

**T.C.  
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**



**TERMOPLASTİK MALZEMELERİN ULTRASONİK  
KAYNAĞI VE KAYNAK PARAMETRELERİNİN KOPMA  
DAYANIMINA ETKİSİ VE OPTİMİZASYONU**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**AHMET DEMİR**

**BALIKESİR, HAZİRAN - 2019**

**T.C.  
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**



**TERMOPLASTİK MALZEMELERİN ULTRASONİK  
KAYNAĞI VE KAYNAK PARAMETRELERİNİN KOPMA  
DAYANIMINA ETKİSİ VE OPTİMİZASYONU**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**AHMET DEMİR**

**Jüri Üyeleri : Prof. Dr. İrfan AY (Tez Danışmanı)**

**Doç. Dr. Sare ÇELİK**

**Doç. Dr. Mehmet AYDIN**

**BALIKESİR, HAZİRAN - 2019**

## KABUL VE ONAY SAYFASI

**Ahmet DEMİR** tarafından hazırlanan “Termoplastik Malzemelerin Ultrasonik Kaynağı Ve Kaynak Parametrelerinin Kopma Dayanımına Etkisi Ve Optimizasyonu” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 10.06.2019 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Danışman  
Prof. Dr. İrfan AY

Üye  
Doç. Dr. Sare ÇELİK

Üye  
Doç. Dr. Mehmet AYDIN

Üye  
Dr. Öğr. Üyesi Oğuzhan ERBAŞ

Üye  
Dr. Öğr. Üyesi Alaaddin TOKTAŞ

  
.....  
  
.....  
  
.....

Jüri üyeleri tarafından kabul edilmiş olan bu tez Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca onanmıştır.

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Prof. Dr. Necati ÖZDEMİR

.....

## ÖZET

**TERMOPLASTİK MALZEMELERİN ULTRASONİK KAYNAĞI VE  
KAYNAK PARAMETRELERİNİN KOPMA DAYANIMINA ETKİSİ VE  
OPTİMİZASYONU  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
AHMET DEMİR  
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
(TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. İRFAN AY)  
BALIKESİR, HAZİRAN - 2019**

Bu çalışmada, termoplastik özelliğe sahip polipropilen malzemelerden plastik enjeksiyon yöntemi ile imal edilmiş olan ürünler ultrasonik kaynak yöntemi kullanılarak farklı parametreler ile birleştirilmiş ve birleştirmelerin mekanik dayanımları test edilmiştir. Elde edilen numunelere çekme testi uygulanmıştır. Sonuçlar kullanılan parametreler dikkate alınarak incelenmiş ve optimum parametrelerin belirlenmesine çalışılmıştır.

**ANAHTAR KELİMELEER:** Ultrasonik kaynak, termoplastik malzemeler, plastik malzemelerin kaynağı, parametrelerin optimizasyonu

## **ABSTRACT**

### **ULTRASONIC WELDING OF THERMOPLASTIC MATERIALS AND THE EFFECT OF WELDING PARAMETERS ON TENSILE STRENGTH AND OPTIMIZATION**

**MSC THESIS**

**AHMET DEMİR**

**BALIKESİR UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE**

**MECHANICAL ENGINEERING**

**(SUPERVISOR: PROF. DR. İRFAN AY )**

**BALIKESİR, JUNE 2019**

In this study, the products with plastic enjection made out of polypropilen material having thermoplastic properties, different parameters were combined, by using ultrasonic welding and the mechanical properties of these combinations were tested. The test of pulling were conducted of the samples. The result were evaluated by taking the used parameters into account and the optimum parameters were tried to be found.

**KEYWORDS:** Ultrasonic welding, thermoplastic materials, welding of plastic materials, optimization of parameters

# İÇİNDEKİLER

## Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT .....	ii
İÇİNDEKİLER .....	iii
ŞEKİL LİSTESİ.....	vi
TABLO LİSTESİ .....	viii
ÖNSÖZ.....	ix
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
<b>2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI .....</b>	<b>2</b>
<b>3. PLASTİK MALZEMELER .....</b>	<b>3</b>
3.1 Plastiklerin Yapısı .....	3
3.2 Polimerlerin Kristalleşmesi .....	4
<b>4. PLASTİK MALZEMELERİN SINIFLANDIRILMASI .....</b>	<b>6</b>
4.1 Termoplastik Polimerler .....	6
4.1.1 ABS.....	6
4.1.2 SAN .....	7
4.1.3 Asetal (POM).....	7
4.1.4 Akrilik (PMMA).....	7
4.1.5 Selüloz Asetat (CA).....	7
4.1.6 Naylon - Poliamid (PA) .....	8
4.1.7 Polikarbonat (PC) .....	8
4.1.8 Polietereterketon (PEEK) .....	8
4.1.9 Polietilen (PE).....	9
4.1.10 Polistiren (PS).....	9
4.1.11 Polivinil Klörür (PVC).....	9
4.1.12 Polipropilen (PP).....	9
4.2 Termoset Polimerler .....	10
4.2.1 Alkidler .....	10
4.2.2 Amino (Melamin, Üre) .....	10
4.2.3 Epoksi Reçine (EP).....	11
4.2.4 Fenolikler .....	11
4.2.5 Termoset Polyester .....	11
4.2.6 Poliüretan .....	12
4.3 Elastomer Polimerler .....	12
4.3.1 Vulkanizasyon .....	13
<b>5. PLASTİKLERİN SEÇİMİNDE KULLANILAN TEMEL KRİTERLER.....</b>	<b>14</b>
<b>6. PLASTİK ENJEKSİYON YÖNTEMİ .....</b>	<b>15</b>
6.1 Plastik Enjeksiyon Makinesi ve Parça İmalatı .....	15
6.1.1 Parça İmalat Süreci .....	15
6.2 Plastik Enjeksiyon Yönteminin Avantaj ve Dezavantajları .....	17
6.2.1 Avantajları .....	17
6.2.2 Dezavantajları .....	18
<b>7. PLASTİK MALZEMELERİN KAYNAĞI.....</b>	<b>19</b>
7.1 Sıcak Gaz Kaynağı .....	21
7.2 Sıcak Eleman Kaynağı .....	21

7.3	Plastik Lazer Kaynağı .....	22
7.4	Plastik Yüksek Frekans Kaynağı.....	23
7.5	Plastik Elektrik Direnç Kaynağı.....	23
7.6	Sürtünme Kaynağı.....	24
7.7	Plastik Titreşim Kaynağı .....	25
<b>8.</b>	<b>TERMOPLASTİK MALZEMELERİN ULTRASONİK KAYNAĞI.....</b>	<b>27</b>
8.1	Ultrason Tanımı.....	27
8.2	Ultrasonik Kaynak Tarihçesi.....	28
8.3	Ultrasonik Kaynak Yöntemi.....	29
8.4	Ultrasonik Kaynak İçin Kaynak Bölgesi Dizayını .....	30
8.5	Termoplastik Malzemeler ve Ultrasonik Kaynak.....	33
8.6	Ultrasonik Kaynak Uygulama Örnekleri.....	34
8.6.1	Ultrasonik Kaynak Yöntemi Yüzey Kaynak Uygulaması .....	34
8.6.2	Ultrasonik Kaynak Yöntemi Perçin Başlı Ezme Uygulaması .....	35
8.6.3	Ultrasonik Kaynak Yöntemi Metal Somun Gömme Uygulaması ....	35
8.6.4	Ultrasonik Kaynak Yöntemi Şekil Verme Uygulaması.....	36
8.6.5	Ultrasonik Kaynak Yöntemi Kesme ve Kumaş Dikme Uygulaması	37
8.7	Ultrasonik Kaynak Makinelerinin Elemanları.....	38
8.7.1	Enerji Dönüştürücüler (Converter) .....	38
8.7.2	Mekanik Amplifikatör - Şiddet Arttırıcı (Booster) .....	40
8.7.3	Ultrasonik Kaynak Kalıpları (Horn).....	41
8.8	Ultrasonik Kaynak Yönteminin Avantajları ve Özellikleri.....	42
8.8.1	Kalite.....	42
8.8.2	Proses Kontrol.....	42
8.8.3	Maliyet .....	42
8.9	Proses Değişkenleri ve Parametreler .....	43
8.10	Ultrasonik Kaynak Makinesi Çalışma Modları.....	43
8.10.1	Kaynak Süresi .....	43
8.10.2	RPN Derinliği .....	44
8.10.3	Mutlak Derinlik.....	45
8.10.4	Enerji.....	45
8.10.5	Güç.....	46
<b>9.</b>	<b>PLASTİK KAYNAĞINA ETKİ EDEN PARAMETRELER.....</b>	<b>47</b>
9.1	Kaynak Süresi.....	47
9.2	Baskı Gücü .....	47
9.3	Malzemenin Kalınlığı.....	47
9.4	Kaynak Hataları.....	48
9.4.1	Kötü Dış Görünüm.....	48
9.4.2	Gerilme Çatlakları.....	48
9.4.3	Kötü Erime.....	48
<b>10.</b>	<b>TERMOPLASTİK MALZEME TÜRLERİNE UYGUN KAYNAK YÖNTEMİNİN YANMA METODU İLE BELİRLENMESİ.....</b>	<b>49</b>
<b>11.</b>	<b>DENEYSSEL ÇALIŞMALAR.....</b>	<b>51</b>
11.1	Malzeme Seçimi .....	51
11.2	Ultrasonik Kaynakta Etkili Parametreler.....	52
11.3	Test Ekipmanları .....	54
11.4	Yapılan Testler .....	56
11.4.1	Basınç'ın Etkisi .....	57
11.4.2	Genlik'in Etkisi.....	59
11.4.3	Kaynak Süresi'nin Etkisi .....	60

11.4.4 Bekleme Süresi'nin Etkisi .....	61
<b>12. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....</b>	<b>64</b>
12.1 Sonuçlar.....	64
12.2 Öneriler.....	65
<b>13. KAYNAKLAR.....</b>	<b>67</b>





## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 3.1: Polimer yapısındaki kristalin ve amorf bölgeler [2].....	3
Şekil 3.2: Kristalin ve amorf PE`nin gerilme-şekil değiştirme eğrileri ve metallerin, polimerlerin şekil değiştirme eğrileri [3]. .....	4
Şekil 4.1: Termoplastik polimerlerin yapıları [2]. .....	6
Şekil 4.2: (a) Asetal, (b) Akrilik [2]. .....	7
Şekil 4.3: (a) Naylon, (b) PVC [2].....	8
Şekil 4.4: Termoset polimerlerin yapısı [2]. .....	10
Şekil 4.5: (a) Alkid, (b) Amino melamin [2]. .....	10
Şekil 4.6: (a) Polyester, (b) Poliüretan [2]. .....	11
Şekil 4.7: Elastomer polimerlerin yapısı [2]. .....	12
Şekil 4.8: Lastik. ....	13
Şekil 4.9: Vulkanizasyon'un mekanik dayanıma etkisi [2]. .....	13
Şekil 6.1: Plastik enjeksiyon makinesi genel görünüşü. ....	16
Şekil 6.2: Plastik enjeksiyon yöntemi ile parça üretim prosesi [2].....	17
Şekil 7.1: Plastik kaynağı çeşitleri. ....	20
Şekil 7.2: Sıcak gaz kaynağı [8]. .....	21
Şekil 7.3: Sıcak eleman kaynağı [8]. .....	22
Şekil 7.4: Plastik lazer kaynağı [8]. .....	22
Şekil 7.5: Plastik yüksek frekans kaynağı [8]. .....	23
Şekil 7.6: Plastik elektrik direnç kaynağı [8]. .....	24
Şekil 7.7: Sürtünme kaynağı diyagramı [8]. .....	25
Şekil 7.8: Plastik titreşim kaynağı [8]. .....	25
Şekil 7.9: Plastik titreşim kaynağı diyagramı [8]. .....	26
Şekil 8.1: Bir ses dalgasının genliği, periyodu ve dalga boyu [6]. .....	28
Şekil 8.2: Ultrasonik kaynak sistemi bileşenleri [12]. .....	29
Şekil 8.3: Ultrasonik kaynak fonksiyon şeması [12]. .....	30
Şekil 8.4: Proses parametreleri ve adımları [12]. .....	30
Şekil 8.5: Kaynak bölgesi dizaynının zamana etkisi [12]. .....	31
Şekil 8.6: 90 derecelik enerji yönlendirici kaynak bölgesi dizaynı [8]. .....	31
Şekil 8.7: Farklı tiplerde enerji yönlendirici kaynak bölgesi dizaynı [8]. .....	32
Şekil 8.8: Kristalin yapıli termoplastikler için dizayn şekilleri [8]. .....	32
Şekil 10.1: Uygun kaynak yönteminin yanma metodu ile belirlenmesi [8]. ....	49
Şekil 11.1: Ultrasonik kaynak makinesi ve makinenin operatör paneli ekran görüntüsü. ....	51
Şekil 11.2: Ultrasonik kaynak öncesi ve sonrası görüntüler. ....	52
Şekil 11.3: Horn tasarımından görüntü – imalatı tamamlanmış horn. ....	53
Şekil 11.4: Ultrasonik kaynak grupları ve arka tampon ultrasonik kaynak pozisyonu. ....	54
Şekil 11.5: Çekme test cihazı ve çekme düzeneği. ....	55
Şekil 11.6: Dinamometre ve çekme düzeneği. ....	55
Şekil 11.7: Orta sensör braketli ve braketin kaynak posajındaki konumu. ....	56
Şekil 11.8: Ultrasonik kaynak yapılmış sensör braketli. ....	57

<b>Şekil 11.9:</b> Basınç - kopma dayanımı eğrisi. ....	58
<b>Şekil 11.10:</b> Görsel yüzeyde çatlaklar. ....	58
<b>Şekil 11.11:</b> Genlik - kopma dayanımı eğrisi. ....	59
<b>Şekil 11.12:</b> Kaynak süresi - kopma dayanımı eğrisi. ....	60
<b>Şekil 11.13:</b> Boyalı yüzeyde iz. ....	61
<b>Şekil 11.14:</b> Bekleme süresi - kopma dayanımı eğrisi. ....	62



## TABLO LİSTESİ

### Sayfa

<b>Tablo 8.1:</b> Termoplastik malzemeler ve ultrasonik kaynak [14]. .....	33
<b>Tablo 8.2:</b> Termoplastik polimerlerin birbirleri ile kaynak edilebilirliği [14].	34
<b>Tablo 11.1:</b> Ultrasonik kaynak test parametreleri. ....	56
<b>Tablo 11.2:</b> Numunelerin kopma dayanımı sonuçları. ....	63



## ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasının tamamlanması sırasında yardımlarını esirgemeyen, bilgi ve deneyimleri ile bana yol gösteren danışmanım Prof. Dr. İrfan AY'a teşekkürlerimi borç bilirim.

Ayrıca bu çalışma boyunca ve hayatımın her aşamasında bana destek olup, her koşulda arkamda durarak beni cesaretlendiren aileme sonsuz teşekkür ederim.

Ahmet DEMİR



## 1. GİRİŞ

Endüstrideki gelişmeler ile birlikte kolay şekillendirilebilen, hafif, uygun maliyetli, çevresel çalışma şartlarına karşı en üst seviyede dayanabilen, aşınma dirençleri yüksek olan, çevreci malzemeler tercih edilmektedir. Plastik ve kompozit malzemelerin kullanımı bu sebeple yaygınlaşarak, metal, ahşap, seramik vb. farklı özelliklerdeki malzemelerin yerini almaktadır. Endüstride kullanılmakta olan plastik malzemeler farklı yöntemlerle üretilmektedir. Fakat bazı parça formları mevcut yöntemlerle üretilmemekte ya da maliyet ve zaman açısından tercih edilmemektedirler. Bu tür parçaların kaynaklı birleştirilmesi daha verimli olabilmektedir [1].

Bu yüksek lisans tezinde, otomotiv sektöründe kullanılmak üzere üretilen plastik parçaların kaynak parametrelerinin incelenmesi ve en iyi parametrelerin belirlenmesi üzerine araştırmalar yapılmıştır. Deneysel çalışmalarda birbirinden farklı parametreler kullanılarak yapılan birleştirmelere, çekme testi uygulanarak birleştirme bölgesindeki kopma kuvveti ölçülmüştür. Optimizasyon çalışması ile en iyi kalitede kaynak elde edilen kaynak parametreleri belirlenmiştir.

## 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Tez çalışması kapsamında literatür araştırması iki aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada, plastik malzemeler, plastik malzemelerin üretim ve kaynak yöntemleri incelenmiş ve çok fazla yayına rastlanmıştır. İkinci aşamada, termoplastik malzemelerin ultrasonik kaynağı ve ultrasonik kaynak parametreleri üzerine çalışmalar araştırılmış ve incelenen çalışmalara yer verilmiştir.

İsmail Açar tez çalışmasında, polipropilen malzemedan imal edilmiş malzemeyi sıcak eleman kaynağı ile farklı parametreler altında birleştirmiştir. Numunelere sızdırmazlık, basınç ve çekme testi uygulamıştır. Böylece ideal kaynak parametrelerini elde etmiştir [1].

Mehmet Uçar tez çalışmasında, yapıştırırmalı ve kaynaklı bağlantıları deneysel ve nümerik olarak karşılaştırmıştır. Bu karşılaştırmayı yaparken polimerlerin birbiriyle yaptıkları bağlantıları incelemiştir. Plastik enjeksiyon yöntemi ile ürettiği numunelere çekme testi uygulayarak sonuçları değerlendirmiştir [3].

Yiğit Taş tez çalışmasında, ultrasonik kaynak metodları hakkında bilgi vermiş, örnek bir araç içi aydınlatma lambası ile farklı parametreler altında ultrasonik kaynak yöntemi ile numuneler elde etmiştir. Elde edilen kaynaklı numunelerdeki sonuçları görsel ve sızdırmazlık testi ile değerlendirmiştir [6].

İrfan Ay ve Raif Sakin makale çalışmalarında, ultrasonik yöntemle plastiklerin kaynağı hakkında bilgi vermişlerdir. Kaynak makinesi ekipmanları, temel birleştirme tasarımları, parça tasarımları ve ultrasonik kaynak yapılabilen termoplastik malzemeleri detaylı açıklamışlardır [8].

Mehtap Hıdıroğlu ve Gönenç İzgi makale çalışmalarında, otomotivde kullanılan polipropilen malzemeli kumanda kablosu ile kablonun araca montajını sağlayan parçanın ultrasonik kaynağını incelemiştir. Numunelere çekme testi uygulayarak ideal kaynak parametrelerini bulmuşlardır [22].

### 3. PLASTİK MALZEMELER

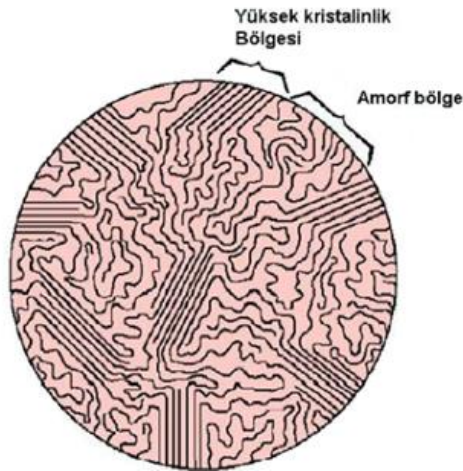
#### 3.1 Plastiklerin Yapısı

Plastikler, karbon (C)'un metal olmayan elementler hidrojen (H), oksijen (O), klor (Cl), azot (N) ile meydana getirdiği büyük moleküllü organik bileşiklerdir [2].

Elverişli sıcaklık değerinde kolayca şekillendirilen ve soğuma gerçekleştiğinde katılaştıran bir yapıya sahiptir.

Plastik malzemelerin fazla sayıda kimyasal ve fiziksel yapıları vardır. Plastik malzemeler asitlere ve diğer kimyasal etkileşimlere karşı dayanıklı olan, cam gibi saydam olan ve yalıtkan olan çeşitlidirler.

Atomik yapı bakımından iki değişik türden bahsetmek mümkündür. İlki atomların yan yana düzgün olarak dizildikleri kristal yapılardır. Evrendeki katıların büyük bir çoğunluğu kristal yapıdadır. Bir katının girebileceği en düşük enerjili yapı şekli kristal yapıdır. Amorf ise atomların düzensiz olarak yerleştirildiği katı yapılardır. Amorf yapıya camlar örnek verilebilir. Amorf yapılarda çok uzun olmayan erimli bir yapı mevcuttur. Ancak bunlar kristallere nazaran daha düzensizdir.

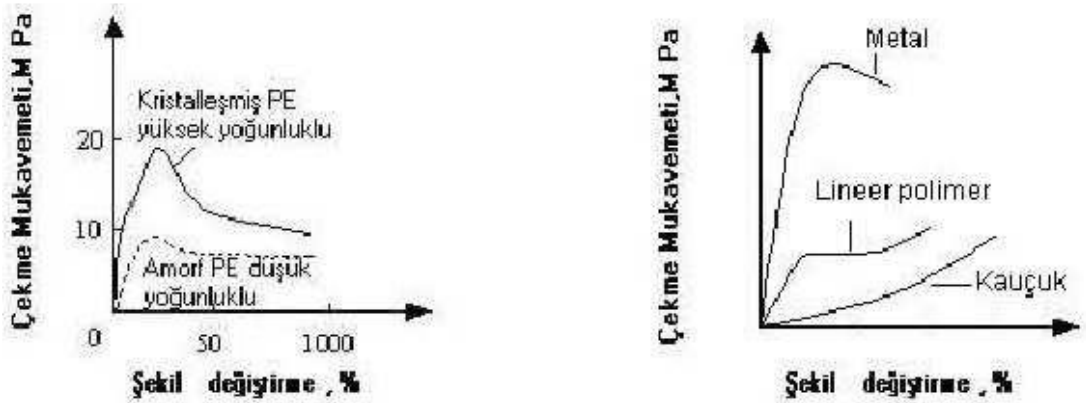


Şekil 3.1: Polimer yapısındaki kristalin ve amorf bölgeler [2].

### 3.2 Polimerlerin Kristalleşmesi

Polimerler genellikle amorf yapıya sahiptirler. Uzun ve karmaşık yapı zincirlerin komşuları ile uyum sağlayıp düzenli yapı meydana getirmeleri çok zordur. Bir lineer polimerin genel görünüşü pişmiş makarnaya benzemektedir. Bir polimer malzeme kimyasal olarak birbirine bağlı birçok parça birimi içeren bir katı ya da birbirine bağlanarak bir katı oluşturan birimlerden oluşmaktadır. Zincirler birbirleriyle dolaşmış halde bulunur. Ancak basit yapılı ve simetrik polimerlerde (polietilen, izotaktik propilen gibi) bazı koşullarda yerel düzen oluştururlar.

