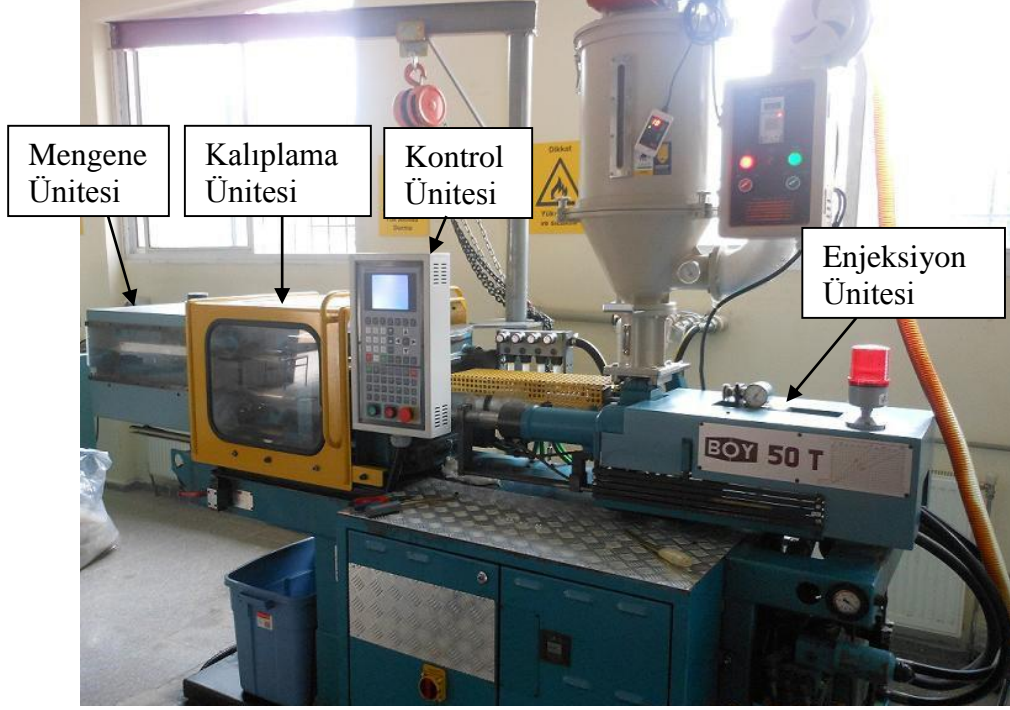
Bu yöntemde plastik ham malzemeye ısı verilir ve ısının yardımı ile plastik ham madde ergitilir. Ergitildikten sonra bir kalıbın içine enjekte edilerek istenilen şeklin verilmesi prensibine dayanır. Ham malzeme istenilen şekle gelirken kalıp içerisinde soğur ve soğuduktan sonra parça kalıptan çıkarılır. Teknolojik gelişmeler ile birlikte, bu yöntemle 1 gramdan yaklaşık 23 kilograama kadar parçalar imal edilebilmektedir (Eker, 2009).

3.2 Plastik Enjeksiyon Makinesi ve Parça İmalatı

Plastik enjeksiyon makinesinin ana bileşenleri şunlardır;

- 1) Enjeksiyon ünitesi
- 2) Kalıplama ünitesi
- 3) Mengene ünitesi
- 4) Kontrol ünitesi

Şekil 3.1’de deney numunelerinin üretiminin yapıldığı plastik enjeksiyon makinasının fotoğrafı üzerinde ana bileşenler gösterilmiştir.



Şekil 3.1 Plastik enjeksiyon makinesi genel görünüşü

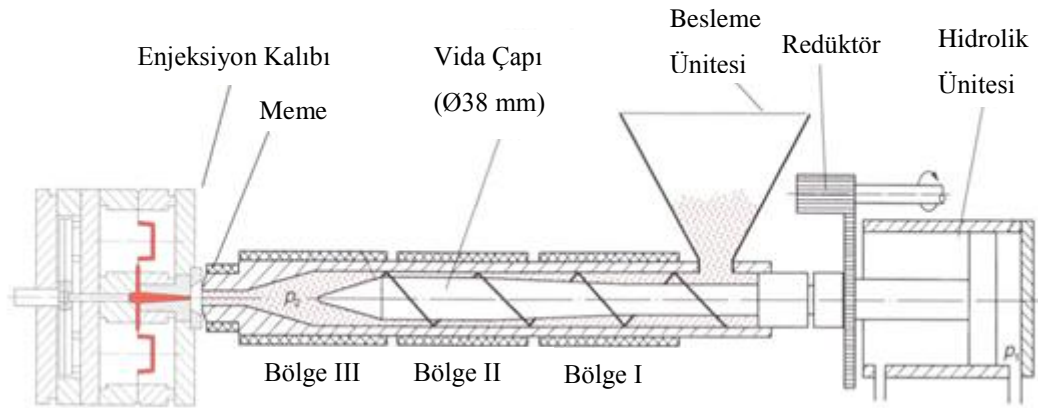
3.3 Parça Üretim Süreci

Plastik enjeksiyon yöntemiyle parça üretimi sırasıyla aşağıdaki aşamalardan oluşur.

- 1) Hammadde Kurutma Aşaması: Bu aşamada ham malzeme kurutma ünitesinde yaklaşık olarak 2–3 saat 80 °C sıcaklıkta bekletilir. Böylece hammaddenin içerdiği nem azalır. Dolayısıyla hammaddenin nem oranı da azalır.
- 2) Plastikleştirme Aşaması: Bu aşamada kurutulmuş ham malzeme, besleyicinin kapağı açılarak sonsuz vida yardımıyla ısıtıcı birimlere doğru itilir. Burada farklı sıcaklıklardaki ısıtıcılardan geçerek ergiyen malzeme enjekte memesine doğru hareket eder.
- 3) Plastikleştirme Aşamasının Bitmesi: Sonsuz vidanın hareketi sona erer. Enjeksiyon memesinde yeterince malzeme vardır. Her parça üretiminde aynı kalitede ve ağırlıkta parça üretmek için kalıba enjekte edilen malzeme miktarı her enjeksiyonda aynı olmalıdır.

- 4) Kalıbın Kapanması: Enjeksiyon işleminden önce kalıbın iki yarısı mengene ünitesi tarafından güvenli bir şekilde kapatılır. Kalıbın her iki yarısı da enjeksiyon ünitesiyle birleşir ve bu kalıplardan birisi aksel yönde hareket edebilmektedir. Mengene kalıpları, hidrolik ünite sayesinde bir araya getirilir ve bu aşamadan sonra enjeksiyon işlemine başlanır.
- 5) Enjeksiyon İşleminin Başlaması: Artık küçük taneler halindeki plastik ham malzemesi besleyiciden sonra sonsuz vida yardımıyla meme ucundan geçerek ergimiş halde kalıba enjekte edilmeye hazır haldedir. Ergimiş plastik malzeme kalıp içerisine enjekte edilmeye başlar (Noordin, 2009).
- 6) Soğuma Aşaması: Kalıp içerisine enjekte edilen plastik malzeme kalıp içerisinde soğumaya başlar. Plastik malzeme, soğurken de enjekte edildiği kalıbın şeklini alarak katılaşır. Gerekli katılaşma sağlanmadan kalıp açılmaz. Soğuma süresi plastik malzemenin et kalınlığı, ısı ve fiziksel özelliklerine göre hesaplanabilir.
- 7) Ürünün Kalıptan Dışarı Çıkarılması: Plastik ürün soğuduktan sonra iticilerin yardımıyla itilerek kalıptan dışarı çıkarılır. İtici kalıbın bir yarısına yerleştirilir ve kalıp açıldığında iticilere bağlı mil, ileri hareket ederek itici pimleri harekete geçirir. Parça kalıptan dışarı çıkarıldıktan sonra kalıplar tekrar mengene ünitesi tarafından birleştirilir ve bir sonraki enjeksiyon işlemine hazırlanır (Uçar, 2013).

Plastik enjeksiyon yönteminin son aşaması olan enjeksiyon aşaması Şekil 3.2’de görsel olarak görülmektedir.



Şekil 3.2 Plastik enjeksiyon işlemi (Kocatüfek, 2013)

3.4 Plastik Enjeksiyon Yönteminin Avantaj ve Dezavantajları

Plastik enjeksiyon kalıplamasının bazı avantaj ve dezavantajları şunlardır;

Avantajları

- 1) Bu yöntemle karmaşık şekilli parçaların imalatı mümkündür.
- 2) Yüksek üretim hızlarına ulaşılabilir ve bu nedenle seri üretime uygundur.
- 3) Bu yöntemle üretilen parçaların işçilik maliyetleri düşüktür.
- 4) Parçalar kalıptan çıkarıldıktan sonra parçala son işlem uygulanması gerekliliği çok azdır.
- 5) Diğer üretim teknikleriyle üretilmesi zor olan küçük parçaların üretimi kolaylıkla yapılabilir.
- 6) Bazı durumlarda kalıp değiştirmeden aynı parça farklı malzemeler kullanarak üretilebilir.
- 7) Parçaların ölçüsel tutarlılığı iyidir. Hassas toleranslarda üretim yapılabilir.
- 8) Hurda parçalarının geri dönüşüm olanağı vardır (Uçar, 2013).

Dezavantajları

- 1) Kalıp maliyetleri yüksektir.
- 2) Makine maliyetinin karşılanabilmesi için çok sayıda parça üretimi gereklidir.
- 3) Endüstriyel rekabet sonucunda düşük karlılık oranları oluşabilir.
- 4) Üretimin takip edilmesi gerekir. Takip edilmediği takdirde makinada oluşan sorunlar nedeniyle parça kalitesi düşebilir (Uçar, 2013).

BÖLÜM DÖRT

POLİMERLERİN KAYNAKLI BİRLEŞTİRMESİ

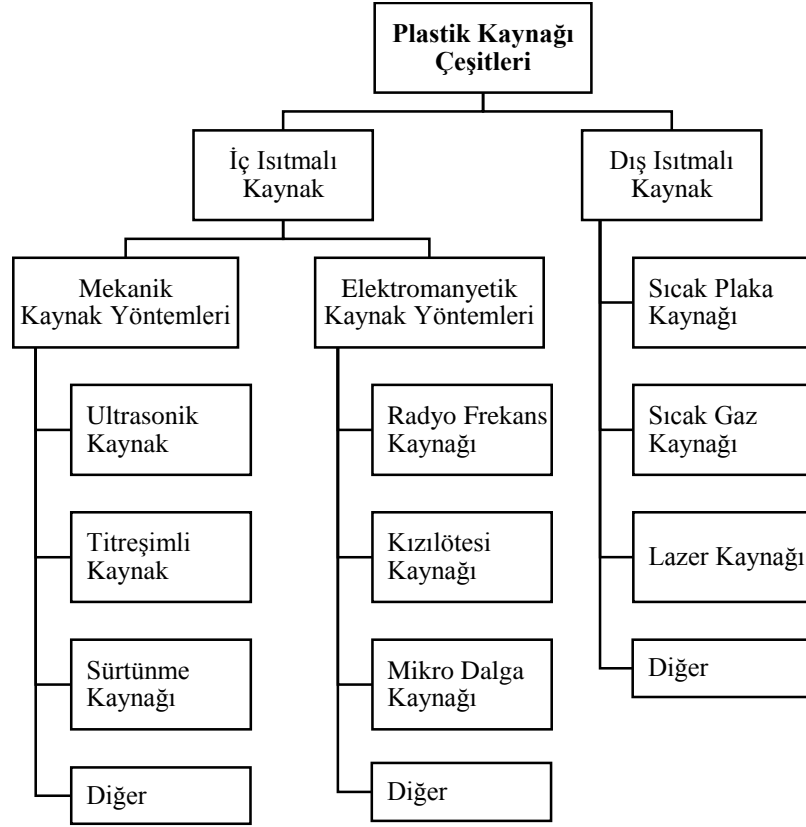
4.1 Polimerlerin Kaynağı

Polimer kaynağı, birleştirme bölgelerinin ısıtıldıktan sonra basınç altında birleşme bölgelerinin birbirleriyle temas ettirilerek polimer malzemelerin moleküllerinin çapraz bağlar oluşturması sonucuyla yapılan bir birleştirme işlemidir. Kaynaklı birleştirme uygulanacak malzemeler, kaynak bölgesini doldurmak için dolgu malzemesi kullanılarak veya dolgu malzemesi kullanılmadan ergitilip birbirleriyle birleştirilebilmektedir. Amorf yapıda olan polimer malzemeler için camsı geçiş sıcaklığının altında ve kristalize polimerler içinse ergime sıcaklığının altında kaynak işlemi yapılır.

Termoset malzemelerin kaynatılması mümkün değildir. Çünkü termoset malzemelerde çapraz bağların deforme olmasını sağlayacak ısı verilirse sıcaklığın yükselmesi sonucunda bu malzemeler ergimez, yanar.

Polimer kaynağı, çeşitli yöntemlerle yapılabilmektedir. Polimer kaynağı çeşitleri şunlardır (Şekil 4.1);

- Sıcak Gaz Kaynağı
- Sıcak Plaka Kaynağı
- Ultrasonik Kaynak
- Döndürmeli Kaynak
- İndüksiyon Kaynağı
- Titreşimli Kaynak
- Yüksek Frekans Kaynağı
- Lazer Kaynağı
- Mikrodalga Kaynağı



Şekil 4.1 Polimer kaynağı çeşitleri (Uçar, 2013)

4.2 Plastiklerin Kaynağının Tarihsel Gelişimi

Plastik kaynağının gelişimi, 1935 yılında polivinilklorür (PVC)'in bulunmasıyla başlar. 180 °C'de termoplastik durumdaki PVC'nin basınç uygulanarak homojen bir birleştirme sağlanmıştır. 1938 yılında sıcak gaz kaynağının patenti alınmıştır. 1950'lerin ortasında otomatik polimer kaynağı uygulamaları geliştirilmeye başlanmıştır. Son on yılda polimer kaynağı üzerine yapılan araştırmaların sayısı artmıştır. Bunun nedeni, polimer malzemelerin üretim sektöründe kullanımının artması, yeni polimer malzemelerin geliştirilmesi ve bunların kaynak teknolojilerinin geliştirilmesidir (Runcev, 2008).

4.3 Sıcak Plaka Kaynağı

Sıcak plaka kaynağı, enjeksiyon veya ekstrüzyon yoluyla imal edilen parçaları birleştirmek için sıkça kullanılan ve geniş kullanım alanı olan bir yöntemdir. Bu

yöntem literatürde sıcak eleman, sıcak baskı levhası veya ergitme alın kaynağı olarak da adlandırılır.

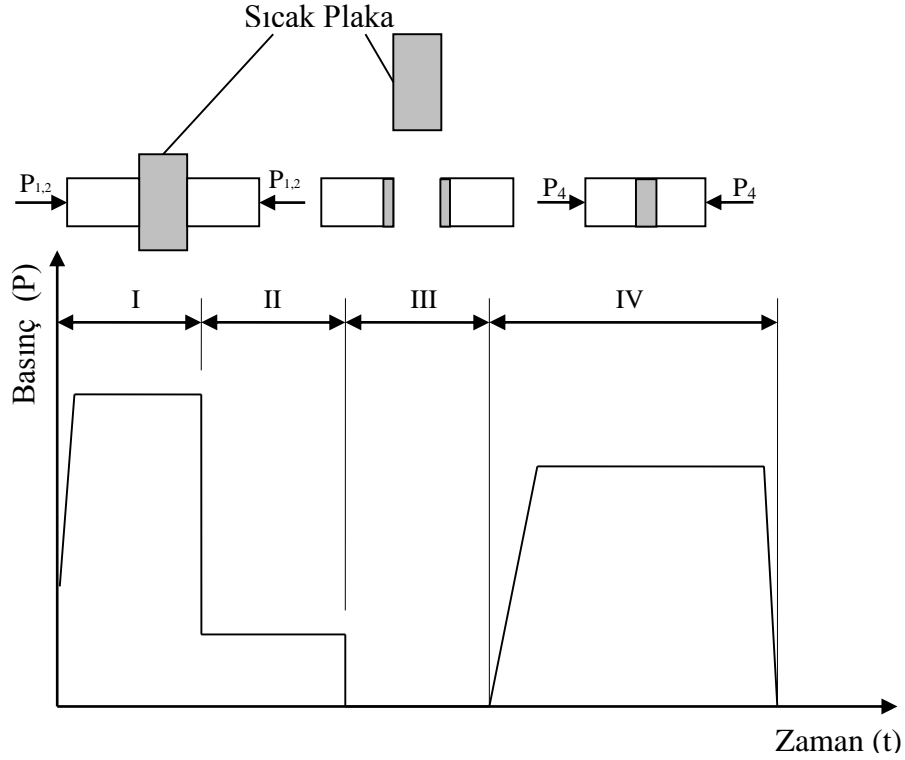
4.3.1 Sıcak Plaka Kaynağının Uygulama Metodu

Bu yöntemde istenen sıcaklığa ısıtılmış sıcak metal plaka kullanılır. Bu sıcak plaka, termoplastik parçaların kaynak yüzeylerini ısıtarak ergitmek için kullanılır. Kaynak yüzeyleri, sıcak plakaya temas ettirilerek belli bir süre temas durumunda bekletilir. Kaynatılacak parçaların birleşme yüzeyleri ergitildiğinde parçaların sıcak plaka ile teması kesilir. Ardından parçaların birleşme yüzeyleri birbirlerine basınç altında temas ettirilir. Parçalara kaynağın ısıtma ve birleştirme fazlarında ekstenel bir yük uygulanmaktadır. Bir süre basınç altında parçalar bekletilir. Bu süreye kaynak süresi denir. Kaynak süresi içinde, parçaların birleşme yüzeylerindeki moleküller birbirleriyle Van der Waals ve kovalent bağlar ile birbirlerine bağlanırlar ve soğumaya başlarlar. Kaynak bölgesindeki moleküller soğurken daralma eğilimi gösterir. Bu nedenle basınç altında bir süre bekletmek kaynak bölgesi soğurken büzülmeyle kolaylaştırmak ve böylece artık gerilme oluşmasını önlemek için ve molekülleri olabildiğince birbirlerine yaklaştırmak için önemlidir. Sıcak plakaya plastik parçaların yapışmasını önlemek için sıcak plakanın temas yüzeyi PTFE (teflon) malzeme ile kaplanır veya bu yüzeye PTFE bant yapıştırılır. PTFE bandın maksimum çalışma sıcaklığı 270 °C'dir. 270 °C'nin üzerine çıkıldığında PTFE bandın plakaya yapışmasını sağlayan yapışkan yüzeydeki yapıştırıcı yanmaktadır. Sıcak plaka kaynağı makinası, kaynatılacak parçaların şekli ve ölçülerine bağlı olarak manuel veya otomatik olarak üretim yapacak şekilde tasarlanmaktadır.

Bu kaynak yönteminde iki farklı şekilde kaynak süreci kontrol edilebilir. Bunlar şunlardır;

- 1) Basınç kontrollü kaynak
- 2) Mesafe kontrollü kaynak

Her iki kontrol yöntemi de Şekil 4.2’de gösterilen basınç-zaman diyagramındaki gibi 4 faz içerir.



Şekil 4.2 Sıcak plaka kaynağının dört aşamasını gösteren basınç-zaman grafiği (Stokes ve Conway, 2001)

Basınç kontrollü kaynak yönteminde, 1. fazda kaynatılacak parçalar sıcak plakaya temas ettirilir ve parçalarla sıcak plakanın temasını sağlamak için parçalara basınç uygulanır. Isı, sıcak plakadan kaynak parçalarına iletim yoluyla transfer edilir ve bunun sonucunda kaynak parçalarında kaynak bölgelerinde sıcaklık artışı olur. Kaynak parçaları, ergime sıcaklığına ulaştığında, ergimiş malzeme akmaya başlar. Bu ergime sayesinde kaynak parçalarının kaynak yüzeylerindeki çarpıklıklar, bozukluklar ve çukurluklar kaybolarak kaynak yüzeylerinde yumuşak bir geçiş oluşturulur.

2. fazda ergitme basıncı azaltılır ve kaynak parçalarının biraz daha geniş bölgesine ısı transferinin olmasına izin verilmektedir. Kaynak yüzeyinin alanına bağlı olarak sıcak plakanın sıcaklığı ve kaynak parçasının temas süresi (ısıtma süresi) orantılı olarak artış gösterir.

