

**T.C. İSTANBUL AYDIN ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



**DÖNER SÜRTÜNME KAYNAK MAKİNESİNİN**  
**GELİŞTİRİLMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Kerem ABAOĞLU**

**Makina Mühendisliği Ana Bilim Dalı**  
**Makina Mühendisliği Programı**

**Ağustos,2019**



**T.C. İSTANBUL AYDIN ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



**DÖNER SÜRTÜNME KAYNAK MAKİNESİNİN  
GELİŞTİRİLMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Kerem ABAOĞLU**  
**Y1613.080030**

**Makina Mühendisliği Ana Bilim Dalı**  
**Makina Mühendisliği Programı**

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. H. Erol AKATA**

**Ağustos,2019**





T.C.  
İSTANBUL AYDIN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ

**Yüksek Lisans Tez Onay Belgesi**

Enstitümüz Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı Makine Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı Y1613.080030 numaralı öğrencisi **Kerem ABAOĞLU**' nun "**DÖNER SÜRTÜNME KAYNAK MAKİNESİNİN GELİŞTİRİLMESİ**" adlı tez çalışması Enstitümüz Yönetim Kurulunun 02.08.2019 tarih ve 2019/16 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından *başarılı*... ile Tezli Yüksek Lisans tezi olarak *kabul*... edilmiştir.

Öğretim Üyesi Adı Soyadı

İmzası

Tez Savunma Tarihi : 06/08/2019

1) Tez Danışmanı: Prof. Dr. Hüseyin Erol AKATA

2) Jüri Üyesi : Dr. Öğr. Üyesi Vedat ÖZTÜRK

3) Jüri Üyesi : Doç. Dr. Turgut GÜLMEZ

*AKATA*  
.....  
*ÖZTÜRK*  
.....  
*GÜLMEZ*  
.....

Not: Öğrencinin Tez savunmasında **Başarılı** olması halinde bu form **imzalanacaktır**. Aksi halde geçersizdir.





## **YEMİN METNİ**

Yüksek Lisans tezi olarak sunduğum “**Döner Sürtünme Kaynak Makinesinin Geliştirilmesi**” adlı çalışmamda, tezimin proje safhasından sonuçlandığı zamana kadar tüm süreçlerde bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurulmaksızın yazıldığını ve yararlandığım eserlerin Bibliyografya’da gösterilenlerden oluştuğunu, bunlara atıf yapılarak yararlanılmış olduğunu belirtir ve onurumla beyan ederim. (08/07/2019)

**Aday / İmza**  
Kerem ABAOĞLU







## ÖNSÖZ

Yüksek lisans öğrenimimiz sırasında ve tez çalışmalarımız boyunca gösterdikleri her türlü destek ve yardımlarından dolayı çok değerli hocam Erol AKATA'ya ve 2017 yılında aramızdan ayrılan bana üretim aşkını aşılayan bildiğim ve uyguladığım herşeyi borçlu olduğum büyük ustam, babam Enver ABAOĞLU'na en içten dileklerimizle teşekkür ederim.

**Ağustos, 2019**

**Kerem Aboğlu**  
Makina Mühendisi



# İÇİNDEKİLER

## Sayfa

ÖNSÖZ.....	viii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiv
SEMBOL LİSTESİ.....	xvi
ÖZET.....	xviii
ABSTRACT.....	xx
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
<b>2. KAYNAK YÖNTEMLERİ .....</b>	<b>3</b>
2.1 Sürtünme Kaynak Yöntemi.....	5
2.1.1 Tarihçesi .....	5
2.1.2 Genel tanım.....	5
2.1.3 Çalışma prensibi .....	5
2.1.4 Yöntemin uygulanması.....	6
2.1.5 Kaynak parametreleri.....	11
2.2 Sürtünme Kaynak Türleri.....	14
2.2.1 Sürekli tahrikli sürtünme kaynağı.....	14
2.2.2 Volan tahrikli sürtünme kaynağı.....	15
2.2.3 Kombine edilmiş sürtünme kaynağı .....	16
2.3 Sürtünme Kaynağının Avantajları Ve Dezavantajları.....	17
2.3.1 Avantajları .....	17
2.3.2 Dezavantajları .....	17
2.4 Uygulama Alanları.....	18
2.4.1 Sürtünme kaynağı uygulanabilen malzemeler .....	18
2.4.2 Endüstride uygulama alanları .....	19
<b>3. SÜRTÜNME KAYNAK MAKİNASININ GELİŞTİRİLMESİ.....</b>	<b>21</b>
3.1 Mevcut Sürtünme Kaynak Makinasındaki Sorunların Tespiti.....	21
3.2 Sabit Ayna Yatağının Solidworks İle Modellenmesi.....	23
3.3 Tasarlanan Parçanın İşlenmesi Ve Montajı.....	30
3.4 Basınç Manometrelerinin Değiştirilmesi .....	42
<b>4. DENEYSEL ÇALIŞMA .....</b>	<b>43</b>
4.1 Hedeflenen Kaynak İçin Makina Elemanları Üzerine Yapılan Hesaplamalar.....	43
4.1.1 Eksenel kuvvet hesabı.....	43
4.1.2 Döndürme momentinin hesaplanması .....	43
4.2 Malzeme Çiftlerinin Belirlenmesi.....	44
4.3 Malzeme Çiftleri İçin Belirlenen Kaynak Parametreleri.....	45
4.4 Çekme Testi .....	45
4.4.1 Bağlantı aparatlarının modellenmesi ve imalatı .....	45
4.4.2 Çekme deneyi .....	49
<b>5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>	<b>51</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>53</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>55</b>



## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 1.1: Şematik Olarak Sürtünme Kaynak Makinası.....	1
Şekil 2.1: Kaynak İşleminin Başlatılması.....	7
Şekil 2.2: Sürtünme İşlemi.....	8
Şekil 2.3: Şişirme(Yığma) İşlemi .....	8
Şekil 2.4: Sürtünme Kaynağı Uygulama Şekli 1 .....	8
Şekil 2.5: Sürtünme Kaynağı Uygulama Şekli 2 .....	9
Şekil 2.6: Sürtünme Kaynağı Uygulama Şekli 3.....	9
Şekil 2.7: Sürtünme Kaynağı Uygulama Şekli 4.....	9
Şekil 2.8: Linear Titreşim Hareketi İle Sürtünme Kaynağı.....	10
Şekil 2.9: Yörüngesel Hareket İle Sürtünme Kaynağı.....	10
Şekil 2.10: Şemasal Sürtünme Kaynağı.....	11
Şekil 2.11: Grafik Olarak Sürtünme Kaynağı Parametreleri.....	13
Şekil 2.12: Sürekli Tahrikli Sürtünme Kaynağı.....	14
Şekil 2.13: Volan Tahrikli Sürtünme Kaynağı.....	15
Şekil 2.14: Kombine Edilmiş Sürtünme Kaynağı.....	16
Şekil 3.1: Düzenleme Öncesi Sürtünme Kaynak Makinesi.....	21
Şekil 3.2:Sürtünme Kaynak Makinesi Panosu.....	22
Şekil 3.3:Basın Manometresi Ve Zaman Rölesi.....	22
Şekil 3.4:Ayna Üst Tutucu Parçası.....	23
Şekil 3.5:Ayna Alt Tutucu Parçası.....	24
Şekil 3.6:Ana Tutucu Parça.....	25
Şekil 3.7:Montaj Şeması.....	26
Şekil 3.8:Teknik Çizim 1.....	27
Şekil 3.9:Teknik Çizim 2.....	28
Şekil 3.10:Teknik Çizim 3.....	29
Şekil 3.11:Çelik Bloğun Oksi-Asetilen İle Kesilmesi.....	30
Şekil 3.12:Malzeme Yüzeylerinin Temizlenmesi 1.....	31
Şekil 3.13:Malzeme Yüzeylerinin Temizlenmesi 2.....	32
Şekil 3.14:Ana Tutucu Parça Üzerine Hareket Kanalı Açılması.....	33
Şekil 3.15:Bağlantı Deliklerinin Açılması 1.....	34
Şekil 3.16:Bağlantı Deliklerinin Açılması 2.....	35
Şekil 3.17:Somun Tutucu Boşluğun İşlenmesi.....	36
Şekil 3.18:Hareket Boşluklarının Açılması.....	37
Şekil 3.19:Deliklerin Delinmesi.....	38
Şekil 3.20:Alt Ayna Tutucu Parçası Bağlantı Deliği.....	39
Şekil 3.21:Yüzeylerin Parlatılması.....	40
Şekil 3.22:Parçaların Montajının Yapılması.....	41
Şekil 3.23:Basınç Manometreleri.....	42
Şekil 4.1:Solidworks İle Tutucu Parça Tasarımı.....	45
Şekil 4.2:İşlenecek Parçaların Kesilmesi.....	46
Şekil 4.3:Parça Boylarının Tornada Ölçülendirilmesi.....	46
Şekil 4.4:Parça Yüzeylerinin Tornada Ölçülendirilmesi.....	47
Şekil 4.5:Metrik Diş Çekimi.....	47

<b>Şekil 4.6:</b> Makina Bağlantı Kısımlarının İşlenmesi.....	48
<b>Şekil 4.7:</b> İşenmiş Tutucu Aparatlar.....	48
<b>Şekil 4.8:</b> Kaynağı Yapılmış Parçaların Çekme İşlemine Hazırlanması.....	49



## ÇİZELGE LİSTESİ

### Sayfa

Çizelge 2.1: Kaynak teknolojisinde kullanılan yöntemlerin tarihsel gelişimi.....	2
Çizelge 4.1: Alüminyum (AA 2024) bileşimi.....	44
Çizelge 4.2: SAE 1040 imalat çeliği bileşimi .....	44
Çizelge 4.3: Kaynak parametreleri.....	45
Çizelge 4.4: Çekme dayanımı uygulanan numunelerin parametreleri.....	50







## SEMBOL LİSTESİ

<b>P<sub>1</sub></b>	: Sürtünme basıncı
<b>t<sub>1</sub></b>	: Sürtünme basıncı oluşum zamanı
<b>P<sub>2</sub></b>	: Yığma basıncı
<b>t<sub>2</sub></b>	: Yığma basıncı oluşum zamanı
<b>n</b>	: Devir sayısı
<b>Δl</b>	: Malzeme boyundaki değişim
<b>A</b>	: Yüzey alanı
<b>π</b>	: Pi sayısı
<b>M</b>	: Atalet momenti
<b>d</b>	:Çap
<b>σ<sub>ç</sub></b>	:Çekme dayanımı
<b>F<sub>max</sub></b>	:Maksimum kuvvet
<b>A<sub>o</sub></b>	:Kesit alanı
<b>μ</b>	:Sürtünme katsayısı
<b>R</b>	:Yarıçap



# DÖNER SÜRTÜNME KAYNAK MAKİNESİNİN GELİŞTİRİLMESİ

## ÖZET

Kaynak, malzemeleri birbiri ile birleştirmek için kullanılan bir imalat yöntemidir. Metali keşfiyle, metali günlük hayatında verimli bir şekilde kullanmak isteyen insan metallerin eritilmesi ve birleştirilmesi hususunda derin araştırmalarda bulunmuş ve bu araştırmalar günümüzdeki kaynak teknolojisine yön vermiştir.

Bu çalışmada üniversitemizde bulunan ve istenilen şekilde sürtünme kaynağı gerçekleştirilemeyen sürtünme kaynak makinası üzerine inceleme yapılmıştır. Kuvvet etkisi altında kaynak yapılacak malzemelerin, kaynak esnasında aksel olarak saptığı, sürtünme basıncı ve yığma basıncının istenilen değerlerde ayarlanamadığı, tutucu çenelerin mevcut kuvvet karşısında aksellerini koruyamadıkları ve bu sebeplerden dolayı başarılı şekilde kaynak yapılamadığı tespit edilmiştir. Eksik olan ve çalışmayan tüm parçalar SolidWorks ile tasarlanmış ve üretilmiştir.

Üretilen parçaların başarılı montajı sonrasında proses hataları giderilmiş ve başarılı şekilde aynı (Alüminyum-Alüminyum, Çelik-Çelik) ve farklı (Alüminyum-Çelik) malzeme çeşitlerinin kaynağı, sürtünme basıncı, sürtünme süresi, yığma basıncı, yığma süresi, hız gibi parametreler literatürde tavsiye edilen değerler dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir.

Birleştirilmiş parçaların dayanımları ve sertlik incelemeleri incelenmiştir.

Yapılan bu çalışmalar sonucunda, aynı ve farklı tür malzemelerin deneysel amaçlı olarak geliştirilen bu makinede sürtünme kaynağı ile kaynak edilebilirliği görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:**Kaynak, Sürtünme Kaynağı, Alüminyum, Çelik, Çekme Deneyi



## **DEVELOPMENT OF ROTARY FRICTION WELDING MACHINE**

### **ABSTRACT**

Welding is a manufacturing method used to join materials together. With this discovery of metal, man who wanted to use metal efficiently in daily life made deep research on the melting and joining of metals and this research led to today's welding technology.

In this study, the friction welding machine which is at our university and cannot be performed as desired was investigated. It was determined that the materials to be welded under the effect of force deviated axially during welding, friction pressure and agglomeration pressure could not be adjusted to the desired values, the gripper jaws could not maintain their axes under the current force and could not be welded successfully due to these reasons. All missing and non-working parts were designed with SolidWorks and produced.

Process errors were corrected after the successful assembly of the produced parts and the parameters such as the welding of the same (Aluminum-Aluminum, Steel-Steel) and different (Aluminum-Steel) materials, friction pressure, friction time, agglomeration pressure, agglomeration time and speed were carried out considering the recommended values in the literature.

The strength and hardness of the assembled parts were examined.

As a result of these studies, It was observed that the same and different types of materials can be welded by friction welding in this machine which was developed for experimental purposes.

