

YALOVA ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TERMOPLASTİKLERE UYGULANAN REZİSTANS KAYNAĞI
PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ VE OPTİMİZASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Hüseyin BAKIRCI
165101011**

Polimer Mühendisliği Anabilim Dalı

Polimer Mühendisliği Programı

**Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Arif KAYA
İkinci Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi İdris KARAGÖZ**


AĞUSTOS 2019

YALOVA Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 165101011 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Hüseyin BAKIRCI**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**TERMOPLASTİKLERE UYGULANAN REZİSTANS KAYNAĞI PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ VE OPTİMİZASYONU**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Arif KAYA**
Yalova Üniversitesi



İkinci Danışmanı : **Dr. Öğr. Üyesi İdris KARAGÖZ**
Yalova Üniversitesi



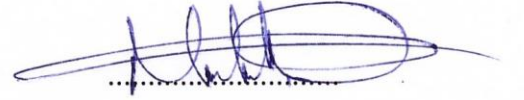
Jüri Üyeleri : **Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Arif KAYA**
Yalova Üniversitesi



Dr. Öğr. Üyesi İdris KARAGÖZ
Yalova Üniversitesi



Doç. Dr. Mustafa ÇAKIR
Marmara Üniversitesi



Dr. Öğr. Üyesi Mithat ÇELEBİ
Yalova Üniversitesi



Dr. Öğr. Üyesi Yeşim Müge ŞAHİN
İstanbul Arel Üniversitesi



Teslim Tarihi : **26 Temmuz 2019**

Savunma Tarihi : **23 Ağustos 2019**



Aileme ve arkadaşlarıma,





ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimim sırasında laboratuvar imkanlarını esirgemeyen Mühendislik Fakültesi Polimer Mühendisliği Bölümü'nün değerli akademisyenlerine,

Tez çalışmam boyunca bilgi ve tecrübeleriyle yolumu aydınlatan, danışmanlarım Dr. Öğr. Üyesi M. Arif KAYA ve Dr. Öğr. Üyesi İdris KARAGÖZ'e

Her zaman yanımda olan, bana destek olan, bana yol gösteren tecrübelerini bilgilerini esirgemeyen arkadaşım, abim, hocam, ustam Öğr. Gör. H. Çağdaş ASLAN'a,

Eğitimimi boyunca yanımda olan Dr. Mehmet ARSLAN, Dr. Emre TEKAY, Prof. Dr. Sinan ŞEN ve Prof. Dr. İ. Gökhan TEMEL'e

Dostlukları ve fikirleriyle yanımda olan Dr. Hatice Aylin KARAHAN TOPRAKÇI ve Dr. Ozan TOPRAKÇI'ya,

Beni proje çalışmalarına dahil ederek farklı konularda da deneyim kazanmamı sağlayan KompoRize'ye ve Mustafa KUYUMCU'ya,

Destekleriyle her zaman yanımda olan Porima 3D ve Serhat ORAN ile Hagelson ve Soner ALAYURT'a,

Anlayışları için Dr. Öğr. Üyesi Yeşim Müge ŞAHİN ve Arel Üniversitesi Polimer Teknolojileri ve Kompozit Araştırma Merkezi'ne ve Yalova Üniversitesi Merkez Araştırma Laboratuvarı'na,

Konu ne olursa olsun desteklerini esirgemeyen meslektaş ve dostlarım; Eren SOYLU, Kerem Zana TANIŞ, Seçil BABAĞLU, Ufuk ÇİMEN, Salih DOĞU, Nazlı ARMAN, Ahmet TEKİN, Ahmet AYDIN, Merve ÜN, Ayşe TURGUT, Dilayda KANMAZ, Muhammed Selman DOĞAN, Abdullah PARLAK, Medya Hatun TANIŞ, Can Eren DEMİR, Engin SAVÇIN ve Ömer GÜNERİ'ye

Polimer Mühendisliği Derneği'ndeki değerli çalışma arkadaşlarıma,

Sonsuz teşekkürlerimi sunarım...

Bütün eğitim hayatımda her konudaki anlayış ve destekleriyle yanımda olan ablalarım Meliha KESERCİOĞLU ve Halime ÜNAL ile annem Ayfer BAKIRCI ve babam Kadir BAKIRCI'ya, bana verdikleri emekler için teşekkür ederim.

Bu yüksek lisans tezi Yalova Üniversitesi BAP Kordinasyon birimi tarafından 2018/YL/0024 nolu proje ile desteklenmiştir. Destekleri için teşekkürlerimi sunarım.

Ağustos 2019

Hüseyin BAKIRCI
Polimer Mühendisi



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	xvii
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	2
1.2 Literatür Araştırması	3
1.3 Hipotez	8
2. PLASTİK KAYNAK YÖNTEMLERİ	9
2.1 Plastik Kaynağı Nedir?.....	9
2.2 Kaynakların Sınıflandırılması	9
2.2.1 Sıcak gaz kaynağı.....	10
2.2.2 Sıcak eleman kaynağı.....	11
2.2.3 Sıcak kama kaynağı	11
2.2.4 Kızılötesi kaynağı	12
2.2.5 Lazer kaynağı.....	13
2.2.6 Mikrodalga kaynağı	14
2.2.7 Ekstrüzyon kaynağı.....	14
2.2.8 Endüksiyon kaynağı.....	15
2.2.9 Dielektrik kaynağı.....	16
2.2.10 Sürtünme kaynağı	16
2.2.11 Titreşim kaynağı	17
2.2.12 Ultrasonik kaynak	18
2.2.13 Rezistans kaynağı.....	18
2.2.14 Sürtünme karıştırma kaynağı	19
3. REZİSTANS KAYNAĞI VE UYGULAMA ALANLARI	21
3.1 Rezistans Kaynağı Nedir?	21
3.2 Rezistans Kaynağı Çalışma Prensibi ve Aşamaları.....	22
3.3 Isıtıcı Eleman (İmplant)	23
3.4 Uygulama alanları	24
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	25
4.1 Kullanılan Malzemeler	25
4.1.1 Polimer Malzemeler	25
4.1.1.1 Polipropilen.....	25
4.1.1.2 Yüksek yoğunluklu polietilen	26
4.2 Test Numunelerinin Hazırlanması	27
4.2.1 Enjeksiyon prosesi ile test numunelerinin hazırlanması	27
4.2.2 Numunelerin daire testere ile kesilmesi	28
4.2.3 Isıtıcı eleman	29
4.3 Deney Düzenegi	32
4.4 Test ve Analiz Çalışmaları	32
4.4.1 Mekanik testler.....	32
4.4.1.1 Çekme testi.....	32

4.4.1.2 Üç nokta eğme testi	33
4.4.1.3 Darbe testi	34
4.4.2 Görüntüleme Yöntemleri.....	34
4.4.2.1 Optik mikroskop.....	34
4.4.2.2 Termal kamera.....	35
5. DENEYSEL SONUÇLAR.....	37
5.1 Mekanik Testlerin Sonuçları	38
5.1.1 Çekme testi.....	38
5.1.2 Üç nokta eğme testi	40
5.1.3 Darbe testi	42
5.2 Mikroyapı incelemeleri	44
5.3 Termal kamera incelemeleri	46
6. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME	47
ÖZGEÇMİŞ.....	51
.....	51



KISALTMALAR

ABS	: Akrlonitril Bütadien Stiren
AISI	: Amerikan Demir Çelik Enstitüsü
ASTM	: Amerika Malzeme ve Analiz Kurumu
CF	: Karbon Elyaf
CPS	: Döngü Frekansı
Cr-Ni	: Krom-Nikel
DCB	: Çift Taraflı Arayüzey Ayırma
DLS	: Çift Kat Kesme
DSC	: Diferansiyal Taramalı Kalorimetre
GF	: Cam Elyaf
HDT	: Yük Altında Eğilme Sıcaklığı
IR	: Kızılötesi
ISO	: Uluslararası Standardizasyon Örgütü
PE	: Polietilen
PEEK	: Polietereterketon
PEI	: Polieterimid
PEKK	: Polieterketoneketon
PET	: Polietilen Tereftalat
PP	: Polipropilen
PVC	: Polivinil klorür
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
T_g	: Camsı geçiş sıcaklığı
TiO₂	: Titanyum dioksit
YYPE	: Yüksek Yoğunluklu Polietilen



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Plastiklerin kaynağının sınıflandırılması [1]	9
Çizelge 4.1 : Polipropilenin karakteristik özellikleri	26
Çizelge 4.2 : Yüksek yoğunluklu polietilenin karakteristik özellikleri	26
Çizelge 4.3 : Enjeksiyon proses parametreleri	28
Çizelge 5.1 : Test sonuçlarında kullanılan numune kodları ve açıklamaları	37
Çizelge 5.2 : PP kaynaklı, 0°, 30°, 45° açılarla 0.3mm ve 0.5mm tel ile kaynaklı birleştirmelerin çekme testi sonuçları.	38
Çizelge 5.3 : PP kaynaklı, 0°, 30°, 45° açılarla 0.5mm tel ile kaynaklı birleştirmelerin üç nokta eğme testi sonuçları.	41
Çizelge 5.4 : PP kaynaklı, 0°, 30°, 45° açılarla 0.5mm tel ile kaynaklı birleştirmelerin darbe testi sonuçları.	43



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Sıcak gaz kaynağı; a) başlangıç b) ilerleme c) sonlandırma	10
Şekil 2.2 : Sıcak eleman kaynağı ; a) ısıtma b) soğutma [18]	11
Şekil 2.3 : Sıcak kama kaynağı [1]	12
Şekil 2.4 : Kızılötesi lambasıyla plastik boru kaynağı [7].....	12
Şekil 2.5 : Lazer kaynağı ısıtma şekilleri [16].....	13
Şekil 2.6 : İletken polimer ile mikrodalga kaynağının şematik gösterimi [20]	14
Şekil 2.7 : Ekstrüzyon kaynağı	15
Şekil 2.8 : Endüksiyon kaynağı işlemi; (a) implantın yerleştirilmesi, (b) basınç uygulaması, (c) indüksiyonla ısıtma (d) basınç altında soğutma.....	16
Şekil 2.9 : Dielektrik kaynağı şematik gösterimi [21].....	16
Şekil 2.10 : Sürtünme kaynağı [1].	17
Şekil 2.11 : Titreşim kaynağı çeşitleri [16].	18
Şekil 2.12 : Sürtünme karıştırma kaynağı [23].	19
Şekil 3.1 : Rezistans kaynağı [24] 21	
Şekil 3.2 : Rezistans kaynağı aşamaları.....	22
Şekil 3.3 : Örülmüş paslanmaz çelik ısıtma elemanı [8].	23
Şekil 4.1 : Enjeksiyon makinesi 27	
Şekil 4.2 : Daire Testere	28
Şekil 4.3 : a)Çekme testi numunesi b) 0° kesilmiş numune c) 30° kesilmiş numune d) 45° kesilmiş numune	29
Şekil 4.4 : Teller a)spiral b)zıkzak ve c)çapraz	30
Şekil 4.5 : Spiral tel aparatı.....	30
Şekil 4.6 : Zıkzak tel aparatı	31
Şekil 4.7 : Çapraz tel aparatı.....	31
Şekil 4.8 : Deney Düzeneği	32
Şekil 4.9 : Çekme Test Cihazı	33
Şekil 4.10 : Darbe Test Cihazı.....	34
Şekil 4.11 : Optik mikroskop.....	35
Şekil 5.1 : PP malzemenin kaynaklı birleştirmelerinin çekme mukavemetlerinin tel şekline göre karşılaştırılması.....	39
Şekil 5.2 : Polipropilen ve yüksek yoğunluklu polietilen malzemelerin spiral tel ile kaynaklı birleştirmelerinin çekme mukavemetlerinin karşılaştırılması	40
Şekil 5.3 : Polipropilen malzemelerin kaynaklı birleştirmelerinin eğilme dayanımlarının saf malzeme ile karşılaştırılması	41
Şekil 5.4 : Polipropilen ve yüksek yoğunluklu polietilen malzemelerin zıkzak tel ile 30° açıyla kaynaklı birleştirmelerinin çekme mukavemetlerinin karşılaştırılması.....	42
Şekil 5.5 : Polipropilen malzemelerin kaynaklı birleştirmelerinin darbe performanslarının saf malzeme ile karşılaştırılması.....	43

Şekil 5.6 : Polipropilen ve yüksek yoğunluklu polietilen malzemelerin spiral tel ile 45° açıyla kaynaklı birleştirmelerinin darbe mukavemetlerinin karşılaştırılması.....	44
Şekil 5.7 : PP malzemelerin çapraz tel ile 0° açıyla kaynaklı birleştirmelerinin optik mikroskop görüntüleri	45
Şekil 5.8 : PP malzemelerin spiral tel ile 0° açıyla kaynaklı birleştirmelerinin optik mikroskop görüntüleri	45
Şekil 5.9 : Polipropilen malzemelerin zikzak tel ile 0° açıyla kaynaklı birleştirmelerinin optik mikroskop görüntüleri	46
Şekil 5.10 : Isıtma elemanının kaynak prosesi sırasında 10,11,12,13,14,ve 15. saniyelerdeki sıcaklıkları	46



TERMOPLASTİKLERE UYGULANAN REZİSTANS KAYNAĞI PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ VE OPTİMİZASYONU

ÖZET

Bu çalışmada polipropilen ve yüksek yoğunluklu polietilen polimerlerine farklı şekil ve kalınlıklarda krom nikel ısıtma elemanları kullanılarak farklı birleştirme açılarıyla rezistans kaynağı uygulanmıştır. En ideal parametrenin belirlenmesi için mekanik testler, mikroyapı incelemeleri ve termal görüntüleme yöntemleri kullanılarak kaynak performansları incelenmiştir.

Çalışmada 12V AC (50W) transformatör kullanılarak deney düzeneği hazırlandı. Enjeksiyon makinesi kullanılarak üretilen test numuneleri farklı açılardan (90°, 45° ve 30°) kesildi. Aynı tip, farklı çap ve farklı şekildeki rezistans telleri ile kaynaklandı. Kaynak esnasında termal kamera ile yapılan incelemelerde uygun sıcaklığın 217 °C ve kaynak süresinin 13 saniye olduğu belirlendi. Parçalar üzerine farklı kuvvetler uygulanarak parçaların yapışması sağlandı. Uygun kuvvetin 20N olduğu belirlendi.

Elde edilen kaynaklanmış parçalara çekme testi, üç nokta eğme testi ve darbe testi uygulanarak mekanik özellikleri incelendi. Polipropilen malzemenin kaynaklı birleştirmelerine uygulanan çekme testi sonuçlarına göre 0.5 mm tel ile yapılan kaynakların daha mukavemetli ve 0.3 mm tel ile yapılan kaynakların ise mukavemetsiz olduğu görüldü. Ayrıca çekme testi sonucuna göre en iyi mukavemeti spiral tel ile 30° kesme açısıyla yapılan kaynaklı birleştirmelerin gösterdiği görüldü. Buna istinaden yüksek yoğunluklu polietilen malzemelerin kaynaklı birleştirmelerinin çekme testleri için sadece bu parametrelerdeki numuneler test edilerek iki malzemenin kaynak mukavemetleri karşılaştırıldı ve polipropilen malzemenin birleştirmelerinin daha iyi çekme dayanımı gösterdiği görüldü. Yapılan üç nokta eğme testi sonuçlarına göre ise malzemelerin tümü %3.5 esneme göstererek kırılmadı. En iyi performansı 30° açıyla, zikzak tel ile birleştirilen numunelerin gösterdiği görüldü. Malzeme olarak mukayese edildiğinde yüksek yoğunluklu polietilen malzemelerin kaynaklı birleştirmelerin daha iyi eğilme dayanımları gösterdiği görülmektedir. Son olarak mikroyapı incelemesinde optik mikroskop kullanılarak birleştirme yerlerinden kırılan malzemelerin kaynak bölgeleri 400kat büyütülerek görüntülendi. Görüntüler incelendiğinde eriyik akışlarının çapraz ve spiral tel şekliyle kaynaklanan numunelerde daha belirgin olduğu görülmektedir. Fakat zikzak tel şeklinde sadece telin etrafında belli bir kısımda erime ve kesme sırasında oluşan çizgiler gözlemlenerek kaynaklanmayan bölgeler tespit edildi.

Çalışma sonunda 13 sn kaynak süresi ve 20N sıkıştırma kuvveti ile 0,5 mm tel kalınlığı ile spiral tel şeklinin en iyi mekanik sonuçları verdiği görüldü.



DETERMINATION AND OPTIMIZATION OF RESISTANCE WELDING PARAMETERS APPLIED TO THERMOPLASTICS

SUMMARY

In this study, resistance welding was applied to polypropylene and high density polyethylene with different joining angles by using chrome nickel heating elements of different shapes and thicknesses. To determine the ideal parameters, welding performances were examined using mechanical tests, microstructure investigations and thermal imaging methods.

A 12V AC (50W) transformer was used. The test specimens produced using the injection machine were cut at different angles (90 °, 45 ° and 30 °). The same type was welded with resistance wires of different diameters and shapes. It was determined that the appropriate temperature was 217 ° C and the welding time was 13 seconds. Different forces were applied on the parts and the parts were adhered. The appropriate force was determined to be 20N.

The mechanical properties of the welded parts were examined by applying tensile test, three point bending test and impact test. According to the tensile test results applied to welded joints of polypropylene material, welds made with 0.5 mm wire were more resistant and welded with 0.3 mm wire were weak. In addition, according to the tensile test results, welded joints made with spiral wire with 30 ° cutting angle showed the best strength. Accordingly, for the tensile tests of welded joints of high density polyethylene materials, only the samples in these parameters were tested and the weld strengths of the two materials were compared and it was found that the joints of the polypropylene materials showed better tensile strength. According to the three point bending test results, all materials were not broken by showing 3.5% stretch. The best performance was observed at 30 ° angle with samples joined by zigzag wire. Compared as materials, it is seen that welded joints of high density polyethylene materials exhibit better flexural strength. Finally, the welding regions of the materials broken from the joints by using an optical microscope were visualized at a magnification of 400 fold. When the images are examined, it is seen that the melt flows are more pronounced in the samples caused by cross and spiral wire shape. However, in the form of zigzag wire, only the lines formed during melting and cutting around a certain part of the wire were observed and the non-welded regions were determined.

At the end of the study, spiral wire shape with 0.5 mm wire thickness and 13N welding time and 20N compression force gave the best mechanical results.



1. GİRİŞ

Günümüzde plastikler otomotiv, havacılık, gemi ve raylı taşımacılık, savunma sanayi, elektrik-elektronik, medikal, tekstil, inşaat sanayi vb. sektörlerde yoğun bir şekilde kullanılmaktadır [1]. Gelecekte plastik kullanımının artarak, metal ve alaşımlarından yapılmış bir çok parçanın yerini alacağı öngörülmektedir.