3. fazda kaynak parçalarına uygulanan basınç kaldırılır. Ardından kaynak parçaları ile sıcak plaka birbirlerinden ayrılır.

4. fazda, kaynak parçaları basınç uygulanarak birbirlerine temas ettirilir. Parçaların kaynak bölgesindeki ergimiş malzeme basıncın etkisiyle dışarıya doğru taşar. Parça, soğuyup katılaştığında taşma durur. 4. faz boyunca moleküller arası difüzyon meydana gelir. Bu difüzyon olayı, polimer zincirinin oluşmasını sağlar ve bu da moleküller arası van der waals ve kovalent bağların olmasını sağlar. Kaynak parçalarının soğurken çarpılmasını önlemek için parçaları basınç altında bir süre tutmak kritik öneme sahiptir. Aksi takdirde daha soğumasını tamamlamamış parçalar taşınırken çarpılır, difüzyon olayı tam gerçekleşmez. Bu nedenle de kaynaklı birleştirmenin mekanik özellikleri olumsuz etkilenir. 4. Fazın bitmesiyle kaynak işlemi biter.

Basınç kontrollü kaynak yönteminde basıncın istenen şekilde kontrol edilebildiği ekipmanlar gerekir. Bu yöntemin önemli dezavantajlarından biri, kaynak parçalarının kaynak sonrası final ölçülerinin kontrol edilememesidir. Çünkü ergimiş kütlenin viskozitesinin hassasiyetinden dolayı parça ölçüleri tam anlamıyla kontrol edilemez (Troughton, 2008).

Mesafe kontrollü kaynak yönteminde, sıcak plaka kaynak süreci durdurucu ekipmanların uygun pozisyonlarda ilerlemeyi durdurması ile kontrol edilir. Bu nedenle kaynak parçalarının kaynak sonrası final ölçüleri durdurucular ile sağlandığından ölçüler kontrol altındadır.

4.3.2 Sıcak Plaka Kaynağı Makinesi

Sıcak plaka kaynağı makineleri, standart kullanımlara uygun şekilde tasarlanabileceği gibi ihtiyaca göre özel olarak da tasarlanabilir. Sıcak plaka kaynağı makineleri, değiştirilebilir sıcak plaka ve kalıp sistemi sayesinde farklı türden ve farklı şekillerdeki parçaları kaynak edebilir. Ancak bu makinelerde kaynatılacak parçaların makineye manüel olarak yerleştirilmesi ve manüel olarak çıkarılması gerekmektedir. Özel tasarım makinelerde ise genellikle bir parça tipinin kaynağı için tasarım özelleşir. Yüksek üretim hacimleri için ve seri üretime uygun olması için otomatik yükleme-

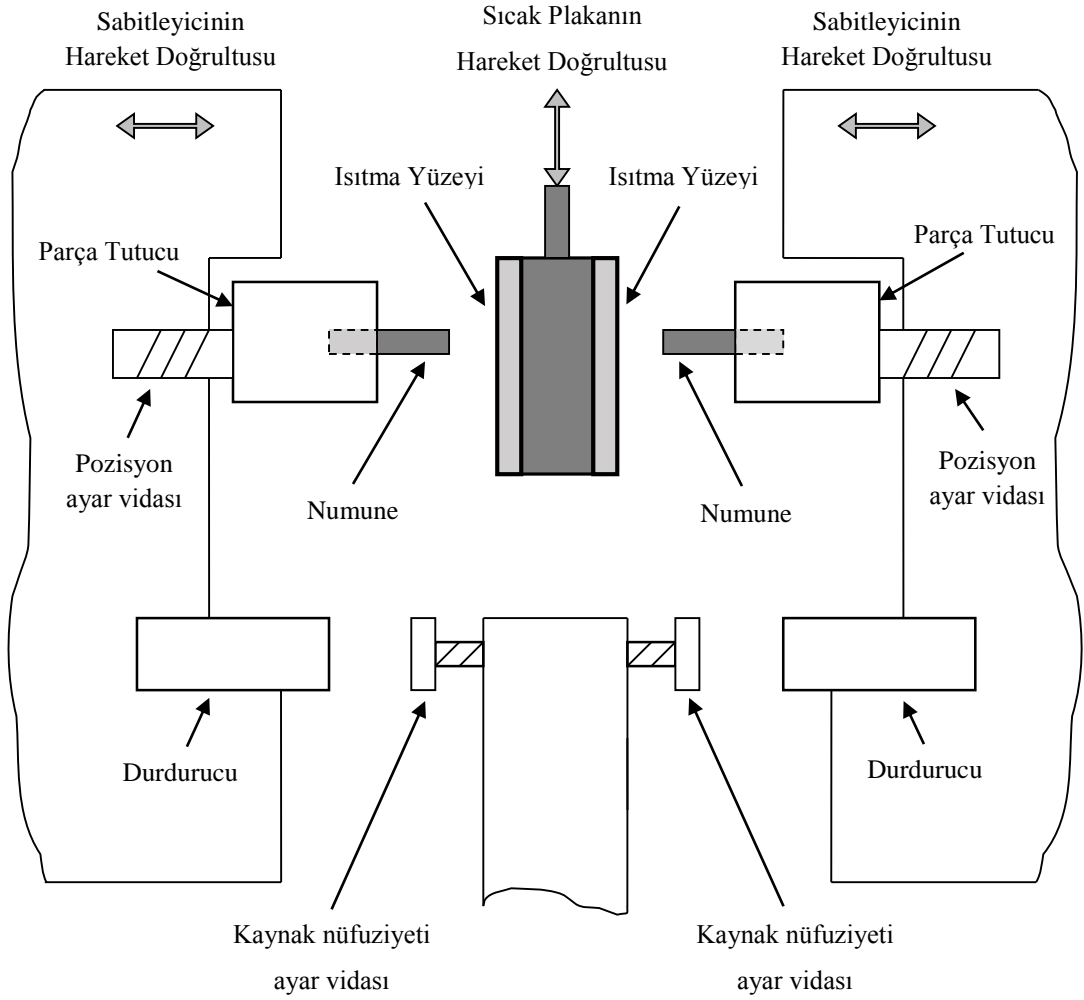
boşaltma ve otomatik işlem başlatma ve bitirme sistemleri bu makineler için daha uygundur. Bu nedenle özel kaynak makineleri, yüksek derecede otomasyon sistemleriyle donatılmaktadırlar ve bu makinelerde konveyör besleme üniteleri, otomatik parça çıkarıcılar gibi cihazlar kullanılmaktadır (Şekil 4.3).



Şekil 4.3 Sıcak plaka kaynak makinesi (Youtube, 2011)

Kaynak makinasının sıcak plakaları, genellikle ısı iletkenliği ve korozyon dayanımı yüksek olan alüminyum alaşımlarından imal edilmektedir. Bu makinelerde kaynatılacak karmaşık kaynak yüzeyi olan parçaların kaynağını gerçekleştirebilmek için bu iş parçalarının formuna uygun şekilde üretilen sıcak plakalar kullanılmaktadır.

Doğru eşleştirme ve iyi bir hizalama elde edebilmek için tutucular birleştirilecek parçaları desteklemelidir. Bu sayede kaynak sırasında parçalara uygulanan basınç nedeniyle kaynatılan parçalar deforme olmaz. Bunu sağlamak için genellikle pnömatik veya hidrolik üniteli tutucular tercih edilmektedir (Troughton, 2008).



Şekil 4.4 Sıcak plaka kaynak makinasının şematik gösterimi

Şekil 4.4’de sıcak plaka kaynağı makinasının şematik gösterimi vardır. Sıcak plaka kaynağının ilk aşamasında kaynatılacak parçalar parça tutucularına yerleştirilir ve ardından hizalanır. Durdurucuların karşısındaki kaynak nüfuziyeti ayar vidaları istenen kaynak nüfuziyetini sağlayacak şekilde ayarlanır. Ardından kaynak parçalarının birleşme bölgelerini ısıtmak amacıyla sıcak plaka parçaların birleşme yüzeylerine temas ettirilir. Sıcak plakadan parçalar temas eden kaynak yüzeylerine ısı transferinin gerçekleşmesi için parçalar ısıtma süresi boyunca temas halinde bekletilirler. Böylece parçaların birleşme yüzeylerinin ergimesi sağlanır. Ardından sıcak plaka ile parçaların teması kesilir ve parçaların ergimiş haldeki kaynak yüzeyleri birbirlerine temas ettirilir. Ergimiş malzeme, birleştirme yüzeyinden dışarıya taşar. Taşma olayı, durdurucu ile kaynak nüfuziyeti ayar vidası birbirine temas edene kadar devam eder. Kaynak bölgesinde birleşme yüzeyleri arasındaki bağların oluşması ve

kaynak bölgesinin soğuyarak rijit hale gelmesi için kaynak süresi kadar bu halde bekletilir. Bu sürenin sonunda kaynak bölgesinin soğumasıyla birlikte kaynaklı birleştirme elde edilir. Parça tutucular açılır ve kaynakla birleştirilmiş parçalar kalıptan çıkartılır (Troughton, 2008).

4.3.3 Sıcak Plaka Kaynağı Parametreleri

Sıcak plaka kaynağı yönteminin ana kaynak parametreleri, sıcak plakanın sıcaklığı, ısıtma süresi, kaynak basıncı, kaynak nüfuziyeti ve kaynak süresidir. Kaynak parametrelerinin seviyelerinin seçimi malzemedan malzemeye göre değişebilir. Örneğin düşük yoğunluktaki polietilen malzeme sıcak plaka kaynağı yöntemiyle kaynatıldığında kaynatılan parçanın kopma mukavemeti, sıcak plakanın sıcaklığından (190–290 °C) bağımsızdır. Ancak polipropilen malzeme sıcak plaka kaynağı yöntemiyle kaynatıldığında kaynatılan parçanın kopma mukavemeti, sıcak plakanın sıcaklığı 260 °C olduğunda 30 MPa olduğu, 290 °C olduğunda ise 10 MPa'dan az olduğu tespit edilmiştir (Wise, 1999).

Ergimiş bölgenin kalınlığı da kaynak dayanımını önemli ölçüde etkileyen parametrelerden biridir. Eğer ergimiş bölgenin kalınlığı, durdurucu mesafesinden küçük olursa parça ölçüleri kontrol edilemez olur ve kaynaklı birleştirmenin kalitesi moleküller arası difüzyonun az olmasından dolayı düşük olur. Ergimiş bölgenin kalınlığı, ısıtma süresi ile orantılı olarak artış gösterir. Eğer kaynak basıncı yüksek olursa ergimiş bölgedeki malzeme kaynak bölgesinin dışına daha çok fışkırır ve bu nedenle kaynaklı birleştirmenin kalitesi düşer (Troughton, 2008).

4.3.4 Sıcak Plaka Kaynağının Avantajları ve Dezavantajları

Sıcak plaka kaynağı yönteminin avantajları ve dezavantajları şunlar;

Avantajları:

- Sıcak plaka kaynağı yöntemi, basit ve ekonomik bir kaynak yöntemidir.
- Düz, eğri veya daha karmaşık geometriler bu yöntemle kaynak edilebilmektedir. Kaynak yüzeyindeki bozukluklar ısıtma fazında giderilebilmektedir.
- Farklı türdeki polimer malzemelerin ergime sıcaklıkları farklıdır. Bu yöntemde iki farklı kontrolcüye bağlı iki sıcak plaka kullanılarak ve ısıtma süresi her iki parça için de farklı ayarlanarak parçalar birbirlerine kaynatılabilmektedir.
- Bu kaynak yöntemiyle termoplastik malzemelerin çoğu kaynatılabilmektedir.
- Kaynak işleminin tüm kaynak parametreleri görüntülenebilir ve otomatik kontrol edilebilir.

Dezavantajları:

- Bu kaynak yöntemi vibrasyon kaynağı, ultrasonik kaynak gibi diğer kaynak yöntemlerinden daha uzun işlem süresine ihtiyaç duyar. İşlem süreleri küçük parçalar için 10–20 sn olabildiği gibi büyük parçalar için (geniş boru hatları gibi) 30–40 dakikaya kadar çıkabilmektedir.
- Amorf yapıda olan polimer malzemeler için camsı geçiş sıcaklığının altında ve kristalize polimerler içinse ergime sıcaklığının altında sıcaklıklara ulaşılarak parçaların kaynak yüzeylerinin ergitilmesi gerekliliği vardır.
- Eğer kaynak parçaları çok fazla ısıtılırsa kaynak parçaları sıcak plakaya yapışabilmektedir ve sıcak plaka üzerinde malzeme kalır. Bu nedenle kaynak bölgesi, kütlelerinden kaybeder ve kaynak bölgesinin ısıtma sonrası yüzey kalitesi bozulur.
- Ergimiş kütlenin viskozitesinin hassasiyetinden dolayı parça ölçüleri tam anlamıyla kontrol edilemez (Troughton, 2008).

4.3.5 Sıcak Plaka Kaynağı ile Kaynatılabilen Malzemeler

Sıcak plaka kaynak yöntemi neredeyse tüm termoplastik malzemeler için uygun bir kaynak yöntemidir. Polipropilen ve polietilen gibi termoplastik malzemelerden yapılmış parçalar bu yöntem ile kaynatılmaya uygundur. Ancak bu yöntem ile naylon ve yüksek molekül ağırlıklı malzemeler kaynatılamaz. Çünkü bu tür malzemelere ısı verildiğinde malzemeler daha çok ergir ve daha çok çarpılırlar.

Kaynak edilecek plastik parçanın ergiyik viskozitesi ve yoğunluğu, kaynak dayanımını önemli ölçüde etkilemektedir. Yüksek viskoziteli polimerler daha yüksek ısıtma sıcaklıklarına, sıcak plakaya yapışmadan ısıtılabilir. Isıdan etkilenen bölgenin fazla olması kaynaklı birleştirmenin dayanımının daha yüksek olmasına neden olmaktadır. Polimer yoğunluğunun artmasıyla beraber ise kaynaklı birleştirmenin kopma mukavemeti değerleri azalmaktadır.

İçeriğinde yüksek nem oranına sahip naylon ve polikarbonat gibi malzemelerin kaynağı sırasında içerdikleri nem su buharı olarak ortaya çıkar. Bu nedenle kaynak bölgesinde gözenek oluşur ve kaynak dayanımını önemli ölçüde azaltır. Yüksek dayanıma sahip kaynaklı birleştirme elde edebilmek için ham malzemelere ön ısıtma uygulanmalıdır.

Sıcak plaka kaynağı yöntemiyle farklı türdeki termoplastik malzemeler birbiriyle kaynaklanabilir. Bu yöntemde iki farklı kontrolcüye bağlı iki sıcak plaka kullanılarak ve ısıtma süresi her iki parça için de farklı ayarlanarak parçalar birbirlerine kaynatılabilmektedir.

4.3.6 Sıcak Plaka Kaynağı Uygulamaları

Sıcak plaka kaynak yöntemi, otomotiv sektöründe geniş bir kullanım alanına sahiptir. Örneğin araçların park lambaları ve gösterge lambalarının kaynağında bu yöntem kullanılmaktadır. Genellikle ABS (akrilonitril bütadien stiren) malzemenin üretilen far camı yuvaları ve PC (polikarbonat) malzemenin üretilen renkli far lambaları sıcak plaka kaynak yöntemiyle kaynak edilebilmektedir. Buna benzer olarak

akü muhafazaları, karbüratör şamandıraları, soğutma ve cam yıkama sıvısı hazneleri de bu yöntem kullanılarak kaynak edilmektedir (Uçar, 2013).

Otomotiv sektörünün dışındaki diğer uygulama alanları, yüksek yoğunluklu PE (polietilen) malzemedan üretilen medikal iğne kutularının, PP (polipropilen) malzemedan üretilen taşıma ve sevk paletlerinin, PVC (polivinil-klorür) malzemedan üretilen pencere çerçevelerinin sıcak plaka kaynağı yöntemiyle kaynatılarak üretilmesidir (Uçar, 2013).

BÖLÜM BEŞ

DENEY TASARIMI

5.1 Kullanılan Deney Tasarımı Yöntemleri

Çalışmada iki farklı deney tasarımı yöntemi kullanılarak deneylerin sistematik içerisinde yapılması sağlanarak elde edilen sonuçların istatistiki yöntemlerle yorumlanması sağlanmıştır. Genel tam faktöriyel deney tasarımı ve iki seviyeli tam faktöriyel deney tasarımı yöntemleri kullanılmıştır. Elde edilen sonuçların analizi için Minitab 17.1 istatistik yazılımı kullanılmıştır.

5.1.1 Genel Tam Faktöriyel Deney Tasarımı

Faktöriyel tasarımlar, bir sürece etkisi olabilecek çeşitli faktörlerin etkisini birlikte çalışmaya imkan sağlar. Bir deney yapılacağı zaman faktör seviyeleri farklılık gösterir. Farklı faktörlerin birbirleriyle olan etkileşimlerinin sonuca etkisini incelemek için genel tam faktöriyel deney tasarımları kullanılır. Çoğu süreçte etkileşimlerin sonuç üzerinde etkisi vardır (Minitab Şirketi, 2013).

Genel tam faktöriyel deney tasarımında deneysel faktörler çeşitli seviye sayılarında olabilir. Örneğin A faktörü, 2 seviyeli, B faktörü 3 seviyeli ve C faktörü 5 seviyeli olabilir. Deneysel tasarım, bu üç faktörün tüm seviyelerini ve birbirleriyle olan etkileşimlerini dikkatte alır. Genel tam faktöriyel deney tasarımları genellikle optimizasyon deneylerinde kullanılır. Çünkü optimizasyon deneylerinde faktörler farklı seviye sayılarına sahip olabilmektedir (Minitab Şirketi, 2013).

5.1.2 İki Seviyeli Tam Faktöriyel Deney Tasarımı

İki seviyeli tam faktöriyel deney tasarımında her deney faktörü sadece iki seviyeye sahip olabilir. Deneyler, tüm faktör seviyelerinin kombinasyonları gerçekleştirilerek yapılır. İki seviyeli tam faktöriyel deney tasarımları, faktör uzayının geniş bir bölgesini keşfetmeye izin vermemesine rağmen az sayıda deney yaparak faktörler ile sonuç arasındaki ilişki hakkında bilgi sahibi olmayı sağlar. Çünkü İki seviyeli tam faktöriyel

deneyler ana trendleri ayırabilir, bu sayede ileride yapılacak deneylerin hangi faktörlere kaydırılacağı tespit edilebilir. Örneğin, optimum ayarların olduğunu düşündüğünüz bir bölgeyi keşfetmeniz gerektiğinde iki seviyeli tam faktöriyel tasarımı merkezi kompozit tasarımına çevirerek deney tasarımını genişletebilirsiniz (Minitab Şirketi, 2013).

5.2 Faktör ve Faktör Seviyesi

Araştırmacılar, genellikle varyans analizinde (ANOVA) ve deney tasarımında sistematik olarak seçtikleri faktörlerin çıktı değişkenliğine etkisini belirlemek için faktörleri ve faktör seviyelerini kullanırlar. Deneylerde kullanılan girdilere faktör denir. Faktörlerin aldığı değerlere ise faktör seviyeleri denir. Deney sayısının artmaması için faktörlerin sınırlı sayıdaki seviyeleri ile çalışılabilmektedir. Faktörler kategorik değişken veya sürekli değişken şeklinde olabilir, ancak çok az sayıda kontrol edilebilen değerler deneylerde kullanılabilir (Minitab Şirketi, 2013).

5.3 Etkileşim

Bir faktörün etkisi başka bir faktörün seviyesine bağlı olmasına etkileşim denir. Mevcut etkileşimleri görmek için Minitab 17.1 yazılımında bir etkileşim grafiği çizdirilebilir. Etkileşim grafiğinde birbirlerine paralel çizgiler olduğunda etkileşim yok demektir. Çizgiler arasındaki açı farkı ne kadar büyükse o kadar güçlü etkileşim vardır. Eğer etkileşimin istatistiksel olarak belirleyici öneme sahipse etkileşim grafiği bize bunu söylemez. Etkileşim grafikleri genellikle ANOVA veya deneysel tasarım sırasında etkileşimleri görselleştirmek için kullanılır (Minitab Şirketi, 2013). Minitab 17.1 yazılımına eğer iki faktör girildiyse Minitab yazılımı tek bir etkileşim grafiği çizer, iki faktörden daha fazla sayıda faktör girildiyse etkileşim grafiklerinin matrisini çizer.