**Keywords:** Welding, Friction Welding, Aluminum, Steel, Tensile Test



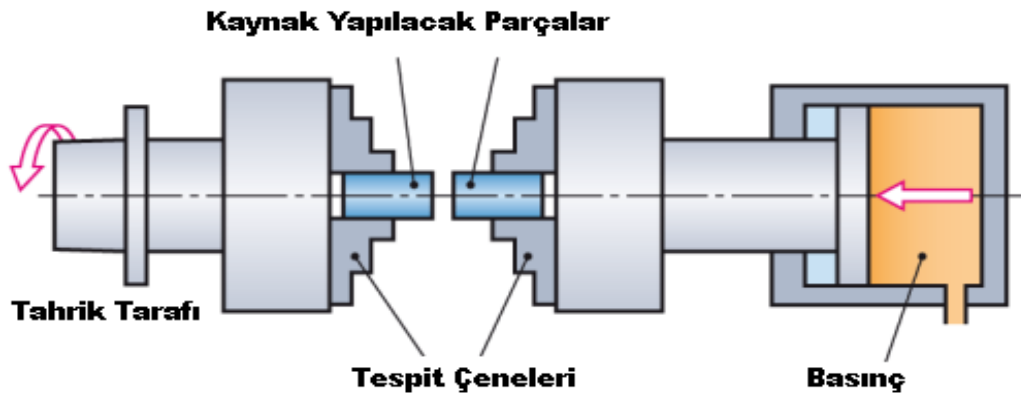




## 1. GİRİŞ

Kaynak; iki veya daha fazla parçanın birleştirilmesi için kullanılan bir imalat yöntemidir. Metalin keşfi ile insanlar metali günlük hayatlarında etkin şekilde kullanabilmek için metalleri biçimlendirmek, birleştirmek ve ayırmak üzerine çeşitli çalışma ve araştırmalar yapmış, günümüz kaynak yöntemlerinin temellerini oluşturmuşlardır. Teknolojinin gelişmesiyle yeni nesil kaynak türleri geliştirilmiş ve gelişen teknoloji, farklı parçalar ile çalışmalar yapılabilmesini mümkün kılmıştır.

Sürtünme kaynağı, parça yüzeylerinin basınç etkisi altında mekanik hareketle sürtünmesi sonucu açığa çıkan termal enerjiden faydalanılarak parçaların birleştirildiği bir katı hal kaynak yöntemidir. Bu kaynak yöntemi yüzeyler arasında kademeli olarak artan sıcaklık ve basınç etkisi ile biri sabit diğeri döner parçalar arasında gerçekleştirilir. Döner parça hareketi durdurularak kaynak tamamlanır. Sürtünme sırasında ara yüzeylerde oluşan ısı parçaların hızla ergimesine neden olur ergiyen bölgede oluşturulan aksenal basınç ile kaynak işlemi tamamlanır. Şekil 1.1'de şematik olarak sürtünme kaynağı gösterilmiştir.



**Şekil 1.1:** Şematik Olarak Sürtünme Kaynak Makinası



## 2. KAYNAK YÖNTEMLERİ

Kaynak; parçaların birleştirilmesi için uygulanan imal etme yöntemidir. Genel olarak metal yada termoplastik malzemeler üzerinde uygulanır. Kaynak birleştirmeleri tüm tarih boyunca insanların elde etmeye çalıştığı araç gereçler neticesinde ortaya çıkmıştır. Kaynak başlangıçta iki metal malzemenin birbiriyle birleştirilmesi ihtiyacı ile doğmuştur. Fakat sonrasında sadece birleşmenin yeterli olmadığı, birleşmenin malzeme özelliklerini etkilemeden nasıl gerçekleştirilebileceği araştırılmıştır. Çizelge 2.1’ de kaynak yöntemlerinde kullanılan tarihsel gelişimi verilmiştir.

**Çizelge 2.1:** Kaynak teknolojisinde kullanılan yöntemlerin tarihsel gelişimi [16]

M.Ö. 3500- M.S. 1000	Lehimleme ve Demirci Kaynağı
1890	Elektrik direnç kaynağı Karbon elektrod ile ark kaynağı Tel elektrod ile kaynak Ergiyen elektrod ile kaynak
1900	Havanın sıvılaştırılması Asetilenin aseton içinde çözündürülmesi İlk kaynak üfleci (oksi-asetilen)
1910	Örtülü elektrod ile ark kaynağı
1920	Oksijenle kesme *Gazaltı kaynağı
1930	Tozaltı kaynağı
1940	Soğuk basınç kaynağı Sürtünme kaynağı Ultrasonik kaynak
1950	Plazma arkı ile kesme Elektron ışın kaynağı Difüzyon kaynağı
1960	Plazma ark kaynağı
1970	Lazer kaynağı Kaynak yöntemlerinin mekanizasyon ve otomasyonu Kaynak robotları
1980	Kaynak robotlarının yaygın kullanıma girmesi
1990	Özel kaynak yöntemlerinin geliştirilmesi Sürtünen elemanla birleştirme kaynağı Manyetik alan kaynağı
2000	Hybrid kaynak yöntemlerinin geliştirilmesi (Laser-MIG/MAG, Laser -TIG, TIG-PlazmaArk)

Genel olarak ele alınırsa, kaynak yapılacak parçaların birleşme yüzeyleri ergitilir, ergitilen bu kısma dolgu malzemesi eklenir ve kaynak bölgesi soğutulup sertleştirilir. Ayrıca, ısı ve basınç etkisi altında yapılan kaynak yöntemleride vardır. Bu yöntemler lehim ve sert lehimden farklıdır. Lehim ve sert lehimde birleştirme, çalışılan parçalar ergimeden, düşük ergime sıcaklıklarında gerçekleşir.

Kaynak yapabilmek için gaz alevi, elektrik arkı, lazer, elektron ışını, sürtünme, ultrasonik ses dalgaları veya bunlar gibi birçok enerji türü kullanılabilir. Endüstriyel kaynak işlemleri genellikle; açık hava, su altı, uzay gibi farklı ortam koşullarında gerçekleştirilir. Ancak kaynak işlemi ultraviyole ışınlar, alev, zehirli gazlar, alev, elektrik kaçakları gibi çeşitli tehlikeler barındır ve bu tehlikelere karşı önlem alınması gereklidir.

19. Yüzyıl sonlarına kadar kaynak metallerin dövme ve ısıtma yolu ile birleştirildiği bir yöntem olarak biliniyordu. 19. yüzyılın sonlarında yeni kaynak yöntemleri keşfedilmiş olup bunlar;elektrik ark kaynağı, oksî-gaz kaynağı sonrasında da direnç kaynağı yöntemleridir. 20. yüzyılda artan talebi karşılayabilmek için kaynak teknolojisi düşük maliyetli ve güvenilir yöntemler arasına girmiştir. 1. ve 2. Dünya Savaşı sonrasında manuel, yarı-otomatik ve tam-otomatik kaynak yöntemleri, ilerleyen zamanlarda ise lazer ve elektron ışın kaynağı geliştirilip hızla yayılmıştır. Kaynak yöntemlerinin gelişimi bilimsel çalışmalar eşliğinde devam etmektedir. Günümüzde endüstride yaygın olarak robot kaynağı yer edinmiştir ve kaynak kalitesi ve özelliklerinin geliştirilmesi malzemenin düşürülmesi için yeni kaynak metodları araştırmaları devam etmektedir.İleri teknolojinin getirisi olan günümüz gelişmiş makine elemanlarının kaynak ile birleşmelerinde faz dönüşümü ve plastik deformasyonlar istenilmeyen bir durumdur.Dezavantajlı bu durumları gidermek için malzemenin metalurjik ve mekanik özelliklerini değiştirmeyecek kadar düşük ısı değerlerde yapılan birleşme işlemi ile sağlanır. İki ayrı tür malzeme ancak özel bir kaynak yöntemi ile birleştirilebilir. Bu ancak yüksek bilgi ve yüksek teknolojiye dayalı katı hal kaynak yöntemleri ile mümkündür. Bu tez çalışmasında bir katı hal kaynak yöntemi olan sürtünme kaynağı ile alakalı bilgiler verilecektir.

## **2.1 Sürtünme Kaynak Yöntemi**

### **2.1.1 Tarihçesi**

Sürtünme kaynağı teknolojisi dünyamızda devamlı olarak gelişim gösteren bir çok ülkenin endüstrisinde uygulanmakta olan ticari ve ekonomik bir kaynak yöntemidir.

Malzemeler, sürtünme kuvveti yardımıyla birbirleri ile kaynak edilebilir. Kaynak yönteminde sürtünme kuvveti kullanımı 15. yüzyıla kadar dayanmaktadır. İlk patenti Amerikan operatör J.H.Bevington, 1881 yılında almıştır. Bevington sürtünme sıcaklığından faydalanarak boruları birbirine kaynatmıştır. H.Klopstock Sovyetler Birliğinde, W.Richter ise İngiltere'de 1924 yılında patent almıştır. H.Klopstock ve A.R. Nealsonds ise 1941 yılında silindirik parçalar için sürtünme kaynağı üzerine patent almışlardır ve sürtünme kaynağı II. Dünya savaşı sırasında Amerika ve Almanya'da plastik materyallerin kaynağında kullanılmıştır. Bu kaynak yöntemi günümüzde sıklıkla kullanılmakta olup gelişimi devam etmektedir. [1],[2],[3],[4],[5]

### **2.1.2 Genel tanım**

Sürtünme kaynağı, mekanik enerjiden doğan sürtünme aracılığı ile kaynak yapılacak yüzeyler arasında, sürtünme kuvvetinin, ısı(termal) enerjisine dönüştürülüp, parçalara aksel doğrultuda baskı kuvveti uygulanmasıyla gerçekleştirilmektedir. Bu kaynak yöntemini sıcak basınç kaynağı yöntemi olarak kabul etmek gerekir. Sürtünme kaynağı, alın direnç kaynaklarının yapılarıyla benzer ve çalışma prensibi olarak torna tezgahına benzer şekilde olmalıdır. [2],[6],[7],[8]

### **2.1.3 Çalışma prensibi**

Kaynak yapılacak parçalar, dönme hareketi yapan ve aksel hareket yapan makina aynalarına bağlanır. Dönme hareketi yapan aynaya bağlanan parça yüksek hızlarda çevrilirken, ikinci parça aksel hareket yardımıyla dönen parçaya temas ettirilir.Bu şekilde mekanik enerji sürtünmeyi oluşturur ve sürtünme kuvveti ısı enerjisine dönüşerek parçaların birbirine temas eden kısımlarının hamur kıvamında yumuşadığı

anda, ani frenleme ile parçaların dönme hareketi sona erer. Parçalar aksenal bir kuvvet ile birbirine yaklaşır. Bu durum temas yüzeyinde katılaşma oluncaya kadar devam sürer. İstenilen basınç kuvveti mekanik, hidrolik ve pönomatik sistemlerle elde edilir. [3]

## **2.1.4 Yöntemin uygulanması**

### **2.1.4.1 Uygulama mekanizması**

Sürtünme kaynağı, elektrik enerjisi yardımıyla kaynatılacak parçalara kaynak için gerekli mekanik enerjiyi sağlar. Mekanik enerji kaynak yapılacak parçaların yüzeylerinin sürtünmesi ile termal enerjiye dönüştürülür. Bu termal enerjinin ortaya çıkarttığı ısıdan yararlanıp yapılan kaynak yöntemide katı hal kaynak yöntemlerindedir. Kaynak esnasında parçalar mekanik enerji ve basınç etkisiyle hareket etmektedir. Sürtünme yada ısıtma fazı olarak isimlendirilen bu durum parçaların yüzeylerinde sıcaklık plastik şekil değiştirmeye yetecek hale gelene kadar sürer. Bu sıcaklık değeri, çelikler için 900 - 1300 °C aralığındadır. Isıtma fazı sonrası basınç artırılır ve ısınmış yüzey yığılır. Bu sayede, kaynak bölgesi termomekanik işleme tabi tutulur ve kaynak yapılan yüzey iyileşme gösterir. Bu yöntem, diğer kaynak yöntemleriyle kaynatılamayan metal ve metal alaşımlarının kaynatılmasına olanak tanır. Kaynak dikişinde, yüksek kaynak bağının ortaya çıkabilmesi, parça yüzeylerinin temizlenmiş şekilde birbirleriyle temas halinde olmasına bağlıdır. Sürtünme sayesinde yüzeyler arası temas çok iyi sağlandığından, çok iyi şekilde birleşim oluşur. Kaynak sırasında parça yüzeylerinde erime gerçekleşmez. Bir miktar erime olsa dahi yığıma işleminden sonra eriyen malzeme birleştirilen bölgeden uzaklaşır. Kaynak yüzeyinde eriyen bir malzeme bulunmaz. [1],[9],[10]

Kaynak yüzeyinde oluşan yığılma, parçaların ebatlarının küçülmesine neden olur. Bu birleşme işlemi üç adımdan oluşmaktadır.

### 1. Kaynak işleminin başlatılması:

Parçalardan biri dönme hareketi yapan aynaya, diğeri ise pönomatik veya hidrolik sistemler yardımıyla aksenal olarak hareket eden sabit aynaya bağlanır.

### 2. Sürtünme işlemi:

Sabit hızla döndürülen parçaya etki eden  $P_1$  basıncının oluşturduğu sürtünme kuvveti ile parçaların uçları ısıtılır.

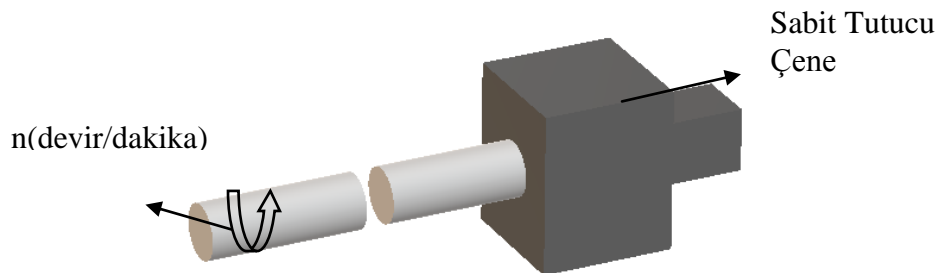
### 3. Şişirme (yığılma) işlemi:

Dönen yada sabit kısımdan uygulanan  $P_2$  basıncının etkisiyle oluşan yığılma kuvveti ile kaynak işlemi gerçekleştirilir. Kaynak sırasında uygulanan bu basınç, yığılma basıncı olarak adlandırılır.

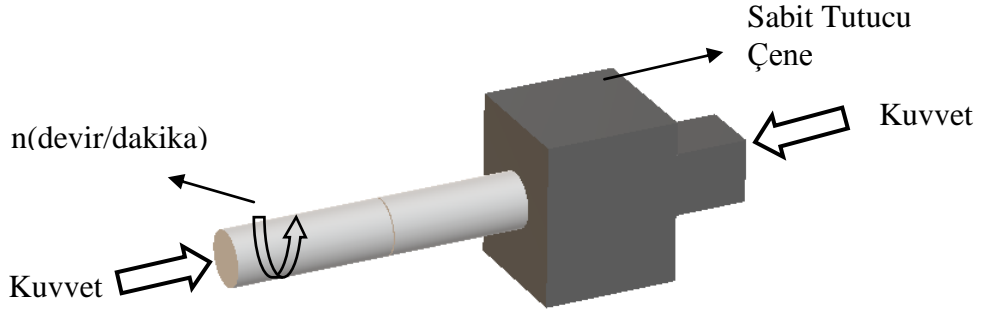
Kaliteli bir kaynak işlemi için, dönüş hızı ve basıncın hassas olarak ayarlanması gerekmektedir.