Şekillendirme kolaylığı, karmaşık geometrideki parçaların kalıplama yoluyla kolayca üretilmesi plastiklerin en önemli avantajlarından [1]. Plastiklerin kullanım alanları ve plastiklerden üretilen ürünlerin geometrisi, kimyasal yapısı, boyutları dikkate alındığında kalıplama işlemi her zaman son ürünü üretmek için yeterli bir üretim tekniği olmamaktadır. Bu durumda parçaların ilk önce üretilmesi sonrasında işe yapıştırma, kaynak, cıvata, perçin vb. ile birleştirilerek tek parça bir ürün haline getirilmesi gerekmektedir [2].

Polimer malzemelerin birleştirilmesinde birleştirilmenin şekli, malzeme türü, malzemelerin kullanım amacı, malzemelerden beklenen özellikler vb. yöntem seçimi üzerinde etkili olmaktadır [3]. Yapıştırıcılar ile yapılan birleştirmeler, cıvata, perçin gibi mekanik bağlama ve kaynak gibi birleştirme yöntemlerine göre, daha ucuz ve kolaydır [3], [4]. Yapıştırma işlemi ile pek çok plastik malzeme birleştirilebilmektedir. Yapıştırılan malzemelerin kimyasal direnci yapıştırma işleminde oldukça önemlidir [3]. Kimyasal bir madde ile çözünen plastikler (PVC, ABS) yapıştırıcı kullanılarak birleştirilirken, kimyasal bir madde ile çözülmemeyen plastikler (PE, PP) yapıştırıcılar ile birleştirilemez [2], [5]. Bu gibi durumda mekanik bağlama, kaynak gibi alternatif birleştirme yöntemlerinin kullanılması zorunluluğu ortaya çıkmaktadır.

Plastiklerin metal ve seramik gibi farklı malzemelerle birleştirilmesinde, termoset türü malzemelerin birleştirilmesinde, termoset ve termoplastik türü malzemelerin birbiri ile birleştirilmesinde yapıştırıcı ve kaynak kullanılmayan uygulamalarda mekanik bağlantı yöntemleri (cıvata, perçin, kama vb.) kullanılmaktadır [2].

Kaynak işleminde plastik malzemenin ısı karşısında gösterdiği davranış önemli olmaktadır. Isı karşısında yumuşayan termoplastik türü malzemeler kaynak ile birleştirilirken, ısı ile yumuşamayan termoset türü malzemeler kaynakla birleştirilememektedir [1]. Plastiklerin kaynakla birleştirilme yöntemlerinden biri implant veya elektro füzyon kaynağı olarak isimlendirilen rezistans kaynağıdır[6]. Rezistans kaynağı sürekli karbon fiberlerle güçlendirilmiş yüksek performanslı termoplastikler için geliştirilmiş bir yöntemdir [7]. Günümüzde havacılık sektöründe kullanımı giderek artmakta, yoğun olarak denizcilikte bot ve tekne yapımında, plastik boru ve direklerin birleştirilmesinde, otomotiv sektöründe iki parçalı tamponların kaynağında kullanılmaktadır [1]). Yöntem basit olup, karmaşık şekillere sahip parçaların kaynağı için oldukça uygundur [8].

Otomotiv sektöründe performans gereksinimlerini karşılamaları, düşük yoğunlukları, ekonomik olmaları, kolay şekillendirilebilmeleri nedeniyle pek çok parçanın üretiminde poliolefin tipi plastikler yoğun bir şekilde kullanılmaktadır [9]. Bu malzemeler kullanılacağı yere göre sıklıkla benzer ya da benzemez özellikteki farklı malzeme türleri ile birleştirilerek kullanılmaktadır. Bunun yanında motorlu araçlarda yaşanan kazalar ve alınan darbelerde metal ve plastik akşamlarda düzeltme, tamir, boya vb. işlemler gerekmektedir. Bu tip düzeltme ve tamirlerde kırılmış, çatlamış, parçalanmış plastik aksamın bir araya getirilerek kendisinden beklenen fonksiyonu sağlıklı bir şekilde gösterecek şekilde sabitlenmeleri gerekmektedir. Düşük yüzey enerjileri nedeniyle poliolefin tipi plastikten imal edilen ürünlerde parçaların bir araya getirilmesi veya tamirleri için yapıştırıcılar üründen beklenen yapışma performansını karşılayamamakta ve bu durumda kaynak yöntemlerinden faydalanılmaktadır [2].

1.1 Tezin Amacı

Günümüzde plastik malzemelerin kaynakla birleştirilebilmeleri üzerine yapılan çalışmalar devam etmekte [10] ve rezistans kaynağının uygulama alanları giderek artmaktadır. Bu çalışmada PE, PP gibi otomotiv sanayinde yaygın olarak kullanılan [11] ve yapıştırıcı kullanılarak birleştirilemeyen [12] termoplastiklerin rezistans kaynağı ile birleştirilmesi ve birleştirmeden yüksek mekanik özelliklerin elde edilmesi için kaynak parametrelerinin optimizasyonunun sağlanması ve bunun da endüstriyel olarak kullanılabilir hale getirilmesi hedeflenmektedir.

1.2 Literatür Araştırması

Rezistans kaynağı işleminde, kaynaklanacak iki termoplastik parçanın arasına bir güç kaynağına bağlı elektriksel olarak iletken bir ısıtma elemanı yerleştirilir. Elektrik akımı uygulanan iletken malzeme joule etkisi ile ısınır. Bu iletken ısıtma elemanın etrafına yerleştirilen polimer malzeme yumuşar veya erir. Eriyik yüzey basınç uygulanarak birleştirilir. Elektrik akımı kesilerek malzeme basınç altında soğutulmuş kaynak ile birleşme işlemi gerçekleştirilir [5].

O'Shaughnessey ve ark. (2015) yaptıkları çalışmada ultrason kaynağı, indüksiyon kaynağı ve rezistans kaynağı ile farklı parametreleri kullanarak kaynak uygulamaları gerçekleştirmişlerdir. Kaynak mukavemeti ve yöntem seçimi üzerinde parça geometrisinin, parça boyutlarının, ısıtıcı eleman tipinin, malzeme türünün oldukça önemli olduğunu ifade etmişlerdir. Çalışmalarında en yüksek kaynak mukavemet değerini sırasıyla ultrason, rezistans ve indüksiyon kaynak yönteminden elde etmişlerdir. Diğer kaynak yöntemleri ile karşılaştırıldığında; rezistans kaynağının daha iyi ısı dağılımı sağlamıştır. Araştırmacılar tarafından; kaynak bölgesinde ısı farklılıklarının oluşmasının kaynak mukavemeti üzerinde etkili olduğu belirtilmiştir[5].

Dube ve ark. (2008) tarafından iki farklı ısıtma elemanı kullanarak rezistans kaynağı yapılmış termoplastik kompozitleri yüzey kaplama/feder (skin/stringer) şekilde birleştirilip yorulma mukavemetlerini karşılaştırmışlardır. Polimer olarak tek yönlü karbonfiber takviyeli polietereterketon (PEEK) polimeri, ısıtıcı eleman olarak ağ şeklinde örülmüş 304 paslanmaz çelik tel ve TiO₂ seramik kaplı tel kullanılmıştır. yüzey kaplama/feder şekilde kaynak yapılan malzemelerin mekanik performansına bakmak için 2 mm/dak hızla statik üç nokta eğme testi uygulanmıştır. Numunelerin statik performansına dayanarak, üç nokta eğme testi fikstürü kullanılarak yük kontrollü yorulma testleri gerçekleştirilmiştir. Kaynak arayüzündeki delaminasyonu incelemek için parçalar kırılmış ve kırılan yerlerinden taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri incelenmiştir. Yapılan testler ve incelemeler sonucunda TiO₂, numunelerin yorulma mekanik performansını etkilemediği görülmüştür. SEM görüntülerindeki incelemelere göre TiO₂ kaplama ve polimer arasında iyi bir yapışma gözlenmiş, bununla birlikte TiO₂ metal ağdan düşme eğilimi göstermiş ve kaynak arayüzünde delaminasyona sebep olduğu görülmüştür. Bu çalışmada karbon fiber takviyeli

laminatların rezistans kaynağında karşılaşılan mevcut sızıntı sorunuyla ilgili olarak, yeni geliştirilen TiO₂ 'nin başarılı bir çözüm olduğu gösterilmiştir. Statik veya yorulma yükleri altında hiçbir mekanik performans dezavantajı gözlemlenmemiş. Bununla birlikte, her iki durumda da yani metal teller ve TiO₂ kaplama da delaminasyonlar gerçekleştiğinden, metal tele yüzey işlemi uygulandığında rezistans kaynağının mekanik performansının artacağı ve bununla ilgili gelecekte çalışmalar yapılabileceği öngörülmüştür[13].

Dube ve ark. (2013) bir diğer çalışmalarında çeşitli termoplastik kompozit malzemeleri rezistans kaynağı birleştirmişlerdir. Tek yönlü karbon fiber/polietereterketon (CF/PEEK), karbon fiber/polieterketoneketon (CF/PEKK), karbon fiber/polieterimid (CF/PEI) ve dokunmuş cam elyaf/polieterimitten (GF/PEI) oluşan ikili birdirme bağlantılı (double lap shear) kompozitler, örülmüş paslanmaz çelik ısıtma elemanı kullanılarak rezistans kaynağı yapılmıştır. Kaynaklanan örnekler statik ve yorulma yükleri altında test edilmiş ve kaynakların kalitesi optik ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılarak incelenmiştir. CF/PEEK, CF/PEKK, CF/PEI ve GF/PEI DLS birleştirmeleri için sırasıyla 53, 49, 45 ve 34 MPa kaynak kuvvetleri elde edilmiştir. Yapılan çalışmanın sonucunda yapıştırıcı ile birleştirilen termoset kompozitlerin aksine rezistans kaynağı ile birleştirilen termoplastik kompozitlerin kullanılmasının daha avantajlı olduğu gösterilmiştir[14].

Shi ve ark. (2015) termoplastik kompozitlerin rezistans kaynağı parametrelerini tespit edebilmek için kaynak yer değiştirme eğrilerini incelemişlerdir. Kaynak yapılacak malzeme olarak cam elyaf takviyeli polyeterimid polimeri, ısıtıcı eleman olarakta AISI 304L paslanmaz çelik kullanılmış. GF/PEI laminatlar ASTM D 1002 standardına göre kesilmiş, 0,8 MPa basınç, 100 sn sabit ısıtma süresi ve 80 kW/m² sabit güç girişi kullanılarak rezistans kaynağı yapılmıştır. Yer değiştirme eğrilerinin tespiti için optik mikroskopla ölçümler yapılmıştır. Ölçümlerden temas yüzeylerinde oluşan mikro boşlukların giderilmesi için öncelikle yakın temasın oluşturulması ve PEI reçinesinin yüzey deformasyonuna uğramaması içinde sıcaklığın camsı geçiş sıcaklığına (T_g=215 °C) yakın bir değer olması gerektiği tespit edilmiştir. Bu noktada PEI reçinesinin tam olarak temas edebilecek kadar yumuşak olması beklenir. Güç kaynağı kapatıldığında yer değiştirme eğrisinde sürekli bir düşüş olur ve bu şekilde karakterize edilir. Kaynağın sıcaklığı T_g'nin altına düştükten sonra yer değiştirme daha düşük bir oranda azalır. Kaynak ara yüzeyinin uzak olan alanların ısıl genişmesi eşitleninceye

kadar azalma devam eder. Sıcaklığın da sabitlenmesiyle bütün genleşmeler ve daralmalar durur. Parçaların birleşme yerlerinde yığılmalar meydana gelir, ölçülen yığının son kalınlığının başlangıç kalınlığından yüksek olduğu belirtilerek pozitif yer değiştirmenin olduğu söylenmektedir. Isıtma zamanının kaynak mukavemetine etkisi incelendiğinde 80 kW/m² güç kullanılarak ısı elemanı ısıtılmış, 0.8 MPa kaynak basıncıyla 30, 50 ve 100 sn süreyle GF/PEI numuneleri kaynak yapılmış ve yer değiştirmeleri incelenmiştir. Beklendiği gibi ısıtma süresinin azalmasıyla kaynak yer değiştirmesi azalmıştır. Bu durumun kaynak işlemi için yetersiz ısıtma süresinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Araştırmacılar kısa ısıtma sürelerinin daha düşük sıcaklıklara neden olduğu ve bununda termal genleşme ve boşluk oluşumundan kaynaklı daha az kalınlık artışı gösterdiğini ifade etmiştir. Bununla birlikte 55 sn ve 100 sn'lik ısıtma sürelerinde kalınlık giderek artmıştır. Kaynak basıncının yer değiştirme üzerine etkisi için 80 kW/m² güç kullanılarak ısı elemanı ısıtılmış 100 sn'lik ısıtma süresinde 0.2, 0.8 ve 1.5 MPa kaynak basınçlarıyla GF/PEI numuneleri kaynak yapılmıştır. Kaynak basıncının düşük olduğu değerlerde yer değiştirmenin arttığı gözlemlenmiştir. Bu durumun gözeneklilikten kaynaklandığı, birleştirme kesitlerden alınan optik mikroskop görüntülerine bakılarak tespit edilmiştir. 1.5 MPa basınçla kaynaklanan numunelerin daha az gözenekli olduğu ve nihai kalınlığının diğerlerinden daha az ve başlangıç değerinden biraz kalın olduğu görülmüştür. Özetlenecek olursa ısıtma süresi ve basıncın yüksek olması durumunda yer değiştirme eğrileri incelendiğinde kaynak arayüzeyinde yakın temas sağlanmakta ve boşluk oluşumu daha az olmaktadır. Böylelikle termoplastik kompozitlerin rezistans kaynağıyla kaynaklanması mümkün olmaktadır[8].

Stavrov ve ark. (2004) çalışmalarında termoplastik kompozitlerin rezistans kaynağını genel bir bakış açısıyla, standart deney prosedürü, deneyin kurulumu ve başlıca değerlendirme yöntemleri detaylı bir şekilde incelemişlerdir. Amaçları rezistans kaynağı hakkında daha derin bilgiler sağlamak ve yaptıkları çalışmaların bir özetini sunmaktır. Rezistans kaynağıyla ilgili genelde havacılık sektörüne yönelik çalışmalar yapılmış bu yüzden çalışmalarda birkaç malzemeye odaklanılmıştır. Bu çalışmada da bu malzemelerden CF/PEEK, GF/PEI ve CF/PEI malzemeleri ilgi odağı olmuştur. Isıtıcı eleman olarak karbon fiber ısıtıcı ve paslanmaz çelik ısıtıcılar kullanılmıştır. Rezistans kaynağında ısıtıcı eleman birleşme yerlerinden çıkarılmadığı için kilit rol oynadığına değinilmiştir. Genel olarak iletken herhangi bir malzemenin ısıtıcı eleman

olarak kullanılabilmesi belirlenmiştir. Malzemeler ASTM D 1002 standardına göre kesilip bindirme kaynağı yapılmış ve 1-5 mm/dk hızla kuvvet uygulanarak kayma gerilimi hesaplanmış, çift taraflı arayüzey ayrılma (double cantilever beam/DCB) testi yapılmış. Kaynaklanan termoplastik kompozitlerin yarı kristalin olmasından dolayı kaynak yapıldıktan sonraki kristallik seviyesi, kaynak kalitesi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Çok yüksek kristallik seviyesi (> %50) malzemenin kırılabilirliğine yol açacağından, kristallik belirlemek ve işleme parametresini değerlendirmek için diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) termogramı kullanılmıştır. Burada yapılan araştırmalara göre kaynak yerlerinin soğutulmasının kristallik belirlediği belirtilmiştir. Akım kesildikten sonra kaynak yerinin doğal yollarla oda sıcaklığına soğutulmasının tatminkar bir kristallik derecesi (%40-42) verdiği ve kaynak koşullarının matrisin morfolojisi üzerinde ihmal edilebilir bir etkiye sahip olduğu ortaya koyulmuştur. Ayrıca Ultrasonik C-taraması, kaynak kalitesini belirlemek için yaygın olarak kullanılan tahribatsız bir yöntem olduğu söylenmiştir. Kaynak yapılan bölgenin gerçek büyüklüğü veya kaynak içindeki bazı düzensizliklerin varlığı hakkında önemli bilgiler vereceği söylenmektedir. Bununla birlikte mikroskopik tarama tekniği kaynak kalitesini, mekanik testlerden sonra yapılan kusurun tespiti, delaminasyonları, lifler ve matris arasındaki bağlanmayı, eriyik yönelmelerini ve boşlukların varlığının tespiti için önemli bir değerlendirme tekniği olduğu söylenmektedir. Tüm bunlar incelendiğinde kaynak kalitesini etkileyen parametreler, ısıtıcı elemanın direnci, ısıtma elemanına uygulanan enerji, kaynak basıncı olarak belirlenmiş ve bu parametrelerin optimizasyonları yapılmıştır. Rezistans kaynağına alternatif olarak darbeli rezistans kaynağı tekniği incelenmiştir. Bu teknikte, ısıtma süresi daha kısa ve kaynak yerlerindeki aşırı ısınma ve buna bağlı olarak oluşan delaminasyonların önüne geçildiği görülmüştür. Darbeli rezistans kaynağının normal rezistans kaynağından farkı kesikli olarak daha yüksek enerji darbeleriyle belirli kombinasyonlarda kaynak işleminin yapılmasıdır. Burada tek dezavantajın belirli sıcaklık homojenliğinin sağlanamaması olduğu söylenmektedir. Bu çalışmanın sonucunda rezistans kaynağının, füzyon birleştirme yöntemleri grubunda en büyük potansiyele sahip olduğu kanıtlanmıştır. Geleneksel birleşme yöntemlerine göre sayısız avantajları olduğu söylenmektedir. Ölçeklendirme ve işlemin otomasyonunun geliştirilmesi olasılığından dolayı termoplastik ve termoplastik olmayan malzemelerin rezistans kaynağı ile birleştirilmesi önemli bir yere sahip olduğu kanıtlanmıştır.

Yapılan çalışmanın sonucunda, otomotiv ve havacılık endüstrisinde başarıyla uygulanmıştır[6].