5.4 Tekrarlar

Tekrarlı deneyler bir faktörün bir seviyesiyle tekrar tekrar yapılan deneylerdir. Tekrarlar değişkenliğin kaynağını ve başka bir şeye bağlı olup olmadığını gösterir.

Faktör seviyelerinin kombinasyonları, faktör seviyelerinin kombinasyon grupları tekrarlanabilir. Deney tasarımında tekrarlı ölçümlerin aynı sonucu vereceği düşünülebilir ancak çıktı değişkenliği varsa tekrarlı ölçümlerin sonuçları arasında az da olsa fark vardır. Bu nedenle tekrarlar farklı deney koşullarının az etkisi nedeniyle oluşan varyansı (deneysel hatayı) hesaplamak için kullanılır. Deneysel hata verilerde gözlenen farklılıkların istatistiksel olarak anlamlı fark olup olmadığını belirlemek için kullanılan bir kriterdir. Deneysel değişkenliğin tamamıyla gözlenebilir ve ölçülür olduğundan emin olmak için, tekrarlar aynı deney şartlarını koruyarak rastgele yapılmalıdır. Eğer kararlı haldeki şartlar altında yapılacak deneylerin sayısı çoksa tekrarlar bloklanarak blok halinde tekrar deneyleri yapılabilir. Bloklama, deneysel hatadan bağımsız olarak bloğun etkilerini belirlemeyi sağlar (Minitab Şirketi, 2013).

Deneysel tasarımın tekrar sayısını belirlerken aşağıdaki hususlar dikkate alınır:

- 1) Çıktıya etki eden ana faktörlerin hangi faktörler olduğunu tespit etmeyi sağlayan görüntüleme tasarımlarında çok sayıdaki faktör seti nedeniyle yapılması gereken deney sayısı fazla olduğu için deneyler tekrarsız yapılabilir.
- 2) Eğer bir tahminleme modeli oluşturulmaya çalışılıyorsa çoklu tekrarlar modelin tahmin gücünü arttıracaktır.
- 3) Eğer çok fazla veri varsa, küçük etkiler veya sabit bir boyutun etkisinin daha güçlü olduğu tespit edilebilir.
- 4) Elinizdeki imkanların kısıtlı olması deneylerin tekrar sayısını belirler. Örneğin, deney oldukça pahalıysa deneyi sadece 1 kere yapabilirsiniz (Minitab Şirketi, 2013).

5.5 Sıcak Plaka Kaynağına Etki Eden Faktörler

Sıcak plaka kaynağı yöntemiyle polimerlerin kaynaklanmasında kaynaklı birleştirmenin kaynak dayanımına etkiden eden faktörler aşağıda belirtilmiştir.

- 1) Malzeme (Malzeme tipi, molekül ağırlığı, monomer yapısı, katkıları vb.)
- 2) Sıcak plakanın sıcaklığı
- 3) Isıtma süresi
- 4) Kaynak basıncı
- 5) Kaynak Nüfuziyeti
- 6) Kaynak Süresi

5.6 Deneilerde Kullanılan Polipropilen Malzemelerin Teknik Özellikleri

Deneilerde saf polipropilen, % 10, %20, %30 ve %40 talk dolgulu polipropilen ve %40 kalsit dolgulu polipropilen kullanılmıştır.

5.6.1 Saf Polipropilen

Deneilerde saf polipropilen olarak Petkim Petrokimya Holding A.Ş.'nin homopolimer yapısındaki PETOPLen® MH 418 NATUREL isimli ürünü kullanılmıştır. Bu çalışmada bu ürünün kısa kodu MH 418 olarak belirlenmiştir. Ürünün teknik özellikleri Tablo 5.1'de verilmiştir.

Tablo 5.1 PETOPLen® MH 418'in teknik özellikleri (Petkim Petrokimya Holding Anonim Şirketi, 2014)

Üretici	Petkim Petrokimya Holding A.Ş.
Ürün kodu	PETOPLen® MH 418 NATUREL
Kısa kodu	MH 418
Yoğunluğu (g/cm ³)	0,905 (±0,015)
Akma Mukavemeti (MPa) (ASTM D-638)	35
Kopma Mukavemeti (MPa) (ASTM D-638)	43
Sertlik (R-Scale)	94

5.6.2 %10, %20, %30 ve %40 Talk Dolgulu Polipropilen

Deneylerde Emaş Plastik San. ve Tic. A.Ş.'nin homopolimer yapısındaki EMOPLen® serisi talk dolgulu polipropilen malzemeleri kullanılmıştır. Ürünlerin teknik özellikleri Tablo 5.2'de verilmiştir.

Tablo 5.2 EMOPLen® HP MTF serisi malzemelerin teknik özellikleri (Emaş Plastik Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketi, 2014b,c,d)

Üretici	Emaş Plastik San. ve Tic. A.Ş.			
Ürün kodu	EMOPLen® HP MTF 10 NATUREL	EMOPLen® HP MTF 20 NATUREL	EMOPLen® HP MTF 30 NATUREL	EMOPLen® HP MTF 40 NATUREL
Kısa kodu	PPT 10	PPT 20	PPT 30	PPT 40
Katkı Oranı (%)	10 (± 1)	20 (± 1)	30 (± 1)	40 (± 1)
Yoğunluğu (g/cm ³)	0,975 (±0,015)	1,055 (±0,025)	1,160 (±0,020)	1,260 (±0,020)
Maksimum Çekme Dayanımı (MPa) (50 mm/dk)	≥ 20	≥ 25	20-35	≥ 25
Kopmadaki Uzaması (%) (50 mm/dk)	≥ 5	≥ 5	≥ 4	≥ 3
Sertlik (Shore-D)	71 (±4)	71,5 (±3,5)	72 (±5)	73,5 (±3,5)

5.6.3 %40 Kalsit Dolgulu Polipropilen

Deneylerde Emaş Plastik San. ve Tic. A.Ş.'nin homopolimer yapısındaki EMOPLen® serisi %40 kalsit dolgulu polipropilen malzemesi kullanılmıştır. Ürünün teknik özellikleri Tablo 5.3'de verilmiştir.

Tablo 5.3 EMOPLen® HP MCF 40 malzemenin teknik özellikleri (Emaş Plastik Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketi, 2014a)

Üretici	Emaş Plastik San. ve Tic. A.Ş.
Ürün kodu	EMOPLen® HP MCF 40 NATUREL
Kısa kodu	PPC 40
Katkı Oranı (%)	40 (± 1)
Yoğunluğu (g/cm ³)	1,265 (±0,025)
Maksimum Çekme Dayanımı (MPa) (50 mm/dk)	≥ 15
Kopmadaki Uzaması (%) (50 mm/dk)	≥ 12
Sertlik (Shore-D)	71 (±4)

5.7 Kaynaksız Numunelerin Çekme Deneylerinin Tasarımı

Kaynaksız haldeki çekme numunelerinin maksimum çekme mukavemetleri ile sıcak plaka kaynağı ile kaynatılmış numunelerin kaynak mukavemetlerini karşılaştırmak için çalışmada kullanılan 6 farklı malzemenin maksimum çekme dayanımlarının bulunması gerekmektedir.

Üzerinde çalıştığımız malzemeler şunlardır:

- 1) Saf polipropilen (MH 418)
- 2) %10 talk dolgulu polipropilen (PPT 10)
- 3) %20 talk dolgulu polipropilen (PPT 30)
- 4) %30 talk dolgulu polipropilen (PPT 30)
- 5) %40 talk dolgulu polipropilen (PPT 40)
- 6) %40 talk dolgulu polipropilen (PPC 40)

5.8 Görüntüleme Deneyleri

Görüntüleme deneyleri, çıktı üzerinde etkisi olduğu düşünülen faktörlerin farklı seviyelerinin deneyleri yapılarak çıktı üzerindeki etkisini görmeyi sağlayan deneylerdir.

5.8.1 %10 Talk Dolgulu Polipropilenin Görüntüleme Deneyleri

Dolgulu polipropilenin sıcak plaka kaynağı mukavemetine etki ettiği düşünülen faktörlerin mukavemet üzerindeki etkilerini görmek ve diğer deney malzemelerinin deneysel faktör seviyelerini belirlemek için %10 talk dolgulu polipropilen ile çalışmaya başlanmıştır.

Bu çalışmada, plaka sıcaklığı, ısıtma süresi ve kaynak nüfuziyeti parametrelerinin kaynak numunesinin maksimum çekme mukavemeti üzerine etkisi araştırılmıştır.

Kaynak parametrelerinden kaynak süresinin 30 saniye ve altında olduğunda kaynak bölgesi soğuyup rijitliğini kazanmadan baskı çeneleri uzaklaştığından dolayı kaynak

numunelerinin kaynak bölgesinden eğildiği görülmüştür. Bu nedenle kaynak numunelerinin dayanımının azalmasını önlemek için kaynak süresini 90 saniye olarak sabitlenmiştir. Böylece kaynak süresinin kaynak mukavemeti üzerindeki etkisini minimize edilmiştir.

5.8.1.1 %10 Talk Dolgulu Polipropilenin Plaka Sıcaklığı ve Isıtma Süresi Deneylerinin Tasarımı

Plaka sıcaklığının 8 farklı seviyesi ve ısıtma süresinin 2 farklı seviyesi kullanılarak 3 tekrarlı genel tam faktöriyel deney tasarımı yapılmıştır. Bu deney tasarımında kaynak nüfuziyeti 1 mm ve kaynak süresi 90 saniye olarak sabitlenmiştir (Tablo 5.4).

Tablo 5.4 %10 talk dolgulu polipropilenin plaka sıcaklığı ve ısıtma süresi deneylerinin parametreleri ve seviyeleri

Kaynak Parametresi	Plaka Sıcaklığı	Isıtma Süresi	Kaynak Nüfuziyeti	Kaynak Süresi
Faktör Sembolü	PS	IS	KN	KS
Birim	°C	s	mm	s
Seviye 1	180	25	1	90
Seviye 2	200	50		
Seviye 3	220			
Seviye 4	240			
Seviye 5	260			
Seviye 6	280			
Seviye 7	300			
Seviye 8	320			

5.8.1.2 %10 Talk Dolgulu Polipropilenin Kaynak Nüfuziyeti Deneylerinin Tasarımı

Kaynak nüfuziyetinin 7 farklı seviyesi kullanılarak 3 tekrarlı genel tam faktöriyel deney tasarımı yapılmıştır. Bu deney tasarımında plaka sıcaklığı 240 °C, ısıtma süresi 25 saniye ve kaynak süresi 90 saniye olarak sabitlenmiştir (Tablo 5.5).

Tablo 5.5 %10 talk dolgulu polipropilenin kaynak nüfuziyeti deneylerinin parametreleri ve seviyeleri

Kaynak Parametresi	Plaka Sıcaklığı	Isıtma Süresi	Kaynak Nüfuziyeti	Kaynak Süresi
Faktör Sembolü	PS	IS	KN	KS
Birim	°C	s	mm	s
Seviye 1	240	25	0,25	90
Seviye 2			0,5	
Seviye 3			1	
Seviye 4			1,5	
Seviye 5			2	
Seviye 6			2,5	
Seviye 7			3	

5.8.1.3 %10 Talk Dolgulu Polipropilenin Isıtma Süresi Deneylerinin Tasarımı

Isıtma süresinin 7 farklı seviyesi kullanılarak 3 tekrarlı genel tam faktöriyel deney tasarımı yapılmıştır. Bu deney tasarımında plaka sıcaklığını 240 °C, kaynak nüfuziyeti 1 mm ve kaynak süresi 90 saniye olarak sabitlenmiştir (Tablo 5.6).

Tablo 5.6 %10 talk dolgulu polipropilenin ısıtma süresi deneylerinin parametreleri ve seviyeleri

Kaynak Parametresi	Plaka Sıcaklığı	Isıtma Süresi	Kaynak Nüfuziyeti	Kaynak Süresi
Faktör Sembolü	PS	IS	KN	KS
Birim	°C	s	mm	s
Seviye 1	240	10	1	90
Seviye 2		20		
Seviye 3		30		
Seviye 4		40		
Seviye 5		50		
Seviye 6		60		
Seviye 7		70		

5.9 Saf Polipropilenin, %10, %20, %30 ve %40 Talk Dolgulu Polipropilenlerin Sıcak Plaka Kaynağı Deneylerinin Tasarımı

%10 talk dolgulu polipropilen kullanılarak yapılan görüntüleme deneylerinin sonuçlarına göre saf polipropilen, %10, %20, %30 ve %40 talk dolgulu polipropilenler için kaynak parametrelerinin optimizasyonu yapılmıştır.

Plaka sıcaklığının ve ısıtma süresinin 2 farklı seviyesi kullanılarak 3 tekrarlı iki seviyeli tam faktöriyel deney tasarımı yapılmıştır. Bu deney tasarımında kaynak

nüfuziyeti 1mm ve kaynak süresi 90 saniye olarak sabitlenmiştir. %10 talk dolgulu polipropilen ile yapılan görüntüleme deneylerinde maksimum çekme dayanımı 1mm kaynak nüfuziyeti ile elde edildiği için kaynak nüfuziyeti 1mm olarak sabitlenmiştir (Tablo 5.7).

Tablo 5.7 Saf polipropilen, %10, %20, %30 ve %40 talk dolgulu polipropilenlerin plaka sıcaklığı ve ısıtma süresi deneylerinin parametreleri ve seviyeleri

Kaynak Parametresi	Plaka Sıcaklığı	Isıtma Süresi	Kaynak Nüfuziyeti	Kaynak Süresi
Faktör Sembolü	PS	IS	KN	KS
Birim	°C	s	mm	s
Seviye 1	240	30	1	90
Seviye 2	260	50		

5.10 Polipropilen Karışımının Talk Oranının Kaynak Mukavemetine Etkisi

Bölüm 5.8'deki çekme testlerinin sonuçları, polipropilen karışımlarının talk oranları dikkate alınarak birleştirilmiştir. Bu sayede talk oranının, plaka sıcaklığının ve ısıtma süresinin kaynak mukavemeti üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Bu birleştirmeye genel tam faktöriyel deney tasarımına uygun bir deney tasarımı elde edilmiştir (Tablo 5.8).

Tablo 5.8 Polipropilen karışımlarında talk oranı, plaka sıcaklığı ve ısıtma süresi deneylerinin parametreleri ve seviyeleri

Kaynak Parametresi	Plaka Sıcaklığı	Isıtma Süresi	Kaynak Nüfuziyeti	Kaynak Süresi	Talk Oranı
Faktör Sembolü	PS	IS	KN	KS	TO
Birim	°C	s	mm	s	%
Seviye 1	240	30	1	90	0
Seviye 2	260	50			10
Seviye 3					20
Seviye 4					30
Seviye 5					40

5.11 %40 Kalsit Dolgulu Polipropilenin Sıcak Plaka Kaynağı Deneylerinin Tasarımı

Talk dolgulu polipropilenlerin kaynaklarında 1 mm olarak sabitlenen kaynak nüfuziyetinin optimum değerinin, kalsit dolgulu polipropilen malzeme ile yaptığımız deneylerde değişebileceği görülmüştür. Bu nedenle kaynak nüfuziyeti de deney faktörü olarak alınmıştır.

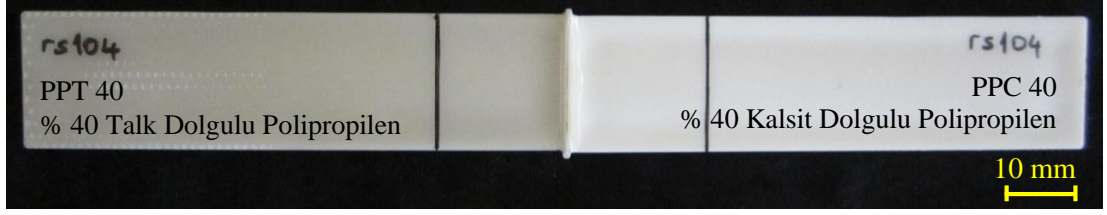
Plaka sıcaklığının 2 farklı seviyesi, ısıtma süresinin 2 farklı seviyesi ve kaynak nüfuziyetinin 3 farklı seviyesi kullanılarak 3 tekrarlı genel tam faktöriyel deney tasarımı yapılmıştır. Bu deney tasarımında kaynak süresi 90 saniye olarak sabitlenmiştir (Tablo 5.9).

Tablo 5.9 %40 kalsit dolgulu polipropilenin plaka sıcaklığı, ısıtma süresi ve kaynak nüfuziyeti deneylerinin parametreleri ve seviyeleri

Kaynak Parametresi	Plaka Sıcaklığı	Isıtma Süresi	Kaynak Nüfuziyeti	Kaynak Süresi
Faktör Sembolü	PS	IS	KN	KS
Birim	°C	s	mm	s
Seviye 1	240	30	0,2	90
Seviye 2	260	50	0,6	
Seviye 3			1	

5.12 %40 Talk Dolgulu Polipropilen ve %40 Kalsit Dolgulu Polipropilen Malzemelerin Birbiriyle Sıcak Plaka Kaynağı Deneylerinin Tasarımı

%40 talk dolgulu polipropilenin optimum kaynak parametreleri sol plakanın ayarlarına ve %40 kalsit dolgulu polipropilenin optimum kaynak parametreleri de sağ plakanın ayarlarına girerek 2 farklı malzemeyi birbiri ile 10 tekrarlı olarak kaynatılmıştır (Şekil 5.1 ve Tablo 5.10).



Şekil 5.1 %40 talk dolgulu polipropilen ile %40 kalsit dolgulu polipropilen malzemelerin birbirleriyle sıcak plaka kaynağı

Tablo 5.10 %40 talk dolgulu polipropilen ile %40 kalsit dolgulu polipropilen malzemelerin birbirleriyle sıcak plaka kaynağında kullanılan optimum parametre seviyeleri

Plaka Konumu	Sol Plaka	Sağ Plaka
Malzeme	%40 talk dolgulu polipropilen	%40 kalsit dolgulu polipropilen
Malzeme Kodu	PPT 40	PPC 40
Plaka Sıcaklığı (°C)	260	260
Isıtma Süresi (s)	30	30
Kaynak Nüfuziyeti (mm)	1	1
Kaynak Süresi (s)	90	90

BÖLÜM ALTI

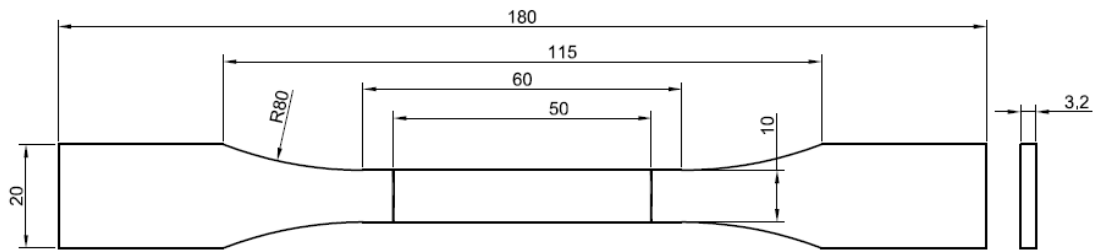
DENEY NUMUNELERİNİN ÜRETİMİ

6.1 Plastik Enjeksiyon Yöntemiyle Numune Üretimi

Granül şeklinde tedarik edilen saf polipropilenden, %10, %20, %30 ve %40 talk dolgulu polipropilenden ve %40 kalsit dolgulu polipropilenden plastik enjeksiyon yöntemi kullanılarak kaynaklı çekme numuneleri ve kaynak numuneleri üretilmiştir. Kaynaklı çekme numunelerinin ve kaynak numunelerinin üretimi Ege Üniversitesi Meslek Yüksekokulu Lastik ve Plastik Teknolojisi Laboratuvarındaki plastik enjeksiyon makinasında yapılmıştır.

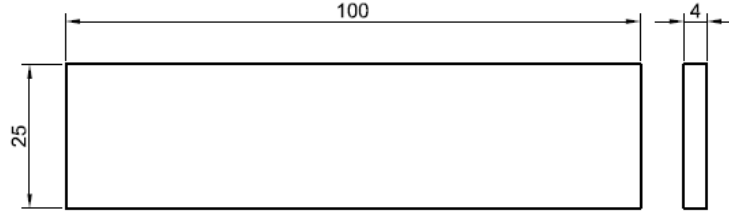
Kaynaklı çekme numunelerinin üretimi ve kaynak numunelerinin üretimi için iki ayrı kalıp kullanılmıştır.