Amorf ana yapı içinde oluşan küçük kristal yapı bölgelere kristalitler denir. Kristalitlerin yoğunluğu amorf yapıya göre %5-10 kadar daha büyüktür. Örneğin endüstride kullanılan yüksek yoğunluklu polietilende %90 oranında kristalleşme nedeni ile yoğunluk  $0,96 \text{ gr/cm}^3$  düşük yoğunluklu amorf polietilende ise  $0,92 \text{ gr/cm}^3$  dür. Soğuma hızı yavaş olursa kristalleşme olanağı artar. Kristalleşme dış kuvvet etkisinde de oluşabilir. Gerilen molekül zincirleri paralel hale gelerek yer yer uyum sağlayabilirler. Bu şekilde doğan kristaller kuvvet doğrultusuna paralel olurlar. Kristallerin büyüklüğü  $50-100 \text{ \AA}$  civarındadır. Molekül zincirleri ise bu boyuta göre çok daha uzundur. Bazıları birkaç kristalit içinden geçerek uzanırlar, kristallik derecesi arttıkça mekanik özellikleri ve yumuşama sıcaklığı yükselir. Kristalin ve amorf yapı polietilen mekanik özellikleri arasındaki fark Şekil 3.2'de görülmektedir [3].



Şekil 3.2: Kristalin ve amorf PE'nin gerilme-şekil değiştirme eğrileri ve metallerin, polimerlerin şekil değiştirme eğrileri [3].

Metallerde gerilme-şekil değiştirme eğrileri akma başladıktan sonra yatıklaşır. Diğer taraftan lineer polimerlerde ise eğri başlangıçta yatıktır, sonra dikleşir. Molekül zincirleri gerilip doğrulunca komşuları ile uyum sağlarlar. Yer yer kristalleşme oluşur



ve Şekil değiştirme direnci artar. Özellikle bu davranış kauçukta çok belirgindir. Çekme etkisinde kristalleşme nedeniyle kauçuğun hacmi azalır, gerilme kalkınca tekrar ilk haleline döner. Diğer malzeme türlerinde ise çekme etkisinde daima hacim artar.

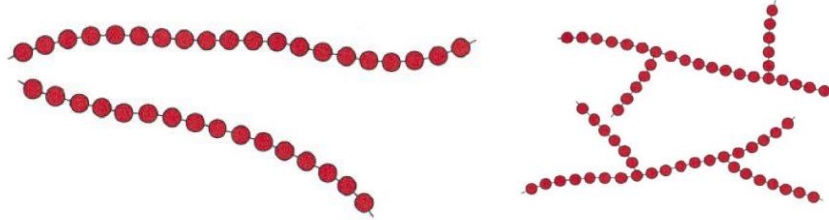


## 4. PLASTİK MALZEMELERİN SINIFLANDIRILMASI

Plastik malzemeler, termoplastik polimerler, termoset polimerler ve elastomer polimerler olarak sınıflandırılırlar [2].

### 4.1 Termoplastik Polimerler

Termoplastik malzemeler ısı ile etkileştiğinde yumuşar ve akarlar. Soğutulması durumunda ise sertleşir ve katılaşır. Isıtma ve soğutma olayları termoplastikler için tekrar edilebilir bir özelliktir. Termoplastikler ısıtma ve soğutma olayları gerçekleşirken kimyasal değişim yaşamazlar. Yaygın olarak polimerizasyon diye adlandırılan kimyasal işlem sonucu elde edilirler. Zincirler arası bağlar sıcaklığın yükselmesiyle azalır. Termoplastik yapıdaki polimerlerin çoğunluğu lineer polimer haldedir. Ayrıca bir kısmı da dallı yapıdadırlar. En önemlileri;



Şekil 4.1: Termoplastik polimerlerin yapıları [2].

#### 4.1.1 ABS

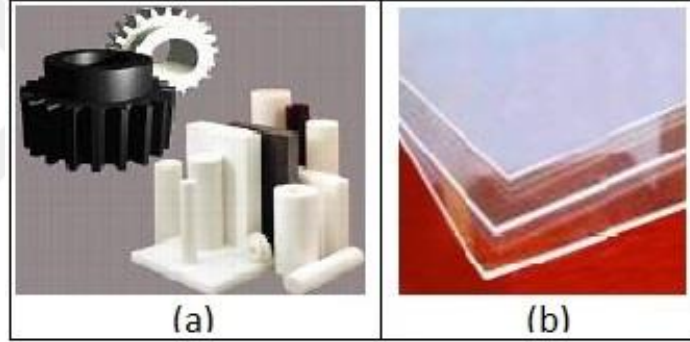
ABS (Akrilonitril bütadien stiren) tok, rijit ve serttir. Kuvvetli darbelere karşı dayanıklılığı yüksektir. Darbe sonu kırılması sünektir. Yüksek ısı ve alev karşı dayanım gösterirler. Uzun süre güneşe mağruz kalırsa rengi, darbe mukavemeti ve sünekliliği azalır.

#### 4.1.2 SAN

SAN (Stiren akrilonitril) plastikler şeffaf, rijit ve serttir. Kimyasal mukavemeti yüksektir. Vakum temizleyicileri, tıp şırıngaları, buzdolabı bölmeleri ve bulaşık makinelerinin yapımında bu malzemeden faydalanılır.

#### 4.1.3 Asetal (POM)

Kristalinite değeri yüksektir. Bu plastik yüksek bir nem mukavemetine sahip olmakla birlikte rijit, serttir. Çözücü ve ısı mukavemeti yüksektir. Uzun süre yüksek sıcaklık uygulandığında kararlı kalabilirler. Asetalin co-polimerleri kuvvetli asitlerden etkilenirler. Asetalin homo-polimerleri ile co-polimerleri cam elyafı ile enjeksiyonla kalıplama ürünleri olarak üretilmektedir.



Şekil 4.2: (a) Asetal, (b) Akrilik [2].

#### 4.1.4 Akrilik (PMMA)

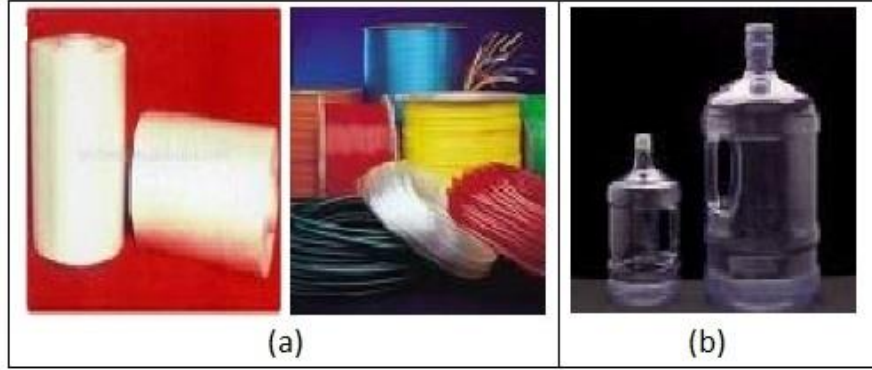
Kristal gibi parlak görünüme sahiptir. Açık havada yıpranmaya karşı dayanıklıdır. Ağırlığı ise cam ağırlığının yarısı kadardır. Ayrıca darbe mukavemeti de yüksektir.

#### 4.1.5 Selüloz Asetat (CA)

Saydam, yarı saydam, opak ya da inci rengindedir. Geniş sıcaklık aralığında tokluğunu korur. Isıl iletkenlik özelliği çok düşüktür. Su emme özelliği ise düşüktür. Havada sürekli kalmaya uygun değildir.

#### 4.1.6 Naylon - Poliamid (PA)

Su emme özelliğinin yüksek olması naylon için dezavantajdır. Kristalin bir yapıya sahip olan naylon elyaf ile takviye edilebilir. Naylon 6, dökümü yapılabilir bir yapıya sahiptir. Diğer naylon türleri zor aktığı için yüksek basınç gerektiren enjeksiyon ve ekstrüzyon yöntemleriyle kullanır. İyi mekanik ve tribolojik özelliklere sahip olması sebebiyle naylon; dişli çark, kam, kaymalı yatak malzemesi olarak kullanılmaktadır.



Şekil 4.3: (a) Naylon, (b) PVC [2].

#### 4.1.7 Polikarbonat (PC)

Alev karşı dayanıklılığı yüksektir. Besin maddeleri ve ilaçlarla direkt temasları iyidir. Havaya ve ultraviyole ışıklara dayanıklıdır. Darbe mukavemeti parça kalınlığına bağlıdır. Kalınlık arttıkça mukavemeti azalır ancak 6,5 mm kalınlıkta bile hala mukavemetini korur.

#### 4.1.8 Polietereterketon (PEEK)

Bu plastik kompozit malzemeler, tel kaplama ve kısmi kristalli malzemeler için uygun bir reçinedir. Oda sıcaklığında toktur, rijittir, uzun sürede aşınmaya karşı dayanıklılık gösterir. Sulu ortama ve çözücülere karşı mukavemeti yüksektir. Uçak, askeri, nükleer santral gibi alanlarda tel ve kablo için yalıtım malzemesi olarak kullanılır.

#### **4.1.9 Polietilen (PE)**

Piyasada yaygın olarak kullanılan plastiklerdendir. Yoğunluğuna göre alçak yoğunluklu ve yüksek yoğunluklu türleri mevcuttur. Polietilen kimyasallara ve aşınmalara karşı dirençlidir. Elektrik özelliği, darbe çentik mukavemeti yüksektir. Nem emme özelliği neredeyse sifıra yakındır.

#### **4.1.10 Polistiren (PS)**

Polistiren amorf bir yapıya sahiptir. Parlak ve berrak görünümlüdür. Genişleyen polistiren çeşidi enerji sönümlemede çok uygundur. Yiyecek ve içeceklerle karşı dayanıklılığı yüksektir. Düğme, ışık düğmeleri, içecek şişeleri ve paketleme malzemesi gibi alanlarda kullanımına rastlanır.

#### **4.1.11 Polivinil Klörür (PVC)**

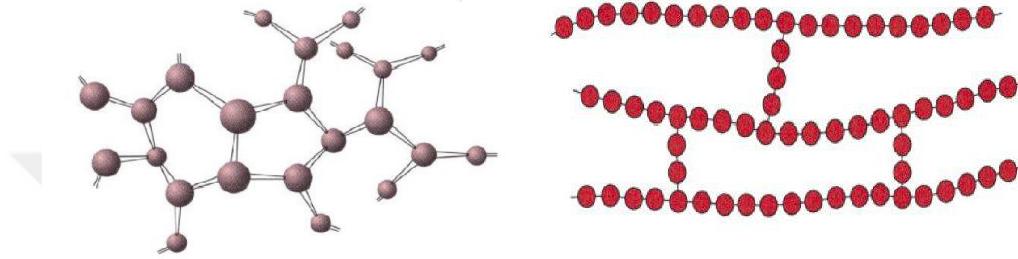
Piyasada yaygın olarak kullanılan malzemelerden biridir. Rijit, yumuşak ve hücreli PVC çeşidi bulunmaktadır. Köpük olarak da kullanılmaktadır. Ateşe dayanıklı, kendi kendini sndrebilme özelliği vardır. Elektrik yalıtkanlığı çok iyidir. Ancak kimyasallara karşı dayanıklılığı azdır. Su boruları, cam çerçeveleri ve su şişesi üretiminde kullanılır. Ayrıca tel ve kablo izolasyonunda bu malzemedен faydalanılır.

#### **4.1.12 Polipropilen (PP)**

Süt gibi beyaz renktedir. Boyanma kabiliyeti yüksektir. Kimyasal, ısı ve elektriksel özellikleri orta seviyededir. Otomotiv, ilaç, kozmetik ve gıda endüstrisinde geniş kullanım alanı bulunur.

## 4.2 Termoset Polimerler

Termosetler ısıtıldıklarında katılaşıma meydana gelir. Yumurtayı pişirdikten sonra katılaştırıp yeniden yumuşatamadığımız gibi bir daha asla tekrar tekrar ısıtarak sertleştirme gerçekleşemez. Yaygın olarak polikondenzasyon yöntemiyle üretilir. Isıtma sırasında kovalent çapraz bağlanma oluşmuştur. Çapraz bağlama eğme ve dönme hareketleri kısıtlar. Daha sert ve aynı zamanda gevrek bir yapıya sahiptirler. En çok bilinenleri;



Şekil 4.4: Termoset polimerlerin yapısı [2].

### 4.2.1 Alkidler

Çok düşük su emme ve çok iyi elektrik özelliğine sahiptirler. Ayrıca fiyatları da oldukça düşüktür. Alkalilerden etkilenirler, ancak zayıf asitlere karşı dayanıklıdırlar. En yaygın kullanım alanı elektrik malzemeleridir.



Şekil 4.5: (a) Alkid, (b) Amino melamin [2].

### 4.2.2 Amino (Melamin, Üre)

Oda sıcaklığında sıvı, katı ve kuvvetlendirilmiş yapıda olurlar. Bir katalizör, ısı altında sert ve mukavim bir yapıya bürünür. Amino plastikler üre ve melaminden

oluşur. Amino reçineleri, rijit, sert ve aşınmaya dayanıklıdır. Ağırlık altında çok az şekil değiştirirler. Elektrik yalıtkanlığı çok iyidir. Aleve karşı dayanıklıdır, yiyeceklere koku vermezler. Ağaç yapıştırıcıları kaplama işlemlerinde kullanılır. Düğme, tabak, bardak ve elektrik parçaları gibi malzemeler üretilir. [2].

#### 4.2.3 Epoksi Reçine (EP)

Termik özellikleri, kimyasal mukavemetleri ve havada dayanıklılıkları yüksektir. Zayıf olan mukavemetleri ise lifli güçlendiricilerle iyileştirilir.

#### 4.2.4 Fenolikler

Genel amaçlı, katkısız, darbeye karşı mukavemetli, ısıya mukavemetli ve iyi elektrik özelliği olan malzemelerdir. Elektrik parçaları, düğme, açık havada çalışan pompa gövdeleri, elektrik süpürge parçaları, yapıştırma, emdirme, kaplama gibi alanlarda bu malzemenin kullanımına rastlamak mümkündür.

#### 4.2.5 Termoset Polyester

Termoset polyesterler genellikle cam ile kuvvetlendirilmiş olarak CTP şeklinde kullanılır. Bu tür reçineler levha ve kütle kalıplama olarak da mevcuttur. Mekanik özellikleri katkı elemanlarına göre çok farklıdır. Tekne, atletizm elemanları, mimari paneller, su depoları, sandalye ve mobilya yapımında termoset polyesterden faydalanılır.



Şekil 4.6: (a) Polyester, (b) Poliüretan [2].

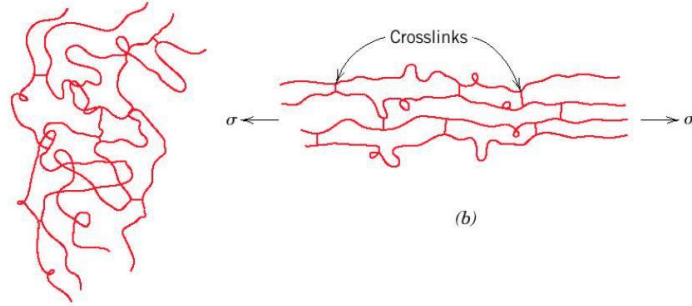
#### 4.2.6 Poliüretan

Bu malzeme termoset ya da termoplastik şeklinde bulunur. Düşük ve yüksek olarak çeşitli yoğunlukta bulunurlar. Sıvı halinde olan poliüretanlar ise termosettir. Esnek, rijit ve tam kabuklu köpük türleri bulunur.

#### 4.3 Elastomer Polimerler

Elastik şekil değiştirme yeteneği fazla olan malzemelere kauçuk ya da bilimsel ismiyle elastomer denilir.

Elastomerler, çok fazla uzatıldıktan sonra, elastik olarak yay gibi gerilerek orijinal uzunluklarına geri dönerler. Bu davranış en iyi gösteren örnek lastiktir. Bir polimerin elastomer yapı olması için taşıması gereken bazı kriterler vardır. Elastomerler amorf yapıdadırlar ve kristalleşmeye karşı direnir. Üzerlerinde gerilme olmayan elastomerler sarılı, kıvrılı konumdayken; üzerlerine gerilme uygulanmış elastomerler deformasyon esnasında uzamış konumdadır. [4].



Şekil 4.7: Elastomer polimerlerin yapısı [2].

Elastomerlerde çapraz bağlanma, vulkanizasyon oluşumunda olduğu gibi plastik şekil değiştirmeye karşı mukavemeti artırır. Sıcaklık ise camsı dönüşüm sıcaklığı ( $T_g$ )'den yüksektir. Camsı dönüşüm sıcaklığının ( $T_g$ ) altındaki elastomerler gevrekleşir.



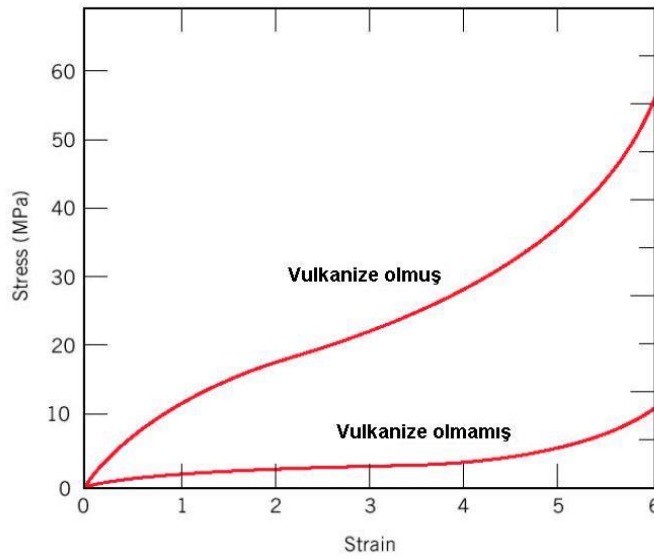
### 4.3.1 Vulkanizasyon

Vulkanizasyon kauçuğun ya da benzer polimerlerin, kükürt veya diğere eşdeğer kükürtleyicilerin ilavesiyle daha dayanıklı malzemelere dönüştürülmesi işlemidir. Çapraz bağlanma, elastomerik davranışın olması gereken özelliklerinden biridir. Kükürt atomları çift bağlı karbon atomlarıyla köprü şeklinde çapraz bağlantı gerçekleştirirler.



Şekil 4.8: Lastik.

Vulkanize olmamış lastik yüksek çevre sıcaklıklarında yumuşamadan, düşük çevre sıcaklıklarında sertleşmeden olumsuz etkilenir. Bu problemin aşabilmek için farklı kimyasal işlemler denenmiştir. 1839 yılında Charles Goodyear rastlantı eseri kükürt kaplı lastiği ısıtma ile vulkanizasyon olayını keşfetti. Isıtma ve soğutma durumunda lastiğin özelliğinin değişmediğini farketti. Elastomer malzemeler bir termoset polimerlerdir. Elastisite, çekme gerilmesi ve oksitlenmeye karşı direnç vulkanizasyonla artış gösterir. Elastisite çapraz bağlanmanın büyüklüğüyle orantılıdır. Aşırı çapraz bağlantı ise uzamayı azaltır [2].



Şekil 4.9: Vulkanizasyon'un mekanik dayanıma etkisi [2].

## 5. PLASTİKLERİN SEÇİMİNDE KULLANILAN TEMEL KRİTERLER

Plastik imalatçıların, taleplerine cevap verebilecek nitelikteki plastik malzemeler, ürünün tasarlanmasında önemli rol almaktadır. Seçilen kriterler ürünün fonksiyonunu ve satışını etkileyeceğinden en ideal olanı seçilmelidir. Ürünün kullanılacağı alan, ürünün hitap ettiği kitle, ürünün işlevi de tasarımda malzeme seçerken aktif rol oynar. Plastiklerin seçiminde kullanılan temel kriterler aşağıda belirtilmiştir.

- Mekanik Özellikler
- Darbe Dayanımı
- Boyutların Rijitliği
- Sıcaklık Dayanımı
- Kimyasal Dayanım
- Alev Geciktiricilik
- Elektrik Özellikleri
- İşleme Özellikleri
- Yüzey Sertliği
- Yüzey Görselliği
- Fiyat

Uygulamalarda plastik malzemelerin sağladığı en önemli fırsatlar; boyanma ve yüzey işlemlerine gerek olmaması, parça konsolidasyonu, montajının mümkün olması, yüksek ‘‘Mukavemet / Ağırlık’’ oranıdır [5].

## 6. PLASTİK ENJEKSİYON YÖNTEMİ

Plastikler enjeksiyon, ekstrüzyon, üfleme, basınçlı ve transfer kalıplama, haddeleme, döküm gibi farklı imalat metodlarıyla üretilmektedirler. Tezde yer alan deneysel çalışmalar kısmındaki seçilen ürün, plastik enjeksiyon yöntemi ile üretildiği için bu yöntem detaylı olarak açıklanmıştır.

Plastik enjeksiyon yöntemi bir çok plastik tüketim malzemelerinin imalatındaki yaygın ve ucuz metodlardan biridir. Plastik enjeksiyon yöntemiyle bilgisayar için gerekli parçalar, araç panelleri, evlerde kullanılan eşyalar gibi ürünlerin üretimi yapılmaktadır. Söz konusu ürünler gelen talep doğrultusunda plastik enjeksiyon yöntemiyle değişik ebatlarda ve çeşitli ihtiyaçlara cevap vermek için seri üretimle üretilmektedir. Bu metodla termosetler, termoplastikler ve bazı elastomerler işlenerek üretim gerçekleştirilmektedir [6].