Warren ve ark.(2016) cam elyaf takviyeli polietilen terafitalatı (PET) rezistans kaynağı ile birleştirip kaynak basıncının ve ısıtma elemanının geometrisinin etkilerini incelemişler. Yüksek kaliteli kaynaklar elde etmek için beş farklı kaynak basıncı ve altı farklı ısıtma elemanı geometrisi araştırılmıştır. Isıtma elemanının malzemesi 316 paslanmaz çelik kullanılmıştır. ASTM D5868 kayma testi standardına göre kesilen parçalar yine aynı standarda göre, 95.5 kPa, 345 kPa, 689 kPa, 1034 kPa basınçlarda rezistans kaynağı uygulanmıştır. Isıtma elemanı örgü boyutları ve tel çapları sırasıyla, 100x100-0.114 mm, 150x150-0.066 mm, 200x200-0.041 mm, 250x250-0.041 mm, 325x325-0.036 mm, 400x400-0.025 mm olarak seçilmiştir. Bunlarla birlikte kaynak arayüzüne düzgün bir polimer filmin eklenmesi, kaynak sırasında tel örgüdeki boşlukları azaltmaya yardımcı olmak için kullanılabilir olduğu söylenmiştir. Polimer film matris ile aynı polimer olmalıdır. Burada iki kat film kullanılmış ve film kalınlığı 0.127 mm'dir. Yapılan kayma testi sonucunda kaynak basıncı arttıkça kayma kuvvetinde arttığı görülmüştür. Tel geometrisinde ise en iyi sonuç 200x200 tel örgüsüne ve 0.041 mm tel çapına sahip olan kaynağın daha mukavemetli olduğu görülmüştür. SEM görüntüleride incelendiğinde düşük basınçlı kaynaklarda boşluklar oluşmuş ve düzgün laminasyon olmamıştır. Sonuç olarak cam elyaf takviyeli PET polimerinin kaynaklanabilmesi için parametreler belirlenmiş ve güvenilir ve uygun maliyetli bir birleştirme yöntemi olduğunu söylemişlerdir[15].

1.3 Hipotez

Farklı tel şekli, tel kalınlığı, sıcaklık, basınç, birleştirme açısı kaynak mukavemeti üzerinde etkili olmaktadır. Doğru ayarlanmış kaynak parametreleri ile ana malzemenin mukavemetine yakın kaynaklı birleştirme mukavemetlerinin elde edilmesi mümkündür. Literatür incelemelerinde rezistans kaynağının genellikle, kompozit malzemelerin (cam elyaf, karbon elyaf vb. takviyeli) kullanıldığı, alın altına birleştirilmelerin yapılmadığı, genellikle çalışmaların binidirme kaynağı şeklinde yapıldığı görülmüştür. Biz bu çalışmamızda saf malzemelerden üretilmiş plastik parçaların doğru parametrelerle alın altına, açılı bir şekilde birleştirilebileceğini düşünmekteyiz. Yapılan çalışmalarda parametrelerin doğru ayarlanmasıyla ince levha şeklindeki parçalarda bile, kaynak performansının %90'lara kadar çıkabileceği ön görülmektedir.

2. PLASTİK KAYNAK YÖNTEMLERİ

2.1 Plastik Kaynağı Nedir?

Plastik kaynağı; aynı tür ya da benzer/uyumlu termoplastikler arasında moleküler bir bağ oluşturma işlemidir. Plastiklerin birleştirilmesi, bir ürünün veya yapının oluşturulması veya onarımı için plastik bileşenlerin birbirine veya diğer malzemelerden yapılmış bileşenlere tutturulduğu kritik bir üretim aşamasıdır [16].

2.2 Kaynakların Sınıflandırılması

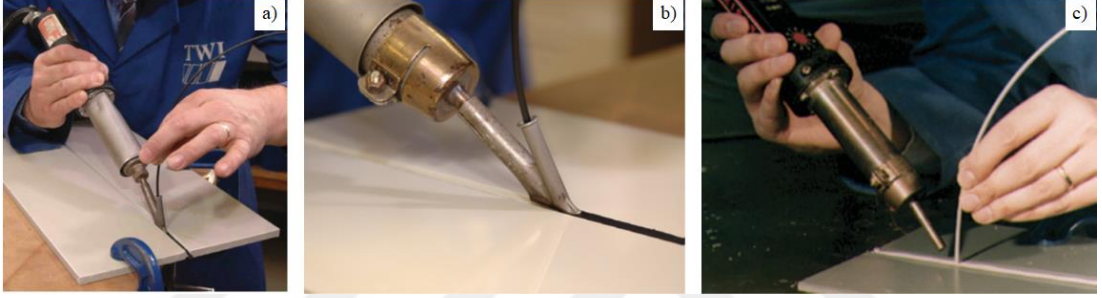
Termoplastiklere uygulanan kaynak yöntemleri ısı bakımından incelendiğinde ısı transfer yöntemleri ve ısıнын direkt malzemede olduğu yöntemler olmak üzere gruplandırılır. Isı transfer yöntemleri dışarıdaki ısı kaynağının malzemeye transferi ile gerçekleşen ısı yöntemleridir. Isının direkt malzemede oluşturulduğu yöntemler de ise ısı kaynağı dışarıda değildir ısı kaynağı genellikle ya malzemenin kendisidir ve sürtünmeye dayalı bir kaynak söz konusudur. Isı malzemenin içinde bulunduğu elektromanyetik alan içinde oluşturulur. Çizelge 2.1’de plastiklerin kaynağının sınıflandırılması daha detaylı bir şekilde gösterilmektedir.

Çizelge 2.1 : Plastiklerin kaynağının sınıflandırılması [1]

Isı Transfer Yöntemleri	Isının Direkt Malzemede Oluşturulduğu Yöntemler	
Isıl yöntemler	Mekanik Yöntemler (Sürtünme Esaslı)	Elektromanyetik Yöntemler
Sıcak Gaz Kaynağı Sıcak Kama Kaynağı Sıcak Eleman Kaynağı Ekstrüzyon Kaynağı İnfrared Isıtma Kaynağı Lazer Kaynağı	Sürtünme Kaynağı Sürtünme Karıştırma Kaynağı Sürtünme Karıştırma Nokta Kaynağı Titreşim Kaynağı (100-250 Hz) Ultrasonik Kaynak (20-40 kHz)	Rezistans (Elektro-füzyon, Implant) Kaynağı İndüksiyon Kaynağı (5-25 MHz) Dielektrik (Yüksek Frekans) Kaynağı (1-100 MHz) Mikro-dalga Isıtma Kaynağı (1-100 GHz)

2.2.1 Sıcak gaz kaynağı

Bu kaynak yönteminde, ısıtılmış gaz ya da hava kullanılarak kaynaklanacak parçaları ve aynı malzemeden yapılmış dolgu malzemesi olarak kullanılacak kaynak çubuklarını lokal olarak eriterek kaynak işlemi gerçekleştirilir. Kaynak çubuğuna, kaynak nozülü veya el ile manuel basınç uygulanır. Isı ve basınç kombinasyonu, kaynak çubuğunun ve ana malzemenin birbirine yapışmasına neden olur. Ana malzeme mukavemetinin %90'ına kadar kaynak mukavemeti elde etmek mümkündür. Operatör, tek tip ısıtma sağlamak için kaynak yapıldığı sırada tutarlı bir hareket hızı sağlamalıdır. Kritik olarak, kaynak çubuğu ve kaynaklanacak parçalar aynı termoplastikten yapılmalı ve ideal olarak aynı kalitede olmalıdır.



Şekil 2.1 : Sıcak gaz kaynağı; a) başlangıç b) ilerleme c) sonlandırma

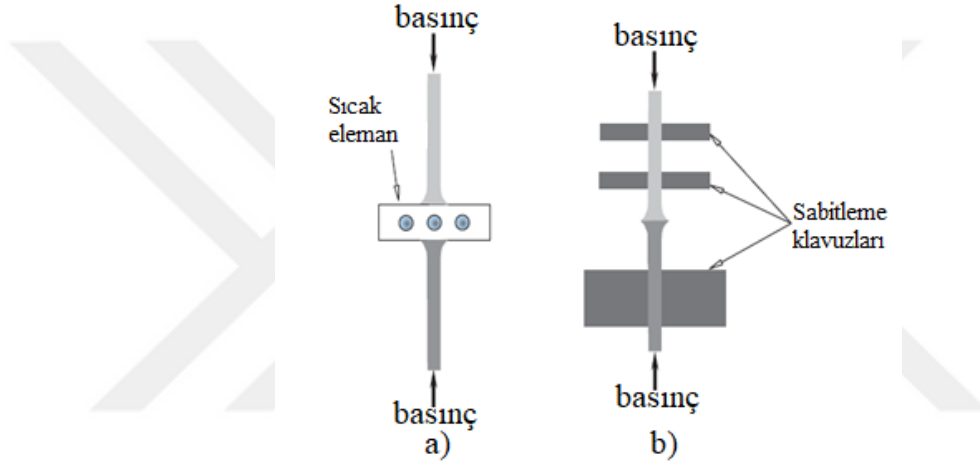
Sıcak gaz kaynağı, hemen hemen her şekilde ve boyuttaki bileşenleri kaynaklamak için kullanılabilir ve ekipman olarak tüm plastik kaynak teknikleri arasında en düşük maliyete sahiptir. Sıcak gaz torçları çok hafif ve farklı konumlarda kullanıma uygundur bu nedenle atölye ortamına taşınamayacak kadar büyük veya sökülemeyen parçaların onarımları için idealdir. Dezavantaj olarak diğer plastik kaynak tekniklerine kıyasla kaynak hızları nispeten düşüktür ve kaynak kalitesi operatörün becerisine bağlıdır. Bu nedenle sıcak gaz kaynak operatörlerinin uygun şekilde eğitilmiş ve sertifikalandırılmış olması gerekir.

Sıcak gaz kaynağı manuel bir işlem olduğundan, seri üretimdeki parçaları birleştirmek için uygun değildir. Bununla birlikte, herhangi bir birleştirme geometrisine sahip çeşitli parçaların imalatı için idealdir. Bunlara örnek olarak kimyasal depolama tankları, kanallar, duman tahliye sistemleri ve yarı iletken endüstrisi için banyolu tezgahlar verilebilir. Bu öğeleri başka herhangi bir kaynak tekniğini kullanarak imal etmek zordur. Sıcak gaz kaynağı çatılarda, lagünlerde ve kimyasal kaplar için

astarlarda termoplastik membranların kaynağında kullanılır . Ayrıca tampon ve akışkan rezervuarları gibi otomotiv parçalarının onarımında da kullanılabilir [7].

2.2.2 Sıcak eleman kaynağı

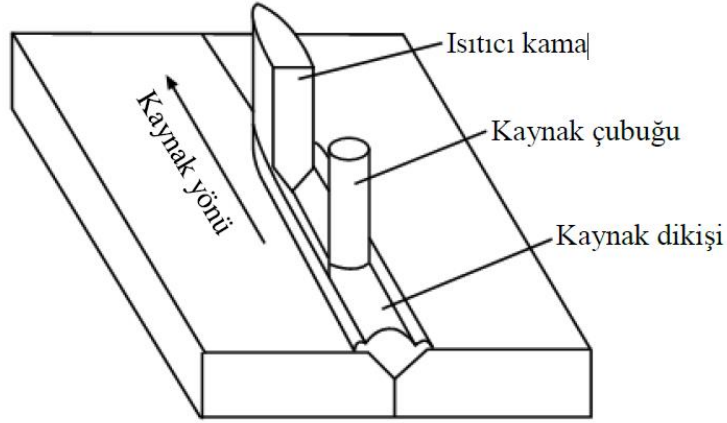
Sıcak eleman kaynağı işleminde, bir termoplastik parçanın iki yarısının birleştirme yüzeylerini eritmek için ısıtılmış bir eleman kullanılır. Parça yarımları önceden belirlenmiş bir süre boyunca tam olarak ısıtılmış bir plaka ile temas ettirilir. Plastik arayüzler eridikten sonra, moleküler, kalıcı ve çoğu zaman hermetik bir bağ oluşturmak için parçalar bir araya getirilir. Uygun şekilde tasarlanmış bir bağlantı genellikle diğer parça alanlarının gücüne eşittir veya bu değeri aşar [17].



Şekil 2.2 : Sıcak eleman kaynağı ; a) ısıtma b) soğutma [18]

2.2.3 Sıcak kama kaynağı

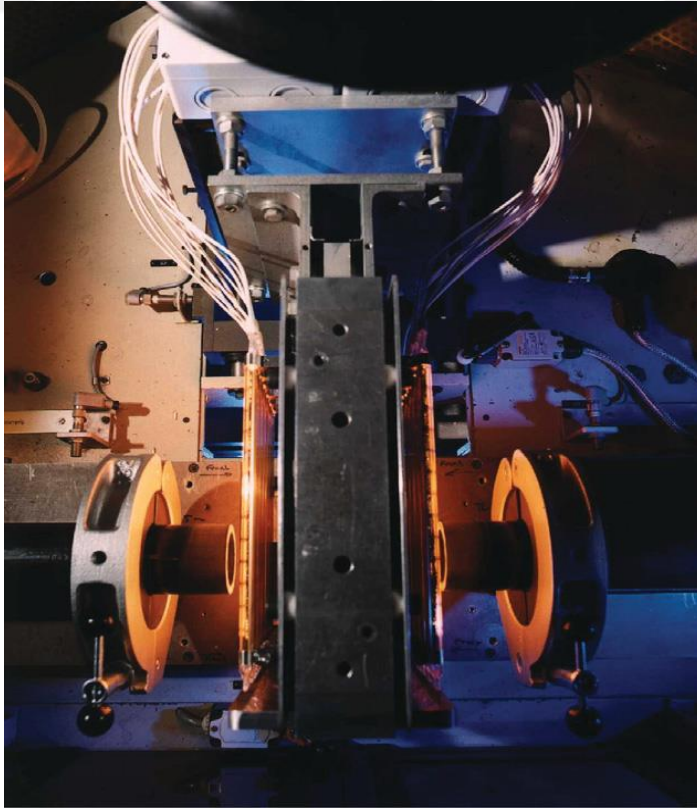
Sıcak gaz kaynağı ve sıcak eleman kaynağı tekniklerine benzemektedir. Kama şeklinde bir ısıtıcı eleman kullanılarak kaynaşlemleri yapılmaktadır . Birleştirme yüzeylerinin yeterli derinlikte ısıtılmadığından bu yöntem diğer yöntemlere göre daha az kullanılmaktadır. Şekil 2.3' te sıcak kama yöntemi şematik olarak gösterilmektedir [1].



Şekil 2.3 : Sıcak kama kaynağı [1]

2.2.4 Kızılötesi kaynağı

Kızılötesi (IR) radyasyon, polimerlerin kaynağı için temassız bir ısı kaynağı olarak kullanılabilir. IR radyasyonu genellikle 1 ila 15 μm arasındaki dalga boylarında yayılan ısıtılmış metal plakalar veya ağırlıklı olarak 1 ila 3 μm arasındaki dalga boylarında yayılan IR lambaları ile sağlanır. Bu radyasyon polimer yüzeyinde meydana geldiğinde ısınmaya ve erimeye neden olur. Erime meydana geldikten sonra IR kaynağı uzaklaştırılır ve parçalar birleştirilerek soğumaya bırakılır.

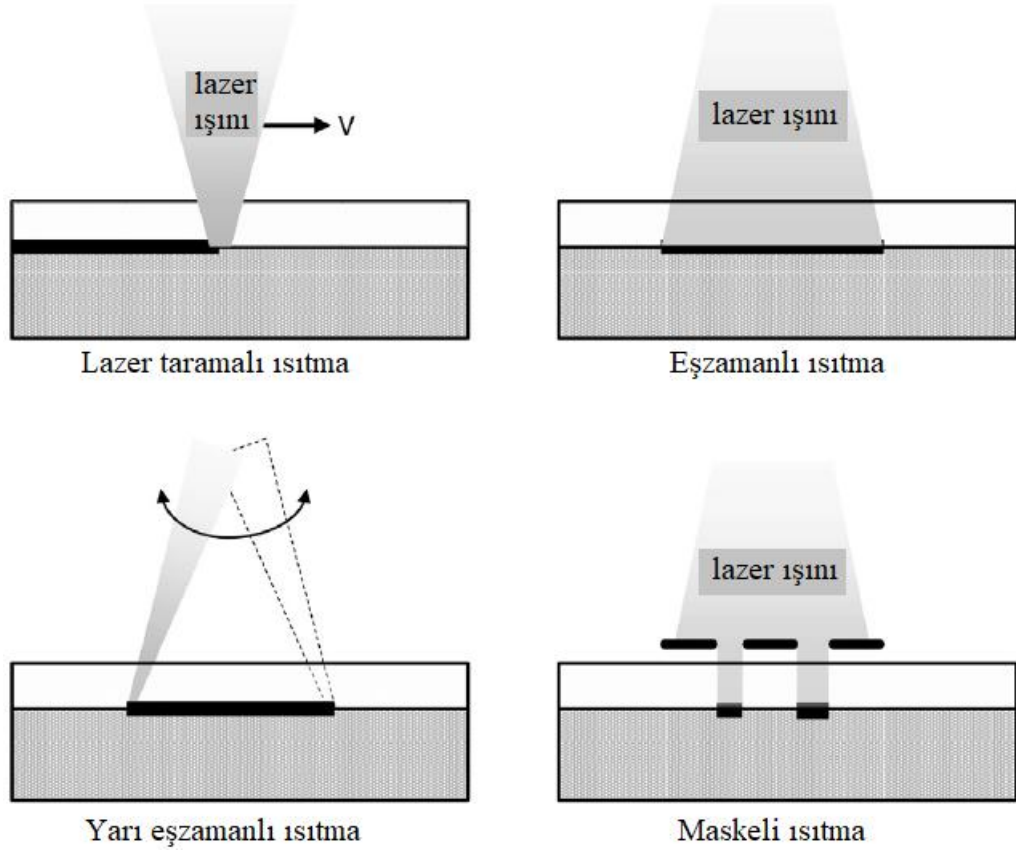


Şekil 2.4 : Kızılötesi lambasıyla plastik boru kaynağı [7]

2.2.5 Lazer kaynağı

Lazer ışık enerjisinin termoplastik polimer bileşenlerin kaynağında kullanılan temassız bir yöntemdir. Lazer ışını kullanılarak kaynak bölgeleri ısıtılır ve erime sağlanarak kaynak işlemi yapılır. Bu kaynağın en önemli özelliği, polimerlerden biri lazer ışınlarını geçiren transparan özellikte olmalı, diğer polimer ise lazer ışınlarını absorbe etme özelliğine sahip olması gereklidir. Lazer kaynak sistemleri çalışma tarzlarına bağlı olarak tasarım ve karmaşıklık bakımından büyük farklılıklar gösterir. En sık kullanılan kaynak sistemleri diyot lazerleri ve fiber lazerlerdir.