Kaynaklı çekme numunelerinin ve kaynak numunelerinin plastik enjeksiyon yöntemiyle üretiminde EN ISO 294 “Plastikler - Termoplastik malzemelerden enjeksiyon kalıplama ile deney parçalarının hazırlanması - Bölüm 1: Genel prensipler ve çok amaçlı çubuk deney parçalarının kalıplanması” standardı kullanılmıştır. Numune ölçüleri, EN ISO 527 “Plastikler-Çekme özelliklerinin tayini - Bölüm 1: Genel prensipler” standardına göre belirlenmiştir. Kaynaklı çekme numunelerinin ölçüleri Şekil 6.1’de belirtilmiştir.



Şekil 6.1 Kaynaklı çekme numunesinin ölçüleri (mm cinsindedir.)

Sıcak plaka kaynağı deneylerinde kullanmak için ürettiğimiz kaynak numunesinin ölçüleri Şekil 6.2’de belirtilmiştir.



Şekil 6.2 Kaynak numunesinin ölçüleri (mm cinsindedir.)

Numunelerin plastik enjeksiyon yöntemiyle üretiminde öncelikle ham madde plastik enjeksiyon makinesinin besleyici kısmına aktarılmıştır. Besleyici kısımdaki granüller besleyicinin çıkış kapağı açılarak sonsuz vidanın dönmesiyle ısıtıcı ünitesine aktarılmıştır. Üç bölümden oluşan ısıtıcı ünitesinin her bölümün sıcaklığı ayrı ayrı ayarlanabilmektedir. Petkim Petrokimya ve Emaş Plastik firmalarının ürettikleri ham maddeler için önerdikleri ısıtıcı bölge sıcaklıkları ve ütleme basınçları Tablo 6.1’de gösterilmiştir.

Tablo 6.1 Plastik enjeksiyon numune üretim parametreleri (Petkim Petrokimya Holding A.Ş., 2013; Emaş Plastik San. ve Tic. A.Ş., 2014)

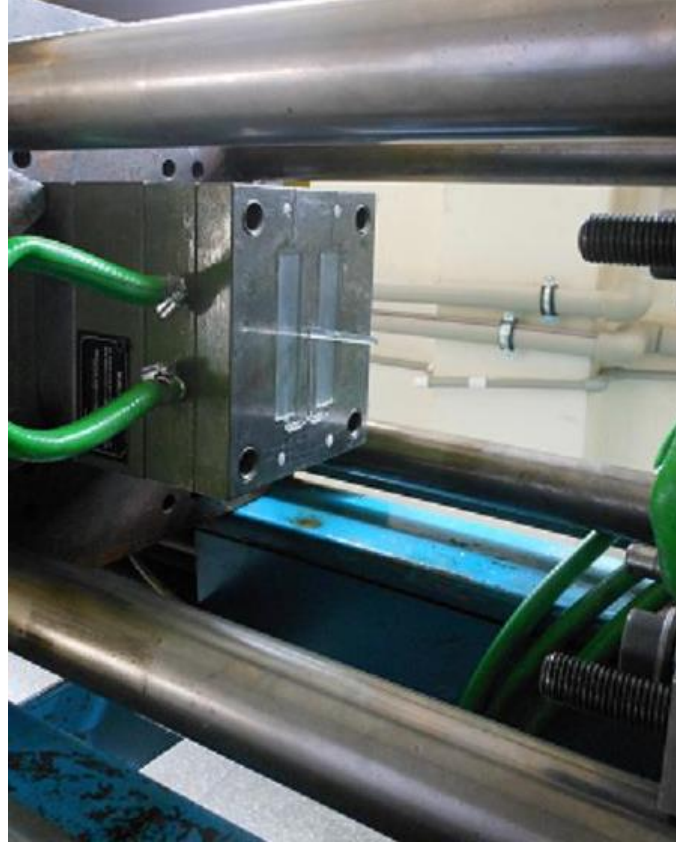
Malzeme	Sıcaklık (°C)				Ütleme basıncı (bar)	
	1. Bölge	2. Bölge	3. Bölge	Meme	P ₁	P ₂
Saf PP	210	215	220	220	20	30
% 10 talk dolgulu PP	210	215	220	220	20	30
% 20 talk dolgulu PP	210	215	220	220	20	30
% 30 talk dolgulu PP	220	225	230	230	30	40
% 40 talk dolgulu PP	220	225	230	230	30	40
% 40 kalsit dolgulu PP	220	225	230	230	30	40

Isıtıcı ünitesinden geçerek ergiyen ham madde, daha sonra enjeksiyon ünitesinin son bölgesi olan meme bölgesine aktarılmıştır. Mengene ünitesi tarafından bir araya getirilen kalıp içerisine meme bölgesinde ergimiş halde bulunan ham madde kalıbın şeklini alması için kalıp içerisine enjekte edilmiştir (Şekil 6.3).



Şekil 6.3 Numune üretiminde enjeksiyon aşaması

Ergimiş malzemenin kalıp içerisinde bekleme süresi 30 saniye olarak ayarlanmıştır. Malzeme kalıp içerisinde soğuyup katılaştıktan sonra kalıp otomatik olarak açılmıştır ve kalıp yarılarının birbirinden ayrılmasının ardından itici pimler yardımıyla deney numunesi şeklindeki parçalar kalıptan çıkartılmıştır (Şekil 6.4). Numunelerin çapakları dikkatli şekilde temizlenmiştir ve deneyde kullanmaya hazır hale getirilmiştir.

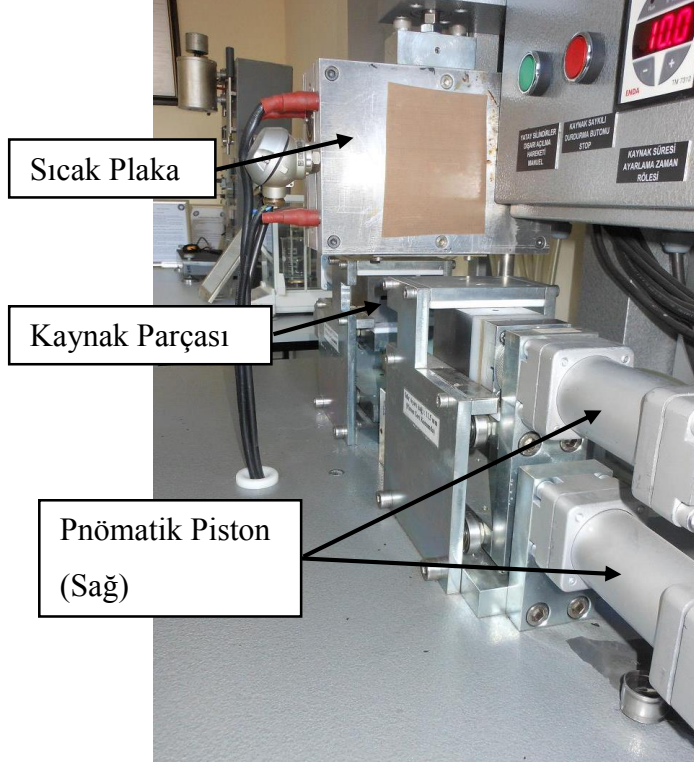


Şekil 6.4 Numunenin kalıptan ayrılma aşaması

6.2 Sıcak Plaka Kaynağı ile Numune Üretimi

Plastik enjeksiyon yöntemi kullanılarak üretilen kaynak numuneleri sıcak plaka kaynağı yöntemiyle birbirlerine çifter olarak kaynatılmıştır. Bu kaynaklı birleştirme yönteminde plaka sıcaklığı, ısıtma süresi, kaynak nüfuziyeti parametre olarak kullanılmıştır. Daha sonra kaynatılmış numunelerin kaynak mukavemetini ölçmek için çekme testi uygulanmıştır. Parametrelerin kaynak mukavemeti üzerindeki etkisini daha iyi görmek için genel tam faktöriyel ve iki seviyeli tam faktöriyel deney tasarımları kullanılmıştır. Kaynaklı parçaların kaynağı, Ege Üniversitesi Meslek Yüksekokulu Lastik ve Plastik Teknolojisi Laboratuvarındaki sıcak plaka kaynak makinasında yapılmıştır.

Sıcak plaka kaynağı yöntemiyle kaynatılacak parçalar kaynak numunesi üretmek için özel tasarlanmış Şekil 6.5’de gösterilen sıcak plaka kaynak makinası ile kaynatılmıştır.



Şekil 6.5 Sıcak plaka kaynak makinesi parçaları

Deneyde kullanılan parametrelerin uygun seviyeleri deney sırasına göre makinenin nümerik kontrol panosuna girilmiştir (Şekil 6.6).



Şekil 6.6 Sıcak plaka kaynak makinesinin nümerik kontrol panosu

BÖLÜM YEDİ

TEST SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Bu çalışmada kaynaklı ve kaynaklı çekme numunelerin çekme testleri yapılmıştır. Standartlara göre hazırlanmış çekme numunesi belirli bir hız ve sabit sıcaklıkta çekilerek malzemenin ve kaynaklı numunelerin mekanik özellikleri araştırılmıştır.

Yaptığımız çekme testlerinin sonucunda kaynaklı numunelerin maksimum çekme dayanımları ve yüzde uzama değerleri, kaynaklı çekme numunelerinin maksimum çekme dayanımları bulunmuştur.

7.1 Üniversal Test Makinası

Tüm çekme deneyleri, 23 ± 1 °C ortam sıcaklığında 5 mm/dakika çekme hızıyla Dokuz Eylül Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümü Mekanik Laboratuvarındaki Shimadzu marka 100 kN üniversal test makinasında gerçekleştirilmiştir (Şekil 7.1).



Şekil 7.1 Shimadzu marka üniversal test makinası

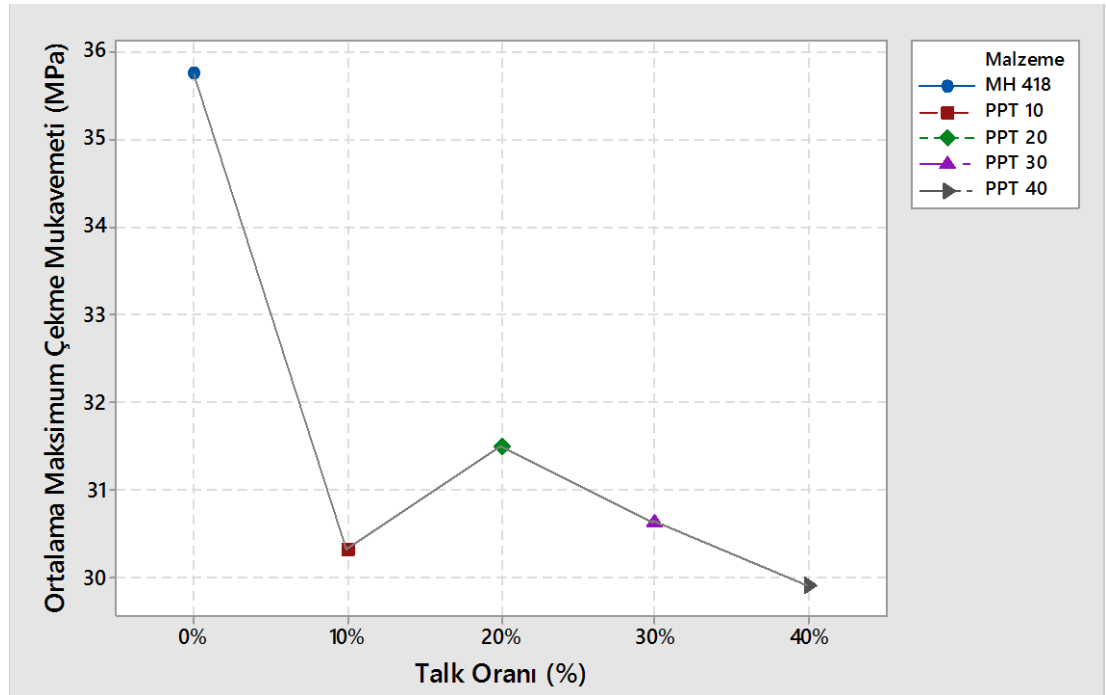
7.2 Kaynaksız Numunelerin Çekme Testlerinin Sonuçları

Kaynaksız numunelerin çekme testlerinin sonucunda, malzemelerin maksimum çekme dayanımları ve yüzde uzama değerleri hesaplanmıştır (Tablo 7.1).

Tablo 7.1 Kaynaksız numunelerin çekme testlerinin sonuçları

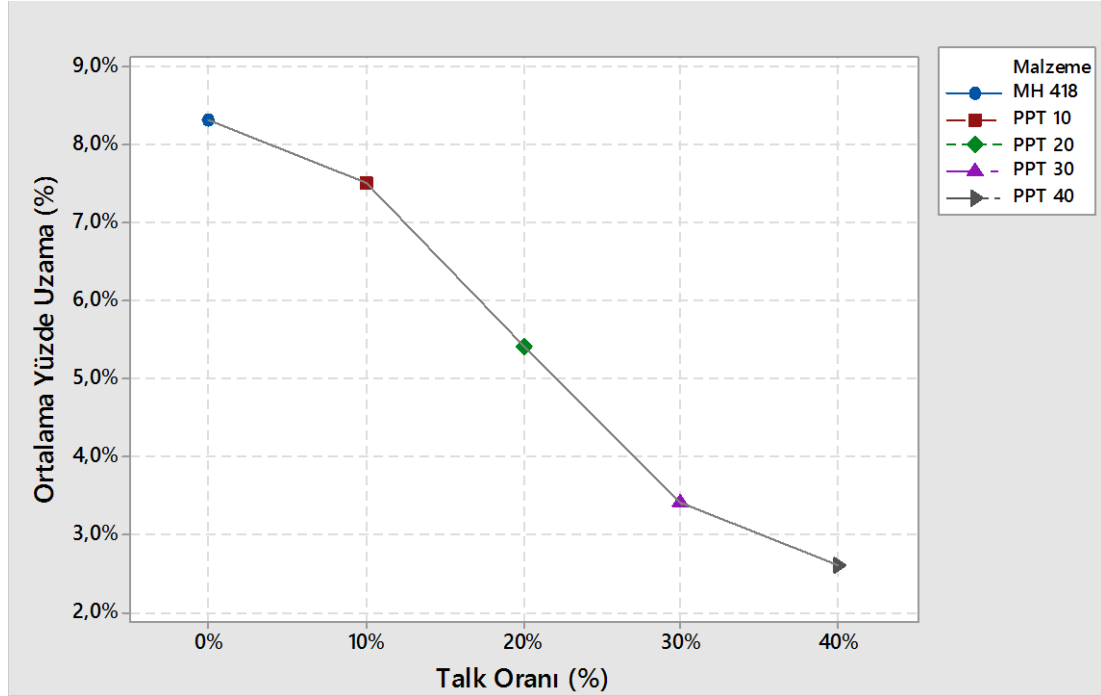
	Saf Polipropilen	Dolgulu Polipropilen				
		Talk Dolgulu				Kalsit Dolgulu
Malzeme Kodu	MH 418	PPT 10	PPT 20	PPT 30	PPT 40	PPC 40
Dolgu Oranı (%)	% 0	% 10	% 20	% 30	% 40	% 40
Maksimum Çekme Dayanımı (MPa)	35,74	30,32	31,49	30,62	29,91	20,51
Yüzde uzama (%)	% 8,3	% 7,5	% 5,4	% 3,4	% 2,6	% 2,7

Saf polipropilenin maksimum çekme mukavemeti, talk içeren polipropilen karışımlarının her birinin maksimum çekme mukavemetinden daha yüksek çıkmıştır. Talk dolgulu polipropilen malzemelerin içinde %20 talk dolgulu polipropilen en yüksek maksimum çekme dayanımına sahip olduğu görülmüştür (Şekil 7.2).



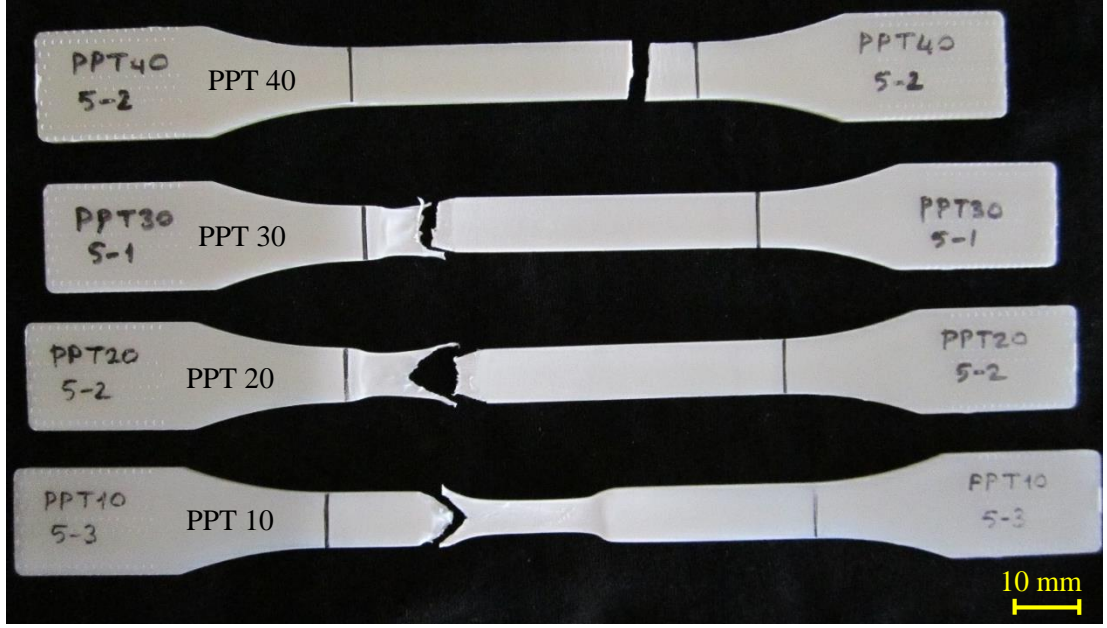
Şekil 7.2 Talk oranına bağlı olarak ortalama maksimum çekme mukavemetinin çizgi grafiği

Polipropilen karışımının talk oranı arttıkça yüzde uzama değeri giderek azalmaktadır (Şekil 7.3).



Şekil 7.3 Talk oranına bağlı olarak ortalama yüzde uzamanın çizgi grafiği

Karışımın talk oranı arttıkça karışımın gevrekliği artmaktadır. Örneğin Şekil 7.4’de görüldüğü gibi %40 talk dolgulu polipropilen (PPT 40), %10 talk dolgulu polipropilenden (PPT 10) daha gevreklerdir. PPT 40’ın çekme deneyi sonrasında kırılma yüzeyi doğrusal iken, PPT 10’un ve PPT 20’nin kırılma yüzeyi V harfi şeklinde ortaya çıkmıştır (Şekil 7.5 ve Şekil 7.6).