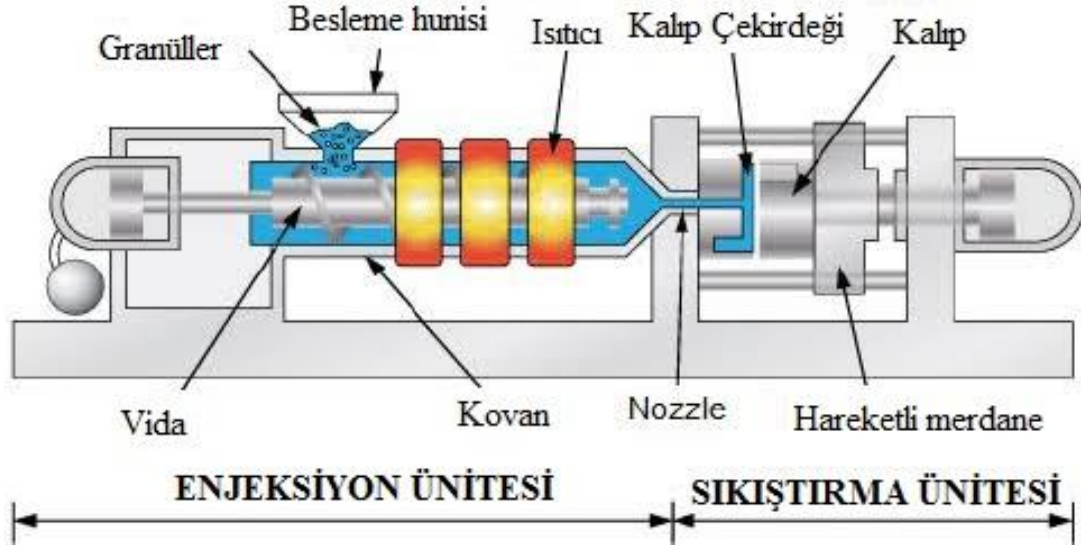
Plastik enjeksiyon yöntemi, plastik ham malzemenin belirli sıcaklıkta eritilip daha sonra bir kalıba doldurularak talep edilen forma sokulması işlemidir. Ham malzeme talep edilen forma gelirken kalıpta soğutulur ve işlem tamamlandıca parça kalıptan çıkartılır.

### 6.1 Plastik Enjeksiyon Makinesi ve Parça İmalatı

Bir plastik enjeksiyon makinesinin temel bileşenleri; enjeksiyon ünitesi, kalıplama ünitesi ve mengene ünitesidir.

#### 6.1.1 Parça İmalat Süreci

- **Hammadde kurutma aşaması:** Bu aşamada ham malzeme kurutma ünitesinde 80°C sıcaklıkta yaklaşık olarak 2,5 – 3 saat bekletilerek işlem yapılır



Şekil 6.1: Plastik enjeksiyon makinesi genel görünüşü.

- **Plastikleştirme aşaması:** Yapılan işlemden önce kurutulmuş ham malzeme besleyicinin kapağı açılarak sonsuz vida aracılığıyla ısıtılacak olan kısma gönderilir. Bu kısımda değişik sıcaklıktaki ısıtıcılardan geçer. Erime işlemi gerçekleşen malzeme enjekte memesine gönderilir. Isıtıcıların sıcaklıkları ABS malzemelerde (220–225–230)°C; SAN malzemelerde ise (230–235–240)°C olarak tayin edilmiştir.

- **Plastikleştirme aşamasının bitmesi:** Sonsuz vidanın görevi tamamlanır ve enjekte memesinde yeterli malzeme bulunur. Her işlemde eşit ağırlık ve kalitede ürün almak için kalıba gönderilen malzeme miktarında her işlemde aynı olmak durumundadır

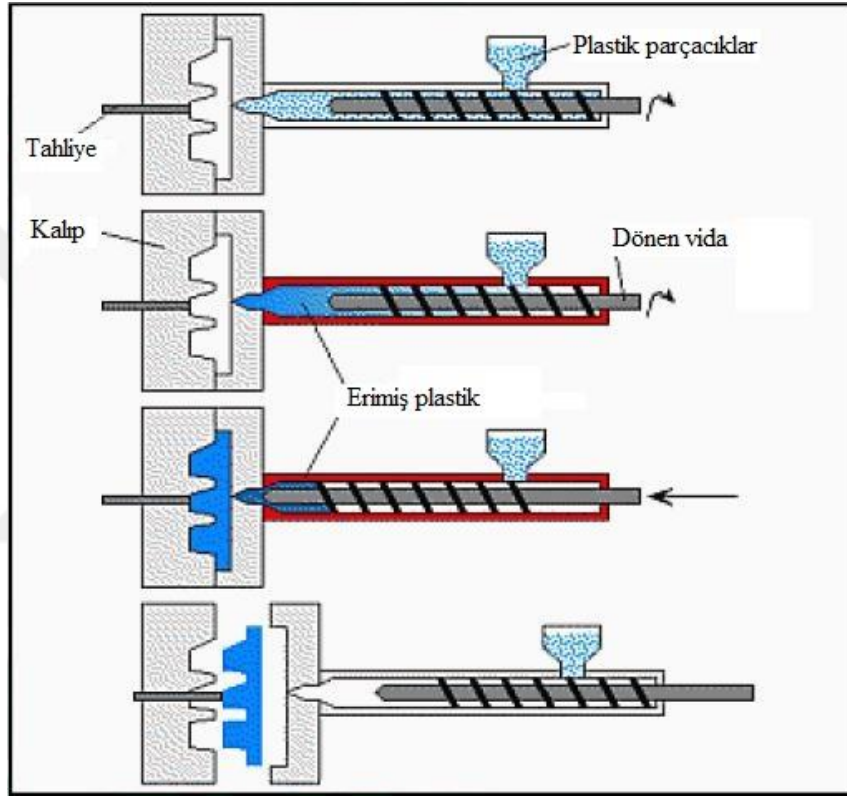
- **Kalıbın kapanması:** Enjeksiyon prosesine başlamadan önce, kalıbın iki yarısı mengene ünitesi aracılığıyla emniyetli bir biçimde kapatılır. Kalıbın her iki yarısı enjeksiyon ünitesiyle birleşir. Kalıpların bir tanesi hareketini aksel yönde yapar. Hidrolik ünite aracılığıyla mengene kalıpları bir araya getirir ve bu işlem gerçekleştikten sonra enjeksiyon prosesine geçilir.

- **Enjeksiyon işleminin başlaması:** Ufak yapıdaki plastik ham malzemesi besleyicinin ardından sonsuz vida aracılığıyla meme ucundan geçer ve kalıplara ulaşmış olur. Erimiş yapıda olan plastik malzemenin akış özelliklerinin değişimi ve kompleksliğinden ötürü enjeksiyon süresinin net tayin edilmesi zordur.

- **Soğuma aşaması:** Kalıp içerisine yönlendirilen plastik malzeme kalıpta soğumaya başlar. Plastik malzeme soğumayla birlikte enjekte edildiği kalıbın şeklini alır ve katılaşma başlamış olur. Bu işlem boyunca kalıp açılmaz. Soğuma süresi, çeşitli

plastik malzemelerin termodinamik özelliklerine, et kalınlığına ve mekanik özelliklerine bakılarak belirlenir.

• **Ürünün kalıptan dışarı atılması:** İşlem süresi tamamlandığında kalıp içerisinde soğuyup katı bir hal alan malzeme kalıptan itici aracılığıyla dış kısma iletilir. Kalıbın bir yarısına itici yerleştirilir ve kalıp açıldığında itici mil ileriye doğru hareket ederek pimleri hareketlendirir. Parçanın kalıptan dışarı iletilmesinin ardından kalıplar yeniden mengene ünitesi aracılığıyla birleştirilir. Yapılan bu işlemle ardından gerçekleştirilecek olan diğer enjeksiyon işlemi için hazırlık yapılmış olur [6].



Şekil 6.2: Plastik enjeksiyon yöntemi ile parça üretim süreci [2].

## 6.2 Plastik Enjeksiyon Yönteminin Avantaj ve Dezavantajları

Plastik enjeksiyon kalıplama yönteminin önemli avantaj ve dezavantajları aşağıdaki gibidir;

### 6.2.1 Avantajları

- Bu yöntemde karmaşık şekilli parçaların üretiminin yapılabilmesi,

- Seri ¼retimde uygun olması ve y¼ksek ¼retim hızlarına ulaşılabilmesi,
- Bu yolla imal edilen malzemelerin işçilik maliyetlerinin yüksek olmaması,
- Parçalar kalıptan çıktıktan sonra ek proses ihtiyacı olmaması ya da az olması,
- Diğer imalat yöntemleriyle imaledilmesi zor olan, ufak malzemelerin rahatlıkla imal edilebilmesi,
- Bazı durumlarda kalıp değiştirmeden aynı parçanın farklı malzemelerle şekillendirilebilmesi,
- Parçalarda ölç¼ standardının iyi olması,
- Üretimde oluşan ıskarta parçaların geri kazanma fırsatının olması,
- Hassas toleransların gerçekleştirilebilir olmasıdır.

### **6.2.2 Dezavantajları**

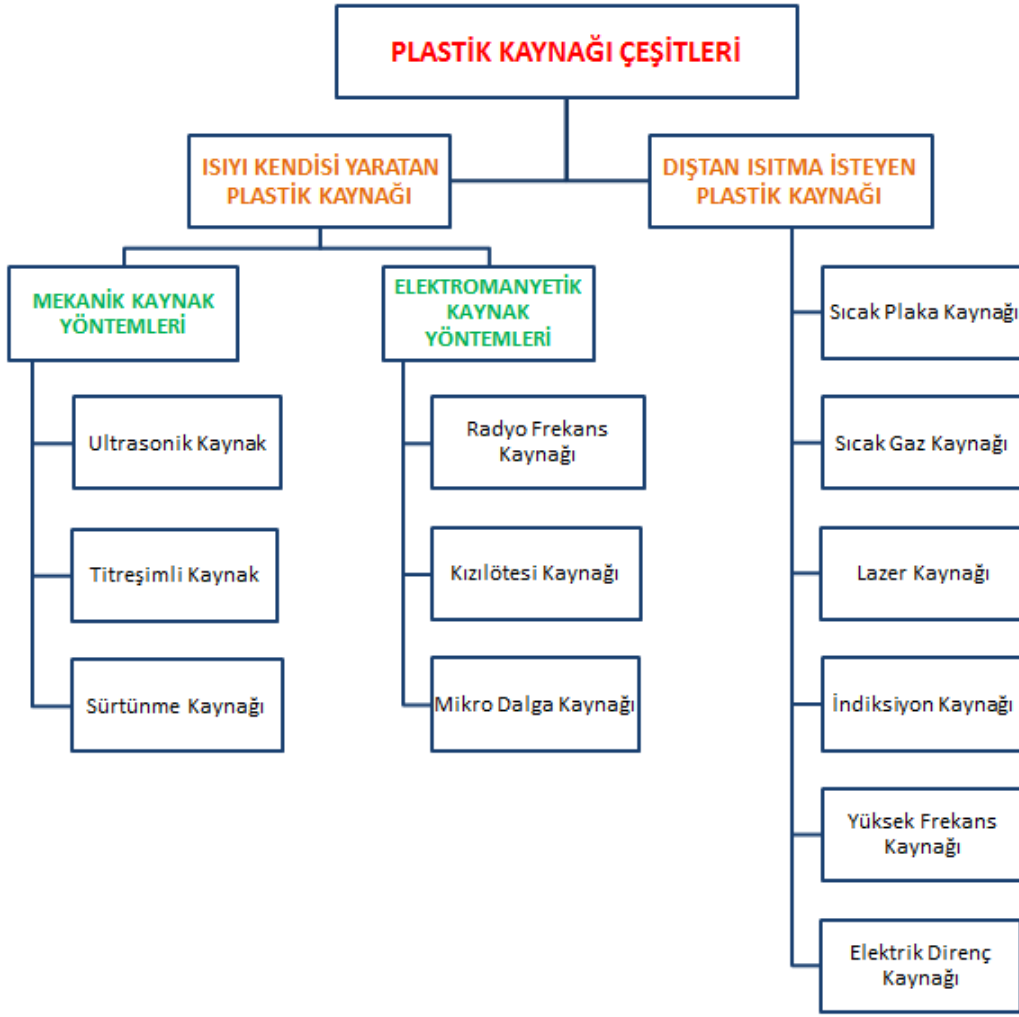
- Kalıp maliyetlerinin pahalı olması,
- Makine maliyetinin karşılanabilmesi için seri ¼retimde ihtiyaç duyulması,
- Endüstriyel rekabetle birlikte karlılık oranının düşebilmesi,
- Proses takibi, çıkan ürünün kalitesini direk olarak etkileyebilir.

## 7. PLASTİK MALZEMELERİN KAYNAĞI

Plastik malzemelerin kaynağında, malzeme özellikleri, çalışma koşulları, zamana bağlı özelliklerindeki değişimler, kaynak sonrası sertleşme eğilimi, malzemenin kimyasal ve ısı direncinin yanı sıra işlem güvenliği ve işlem sonrası güvenilirlik, otomasyona uygunluk ve bütün bunların dışında ekonomiklik göz önünde tutulmalıdır.

Plastik malzemelerden sadece termoplastiklere kaynak işlemi yapılabilir. Termosetlere kaynak işlemi uygulanamaz. Çünkü termosetler daha önceden şekillenirken bir defa kimyasal reaksiyona girip sertleştiği için ikinci kez kaynak için ısıtıldıklarında yumuşamazlar. Eğer ısıtma işlemi uygulanırsa yanar ya da kömürleşebilirler. Kaynak işlemi yerine yapıştırma veya birbirine geçme teknikleriyle birleştirme işlemi yapılabilir [7].

İki tip plastik kaynak çeşidi vardır; ısıyı kendisi yaratan plastik kaynağı ve dıştan ısıtma isteyen plastik kaynağı.



Şekil 7.1: Plastik kaynağı çeşitleri.

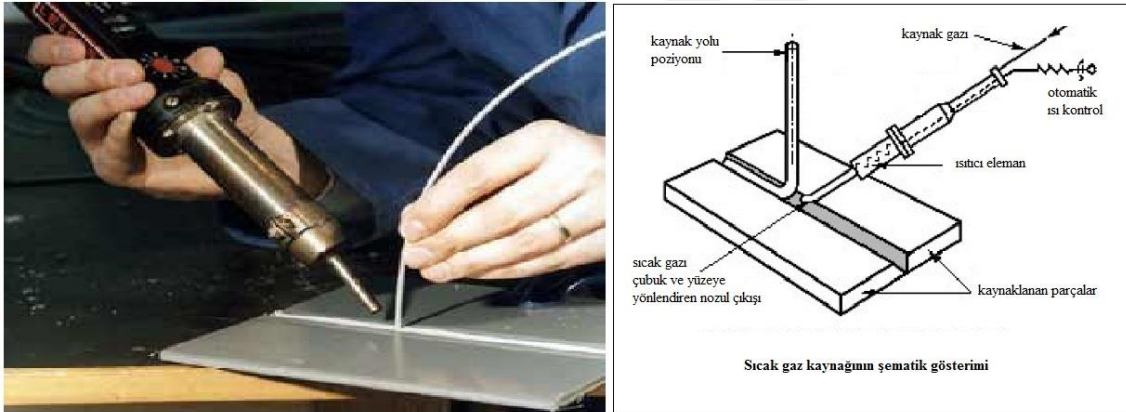
Plastik malzemelerin kaynağında kaynak dikişinin çevresinde ısıdan etkilenmiş bölge oluşur. Kaynak sırasında kullanılan basınç ve polimerin akışı sonucunda normal olarak kaynak bölgesinde kristal mikro yapıların çeşitli türleri oluşur. Bu durum örneğin polipropilen gibi yarı kristalin plastiklerde sıkıştırılmış akış ve hızlı soğuma da belirli bir miktarda kristal yapıların oluşmasına yol açar. Metallerde olduğu gibi, ısıdan etkilenmiş bölge ana malzemeden daha zayıf olur. Isıdan etkilenmiş bölgedeki artık kaynak gerilmelerinden dolayı, aşındırıcı sıvılar ve çözücülerin etkisiyle korozyon oluşumu bu bölgede daha hızlı olacaktır. Ergitilmiş metaller kaynak banyosuna rahat akarak kaynak ağzını doldururken, viskoz akışkan olan plastiklerde malzeme kaynak yapılan yere bastırılarak ya da itilerek dolgu yapılır. Bu şekilde uygulanan basınçlarla akış yönündeki zincirlerin yer değiştirmesi ile karşılaşılır. Bu da birleşme hattı boyunca anizotropiye neden olur. Örneğin, bunun sonucunda



birleşme hattı düzleminde enlemesine olan düzleme nazaran daha düşük çentik darbe veya çekme kuvveti elde edilir [8].

## 7.1 Sıcak Gaz Kaynağı

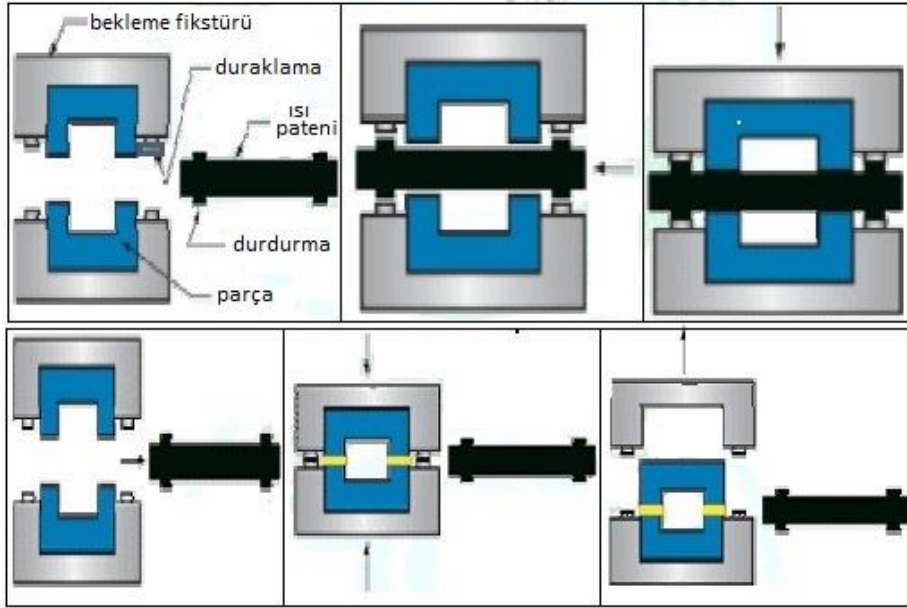
Bu yöntem büyük parçalar için çok elverişlidir. Birleştirme elemanı olarak elektrot kullanılır. Birleşecek parçaları ısıtmak için sıcak gaz kullanılır. Sıcak gaz olarak hava ve azot gazı kullanılır. Kullanılacak gazların kuru ve temiz olması gerekir. Elektrot ile kaynak edilecek parçanın yapısı aynı olmalıdır. Plastik kaynağı yapılacak parçalara önce parçanın konumuna göre “V”, “T” şeklinde ağız açılır. Kaynak edilecek parçalarla birlikte elektrot malzemesi sıcak gazla ( $120^{\circ}\text{C} - 180^{\circ}\text{C}$ ) ısıtılır. Gaz sıcaklığı ise plastiğin cinsine göre  $200^{\circ}\text{C} - 350^{\circ}\text{C}$  arasındadır. Sert termoplastiklerde elektrodun bastırılması düz bir parçayla yapılırken yumuşak plastiklerde ise rulo ile yapılmaktadır [8].



Şekil 7.2: Sıcak gaz kaynağı [8].

## 7.2 Sıcak Eleman Kaynağı

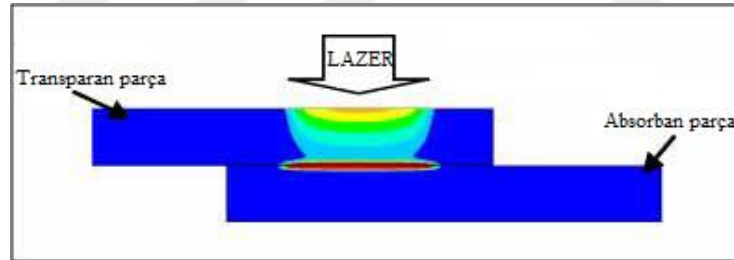
Bu yöntemde elektrot kullanılmaz. Kaynatılacak parçalar alın altına veya “T” oluşturacak şekilde tutulur. Elektrik rezistansı ile çalışan bir sıcak eleman parçalar arasına getirilir. İyice yumuşayan plastik parçalar arasındaki sıcak eleman hızla aradan çekilir. Parçalar bastırılır. Yüzeyler birbiri ile birleştirilir. Parçalar soğuyuncaya kadar kalıpta tutulur. Parçalar soğuduktan sonra dışarı alınır [9].



Şekil 7.3: Sıcak eleman kaynağı [8].

### 7.3 Plastik Lazer Kaynağı

Plastik lazer kaynağında, parçalardan biri lazer ışınlarını geçiren transparan özelliğine, diğeri de ışınları emme (absorbe etme) özelliğine sahip olmalıdır.



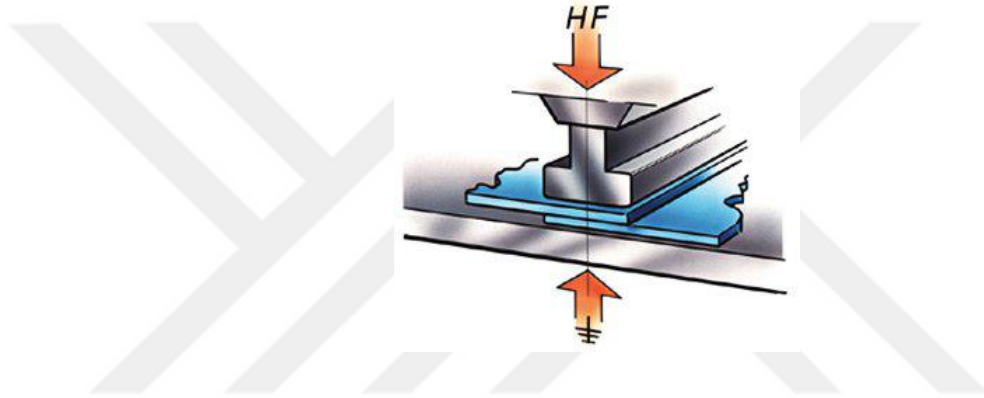
Şekil 7.4: Plastik lazer kaynağı [8].

Termoplastik malzemelerin çoğu transparan özelliğine sahip olduğundan bu zorunluluk kendiliğinden gerçekleşmiş olur. Emme özelliği sağlatılmak için ise plastiğe katkı maddesi ilave (karbon) edilmelidir. Önce dalga uzunluğu 800-110 Nm olan lazer ışını gönderilir.

Lazer, transparan parçadan geçer, ışık emici parçanın yüzeyini ısıtır. Bu ısı, transparan parçanın da ısınmasına sebep olur. Her iki parçanın yüzeyleri erir. Parçalar soğur ve katılır. Böylece güçlü bir bağ oluşur [8].