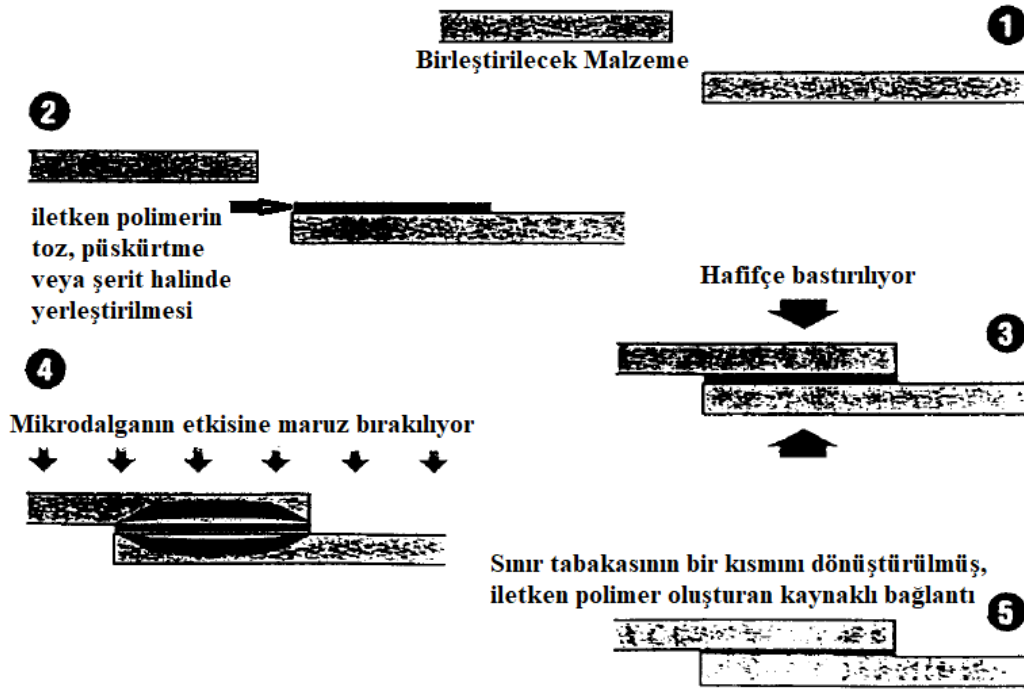
Tipik lazer kaynak sistemleri bir enerji kaynağına, lazer ortamına, optik rezonatör oluşturan iki veya daha fazla aynaya ve fikstürlere sahiptir. Lazer kaynağı ısıtma türlerine göre taramalı ısıtma, eşzamanlı ısıtma, yarı eşzamanlı ısıtma ve maskeli ısıtma olmak üzere dört farklı şekilde yapılır. Şekil 2.5' te detaylı şekilde gösterilmektedir [16].



Şekil 2.5 : Lazer kaynağı ısıtma şekilleri [16]

2.2.6 Mikrodalga kaynağı

Mikrodalga kaynağında, termoplastik malzemenin birleşme yüzeylerini ısıtmak için yüksek frekanslı elektromanyetik radyasyon kullanılır. Üretilen ısı termoplastik malzemelerin birleşme yüzeylerini eritir, iki parça birleştirilip soğutulurak kaynak yapılır. Mikrodalga kaynağı, indüksiyon kaynağı ve radyo frekansı kaynağına gibi bir elektromanyetik kaynak türüdür, ancak bu kaynak türlerine göre daha yüksek frekanslarda çalışır [19]. Radyo frekansı aralığı normalde 10–500 MHz'dir, çoğu ekipman 27.12 MHz'de çalışır. Mikrodalga frekans aralığında ise tipik olarak 500 MHz-30 GHz'dir ve çoğu ekipman 2.45 GHz'de çalışmaktadır [16].

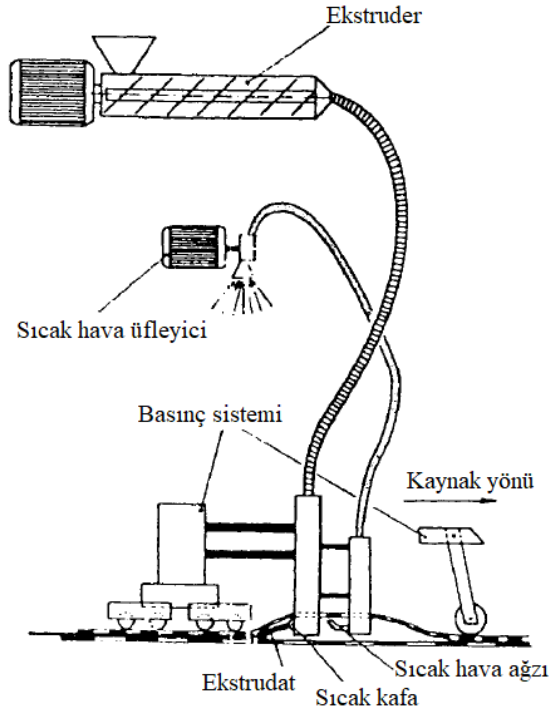


Şekil 2.6 : İletken polimer ile mikrodalga kaynağının şematik gösterimi [20]

2.2.7 Ekstrüzyon kaynağı

Ekstrüzyon kaynağı, sıcak gaz kaynağından geliştirilen güvenilir bir tekniktir, burada kaynaklanacak malzemeyle aynı olan bir termoplastik dolgu maddesi önceden ısıtılmış kaynak alanındaki bir oluğa ekstrüzyonlanır. Dolgu malzemesi oluğu doldurur ve soğuduktan sonra bir kaynak oluşturur. Ekstrüzyon kaynağı genellikle otomatik olmasına rağmen elle yapılır. Şekil 2.7'de de görüldüğü gibi sıcak hava, kaynak

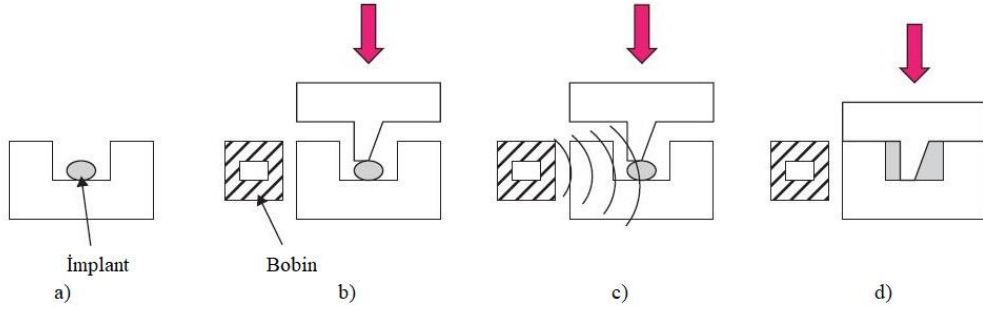
alanındaki termoplastiği eritir ve ekstrüzyonlanan malzeme, iki malzeme arasına akar ve soğuduktan sonra bir kaynak oluşturur [7].



Şekil 2.7 : Ekstrüzyon kaynağı

2.2.8 Endüksiyon kaynağı

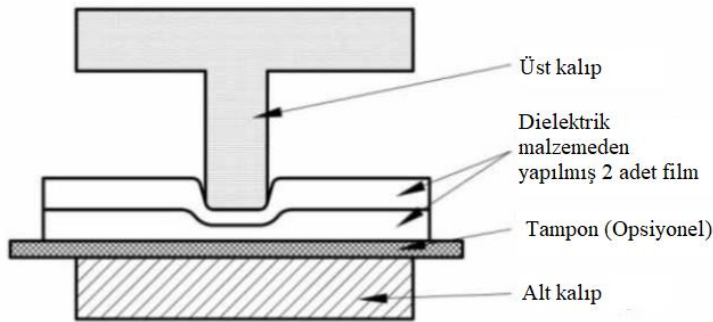
Endüksiyon kaynağı, kaynaklanacak iki parçanın birleşme ara yüzüne yerleştirilmiş bir bağlama maddesi (termoplastik veya yapışkan bir matris ile) içine yerleştirilmiş ferromanyetik parçacıkları manyetik olarak harekete geçiren yüksek radyo frekanslı alternatif akımdan indüksiyonla ısıtma kullanır. Açığa çıkan ısı, termoplastiklerin erimesi ve kaynaşması, sıcak erimiş yapıştırıcıların ısıtılması veya termosetler için hızlı yapıştırıcı kürler sağlamak için kullanılır. Uzun (400 cm) bağlantı hatlarına sahip parçalar için bir saniyenin kesirinden küçük parçalar için 30 - 60 saniye arasında değişen, yapısal, hermetik veya yüksek basınçlı kaynaklar ile sonuçlanan güvenilir ve hızlı bir tekniktir. [7]



Şekil 2.8 : Endüksiyon kaynağı işlemi; (a) implantın yerleştirilmesi, (b) basınç uygulaması, (c) endüksiyonla ısıtma (d) basınç altında soğutma

2.2.9 Dielektrik kaynağı

Dielektrik kaynağı büyük çaplı üretimlerde ve direk ısıtmanın kullanılamayacağı durumlarda uygulanan ve radyo frekans veya yüksek frekans kaynağı olarak da isimlendirilen bir kaynak yöntemidir (Karagöz, 2014). Aşağıdaki şekilde dielektrik kaynağının şematik olarak gösterimi bulunmaktadır. Burada bulunan dielektrik malzemeden yapılmış filmler doğrudan ısıtılmaktadır, bu yüzden alt ve üst olmak üzere iki kalıp yardımıyla basınç uygulanan filmler yüksek frekans kaynağı kullanılarak kaynak yapılır.

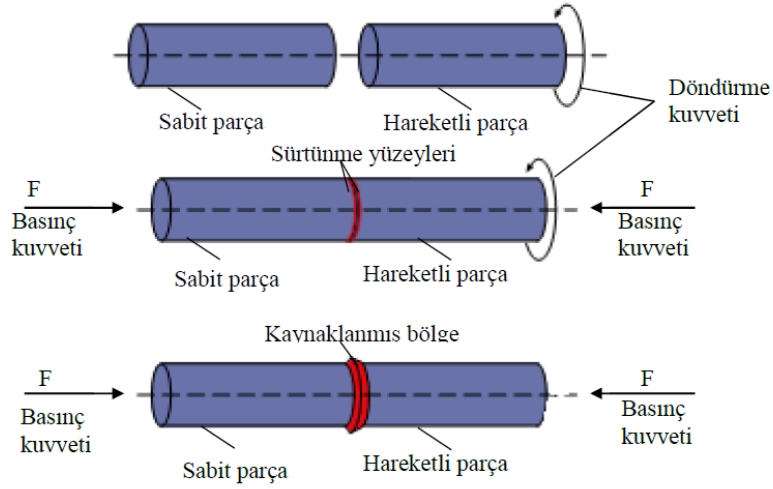


Şekil 2.9 : Dielektrik kaynağı şematik gösterimi [21]

2.2.10 Sürtünme kaynağı

Sürtünme kaynağı enine kesiti dairesellik gösteren termoplastik parçaların birleştirilmesinde kullanılır. Kaynak işleminde, parçanın biri sabit tutulurken diğeri döndürülür. Parçalar birbirine temas ettirilir ve temas halinde iki parçanın arayüzünde oluşturulan sürtünme ısı ile kaynak gerçekleştirilir. Sürtünme sonucu ortaya çıkan ısı

nedeniyle erimiş bir film oluştuğunda, döndürme hareketi durdurulur ve kaynağın basınç altında katılaşmasına izin verilir [1].



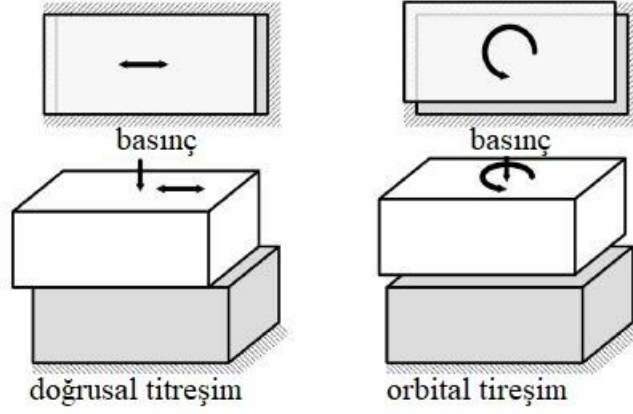
Şekil 2.10 : Sürtünme kaynağı [1].

2.2.11 Titreşim kaynağı

Titreşim kaynağı, çok çeşitli termoplastik parçaların birleştirilmesi için kullanılan gelişmiş bir sürtünme kaynağı tekniğidir. Bu yöntem plastik bileşenlerin tasarımında daha fazla esneklik sunar; 550 mm (21,5 inç) uzunluğa ve 400 mm (16 inç) uzunluğa sahip geniş ve düzensiz şekilli parçaların başka bir yolla ekonomik olarak birleştirilemeyen büyük parçaların montajını kolaylaştırır.

İşlem prensibi basittir. İki parça birbirine kenetlenir. Bir kısmı sabit tutulurken, ikinci kısmı ona karşı titreştirilir. Ortak arabirim boyunca sürtünme, iki parçayı bir araya getiren ısı üretir.

Sürtünme ısısı, bir saniyede 120 veya 240 döngü frekansında (cps) 0,5 ila 4 mm'lik (0.02 ila 0.16 inç) ileri geri hareket eden bir yer değiştirmeye titreştiğinde üretilir. Eklem arayüzünde erimiş bir duruma ulaşıldığında, titreşim durur ve parçalar otomatik olarak hizalanır. Sıkıştırma basıncı kısaca korunurken, erimiş polimerler baz malzemenin veya matrisin kuvvetine yaklaşan bir bağ oluşturmak üzere katılaşır[16].



Şekil 2.11 : Titreşim kaynağı çeşitleri [16].

Şekil 2.11’de doğrusal titreşim kaynağında (solda) üst kısım bir çizgide ileri ve geri hareket ederken, orbital titreşim kaynağında (sağda) hareketli parçadaki her nokta, sabit parça üzerinde sabit bir nokta etrafında küçük bir yörünge oluşturur.

2.2.12 Ultrasonik kaynak

En yaygın kullanılan kaynak yöntemi olan ultrasonik kaynak, düşük genlikli (1 - 25 μm) mekanik titreşimler üretmek için yüksek frekanslarda (20 - 40 kHz) insan işitme aralığının ötesinde ultrasonik enerji kullanır. Titreşimler, kaynak yapılan parçaların bağlantı ara yüzeyinde ısı oluşturur, bu da termoplastik malzemelerin erimesine ve soğuma sonrası kaynak oluşumuna neden olur. Ultrasonik kaynak, bilinen en hızlı kaynak tekniği olup, kaynak zamanı bir saniyeden kısadır. Ultrasonik dalgalar ilk önce II. Dünya Savaşı'ndan sonra hata tespit ekipmanı, temizlik ve yağdan arındırma; sert termoplastiklerin ultrasonik kaynağı 1963 yılında geliştirilmiştir. Ultrasonik kaynak hem yumuşak hem de sert termoplastiklerde ve termoplastik kompozitlerde kullanılır. Kaynak işlemine ek olarak, ultrasonik enerji yaygın olarak metal parçaları plastik parçalara yerleştirme veya termoplastik parçaları yeniden şekillendirme gibi bileşenlerin mekanik olarak tutturulması gibi işlemler için kullanılır [22].

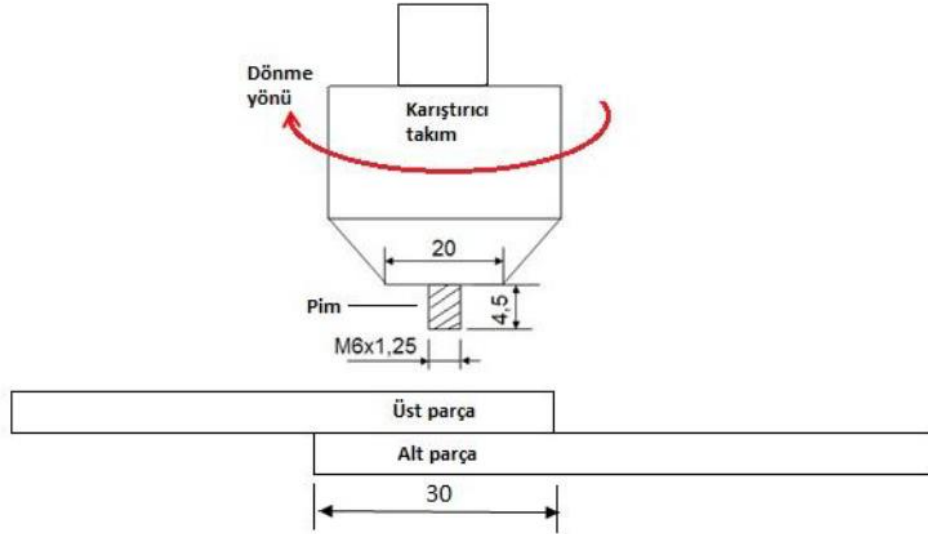
2.2.13 Rezistans kaynağı

İmplant veya elektro-füzyon kaynağı olarak da adlandırılan rezistans kaynağı birleşme ara yüzüne yerleştirilen implanta veya iletken bir ısıtma elemanına akım verilerek ısıtılır ve çevresindeki plastik erir ve bir kaynak oluşturur[1]. Termoplastikler, başlangıçta sürekli karbon fiberlerle güçlendirilmiş yüksek performanslı termoplastikler için geliştirilen bu yöntemle kaynaklanabilir. Bazı kompozitler,

termosetler ve metaller, termoplastik bir yüzey katmanı kullanılarak dirençle kaynaklanmıştır [16]. Termoplastiklerin bu kaynak yöntemiyle elde edilen birleştirme mukavemeti yapıştırma işlemi ile elde edilenlerden daha yüksek olabilir [7]. Tez konusu bu kaynak yönteminden oluştuğu için ilerideki bölümlerde detaylı olarak anlatılacaktır.

2.2.14 Sürtünme karıştırma kaynağı

Sürtünme karıştırma kaynağı yönteminin uygulanması oldukça basittir. Şekil 2.11’de görüldüğü gibi birleştirilmek üzere sabitlenmiş plaka, boru vb. malzemelerin kaynak bölgesine sabit devirde silindirik omza sahip bir takım daldırılır ve kaynak yapılacak hat boyunca sabit ilerleme hızı ile hareket ettirilir. Kaynak bileşenlerinin (kaynak takımı ve malzeme) sürtünmesiyle kaynağının gerçekleştirilmesi için gerekli olan ısı meydana gelir ve oluşan bu ısı malzemeyi yumuşatır. Kaynak takımının omzu, pim tarafından yumuşatılarak geriye atılan malzemelere baskı uygulayıp kontrol ederek malzemelerin kaynaklanmasında rol oynar [1].