#### 2.1.4.2 Uygulama şekilleri

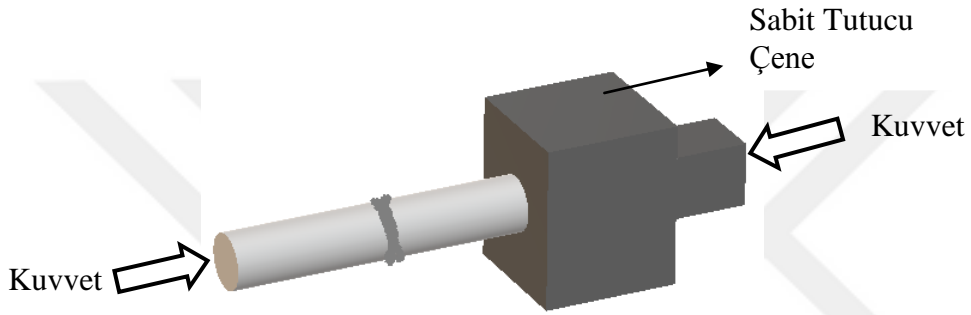
Sürtünme kaynağı yönteminde, genel olarak parçalardan biri dönme hareketi yaparken diğeri sabittir. Sürtünme kaynağı adımları, Şekil 2.1, Şekil 2.2, Şekil 2.3'te aşama aşama gösterilmektedir. Dönme hızı istenilen seviyeye geldiğinde parçaların temas etmesi sağlanır bu şekilde ön temas meydana gelir. Temas sonrası parçaların ucunda bulunan yabancı materyaller uzaklaştırılır. Ön temasın ardından aksenal basınç etkisi altında parçalar ısınır. Dönme hareketi sonlandırıldığında, eksensel basınç yükseltılarak yığılma sağlanır ve kaynak yüzeyinde erimiş bir miktarda metal dışarıya doğru yığıntı oluşturur. Bu kaynak yöntemi genel olarak dairesel kesitli parçalara uygulanmaktadır.



Şekil 2.1: Kaynak İşleminin Başlatılması



Şekil 2.2: Sürtünme İşlemi



Şekil 2.3: Şişirme(Yığma) İşlemi

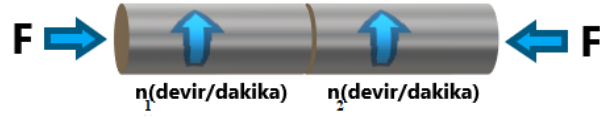
Sürtünme kaynağında birincil hareket dönme hareketidir. İkincil hareket ise eksensel harekettir. Farklı uygulama şekilleri Şekil 2.4, Şekil 2.5, Şekil 2.6, Şekil 2.7' de gösterilmektedir. Sıklıkla kullanılan sürtünme kaynağı yöntemi Şekil 2.4' te gösterildiği gibidir.



Şekil 2.4: Sürtünme Kaynağı Uygulama Şekli 1

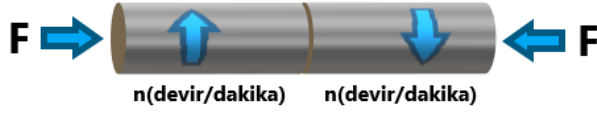


Farklı devir hızlarındada sürtünme kaynağı gerçekleştirilebilir.(Şekil 2.5)



Şekil 2.5: Sürtünme Kaynağı Uygulama Şekli 2

Yüksek dönme hızı gerektiren küçük çaplı parçalar için Şekil 2.6'daki yöntem uygulanmaktadır.



Şekil 2.6: Sürtünme Kaynağı Uygulama Şekli 3

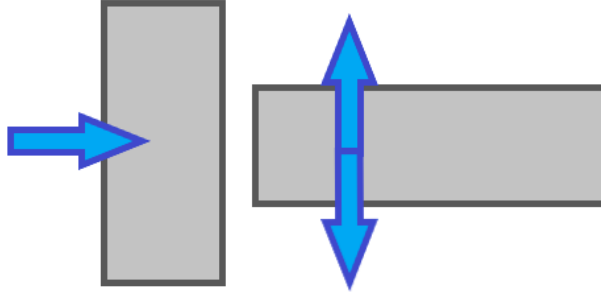
Ayrıca kaynatılacak parça boylarının uzun olması halinde uzun parçalar sabit tutulur araya dönen ekstra bir parça ilavesi Şekil 2.7'de görüldüğü gibi kaynak işlemi gerçekleştirilir.[1]



Şekil 2.7: Sürtünme Kaynağı Uygulama Şekli 4

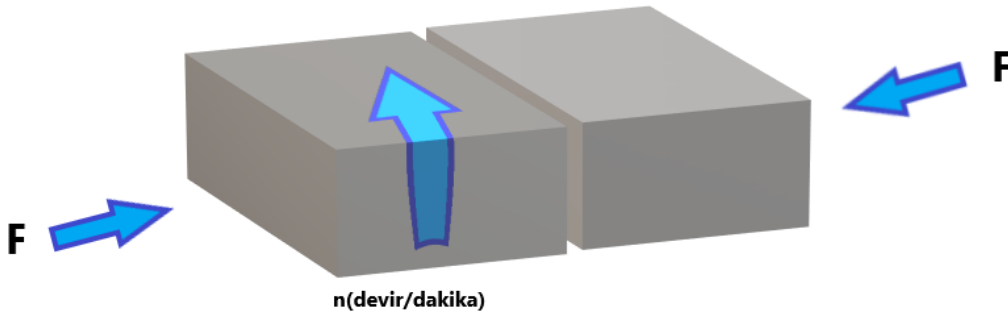
Dairesel dönme hareketinin yanı sıra, lineer titreşim hareketiylede sürtünme kaynağı yapılmaktadır. Şekil 2.8'de gösterilen bu yöntem gibi ilk defa Vili tarafından uygulanmıştır. Silindirik olmayan parçalarda dönme hareketi yerine yörüngesel hareket uygulanır. [2]

Sürtünme kaynağı, sürtünme ve yığıma olmak üzere iki ana aşamadan oluşur. Kaynağın başlaması sonrasında atalet kuvveti kuru sürtünmeden dolayı artmaktadır.[4]



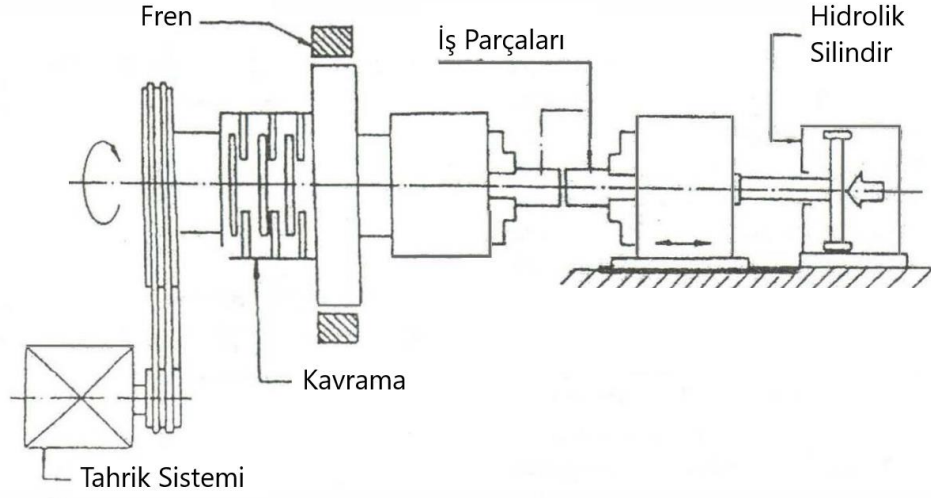
**Şekil 2.8:** Linear Titreşim Hareketi İle Sürtünme Kaynağı

Şekil 2.9'da gösterilen bu yöntemle parçalardan biri sabit olup, dönen parçanın bir köşesi dairesel bir yörüngede hareket eder.[9]



**Şekil 2.9:** Yörüngesel Hareket İle Sürtünme Kaynağı

Sürtünme kaynağı makineleri yapı itibarıyla matkap, torna, freze gibi talaşlı imalat makinelerini anımsatmaktadır. İlk sürtünme kaynağı makinası bu tür tezgahlar modifiye edilerek yapılmıştır. Sürtünme kaynak makinası Şekil 2.10' de şemasal olarak gösterilmektedir. [1].



**Şekil 2.10:** Şemasal Sürtünme Kaynağı

### 2.1.5 Kaynak parametreleri

Sürtünme kaynağı çok sayıda değişken içerir. Bu değişkenler dönme hızı, sürtünme basıncı, sürtünme zamanı, frenleme zamanı, yığma geciktirme zamanı, yığma basıncı (dövme) ve yığma zamanıdır.

Yapılan araştırmalarda bu yöntemde en etkili olan ve iyi bir kalibrasyon gerektiren değişkenlerin dönme hızı, sürtünme basıncı, sürtünme zamanı, yığma basıncı ve yığma zamanı olduğu saptanmıştır. Ayrıca kaynak yapılacak malzeme türlerine bağlı değişkenlerde dikkate alınmalıdır. Bu konu ile alakalı kaynaklar incelendiğinden kaynak değişkenleri ile alakalı şu sonuçlar ortaya çıkabilir.

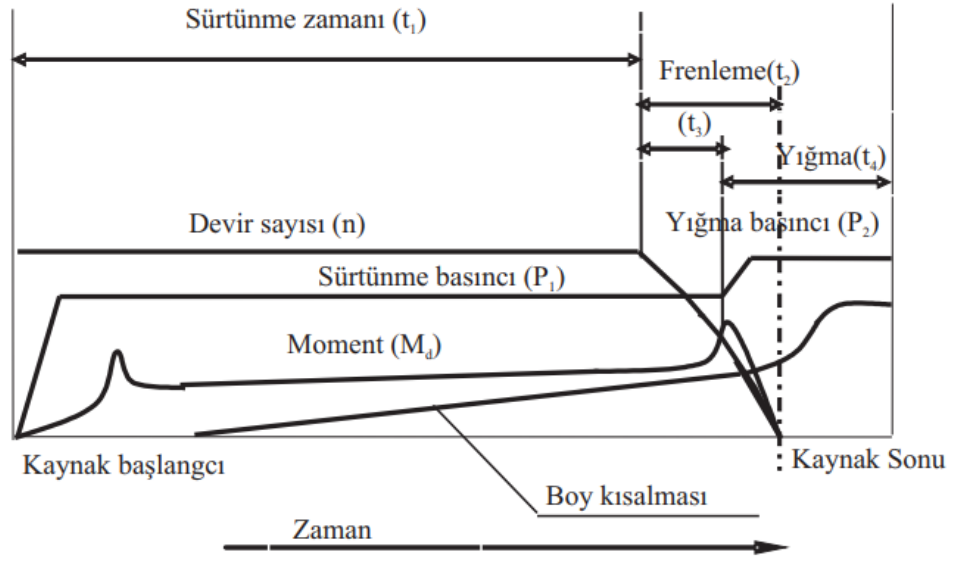
Dönme hızı ısı tesiri altında kalan bölgenin genişliğine göre değişebilir. Çevresel hız, çelik malzemeler için 1,2 - 1,8 m/s arasındadır. 1,2 m/s'den düşük hızlarda yüksek momentler'den dolayı düzeli olmayan yığmalar oluşur. Yüksek hızlarda sürtünme zamanı ve sürtünme basıncı iyi bir şekilde ayarlanmalıdır.

Sürtünme ve yığma basıncı numune şekline ve cinsine bağlı olup değer aralığı geniştir. Basınç parametresi kaynak yüzeyindeki sıcaklık ve eksenel kısalma ile kontrol

edilebilmektedir. Sürtünme basıncı kaynak yüzeylerinden oksitleri uzaklaştıracak ve hava ile temasını kesebilecek aynı zamanda kaynağın tüm yüzeyinde dengeli bir ısı oluşturabilecek değerlerde olmalıdır. Yığılma basıncı, yetersiz kaynamaya sebep olacak kadar düşük aşırı yığılmaya sebep olacak kadar yüksek olmamalıdır. Aynı olmayan parçalarda yapılan kaynak işleminde sıcak akma sınırı düşük olan parçaya göre yığılma basıncı ayarlanmalıdır. Yumuşak çeliklerin sürtünme basıncı, 30 - 65 N/mm<sup>2</sup> aralığında iken yığılma basıncı, 75 - 140 N/mm<sup>2</sup> aralığındadır. Orta ve yüksek karbonlu çeliklerde ise sürtünme basıncı, 70 - 210 N/mm<sup>2</sup> aralığında iken yığılma basıncı, 100 - 420 N/mm<sup>2</sup> aralığındadır. Bu sebeple sürtünme ve yığılma zamanı malzemeye göre değişiklik gösterir.

Sürtünme zamanı parçaların yüzeylerindeki pislik ve oksitleri giderebilecek düzeyde ayarlanmalıdır. İyi bir kaynak bölgesi oluşturabilmek için ısıtma süresi iyi saptanmalıdır. Kısa ısıtma süresi kaynak yüzeylerinde yeteri kadar plastisite değeri sağlayamadığı için birleşme yeterli olamayacaktır.

Fazla ısıtma süresi olması durumunda yığılma basıncı esnasında fazla yığılma olacağından malzeme kaybı olacaktır. [1],[5],[6],[7],[8]



Şekil 2.11: Grafik Olarak Sürtünme Kaynak Parametreleri[2,4]

$P_1$  = Sürtünme Basıncı

$t_1$  = Sürtünme Basıncı Oluşum Zamanı

$P_2$  = Yığılma Basıncı

$t_2$  = Yığılma Basıncı Oluşum Zamanı

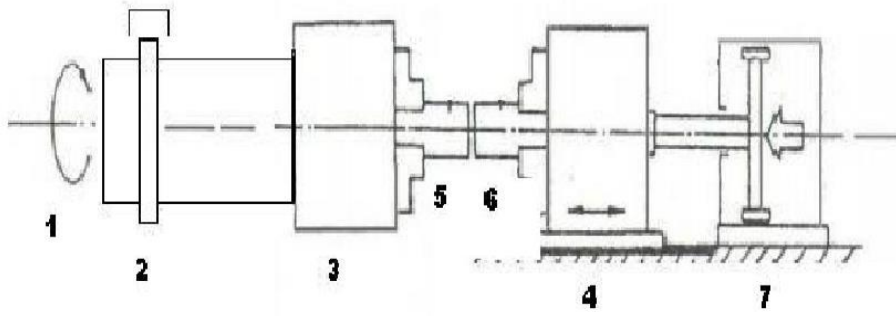
$n$  = Devir Sayısı

$\Delta l$  = Malzeme boyundaki değişim

## 2.2 Sürtünme Kaynak Türleri

### 2.2.1 Sürekli tahrikli sürtünme kaynağı

Sabit ve dairesel hareket ile dönen iki parçanın aksel basınç altında, sürtünmesi sonucunda mekanik enerji ısı enerjisine dönüşür ve aniden dönen parça frenlenir. Basınç artırılır ve bir süre sabit tutulur bu işlemler sonrasında kaynak gerçekleşir. Şekil 2.12’ te sürekli tahrikli sürtünme kaynak makinası şemasal olarak gösterilmiştir

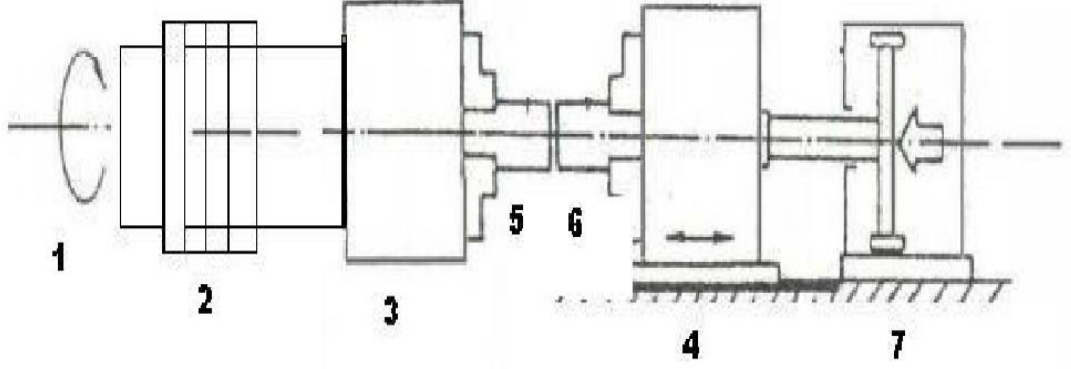


Şekil 2.12: Sürekli Tahrikli Sürtünme Kaynağı [12].