#### 7.4 Plastik Yüksek Frekans Kaynağı

Bu yöntem, parçaların temas yüzeylerinde yüksek frekans (20 - 60 MHz) oluşturan elektromanyetik enerji kullanır. Dielektrik ya da Radyo frekans kaynağı olarak da isimlendirilir. Kaynak edilecek plastiğin yalıtkanlığını esas alan bir yöntemdir. Kaynak edilecek plastikler iki elektrot plaka arasına konur. Yüksek frekans elektromanyetik alan doğurur. Plastikler yalıtkanlıdır. Elektrik kayıpları meydana gelir. Plastiklerin molekülleri dipol moment özelliğine sahip olduklarından erime aşamasına kadar titreşirler ve ısı doğar. Parçalar doğan ısı ile yumuşarlar ve elektrotlarla bastırılır. Elektromanyetik alan kesilir. Kaynak soğur ve sonra katılma meydana gelir.



Şekil 7.5: Plastik yüksek frekans kaynağı [8].

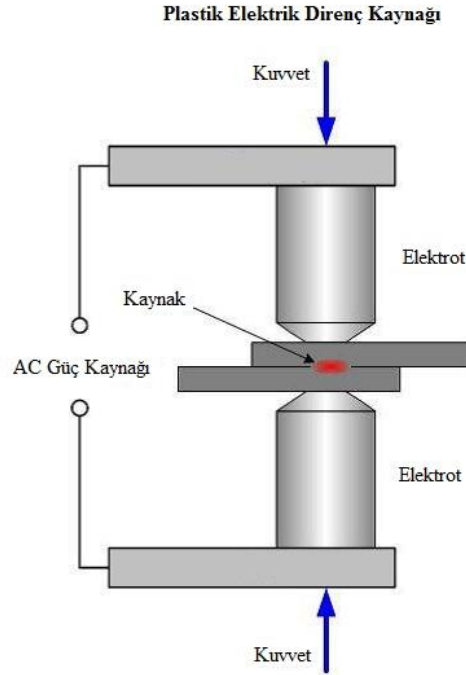
Bu yöntemle dipol momentine sahip genellikle PVC ve PU plastikleri kaynak edilir. Başka plastikler ancak polar katkı malzemesi ilave edilerek bu yöntemle kaynak edilebilirler. Bu yöntemin en önemli avantajı hızdır. Plastikler birkaç saniye içinde ısınırlar [8].

Tıp alanında ve tüketim mallarının paketlenmesinde kullanılan filmlerin kaynağında çok kullanılır [17].

#### 7.5 Plastik Elektrik Direnç Kaynağı

Bu yöntem metallerin nokta kaynak (spot welding) yönteminde kaynak edilmelerine benzer. Plastik parçalar iki elektrot arasına konur. Elektrik akımı verilir. Noktasal bölgede, elektrik direnç kayıpları sebebiyle ( $E=I^2.R.t$ ) bağıntısına uyan ısı

ortaya çıkar. Elektrotlar arasında kalan plastiğin noktasal kısmı yumuşar veya erir. Elektrik akımı kesildiğinde ise eriyik katılaşır. Bu yöntem sayesinde kaynak kısa sürede gerçekleşir, zahmetsiz bir biçimde otomasyona çevrilebilir ve ucuzdur. Elektrota ihtiyaç duyulmadığından, çarpılma durumu da yaşanmaz [10].



## 7.6 Sürtünme Kaynağı

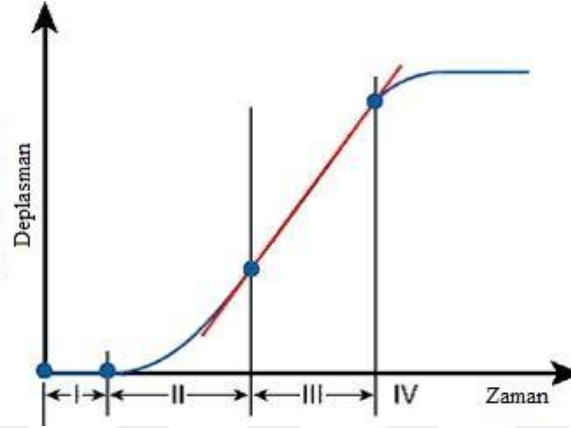
Sürtünme kaynağı yöntemi PVC gibi sert plastiklerin kaynağında yaygın olarak kullanılmaktadır. Kaynak işlemi uygulanacak parçalardan bir tanesi sabit konumdadır, diğeri ise dönme hareketini sergiler. Sabit olan parça yavaşça dönel parçaya temas ettirilir. Sürtünme sonucunda ısı ortaya çıkar. Isının etkisiyle yüzeyler yumuşar ve parçalar bastırılır. Hareket tamamlandıktan sonra kaynak yeri soğur ve katılaşır bu sayede sağlam birleşme gerçekleşir [11].

Şekil 7.7’de görüldüğü gibi parçalar kaynak için alın altına getirilir, sürtünme başlar ama akma başlamaz. (I. Bölge)

Biri sabit diğeri hareketli parçalara kuvvet uygulama sürerken sıcaklık artar, akma kaynak kenarlarına doğru taşmaya başlar. (II. Bölge)

Bu bölge sabit hal (lineer bölge) bölgesidir. Malzemeye sabit hızda kaynak yapmaya devam edilir. (III. Bölge)

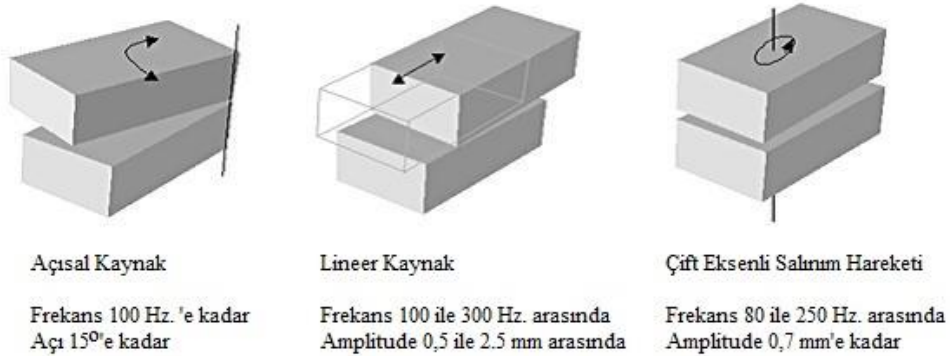
İç yüzeylerin sürtünmesi durduğu zaman, soğuma başlar. Kaynağın iyice pekişmesi için kuvvet uygulamaya devam edilir. (IV. Bölge)



Şekil 7.7: Sürtünme kaynağı diyagramı [8].

## 7.7 Plastik Titreşim Kaynağı

Bu yöntemde plastik iki parça açısız şekilde, lineer şekilde ve iki eksenli olarak (biaxial) yatay şekilde hareket uygulanarak titreşime tabi tutulur. Bu yöntemin ultrasonik kaynak yönteminden farkı, çok daha düşük frekanslarda, çok daha yüksek şiddetlerde (amplitude) ve çok daha büyük sıkıştırma kuvvetlerinde gerçekleşiyor olmasıdır. Bu kaynak yöntemi ile PS ile ABS, PMMA ile PC, PPO ile PA plastikleri beraber kaynak edilebilmektedirler.



Açısız Kaynak

Frekans 100 Hz.'e kadar  
Açı 15°'e kadar

Lineer Kaynak

Frekans 100 ile 300 Hz. arasında  
Amplitude 0,5 ile 2,5 mm arasında

Çift Eksenli Salınım Hareketi

Frekans 80 ile 250 Hz. arasında  
Amplitude 0,7 mm'e kadar

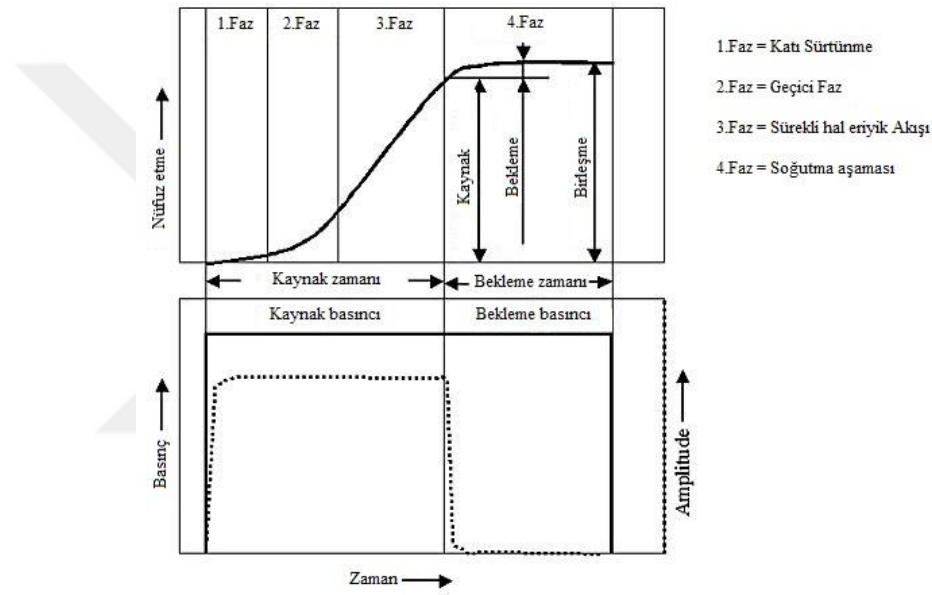
Şekil 7.8: Plastik titreşim kaynağı [8].

Titreşim kaynağının 4 adımı vardır.

**1. Katı sürtünme:** Bu süreçte yüzeylerden birisi diğer yüzeye yatay olarak katı şekilde sürtünür. Birleşme için gerekli ısı ortaya çıkar.

**2. Değişim:** Kaynak bölgesindeki parçalarda ısının etkisiyle erime görülür. Yüksek kayma sürtünmesinden dolayı yüksek ısı oluşur. Bu yüksek ısı sebebiyle erimiş katmanlar kalınlaşır. Viskozitede artış olur, kayma sürtünmesi azalır ve ısınmada kayıp olur. Eriyen parçalarda basınç artar, kaynak için akma değeri yükselir.

**3. Optimum kaynak mukavemeti:** Birleşme optimum mukavemete ulaştığında kaynak işlemi durur.



Şekil 7.9: Plastik titreşim kaynağı diyagramı [8].

Bu işlemin durması eriyen parçaların hızı ile dışa doğru yayılan parçaların hızları eşit olması anlamına gelir.

**4. Soğutma:** Kaynak yerinde basınç varken, malzeme tekrar katılaşır. Moleküler bağlanma yaparak kaynak olur.

Plastik titreşim kaynağında kaynak parametreleri aşağıdaki şekildedir:

Frekans: 100 – 400 Hz

Şiddet (Amplitude): 0,5 - 2,5 mm

Titreşme Zamanı (Cycle time): 10 saniye

Kaynak basıncı: 0,5 - 5 MPa

## 8. TERMOPLASTİK MALZEMELERİN ULTRASONİK KAYNAĞI

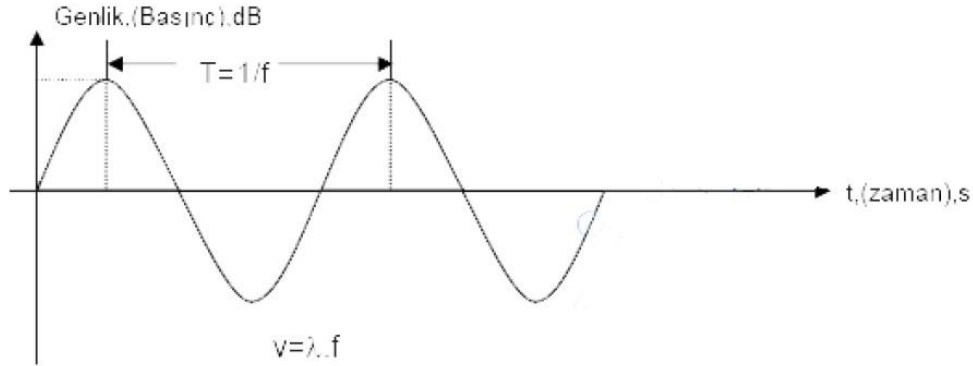
### 8.1 Ultrason Tanımı

İnsan kulağı 20 Hertz ila 20 kHz aralığındaki sesleri işitebilmektedir. 20 kHz üzerinde kalan akustik dalgalar, ultrasonik dalga olarak tanımlanır. Çokça kaynak ultrasonik dalgaları 20 kHz – 100 kHz aralığında sınırlamakta ancak, tıp alanında kullanılan en yüksek sınır 30 MHz'e kadar ulaşabilmektedir. Fakat teşhis amacıyla kullanılmakta olan ultrason dalgalarının 2 ile 10 MHz arasında olduğu bilinmektedir [12].

MHz seviyesindeki dalgalar, radyo frekans dalgalarıdır. Radyo frekans dalgaları ve ultrasonik dalgalar arasında, aynı frekans bandında olmasına rağmen yapı bakımından bir takım temel farklılıklar bulunur. Radyo frekans dalgaları, elektromanyetik dalgalardır. Ultrason dalgaları ise akustik yapıdadır. Örnek vermek gerekirse; 2.5 MHz'lik sinyal uygun bir anten ile bağlantı yapılırsa, elektromanyetik bir ışınım ortaya çıkarken aynı sinyalin bir ultrason transdüserine uygulanmasıyla ultrason dalgalarını oluşturmaktadır. Ultrason temelinde darbe - yansıma (pulse - echo) prensibi vardır. Özetle bir ultrason darbesi iletilir ve hedeften yansıtılarak gelen eko geri alınmaktadır. Geri alınmış ekodan, gözle görülemeyen hedefle alakalı istenen bilgi temin edilebilir. Örnekle vücutta iç organları görmek için darbe - yansıma yöntemi kullanılmaktadır; insan kulağının duyamayacağı, yüksek frekanslı ses dalgaları iç organlara transdüser olarak isimlendirilen, el ile çalışan inceleme aygıtının, tarayıcı içindeki ufak, titreşim yapan bir kristalden vücudun iç organlarına iletilir. Tarayıcı, bir görüntü oluşturmak için sesi iletir ya da yansıma yapar. Sonuç olarak bu yansımanın ölçülüp kaydedilmesi ile görüntü elde edilir [13].

Tekrar eden seri basınç dalgaları, ses dalgalarını meydana getirdiği ve yayılım gösterdiği kısımlarda moleküllerin titreştirmesiyle ilerlediği görülmektedir. Ses

dalgaları frekanslara istinaden işitilebilir sesler, alçak ses ve ultra ses (ultrason) olarak 3 kısımda sınıflandırmak mümkündür;



Şekil 8.1: Bir ses dalgasının genliği, periyodu ve dalga boyu [6].

Alçak sesler: 20 Hertz'den alçak olan ses

İşitilebilir sesler: 20 Hz ile 20 kHz aralığındaki ses

Ultrasonik sesler: 20 kHz ile 30 MHz aralığındaki ses

## 8.2 Ultrasonik Kaynak Tarihçesi

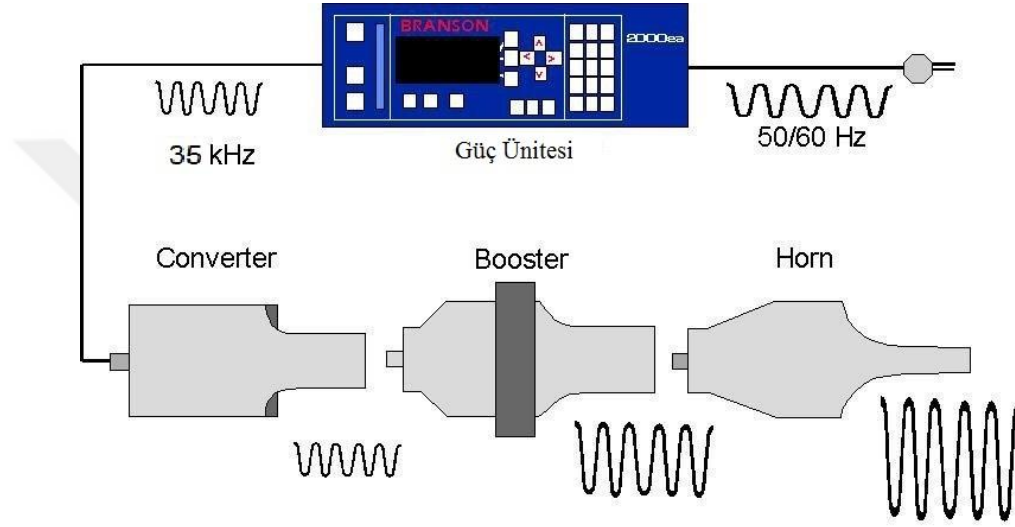
Teorik ultrasonik üretim bilgileri 1880 yılında Madam Curie'nin benzer materyaller arasında elektriksel ve mekanik vibrasyon olarak ilişki bulunduğunu keşfetmesiyle başlar. Fransız bilim adamı Paul Langevin'in buluşu olan piezoelektrik efektin önemi yüzyılın sonunda "echo-ranging" tekniğini denizaltılar için geliştirene kadar yoktu. 2. Dünya Savaşı sırasında echo-ranging tekniği geliştirilip rafine edilerek sonar icat edildi. 1945'de ultrasonik enerji, kırık veya çatlak parçaların tespitinde kullanılmasıyla yeni bir çağa girdi. Teknoloji, ultrasonik temizleme ve yağ giderme ile devam etti. 1960'ların başında yüksek enerjili ultrasonikle tanıştık. Plastiklerin kaynağı 1963'de gerçekleşti.

Ses yapan her şey titreşir, titreşen her şey ses yapar; fakat bütün sesleri insan kulağı işitemez. Ultrasonik ses tanımı ulaşılabilir sesleri ifade eder; ses duyulabilir değerler ötesindedir. İnsan duyumu limitinin yaklaşık 20.000 Hz. olduğu göz önüne alınırsa, ultrasonik ses 20.000 Hz.'nin üstündedir [1]. Ultrasonik kaynaktaki gelişmelerin temel sebebi ise hız, üstün kaynak kalitesi, verim, uzun ekipman ömrü ve otomasyona uygunluğudur.



### 8.3 Ultrasonik Kaynak Yöntemi

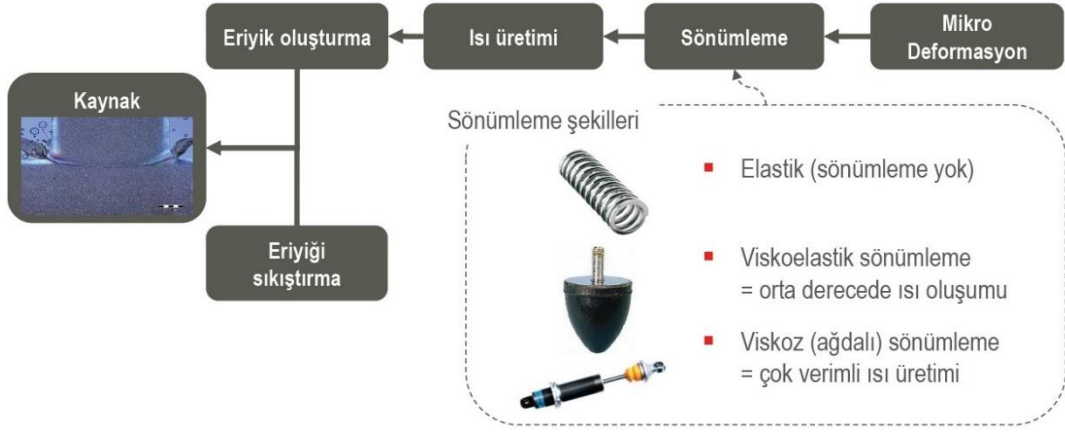
Ultrasonik kaynak, termoplastik malzemelerin kaynak ve montaj edilmesinde yaygın olarak kullanılan bir kaynak teknolojisidir. Farklı khz. değerlerinde ultrasonik kaynak makine ve sistemleri imal edilmektedir. Sistem aşağıdaki bileşenlerden oluşmaktadır [14].



Şekil 8.2: Ultrasonik kaynak sistemi bileşenleri [12].

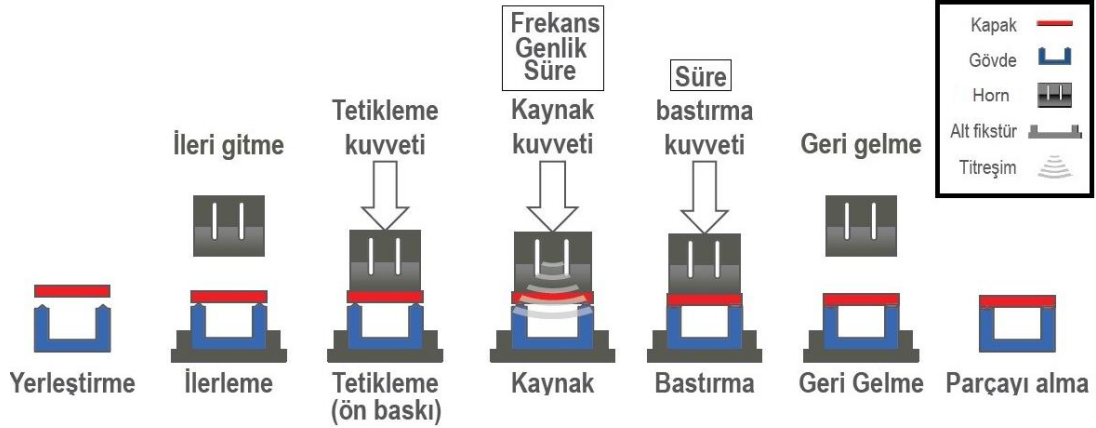
Elektrik şebekesinden gelen 50 hz elektrik enerjisinin frekansı, güç ünitesinde (power supply) 35.000 Hertz'e yükselir. Converterde, elektriksel enerji piezoelektrik kristalleri yardımıyla mekanik titreşime dönüştürülmektedir. Titreşim frekansı ise 35.000 hz. olarak devam etmektedir.

Booster yardımıyla titreşim genliği (amplitude) yapılacak ultrasonik kaynak prosesine göre artırılabilir ya da azaltılabilir. Ultrasonik kaynak işlemlerinde en temel değişkenlerden birtanesi titreşimin genliği (amplitude)' dir. Çünkü tüm termoplastik malzemelerin ergime sıcaklıkları ve iç yapıları diğerinden farklıdır. Prosese uygun genlik değerini kullanması, yapılan işin sonucuna etkiler.



Şekil 8.3: Ultrasonik kaynak fonksiyon şeması [12].