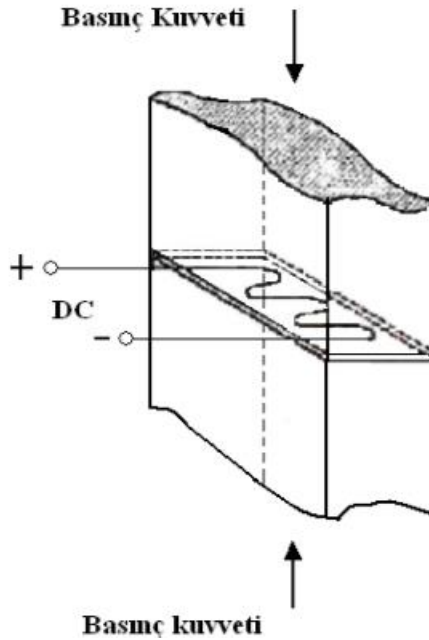
Şekil 2.12 : Sürtünme karıştırma kaynağı [23].



3. REZİSTANS KAYNAĞI VE UYGULAMA ALANLARI

3.1 Rezistans Kaynağı Nedir?

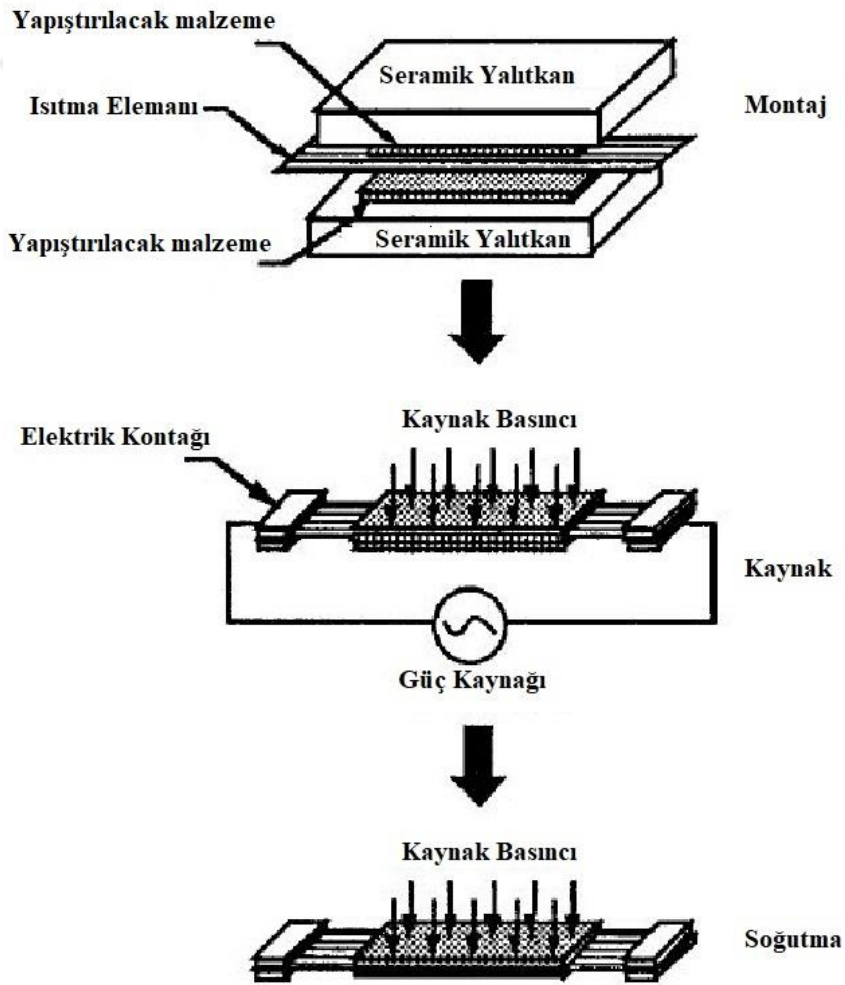
Rezistans kaynağı polimer teknolojisinden önce genellikle metaller için uygulanan bir birleştirme yöntemidir. İmplant veya füzyon kaynağı olarak adlandırılır (Karagöz, 2014). Polimerler için uygulanan rezistans kaynağı da metallere uygulanan rezistans kaynağı gibi birleştirilecek olan parçaların iç yüzeylerinde, bir implant (ısıtma elemanı) yardımıyla belirli bir süre boyunca ve kontrollü basınç altında elektrik akımı geçirilerek ısının üretildiği termo-elektriksel bir işlemdir (Tumuluru, 2015). Elektrik akımı implantı ısıtır ve kaynak bölgesinin ısınarak malzelerin erimesi sağlanır ve kaynak işlemi gerçekleştirilir. Şekil 3.1.de de görüldüğü gibi kaynak işlemi gerçekleştirildikten sonra ısıtıcı eleman kaynak bölgesinde kalmaktadır. Böylelikle kaynak mukavemeti etkilenmektedir. Kullanılan telin zamanla oksitlenip, korozyona uğrayıp kaynak mukavemetini düşürmemesi amacıyla genellikle Cr-Ni teller kullanılır [24].



Şekil 3.1 : Rezistans kaynağı [24]

3.2 Rezistans Kaynağı Çalışma Prensibi ve Aşamaları

Rezistans kaynağı şekil 3.2’de görüldüğü üzere montaj, kaynak, soğutma olmak üzere üç aşamada yapılmaktadır [16]. Montaj aşamasında yapıştırılacak termoplastik malzemeler arasında ısıtıcı eleman sandviç şeklinde monte edilir. Montajın en dıştaki kısımlarına yalıtkan malzeme yerleştirilerek montaj tamamlanır. Kaynak aşamasına başlamak için elektrik kontakları bir güç kaynağına bağlanır ve yalıtkana basınç uygulanır. Isı, ısıtma elemanı ile termoplastik malzemeye aktarılır ve termoplastik erir ve akar. Soğutma aşamasında elektrik akımı kapatılırken basınç muhafaza edilir, böylece erimiş plastiğin soğuması sağlanarak kaynak işlemi gerçekleştirilir [7].

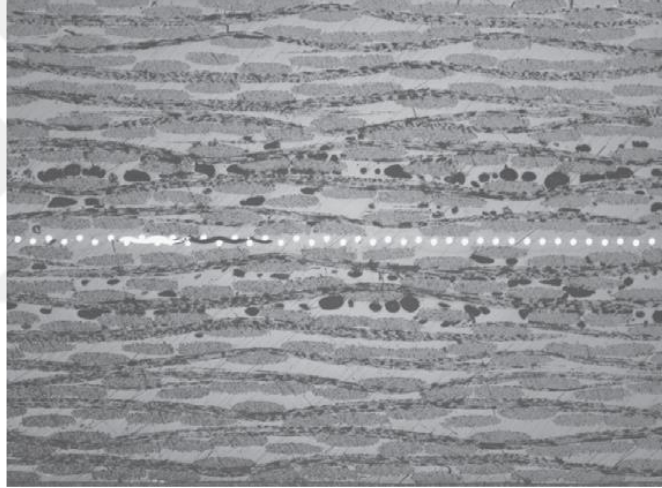


Şekil 3.2 : Rezistans kaynağı aşamaları.

3.3 Isıtıcı Eleman (İmplant)

Isıtma elemanı, rezistans kaynağı işleminde kilit rol oynar [6]. Rezistans kaynağında kullanılan ısıtıcı elemanlar, elektrik akımını geçirebilen ve elektrik akımına dirençli malzemeler olmalıdır [16]. Bu nedenle rezistans kaynağında karbon fiber ve grafit dokuma kumaşlar, örülmüş çelik ağlar ve Cr-Ni teller kullanılmaktadır [7], [24].

Rezistans kaynağı için önceden konsolide laminatlar ve emprenye edilmiş ısıtma elemanları kullanılmasına rağmen, temas yüzeylerinde, yüzeylerdeki mikro boşluklardan kaynaklanan bazı boşlukların mevcut olması beklenebilir [8]. Şekil 3.2’de örülmüş paslanmaz çelik ısıtma elemanı kullanılarak rezistans kaynağı yapılmış daha sonra taramalı elektron mikroskobu görüntülerine bakılmış ve bu görüntüde anlaşıldığı gibi ısıtma elemanından kaynaklı çok az da olsa boşluklar görülmektedir.



Şekil 3.3 : Örülmüş paslanmaz çelik ısıtma elemanı [8].

Bilindiği gibi ısıtma elemanı kaynak işleminden sonra birleştirme yerlerinde sıkışmış halde kalır. Genel olarak, elektriksel olarak iletken herhangi bir malzeme, ısıtma elemanı olarak kullanılabilir. Stavrov ve ark. karbon fiberden örülmüş ağ şeklinde ısıtma elemanları kullanarak rezistans kaynağı uygulaması yapmışlar ve içeride kalan malzemenin de polimer malzeme olmasını sağlamışlardır.

3.4 Uygulama alanları

Kompozit malzemeler, özellikle karbon takviyeli polimer, uçak ve otomobil yapılarındaki uygulamalar için ağırlık azaltma potansiyelleri, tipik olarak alüminyum yapılardan %20 daha hafif olmaları nedeniyle giderek daha fazla kullanılmaktadır. Yaygın olarak kullanılan termoset kompozitlere kıyasla, termoplastik kompozitler aynı ağırlık azaltma özelliklerine sahiptir, ancak kendi doğal özelliklerinden dolayı daha fazla avantaj gösterirler. Polimerize edilmiş termoplastikte çapraz bağlama olmadan, termoplastik polimer kolayca tekrar eritilebilir ve yeniden şekillendirilebilir, bu da pres şekillendirme ve kaynaklama gibi düşük maliyetli üretim teknolojilerini kullanarak termoplastik kompozit yapıların üretilmesini ve birleştirilmesini mümkün kılar [25]. Bu nedenle rezistans kaynağı genellikle otomotiv sektöründe kamyon tamponları ve panelleri gibi karmaşık ek yerlerinde, plastik boruların kaynağında, konteynerlerde ve uçak kanatlarında uygulanmaktadır [7], [24], [26].

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Deneysel çalışmalar polipropilen (PP) ve yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE) malzemeler kullanılarak farklı kaynak parametreleriyle rezistans kaynağı yöntemiyle birleştirilmesi şeklinde gerçekleştirilmiştir. Deneylerde ilk olarak günümüzde sıklıkla kullanılan polimer malzemelerden PP ve YYPE malzeme seçilmiş, kaynaklarda kullanılacak malzemeler test standartlarına göre enjeksiyon makinesinde kaynağa hazır hale getirilmiştir. İkinci olarak hazırlanan malzemenin kaynak uygulamaları gerçekleştirilmek üzere parçalara uygun, parçaların kolaylıkla kaynak yapılabilmesi için kaynak aparatları tasarlanmıştır. Üçüncü aşamada; literatür taramaları dikkate alınarak kaynak makinesi ve farklı geometrilerde ısıtıcı elaman tasarımları yapılmış ve kaynakta kullanılmak üzere hazır hale getirilmiştir. Dördüncü aşamada kaynak parametreleri belirlenmiş ve parametrelerin optimizasyonu sağlanmaya çalışılmıştır. Optimizasyonu sağlanan farklı kaynak parametreleri ile deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Farklı mekanik ve termal deneylerle kaynak performansı test edilmiş ve kaynak arayüzündeki delaminasyonu ve mikroboşlukları gözlemlemek için mikroyapısal çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

4.1 Kullanılan Malzemeler

4.1.1 Polimer Malzemeler

Deneylerde kullanılmak üzere, endüstride kullanım oranlarına bakıldığında en çok kullanılan polimerlerden PP ve YYPE seçilmiştir.

4.1.1.1 Polipropilen

Repsol firmasına ait Isplen PP 070 G2M ticari kodlu polipropilen kullanılmıştır. Isplen PP 070 G2M, enjeksiyonla kalıplama amaçlı orta-yüksek akışkanlığa sahip bir polipropilen homopolimeridir. Kalıbı daha kolay doldurmayı sağlayan iyi akış özellikleri ile karakterize edilmiş bir polimerdir. Isplen PP 070 G2M, et kalınlığına, parçanın şekline ve diğer tasarım parametrelerine bağlı olarak standart enjeksiyon makineleri ile işlenmesi kolaydır. Bu sınıfta üretilen ürünler mükemmel kimyasal

dirence sahiptir, kolayca dekore edilir ve farklı renklendirme sistemleriyle renklendirilir. Isplen PP 070 G2M, genel olarak yiyecek kapları ve sert ambalajlar, vakumlu kozmetik şişeleri, oyuncaklar,küçük ev aletleri ve şişe kapaklarında kullanılır. Bu polipropilenin karakteristik özellikleri aşağıdaki çizelgede detaylı bir şekilde gösterilmiştir.

Çizelge 4.1 : Polipropilenin karakteristik özellikleri

ÖZELLİK	Standart	Birim	Değerler
Reolojik Özellikleri			
Eriyik akış indeksi 230°C/2.16 kg	ISO 1133	g/10 min	12
Mekanik Özellikleri			
Kopmada çekme gerilimi	ISO 527	%	50
Eğilme Modülü	ISO 178	Mpa	1550
Izod darbe dayanımı (çentikli) 23°C de	ISO 180	kJ/m ²	4
Termal Özellikleri			
Isı ile (sabit yük altında) deformasyon sıcaklığı (HDT)	ISO 75/B	°C	85
Diğer Fiziksel Özellikler			
Yoğunluk	ISO 1183	g/cm ³	0.905
Sertlik (Shore D)	ISO 868	-	68

4.1.1.2 Yüksek yoğunluklu polietilen

Petkim firmasına ait Petilen YY F00556 ticari kodlu yüksek yoğunluklu polietilen kullanılmıştır. Petilen YY F00556 ekstrüzyonla film imalatı için üretilmiş, yüksek yoğunluğa ve geniş moleküler ağırlık dağılımına sahip, bimodal yapıda bir üründür. Ürünün sahip olduğu yüksek mukavemet film üreticilerinin geniş ve çok ince film çekebilmesine olanak sağlamaktadır. Film ekstrüzyonu: hışırtılı film, market torbası imalatı alanlarında kullanılmaktadır. Bu polietilenin karakteristik özellikleri aşağıdaki çizelgede gösterilmektedir.

Çizelge 4.2 : Yüksek yoğunluklu polietilenin karakteristik özellikleri

ÖZELLİK	Test Metodu	Birim	Değerler
Reçine Özellikleri			
Eriyik akış indeksi 190°C/2.16 kg	ASTM D1238	g/10 min	0.05
Yoğunluk, 23°C	ASTM D1505	g/cm ³	0.953
Ergime Noktası (DSC)	ASTM D3418	°C	131
Mekanik Özellikleri			

Akmada Gerilme Dayanımı	ASTM D638	MPa	24
Kopmada Gerilme Dayanımı	ASTM D638	MPa	36
Kopmada Uzama	ASTM D638	%	850
Bükülme Modülüsü, 23°C	ISO 178	Mpa	1000
Izod Darbe Dayanımı, (çentikli) 23°C	ASTM D256	J/m	340
Sertlik (Shore D)	ASTM D2240	-	64
Çevresel Baskıyla Kırılma Dayanımı (%10 Igepal, F50)	ASTM D1693	saat	>600
Termal Özellikleri			
Vicat Yumuşama Noktası, 10N	ASTM D1525	°C	124

4.2 Test Numunelerinin Hazırlanması

4.2.1 Enjeksiyon prosesi ile test numunelerinin hazırlanması

Yalova Üniversitesi Polimer İşleme Laboratuvarında (PİL) bulunan şekil 4.1’de verilen 800 kN kapama basıncına sahip ENGEL marka Victory80 plastik enjeksiyon makinesiyle ASTM D 638 standardına uygun ölçülerde polipropilen ve polietilenden basılmış çekme test numuneleri hazırlanmıştır. Test numunelerinin hazırlanmasında enjeksiyon proses parametreleri çizelge 4.3’te verilmiştir.



Şekil 4.1 : Enjeksiyon makinesi

Çizelge 4.3 : Enjeksiyon proses parametreleri

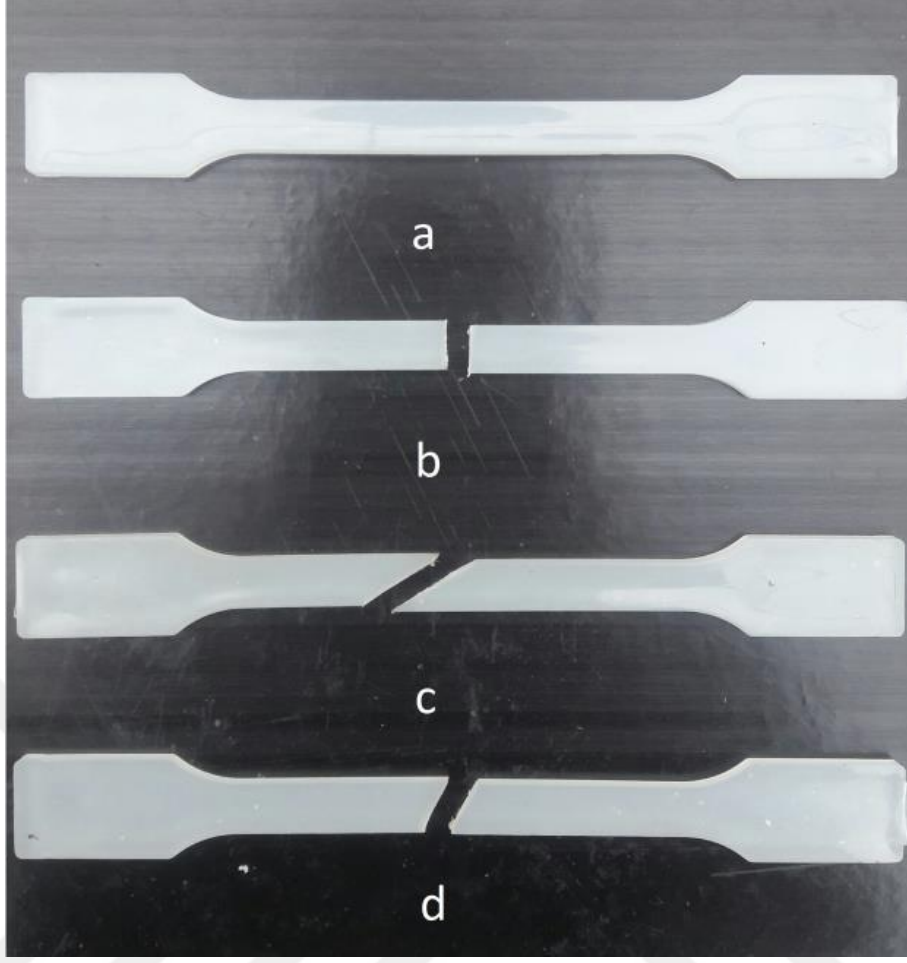
Malzeme	PP				YYPE			
	Meme Isısı	Ön Isı	Orta Isı	Arka Isı	Meme Isısı	Ön Isı	Orta Isı	Arka Isı
Enjeksiyon sıcaklıkları (°C)	200	190	175	165	190	180	175	170
Enjeksiyon hızı (mm/s)	50				13			
Enjeksiyon basıncı (bar)	100				105			
Ütüleme Basıncı (kN)	40				80			
Ütüleme zamanı (s)	3				10			
Soğutma Süresi (s)	10				9			
Kalıp Sıcaklığı (°C)	15				15			

4.2.2 Numunelerin daire testere ile kesilmesi

Enjeksiyon yöntemiyle imal edilen çekme test numuneleri uzunlamasına tam orta noktasından farklı açılarda (90°, 30°, 45°) olacak şekilde (şekil 4.3) dairesel testere yardımıyla kesilmiştir. Daire testere şekil 4.2’de gösterilmiştir.