1. Motor
2. Fren
3. Dönen Ayna
4. Sabit Ayna
5. Dönen Kaynak Malzemesi
6. Sabit Kaynak Malzemesi
7. Pnömatik Silindir

### 2.2.2 Volan tahrikli sürtünme kaynağı

Parça volan tahrikli dönen aynaya monte edilir. Volan ayarlanan devir sayısına ulaştığında döndürme enerjisine kesilir ve serbest halde dönme sağlanır. Parçalar piston yardımıyla birbirlerine doğru hareket ettirilerek yüzey teması sağlanır. Kaynak yüzeyinde, kinetik enerji hızlı bir şekilde ısı enerjisine dönüşür. Volanın durmasıyla kaynak işlemi gerçekleşir. Şekil 2.13' te volan tahrikli sürtünme kaynak makinası şemasal olarak gösterilmiştir.

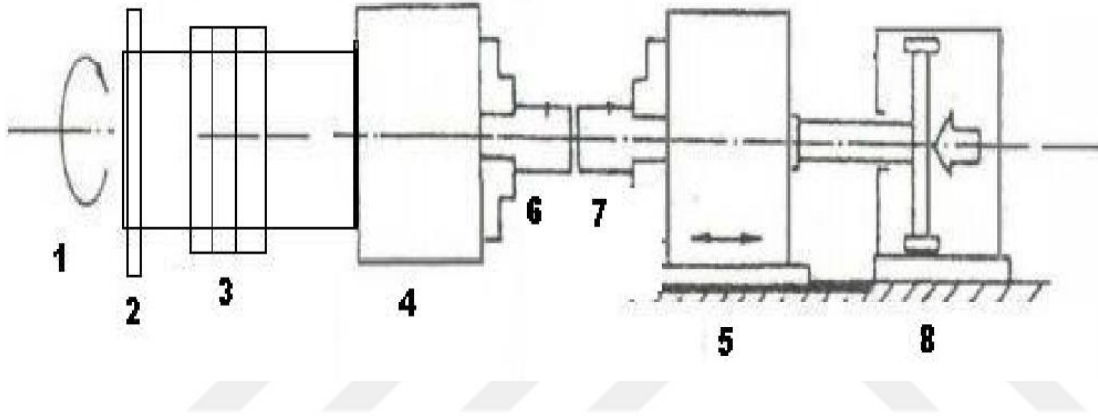


Şekil 2.13: Volan Tahrikli Sürtünme Kaynağı[12].

1. Motor
2. Volan (Değiştirilebilir.)
3. Dönen Ayna
4. Sabit Ayna
5. Dönen Kaynak Malzemesi
6. Sabit Kaynak Malzemesi
7. Pnömatik Silindir

### 2.2.3 Kombine edilmiş sürtünme kaynağı

Kombine edilmiş sürtünme kaynak makinası sürekli tahrikli ve volan tahrikli sürtünme kaynağı makinasının birleşmesi sonucu oluşmuş olup volan ve ayna kavrama ile motora bağlanmıştır. Motor kavrama ile ayna ve volana sürekli olarak hareket vermektedir. Kaynak için yeterli dönme hızı sağlanınca, kavrama serbest hale getirilir. Ayna ve volan fren yapılmadan parçalar aksel olarak hareket ettirilerek hızlı bir şekilde durdurulur ve kaynak gerçekleşir. Şekil 2.14' te kombine edilmiş sürtünme kaynak makinası şemasal olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.14: Kombine Edilmiş Sürtünme Kaynağı[12]

1. Motor
2. Kavrama
3. Volan (Değiştirilebilir.)
4. Dönen Ayna
5. Sabit Ayna
6. Dönen Kaynak Malzemesi
7. Sabit Kaynak Malzemesi
8. Pnömatik Silindir



## **2.3 Sürtünme Kaynağının Avantajları Ve Dezavantajları**

### **2.3.1 Avantajları**

Sürtünme ile kaynatılan parçalarda tüketilen enerji diğer kaynak yöntemlerine göre azdır.

Sürtünme kaynağında ergime derecelerinin altında bir sıcaklık aralığında bölgesel olarak kaynak gerçekleştirildiğinden, aynı olmayan metaller başarılı bir şekilde kaynak yapılabilir.

Sürtünme kaynağı ile birleştirilen kaynak bölgesinin dayanımı, birleşen parçaların dayanımına denk veya bazende yüksek olmaktadır.

Katı hal kaynak yöntemi olan sürtünme kaynağında kaynak bölgesi cüruf v.s. içermemektedir.

Sürtünme etkisiyle kaynak yüzeyinde bulunan oksit ve yabancı maddeler kaynak dikişinden uzaklaştırılır .

Sürtünme sonucu ortaya çıkan ısı sadece kaynak dikişinde olduğu için her iki tarafta ısıdan etkilenen bölge çok azdır ve herhangi bir dönüşüm gözlemlenmez ve ana parça gevrekleşmez.

Kaynak yapılmış parçalar düşük toleranslara sahiptirler. Yığılma az olduğu için kaynak dikişinden talaş kaldırılması gerekmez..

Kaynak esnasında oluşan yığıntı kaynak bölgesi ile hava arasındaki teması keserek kaynak dikişini korur.

Kaynak bölgesinde oluşan hızlı ısınma, soğuma ve yüksek basınç sebebiyle kaynak dikişinde ince taneli mikro yapı oluşur.

### **2.3.2 Dezavantajları**

Parçanın geometrik biçimi sürtünme kaynağını sınırlandıran en büyük etkidir.

Bağlantısı yapılacak parçaların aksenal olarak simetrik olması ve eksenleri etrafında dönebilir olması gerekmektedir.

Parçaların kesit alanında sürtünme kaynağını sınırlandıran faktörlerdendir. Kesit alanının büyük olması, yığılma basıncı ve motor gücünün çok yüksek değerlerde olmasına sebep olur.

Sürtünme kaynağı için kesit alanları 30-8000 mm<sup>2</sup> değerleri arasında olduğu öngörülür ancak bu konu üzerine çalışan araştırmacılar azami kesit alanının maksimum 10.000 mm<sup>2</sup> olabileceğini söylemektedirler. Silindirik parçalarda ise bu çap değerleri 10 - 250 mm<sup>2</sup> olarak önerilmiştir. [3]

Kesit alan aralığı 30 mm<sup>2</sup> - 10000 mm<sup>2</sup> lik alanla sınırlandırılırken, çelikler malzemelerde üst değer 2000 mm<sup>2</sup>, demir dışındaki malzemelerde ise 10000 mm<sup>2</sup> aralığında değişkenlik göstermektedir.[2]

Kaynak işlemi yapılan parça boylarında kısalma meydana geldiğinden, malzeme sarfiyatı olmaktadır.

Makine ve yatırım maliyetleri yüksektir. [2]

## **2.4 Uygulama Alanları**

### **2.4.1 Sürtünme kaynağı uygulanabilen malzemeler**

Sürtünme kaynağı ile kaynak işlemi gerçekleştirilecek malzemelerden en az birinin dairesel formda olması gerekir. Sürtünme kaynağı ile aynı ve farklı özellikteki malzemeler kaynak edilebilir. Aynı özellikteki malzemeler, farklı özellikteki malzemelere göre kaliteli bir şekilde kaynatılabileceğinden malzemelerin aynı olması tercih sebebidir.

Sürtünme kaynağı ile kaynak işlemi yapılabilen farklı tip malzemeler aşağıdaki gibidir;

Bakır, alüminyum ve alaşımlarına,

Düşük karbonlu çelikler, alüminyum ve alaşımlarına, paslanmaz çeliklere, alaşımlı çeliklere,

Pirinç, alüminyum ve alaşımlarına,

Bronz, alüminyum ve alaşımlarına,

Bakır, çeliğe,

Pirinç, çeliğe,

Titanyum ve alaşımları, çeliğe,

Titanyum ve alaşımları, alüminyum ve alaşımlarına,

Paslanmaz çelik, metallere [11]

Yukarıda belirtilen malzemeler, sürtünme kaynağı ile yapısal olarak farklı olmasına rağmen rahatlıkla birbirlerine kaynatılabilmektedirler. [1]

#### **2.4.2 Endüstride uygulama alanları**

Sürtünme kaynağı, güvenilir, hızlı ve çevreye zararsız bir kaynak yöntemidir. Sürtünme kaynağı, takım üretimi ve otomotiv sanayisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Hafif yapıların üretilmesinde de sürtünme kaynağından yararlanılır. Uygulama alanlarına örnek olarak; elektroteknik, yapı endüstrisi ve tesisat yapımı örnek verilebilir. Sürtünme kaynağı genel olarak seri imalatta makine parçalarının aynı veya farklı malzemelerden birleştirilmesi için uygulanmaktadır. Küçük parça sayılarında dahi bu yöntem ekonomik olmaktadır, özellikle diğer kaynak yöntemleri ile yapılamayan veya kaynağın yeterince iyi olmadığı malzeme çiftlerinde bu yöntem uygulanabilir. Genel olarak kullanılan sürtünme kaynağı makinalarında 0.6 - 200 mm çapında parçalar için kaynak işlemi gerçekleştirilebilir. Çelik borularda kullanılan çap maksimum 900 mm, kalınlık ise 6 mm'dir.[10] Günümüzde, sürtünme kaynağı çeşitli endüstrilerde uygulanıp kullanılmaktadır.

Endüstride kullanılan örnekler aşağıdaki gibidir;

Takım endüstrisi: freze çakıları, delik zımbaları, helisel matkaplar, çelik kalemler, raybalar,

Otomotiv endüstrisi: Boru milleri, fren milleri, subaplar, kadran milleri, akslar, turbo dondurucular, ön yıkama odaları, vites kolları, ön ısıtma odaları, taşıyıcı aks boruları, şanzıman parçaları.

Makine imalatı ve endüstrisi: Sonsuz vidalı miller, valfler, piston kolları, flanşlar, krank milleri, borular, matkap uçları, dişli çarklar, hidrolik silindirler, dişli çarklar, piston kolları.

Havacılık ve uzay endüstrisi: İtme jetleri, borular, fittingler, rotorlar, türbinler, miller, itme jetleri (memeler), flanşlar, yanma odaları.

Elektronik ve elektroteknik: Kromatografiler de kullanılan ayırma sütunları, döner anod miller (röngen cihaz tüpleri için), sürekli lehim uçları, geçiş parçaları, devre kontakları.

İş takımları: Freze bıçakları, spiral matkaplar, raybalar, delik zımbaları, çelik kalemler.[11]

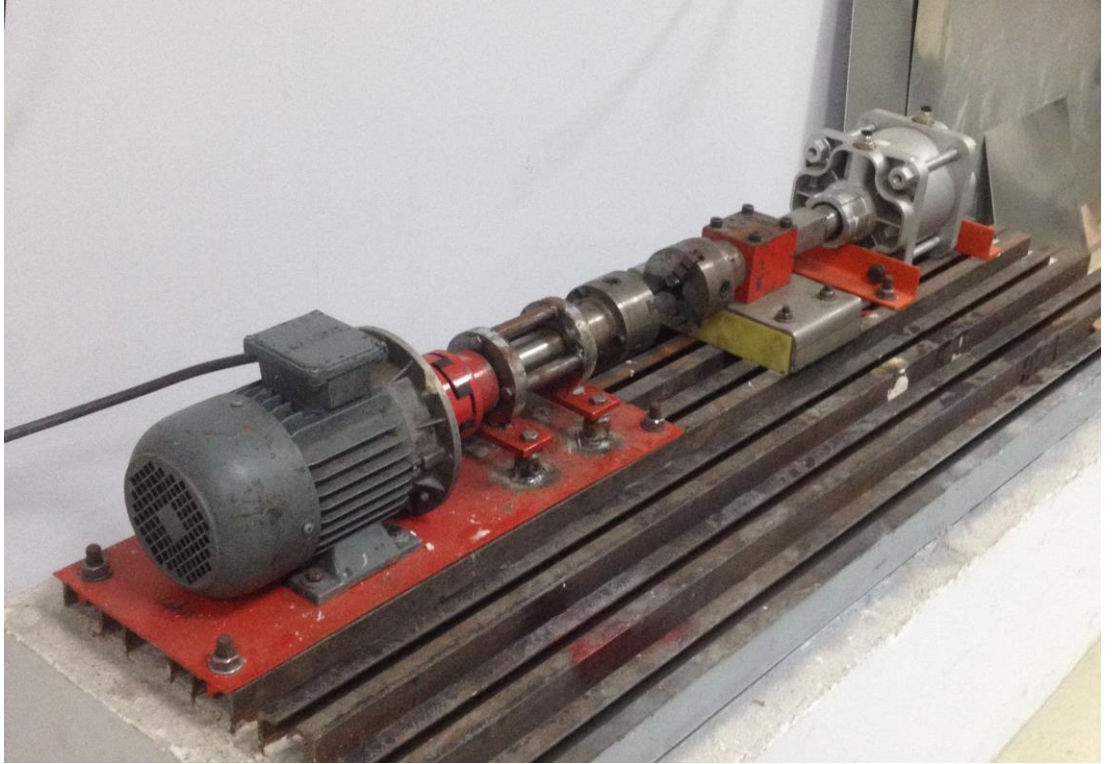


### 3. SÜRTÜNME KAYNAK MAKİNASININ GELİŞTİRİLMESİ

#### 3.1 Mevcut Sürtünme Kaynak Makinasındaki Sorunların Tespiti

Daha önce yapılan yüksek lisans tezinde üretilen sürtünme kaynak makinası tamamen incelenmiş ve çeşitli kaynak deneyleri yapılarak makinadaki sorunlar tespit edilmiştir.