Şekil 7.4 Çekme test sonrasında malzemelerin kopma görüntüleri (PPT 10, PPT 20, PPT 30, PPT 40)



Şekil 7.5 %20 talk dolgulu polipropilen çekme numunesinin çekme testi sonrası kopma yüzeyleri



Şekil 7.6 %40 talk dolgulu polipropilen çekme numunesinin çekme testi sonrası kopma yüzeyleri

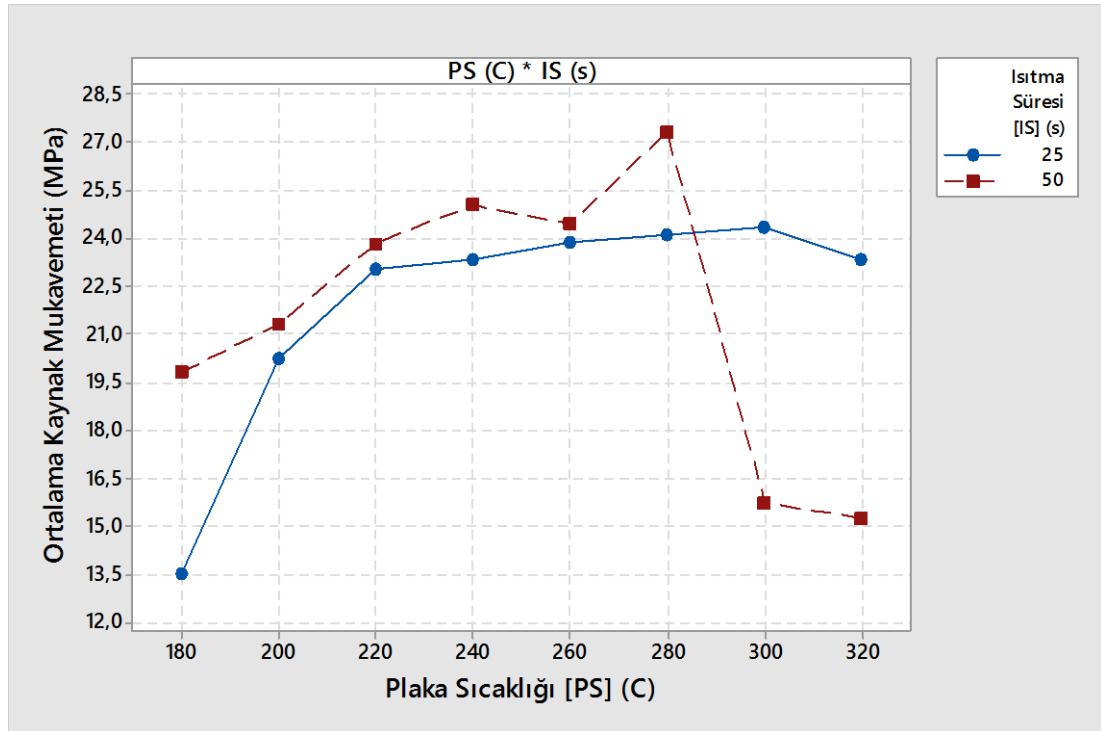
Çekme testlerinin sonucunda, %40 talk dolgulu polipropilenin (PPT 40) maksimum çekme dayanımı, %40 kalsit dolgulu polipropilenin (PPC 40) maksimum çekme dayanımından daha yüksek çıkmıştır (Tablo 7.1). Çekme testlerinde PPC 40'ın PPT 40'dan daha sünek olduğu gözlemlenmiştir.

7.3 %10 Talk Dolgulu Polipropilen Malzemenin Sıcak Plaka Kaynak Parametreleri Görüntüleme Deneylerinin Çekme Testlerinin Sonuçları

Dolgulu polipropilen malzemenin kaynak parametrelerinin maksimum çekme dayanımı üzerindeki etkisini görmek için yaptığımız görüntüleme deneyleri 3 grup olarak gerçekleştirilmiştir. Bu nedenle çekme testleri de 3 grup olarak yapılmıştır.

7.3.1 %10 Talk Dolgulu Polipropilenin Plaka Sıcaklığı ve Isıtma Süresi Deneylerinin Çekme Testlerinin Sonuçları

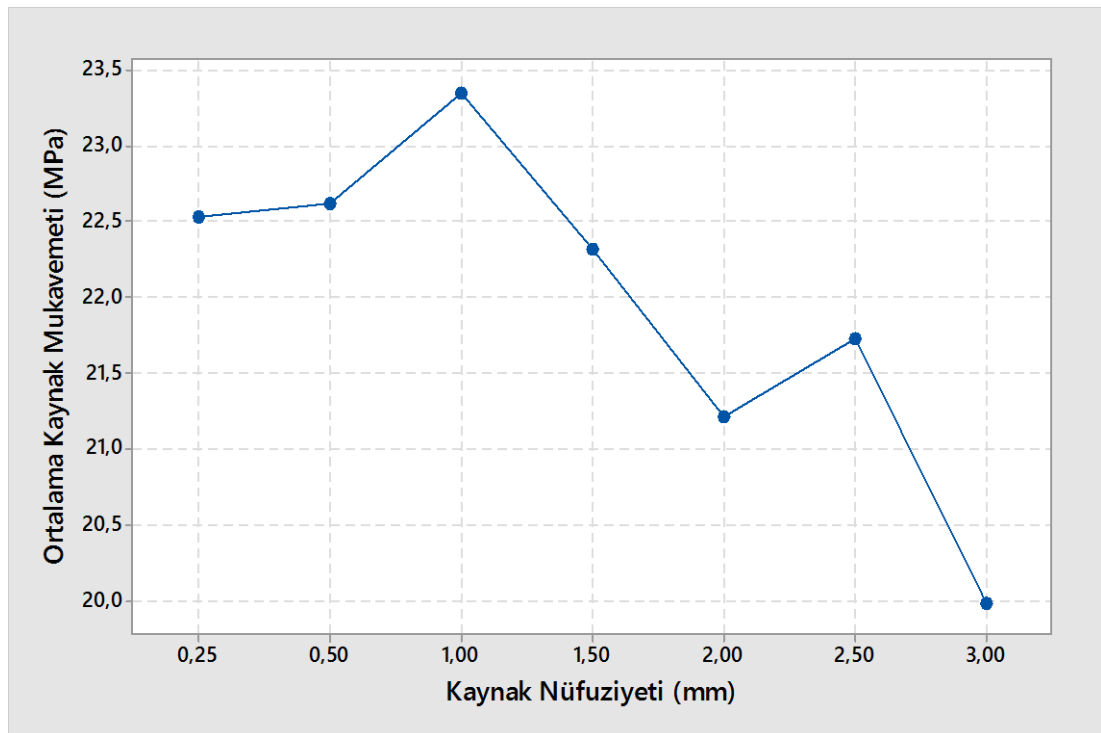
Yapılan çekme testlerinin sonucunda plaka sıcaklığı 280 °C'ye kadar arttığında ve ısıtma süresi 25 saniye yerine 50 saniye olduğunda kaynak mukavemetinin arttığı görülmüştür. Plaka sıcaklığı 300 °C ve 320 °C olduğunda ve ısıtma süresi de 50 saniye olduğunda kaynak mukavemeti çok düşmüştür. En yüksek kaynak mukavemeti, plaka sıcaklığı 280 °C ve ısıtma süresi 50 saniye olduğunda ortalama 27,34 MPa olarak elde edilmiştir. Plaka sıcaklığı 280 °C olduğunda plakaya polimer malzemenin yapışmasını önleyen plaka yüzeyindeki teflon kaplama bozulmaktadır. Teflonun bozulma sıcaklığı 270 °C olduğu için teknolojik imkansızlık nedeni ile plaka sıcaklığını 280 °C yaparak parça üretimi yapmak mümkün olmamaktadır. 280 °C'den sonra en yüksek kaynak mukavemeti, plaka sıcaklığının 240 °C ve ısıtma süresinin 50 saniye olduğu durumda ortalama olarak 25,03 MPa elde edilmiştir (Şekil 7.7).



Şekil 7.7 %10 talk dolgulu polipropilenin plaka sıcaklığı ve ısıtma süresi bağlı olarak ortalama kaynak mukavemetinin etkileşim grafiği

7.3.2 %10 Talk Dolgulu Polipropilenin Kaynak Nüfuziyeti Deneylerinin Çekme Testlerinin Sonuçları

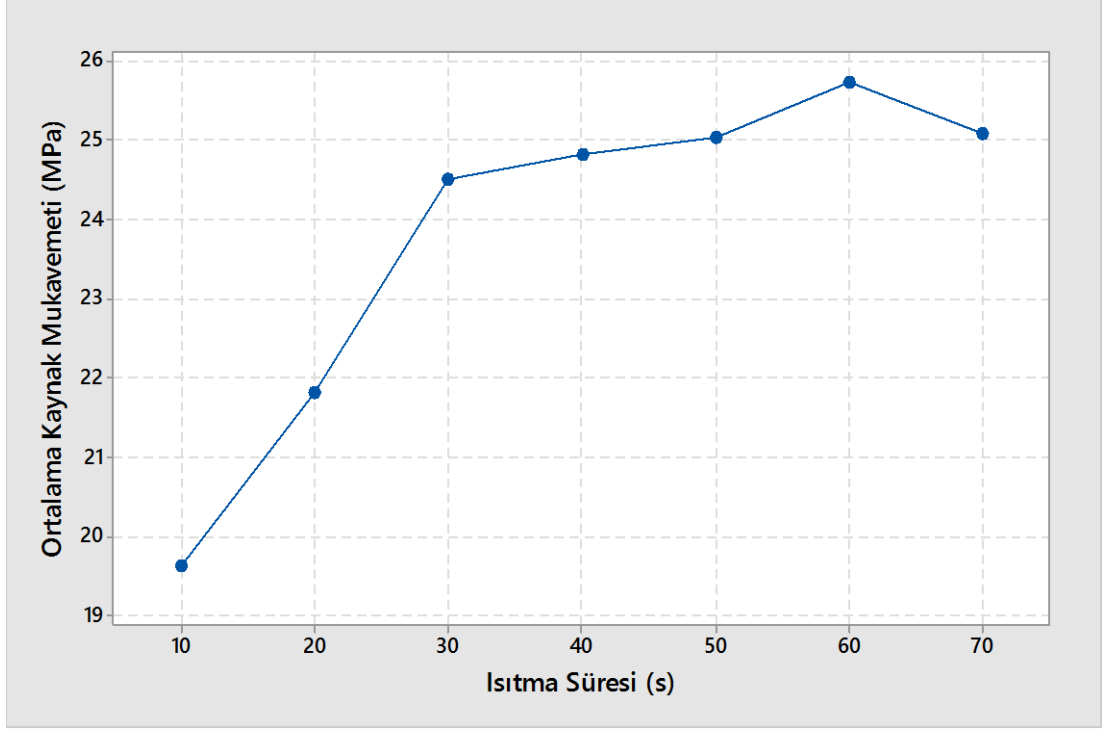
Yapılan çekme testlerinin sonucunda 1 mm'ye kadar kaynak nüfuziyeti arttırıldıkça kaynak mukavemetinin arttığı, 1 mm seviyesinde en yüksek kaynak mukavemetinin elde edildiği ve 1 mm'den daha büyük seviyelerde genel olarak kaynak mukavemetinin azaldığı görülmüştür. Bu nedenle devamında yapılan diğer kaynak deneylerinde kaynak nüfuziyeti 1 mm olarak sabitlenmiştir (Şekil 7.8).



Şekil 7.8 %10 talk dolgulu polipropilenin kaynak nüfuziyetine bağlı olarak ortalama kaynak mukavemetinin çizgi grafiği

7.3.3 %10 Talk Dolgulu Polipropilenin Isıtma Süresi Deneylerinin Çekme Testlerinin Sonuçları

Isıtma süresi 30 saniye oluncaya kadar kaynak mukavemeti hızla artmaktadır. Isıtma süresi 30 saniyeden daha büyük olduğunda daha düşük bir artış hızıyla artmaktadır (Şekil 7.9). Bu nedenle devamında yapılan diğer kaynak deneylerinde ısıtma süresinin seviyeleri, 30 ve 50 saniye olarak 2 seviyeli seçilmiştir.



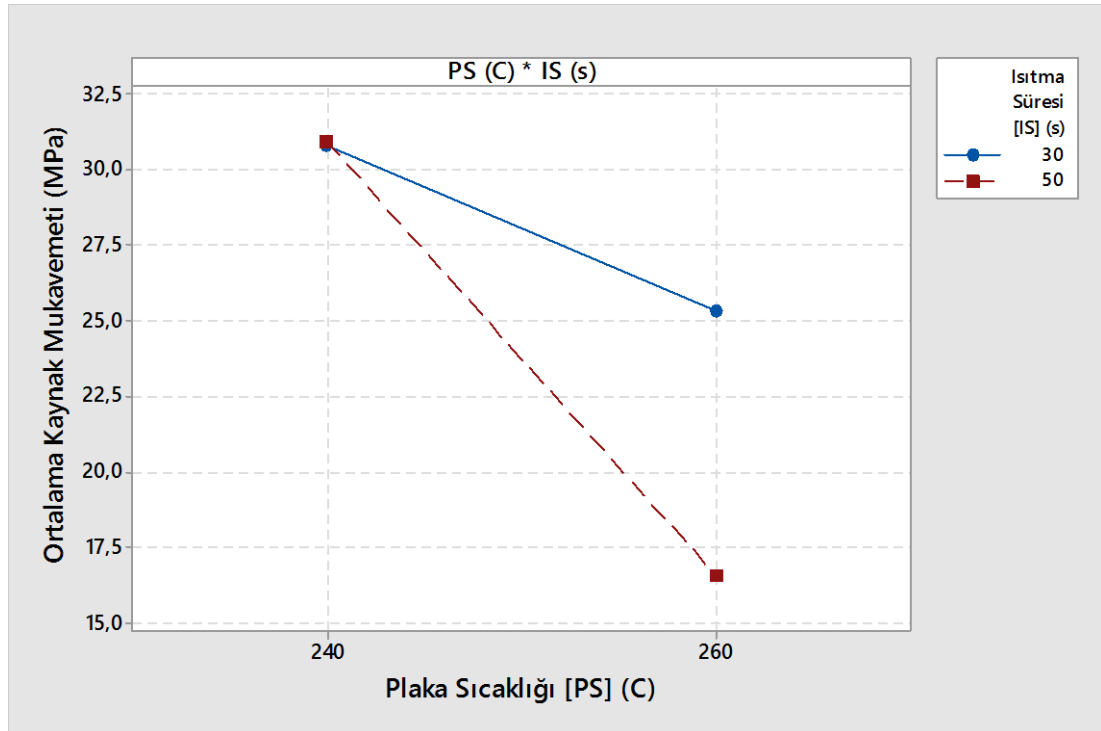
Şekil 7.9 %10 talk dolgulu polipropilenin ısıtma süresine bağlı olarak ortalama kaynak mukavemetinin çizgi grafiği

7.4 Saf Polipropilen, %10, %20, %30 ve %40 Talk Dolgulu Polipropilen Malzemelerin Plaka Sıcaklığı ve Isıtma Süresi Deneylerinin Çekme Testlerinin Sonuçları

Kaynak parametrelerinin optimizasyonunu yaptığımız bu deneylerde %10 talk dolgulu polipropilen ile yaptığımız görüntüleme deneylerinin test sonuçlarından yararlanılmıştır. Test sonuçlarından yola çıkarak devam niteliğindeki parametre optimizasyonu deneylerinin faktörlerini ve faktör seviyelerini belirlenmiştir. Bu nedenle saf polipropilen, %10, %20, %30 ve %40 talk dolgulu polipropilen malzemelerin kaynak parametrelerinin maksimum çekme dayanımı üzerindeki etkisini görmek için yaptığımız parametre optimizasyonu deneyleri her malzeme için ayrı ayrı deney tasarımı olarak gerçekleştirilmiştir.

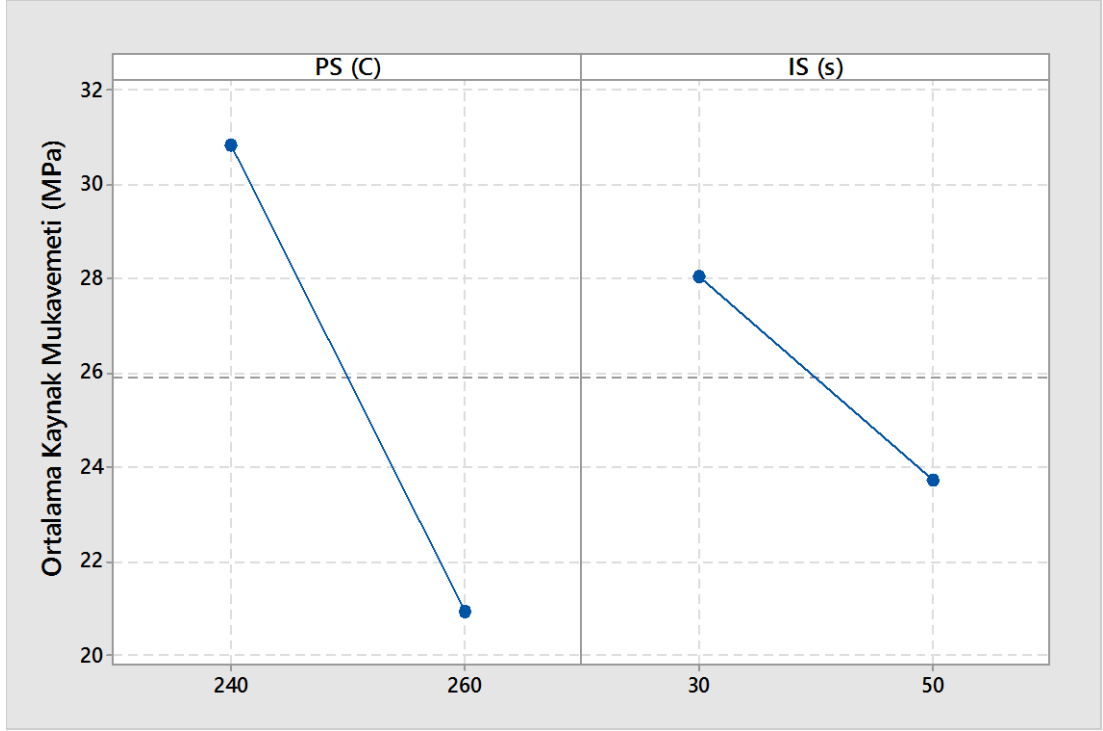
7.4.1 Saf Polipropilenin Plaka Sıcaklığı ve Isıtma Süresi Deneylerinin Çekme Testlerinin Sonuçları

Yapılan çekme testlerinin sonucunda plaka sıcaklığı 240 °C olduğunda 260 °C'ye göre kaynak mukavemetinin arttığı görülmüştür. Isıtma süresi 30 saniye veya 50 saniye ve plaka sıcaklığı 240 °C olduğunda kaynak mukavemeti en yüksek değerlere ulaşmaktadır. Plaka sıcaklığı 260 °C ve ısıtma süresi 50 saniye olduğunda kaynak mukavemeti oldukça düşmektedir. En yüksek kaynak mukavemeti, plaka sıcaklığı 240 °C ve ısıtma süresi 30-50 saniye olduğunda sırasıyla ortalama 30,80 MPa ve 30,93 MPa olarak elde edilmiştir (Şekil 7.10).



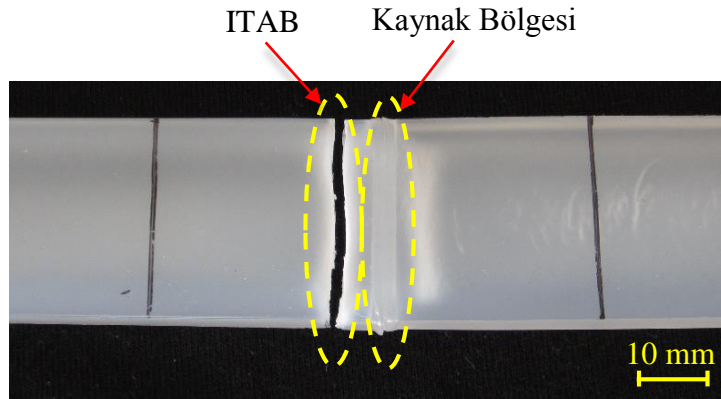
Şekil 7.10 Saf polipropilenin plaka sıcaklığı ve ısıtma süresine bağlı olarak ortalama kaynak mukavemetinin etkileşim grafiği

Minitab'te ana etkiler grafiği (main effects plot) çizdirildiğinde kaynak mukavemeti üzerinde plaka sıcaklığının ve ısıtma süresinin etkisi görülmektedir. Plaka sıcaklığı ve ısıtma süresi düştüğünde kaynak mukavemetinin arttığı tespit edilmiştir (Şekil 7.11).



Şekil 7.11 Saf polipropilenin ortalama kaynak mukavemetinin plaka sıcaklığı ve ısıtma süresine bağlı olarak ana etkiler grafiği

Optimum kaynak parametreleriyle kaynatılan saf polipropilen kaynaklı çekme çubuklarından biri kaynak yüzeyinden değil, ısı tesiri altındaki bölgeden (ITAB) kopmuştur. Bu nedenle kaynaklı birleştirmenin kaynak mukavemetinin, yeterince iyi olduğu söylenebilir.