Prosesle uygun genliklere ulaşan titreşim, kaynak kalıbı (horn) sayesinde, kaynağı yapılacak plastik parçaların üzerlerine iletilir. Birbiri ile basıncın etkisi ile saniyede 35,000 defa sürtünmekte olan parçalarda, sürtünen yüzeyleri ergime sıcaklıklarına eriştiğinde, titreşim sonlandırılır. Basıncın etkisinde bir zaman daha bekletilerek parçalarda soğuma sağlanır.



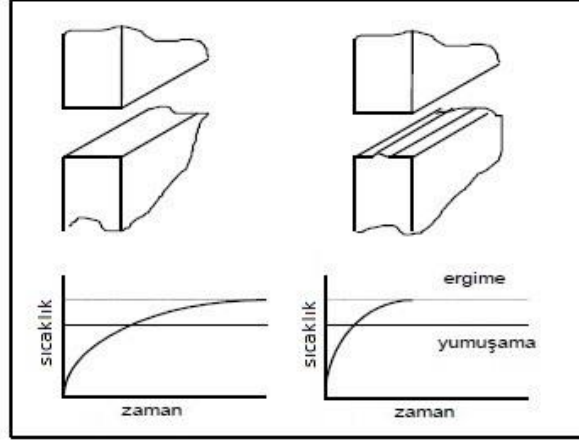
Şekil 8.4: Proses parametreleri ve adımları [12].

#### 8.4 Ultrasonik Kaynak İçin Kaynak Bölgesi Dizaynı

Ultrasonik plastik kaynak işleminde başarılı bir sonuç almak için en önemli etkenlerin başında kaynak bölgesi dizaynı gelir. Birleştirme bölgesinin dizaynına karar vermeden evvel göz önüne alınması gereken bazı noktalar vardır;

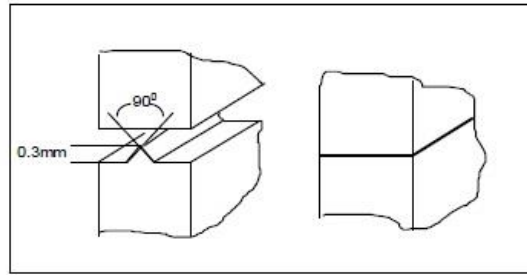
- Parça üzerinde istenen mukavemet, su veya gaz sızdırmazlığı gereksinimi ve final görünüm.

- Ultrasonik enerjiyi kaynak edilecek parçalara ileten kaynak kalıbı (sonotrot, horn) birleşme bölgesine ne kadar yakın olursa netice o kadar iyi olacağından, birleşme bölgesinin kaynak kafasına uzaklığı.
- Kaynak edilecek parçalar üzerine uygulanan titreşim enerjisi absorbe edilmeden kaynak bölgesine ulaşabilmelidir. Dolayısıyla kaynak edilecek parçaların birbirine temas eden yüzeyleri ne kadar küçük tutulursa, kaynak enerjisi o bölgede yoğunlaşarak iyi bir kaynak sağlayacaktır.



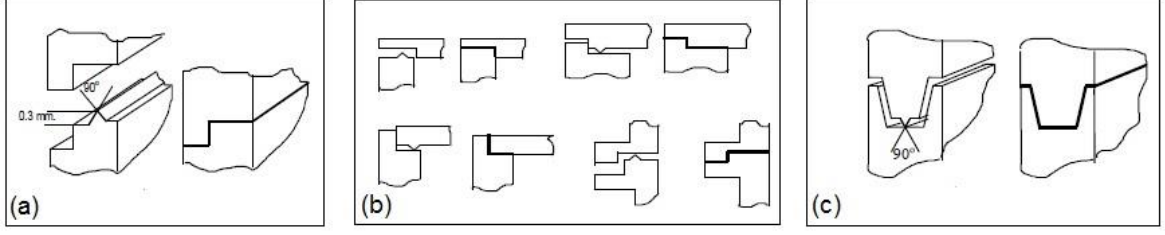
Şekil 8.5: Kaynak bölgesi dizaynının zamana etkisi [12].

Şekil 8.5’de enerji yönlendirici (energy director) şekil uygulanmış ve uygulanmamış iki parça için zaman-sıcaklık eğrileri görülmektedir. Enerji yönlendirici şekil uygulanmış parçalarda maksimum mukavemete daha kısa bir sürede ulaşıldığı gösterilmektedir. Enerji yönlendirici kaynak esnasında eriyerek iki parça arasındaki birleşmeyi temin eder.



Şekil 8.6: 90 derecelik enerji yönlendirici kaynak bölgesi dizaynı [8].

Kaynak işlemi sonunda ergiyen enerji yönlendirici parçanın sızdırmazlığı ve mukavemeti artırıcı rolünü Şekil 8.6’den görmek mümkündür. Enerji yönlendiriciler genellikle 90 derecelik açı ile imal edilirler.

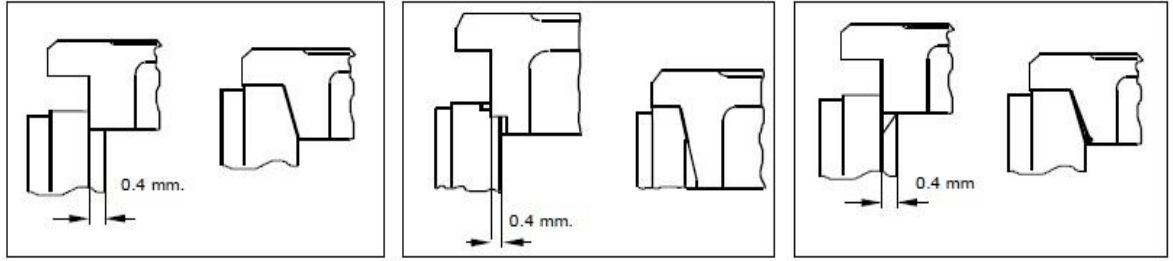


Şekil 8.7: Farklı tiplerde enerji yönlendirici kaynak bölgesi dizaynı [8].

Şekil 8.7’de basit birleştirmeye nazaran daha mukavim bir birleşme bölgesi dizaynı görülmektedir. (a)

Ultrasonik kaynak için uygun, enerji yönlendiricisi bulunan bazı temel dizayn çeşitleri görülmektedir (basic joint). Bunlar genel dizaynlardır. Daha özel uygulamalar için bazı küçük modifikasyonlar gerekebilir. (b)

En yüksek mukavemeti elde etmek için kanal şeklindeki dizayn şekli (groove joint) seçilmelidir. (c) [15].



Şekil 8.8: Kristalin yapıli termoplastikler için dizayn şekilleri [8].

Kristalin yapıli termoplastik malzemelerin ultrasonik kaynağında girişim “interference joint“ dizayn şekli kullanıldığında kaynağın mukavemeti esas malzemenin mukavemetinin %95’ine ulaşmaktadır [14]. Girişim şeklinde dizaynda dış yan duvarlar, dışarıya doğru açılma eğilimi göstereceği için çok iyi bir alt tutucu ile desteklenmelidir.

Şekil 8.8’de kristalin yapıli termoplastik malzemeler (nylon, asetal, polietilen, polipropilen) ile sızdırmazlık istenildiği zaman yapılabilecek bazı dizayn şekilleri görülmektedir.

## 8.5 Termoplastik Malzemeler ve Ultrasonik Kaynak

**Tablo 8.1:** Termoplastik malzemeler ve ultrasonik kaynak [14].

Malzeme	Ultrasonik Kaynak Yakın	Ultrasonik Kaynak Uzak	Sıvama ve Perçin	Metal Gömme	Noktasal Kaynak	Titreşim Kaynak
<i>Amorphous yapılı malzemeler</i>						
ABS	M	G	M	M	M	M
ABS/Polycarbonate alaşım	M-G	G	G	M-G	G	M
Acrylic	G	G-O	O	G	G	M
Acrylic multipolymer	G	O	G	G	G	M
Butadiene-styrene	G	O	G	G	G	G
Phenylene-oxide esaslı	G	G	G-M	M	G	M-O
Polyamide-imide	G	O				G
Polyarylate	G	O				
Polycarbonate	G	G	G-O	G	G	M
Polyetherimide	G	O				
Polyethersulfone	G	O				
Polystyrene (genel maksat)	M	M	G-M	G-M	O	M
Polystyrene (rubber modified)	G	G-O	M	M	M	M
Polysulfone	G	O	G	G	O	M
PVC (rijid)	O-Z	Z	M	M	G-O	G
SAN-NAS-ASA	M	M	G	G	G-O	M
Xenoy (PBT /polycarbonate alloy)	G	O	G	G	G	M

Kodlar: "M" Mükemmel, "G" Güzel, "O" Orta, "Z" Zayıf

Ultrasonik kaynakta, kaynak kalıbı (horn) temas ettiği yüzey ile kaynak bölgesi arasındaki mesafe 1/4 inch (6,35 mm.)'den az ise "yakın", eğer çok ise "uzak" kaynak olarak tanımlanır.

**Tablo 8.2:** Termoplastik polimerlerin birbirleri ile kaynak edilebilirliği [14].

	ABS	ABS/Polycarbonate alloy (cycoloy 800)	ABS/PVC alloy (Cycovin)	Acetal	Acrylics	Acrylic multipolymer (XT-Polymer)	Acrylic/PVC alloy (Kydex)	ASA	Butyrates	Cellulosics	Modified phenylene oxide (Noryl)	Nylon	Polycarbonate	Polyethylene	Polyimide	Polypropylene	Polystyrene	Polysulfone	PPO	PVC	SAN-NAS
ABS	X	X	O		X	O	O	O	O								O				O
ABS /Polycarbonate alloy (cycoloy 800)	X	X	O		O	O	O	O					X								O
ABS/ PVC alloy (Cycovin)	O	O	X		O	O	O	O												O	
Acetal				X																	
Acrylics	X	O	O		X	O	O	O					O								O
Acrylic multipolymer (XT-Polymer)	O	O	O		O	X	O	O									O				O
Acrylic /PVC alloy (Kydex)	O	O	O		O	O	X	O												O	
ASA	O	O	O		O	O	O	X									O				O
Butyrates	O								X												
Cellulosics										X							X	X			
Modified phenylene oxide (Noryl)											X										O
Nylon												X									
Polycarbonate		X			O								X								
Polyethylene														X							
Polyimide															X						
Polypropylene																X					
Polystyrene	O				O	O				X							X				O
Polysulfone																		X			
PPO											X								X		
PVC			O				O													X	
SAN-NAS	O	O			O	O	O			O							O				X

X: Çok iyi kaynak O: iyi kaynak Boş alanlar kaynak edilemez anlamına gelmektedir

## 8.6 Ultrasonik Kaynak Uygulama Örnekleri

Ultrasonik kaynak pratik olarak aşağıda örneklerle açıklanan beş esas başlık altında uygulanabilmektedir.

### 8.6.1 Ultrasonik Kaynak Yöntemi Yüzey Kaynak Uygulaması

En yaygın kullanım şeklidir. Enjeksiyon, ekstrüzyon veya başka bir yöntemle şekillendirilmiş termoplastik parçaların birbirine temas eden yüzeylerinde meydana gelen erime neticesinde yapılan bir kaynak şeklidir. Ultrasonik titreşim kesildiğinde parçanın temas eden yüzeyleri soğumaya başlar ve kaynak gerçekleşmiş olur. Kaynak bölgesinin mukavemeti esas malzemenin mukavemetine yakındır. Birleşme bölgesinin uygun şekilde dizayn edilmesi halinde hava ve su sızdırmazlığı sağlanır. Ultrasonik

yüzey kaynak uygulaması hızlı, temiz ve sarf malzemesi gerektirmeyen montaj imkanı sağlar [14].

### 8.6.2 Ultrasonik Kaynak Yöntemi Perçin Başı Ezme Uygulaması

Bu uygulamada termoplastik malzemeden mamul perçin başları benzer veya başka bir malzemeden mamul (metal, termoset vs. olabilir) plaka şeklindeki malzemelere birleştirilir. Çok kısa bir operasyon süresi vardır. Birden fazla miktarda perçin başının şekillendirilmesi çoklu kaynak kafası ile mümkündür. Çok temiz ve şık bir görünüm de sağlanır [16].



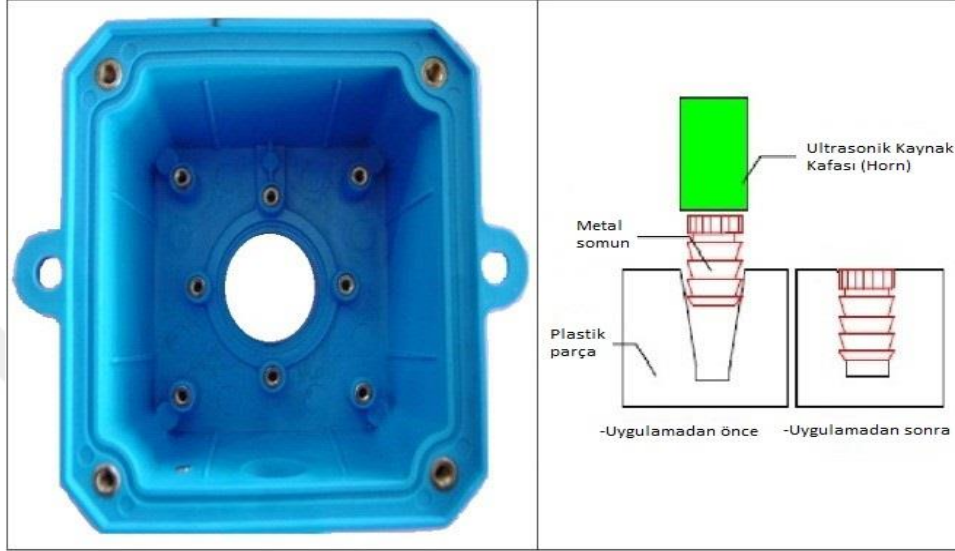
Şekil 8.9: Ultrasonik kaynak yöntemi perçin başı ezme uygulaması [14].

Temel prensip yüzey kaynak uygulaması ile aynı olup, ultrasonik kaynak kalıbı (horn) özel olarak perçin başı şeklinde şekillendirilmiştir. Ultrasonik titreşimlerle eriyen malzeme kaynak kafasının şeklini alarak katılaşır ve sağlam bir mekanik bağlantı temin eder.

### 8.6.3 Ultrasonik Kaynak Yöntemi Metal Somun Gömme Uygulaması

Dış yüzeyinde yatay ve düşey kanalları olan metal somunların, termoplastiklerin içerisine gömülmesi mümkündür. Ultrasonik titreşim metal somuna uygulandığında eriyen termoplastik malzeme yatay ve düşey kanalları doldurur. Ultrasonik titreşim durdurulduğunda soğuma başlar ve neticede metal somunun

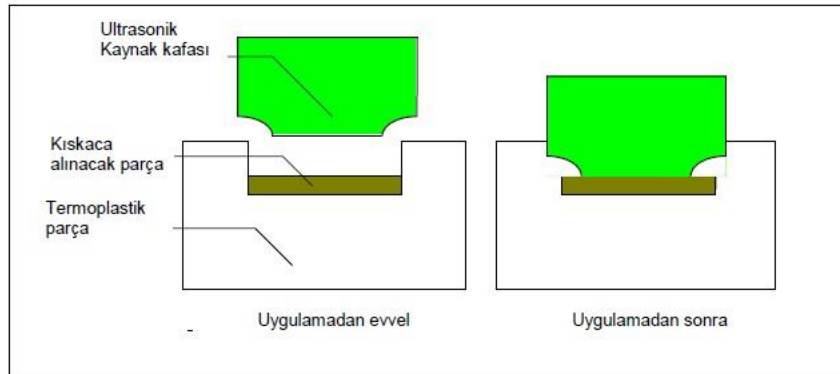
parçanın içerisine çok sağlam bir şekilde yerleştirilmesi temin edilmiş olur. Bu uygulamada aynı anda birçok somunun parça içerisine gömülmesi çok başlı kaynak kafası ile mümkündür. Ülkemizde sık olarak kullanılan bir yöntemdir. Yüksek mukavemet, enjeksiyon zamanını kısaltması, hızlı olması ve parça üzerinde gerilme meydana getirmemesi bu işlemin avantajlarıdır.



Şekil 8.10: Ultrasonik kaynak yöntemi metal somun gömme uygulaması [14].

#### 8.6.4 Ultrasonik Kaynak Yöntemi Şekil Verme Uygulaması

Termoplastik parçaların içerisine, termoplastik ya da termoplastik olmayan diğer malzemelerin mekanik olarak kısıtılması uygulamasıdır. Ultrasonik kaynak kalıbı (horn) amaca uygun olarak şekillendirilmiş olup, ultrasonik titreşim ile eriyen termoplastik malzeme kısıtılmak istenen parçayı çevreleyerek soğuduktan sonra mekanik birleşmeyi temin eder. İşlem hızı çok yüksektir.



Şekil 8.11: Ultrasonik kaynak yöntemi şekil verme uygulaması [12].



### 8.6.5 Ultrasonik Kaynak Yöntemi Kesme ve Kumaş Dikme Uygulaması

Tekstil sektöründe ultrasonik enerji ile sentetik kumaşların kesilmesi ve dikilmesi mümkündür. Kumaş kesme uygulamasındaki avantajı, klasik yöntemlere göre hızlı olması ve kesilen kumaşta tellenme yapmamasıdır.



Şekil 8.12: Ultrasonik kaynak yöntemi kesme ve kumaş dikme uygulaması [14].

Ultrasonik dikiş işlemleri, özellikle non-woven malzemelerde sıklıkla kullanılmaktadır. Bone (ameliyat maskesi) tek kullanımlık hijyenik giysilerin imalatında ultrasonik dikiş kullanılır. Plastik film malzemelerin kaynak edilmesinde ultrasonik dikiş özellikle ambalaj sektöründe PVC, PP, PE vs. malzemelerde tercih edilir [19].

Ultrasonik teknolojisini kullanarak, dondurulmuş gıda maddelerini veya zor kesilen gıda maddelerini kolaylıkla kesebilirsiniz [18].



Şekil 8.13: Gıda maddelerin ultrasonik kaynak yöntemi kesme uygulaması [14].

Tıp sektöründe ultrasonik enerji ile çalışan ameliyat bıçakları çok başarılı olarak kullanılmaktadır [17].

## 8.7 Ultrasonik Kaynak Makinelerinin Elemanları

Ultrasonik kaynak makineleri, enerji dönüştürücüler (conventer) mekanik amplifikatör - şiddet arttırıcı (booster) ve kaynak kalıpları (horn) gibi elemanlardan oluşurlar [12].

### 8.7.1 Enerji Dönüştürücüler (Conventer)

Enerji dönüştürücüler (conventer) üst üste dizilmiş piezoelektrik kristallerinden oluşurlar. Tüm düzeneği rezonans frekansına (öz frekansına) yakın bir değerde titreştirir. Ultrasonik kaynak makinelerinde kullanılan enerji dönüştürücüler (conventer) her frekans ve her güç için ayrıdır.



Şekil 8.14: Enerji dönüştürücüler (conventer) [14].

Ultrasonik enerji dönüştürücüler (conventer) yoğun çalışma esnasında hava ile soğutulma ihtiyacı duyarlar. RF (radyo frekans) kablosu ile soket vasıtasıyla bağlanan conventer çeşitlerinde, conventerin arkasında direkt olarak soğutma havasının girişi vardır. RF (radyo frekans) kablosu ile soket vasıtasıyla değil, yaylı bir kontakt sistemi ile bağlanan, genelde standart masa üstü model makinelerde, soğutma havası olarak, pnömatik sistemde kullanılan basınçlı havanın egzostu conventerin içine soğutma maksadıyla yönlendirilmiştir.

Elektrikli bir parça olan conventere gidecek havanın kuru (içerisinde yağ ve su olmayan) filtre edilmiş olması gerekir. Aksi durumlarda conventer içerisine soğutma maksadıyla giren hava ile beraber nem, yağ ve kir girişi conventerin kısa devre olmasına ya da kırılmasına neden olur [12].



Şekil 8.15: Hasar görmüş enerji dönüştürücü (conventer) [12].

Enerji dönüştürücüler (conventer), yapıları gereği mekanik darbelere maruz bırakılmamalıdır. Çekiç ile ya da herhangi bir sert cisimle vurmak piezoelektrik kristallerinin kırılmasına neden olur. Aynı sebepten dolayıdır ki; enerji dönüştürücülere (conventer) vida ile bağlanan booster ve kaynak kalıpları (horn) parçalarının montajı veya demontajı esnasında düşürülmemesi gerekir.

Enerji dönüştürücülerin (conventer) ömrünü etkileyen diğer bir unsur, ultrasonik kaynak sisteminizdeki kaynak kalıplarının (horn) uygun frekansta olması ve gereken testlerden geçirilmiş olmasıdır. Uygun frekansta olmayan kaynak kalıpları (horn) enerji dönüştürücülerin (conventer) dizayn edildikleri frekansın dışında çalışmaya zorlanırlar. Bu durumda enerji dönüştürücülerin (conventer) piezoelektrik kristalleri parçalanır [20].

Aşağıda belirtilen haller enerji dönüştürücüler (conventer) için zararlıdır;

- Nitelikli malzemedan imal edilmemiş kaynak kalıpları (horn) kullanılması.
- Horn, booster, enerji dönüştürücü (conventer) arasında, imalatçı tarafından önerilen, gerekli torkmetre değerlerinden daha düşük olarak sıkılmış ya da gevşek vida bağlantısı olması.
- Çalışma esnasında, bağlantı vidalarında olası gevşemelerinin, operatör tarafından zamanında algılanıp düzeltilmemesi.
- Çalışma esnasında, kaynak kalıbında (horn) meydana gelen çatlak kalıbın frekansının değişmesine neden olur. Bu durumda hemen kalıbın değiştirilmesi gerekir. Bu kurala uyulmaması ve çalışmaya devam edilmesi.
- Kaynak kalıbının metale çarpması ya da değmesi.

### 8.7.2 Mekanik Amplifikatör - Şiddet Arttırıcı (Booster )

Ultrasonik kaynak makinelerinde, makinenin modeline bağlı olarak çeşitli khz. frekanslarında dikey doğrultuda mekanik titreşimler üretilir. 35 khz. frekanslı bir makinede jeneratör kısmında elektrik şebekesinden sağlanan 220 Volt 50 Hz. elektrik enerjisinin frekansı 35.000 Hz.'e yükseltilir ve enerji dönüştürücüye (conventer) gelir. Enerji dönüştürücü elektrik enerjisinin sadece türünü değiştirerek çıkışında 35.000 Hz. frekansında mekanik titreşim olarak verir. Enerji dönüştürücüden çıkan mekanik titreşimin genliği (amplitude) 35 mikrondur. Titreşim düzeneğinin yataklanmasında kullanılır. Farklı özellikteki termoplastiklerin farklı değerlerdeki ergime sıcaklığı sebebiyle, aynı genlik değeri ile her tür termoplastiğin kalitesi uygun şekilde kaynak edilebilmesi mümkün olmamaktadır. Ergime sıcaklıkları yüksek olan termoplastiklere yüksek genlikli titreşim, ergime sıcaklıkları düşük termoplastiklere düşük genlikte titreşim uygulamak az sürede en sağlıklı kaynağın yapılabilmesi için gereklidir.