Düzenleme öncesi sürtünme kaynak makinası Şekil 3.1’de gösterilmektedir.

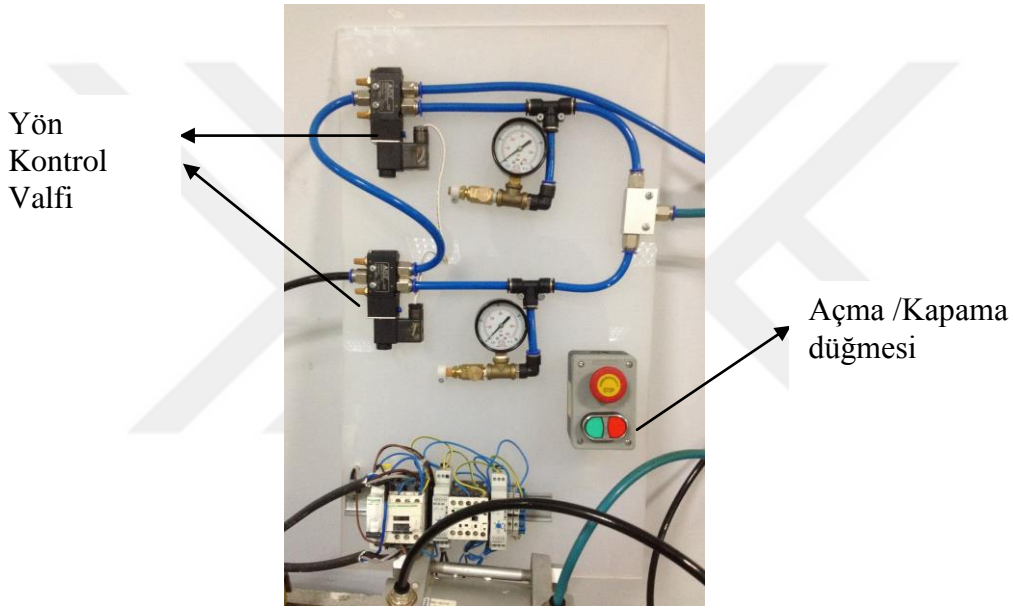


**Şekil 3.1:** Düzenleme Öncesi Sürtünme Kaynak Makinası

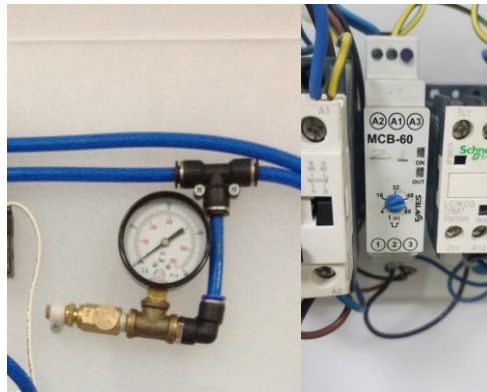
Makina üzerinden yapılan incelemeler ve kaynak deneyleri sonucunda;  
Sürtünme kaynak makinasında Şekil 3.1’de görülen sabit aynayı tutan ve piston hareketini sağlayan betona gömülü kızaklara bağlanan ayna tutucu, sarı renkli polyamid malzemedeki işlendiği için kaynak sırasında esnemekte ve salınım yapmaktadır.

Polyamid parça beton içindeki kızaklara M10 alyan başlı somunlu vidalar ile bağlanmış ancak polyamid parça üzerindeki delikler 14 mm çapında ve merkezleme yapılmadan delindiği için vidaların sıkılması esnasında aksel olarak kaymalar yaşanmakta ve tutucu aynalar birbirine kolay şekilde merkezlenememektedir.

Ayrıca alttaki sarı polyamid parça bir şekilde sabitlense dahi Şekil 3.1’de görülen sarı polyamid üzerindeki çelik parçada hareketi sağlayan boşluk 50x50 mm olası gerekiren 51x51 mm olarak işlendiğinden hareket esnasında yukarı, aşağı ve sağa, sola hareket etmektedir. Buda kaynağı olumsuz etkilemektedir. Ayrıca sabit aynanın, döner ayna ile merkezlenebilmesi için parçalar üzerinde hiçbir ayar yeri bulunmamaktadır.



Şekil 3.2: Sürtünme Kaynak Makinası Panosu



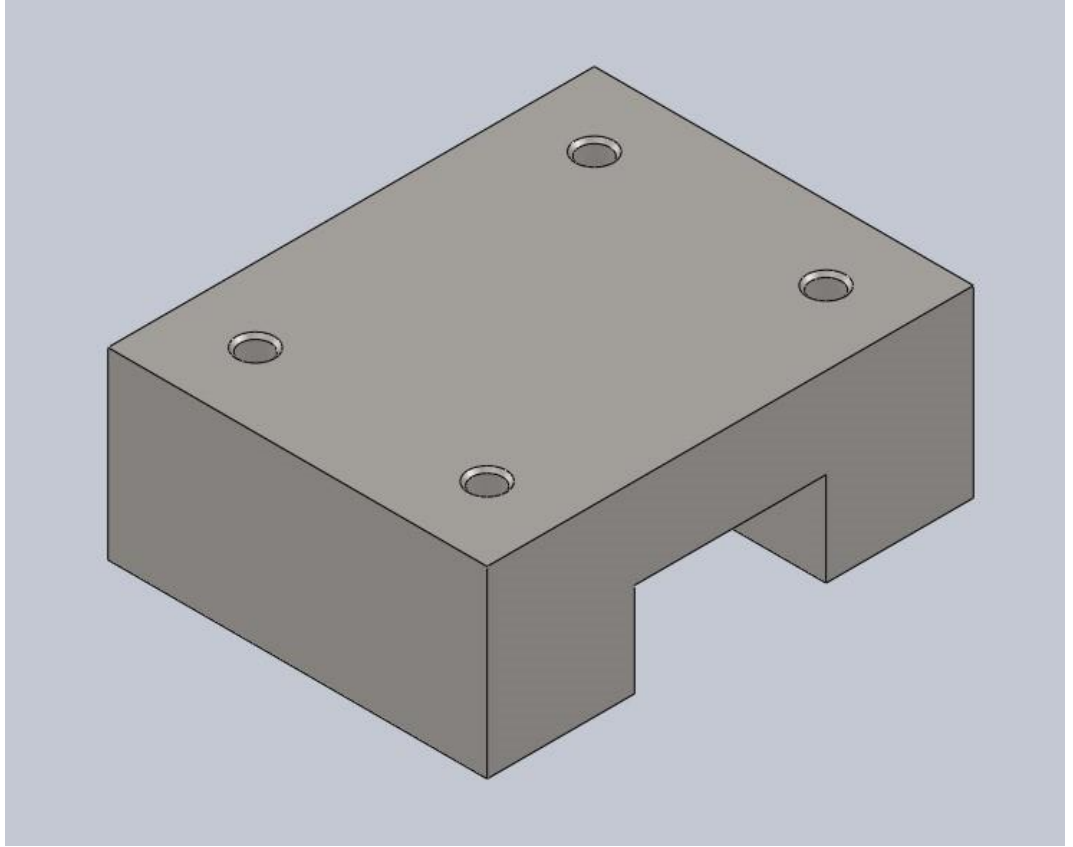
Şekil 3.3: Basınç Manometresi Ve Zaman Rölesi

Şekil 3.2’ de gösterilen pano üzerinden sürtünme kaynağı parametreleri olan sürtünme basıncı, yığma basıncı, sürtünme zamanı ve yığma zamanı ayarlanmaktadır. Sürtünme

kaynağında parametrelerin ayarlanması ve okunması kaynak için çok önemlidir. Sürtünme zamanı ve yığılma zamanı sistem üzerindeki zaman rolleriyle kontrol edilmektedir. İstenen süre zaman röleleri üzerinden istenilen şekilde ayarlanabilmektedir. Ancak sürtünme basıncı ve yığılma basıncı, basınç manometrelerinin (Şekil 3.3) 10 bar ve katlarında gösterim yapmasından dolayı hassas olarak ayarlanamamaktadır.

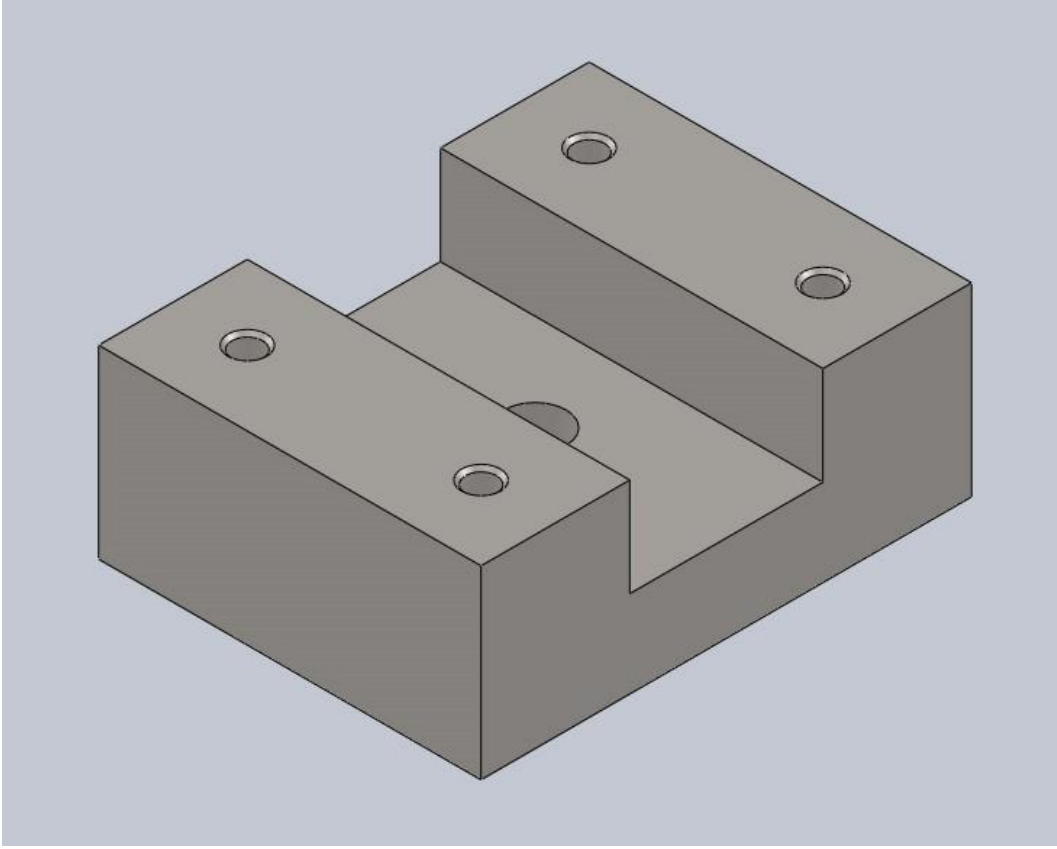
### 3.2 Sabit Ayna Yatağının Solidworks İle Modellenmesi

Yapılan tespitler sonucu makina üzerinden gerekli ölçümler yapılmıştır.Sabit ayna tutucusu Şekil 3.4, Şekil 3.5, Şekil 3.6, Şekil 3.7, Şekil 3.8, Şekil 3.9 ve Şekil 3.10,'da görüldüğü gibi modellenmiş ve ölçülendirilmiştir.



**Şekil 3.4:** Ayna Üst Tutucu Parçası

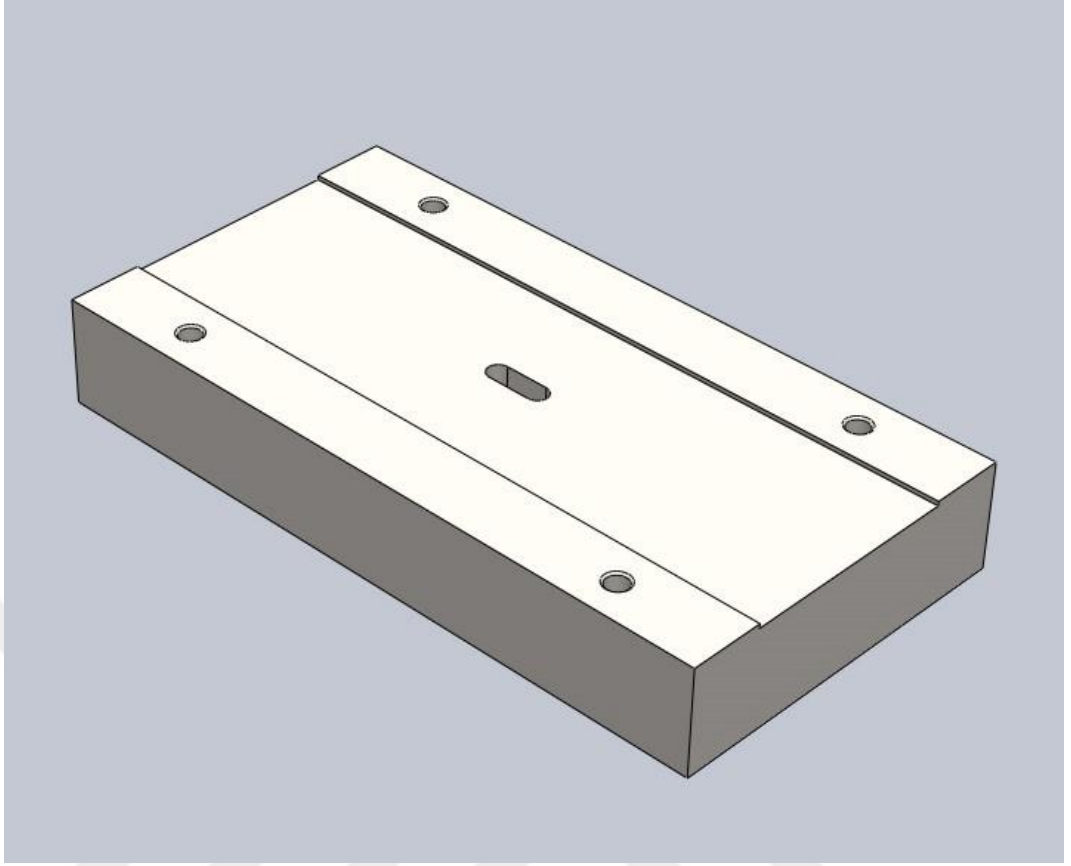
Şekil 3.4'te gösterilen ayna üst tutucu parçası kaynak yapılacak parçalardan aksenal hareket yapacak parçanın bağlandığı aynayı döndürmeden tutmak için kullanılacaktır.