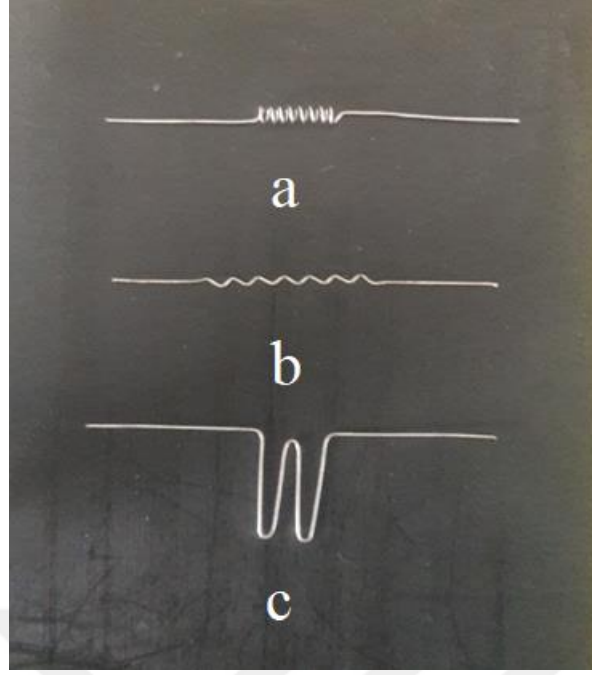
Şekil 4.2 : Daire Testere



Şekil 4.3 : a)Çekme testi numunesi b) 90° kesilmiş numune c) 30° kesilmiş numune d) 45° kesilmiş numune

4.2.3 Isıtıcı eleman

Bu çalışmada ısıtıcı eleman olarak oksitlenmeyen, kolay şekillendirilebilen ve kullanılan polimerlere uygun çeşitli kalınlıklarda krom-nikel (Cr-Ni) alaşımli teller kullanılmıştır. Tel kalınlıkları 0.3mm, 0.4mm ve 0.5mm olarak belirlenmiştir. Teller spiral, zikzak ve çapraz olacak şekilde belirli aparatlarla şekillendirilmiştir. Teller şekil 4.4’de gösterilmektedir.



Şekil 4.4 : Teller a)spiral b)zıkzak ve c)çapraz

Spiral şeklini vermek için şekil 4.5'teki aparat kullanılmıştır. Tel Resimde görülen çiviye sabitlenip 8 tur çevirildi, böylelikle her tel için aynı ölçüler de olması sağlandı ve 8 halkalı spiral teller oluşturuldu.



Şekil 4.5 : Spiral tel aparatı

Zıkzak şeklini vermek için şekil 4.6'daki aparat kullanılmıştır. Resimde görülen iki dişli sıkıştırılarak arasından geçirilen teller zıkzak şeklini alır.



Şekil 4.6 : Zikzak tel aparatı

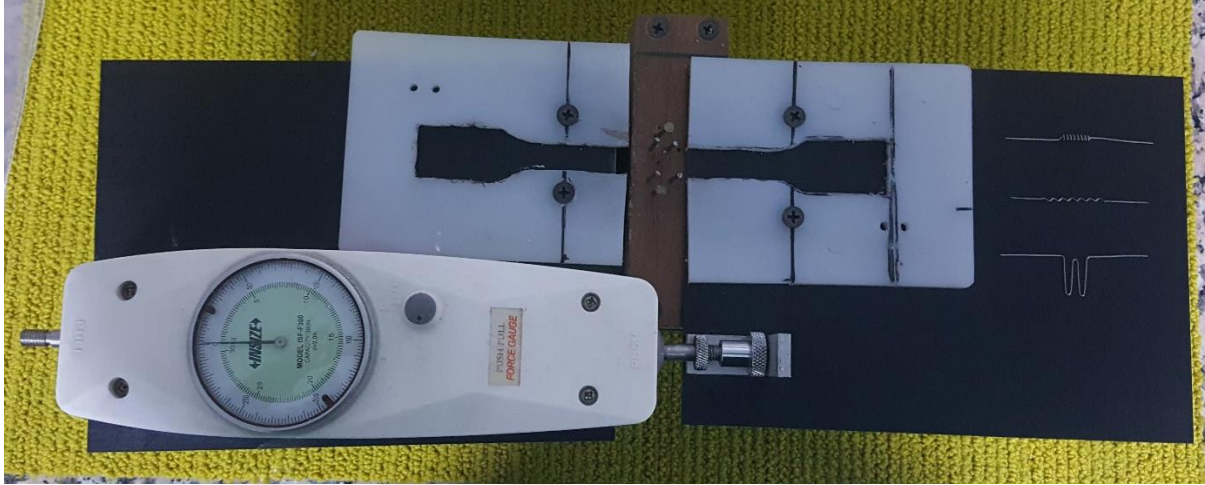
Çapraz şekilde telleri bükme için şekil 4.7’de görülen aparat kullanılmıştır. Tel soldaki itme aparatı yardımıyla, sabitlenmiş iki somunun arasından doğru somunun sonuna gelene kadar ittirilir daha sonra tel bükülen yerinde 180° ters çevrilerek yandaki çiviye hizalanarak tekrar aynı şekilde ittirilir, bu işlem beş defa tekrarlandıktan sonra en uç kısımları 90° ayarlanır ve tel son şeklini alır.



Şekil 4.7 : Çapraz tel aparatı

4.3 Deney Düzenegi

Kaynak yapılabilmesi için 12V 50W güce sahip transformatör, kaynak basıncı ölçmek için ise Insize basınç ölçer kullanılmıştır. Kullanılacak düzenek şekil 4.8’de gösterilmiştir.



Şekil 4.8 : Deney Düzenegi

4.4 Test ve Analiz Çalışmaları

4.4.1 Mekanik testler

Kaynak yapılarak birleştirilen parçalara uygulanacak mekanik testler oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Her parametre ve her test için beş adet numune test edilmiştir. Uygulanan testler şu şekildedir;

4.4.1.1 Çekme testi

ASTM D 638 standardına uygun ölçülerde hazırlanan polipropilen ve polietilen numuneler uç kısımlarından çekme cihazının çenelerine sıkıştırılır. Sıkıştırılan numuneler ISO 527 standardında belirtildiği gibi 50 mm/dak çekme hızında teste tabi tutulmuştur.

Çekme testi ile birlikte çekme mukavemeti, kopma gerilmesi, yüzde kopma uzaması kaydedilmiştir.

Çekme testi polimer malzemelerde mekanik mukavemeti belirlemek için uygulanan testtir. Bu test sonucunda malzemelerin kırılma ve esneklikleri ile ilgili fikir sahibi olunur. Bu çalışmada şekil 4.9’de görülen Zwick marka Z020 model çekme test cihazı kullanılarak testler gerçekleştirildi.



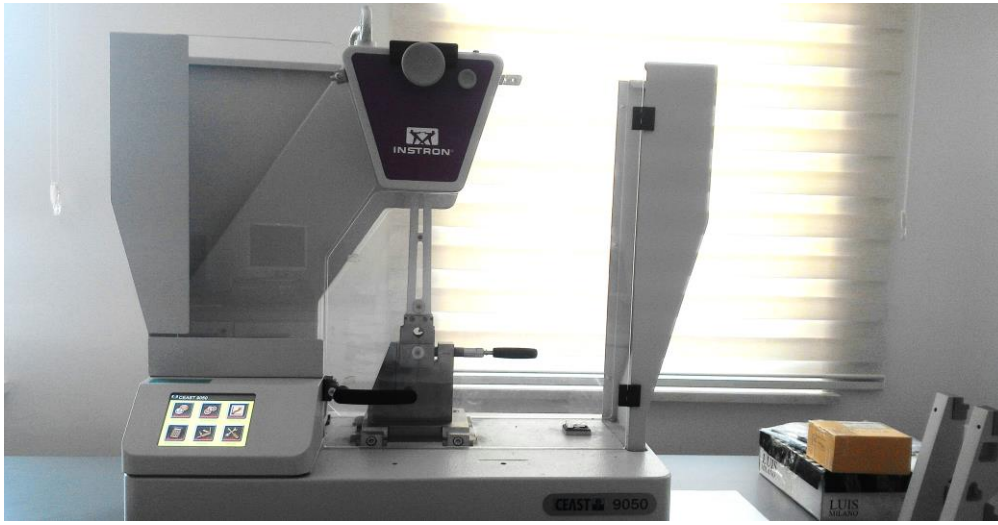
Şekil 4.9 : Çekme Test Cihazı

4.4.1.2 Üç nokta eğme testi

Eğme testi malzemelerin özellikle de polimerlerin şekil değiştirme kabiliyeti hakkında fikir veren deneylerdir. Eğme testi sonucu malzemeye ait şekil değişimi kabiliyeti hakkında sağlanan bilginin yanı sıra eğme dayanımı ve elastisite modülü gibi kantitatif değerler tespit edilerek kaydedilmiştir. ISO 178 standardına göre hazırlanan numuneler %3.5 esnemeye kadar test edilmiştir. Malzemelerin kırıldığı andaki gerilim değeri en yüksek eğilme dayanımı olarak kaydedilir. Malzemenin kırılmaması halinde standartta belirtildiği gibi %3,5 esneme anındaki gerilim değeri eğilme dayanımı olarak kabul edilir. Bu çalışmada şekil 4.9’deki çekme test cihazının çekme çenelerinin yerine eğme aparatları takılarak test gerçekleştirildi.

4.4.1.3 Darbe testi

Darbe testi sonucu malzemenin dinamik zorlama altında kırılması için gereken enerji belirlenir. Bulunan değer malzemenin darbe mukavemeti olarak tanımlanır. Bu çalışmada izod darbe testi tercih edilmiştir. ISO 180 standardına göre uygun ölçülerde malzemeler hazırlanarak kavrama çenesine tutturulan numunenin yüzeyine, belirli yükseklikteki bir sarkacın ucundaki çekiçle darbe yapılarak malzemede meydana gelen çok eksenli gerilimler ile malzemenin kırılması sağlanmıştır. Malzemenin kırılması için gereken enerji tespit edilerek kaydedilmiştir. Şekil 4.10'daki INSTRON marka Ceast 9050 sarkaç darbe test cihazı kullanılarak testler gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.10 : Darbe Test Cihazı

4.4.2 Görüntüleme Yöntemleri

4.4.2.1 Optik mikroskop

Kaynaklı birleştirmelerin kaynak yerlerindeki ısı dağılımını, ısıtıcı elemanla yaptığı fiziksel bağlanmayı, kaynak izlerini daha detaylı görmek amacıyla optik mikroskop kullanılarak parçalar 400 kat büyütülerek görüntülenmiştir.



Şekil 4.11 : Optik mikroskop

4.4.2.2 Termal kamera

Özellikle kaynak esnasında kaynaklanan yüzeylerin ısınma şekli ve hızını ayrıca daha da önemli bir parametre olan akım geçirme süreleri termal kamera yardımıyla tespit edildi.

Termal kamera, görüntüleme yöntemi olarak gözle görülmeyen IR enerjiyi (ısıyı) esas alan ve görüntünün genel yapısında IR enerjiye göre oluşmuş renkler ve şekillerin belirlendiği bir görüntüleme sistemidir. Gözümüzün göremediği kızılötesi aralıkta termal enerji yayılır. Bu aralık kırmızı ışık ve mikrodalga ışınları arasındadır. Termal kameralar çıplak gözle görülmeyen bu ışık dalga boylarını algılar ve ciddi sonuçlar doğurabilecek problemleri net olarak görebilmeyi sağlar.



5. DENEYSEL SONUÇLAR

Farklı tel çapları, tel şekilleri, kaynak açıları ve malzeme türlerinde kaynaklı birleştirmeler başarı ile gerçekleştirilmiştir. Kaynak parametreleri test sonuçlarından elde edilen veriler doğrultusunda optimize edilmiş ve en iyi kaynak parametreleri belirlenmiştir. Optimize edilmiş parametrelerle yapılan birleştirme işlemlerinden daha yüksek kaynak mukavemet değerlerinin elde edildiği yapılan çekme testi, eğme testi, darbe testi sonuçlarından görülmüştür. Test sonuçları, mekanik testler, termal testler ve mikroyapı incelemeleri adı altında aşağıda verilmiştir. Yapılan testlerde numunelerin daha iyi anlaşılabilmesi için kodlar verilmiş olup kodlarla bilgi çizelge 5.1’de verilmiştir.

Çizelge 5.1 : Test sonuçlarında kullanılan numune kodları ve açıklamaları

NUMUNE KODU	AÇIKLAMA
SAF PP	Kaynak yapılmamış saf malzeme
C9005	90° açıyla kesilmiş 0.5mm çapraz tel ile kaynaklanmış numune
C3005	30° açıyla kesilmiş 0.5mm çapraz tel ile kaynaklanmış numune
C4505	45° açıyla kesilmiş 0.5mm çapraz tel ile kaynaklanmış numune
C9003	90° açıyla kesilmiş 0.3mm çapraz tel ile kaynaklanmış numune
C3003	30° açıyla kesilmiş 0.3mm çapraz tel ile kaynaklanmış numune
C4503	45° açıyla kesilmiş 0.3mm çapraz tel ile kaynaklanmış numune
S9005	90° açıyla kesilmiş 0.5mm spiral tel ile kaynaklanmış numune
S3005	30° açıyla kesilmiş 0.5mm spiral tel ile kaynaklanmış numune
S4505	45° açıyla kesilmiş 0.5mm spiral tel ile kaynaklanmış numune
S9003	90° açıyla kesilmiş 0.3mm spiral tel ile kaynaklanmış numune
S3003	30° açıyla kesilmiş 0.3mm spiral tel ile kaynaklanmış numune
S4503	45° açıyla kesilmiş 0.3mm spiral tel ile kaynaklanmış numune
Z9005	90° açıyla kesilmiş 0.5mm zikzak tel ile kaynaklanmış numune
Z3005	30° açıyla kesilmiş 0.5mm zikzak tel ile kaynaklanmış numune
Z4505	45° açıyla kesilmiş 0.5mm zikzak tel ile kaynaklanmış numune
Z9003	90° açıyla kesilmiş 0.3mm zikzak tel ile kaynaklanmış numune
Z3003	30° açıyla kesilmiş 0.5mm zikzak tel ile kaynaklanmış numune
Z4503	45° açıyla kesilmiş 0.5mm zikzak tel ile kaynaklanmış numune

5.1 Mekanik Testlerin Sonuçları

5.1.1 Çekme testi

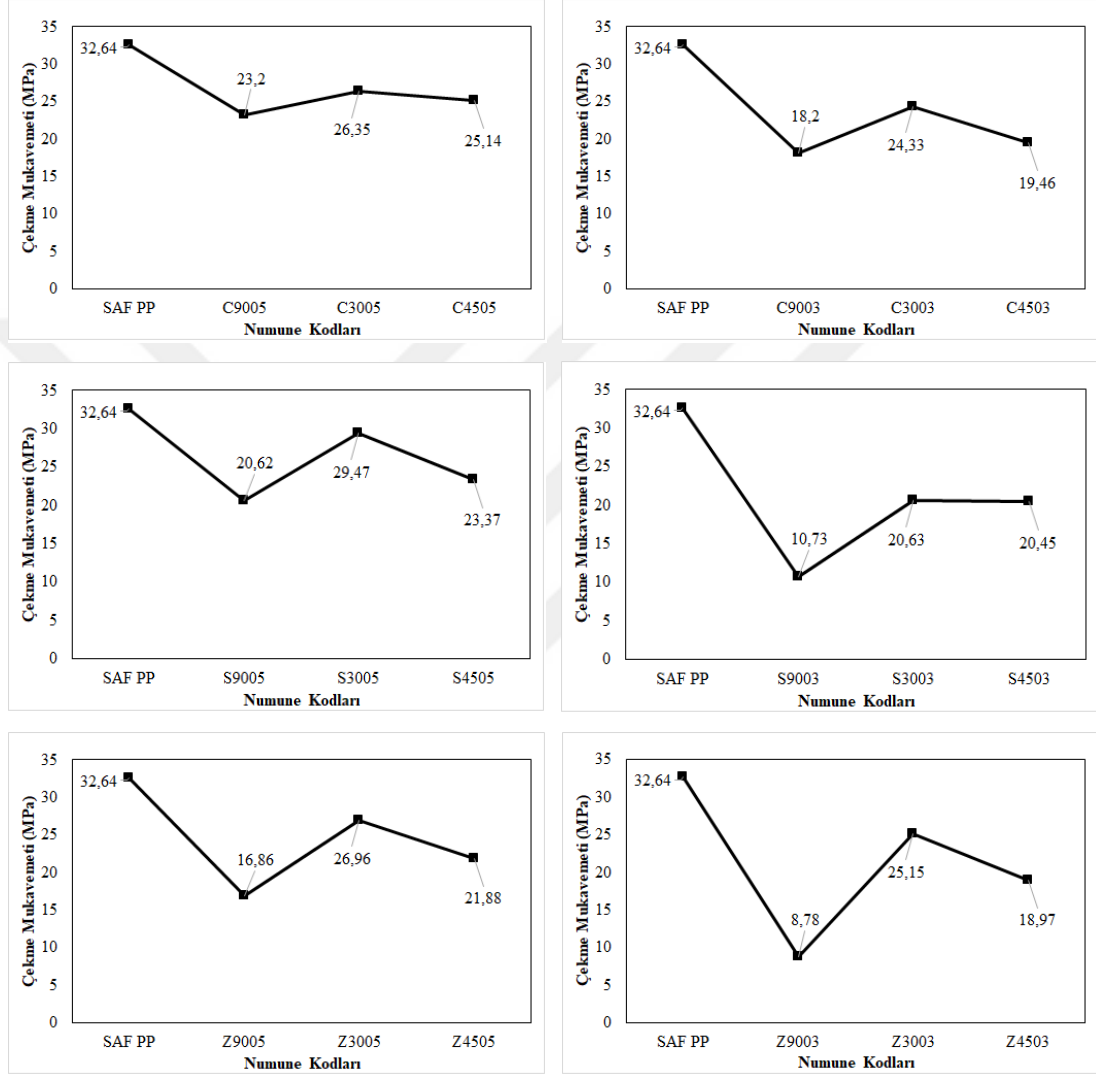
Kaynaklı birleştirmelerin çekme mukavemeti, birim şekil değişimi ve kopmada uzama miktarını gösteren ve ana malzeme ile kaynaklı birleştirme mukavemetini kıyasladığımız sonuçlar Çizelge 5.1’de topluca verilmiştir.