Termoplastiklerin iç yapıları amorf ya da yarı - kristalin olduğu ultrasonik kaynak proseslerinde farklı sonuçlar doğurur. Bu yüzden farklı genlik (amplitude) değerleri ile birlikte kaynak yapılabilmesi için mekanik amplifikatörlere (booster) ihtiyaç duyulmaktadır. Mekanik amplifikatörler aynı zamanda sistemin yataklanması işlevini de yaparlar.



Şekil 8.16: Mekanik amplifikatör – şiddet arttırıcı (booster) [12].

Kaynak kalıpları (horn) tasarım şekillerine göre bir nevi booster gibi çalışırlar. Bazıları titreşimin genliğini artırırken, bazıları ise düşürür ya da değiştirmezler. Uygulamalarda boosterler ile elde edilemeyen yüksek genliklere, özel olarak tasarlanan kaynak kalıpları ile ulaşılmaktadır.

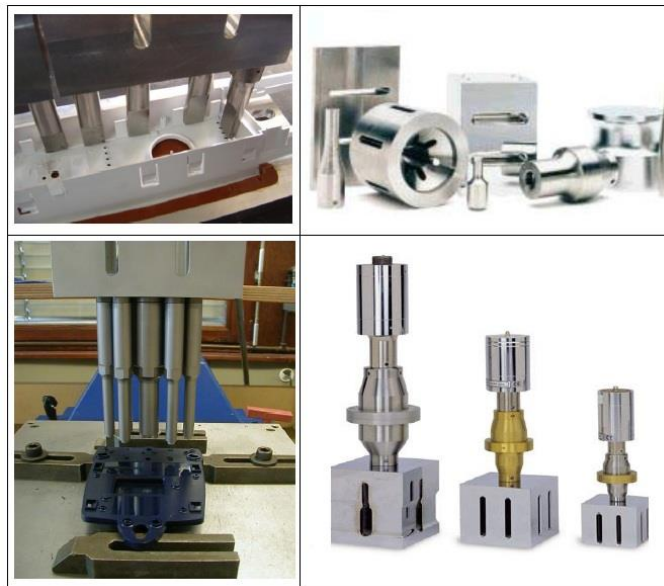
Ultrasonik kaynak teknolojisi ile kaynak edilmek istenilen bir termoplastik parçanın test edilerek, kaynak edilip edilemeyeceğinin söylenebilmesi için, teknisyenin elinde yeterli çeşitte booster olması gerektiğine dikkat edilmelidir. Bazı kaynak testlerinde düşük genlikli titreşim kullanıldığında, kaynak süresi ne kadar uzun tutulursa tutulsun kaliteli kaynak yapılamayacağı görülür. Oysa aynı parçalar uygun genlikli bir titreşim ile çok daha kısa bir sürede, iyi kalitede kaynak edilebilir.

### 8.7.3 Ultrasonik Kaynak Kalıpları (Horn)

Ultrasonik kaynak kalıpları horn ya da sonotrot diye adlandırılır. Temel görevi makinenin ürettiği titreşimi iş parçasına iletmektir. Ultrasonik kaynak kalıpları; alüminyum, titanyum, alaşımlı çelik ve ferro titanyum malzemelerden üretilmektedir.

Kaynak kalıpları çeşitli frekanslarda üretilirler. Frekans seçimi, yapılacak işe göre tespit edilir. Yüzey kaynak uygulamalarında genelde 20 khz. frekans, perçin başı ezme ve noktasal kaynak uygulamalarında 30 ve 40 khz. frekanslar seçilir [21].

Kullanılan malzemede yapılacak uygulamaya göre belirlenir. Örneğin; kesme işlerinde çelik malzeme seçilirken, yüzey kaynak uygulamalarında alüminyum malzeme seçilir. Noktasal kaynak uygulamalarında titanyum malzeme kullanmak uygundur.



Şekil 8.17: Ultrasonik kaynak kalıpları (horn) [12].

## 8.8 Ultrasonik Kaynak Yönteminin Avantajları ve Özellikleri

Ultrasonik kaynak prosesi otomotiv, tekstil, aksesuar, oyuncak, elektronik, paketleme ve tıp alanı başta birçok sanayi alanında yaygın olarak yer almaktadır. Ayrıca bu yöntem, temiz dış görünümü, kuruma için bekleme süresine ihtiyaç duymaması, az iş gücü, boyutsal olarak yüksek toleranslarda birleştirmeler, seri, verimli ve ekonomik üretim kolaylıkları sağlaması sebebiyle tercih edilmektedir. Zor kalıplanabilen ve kalıplanması pahalı olan parçalarda ultrasonic kaynak yöntemi ilk akla gelen birleştirme yöntemidir [12].

### 8.8.1 Kalite

- Boyutsal olarak doğru birleştirme
- Proses kirliliğinin azlığı (yapıştırma prosesinde yapıştırıcının oluşturduğu taşmaların, ultrasonik kaynak prosesinde olmaması)
- Isıl nedenler ve yapısında sünme gibi olumsuz etkilerin oluşturmaması
- Boyutsal ve yüzeysel standardizasyonun sağlanması

### 8.8.2 Proses Kontrol

- Proses değişkenlerinin tümünün dinamik şekilde kontrolü yapılabilmektedir.
- Kısa proses zamanı, (Yapıştırma prosesinde birleşme (kürleşme) zamanı fazladır, oysa ki ultrasonik kaynakta seri üretimde çok yüksek hızlarda birleşme sağlanabilir.)

### 8.8.3 Maliyet

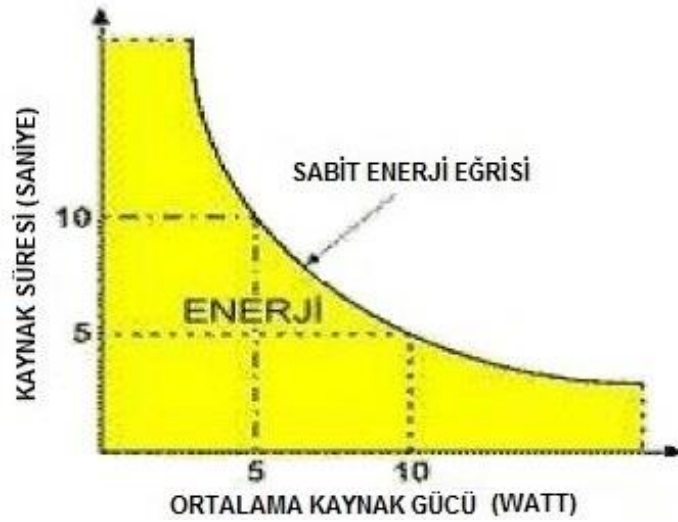
Ultrasonik kaynak yöntemi ve yapıştırma prosesi aralarındaki maliyet farkı temelinde ilave ürün kullanımı maliyetinden, kalitesini kontrolün az olmasından, kaynak süresinin kısa olmasından ve yüzeyin temizliğinden dolayıdır. [30].

## 8.9 Proses Değişkenleri ve Parametreler

Ultrasonik kaynak işlemlerinde 3 ana proses değişkeni bulunmaktadır; bunlar zaman, güç ve vibrasyon genliği'dir. Bu üç değişken bir araya gelerek enerji meydana getirmektedir. Güç, vibrasyon genliğinin fonksiyonudur. Enerji ve güç (8.1) ve (8.2) bağıntılarıyla hesaplanır. Bu bağıntıda K = Kuvveti (Bir inç kare ölçüye düşen libre), A = Genliği (Mikron), Z = Zamanı (Saniye), E = Enerji (Watt / Saniye) temsil etmektedir [1].

$$G = K.A \quad (8.1)$$

$$E = G.Z \quad (8.2)$$



Şekil 8.18: Güç-zaman ilişkisi [1].

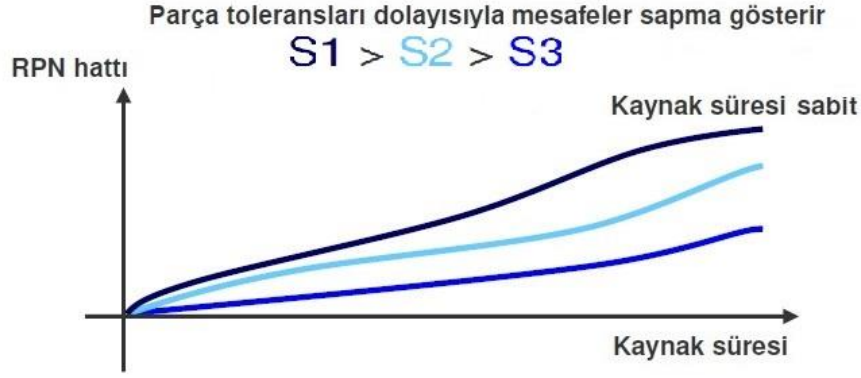
## 8.10 Ultrasonik Kaynak Makinesi Çalışma Modları

Ultrasonik kaynak makineleri farklı çalışma modlarına sahiptir. Bu kapatma kriterleri, kaynak süresi, RPN derinliği, mutlak derinlik, enerji ve güç'tür. Uygulamanın kritikliğine, istenen kaynak sonrası özelliklere göre belirlenirler.

### 8.10.1 Kaynak Süresi

Parametre ultrason uygulamasının süresi (kaynak süresi)'dir. Ultrason, tetik noktasından itibaren programlanan süre boyunca kesilmez.

En basit eşik değeridir. Kaynaklanan parçalarda toleranslar dengelenemez. Tüm parametrelerde az çok sapmalar görülür. Sadece yüksek teknik gereklilikleri olmayan kaynaklarda kullanılabilir. Parçalarda farklı kaynak derinliği ve farklı eriyik hacmi sonucunu verir. Bunun sonucunda sağlamlık ve sızdırmazlıkta sapmalar oluşur [22].

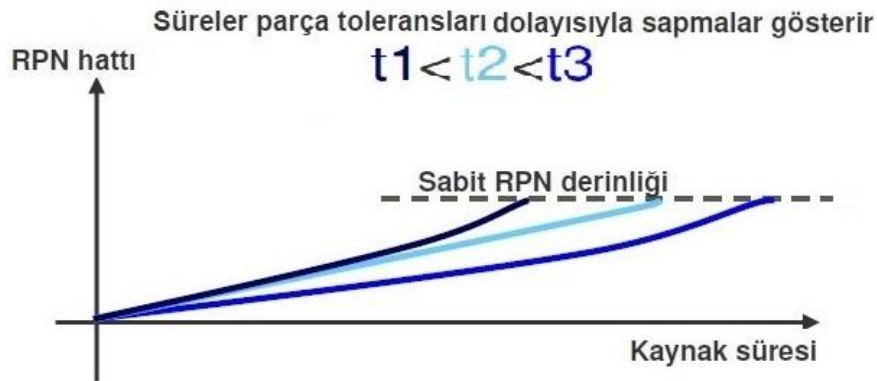


Şekil 8.19: Kaynak süresi [12].

### 8.10.2 RPN Derinliği

Parametre olarak parça üst yüzeyinden (tetik noktası) itibaren ölçülen kaynak derinliği belirlenir [12].

Ultrason, tetik noktasından itibaren programlanan kaynak mesafesini ulaşıncaya kadar çalışır. RPN derinliği, referans noktasından ölçülen erime hattıdır. Sabit kaynak derinliği, eşit eriyik hacmini garantiler. Tekrarlanabilir kaynak bağlantı dayanımı sağlar. Toleranslar dengelenebilir. Çoğunlukla iyi kaynak geometrisine sahip, iyi enjeksiyonla kalıplanmış parçalarda kullanılır. [31].



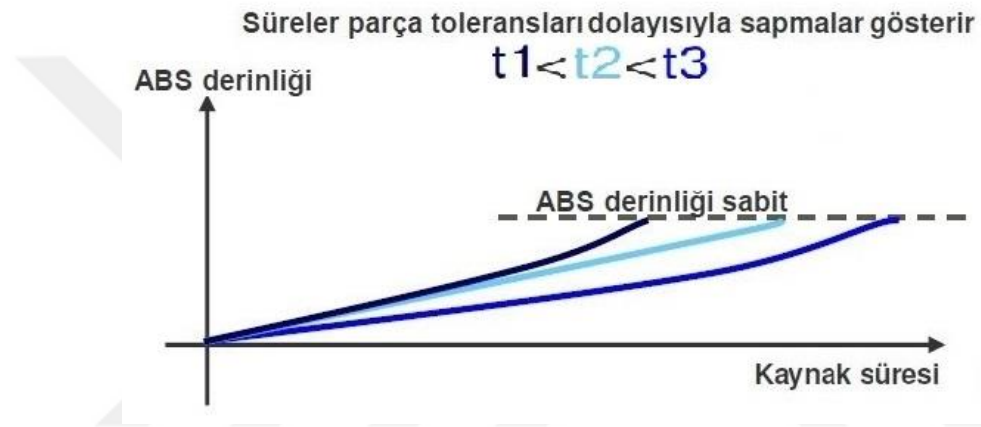
Şekil 8.20: RPN derinliği [12].



### 8.10.3 Mutlak Derinlik

Parametre parça sabitleme alt fikstüründen ölçülen kaynak derinliği (ABS derinliği) 'dir. Yükseklik ölçüsü esas olan parçalarda veya perçin kaynağında kullanılır.

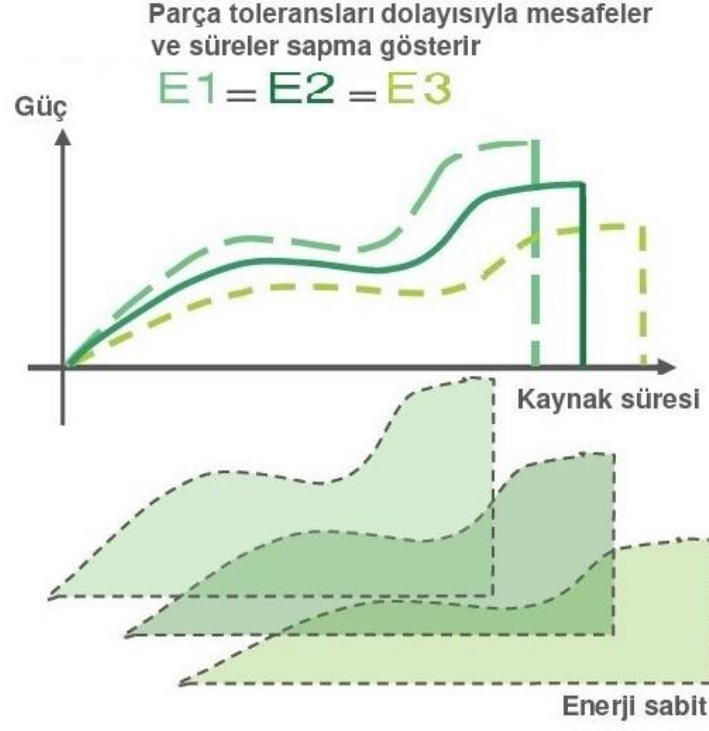
Ultrason tetik noktasından itibaren programlanan belirli bir derinliğe ulaşılan kadar çalışır. Sabit birleşme derinliği parçaların yüksekliklerinin eşit olmasını garantiler. Kaynak süresi ve enerji, toleranslar dolayısıyla farklılık gösterebilir. Birleşim hattı, toleranslara bağlı olarak farklılık gösterir. Bu şekilde kaynak kalitesi de farklı olur. Özellikle perçinleme, nokta kaynağı ve gömme uygulamasında kullanılır.



### 8.10.4 Enerji

Parametre parçanın içine enerji verilmesidir. Özellikle kaynak dudağı içermeyen parçalarda (ekstrüzyonla çekilmiş malzemeler, folyolar, tekstil) kullanılır.

Ultrason, tetik noktasından itibaren programlanan enerjiye erişilene kadar çalışır. Kaynaklanan parçaların veya kaplamanın kalınlık farkları, kaynak malzemesinin farklı nem içeriği ve farklılık gösteren kaynak kuvvetleri dengelenir. Dikiş içermeyen parçaların kaynağında kullanılır (folyolar, tekstil, membranlar, ekstrüzyonla imal edilen malzemeler). Sabit enerji homojen dayanımı garantiler. Süreler, güçler ve derinlikler farklılık gösterebilir [12].

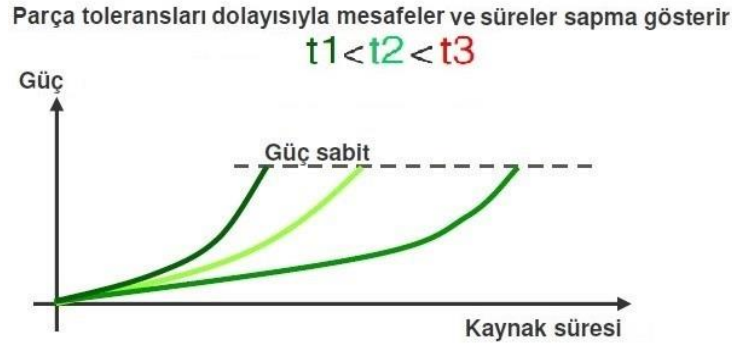


Şekil 8.22: Enerji [12].

### 8.10.5 Güç

Parametre kaynak işlemi sırasında harcanan azami güçtür. Punta kaynağı veya US ile şekillendirmede kullanılır.

Ultrason, tetik noktasından itibaren programlanan güce erişilene kadar çalışır. Parça kalınlıkları dengelenir. Sonotrot ile parça bağlantı yüzeyi ne kadar büyük olursa, güç gereksinimi o kadar fazla olur. Kaynak süresi, mesafe ve enerji, toleranslara bağlı olarak farklılık gösterir. Güç seyri sonotrot sıcaklığına da bağlıdır, sonotrotun soğutulması gerekir. İnce plakalarda punta kaynağında kullanılır [12].



Şekil 8.23: Güç [12].

## **9. PLASTİK KAYNAĞINA ETKİ EDEN PARAMETRELER**

Plastik kaynağına etki eden parametreleri beş ana başlıkta toplayabiliriz. Bunlar kaynak süresi, baskı gücü, malzemenin kalınlığı ve kaynak hatalarıdır.

### **9.1 Kaynak Süresi**

Kaynak süresi plastik kaynağında çok önemli etkenlerden birisidir. Yapılan kaynağın bekleme süresinin uzunluğu ile kaynağın sağlamlığı arasında doğrusal bir ilişki vardır. Kaynak makinelerinde genellikle kaynak süresi değişkenleri 0'dan 6 saniyeye kadar değişik parametre değerleri içermektedir. Kaynak süresinin uzun olması kaynağın daha çok nüfuz etmesine sebep olur [23].

### **9.2 Baskı Gücü**

Kaynak baskı gücünün yüksek olması halinde malzemeye daha çok temas edeceği için daha iyi sonuçlar alınabilir. Baskı gücünün az olması durumunda ise kaynak istenilen derecede iyi olmaz. Kaynağın tutum yerleri zayıf olacağı için deformasyonlar hep kaynak bölgesinden olur. Baskı gücünün gereğinden fazla olması durumunda malzeme yanabilir.

### **9.3 Malzemenin Kalınlığı**

Malzemenin kalınlığının çok olması durumunda kaynak tam nüfuz etmeyebilir. Bu sebepten dolayı malzeme kalınlığına göre gücünün ve süresinin çok iyi ayarlanması gerekir. Makinede piston strokunun büyük olması durumunda kalın malzemelerde kaynak yapılabilir [24].

## **9.4 Kaynak Hataları**

Kaynak sırasında hatalar sonucu oluşabilecek durumlar kısaca; kötü dış görünüm, gerilme çatlakları, kötü erimedir. Bu hatların oluşma sebebi ve düzeltme şekli aşağıdaki gibidir.

### **9.4.1 Kötü Dış Görünüm**

Kötü dış görünümün sebepleri, düzensiz basınç, aşırı uzama ve düzensiz ısıtmadır. Kaynak çubuğunun başlama, bitme ve hareket uygulama, düzgün açıda kaynak çubuğunu tutma, düşük tekdüze hava verme hareketi, malzeme ve kaynak çubuğu ısıtılarak problem düzeltilebilir.

### **9.4.2 Gerilme Çatlakları**

Gerilme çatlaklarının sebepleri, uygun olmayan kaynak sıcaklığı, kaynak üzerinde aşırı gerilim, kimyasal sıçrama, temel malzeme ve kaynak çubuğunun bileşimi farklılığı, kaynağının oksidasyonu ve enerji kaybıdır. Problemin düzeltilmesi için tavsiye edilen kaynak sıcaklığı, çekilme büzülme ve yayılma için izin verilmeli, malzemenin bilinen kimyasal direnci ve çalışma sıcaklığı arasında kalınmalı, kaynak için soy gaz ve benzer malzemelerin kullanılması, tavsiye edilen uygulamalara başvurulması gereklidir.

### **9.4.3 Kötü Erime**

Kötü erimenin sebepleri, hatalı hazırlama, uygun olmayan kaynak teknikleri, hatalı hız ve malzemenin soğuk olmasıdır [25].

## 10. TERMOPLASTİK MALZEME TÜRLERİNE UYGUN KAYNAK YÖNTEMİNİN YANMA METODU İLE BELİRLENMESİ

Termoplastik malzemelerin kaynak edilebilirliği en iyi yanma ile ayırt edilebilir.



Şekil 10.1: Uygun kaynak yönteminin yanma metodu ile belirlenmesi [8].