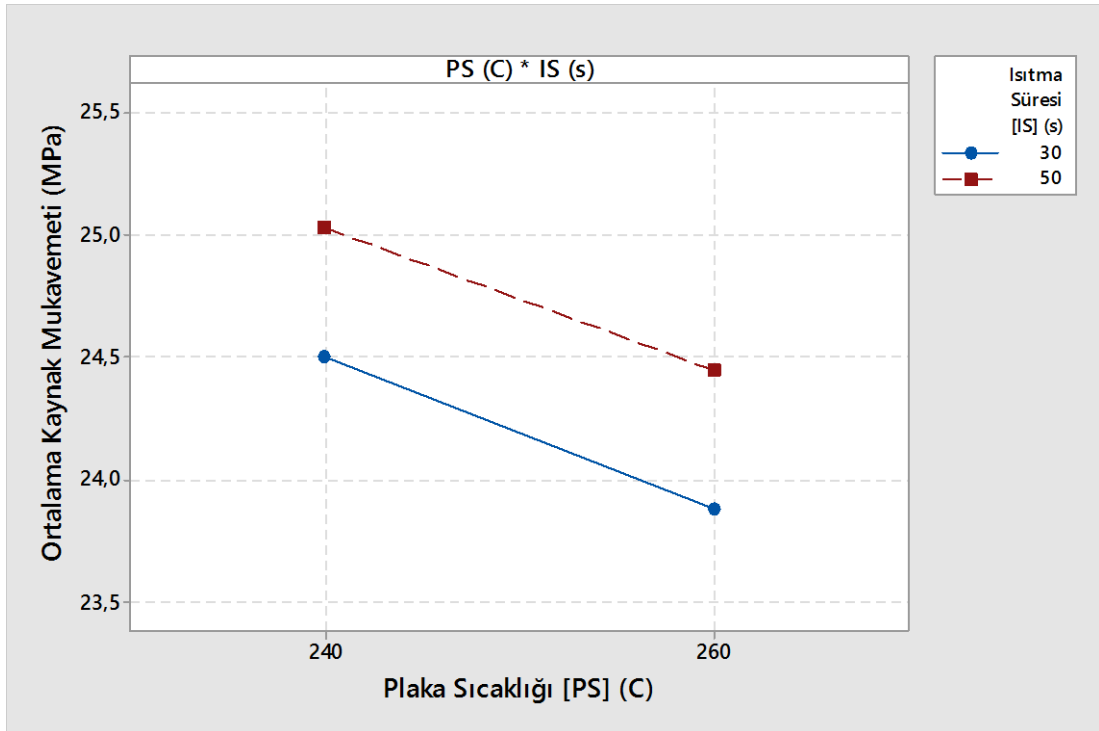


Şekil 7.12 Optimum kaynak parametreleriyle kaynatılan saf polipropilen numunesi

7.4.2 %10 Talk Dolgulu Polipropilenin Plaka Sıcaklığı ve Isıtma Süresi Deneylerinin Çekme Testlerinin Sonuçları

Görüntüleme deneylerinin sonuçları ve görüntüleme deneylerinin deney tasarımı 2 seviyeli tam faktöriyel deney tasarımına dönüştürünce eksik olan deneylerin test sonuçları bir araya getirilerek diğer malzemeler ile karşılaştırabilmeyi sağlayacak 2 seviyeli tam faktöriyel deney tasarımı yapılmıştır.

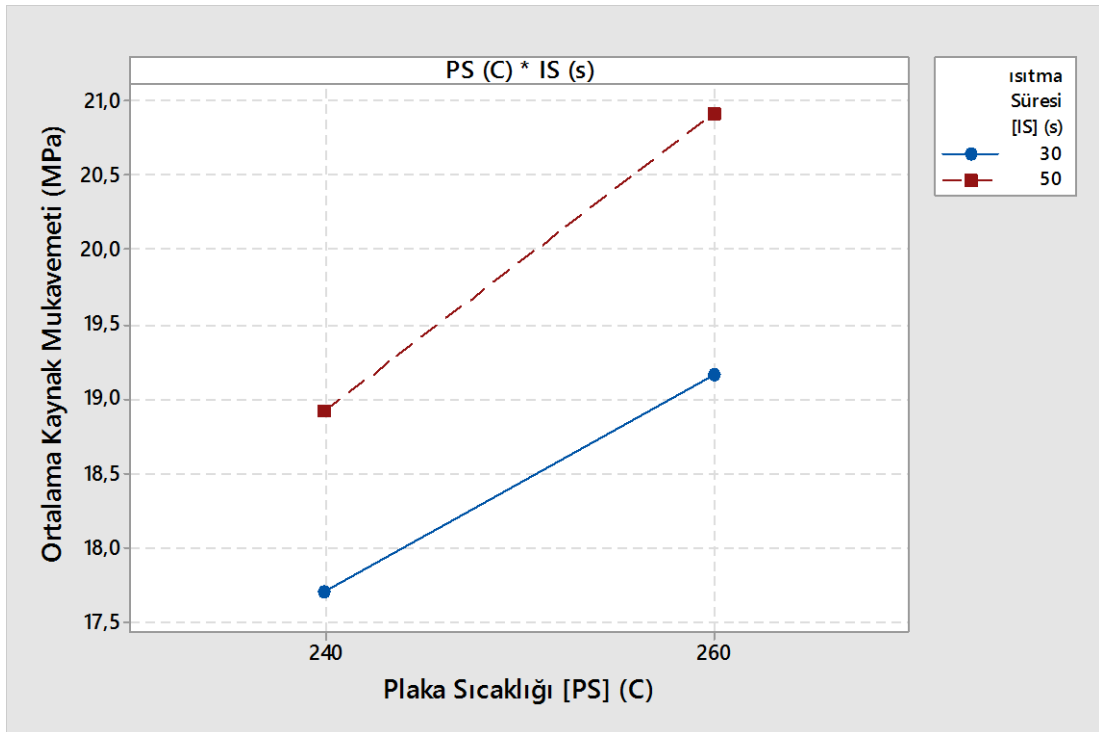
Bölüm 7.3.1’de belirtilen test sonuçlarından yararlanarak 2 seviyeli tam faktöriyel deney tasarımında plaka sıcaklığı 240 °C ve ısıtma süresi 50 saniye olduğunda ortalama en yüksek mukavemet değeri 25,03 MPa olarak elde edilmiştir. En düşük kaynak mukavemeti, plaka sıcaklığı 260 °C ve ısıtma süresi 30 saniye olduğunda ortaya çıkmaktadır.



Şekil 7.13 %10 talk dolgulu polipropilenin plaka sıcaklığı ve ısıtma süresine bağlı olarak ortalama kaynak mukavemetinin etkileşim grafiği

7.4.3 %20 Talk Dolgulu Polipropilenin Plaka Sıcaklığı ve Isıtma Süresi Deneylerinin Çekme Testlerinin Sonuçları

Yapılan çekme testlerinin sonucunda plaka sıcaklığı 260 °C olduğunda 240 °C'ye göre kaynak mukavemetinin arttığı görülmüştür. Benzer şekilde ısıtma süresi 30 saniyeden 50 saniyeye çıkartıldığında kaynak mukavemeti artmaktadır. Ortalama en yüksek kaynak mukavemeti, plaka sıcaklığı 260 °C ve ısıtma süresi 50 saniye olduğunda 20,92 MPa olarak elde edilmiştir. En düşük kaynak mukavemeti plaka sıcaklığı 240 °C ve ısıtma süresi 30 saniye olduğunda elde edilmiştir (Şekil 7.14).

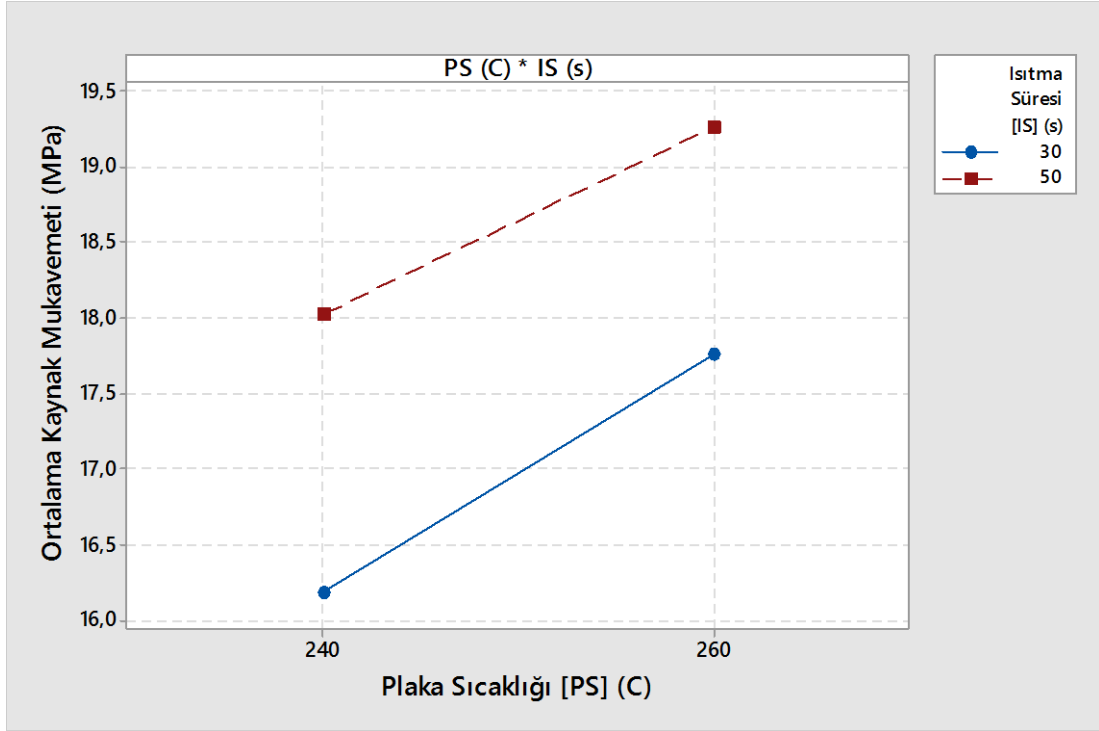


Şekil 7.14 %20 talk dolgulu polipropilenin plaka sıcaklığı ve ısıtma süresine bağlı olarak ortalama kaynak mukavemetinin etkileşim grafiği

7.4.4 %30 Talk Dolgulu Polipropilenin Plaka Sıcaklığı ve Isıtma Süresi Deneylerinin Çekme Testlerinin Sonuçları

Yapılan çekme testlerinin sonucunda plaka sıcaklığı 260 °C olduğunda 240 °C'ye göre kaynak mukavemetinin arttığı görülmüştür. Benzer şekilde ısıtma süresi 30 saniyeden 50 saniyeye çıkartıldığında kaynak mukavemeti artmaktadır. Bu durum,

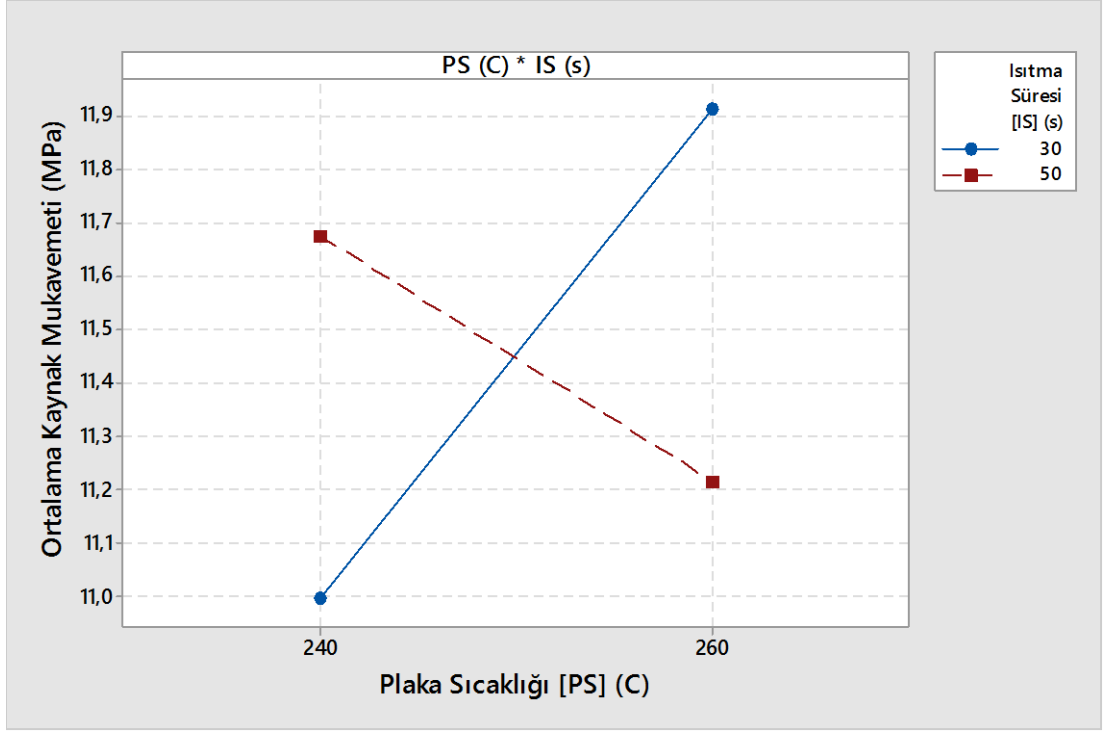
benzer şekilde %20 talk dolgulu polipropilen çalışmalarında da görülmüştür. Ortalama en yüksek kaynak mukavemeti, plaka sıcaklığı 260 °C ve ısıtma süresi 50 saniye olduğunda 19,27 MPa olarak elde edilmiştir. En düşük kaynak mukavemeti plaka sıcaklığı 240 °C ve ısıtma süresi 30 saniye olduğunda elde edilmiştir (Şekil 7.15).



Şekil 7.15 %30 talk dolgulu polipropilenin plaka sıcaklığı ve ısıtma süresine bağlı olarak ortalama kaynak mukavemetinin etkileşim grafiği

7.4.5 %40 Talk Dolgulu Polipropilenin Plaka Sıcaklığı ve Isıtma Süresi Deneylerinin Çekme Testlerinin Sonuçları

Çekme testlerinin ortalama en yüksek kaynak mukavemeti, plaka sıcaklığı 260 °C ve ısıtma süresi 30 saniye olduğunda 11,91 MPa olarak elde edilmiştir. En düşük kaynak mukavemeti plaka sıcaklığı 240 °C ve ısıtma süresi 30 saniye olduğunda elde edilmiştir (Şekil 7.16).



Şekil 7.16 %40 talk dolgulu polipropilenin plaka sıcaklığı ve ısıtma süresine bağlı olarak ortalama kaynak mukavemetinin etkileşim grafiği

7.5 Polipropilen Karışımının Talk Oranının Kaynak Mukavemetine Etkisi

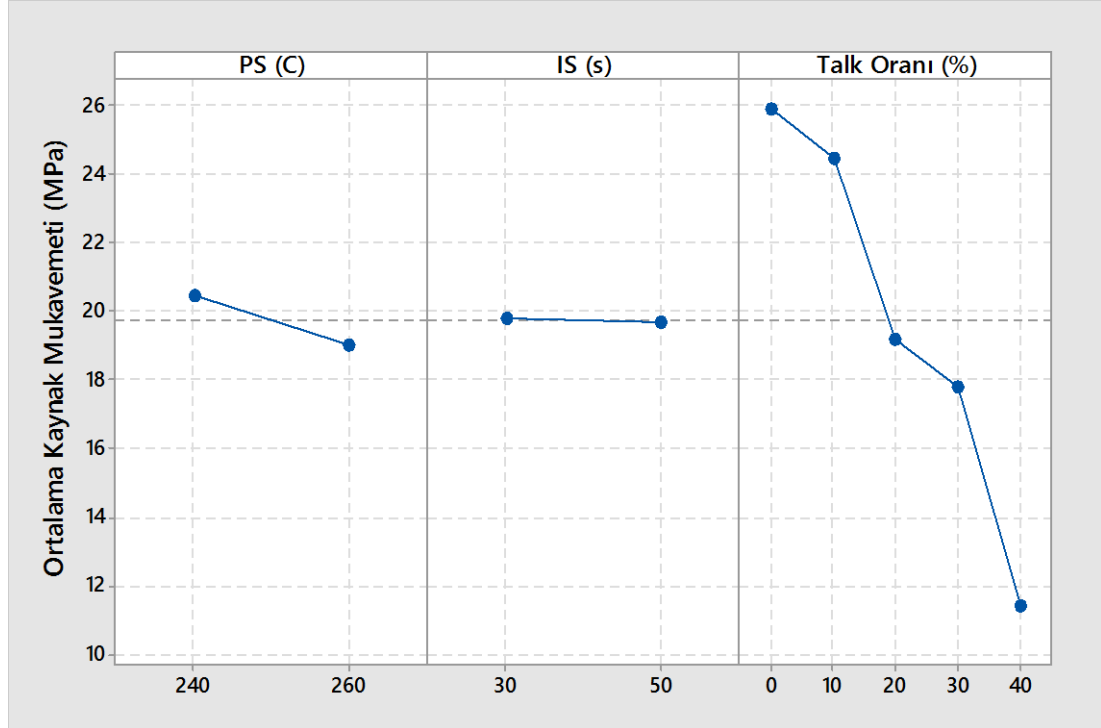
Bölüm 7.4'deki çekme testlerinin sonuçları karışımların talk oranlarını dikkate alarak birleştirilmiştir. Bu sayede talk oranının, plaka sıcaklığının ve ısıtma süresinin kaynak mukavemeti üzerindeki etkisini görmek amaçlanmıştır. Yapılan birleştirme ile genel tam faktöriyel deney tasarımına uygun bir deney tasarımı elde edilmiştir.

Tablo 7.2'de saf polipropilen, % 10, % 20, % 30 ve % 40 talk dolgulu polipropilen malzemelerinin çekme testi sonuçları birleştirilmiştir.

Tablo 7.2 Saf polipropilen ve talk dolgulu polipropilen karışımlarının optimum kaynak parametre seviyeleri ve kaynak mukavemetleri

Malzeme Kodu	MH 418	PPT 10	PPT 20	PPT 30	PPT 40
Talk Oranı (%)	0	10	20	30	40
Plaka Sıcaklığı (°C)	240	240	260	260	260
Isıtma Süresi (s)	50	50	50	50	30
Kaynak Nüfuziyeti (mm)	1	1	1	1	1
Kaynak Süresi (s)	90	90	90	90 s	90
Kaynak Mukavemeti (MPa)	30,93	25,03	20,92	19,27	11,91

Kaynak mukavemetine etkisi en çok olan faktör, karışımın talk oranıdır. Karışımın talk oranı arttıkça kaynak mukavemetinin düştüğü görülmektedir (Şekil 7.17).



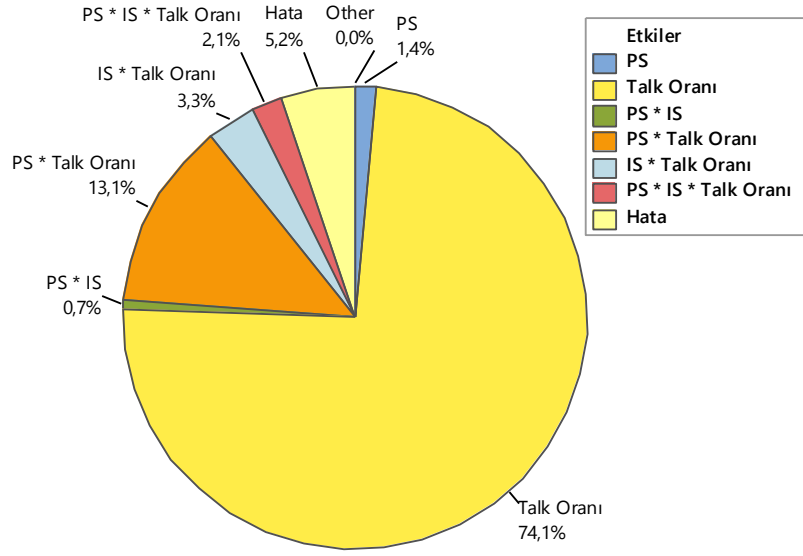
Şekil 7.17 Kaynak mukavemetinin plaka sıcaklığı, ısıtma süresi ve talk oranına bağlı olarak ana etkiler grafiği

Minitab yazılımında varyans analizi (ANOVA) yaparak faktörlerin ve faktörlerin birbirleriyle olan etkileşimlerinin kaynak mukavemetine etkisi hesaplanmıştır. Artıkların karesi (square of residuals) % 94,77 olarak hesaplanmıştır. Bu, kaynak mukavemetine etki eden faktörlerin ve faktör etkileşimlerinin kaynak mukavemeti üzerindeki etkisinin % 94,77 olduğu anlamına gelmektedir. Faktör olarak ele alıp deneyde kullanmadığımız ve gürültü olarak kontrol edemediğimiz faktörlerin toplam etkisi (hata oranı) %5,23'tür. Deney tasarımlarında çıktıya etki ettiği düşünülerek deney tasarımına faktör olarak eklenen girdilerin çıktıyı en az %90 oranında tanımlaması beklenir. Deneylerin sonucunda elde edilen %94,77 oranı literatürde güvenilir değer olarak kabul edilmektedir (Roy, 1990). Bu nedenle %94,77 oranı, iyi bir orandır (Şekil 7.18).