Çizelge 5.2 incelendiğinde en iyi birleştirme açısının 30° olduğu, birleştirmede kullanılan kaynak telinin çapı arttıkça kaynak mukavemet değerinin yükseldiği, tel şekline bakıldığında ise spiral şeklindeki birleştirme telinin daha iyi sonuç verdiği görülmektedir. 30° birleştirme açısıyla yapılmış kaynaklı birleştirmelerden en yüksek kaynak performansının elde edilmesinin artan yüzey alanıyla ilgili olduğu düşünülmektedir. Hagglund ve ark. [27] yaptıkları çalışmada da benzer sonuçlara raslanmıştır.

Çizelge 5.2 : PP kaynaklı, 90°, 30°, 45° açılarla 0.3mm ve 0.5mm tel ile kaynaklı birleştirmelerin çekme testi sonuçları.

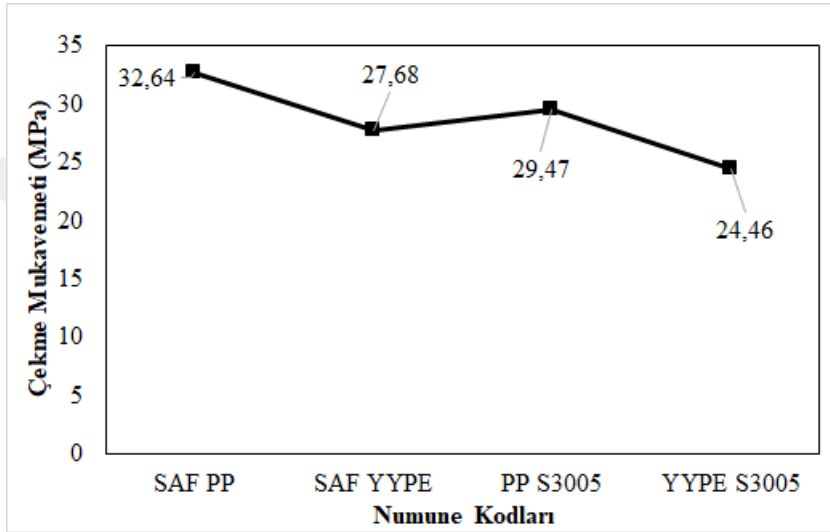
NUMUNE KODU	σ_M MPa	ϵ_M %	σ_B MPa	ϵ_B %	%PERFORMANS
SAF PP	32,64	11,28	11,84	127,33	100
C9005	23,20	3,93	23,15	3,94	71,08
C3005	26,35	5,37	26,32	5,41	80,74
C4505	25,14	5,00	24,61	5,02	77,02
C9003	18,20	2,96	18,06	2,96	55,75
C3003	24,33	5,04	24,06	5,07	74,55
C4503	19,46	3,42	19,07	3,44	59,62
S9005	20,62	3,44	20,33	3,46	63,18
S3005	29,47	7,94	29,03	8,46	90,28
S4505	23,37	4,53	23,12	4,57	71,59
S9003	10,73	1,94	9,89	2,19	32,88
S3003	20,63	3,36	18,28	3,46	63,19
S4503	20,45	3,92	21,14	3,96	62,67
Z9005	16,86	2,77	16,68	2,78	51,66
Z3005	26,96	5,79	26,31	5,90	82,61
Z4505	21,88	3,90	21,62	3,98	67,03
Z9003	8,78	1,51	8,64	1,51	26,91
Z3003	25,15	4,54	24,54	4,57	77,06
Z4503	18,97	3,13	18,69	3,13	58,13

Şekil 5.1'deki grafiklerde polipropilen malzemelerin 30° açıyla birleştirilen parçaların mukavemetinin diğer parçalara göre daha mukavemetli olduğu daha net görülmektedir. Ayrıca yine grafiklerden de anlaşıldığı gibi 0.5mm tel kullanılarak yapılan birleştirmelerin 0.3mm tel ile yapılan birleştirmelerden daha mukavemetli olduğu görülmektedir.



Şekil 5.1 : PP malzemenin kaynaklı birleştirmelerinin çekme mukavemetlerinin tel şekline göre karşılaştırılması

YYPE malzemelerin kaynaklanmasında PP malzeme uygulanan testler incelenerek en iyi çıkan sonuç ele alındı. Böylelikle spiral 0.5mm tel ile 30° açıyla kaynaklar yapılarak test uygulanmıştır. Bu test sonucu şekil 5.2'deki grafikte PP ve YYPE malzemelerin saf ve kaynaklı birleştirmeleri kıyaslanmıştır. Grafikte anlaşıldığı gibi PP malzemenin YYPE malzemeye göre daha mukavemetli olduğu görülmektedir. Fakat kaynaklanabilirliğine bakılacak olursa iki malzemenin kaynaklı birleştirmeleri saf malzemeye yakın bir çekme mukavemeti değerine sahiptir.



Şekil 5.2 : Polipropilen ve yüksek yoğunluklu polietilen malzemelerin spiral tel ile kaynaklı birleştirmelerinin çekme mukavemetlerinin karşılaştırılması

Çekme testi sonucuna dayanarak 0.3mm tel kalınlığıyla yapılan kaynaklı birleştirmelerin mukavemetinin çok düşük olduğu tespit edildi. Bu nedenle bundan sonraki testler için 0.3mm tel ile birleştirilen numunelere test uygulanmamıştır.

Tablodaki değerler numunelerin taşıdığı maksimum kuvvet açısından bakıldığında aşağıda özetlenen sonuçlara ulaşılmaktadır.

5.1.2 Üç nokta eğme testi

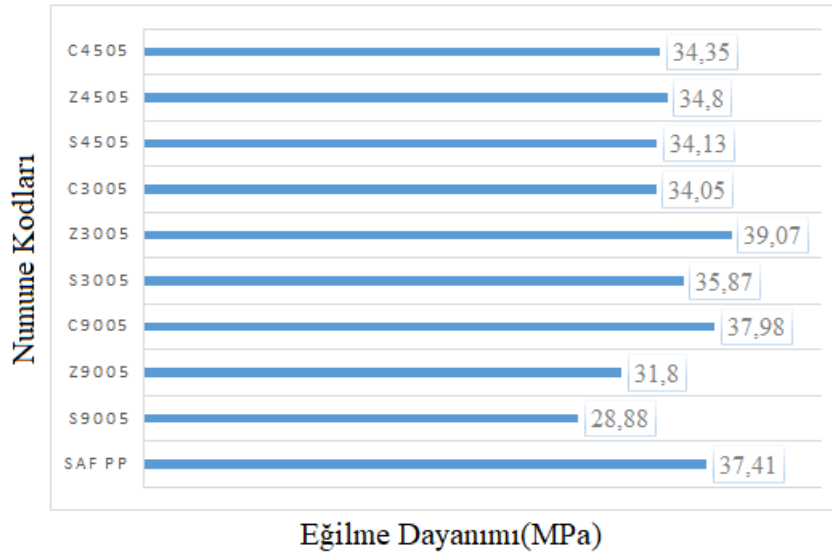
Çekme testi sonuçları dikkate alınarak üç nokta eğme testi için sadece 0.5mm kalınlığında tel kullanılarak tüm şekillerle ve açılarla kaynak yapılmış numunelere test uygulandı. Üç nokta eğme testi sırasında numunelerin tümü %3,5 esnemiş ve kırılmamışlardır. Saf PP malzemenin ve kaynaklı birleştirmelerin elastik modülleri ve eğilme dayanımları çizelge 5.3'de gösterilmiştir. Çizelge incelendiğinde kaynaklı

birleştirmeler saf malzemeye yakın eğilme dayanımı göstermişlerdir. En yüksek eğilme dayanımını 39,7 Mpa eğilme dayanımı ile 0.5mm kalınlığındaki zikzak tel ile 30° açıyla birleştirilen kaynaklı numuneler göstermiştir. En düşük eğilme dayanımını ise spiral tel şekliyle 0° açıyla kaynak yapılan numune göstermiştir.

Çizelge 5.3 : PP kaynaklı, 90°, 30°, 45° açılarla 0.5mm tel ile kaynaklı birleştirmelerin üç nokta eğme testi sonuçları.

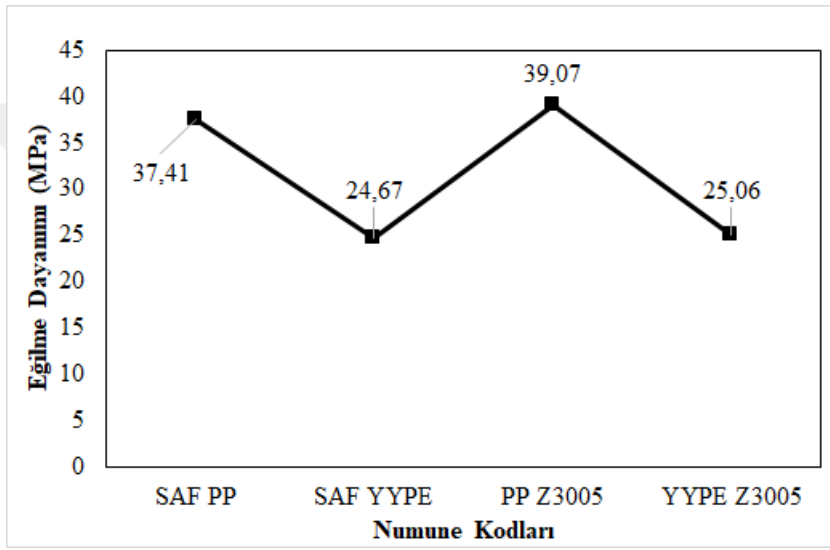
Numune Kodu	E_f Mpa	σ_{fC} Mpa
Saf PP	1460,63	37,41
S9005	1415,16	28,88
Z9005	1483,01	31,80
C9005	1471,95	37,98
S3005	1150,34	35,87
Z3005	1417,15	39,07
C3005	1574,96	34,05
S4505	1379,60	34,13
Z4505	1366,26	34,80
C4505	1353,51	34,35

Şekil 5.3'te eğilme dayanımları daha detaylı bir grafikte gösterilmektedir. Eğilme dayanımları tel şekline göre mukayese edildiğinde yüksekten düşüğe göre sırasıyla zikzak, çapraz ve spiral şeklinde olduğu görülmektedir. Ayrıca birleştirme açısı bakımından mukayese edildiğinde en düşük mukavemetin 90° ve en yüksek mukavemetin ise 30° açıyla yapılan kaynakların gösterdiği görülmektedir.



Şekil 5.3 : Polipropilen malzemelerin kaynaklı birleştirmelerinin eğilme dayanımlarının saf malzeme ile karşılaştırılması

PP malzemeye yapılan eğilme dayanımları incelendiğinde en yüksek mukavemetin zikzak tel ile 30° açıyla yapılan kaynaklı birleştirmelerin olduğu görülmekle birlikte buna istinaden YYPE malzeme ile yapılan kaynaklı birleştirmelerden de sadece bu parametreler ile kaynak yapılmış numunelere test uygulanmıştır. Şekil 5.4'te görüldüğü gibi PP malzemenin eğilme dayanımı daha yüksektir. Kaynaklı birleştirmelerin saf malzemeye göre eğilme dayanımları kıyaslandığında YYPE'nin kaynaklı birleştirmeleri saf YYPE'ye daha yakın olduğu görülmektedir. Bu nedenle YYPE malzemelerin kaynaklı birleştirmelerin PP malzemenin kaynaklı birleştirmelerine göre eğilme dayanımlarının daha iyi olduğu söylenilebilir.



Şekil 5.4 : Polipropilen ve yüksek yoğunluklu polietilen malzemelerin zikzak tel ile 30° açıyla kaynaklı birleştirmelerinin çekme mukavemetlerinin karşılaştırılması

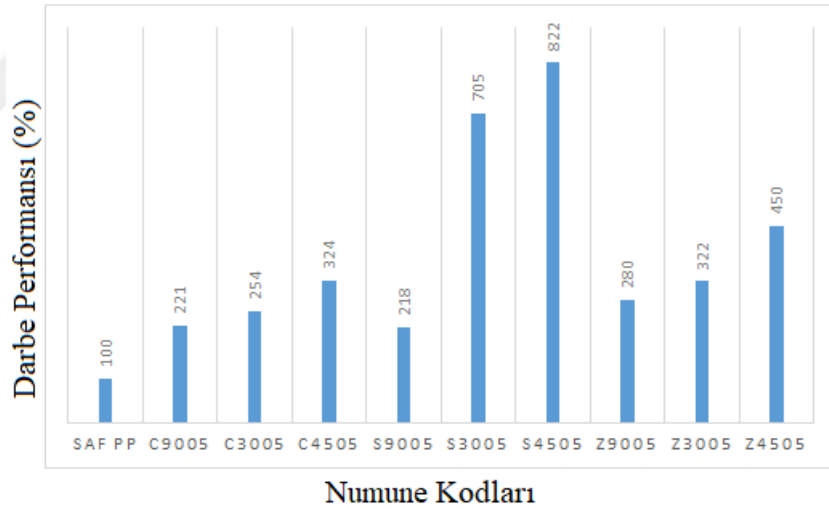
5.1.3 Darbe testi

Tel çapı arttıkça çekme mukavemetinin arttığı ve en iyi çekme test sonuçlarının 0.5 mm çapındaki kaynak telinden elde edildiği bulunmuştur. Bu nedenle darbe testi, tel çapı sabit tutularak üç farklı tel şekli (çapraz, spiral, zikzak) ve üç farklı birleştirme açısıyla (90°, 30°, 45°) gerçekleştirildi. Darbe testine ait elde edilen sonuçlar Çizelge 5.4'de verilmiştir. Çizelge 5.4 incelendiğinde spiral şeklindeki birleştirme telinin diğer şekillerden daha iyi olduğu görülmektedir. Birleştirme açısı bakımından incelendiğinde 45°'lik açıyla birleştirilmiş numunelerin daha iyi sonuç verdiği görülmüştür. Bu durumun eğim açısından kaynaklandığı, eğimle birlikte yüzey sürtünme alanının çatlak ilerlerken değişerek ekstra bir darbe mukavemeti oluşturduğu ve eğim arttıkça darbe mukavemetinde buna paralel olarak arttığı düşünülmektedir.

Çizelge 5.4 : PP kaynaklı, 90°, 30°, 45° açılarla 0.5mm tel ile kaynaklı birleştirmelerin darbe testi sonuçları.

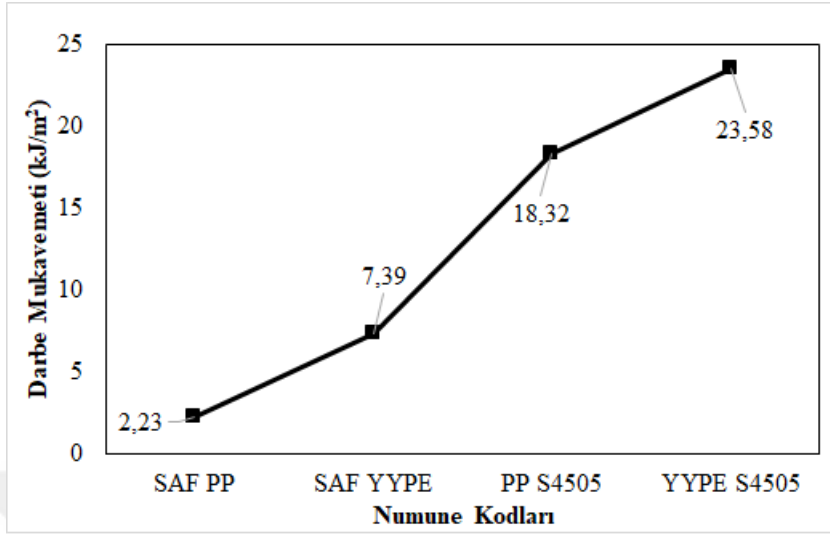
Numune Kodu	Re kJ/m ²	Darbe performansı %
Saf PP	2,23	100
C9005	4,93	221
C3005	5,67	254
C4505	7,23	324
S9005	4,86	218
S3005	15,73	705
S4505	18,32	822
Z9005	6,24	280
Z3005	7,19	322
Z4505	10,03	450

Darbe performansları şekil 5.5'te daha detaylı bir şekilde görülmektedir. Grafikte de görüldüğü gibi darbe performansı spiral teller kullanılarak ve 45° açıyla kaynak yapılmış malzemelerde daha yüksektir. Birleştirme açısı bakımından sıralama yapıldığında yüksek performanstan düşüğe doğru 45°,30°,90° şeklinde ilerlemektedir.



Şekil 5.5 : Polipropilen malzemelerin kaynaklı birleştirmelerinin darbe performanslarının saf malzeme ile karşılaştırılması

PP malzemeye yapılan darbe testi sonuçlarına göre en iyi performans gösteren parametre olan 45° açıyla spiral telle YYPE numuneler hazırlanarak test edildi. Şekil 5.6'da görüldüğü gibi YYPE'in darbe mukavemeti PP malzemeye göre daha yüksek performans göstermiştir.