**Şekil 3.5:** Ayna Alt Tutucu Parçası

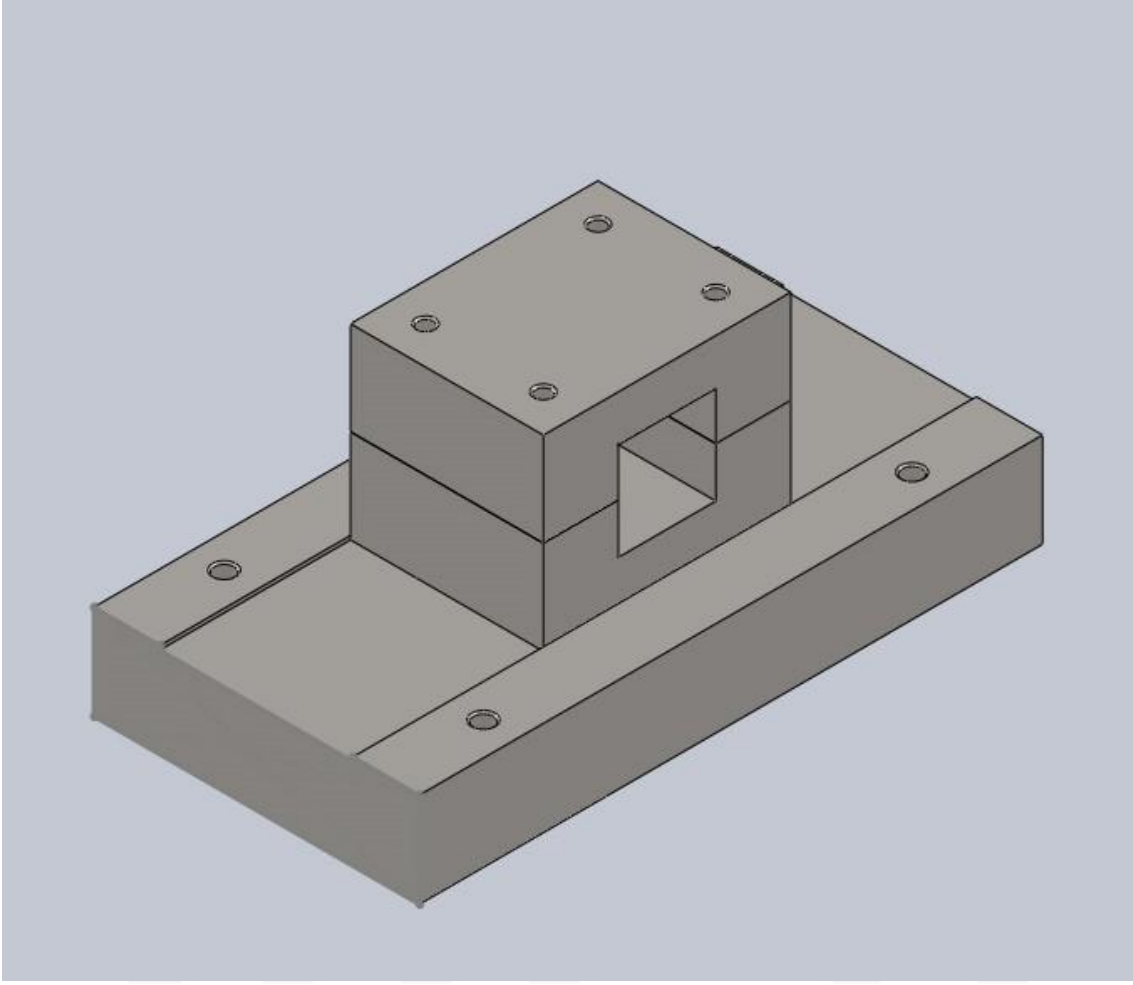
Şekil 3.5'te gösterilen ayna alt tutucu parçası ve Şekil 3.4'te gösterilen ayna üst tutucu parçası ile birleştirilecek ve arasında oluşan kanalda sabit ayna aksenal olarak kontrollü şekilde hareket edecektir.





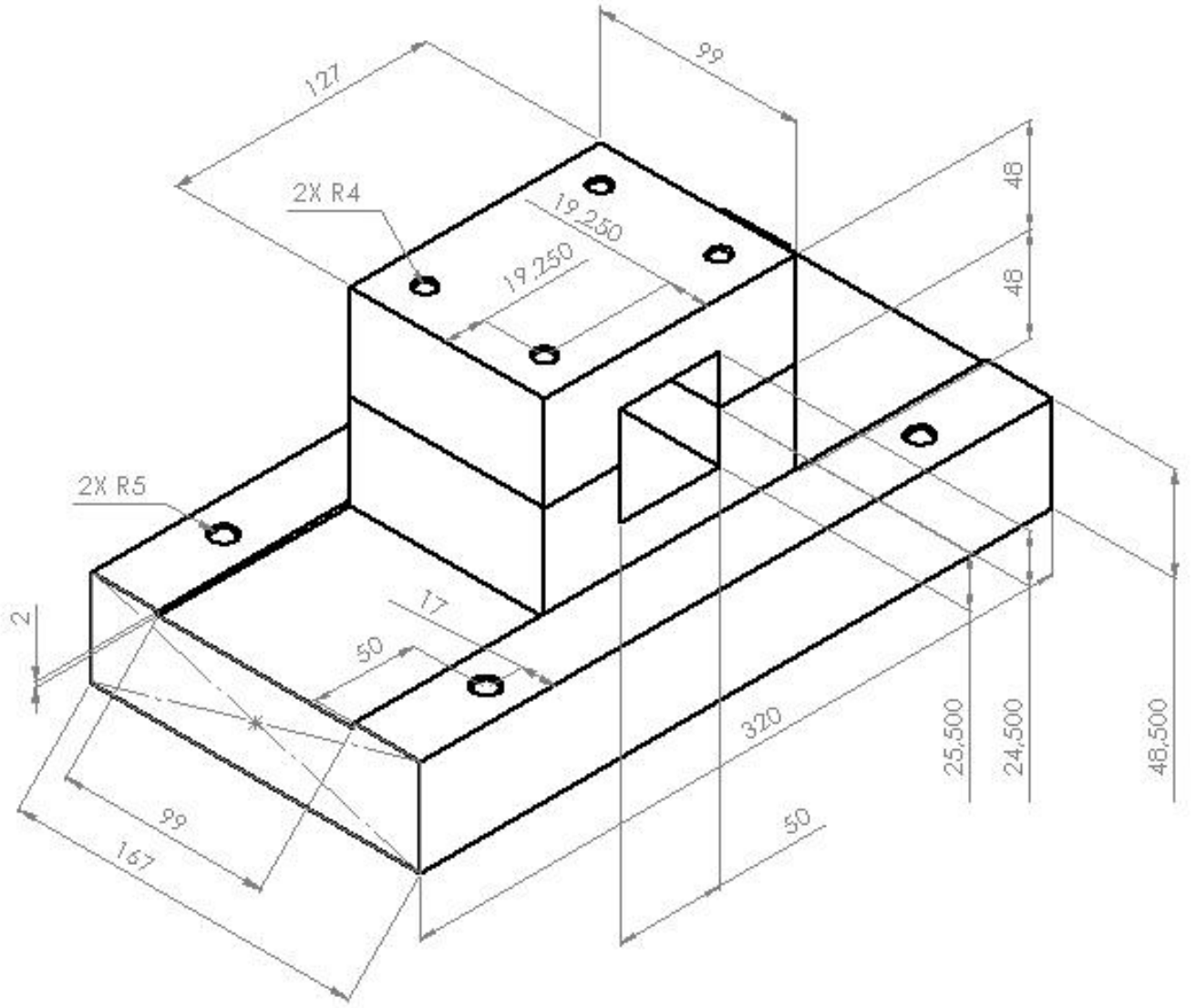
**Şekil 3.6:** Ana Tutucu Parça

Şekil 3.5’te gösterilen ayna alt tutucu parçasının merkezindeki delikten Şekil 3.6’da gösterilen ana tutucu parçadaki hareketli kızağa merkezleme işlemi yapılarak civata yardımıyla sabitlenecek sonrasında Şekil 3.4’ te gösterilen ayna üst tutucu parçası , ayna alt tutucu parçasına civatalanacaktır.



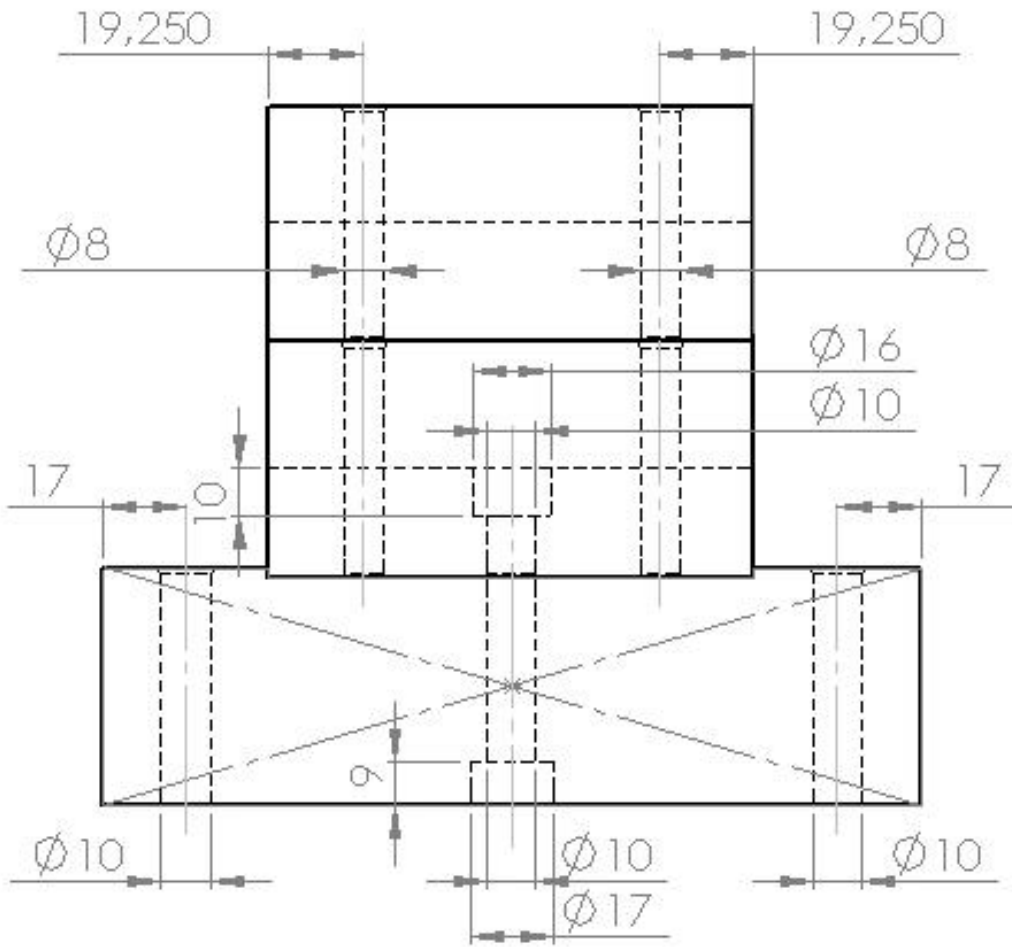
**Şekil 3.7:** Montaj Şeması

Şekil 3.7’ de sabit aynayı tutacak parçaların montaj şeması gösterilmektedir.

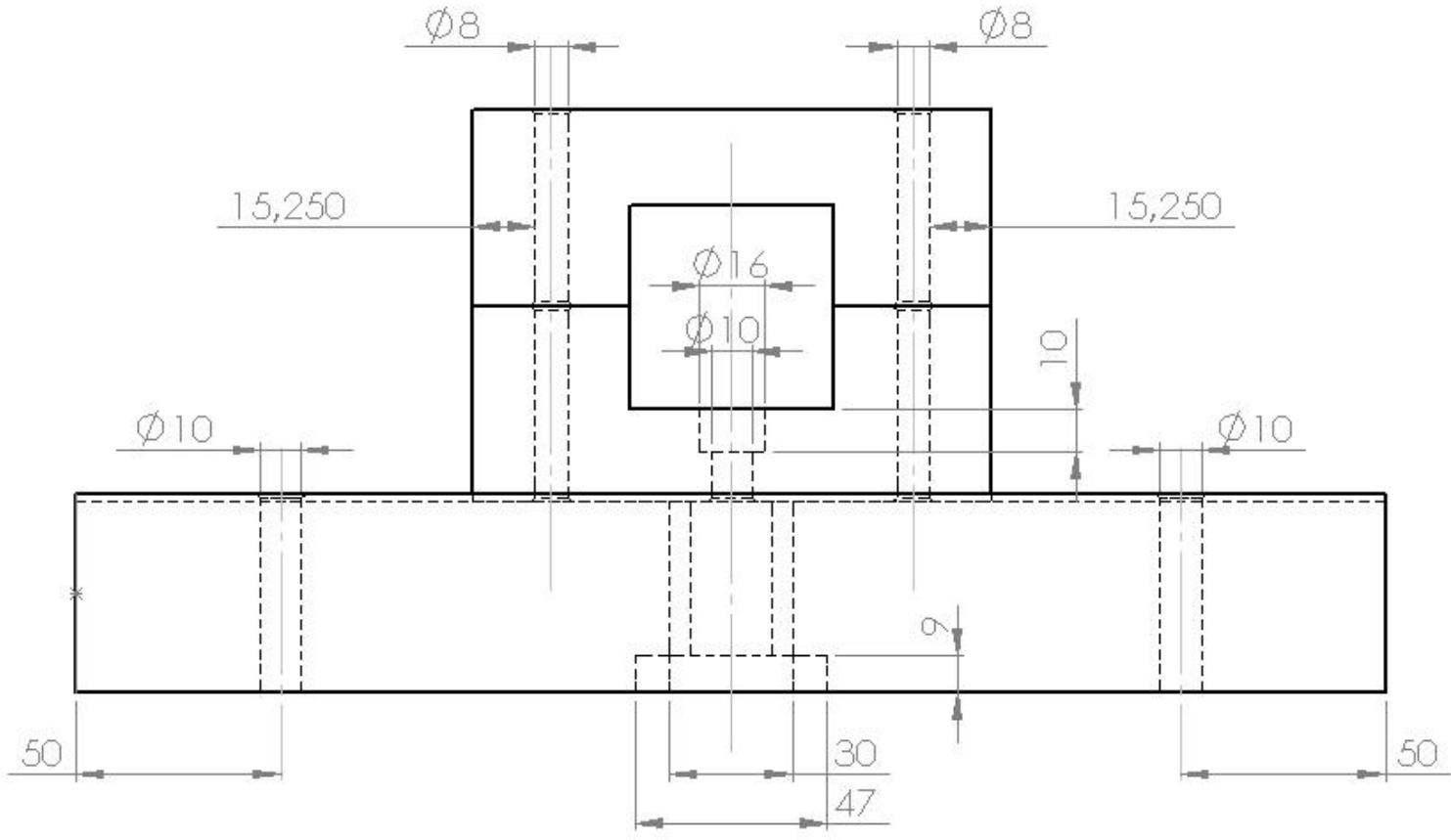


Şekil 3.8: Teknik Çizim 1

Parçalara ait ölçümlendirme detayları Şekil 3.8, Şekil 3.9 ve Şekil 3.10'da gösterilmektedir.