- **Akrilik (PMMA):** Sarı renkte yanar, alevin dibi açık-mavi renklidir. Aromatik bir kokusu bulunmaktadır, kendi kendine sönemez. Bu plastikler sıcak hava kaynağı ve ultrasonik kaynak metodlarıyla kaynak edilirler.
- **Akrilonitril Bütadien Stiren (ABS):** İslı bir şekilde yanar, alev rengi ise portakal rengindedir. Lastik benzeri bir koku oluşturur. Kendi kendine sönme özelliği yoktur. Bu plastikler sıcak hava, sıcak eleman ve ultrasonik kaynak metodlarıyla kaynak edilirler.
- **Asetal (POM):** Yandığında açık mavi bir alev renginde yanar. Bu plastikler azot gazlı sıcak hava kaynağı, sıcak eleman ve ultrasonik kaynak metodlarıyla kaynak edilirler.
- **Poliamid (PA):** Yandığında sarı renkte yanar, alevin dibi ise mavidir. Alevi islidir. Yanarken erir ve köpük oluşturur. Formik asit benzeri bir koku oluşur,

Kendi kendine sönmez. Sıcak eleman ve sürtünme kaynak yöntemiyle kaynak işlemi yapılır.

- **Polikarbonat (PC):** Sarı alev ve kızarmış kül vardır. İslı alevle yanar. Kısmen kendi kendine söner ve tatlı bir kokusu vardır. Kaynak yöntemlerinin hepsiyle kaynaklanır.
- **Polietilen (PE):** Yandıklarında açık bir alevle yanarlar. Altı mavi, üstü sarı renktedir. Kokusu donyağı gibidir. Kendi kendine sönmez ve damlama yaparlar. Bu plastikler sıcak hava, sıcak eleman ve sürtünme kaynak metodlarıyla kaynak edilirler.
- **Polipropilen (PP):** Altı mavi, üstü sarı renktir. Açık alevle yanarlar. Çok damla damlatır, kokusu mun ya da yağ gibidir. Kendi kendine sönmez. Bu plastikler sürtünme kaynak, sıcak eleman ve sıcak hava metodlarıyla kaynak edilirler. Sıcak eleman kaynağı sıcaklığı  $210^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$  olmalıdır.
- **Polistiren (PS):** Portakal rengine benzer renkte isli bir alevle yanar, kendi kendine sönmezler. Bu plastikler sıcak hava, sıcak eleman, ultrasonik kaynak metodlarıyla kaynak edilirler.
- **Polisulfon (PSU):** Kendiliğinden sönmezler. Sıcak hava, sıcak eleman, sürtünme ve ultrasonik kaynak yöntemleriyle kaynaklanır.
- **Polivinil Klorür (PVC):** İslı bir alevle yanar. Kenarlarında yeşili bulunan sarı renktedir. Hidroklorik asit kokusu gibi koku yayar ve beyaz bir duman görünümündedir. Bu plastikler kendiliğinden sönmez. Tüm kaynak metodlarıyla kaynaklanırlar.
- **Polivinilidin Florür (PVDF):** Bu plastikler kendiliğinden sönmez.  $380^{\circ}\text{C}$ 'nin üzerinde ısıtılırsa, zehirleyici duman açığa çıkar. Sıcak eleman, sıcak hava, sürtünme, ultrasonik kaynak yöntemleriyle kaynaklanır. Sıcak eleman sıcaklığı  $210^{\circ}\text{C} \pm 8^{\circ}\text{C}$  olmalıdır [8].

## 11. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

### 11.1 Malzeme Seçimi

Bu deneysel çalışmada otomotiv sektöründe kullanılmak üzere imalatı yapılan bir plastik parçanın ultrasonik kaynak prosesi incelenmiştir. Hatchback (HB) model bir aracın arka tamponunda üç adet park sensörü bulunmaktadır. Park sensörlerinin tampona montajı sensör braketleri ile olmaktadır.

Sensör braketlerinin arka tampona kaynağı ise ultrasonik kaynak yöntemi ile gerçekleştirilmektedir.



Şekil 11.1: Ultrasonik kaynak makinesi ve makinenin operatör paneli ekran görüntüsü.

Bu çalışmada orta park sensörünün montajının yapıldığı sensör braketinin ultrasonik kaynağı incelenmiştir.

Arka tampon, yarı kristalin yapıdaki termoplastik %10 talk dolgulu polipropilen (PP-TD10) malzeme ile plastik enjeksiyon yöntemi ile üretilmiştir. Talk dolgusu: yanma geciktirici, termal ve ışık dengeleyiciler gibi katkı maddeleri içerir. Kullanılan ham madde, enjeksiyon kalıplama amaçlı, araç tampon malzemesi olarak tasarlanmıştır. Bu malzeme darbe dayanımı ve sertlik arasında mükemmel bir dengeye sahiptir. İyi bir yüzey kalitesi verir ve işlenmesi kolaydır. Yoğunluğu  $0,95 \text{ gr/cm}^3$  'tür.

Ultrasonik kaynağı yapılan malzemelerden arka tamponun et kalınlığı 3,2 mm, sensor braketinin et kalınlığı ise 1,5 mm 'dir. Arka tampon opsiyona göre 28 farklı metalik renkte boyanmaktadır.

Ultrasonik kaynak yönteminde birleşme kalitesine etki eden parametre değerleri değiştirilerek kaynak yapılmış ve değiştirilen parametre değerlerinin kopma kuvvetine etkileri gözlemlenmiştir.



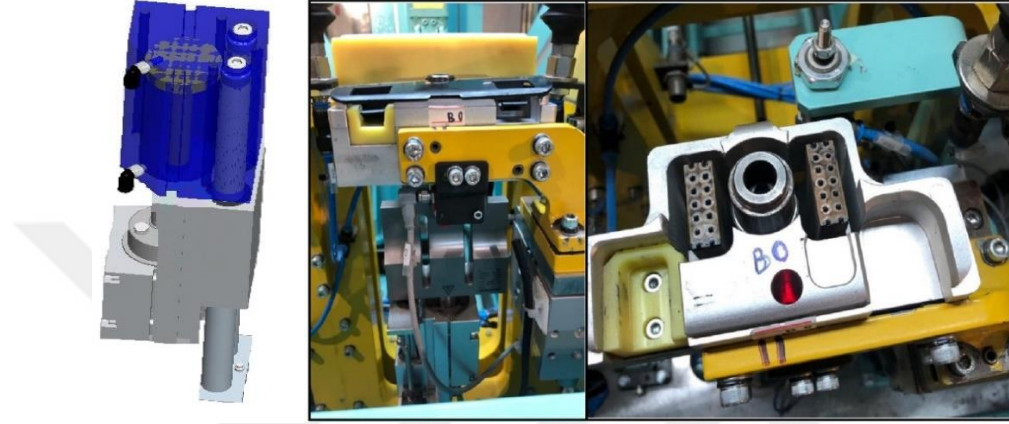
Şekil 11.2: Ultrasonik kaynak öncesi ve sonrası görüntüleri.

## 11.2 Ultrasonik Kaynakta Etkili Parametreler

Cam elyaf katkılı termoplastik malzemelerde ve boyalı yüzey kaynağında iyi sonuç verdiği tecrübe edilen CPM (Curcible Particle Metallurgy) teknolojisiyle toz metalin sıkıştırılması ile üretilmiş alaşımli çelik hornlar kullanılmıştır. Ardından sertleştirme işlemi yapılmış, ince ayar ve akustik optimizasyon ile imalatı



tamamlanmıştır. Ayrıca hornun aşırı ısınmasını engellemek ve soğutulmasına yardımcı olmak için hava soğutma eklenmiştir. Alaşımli çelik hornların ısı iletimi, titanyum ve alüminyum hornlara göre daha iyidir. Titanyum ve alüminyum hornlar kaynak boyunca ısınmaya devam eder. Hornun soğuk olması özellikle boyalı tampon gibi yüksek parlaklığa sahip yüzeylerde önemlidir, çünkü sıcak horn boyalı yüzeye olumsuz etkide bulunabilir. Kaynak fikstürü malzemesi de kestamit olarak seçilmiştir, ayrıca bu ultrasonik kaynak makinesinde 35 kHz jeneratör kullanılmıştır.

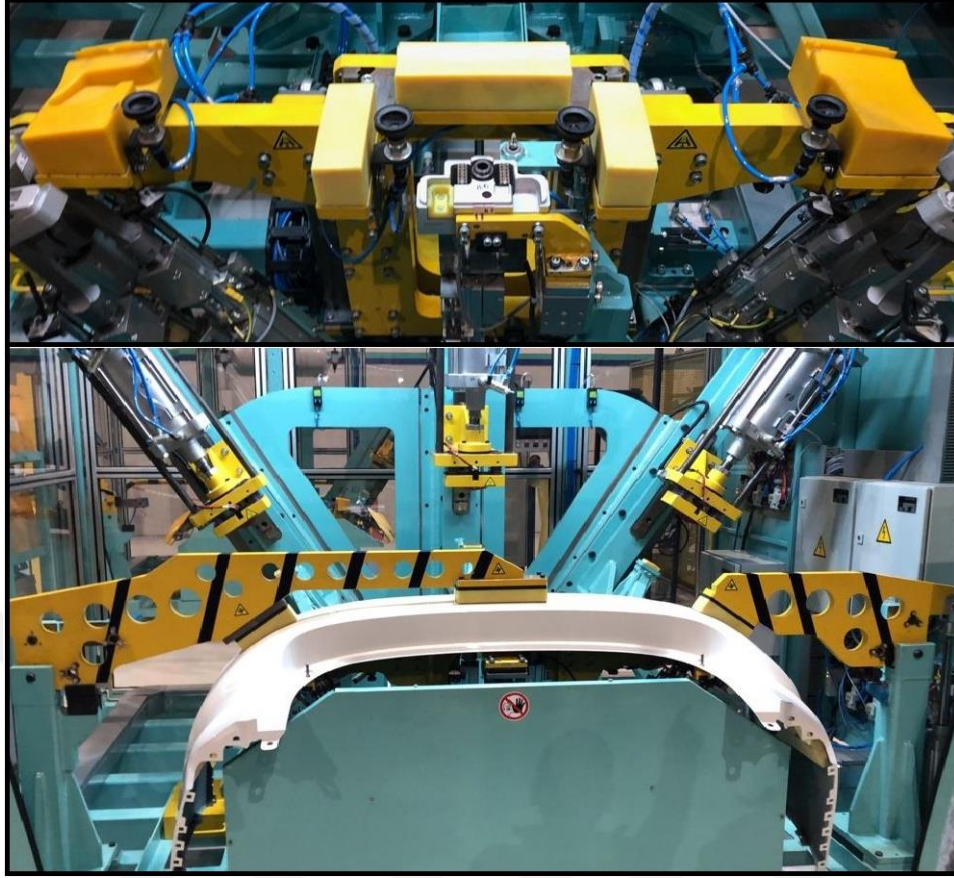


Şekil 11.3: Horn tasarımından görüntü – imalatı tamamlanmış horn.

Ultrasonik kaynak kalitesine etki eden birçok parametre vardır. Bu parametreler her uygulamaya özeldir. Başarılı bir sonuca ulaşmak için parametreler özenle belirlenmelidir.

Bir değişken belirlenirken diğer değişkenler sabit tutulmalı ve yeterli sayıda kaynak işlemi yapılmalıdır. Her bir kaynağın sonucu prosese uygun testler (kopma mukavemeti, sızdırmazlık testi, kaynak nüfuziyeti gibi) yapılarak kayıt altına alınmalıdır. Böylelikle optimum değerler bulunabilmektedir. Ultrasonik kaynakta ana değişkenler; genlik, kaynak basıncı, kaynak süresi ve bekleme süresidir.

Kaynak süresi, genlik değerine, kaynak basıncına ve malzeme yapısına bağlı olarak değişiklik gösterebilir. Uygulanan kaynak süresi polyester esaslı kumaşlar, termoplastikler ve metalik malzemeler için farklı seçilir. Kaynak süresinin olması gerekenden az olması durumunda istenen kaynak nitelikleri sağlanamaz iken, uzun kaynak sürelerinde ise malzemede tam bir ergime gerçekleşmekte ve kaynak bölgesinde deformasyonuna neden olmaktadır [28].



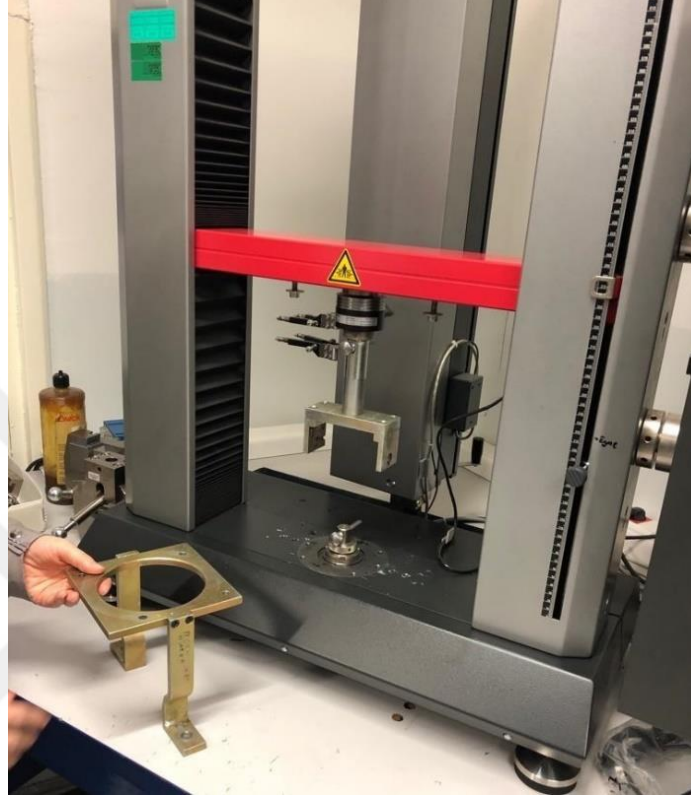
**Şekil 11.4:** Ultrasonik kaynak grupları ve arka tampon ultrasonik kaynak pozisyonu.

İstenilen estetik görünüm, kaynak dayanımı ve kaynak nüfuziyeti elde edilene kadar kaynağa devam edilir. Parçanın kenarlarında çapak olmaması görsel açıdan önemlidir. Bazı uygulamalarda kaynak çapaklarının temizlenmesi gerekir. Çoğu durumlarda kenarlarda kaynak çapak olmadan yüksek mukavemetli kaynaklar yapmak imkansız olduğundan tasarımın içine kaynak çapakları da dahil edilir. En uygun kaynak şartlarını bulmanın kuralı, önceki kaynak uygulamalarıyla elde edilen deneyime dayanarak kolayca çıkartılabilir [29].

### 11.3 Test Ekipmanları

Arka tampon sensör braketlerinin ultrasonik kaynak kalitesi çekme testi yapılarak kaynak kopma değerleri gözlemlenmekte ve kayıt altına alınmaktadır. Çekme testi için iki ayrı test düzeneği belirlenmiştir. Bunlar çekme test cihazı ve dinamometredir. Sensör braketlerine uygun şekilde test uygulanabilmesi için özel çekme aparatları tanımlanmıştır.

Seri üretimde çekme testi her parça için uygulanmamaktadır. Kaynak kopma değerleri dinamometre ile günlük olarak, çekme test cihazı ile haftalık olarak takip edilmektedir. Müşteri tarafından istenen minimum kaynak kopma değeri 200 N 'dur.



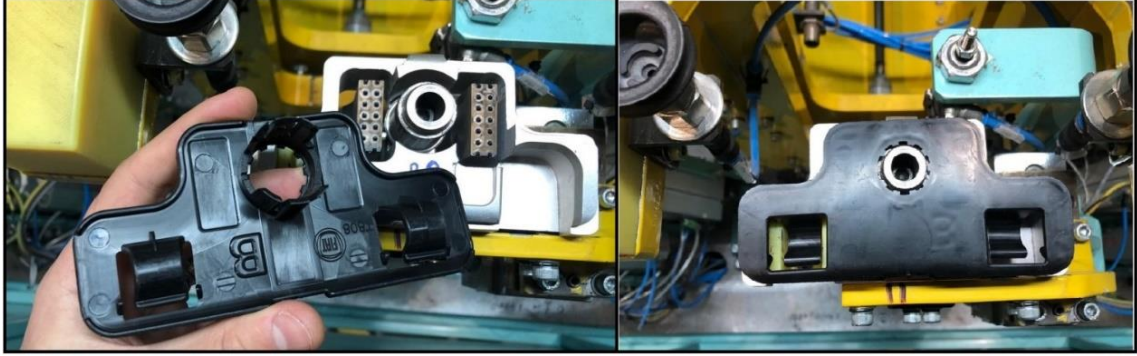
Şekil 11.5: Çekme test cihazı ve çekme düzeneği.



Şekil 11.6: Dinamometre ve çekme düzeneği.

## 11.4 Yapılan Testler

Bu çalışmada ultrasonik kaynak prosesini etkileyen en temel dört parametreye odaklanılmıştır. Bu parametreler genlik, basınç, kaynak süresi ve bekleme süresidir.



Şekil 11.7: Orta sensör braketi ve braketin kaynak posajındaki konumu.

Tablo 11.1 'de değişken parametreler, değişken parametre değerleri ve sabit parametreler görülmektedir.

Numunelere, ultrasonik kaynak sonrası belirli hız ve sabit sıcaklıkta çekme testi uygulanarak değişken parametrelerin malzemenin kopma dayanımlarına etkisi gözlenmiştir.

Tablo 11.1: Ultrasonik kaynak test parametreleri.

	1	2	3	Sabit Parametreler
<b>Basınç</b>	2 bar	4 bar	8 bar	Genlik: 100% Kaynak süresi: 0,9 s Bekleme süresi: 1,0 s
<b>Genlik</b>	50%	75%	100%	Basınç: 4 bar Kaynak süresi: 0,9 s Bekleme süresi: 1,0 s
<b>Kaynak Süresi</b>	0,9 s	1,0 s	1,2 s	Basınç: 4 bar Genlik: 100% Bekleme süresi: 1,0 s
<b>Bekleme Süresi</b>	1,0 s	1,5 s	3,0 s	Basınç: 4 bar Genlik: 100% Kaynak süresi: 1,0 s

Numunelere ait kaynak noktalarındaki çekme testleri sonuçları Tablo 11.2 'de görülmektedir. Kopma dayanım sonuçları değerlendirildiğinde;

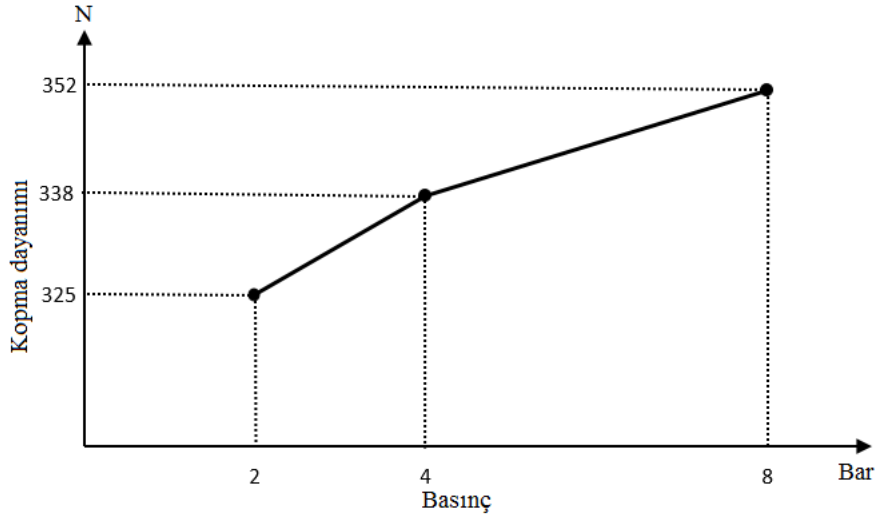


**Şekil 11.8:** Ultrasonik kaynak yapılmış sensör braketi.

#### **11.4.1 Basınç'ın Etkisi**

Elektrik şebekesinden sağlanan 220 Volt 50 Hz. ultrasonik kaynak makinesi güç ünitesi (jeneratör) kısmında, elektrik enerjisinin frekansı 35.000 Hz.'e yükseltilmektedir. Converterde (enerji dönüştürücü) elektrik enerjisinin türü değiştirilerek çıkışında 35.000 Hz. frekansında mekanik titreşim elde edilmektedir. Enerji dönüştürücüden çıkan mekanik titreşimin genliği (amplitude) 35 mikrondur.

Optimum basınç değerini belirlemek için genlik, kaynak süresi, bekleme süresi parametreleri sabit tutulmuştur. Sabit parametreler olan genlik %100, kaynak süresi 0,9 s, bekleme süresi 1,0 s olarak belirlenmiştir. Basınç parametresi 2, 4 ve 8 bar olarak üç farklı değerde değiştirilerek ultrasonik kaynak yapılmıştır. Elde edilen numunelere çekme testi uygulanmıştır, sonuçlar Şekil 11.9 'da görülmektedir. Basınç – kopma dayanımı eğrisi incelendiğinde; kaynak basıncı değerinin artmasıyla birlikte kopma dayanımı artmıştır. Kaynak basıncının kopma dayanımı ile doğru orantılı şekilde arttığı gözlemlenmiştir.



**Şekil 11.9:** Basınç - kopma dayanımı eğrisi.

Kaynak basınç değerinin 8 bar olarak belirlendiği 3 numaralı numunedeki kaynak kopma kuvveti 352 N olduğu görülmüştür. Ancak kaynak sonrası arka tamponda yapılan görsel kontrollerde sensör çevresinde boyalı yüzeyde mikro çatlaklar gözlenmiştir (Şekil 11.10). Sonotrot ve hareketli kütlenin kendi ağırlığı da düşünüldüğünde bu basıncın görsel açıdan uygun olmadığını göstermiştir.

Arka tampon boyalı yüzeyinde iz olmaması görsel parça olması sebebiyle önemlidir. Araca montajı yapıldığında bu izler belirgin şekilde görüldüğünden, parça ıskarta olmaktadır. Bu sebeplerle ideal kaynak basıncının 4 bar olduğu tespit edilmiştir



**Şekil 11.10:** Görsel yüzeyde çatlaklar.

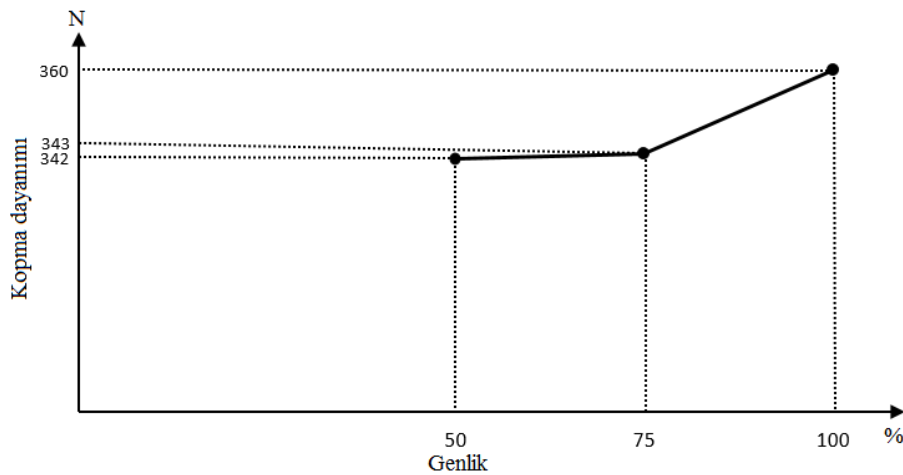
### 11.4.2 Genlik'in Etkisi

Elektrik şebekesinden sağlanan 220 Volt 50 Hz. ultrasonik kaynak makinesi güç ünitesi (jeneratör) kısmında, elektrik enerjisinin frekansı 35.000 Hz.'e yükseltilmektedir. Converterde (enerji dönüştürücü) elektrik enerjisinin türü değiştirilerek çıkışında 35.000 Hz. frekansında mekanik titreşim elde edilmektedir. Enerji dönüştürücüden çıkan mekanik titreşimin genliği (amplitude) 35 mikrondur.