Factor Information						
Factor	Levels	Values				
PS (C)	2	240; 260				
IS (s)	2	30; 50				
Talk Oranı (%)	5	0; 10; 20; 30; 40				
Analysis of Variance						
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	
Model	19	2041,05	107,423	38,19	0,000	
Linear	6	1626,69	271,115	96,37	0,000	
PS (C)	1	30,89	30,887	10,98	0,002	
IS (s)	1	0,22	0,220	0,08	0,781	
Talk Oranı (%)	4	1595,58	398,896	141,80	0,000	
2-Way Interactions	9	368,39	40,932	14,55	0,000	
PS (C)*IS (s)	1	15,11	15,115	5,37	0,026	
PS (C)*Talk Oranı (%)	4	281,60	70,400	25,03	0,000	
IS (s)*Talk Oranı (%)	4	71,67	17,919	6,37	0,000	
3-Way Interactions	4	45,96	11,491	4,08	0,007	
PS (C)*IS (s)*Talk Oranı (%)	4	45,96	11,491	4,08	0,007	
Error	40	112,53	2,813			
Total	59	2153,57				
Model Summary						
	S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)		
	1,67725	94,77%	92,29%	88,24%		

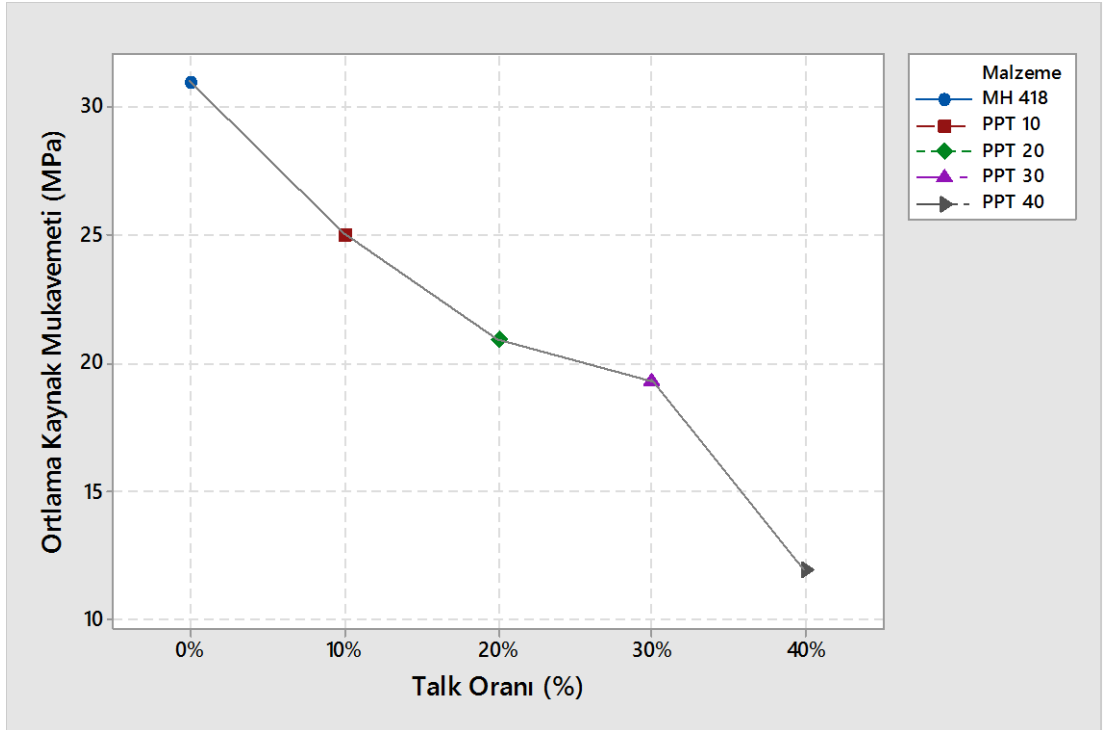
Şekil 7.18 Varyans analizi ve modelin güvenirligi

Kaynak mukavemetinin değişkenliğinin % 74,1'i talk oranının etkisinden kaynaklanmaktadır. Bu nedenle kaynak mukavemetine en çok etki eden faktör, yani ana etki, talk oranıdır. Kaynak mukavemetinin değişkenliğine en çok etkisi olan 2. etki, %13,1 etki oranıyla talk oranı ve plaka sıcaklığının etkileşimidir (Şekil 7.19).



Şekil 7.19 Kaynak mukavemetine etki eden parametrelerin etki güçlerinin dağılımı

Kaynak mukavemetinin değişkenliğinin ana etkisi talk oranı olduğu için talk oranına bağlı kaynak mukavemeti grafiğini çizdiğimizde talk oranı arttıkça kaynak mukavemetinin düştüğünü görülmektedir (Şekil 7.20).

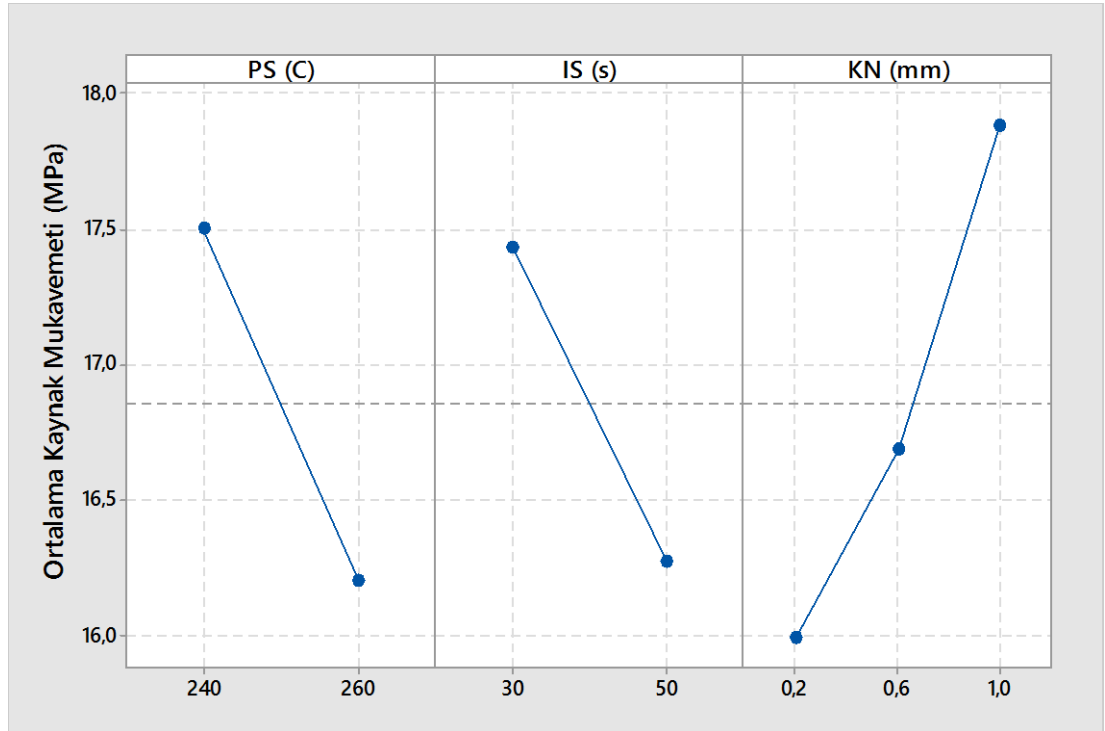


Şekil 7.20 Ortalama kaynak mukavemetinin talk oranına göre değişimi

7.6 %40 Kalsit Dolgulu Polipropilenin Plaka Sıcaklığı, Isıtma Süresi ve Kaynak Nüfuziyeti Deneylerinin Çekme Testlerinin Sonuçları

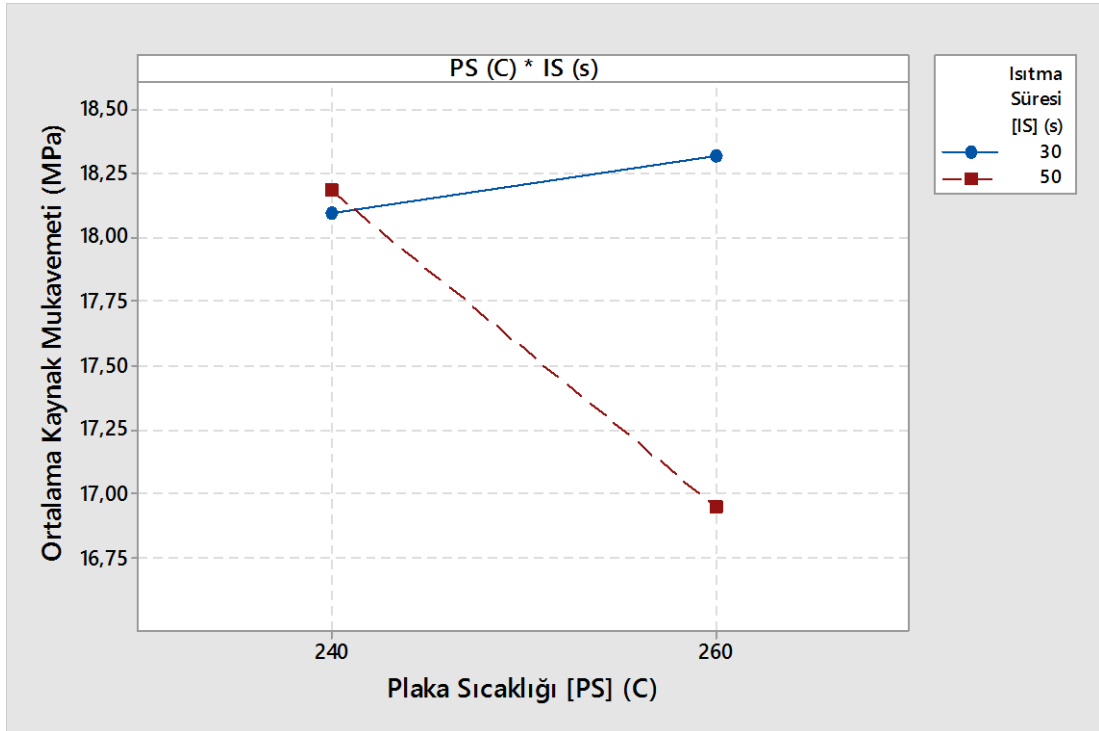
Talk dolgulu polipropilenlerin kaynaklarında 1 mm olarak sabitlenen optimum kaynak nüfuziyetinin, kalsit dolgulu polipropilen malzeme ile yapılan deneylerde değişebileceği düşünülmüştür. Bu nedenle kaynak nüfuziyetini de deney faktörü olarak alınmıştır. Plaka sıcaklığının 2 farklı seviyesini, ısıtma süresinin 2 farklı seviyesini ve kaynak nüfuziyetinin 3 farklı seviyesini kullanarak 3 tekrarlı olarak genel tam faktöriyel deney tasarımı yapılmıştır. Bu deney tasarımında kaynak süresini 90 saniye olarak sabitlenmiştir.

Yapılan çekme testlerinin sonucunda ortalama en yüksek kaynak mukavemeti, plaka sıcaklığı 260 °C, ısıtma süresi 30 saniye ve kaynak nüfuziyeti 1 mm olduğunda 18,32 MPa olarak elde edilmiştir (Şekil 7.21).



Şekil 7.21 Kaynak mukavemetinin plaka sıcaklığı, ısıtma süresi ve kaynak nüfuziyetine bağlı olarak ana etkiler grafiği

Genel tam faktöriyel deney tasarımı bölüm 7.4'deki iki seviyeli tam faktör deney tasarımına düşürdüğümüzde yani kaynak nüfuziyetini 1 mm olarak aldığımızda etkileşim grafiği Şekil 7.22'deki gibi olmaktadır. Ortalama en yüksek kaynak mukavemetinin plaka sıcaklığı 260 °C, ısıtma süresi 30 saniye ve kaynak nüfuziyeti 1 mm olduğunda 18,32 MPa olarak elde edildiği tekrar görülmektedir.



Şekil 7.22 %40 kalsit dolgulu polipropilenin plaka sıcaklığı ve ısıtma süresine bağlı olarak ortalama kaynak mukavemetinin etkileşim grafiği

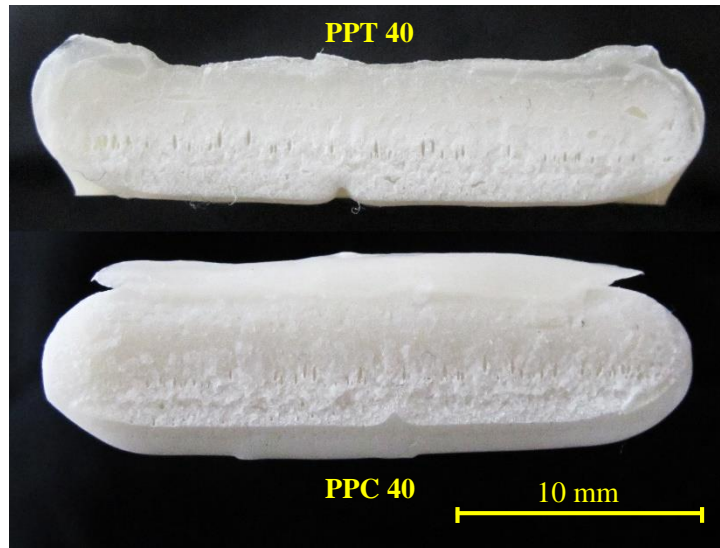
Bu optimum kaynak parametreleriyle birleştirilen kaynaklı numunelerin tamamı, çekme testinde ITAB bölgesinden kopmuştur (Şekil 7.23). Bu çalışmada elde edilen kaynak mukavemeti sonuçları, kaynak parametrelerinin optimize edildiğini göstermektedir.



Şekil 7.23 Optimum kaynak parametreleriyle kaynatılan %40 kalsit dolgulu polipropilen numuneleri

7.7 %40 Talk Dolgulu Polipropilen ve %40 Kalsit Dolgulu Polipropilen Malzemelerin Birbiriyle Sıcak Plaka Kaynağı Deneylerinin Tasarımı

%40 talk dolgulu polipropilenin optimum kaynak parametrelerini sol plakanın ayarlarına ve %40 kalsit dolgulu polipropilenin optimum kaynak parametrelerini de sağ plakanın ayarlarına girilerek 2 farklı malzemeyi birbiriyle 10 tekrarlı olarak kaynatılmıştır.



Şekil 7.24 %40 talk dolgulu polipropilen ve %40 kalsit dolgulu polipropilen malzemelerin birbiriyle kaynatılıp çekildikten sonraki kopma yüzeyleri

10 tekrarlı olarak yapılan çekme deneylerinin sonunca ortalama kaynak mukavemeti 10,39 MPa olarak çıkmıştır. 2 farklı malzemenin birbiriyle sıcak plaka kaynağında birleştirmenin kaynak mukavemeti, mukavemeti daha düşük olan tarafa yakın çıkar. Bu birleştirmede de %40 talk dolgulu polipropilenin, %40 kalsit dolgulu polipropilene göre daha düşük mukavemete sahip olduğu görülmüştür. Bu nedenle mukavemet değeri, kaynaklı birleştirmenin zayıf tarafı olan %40 talk dolgulu polipropilenin optimum kaynak mukavemetine yakındır.

Tablo 7.3 %40 talk dolgulu polipropilen ile %40 kalsit dolgulu polipropilen malzemelerin birbirleriyle optimum parametre seviyeleri kullanılarak sıcak plaka kaynağının çekme testi sonucu

Plaka Konumu	Sol Plaka	Sağ Plaka
Malzeme	%40 talk dolgulu polipropilen	%40 kalsit dolgulu polipropilen
Malzeme Kodu	PPT 40	PPC 40
Plaka Sıcaklığı (°C)	260	260
Isıtma Süresi (s)	30	30
Kaynak Nüfuziyeti (mm)	1	1
Kaynak Süresi (s)	90	90
Ortalama Kaynak Mukavemeti (MPa)	10,39	

7.8 Kaynak Verimi Hesaplamaları

Kaynak verimi, malzemenin kaynaksız halinin mukavemetinin kaynak mukavemetine oranıdır (Denklem 7.1).

$$\text{Kaynak Verimi (\%)} = \frac{\text{Optimum Kaynak Mukavemeti}}{\text{Maksimum Çekme Mukavemeti}} \quad (7.1)$$

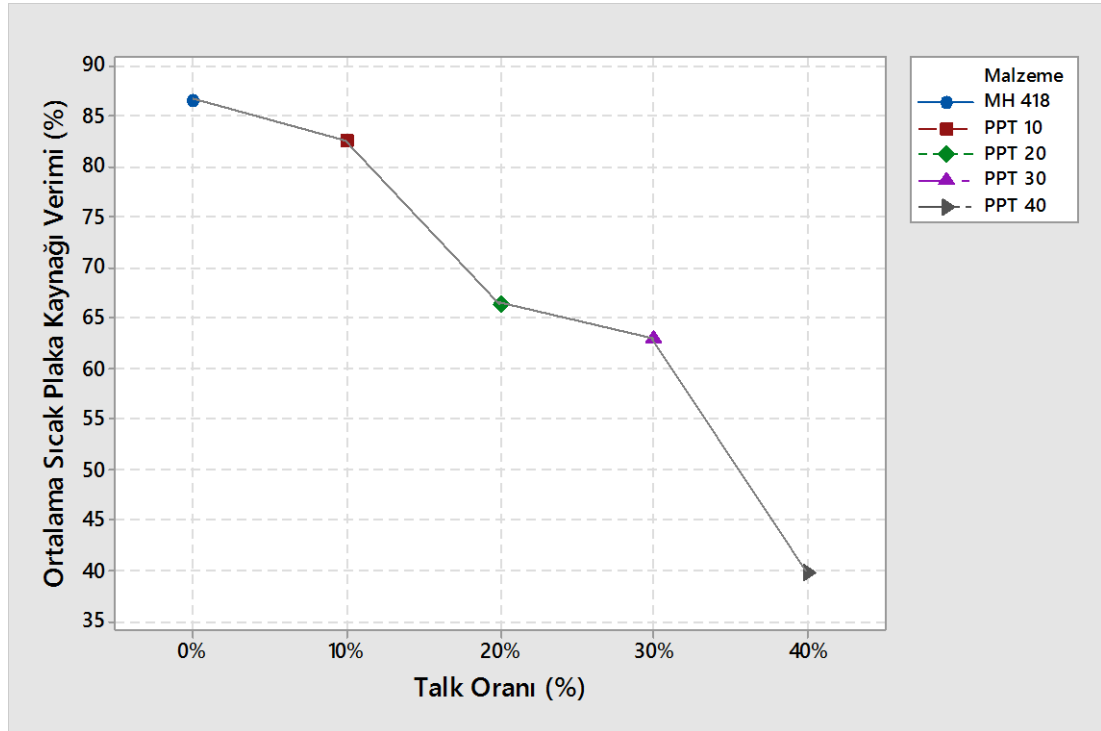
Kaynak verimi hesaplanarak kaynaklı birleştirmenin mukavemetinin kaynaksız halinin mukavemetine ne kadar yakın olduğu görülebilir.

Saf polipropilen, %10, %20, %30 ve %40 talk dolgulu polipropilen malzemelerin çekme testlerinin sonucunda optimum kaynak parametreleri, bu optimum kaynak parametreleriyle kaynatığımızda elde ettiğimiz ortalama en yüksek kaynak mukavemetleri ve kaynak verimleri Tablo 7.4’de verilmiştir.