**Şekil 3.9:** Teknik Çizim 2



Şekil 3.10: Teknik Çizim 3

### 3.3 Tasarlanan Parçanın İşlenmesi Ve Montajı

Tasarımı yapılan parçalar için SAE 1040 imalat çeliği kullanılmış olup kenarlardan, alt ve üst yüzeylerden 1 cm işleme payı bırakılarak oksii-asetilen ile kesilmiştir. (Şekil 3.11)



Şekil 3.11: Çelik Bloğun Oksii-Asetilen İle Kesilmesi

Malzeme yüzeyleri frezede yüzey tarama kafası kullanılarak temizlenmiş ve istenilen ölçülere getirilmiştir. (Şekil 3.12)



**Şekil 3.12:** Malzeme Yüzeylerinin Temizlenmesi 1

Son yüzey pasosu minimum olarak ve yavaş adımda verilip malzeme yüzeylerinin kusursuz şekilde çıkması sağlanmıştır.(Şekil 3.13)



**Şekil 3.13:** Malzeme Yüzeylerinin Temizlenmesi 2



Ana tutucu parça üzerine, ayna alt tutucu parçası ve ayna üst tutucu parçası döner tabla ile merkezlenebilmesi için 2 mm lik bir hareket kanalı açıldı. (Şekil 3.14.)



**Şekil 3.14:** Ana Tutucu Parça Üzerine Hareket Kanalı Açılması

İz boyası yardımıyla ana tutucu parçanın beton blok üzerindeki kanallara bağlanacağı civata deliklerinin yerleri işaretlendi ve 10 mm lik matkap ucuyla civata bağlantı delikleri delinmiş ve havşalanmıştır. (Şekil 3.15)



**Şekil 3.15:** Bağlantı Deliklerinin Açılması 1



Ayna alt tutucu parçasının sağı ve sola hareket edebilmesi için ana tutucu parçasının merkezinden 10 mm lik karbür freze uçla 10 mm x 30 mm genişliğinde hareket boşluğu açılmıştır.



**Şekil 3.16:** Bağlantı Deliklerinin Açılması 2

Ana tutucu parça, mendede ters çevirilerek ayar sırasında parçaların sökülmemesi için M10 civatanın somununu tutacak şekilde 10 mm derinliğinde 17 mm x 47 mm genişliğinde boşaltılmıştır. (Şekil 3.17)



**Şekil 3.17:** Somun Tutucu Boşluğun İşlenmesi



Ayna alt tutucu parçası ve ayna üst tutucu parçası, sabit aynaya bağlı 50x50 mm lik piston hareketinin iletilmesini sağlayan kare çeliğin hareketi için 50.05x50.05 mm ölçülerinde 16 mm lik karbür freze ucuyla boşaltılmıştır. (şekil 3.18)



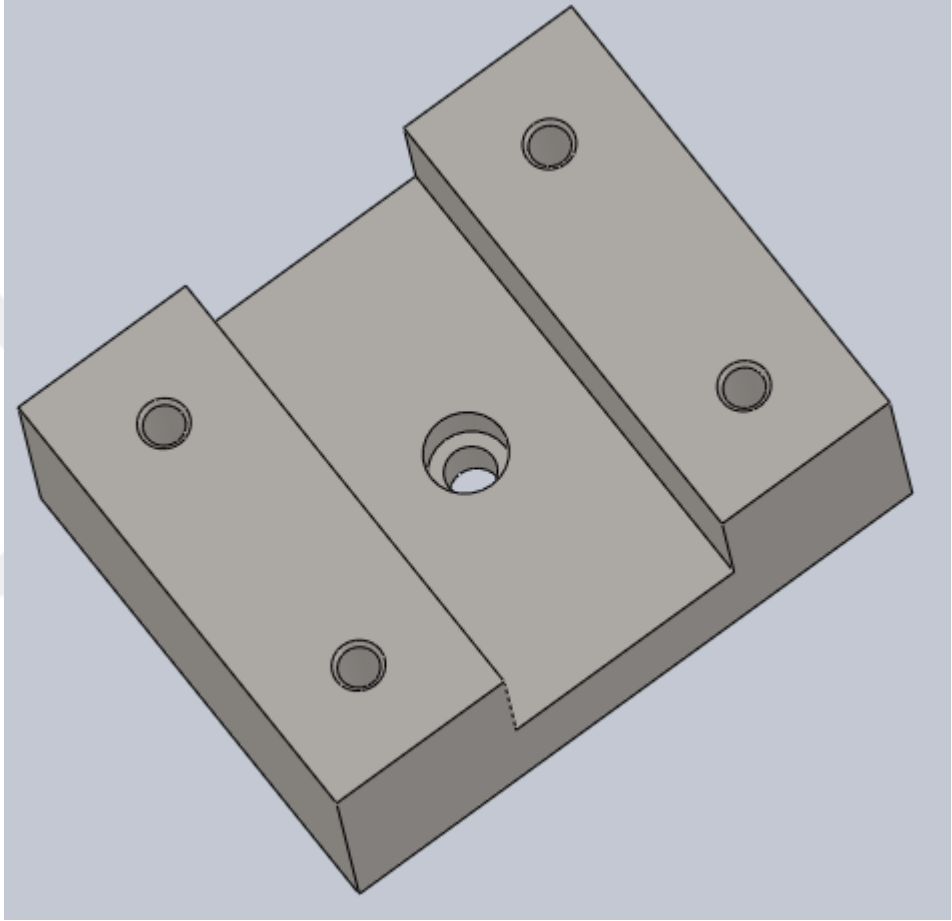
**şekil 3.18:** Hareket Boşluklarının Açılması

Ayna üst tutucu parçası teknik çizimde ölçülendirildiği gibi iz boyasıyla işaretlenerek 10 mm çapında 4 noktadan delinmiş ve havşalanmıştır. Ayna alt tutucu parçasıda iz boyasıyla işaretlenerek 4 noktadan 8.5 mm'lik matkap ucuyla delinmiş ve M10 kılavuz ile diş çekilmiştir. (Şekil 3.19)



**Şekil 3.19:** Deliklerin Delinmesi

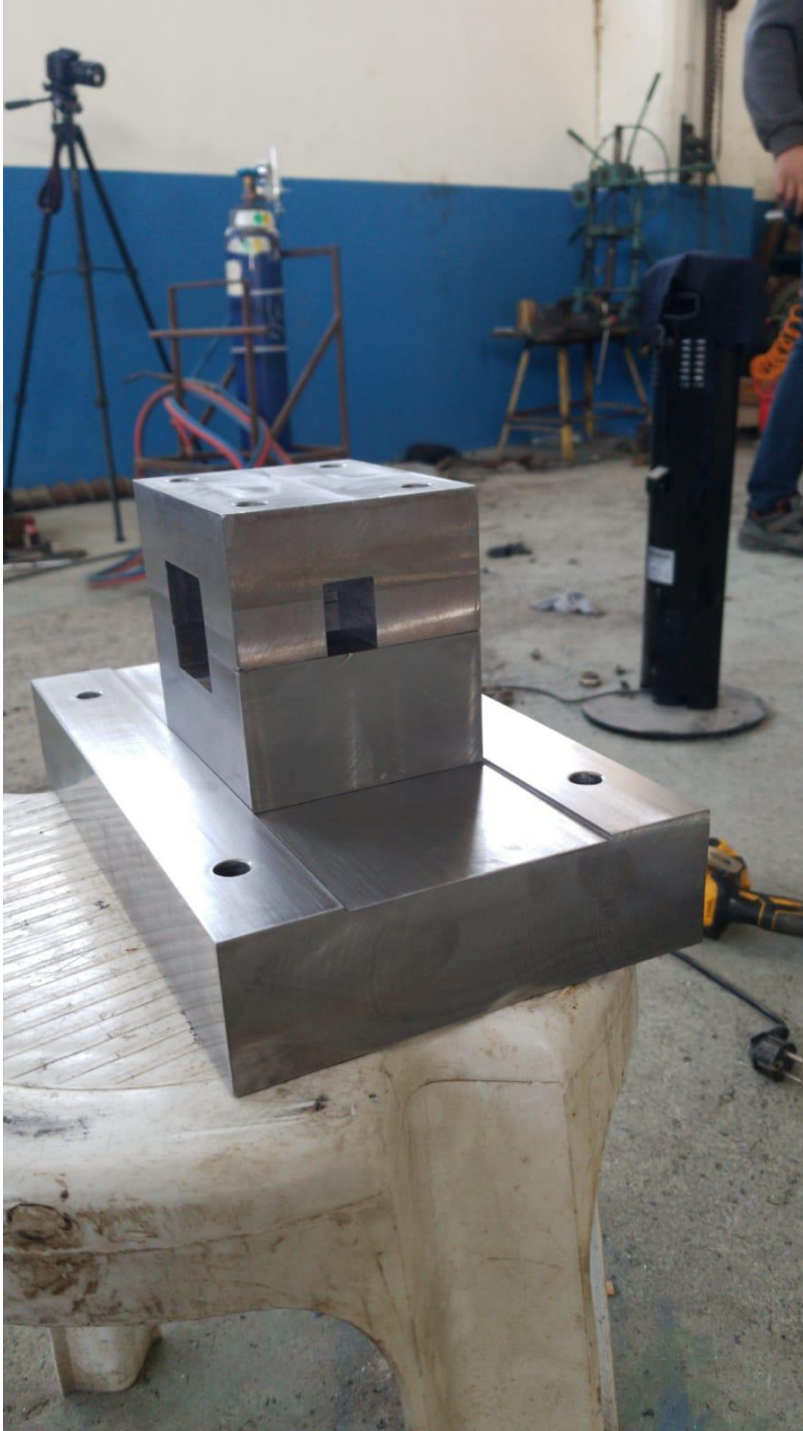
Ayna alt tutucu parçasını, ana tutucu parçaya sabitleyecek olan bağlantı deliği, ayna alt tutucu parçasının merkezi iz boyasıyla işaretlenerek 10 mm'lik matkap ucuyla delinmiştir. M10 civatanın baş tarafının parça içine gömülmesi için 16 mm'lik karbür freze ucuyla 10 mm derinliğinde üst taraftan tekrar delinmiş ve havşalanmıştır. (Şekil 3.20)



**Şekil 3.20:** Ayna Alt Tutucu Parçası Bağlantı Deliği



Parça işlemleri tamamlandıktan sonra bütün parçalar 1500 kum ardından 2000 kum zımpara ile temizlenmiş ve yüzeyler keçe ile parlatılmıştır .(Şekil 3.21)



**Şekil 3.21:** Yüzeylerin Parlatılması



Parçaların montajı Şekil 3.22' de görüldüğü gibi yapılmış, sabit ve dönen ayna birbirine merkezlenmiştir.



**Şekil 3.22:** Parçaların Montajının Yapılması

### 3.4 Basınç Manometrelerinin Değiştirilmesi

Sistemde mevcut 10 bar ve katlarını gösteren basınç manometreleri sklerek yerine 1 bar ve katlarını gösteren basınç manometreleri takılmıştır. Bu sayede sistem de daha hassas basınç ayarı yapılabilir hale getirilmiştir. (şekil 3.23)



şekil 3.23: Basınç Manometreleri

## 4. DENEYSEL ÇALIŞMA

### 4.1 Hedeflenen Kaynak İçin Makina Elemanları Üzerine Yapılan Hesaplamalar

#### 4.1.1 Aksenal kuvvet hesabı

Kaynağı yapılacak 8 mm' lik malzemeler için yüzey alanı hesaplanması yapılmıştır.

$$A = \pi * (d^2 / 4) = 3,14 * 8^2 / 4 = 50,265 \text{ mm}^2$$

Denklem, “soğuk şekil verilmiş alüminyum malzemelerinin sürtünme kaynak yöntemiyle birleştirilmesi üzerine deneysel bir çalışma” adlı makaleden yararlanılarak oluşturulmuştur.[13],[14],[15]

Buna göre sürtünme basıncı için 35 MPa yığılma basıncı için 90 MPa basınç değeri alınmıştır.

$$F_{\text{sürtünme}} = 50,265 \text{ mm}^2 * 35 \text{ N/mm}^2 = 1759 \text{ N}$$

$$F_{\text{yığılma}} = 50,265 \text{ mm}^2 * 90 \text{ N/mm}^2 = 4523 \text{ N}$$

4523 N luk luk aksenal kuvvet baz alındığında daha büyük numune çaplarındada kaynak yapabilmek adına, sürtünme kaynak makinasında kullanılan, 6 bar da 12000 N' luk itme kuvveti sağlayan silindir çapı 160 mm ve mil çapı 40 mm olan Pemaks marka pnömatik piston hedeflenen kaynak için uygundur.

#### 4.1.2 Döndürme momentinin hesaplanması

$$M = 2 / 3 (\pi P \mu R^3) = 2 / 3 * 3,14 * 90 \text{ N/mm}^2 * 0,15 * (4 \text{ mm})^3 = 1808,64 \text{ Nmm}$$

Sürtünme kaynak makinasında kullanılan 1.1 kW gücünde 1430 d/d lik Gamak motor hedeflenen kaynak için uygundur.

## 4.2 Malzeme Çiftlerinin Belirlenmesi

3 farklı malzeme ile kaynak gerçekleştirilmiştir.