Optimum genlik değerini belirlemek için kaynak basıncı, kaynak süresi, bekleme süresi parametreleri sabit tutulmuştur. Sabit parametreler olan kaynak basıncı 4 bar, kaynak süresi 0,9 s, bekleme süresi 1,0 s olarak belirlenmiştir. Genlik parametresi %50, %75 ve %100 olarak üç farklı değerde değiştirilerek ultrasonik kaynak yapılmıştır. Elde edilen numunelere çekme testi uygulanmıştır, sonuçlar Şekil 11.11 'de görülmektedir. Genlik – kopma dayanımı eğrisi incelendiğinde; genlik değerinin artmasıyla birlikte kopma dayanımı artmıştır. Genlik değerinin kopma dayanımı ile doğru orantılı şekilde arttığı gözlemlenmiştir.

Genlik değerinin %100 olarak belirlendiği 6 numaralı numunedeki kaynak kopma dayanımının 360 N olduğu görülmüştür.

Bu sebeplerle ideal genlik değerinin maksimum değer olan %100 olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 11.11: Genlik - kopma dayanımı eğrisi.

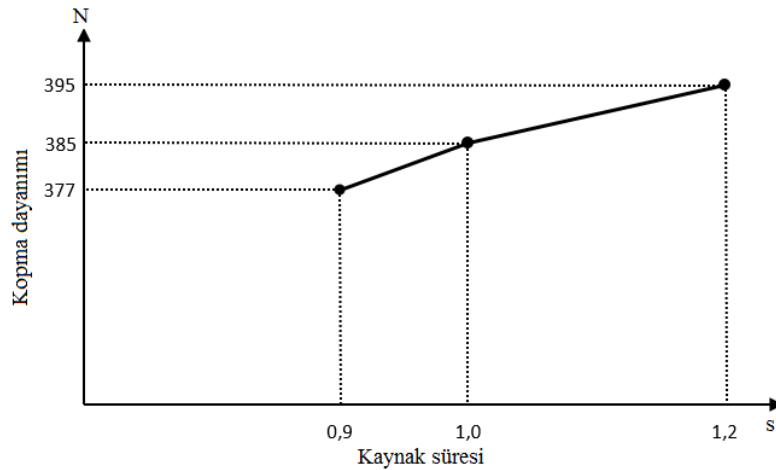
### 11.4.3 Kaynak Süresi'nin Etkisi

Elektrik şebekesinden sağlanan 220 Volt 50 Hz. ultrasonik kaynak makinesi güç ünitesi (jeneratör) kısmında, elektrik enerjisinin frekansı 35.000 Hz.'e yükseltilmektedir. Converterde (enerji dönüştürücü) elektrik enerjisinin türü değiştirilerek çıkışında 35.000 Hz. frekansında mekanik titreşim elde edilmektedir. Enerji dönüştürücüden çıkan mekanik titreşimin genliği (amplitude) 35 mikrondur.

Optimum kaynak süresi değerini belirlemek için kaynak basıncı, genlik, bekleme süresi parametreleri sabit tutulmuştur. Sabit parametreler olan kaynak basıncı 4 bar, genlik %100, bekleme süresi 1,0 s olarak belirlenmiştir. Kaynak süresi parametresi 0,9 s, 1,0 s ve 1,2 s olarak üç farklı değerde değiştirilerek ultrasonik kaynak yapılmıştır. Elde edilen numunelere çekme testi uygulanmıştır, sonuçlar Şekil 11.12 'de görülmektedir. Kaynak süresi – kopma dayanımı eğrisi incelendiğinde; kaynak süresi değerinin artmasıyla birlikte kopma dayanımı artmıştır. Kaynak süresi değerinin kopma dayanımı ile doğru orantılı şekilde arttığı gözlemlenmiştir.

Kaynak süresi değerinin 1,2 s olarak belirlendiği 9 numaralı numunedeki kaynak kopma dayanımının 395 N olduğu görülmüştür. Artan kaynak derinliği ile birlikte kaynak dayanımı da artar. Ancak kaynak sonrası arka tamponda yapılan görsel kontrollerde boyalı yüzeyde iz yaptığı gözlenmiştir (Şekil 11.13). Araca montajı yapıldığında bu izler belirgin şekilde görüldüğünden, parça ıskarta olmaktadır.

Estetik görünüm, kaynak dayanımı göz önünde bulundurulduğunda ideal kaynak süresinin 1,0 s olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 11.12: Kaynak süresi - kopma dayanımı eğrisi.





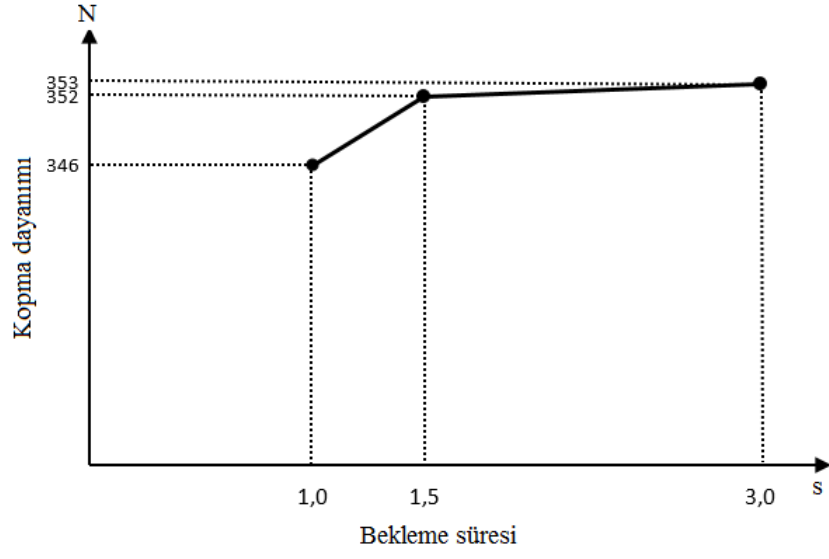
Şekil 11.13: Boyalı yüzeyde iz.

#### 11.4.4 Bekleme Süresi'nin Etkisi

Elektrik şebekesinden sağlanan 220 Volt 50 Hz. ultrasonik kaynak makinesi güç ünitesi (jeneratör) kısmında, elektrik enerjisinin frekansı 35.000 Hz.'e yükseltilmektedir. Converterde (enerji dönüştürücü) elektrik enerjisinin türü değiştirilerek çıkışında 35.000 Hz. frekansında mekanik titreşim elde edilmektedir. Enerji dönüştürücüden çıkan mekanik titreşimin genliği (amplitude) 35 mikrondur.

Optimum bekleme süresi değerini belirlemek için kaynak basıncı, genlik, kaynak süresi parametreleri sabit tutulmuştur. Sabit parametreler olan kaynak basıncı 4 bar, genlik %100, kaynak süresi 0,9 s olarak belirlenmiştir. Bekleme süresi parametresi 1,0 s, 1,5 s ve 3,0 s olarak üç farklı değerde değiştirilerek ultrasonik kaynak yapılmıştır. Elde edilen numunelere çekme testi uygulanmıştır, sonuçlar Şekil 11.14 'de görülmektedir. Bekleme süresi – kopma dayanımı eğrisi incelendiğinde; bekleme süresi değerinin 1,5 s'ye kadar artmasıyla kopma dayanımı artmıştır. 1,5 s bekleme süresi 1,0 s 'ye göre kopma dayanımı arttırırken 3,0 s bekleme süresinin kopma dayanımına etkisinin olmadığı görülmektedir. 1,5 s'den sonra bekleme süresinin arttırılmasının kopma dayanımına etkisinin olmadığını göstermektedir.

Bu sebeplerle ideal bekleme süresinin 1,5 s olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 11.14: Bekleme süresi - kopma dayanımı eğrisi.

**Tablo 11.2:** Numunelerin kopma dayanımı sonuçları.

		<b>Numuneler</b>							
		1		2		3			
<b>Kaynak Parametreleri</b>	<b>Basınç</b>	Frekans	Sabit	Frekans	Sabit	Frekans	Sabit		
		<b>Basınç</b>	<b>2 bar</b>	<b>Basınç</b>	<b>4 bar</b>	<b>Basınç</b>	<b>8 bar</b>		
		Genlik	Sabit	Genlik	Sabit	Genlik	Sabit		
		Kaynak süresi	Sabit	Kaynak süresi	Sabit	Kaynak süresi	Sabit		
		Bekleme süresi	Sabit	Bekleme süresi	Sabit	Bekleme süresi	Sabit		
	Kopma Dayanımı		<b>325 N</b>	Kopma Dayanımı		<b>338 N</b>	Kopma Dayanımı		<b>352 N</b>
	<b>Genlik</b>	Frekans	Sabit	Frekans	Sabit	Frekans	Sabit		
		Basınç	Sabit	Basınç	Sabit	Basınç	Sabit		
		<b>Genlik</b>	<b>50%</b>	<b>Genlik</b>	<b>75%</b>	<b>Genlik</b>	<b>100%</b>		
		Kaynak süresi	Sabit	Kaynak süresi	Sabit	Kaynak süresi	Sabit		
Bekleme süresi		Sabit	Bekleme süresi	Sabit	Bekleme süresi	Sabit			
Kopma Dayanımı		<b>342 N</b>	Kopma Dayanımı		<b>343 N</b>	Kopma Dayanımı		<b>360 N</b>	
<b>Kaynak Süresi</b>	Frekans	Sabit	Frekans	Sabit	Frekans	Sabit			
	Basınç	Sabit	Basınç	Sabit	Basınç	Sabit			
	Genlik	Sabit	Genlik	Sabit	Genlik	Sabit			
	<b>Kaynak süresi</b>	<b>0,9 s</b>	<b>Kaynak süresi</b>	<b>1,0 s</b>	<b>Kaynak süresi</b>	<b>1,2 s</b>			
	Bekleme süresi	Sabit	Bekleme süresi	Sabit	Bekleme süresi	Sabit			
Kopma Dayanımı		<b>377 N</b>	Kopma Dayanımı		<b>385 N</b>	Kopma Dayanımı		<b>395 N</b>	
<b>Bekleme Süresi</b>	Frekans	Sabit	Frekans	Sabit	Frekans	Sabit			
	Basınç	Sabit	Basınç	Sabit	Basınç	Sabit			
	Genlik	Sabit	Genlik	Sabit	Genlik	Sabit			
	Kaynak süresi	Sabit	Kaynak süresi	Sabit	Kaynak süresi	Sabit			
	<b>Bekleme süresi</b>	<b>1,0 s</b>	<b>Bekleme süresi</b>	<b>1,5 s</b>	<b>Bekleme süresi</b>	<b>3,0 s</b>			
Kopma Dayanımı		<b>346 N</b>	Kopma Dayanımı		<b>352 N</b>	Kopma Dayanımı		<b>353 N</b>	

## 12. SONUÇ VE ÖNERİLER

### 12.1 Sonuçlar

Bu deneysel çalışmalar sonucunda optimum kaynak parametreleri belirlenerek, ultrasonik kaynak makinesi aşağıdaki parametre değerleri ile ayarlanmıştır. Böylece en iyi kalitede kaynak elde edilmiştir.

Basınç: 4 bar, Genlik: %100, Kaynak Süresi:1,0 s, Bekleme Süresi:1,5 s

İdeal kaynak parametrelerinin bulunmasıyla kopma dayanımları yükselmiş, görsel problemler ortadan kalmış, istenen estetik görünüm sağlanmış ve proses kararlı hale gelmiştir.

1) Kaynak basıncı değerinin artmasıyla birlikte kopma dayanımı artmaktadır. Düşük basınçlarda parçalar birbirine iyi nüfuz etmediği için kaynak bölgesindeki mekaniksel dayanım yeterli olmamaktadır. Basınç artışı kaynak bölgesindeki dayanımı arttırmaktadır ancak yüksek kaynak basınçlarında kaynak sonrası görsel yüzeyde iz problemi görülmektedir. Sonotrot ve hareketli kütlenin kendi ağırlığı da düşünülerek, istenilen estetik görünüm şartlarına göre uygun kaynak basınç değeri belirlenmiştir.

2) Farklı özellikteki termoplastiklerin değişken değerlerdeki ergime sıcaklığı sebebiyle, eş genlik değerleriyle her tür termoplastiğin kalitesi uygun olarak kaynak edilebilmesi olanağı yoktur. Ergime sıcaklığının yüksek olduğu termoplastik malzemelere yüksek genlikli titreşim, bununla birlikte ergime sıcaklığının düşük olduğu termoplastiklere düşük genlikli titreşim uygulanması kısa sürede en dayanıklı kaynağın yapılabilmesi için zorunludur.

Deneysel çalışmalarda, genlik değerinin kopma dayanımı ile doğru orantılı şekilde arttığı gözlemlenmiştir. Bu sebeplerle ideal genlik değeri maksimum değer olan %100 olarak belirlenmiştir.

3) Kaynak süresinin olması gerekenden az olması durumunda istenen kaynak nitelikleri sağlanamaz iken, artan kaynak derinliği ile birlikte kaynak dayanımı da artar. Ancak uzun kaynak sürelerinde malzemede tam bir ergime gerçekteşmekte ve kaynak bölgesinde deformasyonuna neden olmaktadır. Kaynak sonrası arka tamponda yapılan görsel kontrollerde boyalı yüzeyde iz yaptığı gözlenmiştir. Kaynak süresi parametresi, istenilen kaynak sağlamlığı ve estetik görünüm birlikte değerlendirilerek belirlenmiştir.

4) Bekleme süresi, parçalar kaynak edildikten sonra basınç altında parçaların katılaşması için birlikte tutuldukları süredir. Yapılan kaynağın bekleme süresinin uzunluğu ile kaynağın sağlamlığı arasında doğrusal bir ilişki vardır. Deneysel çalışmalardaki bekleme süresi artışı belirli değere kadar kopma dayanımı arttırırken, sonrasında bekleme süresinin arttırılmasının kopma dayanımına etkisinin olmadığını göstermiştir.

Bekleme süresinin uzunluğu, proses çevrim süresini etkiler. Bekleme süresinin artması parçaya zarar vermez. Ancak uzun bekleme süresi, proses çevrim süresini arttırdığı için en kısa bekleme süresinde elde edilen en iyi kaynak kalitesine göre parametre belirlenmiştir.

## 12.2 Öneriler

1) Bu tez çalışmasında basınç, genlik, kaynak süresi ve bekleme süresi parametreleri 3 farklı değerde belirlenerek toplamda 12 farklı numune elde edilmiş ve bu sonuçlar yorumlanmıştır. Bundan sonraki çalışmalarda, daha fazla sayıda numune elde edilmesi ile daha geniş sonuçlar elde edilebilir.

2) Bu deneysel çalışmada, 35 khz frekansında bir ultrasonik kaynak makinesi kullanılmıştır. Bundan sonraki çalışmalarda, farklı frekans değerleri değişken

parametre olarak belirlenerek, frekansın kaynak kalitesine etkilerinin öğrenilmesi açısından testler yapılabilir.

3) Bu deneysel çalışmada, %10 talk dolgulu polipropilen (PP-TD10) malzeme kullanılmıştır. Malzemenin kaynak kalitesine etkilerinin öğrenilmesi açısından, bundan sonraki çalışmalarda alternatif hammadde ile testler yapılabilir.

4) Bu deneysel çalışmada, araç arka tamponu ile testler yapılmıştır. Farklı tip ultrasonik kaynak uygulamalarında; frekans, horn malzemesi, horn tasarımı ve diğer kaynak parametreleri değişiklik gösterecektir. Ve bu parametrelerin her biri uygulamaya özeldir. Bundan sonraki çalışmalarda, önceki benzer uygulamalardaki parametre değerleri ve kaynak ekipmanları üretici firmasının tecrübe değerlerinden faydalanmak devreye alma sürelerini azaltmak için faydalı olacaktır.

5) Ultrasonik kaynak yöntemi her ne kadar yatırım maliyeti yüksek olsa da; hızlı, ilave malzeme gerektirmeyen, otomasyona uygun, az iş gücü, temiz dış görünüm sağlaması, ana plastik malzemenin mukavemetinin %90-98'ine ulaşan mukavemette bağlantılar yapılabilmesi ve tüm proses değişkenlerinin dinamik olarak kontrol edilmesi sebebiyle endüstride sık olarak tercih edilmekte olan termoplastik kaynak yöntemidir.

### 13. KAYNAKLAR

- [1] Açar, İ. (2013). Termoplastik malzemelerin birleştirilme işlemlerinde kaynak parametrelerinin etkisi ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.
- [2] Ay, İ. (2008). Plastik malzemeler ders notları. *Balıkesir Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü*, Balıkesir.
- [3] Uçar, M. (2013). Yapıştırmalı ve kaynaklı bağlantıların deneysel ve nümerik olarak karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir.
- [4] Harper C. A, (1999). Modern plastics handbook. 1. baskı, McGraw-Hill Publications, New York.
- [5] Eker, A. (2009). Plastiklerin şekillendirilme yöntemleri. 20 Nisan 2013, [http://www.yildiz.edu.tr/~akdogan/lessons/plastikmalzeme/Plastiklerin\\_Sekillenirme\\_Yontemleri\\_Son.pdf](http://www.yildiz.edu.tr/~akdogan/lessons/plastikmalzeme/Plastiklerin_Sekillenirme_Yontemleri_Son.pdf) (Erişim Tarihi: 10.03.2019)
- [6] Taş, Y. (2008). Termoplastiklerin birleştirilmesinde kullanılan ultrasonik kaynak yöntemlerinde kaynak kalitesini etkileyen parametrelerin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- [7] O'Brien, R.L. (1991). Welding Handbook.
- [8] Ay, İ., Sakin, R. (2005). Ultrasonik yöntemle plastiklerin kaynağı. *Pagev Plastik Dergisi*. Kasım-Aralık 2005, 94-108.
- [9] Akkurt, A. ,Ertürk, İ. (2009). Sıcak elaman alın kaynak yöntemi ile birleştirilen PE doğalgaz borularının güvenilirliklerinin araştırılması. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 16 (2), 221-233.

- [10] Benetar A., Bonten C., Grewell D., Tuechert C., (2001). P3, (Plastic Pocket Power / Welding), Hanser Publishers, Munich
- [11] Ziegler, D. (2004). Welding of termoplastics. *Welding Journal*, 83 (10), 45-4.
- [12] Herrmann Ultrasonik. Termoplastik malzemeler için ultrasonik kaynak teknolojisi.
- [13] Yükler, A.İ., Sözüo, H., G 1-RİT, O., (1998). Ultrasonik yöntem ile plastiklerin kaynağı, makine market dergisi, sayı 25, Ekim-Kasım.
- [14] Branson Ultrasonic Corporation. (2002). Actuator Instruction Manual.
- [15] PAGEV Plastik Araştırma. (1998) Geliştirme ve İnceleme Dergisi, Sayı 40, Eylül-Ekim 1998.
- [16] Guide to ultrasonic plastic assembly. (1995). Dukane Corporation-Ultrasonic Division, U.S.A.
- [17] Welding Technology Institute of Australia, (2006), Ultrasonic welding of plastic used in medical devices.
- [18] Volkov, S.S. (2001). Technological special features of ultrasound welding of polymer films, *Welding International*, 15(3), 243-248.
- [19] Kutruff, H. (1991). *Ultrasonics Fundamentals and Applications*, Elsevier Science, Amsterdam.
- [20] Prakasan, K., Rani, M. R., Rudramoorthy, R., Suresh, K.S., (2007). Modeling of temperature distribution in ultrasonic welding of thermoplastics for varios joint designs.
- [21] Rani M. R., Rudramoorthy. (2013). Computational modeling and experimental studies of the dynamic performance of ultrasonic horn profiles used in plastic welding, *Elsiver, Ultrasonic*, 53, 763-772.



- [22] Hıdıroğlu, M., İzgi, G. (2016). Otomotiv sanayinde kullanılan örnek bir ultrasonik kaynak uygulamasında kaynak kalitesini etkileyen temel parametrelerin kopma dayanımına etkisi. OTEKON, Bursa.
- [23] Marshall, G.P.(1991). Advances in joining plastics and composites, Bradford, Yorkshire, U.K.
- [24] Liu, S.J., Lin, W.F., Chang, B.C., Wu, G.M., (1999). Optimizing the joint strength of ultrasonically welded hermoplastics, *Advances in Polymer Technology*, 18 (2), 125-135.
- [25] Karahasanoğlu, C., Erkul, M. (1999). Termoplastiklerin ultrasonic kaynağı ve kaynak parametreleri, Makine Mühendisleri Odası Plastik Malzemeler ve Teknolojileri Konferansı, İstanbul.
- [26] Margolis, J. (2005).Engineering plastic handbook. New York: McGraw-Hill.
- [27] Benatar, A., Eswaran, R. V., Nayar, A.K., (1989). Ultrasonic welding of thermoplastics in the near-field. *Polymer Engineering Science*, 29(23), 1689-1698.
- [28] Hüner, M. (2008). Plastik esaslı kompozit malzemelerin sıcak birleştirme işlemlerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Edirne.
- [29] Noordin, M. (2009). Sink marks defect on injection molding using different raw materials. Yüksek Lisans Tezi, *Universiti Malaysia Pahang*, Malaysia.
- [30] Kahraman, N., Gülenç, B., (2013), Modern kaynak teknolojisi. 2. Baskı, Epa-Mat Basım Yayın Ltd. Şti, Ankara.
- [31] Van Wijk, H., Luiten, G.A., Van Engen, P.G., Nonhof, C.F., (1996). Process optimization of ultrasonic welding, *Polymer engineering and science*, 36, 1165-1176.