Tablo 7.4 Saf polipropilen ve talk dolgulu polipropilen karışımlarının sıcak plaka kaynağı verimleri

Malzeme Kodu	MH 418	PPT 10	PPT 20	PPT 30	PPT 40
Talk Oranı (%)	0	10	20	30	40
Plaka Sıcaklığı (°C)	240	240	260	260	260
Isıtma Süresi (s)	50	50	50	50	30
Kaynak Nüfuziyeti (mm)	1	1	1	1	1
Kaynak Süresi (s)	90	90	90	90	90
Kaynaksız Çekme Mukavemeti (MPa)	35,74	30,32	31,49	30,62	29,91
Kaynak Mukavemeti (MPa)	30,93	25,03	20,92	19,27	11,91
Kaynak Verimi (%)	86,54	82,55	66,43	62,93	39,82

Polipropilen malzemelerin kaynak verimleri karşılaştırıldığında karışımın talk oranı arttığında sıcak plaka kaynağı veriminin giderek düştüğü görülmektedir (Şekil 7.25).



Şekil 7.25 Ortalama sıcak plaka kaynağı veriminin talk oranına bağlı olarak çizgi grafiği

%40 talk dolgulu polipropilen ve %40 kalsit dolgulu polipropilen malzemeler ile yaptığımız çekme testlerinin sonuçları Tablo 7.5’de verilmiştir.

Tablo 7.5 %40 talk dolgulu polipropilen ile %40 kalsit dolgulu polipropilenin birbiriyle sıcak plaka kaynağının verimi

Malzeme Kodu	PPT 40	PPC 40	PPT-PPC 40
Plaka Sıcaklığı (°C)	260	260	260
Isıtma Süresi (s)	30	30	30
Kaynak Nüfuziyeti (mm)	1	1	1
Kaynak Süresi (s)	90	90	90
Kaynaksız Çekme Mukavemeti (MPa)	29,91	20,51	20,51
Kaynak Mukavemeti (MPa)	11,91	18,32	10,39
Kaynak Verimi (%)	39,82	89,32	50,66

%40 kalsit dolgulu polipropilenin kaynak verimi %89,32 iken %40 talk dolgulu polipropilenin kaynak verimi %39,82’dir. %40 talk dolgulu polipropilenin kaynak verimi düşük olduğu için sıcak plaka kaynağı için uygun değildir. Eğer %40 dolgu oranında talk ile kalsit arasında kaynak mukavemetlerine bakarak bir seçim yapmak gerekiyor tercih talktan yana olmalıdır. Eğer bu malzemeler kaynaksız kullanılacaksa %40 talk dolgulu polipropilen mukavemeti yüksek olduğu için tercih edilir.

%40 kalsit dolgulu polipropilen ile %40 talk dolgulu polipropilenin birbiriyle sıcak plaka kaynağının verimi, 2 malzemenin kendi kaynak verimlerinin arasında bir değerde çıkmıştır.

BÖLÜM SEKİZ

SONUÇLAR

Bu çalışmada saf polipropilen, %10, %20, %30 ve %40 talk dolgulu polipropilen ve %40 kalsit dolgulu polipropilen malzemeler kullanılarak çekme mukavemetleri ve sıcak plaka kaynağı yöntemiyle kaynatıldıklarında kaynak mukavemetleri incelenmiştir. Her malzemenin kaynak verimliliği hesaplanmıştır.

%40 talk dolgulu polipropilen ile %40 kalsit dolgulu polipropilen birbirlerine sıcak plaka kaynağı yöntemiyle 2 farklı polipropilen karışımının birbiriyle kaynatıldığında maksimum çekme dayanımı ve kaynak verimliliği hesaplanmıştır.

Sıcak plaka kaynağı parametrelerinin değişik seviyelerinde deney tasarımlarının oluşturulması ve test sonuçlarının istatistiksel olarak analizinde Minitab 17.1 yazılımı kullanılmıştır.

%10 talk dolgulu polipropilenin kaynaklı çekme testlerinin sonucunda maksimum çekme mukavemeti 30,32 MPa çıkmıştır.

%10 talk dolgulu polipropilen ile görüntüleme deneyleri yapılarak plaka sıcaklığının, ısıtma süresinin, kaynak nüfuziyetinin ve kaynak süresinin sıcak plaka kaynağı mukavemeti üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Görüntüleme deneylerinde kaynak parametrelerinden kaynak süresinin 30 saniye ve altında olduğunda kaynak bölgesi soğuyup rijitliğini kazanmadan baskı çeneleri uzaklaştığından dolayı kaynak numunelerinin kaynak bölgesinden eğildiği görülmüştür. Bu nedenle kaynak numunelerinin dayanımının azalmasını önlemek için kaynak süresini 90 saniye olarak sabitlemiştir. Böylece kaynak süresinin kaynak mukavemeti üzerindeki etkisini minimize edilmiştir. Ayrıca plaka sıcaklığının kaynak mukavemetine etkisinin araştırıldığı görüntüleme deneylerinde plaka sıcaklığı 280 °C, ısıtma süresi 25 saniye, kaynak nüfuziyeti 1 mm ve kaynak süresi 90 saniye olduğunda kaynak mukavemeti 27,34 MPa olarak bulunmuştur. Bu parametrelerle kaynak verimi %90,17 olarak yüksek bir değerde çıkmaktadır. Ancak plaka sıcaklığı 280 °C olduğunda plakaya polimer malzemenin yapışmasını önleyen plaka yüzeyindeki teflon kaplama

bozulmaktadır. Teflonun bozulma sıcaklığı 270 °C olduğu için teknolojik imkansızlık nedeni ile plaka sıcaklığını 280 °C yaparak parça üretimi yapmak mümkün olmamaktadır. 280 °C'den sonra en yüksek kaynak mukavemeti, plaka sıcaklığının 240 °C ve ısıtma süresinin 50 saniye olduğu durumda ortalama olarak 25,03 MPa elde edilmiştir. Bu parametrelerde kaynak verimi %82,55 olarak hesaplanmıştır.

Saf polipropilenin kaynaklı çekme testlerinin sonucunda maksimum çekme mukavemeti 35,74 MPa çıkmıştır. Saf polipropilenin optimum sıcak plaka kaynağı parametreleri; plaka sıcaklığını 240 °C, ısıtma süresi 50 saniye, kaynak nüfuziyeti 1 mm ve kaynak süresi 90 saniyedir. Bu optimum parametreler ile kaynak yapıldığında saf polipropilenin kaynak mukavemeti 30,93 MPa çıkmaktadır. Optimum parametreler ile kaynatılan 3 kaynak numunesinden biri ITAB'dan kopmuştur. Bu nedenle optimum kaynak parametreleriyle kaynatılan saf polipropilenin kaynak mukavemeti oldukça iyidir. Sıcak plaka kaynağı verimi, %86,54 olarak hesaplanmıştır.

%20 talk dolgulu polipropilenin kaynaklı çekme testlerinin sonucunda maksimum çekme mukavemeti 31,49 MPa çıkmıştır. %20 talk dolgulu polipropilenin optimum sıcak plaka kaynağı parametreleri; plaka sıcaklığını 260 °C, ısıtma süresi 50 saniye, kaynak nüfuziyeti 1 mm ve kaynak süresi 90 saniyedir. Bu optimum parametreler ile kaynak yapıldığında %20 talk dolgulu polipropilenin kaynak mukavemeti 20,92 MPa çıkmaktadır. Optimum kaynak parametreleriyle kaynatıldığında sıcak plaka kaynağı verimi, %66,43 olarak hesaplanmıştır. %20 talk dolgulu polipropilenin kaynak veriminin %10 talk dolgulu polipropilenden çok daha düşük olduğu görülmüştür.

%30 talk dolgulu polipropilenin kaynaklı çekme testlerinin sonucunda maksimum çekme mukavemeti 30,62 MPa çıkmıştır. %30 talk dolgulu polipropilenin optimum sıcak plaka kaynağı parametreleri; plaka sıcaklığını 260 °C, ısıtma süresi 50 saniye, kaynak nüfuziyeti 1 mm ve kaynak süresi 90 saniyedir. Bu optimum parametreler ile kaynak yapıldığında %30 talk dolgulu polipropilenin kaynak mukavemeti 19,27 MPa çıkmaktadır. Optimum kaynak parametreleriyle kaynatıldığında sıcak plaka kaynağı verimi, %62,93 olarak hesaplanmıştır.

%40 talk dolgulu polipropilenin kaynaklı çekme testlerinin sonucunda maksimum çekme mukavemeti 29,91 MPa çıkmıştır. %40 talk dolgulu polipropilenin optimum sıcak plaka kaynağı parametreleri; plaka sıcaklığını 260 °C, ısıtma süresi 30 saniye, kaynak nüfuziyeti 1 mm ve kaynak süresi 90 saniyedir. Bu optimum parametreler ile kaynak yapıldığında %40 talk dolgulu polipropilenin kaynak mukavemeti 11,91 MPa çıkmaktadır. Optimum kaynak parametreleriyle kaynatıldığında sıcak plaka kaynağı verimi, %39,82 olarak hesaplanmıştır. %40 talk dolgulu polipropilenin kaynak verimi %10 talk dolgulu polipropilene göre oldukça düşüktür.

Test sonuçları Minitab yazılımında analiz edildiğinde polipropilen karışımı içeriğindeki talk oranının maksimum çekme dayanımı üzerinde en etkili faktör olduğu ortaya çıkmıştır. Polipropilen karışımının talk oranı arttıkça kaynaklı çekme mukavemeti, kaynak mukavemeti ve kaynak verimi azalmaktadır. Özellikle %40 talk dolgulu polipropilen sıcak plaka kaynağında düşük kaynak mukavemeti gösterdiği için sıcak plaka kaynağına uygun değildir.

%40 kalsit dolgulu polipropilenin kaynaklı çekme testlerinin sonucunda maksimum çekme mukavemeti 20,51 MPa çıkmıştır. %40 kalsit dolgulu polipropilenin kaynaklı maksimum çekme mukavemeti, %40 talk dolgulu polipropilen ile karşılaştırıldığında 9,4 MPa daha düşüktür. %40 kalsit dolgulu polipropilenin optimum sıcak plaka kaynağı parametreleri; plaka sıcaklığını 260 °C, ısıtma süresi 30 saniye, kaynak nüfuziyeti 1 mm ve kaynak süresi 90 saniyedir. Bu optimum parametreler ile kaynak yapıldığında %40 kalsit dolgulu polipropilenin kaynak mukavemeti 18,32 MPa çıkmaktadır. %40 kalsit dolgulu polipropilenin sıcak plaka kaynağı mukavemeti, %40 talk dolgulu polipropilenden 6,4 MPa daha yüksektir. Optimum kaynak parametreleriyle kaynatıldığında sıcak plaka kaynağı verimi, %89,32 olarak hesaplanmıştır. %40 kalsit dolgulu polipropilenin sıcak plaka kaynağı verimi, %40 talk dolgulu polipropilenden çok daha yüksektir. Bu nedenle %40 oranında dolgu içeren 2 polipropilen karışımından %40 kalsit dolgulu polipropilen, %40 talk dolgulu polipropilene göre sıcak plaka kaynağına daha uygundur.

%40 talk dolgulu polipropilen ile %40 kalsit dolgulu polipropilen birbirleriyle kendi optimum kaynak parametreleriyle kaynatıldığında kaynaklı birleştirmenin

kaynak mukavemeti 10,39 MPa olarak çıkmıştır. Bu değer %40 talk dolgulu polipropilenin kaynak mukavemetine yakındır. Kaynaklı birleştirmenin kaynak verimi bu nedenle %50,66 olarak hesaplanmıştır.

KAYNAKLAR

- Abu Bakar, M. B., Leong Y. W., Ariffin, A. ve Mohd. Ishak, Z. A. (2007). Mechanical, flow and morphological properties of talc- and kaolin-filled polypropylene hybrid composites. *Journal of Applied Polymer Science*, 104, 434-441.
- Ariffin, A., Mansor, A. S., Jikan, S. S. ve Mohd. Ishak, Z. A. (2008). Mechanical, morphological and thermal properties of polypropylene/kaolin composite. Part I. The effects of surface-treated kaolin and processing enhancement. *Journal of Applied Polymer Science*, 108, 3901-3916.
- Arslan, İ. H. (2001). *Madencilik özel ihtisas komisyonu raporu içinde* (53-69). T.C. Başbakanlık Devlet Planlama Teşkilatı, DPT: 2618-ÖİK: 629. Ankara: DPT Yayınları.
- Beşergil, B. (2008). *Polimer Kimyası* (2. Baskı) içinde (55 ve 337). İstanbul: Gazi Kitabevi.
- Beşergil, B. (b.t.). *Termoplastikler Genel Ticari Plastikler*, 20 Mayıs 2014, http://www.bayar.edu.tr/besergil/6_PP_PS_PVC.pdf
- Birlik, M. (1994). *Petrokimya özel ihtisas komisyonu raporu içinde* (591-595). T.C. Başbakanlık Devlet Planlama Teşkilatı, DPT: 2367-ÖİK: 433. Ankara: DPT Yayınları.
- Chen, H., Wang, M., Lin, Y., Chan, C. M., Wu, J. (2007). Morphology and mechanical property of binary and ternary polypropylene nanocomposites with nanoclay and CaCO₃ particles, *Journal of Applied Polymer Science*, 106, 3409-3416.
- Eker, A. (2009). *Plastiklerin Şekillendirilme Yöntemleri*, 21 Mayıs 2014, http://www.yildiz.edu.tr/~akdogan/lessons/plastikmalzeme/Plastiklerin_Sekillendirme_Yontemleri_Son.pdf

Emaş Plastik Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketi (2014a). *%40 kalsit dolgulu polipropilenin teknik özellikleri*, 24 Mayıs 2014, <http://www.emasplastic.com/tr/urunPDFs/emoplen%20hp%20mcf%2040.pdf>

Emaş Plastik Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketi (2014b). *%20 talk dolgulu polipropilenin teknik özellikleri*, 24 Mayıs 2014, <http://www.emasplastic.com/tr/urunPDFs/emoplen%20hp%20mtf%2020.pdf>

Emaş Plastik Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketi (2014c). *%30 talk dolgulu polipropilenin teknik özellikleri*, 24 Mayıs 2014, <http://www.emasplastic.com/tr/urunPDFs/emoplen%20hp%20mtf%2030.pdf>

Emaş Plastik Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketi (2014d). *%40 talk dolgulu polipropilenin teknik özellikleri*, 24 Mayıs 2014, <http://www.emasplastic.com/tr/urunPDFs/emoplen%20hp%20mtf%2040.pdf>

Ezdeşir, A., Erbay, E., Taşkıran, İ., Yağcı, M., A., Cöbek, M. ve Bilgiç, T. (1999). *Polimerler* (2. Baskı) içinde (57-71). İstanbul: Pagev Yayınları.

Fredonia Group Şirketi, Principia Partners. (2005). New studies forecast US market growth for reinforced plastics, reinforcements and fillers. *Additives for Polymer*, 10-12.

Gachter, R. ve Müller, H. (1993). *Plastics additives handbook* (4. Baskı) içinde (525-561). Ohio: Hanser/Gardner Publications.

Hohenberger, W. (2003). *Fillers and reinforcements* (5. Baskı) içinde (901-948). *Plastics Additives Handbook*.

İnel, İ. (2001). *Madencilik özel ihtisas komisyonu raporu* içinde (39-83,175-204). T.C. Başbakanlık Devlet Planlama Teşkilatı, DPT: 2611-ÖİK: 622. Ankara: DPT Yayınları.

- Kansu, Y. (2005). *Cam küre, CaCO₃ ve talk dolgulu polipropilen hibrit kompozitlerin mekanik ve fiziksel özelliklerinin incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, İstanbul.
- Koca, N. (2009). *Dolgu maddeli polimer malzemelerin taguchi yöntemi ile performans optimizasyonu*. Yüksek Lisans Tezi. Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli.
- Kocatüfek, U. E. (2013). *Poliamid esaslı malzemelerde cam elyaf katkısının sıcak plaka kaynağı üzerinde etkisinin araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- Kodal, M. (2009). *Polipropilen ve dolgu maddeleri ile hazırlanan karışımların fiziksel ve kimyasal özelliklerinin incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli.
- Kotek, J., Kelnar, I., Baldrian, J. ve Raab, M. (2004). Tensile behaviour of isotactic polypropylene modified by specific nucleation and active fillers. *European Polymer Journal*, 40, 679-684.
- Lee, B. Kim, J. Lee, S. ve Kim, Y. K. (2012). Butt-welding technology for double walled Polyethylene pipe. *Materials and Design*, 35, 626-632. Elsevier Ltd.
- Leong, Y. W., Abu Bakar, M. B., Mohd. Ishak, Z. A., Ariffin, A. ve Pukanszky, B. (2004). Comprasion of the mechanical properties and interfacial interactions between talc, kaolin and calcium carbonate filled polypropylene composites. *Journal of Applied Polymer Science*, 91, 3315-3326.
- Maged, A. O., Ayman, A. ve Ulrich, W. S. (2004). Influence of excessive filler coating on the tensile properties of LDPE-calcium carbonate composites. *Polymer*, 45, 1177-1183.

- Mareri, P., Bastide, S., Binda, N. ve Crespy, A. (1998). Mechanical behaviour of polypropylene composites containing fine mineral filler: effect of filler surface treatment. *Composites Science and Technology*, 58, 747-752.
- Markarian, J. (2007). Mineral modifiers fill the gap-keeping costs down without losing quality. *Plastics Additives and Compounding*, 20-25.
- Minitab Şirketi (2013). *Help Files*. Minitab 7.1 Software.
- Mohmeyer, N., Behrendt, N., Zhang, X., Smith, P., Altstadt, V., Sessler, G. M. Ve Schmidt, H. W. (2007). Additives to improve the electret properties of isotactic polypropylene. *Polymer*, 48, 1612-1619.
- Noordin, M. (2009). *Sink marks defect on injection molding using different raw materials*. Universiti Malaysia Pahang, Malaysia.
- Oliveira, M. J., Benardo C. A. ve Hemsley D. A. (2002). The effect of flame retardants on the hot-plate welding of talc-filled polypropylene. *Polymer Engineering and Science*, 42, (1), 146-151.
- Oral, M. A. (2006). *Effects of polymer filler interface improvements on mechanical and physical properties of CaCO₃ filled polypropylene composite*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Othman, N., Ismail, H. ve Mariatti, M. (2006). Effects of compatibilisers on mechanical and thermal properties of bentonite filled polypropylene composites. *Polymer Degradation and Stability*, 91, 1761-1774.
- Petkim Petrokimya Holding Anonim Şirketi (2014). *MH 418'in teknik özellikleri*, 24 Mayıs 2014, <http://www.petkim.com.tr/Userfiles/File/uretim/urunler/pdf/tr/UR.17-SD-U1762.0.pdf>

- Roff, W. J. (1971). *Fibres, plastics and rubbers* içinde (10-11, 21-28). New York: Butterworths Scientific Publications.
- Roy, R. K. (1990). *A Primer on the Taguchi Method*. New York: Van Nostrand Reinhold.
- Runcev, D. ve Trpkovski, L. (b.t). *Heated tool butt welding of PE pipes*. Advanced manufacturing operations.
- Stokes, V. K. (1998). Experiments on the hot-tool welding of three dissimilar thermoplastics. *Polymer*, 39, (12), 2469-2477.
- Stokes, V. K. (1998). A phenomenological study of the hot-tool welding of thermoplastics *Polymer*, 40, 6235-6263.
- Stokes, V. K. ve Conway, K. R. (2001). A phenomenological study of the hot-tool welding of thermoplastics 4. Weld strength data for several blends. *Test*, 42, 7477-7493.
- Youtube (2011). *Super Ultrasonic Limited Şirketi*, 21 Mayıs 2014, <http://www.youtube.com/watch?v=endjHA2t5PQ>
- Troughton, M. (2008). *Handbook of plastics joining* (2. Baskı). New York: William Andrew Inc.
- Uçar, M. (2013). *Yapıştırılmalı ve kaynaklı bağlantıların deneysel ve nümerik olarak karşılaştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- Wang, Z. (1996). Toughening and reinforcing of polypropylene. *Journal of Applied Polymer Science*, 60, 2239-2243.
- Wise, R. J. (1999). *Thermal welding of polymers*. Cambridge: Abington Publishing.

Yeni, E. Ç., Sayer, S. ve Ülker, A. (2010). Poliamid parçaların üretim sonrasında nem alarak şartlandırılması, *PAGEV–Plastik Araştırma, Geliştirme ve İnceleme Dergisi*, *111*, 296-302.

Zhou, Y. ve Mallick, P. K. (2005). Effects of melt temperature and hold pressure on the tensile and fatigue properties of an injection molded talc-filled polypropylene. *Polymer Engineering and Science*, *45*, 755-763.