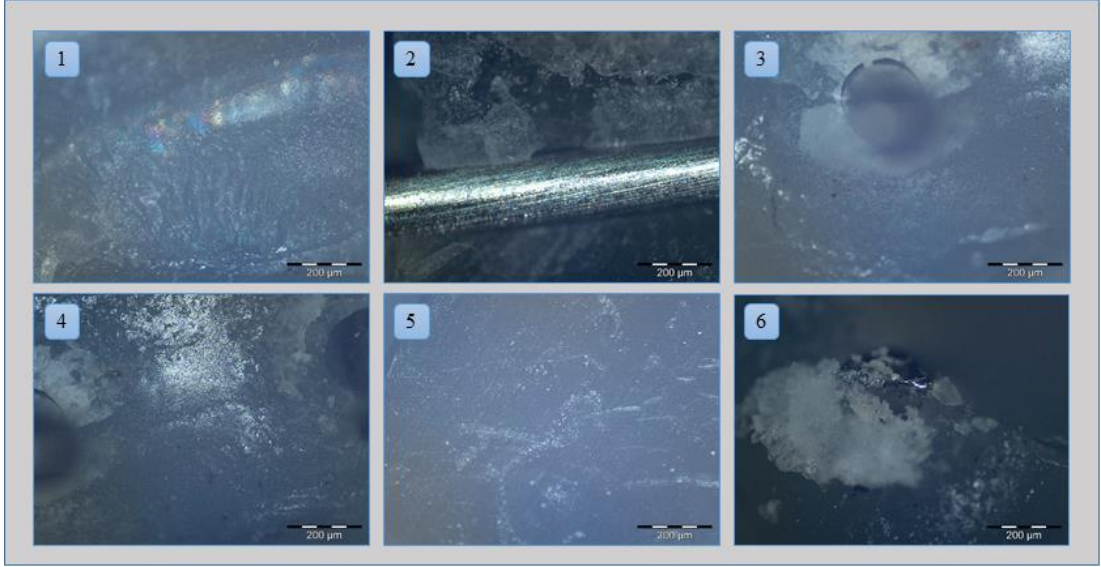


Şekil 5.6 : Polipropilen ve yüksek yoğunluklu polietilen malzemelerin spiral tel ile 45° açıyla kaynaklı birleştirmelerinin darbe mukavemetlerinin karşılaştırılması

5.2 Mikroyapı incelemeleri

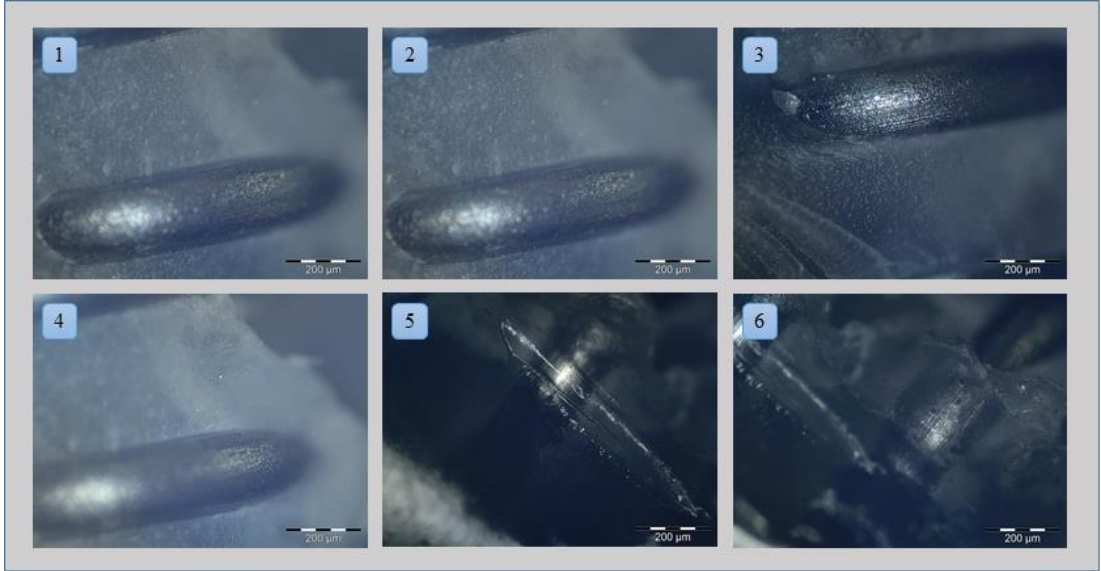
Kaynaklı birleştirmeler darbe testi sonucu kaynak bölgelerinden kırılarak optik mikroskop yardımıyla görüntülenmiştir. Bu görüntüler sonucu kaynak bölgelerindeki eriyik akış yönleri, boşluklar, kaynak izleri, ısıtma elemanı ile polimer malzemenin fiziksel olarak bağlanması, polimer malzemenin kaynak sonrası oluşturduğu oksitlenme incelenmiştir. Aşağıdaki görüntülerde 90° açıyla 0.5mm tel ile birleştirilmiş numunelerin kırıldıktan sonraki görüntüleri bulunmaktadır.

Şekil 5.7’de çapraz tel ile kaynak yapılan PP malzemelerin optik mikroskop görüntüleri bulunmaktadır. 1,2 ve 5 numaralı görüntülerde telin üzerinde ısıdan kaynaklı renk değişimi malzeme üzerinde dalgalanmalar görülmektedir. 3 ve 4 numaralı görüntü telin kesitinden bir görüntü olmakla birlikte burada malzemenin eriyik halinde akış çizgileri görülmektedir. 6 numaralı şekilde ise malzeme üzerinde oluşan oksitler görülmektedir.



Şekil 5.7 : PP malzemelerin çapraz tel ile 90° açıyla kaynaklı birleştirmelerinin optik mikroskop görüntüleri

Şekil 5.8’de spiral tel ile birleştirilen malzemelerin kırıldıktan sonraki optik mikroskop görüntüleri görülmektedir. 1,2,3 ve 4 numaralı görüntülerde malzeme üzerindeki çatlaklar ve akış çizgileri görülmektedir. 5 ve 6 numaralı görüntülerde ise boşuklu yapılar görülmektedir.



Şekil 5.8 : PP malzemelerin spiral tel ile 90° açıyla kaynaklı birleştirmelerinin optik mikroskop görüntüleri

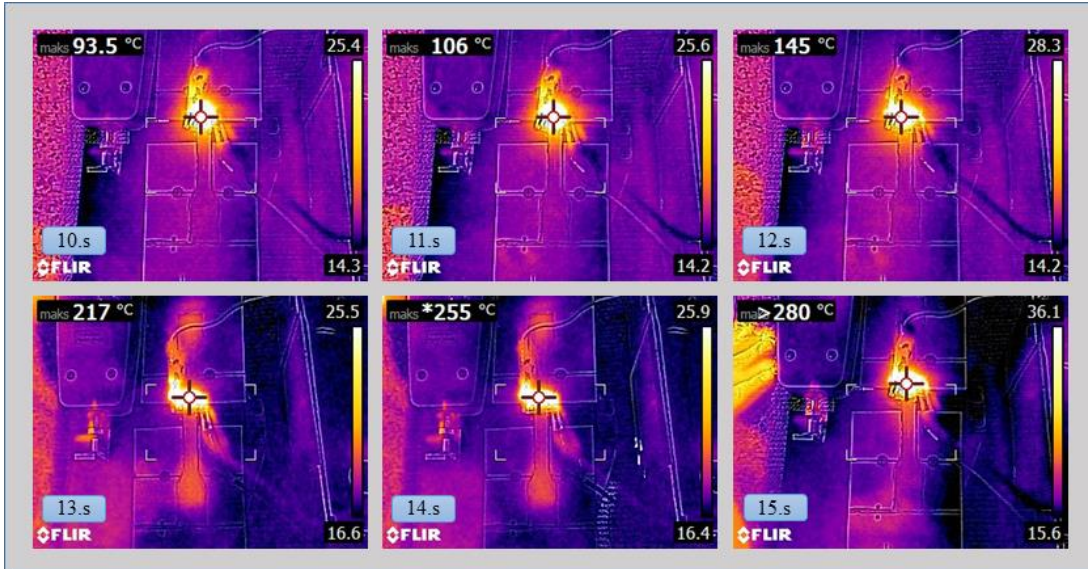
Şekil 5.9’da PP malzemenin zikzak tel ile birleştirilip kırıldıktan sonraki görüntüleri bulunmaktadır. Buradaki görüntülerde malzemenin tam erimeyi sadece tel etrafında belli bir yere kadar eriyik malzeme ve devamında daire testerenin malzemeyi keserken oluşturduğu çizgiler görülmektedir.



Şekil 5.9 : Polipropilen malzemelerin zikzak tel ile 90° açıyla kaynaklı birleştirmelerinin optik mikroskop görüntüleri

5.3 Termal kamera incelemeleri

Kaynaklı birleştirmeler yapılırken malzemenin tam erimediği veya fazla eriyerek yandığı gözle gözlemlendi. Çözüm olarak deney düzeneğine bir zaman rölesi yerleştirildi. Daha sonra implantın belli sürelerde çalışması sağlanarak termal kamera ile deney düzeneğinin sıcaklık dağılımı gözlemlendi. Doğru sıcaklık değerinin tespiti için düzenek 10,11,12,13,14 ve 15 sn süreyle çalıştırıldı. Şekil 5.10'da bu sürelerdeki termal kamera görüntüleri ve sıcaklık değerleri görülmektedir. Bu görüntüler incelendiğinde en uygun sıcaklık 13. saniyedeki 217°C çalışma sıcaklığı olarak belirlenmiştir.



Şekil 5.10 : Isıtma elemanının kaynak prosesi sırasında 10,11,12,13,14,ve 15. saniyelerdeki sıcaklıkları

6. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada; PP ve YYPE malzemelerin rezistans kaynağı parametrelerinin belirlenmesi için çekme testi, üç nokta eğme testi, darbe testi sonuçları, optik mikroskop ve termal kamera görüntüleri incelenmiştir. Bu tezden aşağıdaki verilen ana sonuçlar çıkarılabilir.

1. Kaynak işleminin uygulanması için kesilen parçalardan elde edilen çekme testi sonuçlarına bakıldığında tüm örnekler için sırasıyla 30°, 45° ve 90°lik bir sıralamaya sahip olduğu görülmektedir. Buda kaynak işlemi esnasında kaynak yapılacak yüzeylerin artmasının daha kuvvetli bir kaynak oluşumuna imkan sağladığı görülmektedir.
2. Tel kalınlıkları açısından göz önüne alındığında basınç, akım ve süreler aynı olmasına rağmen 0.5mmlik tel kalınlığıyla yapılan kaynaklar 0.3mm tel ile yapılan kaynağa kıyasla daha kuvvetli bir kaynağın elde edildiği tespit edilmiştir. 0.3mm telde oksidasyon gözlenmiş ve bozulmalar saptandığı için sonucun bu yönde olduğu görülmektedir.
3. Tel şekli olarak kıyas yapıldığında tüm şartlar aynıken sırasıyla spiral, zikzak ve çapraz şeklinde sıralandığı görülmektedir. Spiral tel şeklinde telin içerisine malzeme girdiğinden daha fazla temas yüzeyi elde edildiğinden dolayı diğer tel şekilleriyle kaynak yapılmış numunelerden daha mukavemetli kaynak oluşumu gözlemlenmiştir.
4. Malzeme bakımında çekme testi sonuçları incelendiğinde PP malzemenin YYPE daha iyi çekme mukavemeti gösterdiği görülmüştür.
5. Malzemelerin tümünün %3.5 esneme göstererek kırılmadığı eğilme dayanımlarının iyi olduğu gözlemlenmiştir. Üç nokta eğme testi sonuçlarına göre zikzak tel şekli ve 30° açıyla birleştirilen numunelerin en iyi performans gösterdiği görülmüş olup bunun sebebinin kaynak yüzeyinin artması ve zikzak tel şeklinde çentik etkisinin daha az olduğu söylenmektedir.

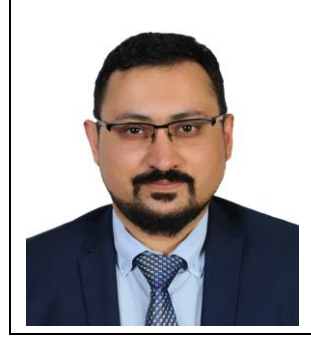
6. Darbe testi sonuçlarına göre spiral tel ile 45° açıyla birleştirilmiş numunelerin daha mukavemetli olduğu görülmektedir. Bunun nedeninin eğim açısından kaynaklandığı, eğimle birlikte yüzey sürtünme alanının çatlak ilerlerken ekstra bir darbe mukavemeti oluşturduğu ve açının artmasıyla darbe mukavemetinde arttığı görülmektedir.
7. Optik mikroskop görüntüleri incelendiğinde malzeme üzerinde eriyik akışlarının, oksitlenmelerin, boşluklu yapıların ve çatlakların olduğu görülmüştür. Görüntülerde tel ve malzeme arasındaki fiziksel bağlanmanın en iyi olduğu tel şekli spiral tek şekli olduğu görülmektedir. Bununla birlikte zikzak tel şeklinde ise erimemiş bölgelerin olduğu tespit edilmiştir.
8. Malzemelerin kaynak edilebilmesi için uygun sıcaklıkta eritilmesi gerektiği düşünülerek termal kamera ile belirli sürelerde görüntüler elde edildi ve bu görüntüler incelendiğinde 13. saniyede maksimum 217°C sıcaklığa çıkmış ve bu değer kullanılan polimerler için ideal sıcaklık olarak belirlenmiştir.
9. Genel olarak bu çalışmada yapılan çalışmalardan ve daha önce yapılan çalışmalardan çıkan sonuçlara göre kaynak parametreleri optimize edilmiş ve en uygun tel çapı 0.5mm, tel şekli spiral, birleştirme açısı ise 30° olarak önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] İ. Karagöz, “Termoplastiklerin Sürtünme Karıştırma Kaynak Özellikleri,” Marmara Üniversitesi, 2014.
- [2] S. Akkurt, *Plastik malzeme bilimi, teknolojisi ve kalıp tasarımı*. İstanbul: Birsen Yayınevi, 2007.
- [3] F. Kaya, *Ana Hatları ile Yapıştırıcılar*, 1. Baskı. İstanbul, 2004.
- [4] İ. Karagöz and M. Öksüz, “Termoplastiklerin Sürtünme Karıştırma Kaynağı ile Birleştirilmesinde Kullanılan Yöntemler,” *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Derg.*, vol. 31, no. ÖS1, pp. 19–28, 2017.
- [5] P. Gouin O’Shaughnessey, M. Dubé, and I. Fernandez Villegas, “Modeling and experimental investigation of induction welding of thermoplastic composites and comparison with other welding processes,” *J. Compos. Mater.*, vol. 50, no. 21, pp. 2895–2910, 2016.
- [6] D. Stavrov and H. E. N. Bersee, “Resistance welding of thermoplastic composites-an overview,” *Compos. Part A Appl. Sci. Manuf.*, vol. 36, no. 1, pp. 39–54, 2005.
- [7] M. J. Troughton, *Handbook of plastics joining : a practical guide*. William Andrew, 2008.
- [8] H. Shi, I. F. Villegas, and H. E. N. Bersee, “A displacement-detection based approach for process monitoring and processing window definition of resistance welding of thermoplastic composites,” *Compos. Part A Appl. Sci. Manuf.*, vol. 74, pp. 1–9, 2015.
- [9] R. Sadiku, “Automotive components composed of polyolefins,” *Polyolefin Fibres*, pp. 81–132, Jan. 2009.
- [10] İ. Karagöz and M. Öksüz, “Termoplastiklerin sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirilmesinde kaynak bölgesinde meydana gelen mikroyapılar,” *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Derg.*, vol. 2018, no. 2018, Apr. 2018.
- [11] R. Sadiku *et al.*, “Automotive components composed of polyolefins,” *Polyolefin Fibres Struct. Prop. Ind. Appl. Second Ed.*, pp. 449–496, 2017.
- [12] T. Matsumoto, Y. Nakanishi, C. Hongo, H. Hakukawa, S. Horiuchi, and T. Nishino, “Adhesive interphase analyses of isotactic polypropylene and cyanoacrylate with cobalt complex primers,” *Polymer (Guildf.)*, vol. 137, pp. 63–71, 2018.
- [13] M. Dubé, P. Hubert, A. Yousefpour, and J. Denault, “Fatigue failure characterisation of resistance-welded thermoplastic composites skin/stringer joints,” *Int. J. Fatigue*, vol. 31, no. 4, pp. 719–725, 2009.

- [14] M. Dubé, A. Chazerain, P. Hubert, A. Yousefpour, and H. E. Bersee, “Characterization of resistance-welded thermoplastic composite double-lap joints under static and fatigue loading,” *J. Thermoplast. Compos. Mater.*, vol. 28, no. 6, pp. 762–776, 2015.
- [15] K. C. Warren, R. A. Lopez-Anido, A. L. Freund, and H. J. Dagher, “Resistance welding of glass fiber reinforced PET: Effect of weld pressure and heating element geometry,” *J. Reinf. Plast. Compos.*, vol. 35, no. 12, pp. 974–985, 2016.
- [16] A. Benatar, *Plastics Joining*, Second Edi. Elsevier Inc., 2016.
- [17] A. Akkurt, “Sıcak Elaman Alın Kaynak Yöntemi ile Birleştirilen PE Doğalgaz Borularının Güvenirliklerinin Araştırılması Investigation of Reliability of PE Plastic Gas Pipe Joined With Butt Fuzzy Method,” pp. 221–233, 2010.
- [18] P. A. Tres and P. A. Tres, “Welding Techniques for Plastics,” *Des. Plast. Parts Assem.*, pp. 85–168, 2017.
- [19] X. Sun, G. Wu, J. Yu, and C. Du, “Efficient microwave welding of polypropylene using graphite coating as primers,” *Mater. Lett.*, vol. 220, no. March, pp. 245–248, 2018.
- [20] P. Kathirgamanathan, “Microwave welding of thermoplastics using inherently conducting polymers,” *Polymer (Guildf.)*, vol. 34, no. 14, pp. 3105–3106, 1993.
- [21] A. Čebular, A. Stepanova, I. Šorli, and P. Podržaj, “WELD QUALITY EVALUATION IN RADIO-FREQUENCY PVC WELDING PROCESS,” vol. 4, 2011.
- [22] A. Benatar, “12 12.1,” no. 1989, 2015.
- [23] B. Çevik, “EFFECT OF STIRRING TIME ON WELDABILITY OF TERMOPLASTIC POLYMERS WITH FSSW METHOD Abstract- In this study , effect of tool stirring time on weldability of thermoplastic,” vol. 3, no. 2, pp. 69–74, 2014.
- [24] G. Çakır, “POLİPROPİLEN LEVHALARIN CNC TEZGAHINDA SÜRTÜNME KARIŞTIRMA NOKTA KAYNAĞI İLE BİRLEŞTİRİLMESİ,” Düzce Üniversitesi, 2018.
- [25] H. Shi, I. F. Villegas, M. A. Oceau, H. E. N. Bersee, and A. Yousefpour, “Continuous resistance welding of thermoplastic composites: Modelling of heat generation and heat transfer,” *Compos. Part A Appl. Sci. Manuf.*, vol. 70, pp. 16–26, 2015.
- [26] D. Brassard, M. Dubé, and J. R. Tavares, “Resistance welding of thermoplastic composites with a nanocomposite heating element,” *Compos. Part B Eng.*, vol. 165, no. January, pp. 779–784, 2019.
- [27] F. Hagglund, “velopment of inspection techniques for an automated Non-Destructive Evaluation (NDE) approach for testing welded joints in plastic (PE) pipes,” pp. 1–12, 2011.

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Hüseyin BAKIRCI

Doğum Yeri ve Tarihi: Kastamonu, 1991

Adres: Bahçelievler Mah. Uluğbey Sk. No:13/7 Merkez/ YALOVA

E-Posta: hsynbkrc@gmail.com

Lisans: Polimer Mühendisliği, Yalova Üniversitesi

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR/SUNUMLAR

- Bakırcı H., Kaya M.A., Karagöz İ., 2017: Determination of Mechanical Properties of Various Polyolefin Polymers that Applied Resistive Implant Welding Technique. 1st International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies November 2-4, 2017 Gaziosmanpaşa University, Tokat, Turkey.