- Çelik-Çelik
- Çelik-Alüminyum
- Alüminyum-Alüminyum

Kullanılan AA 2024 alaşımının bileşiminde maksimum % 92 oranında alüminyum içermektedir. Bileşim oranları Çizelge 4.1 de verilmiştir. [Url 1]

**Çizelge 4.1: Alüminyum (AA 2024) bileşimi**

Alaşım Elemanı	Ti	Fe	Si	Zn	Cu	Mg	Mn	Cr
%	0,15	0,5	0,5	0,25	4,4	1,5	0,6	0,1

Kullanılan SAE 1040 imalat çeliğinin bileşim oranları ise Çizelge 4.2' de gösterilmiştir [Url 2]

**Çizelge 4.2: SAE 1040 imalat çeliği bileşimi**

Alaşım Elemanı	C (Karbon)	Si (Silisyum)	Mn (Mangan)	P (Fosfor)	S (Kükürt)
%	0.40- 0.50	0.25-0.35	0.60-0.90	0.04	0.05

### 4.3 Malzeme Çiftleri İçin Belirlenen Kaynak Parametreleri

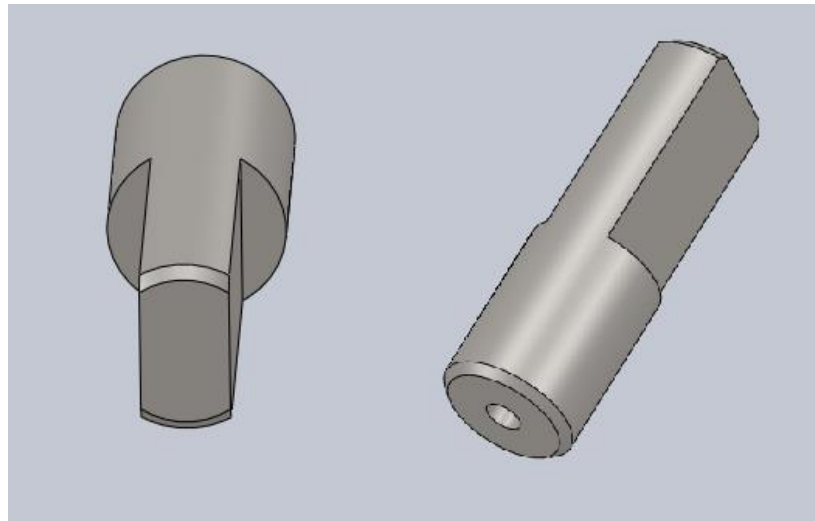
Çizelge 4.3: Kaynak parametreleri

Malzeme Çifti	No	Sürtünme Basıncı (bar)	Sürtünme Zamanı (sn)	Yığma Basıncı (bar)	Yığma Zamanı (sn)
Çelik-Çelik 1	1	2	27	5	4
Çelik-Çelik 2	2	3	27	6	4
Çelik-Alüminyum 1	3	2	25	5	4
Çelik-Alüminyum 2	4	3	25	6	4
Alüminyum-Alüminyum 1	5	2	20	5	4
Alüminyum-Alüminyum 2	6	3	20	6	4

### 4.4 Çekme Testi

Üniversitemizde bulunan çekme test cihazının dairesel parçaları tutacak çeneleri olmadığı için numunelerin bağlanabileceği aparatlar tasarlanmış ve üretilmiştir.

#### 4.4.1 Bağlantı aparatlarının modellenmesi ve imalatı



Şekil 4.1: Solidworks İle Tutucu Parça Tasarımı

Şekil 4.1' de gösterilen tutucu parçalar 90 mm uzunluğunda 29.9 mm çapındadır. Tutucuların çekme makinası çenelerine takılacak olan kısımları 15 mm kalınlığında 50 mm uzunluğundadır. Tutucunun uç tarafına sürtünme kaynağı yapılmış numunelerin vidalanacağı M8 x 15 mm diş çekilmiştir. Malzemenin kenarları 2 mm 45 derece pahlanmıştır.



**Şekil 4.2:** İşlenecek Parçaların Kesilmesi



**Şekil 4.3:** Parça Boylarının Tornada Ölçülendirilmesi

Şekil 4.2' de çelik malzeme 30 mm çapında, 95 mm uzunluğunda kesilmiştir.Şekil 4.3' te parça boyu tornada 90 mm uzunluğuna iki yüzeyi temizlenerek çizilen ölçülere getirilmiştir.



**Şekil 4.4:** Parça Yüzeylerinin Tornada Ölçülendirilmesi



**Şekil 4.5:** Metrik Diş Çekimi

Şekil 4.4' te parçaların dış yüzeyi 30 mm çapından 29.9 mm çapına düşürülerek yüzeyleri temizlenmiş ve zımpara ile parlatılmıştır.Parça kenarları 2 mm derinliğinde 45



derece açılı ile pahlanmıştır. Şekil 4.5’ te numune bağlanacak yüzey merkezlenerek vidalar M8 olacak şekilde dış çekilmiştir.



**Şekil 4.6:** Makina Bağlantı Kısımlarının İşlenmesi



**Şekil 4.7:** İşlenmiş Tutucu Aparatlar



Şekil 4.6' te parçaların çekme makinasına takılacak kısımları 50 mm derinliğinde, 29.9 mm olan çap merkezli olarak sağ ve sol taraftan frezelenerek 15 mm olarak işlenmiştir.Bitmiş parçalar Şekil 4.7' da gösterilmektedir.



**Şekil 4.8:** Kaynağı Yapılmış Parçaların Çekme İşlemine Hazırlanması

Şekil 4.8' de gösterilen parçaların kaynak bölgelerindeki şişme tornada temizlenmiş ve tutucu aparata bağlanabilmesi için alt ve üst ucu M8 paftalanmıştır.

#### **4.4.2 Çekme deneyi**

Sürtünme kaynağı ile kaynağı gerçekleştirilen aynı ve farklı tip numunelere uygulanan pilot kaynak işleminin yeterli olarak kabul edilebilmesi adına çekme deneyi uygulanmıştır.

Çekme deneyi sırasında hazırlanan çenelerin çekme makinasında kayması nedeniyle, çekme çenelerinin kullanılmasında vazgeçilerek numuneler doğrudan çekme makinasına bağlanmış ve çekme kuvvetleri kaydedilmiştir

Buna göre çekme testi uygulanan numunelerin parametreleri ve sonuçları Çizelge 4.4 'teki gibidir.

Çekme dayanımı aşağıdaki formülasyon ile hesaplanmıştır.

$$\sigma_{\max}: F_{\max}/A_0$$

$\sigma_{\max}$ : Çekme Dayanımı

$F_{\max}$ : Maksimum Kuvvet

$A_0$ : Kesit alanı

**Çizelge 4.4:** Çekme dayanımı uygulanan numunelerin parametreleri

Numune No	Malzeme Çifti	Çap (mm)	Kesit Alanı (mm <sup>2</sup> )	$F_{\max}$ (N)	$\sigma_{\max}$ (N/mm <sup>2</sup> )
1	Çelik-Çelik	7,6	45,364	13200	290,980
2	Çelik-Çelik	7,1	39,591	12950	328,980
3	Al-Çelik	7,8	47,783	6010	125,776
4	Al-Çelik	7,7	46,566	6400	137,777
5	Al-Al	7,6	45,364	5980	131,822
5	Al-Al	7,8	47,783	6600	138,124

Çizelge 4.4' te görüldüğü gibi çelik-çelik çiftinde çekme dayanımı ortalama olarak 300 MPa civarındadır. Elde edilen değerler katalog çekme dayanımı değeri 500 MPa olan çelik malzemeye yakındır. Alüminyum-çelik çiftinde ise çekme dayanımları ortalama olarak 130 MPa civarındadır. Bu çekme dayanımının zayıf olan malzemeye göre belirlendiğini ortaya koymaktadır. Alüminyum-alüminyum çiftinde ise çekme dayanımı 135 MPa değerlerinde olup kaynaklı numunenin katalog değeri olan 185 MPa a yakın değerler elde edilmiştir.

Bu değerler yapılan sürtünme kaynak makinasının deneysel çalışmalara uygun olduğunu göstermektedir.

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

İlave bir sisteme ihtiyaç duyulmadan, dışarıdan bir kompresörün oluşturduğu basınç yardımıyla uygulanan aksel kuvvetler(sürtünme ve yığma) kullanılarak sürtünme kaynak yönteminin farklı metal numune çiftlerine uygulanması sağlanmıştır.

Laboratuar ortamında geliştirilerek imal edilen sürtünme kaynak makinasında devir sayısı 1430 d/d olarak uygulanmış, bağlanabilecek numunelerin çapları 13 mm'ye kadar ve boyları 120 mm'ye kadar değiştirilebilmektedir.

Geliştirilen makinanın uygulanabilirliğini test edebilmek için bir dizi pilot birleştirme işlemi uygulanmıştır. Bu işlemlerde, sistem pnömatik basıncı(Maksimum 8 Bar) dikkate alınarak ve literatürde tavsiye edilen parametreler içinde kalmak üzere, AA 2024 alüminyum ve 1040 çelik numuneler ile farklı kombinasyonlar ile çalışılıp çeşitli kaynak parametreleri denenmiş ve kaynaklama işlemi gerçekleştirilmiştir. Numune çapı olarak 8 mm ve parça uzunlukları olarak da 45 mm değerleri uygulanmıştır.

Kaynak esnasında sürtünme ve yığma basıncı ayarlı çek valfler ile istenilen değerlerde tutulmuş ve sürtünme ve yığma süreleri zaman rolleri ile istenilen süreye ayarlanmıştır.Numuneler farklı kaynak parametrelerinde farklı çekme dayanımı değerleri ortaya koymuştur.

Kaynağın gerçekleşme süresi kısadır. Kaynak esnasında ısınan yüzey alanları küçük olduğundan kaynağın soğumasında hızlı şekilde gerçekleşir.Kaynak işlemi gerçekleştirildikten sonra numuneler hava ile soğutulmuştur. Kaynak bölgesindeki sertlik değerleri incelenmiş olup ciddi sertlik değişimleri gözlemlenmemiştir.

Tezin ana amacına uygun olarak yapılan pilot birleştirme sonuçları yeterli olarak kabul edilebilir olmasına karşılık, numune boyutları, kaynak parametreleri ve malzeme çiftleri değiştirilerek daha geniş kapsamlı deneysel çalışmaların yürütülmesi uygun olacaktır.

Genel olarak değerlendirme yapacak olursak kaynak işlemi gerçekeştirilecek parça boyutları kadar, farklı türdeki malzemelerinde kaynak edilebilmesi bakımından sürtünme kaynağının endüstriyel anlamda birçok uygulama alanı vardır. Diğer kaynak yöntemlerine ile kıyaslanacak olursa, getirdiği üstünlükler ve uygun maliyetler sebebi ile tercih edilebilir bir kaynak türü haline gelmiştir. Bu avantajlardan dolayı ilerleyen dönemde daha yaygınlaşacağı ve kullanımının artacağı düşünölmektedir.



## KAYNAKLAR

- [1] Yılmaz, M., "Farklı Takım Çeliklerinin Kaynağında Kaynak Bölgesinin İncelenmesi", Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 1983
- [2] Ertuğ, A., "Sürtünme Kaynağı" Mühendis ve Makine Dergisi. C.; 21, Sayı;241, 1997
- [3] Gürleyik, M. Y. ,Mühendis ve Makine Dergisi, C.: 16, S.;241, 1997
- [4] Amk, S., "Kaynak Teknolojisi El Kitabı", İstanbul, 1983 p
- [5] Von Dipl.- Ing. Appel, H.G., Dip. - Ing.Böhle, P, und Prof. Dr. - Ing. Habil. Dr.+Ing h.c. Erdmann, F, "Metallografie und Festigkeitscerhalten von Reibschweißverbindungen an unterschiedlichen Werkstoffen" Materials, DVS pp: 1-17, Düsseldorf, 1968
- [6] Tensi, H.M., Welz,w. Und Schwlam, M., "Temperaturen beim Reibschweißen von Aluminiumwerkstoffen", München pp:515-517 58. Jahrg, 1982
- [7] G·runauer, H, Gürleyik, M.Y., "Döküm Parçaların Sürtünme Kaynağı", Mühendislik ve Makine Dergisi, C.;30, S.;357, 1989
- [8] Reiners, Geprge ve Kreye, Heinrich, "Mikrostruktur und Mechanische Eigenshaften von Reibschweißverbindungen aus Aluminum und Stahl" Schwei Ben und Schneiden Hamburg, 40 H elf 3, 1988
- [9] Mechsener, K., und Klock, H., HReibschweißverbindungen an Unterschiedlichem Halbzeug aus Aluminiumverkstaffen" Bonn, pp:59, Jahrg, 1983
- [10] Yashan, D., Tsang, S., Johns, w.l., and Doughty, M.W., "Inertia Friction Welding of 1100 Aluminiuro to type 316 Stainless Steel", Welding Journal, pp. 27-37, 1987
- [11] Karaman, M., "Sürtünme Kaynağı ve Uygulamalan", Sakarya Üniversitesi, 2001.
- [12] ÖZDEMİR, N., Orhan, N., "Yeni Tasarlanmış Bir Sürekli Tahrikli Sürtünme Kaynak Makinasının İmalatı" Mühendis ve Makine, Sayı:508 Mayıs (2002), S. 31-35
- [13] AKATA, H. E., ŞAHİN, M., 2000, Sürtünme Kaynak Tesisatı Çalışması, Makine Magazin, Sayı 55, Aralık, S14-19

[14] AKATA, H. E., ŞAHİN, M., 2000, Plastik Şekil Değiştirmiş Çeliklerin Sürtünme Kaynağıyla Birleştirilmesi Üzerine Çalışma, 8-9-10 Mayıs 2002, Denizli

[15] AKATA, H. E., ŞAHİN, M., Soğuk Şekil Verilmiş Alüminyum Malzemelerinin Sürtünme Kaynak Yöntemiyle Birleştirilmesi Üzerine Deneysel Bir Çalışma, Mühendis Makina • Cilt : 48 Sayı: 573

[16] Kaluç, E., 2004. Kaynak teknolojisi el kitabı, MMO Yayınları, No:356, 358s. Ankara.

### **İnternet Kaynakları:**

[Url 1] Anonim, 2019. Alüminyum teknik bilgiler,  
<http://incialuminyum.com/teknik-bilgiler.asp>. Erişim Tarihi: 10.07.2019

[Url 2] Anonim, 2019, 1040 imalat çeliği,  
<http://kalitemetalurji.com.tr/urunlerimiz/imalat-celikleri/1040-imalat-celigi/>  
Erişim Tarihi: 10.07.2019

## ÖZGEÇMİŞ

**Adı Soyadı:**Kerem ABAOĞLU

**Doğum Yeri ve Yılı:** İstanbul 04/11/1991

**E-Posta:** kerem@abaoglu.com



### ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lise:**Gazi Anadolu Lisesi-2009
- **Lisans:**Trakya Üniversitesi Makina Mühendisliği-2015
- **Yüksek Lisans:**Aydın Üniversitesi Makina Mühendisliği-2017-.....,

### MESLEKİ DENEYİM:

- Hidropar Hareket Kontrol Teknolojileri Merkezi San. Tic. A.Ş.,Stajyer-2013-2014,
- Ar-İş Otomotiv A.Ş.,Stajyer-2014-2015,
- Abaoğlu Plastik İnş. Mak. San. Tic. Ltd. Şti.,Makina Mühendisi-2015-2017,
- Abaoğlu Plastik İnş. Mak. San. Tic. Ltd. Şti.,Genel Müdür-2017-.....,