

TASARIM VE İMALATI YAPILAN  
PUNTA KAYNAK MAKİNASINDA  
NESNE YÖNELİMLİ İŞLEM PLANLAMA  
SİSTEMİNİN UYGULANMASI

Serhat KELEŞ

Yüksek Lisans Tezi

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Ocak-2008

TASARIM VE İMALATI YAPILAN PUNTA KAYNAK MAKİNASINDA NESNE  
YÖNELİMLİ İŞLEM PLANLAMA SİSTEMİNİN UYGULANMASI

Serhat Keleş

Dumlupınar Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalında  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Olarak Hazırlanmıştır.

Danışman : Yrd.Doç.Dr.İsmet ÇELİK

Ocak-2008

## KABUL VE ONAY SAYFASI

.....'nın YÜKSEK LİSANS/DOKTORA tezi olarak hazırladığı ..... başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir

...../...../.....

Üye : Yrd. Doç. Dr. İsmet ÇELİK

Üye : Yrd. Doç. Dr. Alparslan DUYSAK

Üye : Yrd. Doç. Dr. Mustafa AYDIN

Fen Bilimleri Enstitüsün Yönetim Kurulu'nun ...../...../..... gün ve ..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## TASARIM VE İMALATI YAPILAN PUNTA KAYNAK MAKİNASINDA NESNE YÖNELİMLİ İŞLEM PLANLAMA SİSTEMİNİN UYGULANMASI

Serhat Keleş

Makine Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi, 2008

Tez Danışmanı: Yrd.Doç. Dr. İsmet ÇELİK

### ÖZET

Bu çalışma ile sanayide yaygın olarak kullanılmakta olan elektrik direnç kaynağı yöntemini verimli kullanmak amaçlanmaktadır. Bu düşünce çerçevesinde bir punta kaynak makinesi tasarım ve imalatı yapılarak, bu makine nesne yönelimli programlama mantığıyla bilgisayar kontrollü hale getirilmiştir.

Sistem kaynak kalitesi, zamanı ve maliyetinde ciddi iyileştirmeler yapılabileceğinin göstergesi olmuştur.

Çalışma, mekanik, pnömatik, elektronik, kontrol ve yazılımın bir birleşiminden oluşmuştur. Bu sistem tek bir mikrodenetleyici ile kontrol edilmekte ve tek noktadan merkezi bir kontrol ağı kurmayı mümkün kılmaktadır. Bilgisayar programı kolay anlaşılabilir ve görsel olarak hazırlanmıştır. Programdan seçilecek birkaç parametre ile sistem kaynak yapmaya hazır hale gelmektedir. Böylece ayar süreleri azalmakta, işçilik hataları en aza inmektedir.

Sistem tasarımında, mekanik aksamdaki kayıpları en aza indirmek için minyatür arabalar tercih edilmiştir. Bu arabaların sürtünme katsayısı düşük ve hareket yeteneği yüksek olduğundan, triger kayış, kasnak sistemini step motorlar ile hareket ettirebilmek mümkün olmuştur. Step motorların tercih nedeni mikroişlemciler ile kolay kontrol edilebilmesidir.

Yazılımda nesne yönelimli programlama kullanılmasından dolayı yeni özellikler eklenmesi de kolaydır. Kullanım sırasında ek özellik ihtiyaçları doğması durumunda basit işlemler ile kontrol sistemine eklenmektedir.

**Anahtar kelimeler:** Elektrik Direnç Kaynağı, İmalat, Kontrol, Mikrodenetleyici, Nesne Yönelimli Programlama

**OBJECT ORIENTED SYSTEM MODELING  
BASED SPOT WELDING MACHINE  
DESIGN AND IMPLEMENTATION**

Serhat Keleş

Mechanical Engineering, M.S. Thesis, 2008

Thesis Supervisor: Assist.Prof. İsmet ÇELİK

**SUMMARY**

With this work we purpose to use electrical resistance welding, which used in industry very common, much effective way. According to this idea an electrical resistance welding is designed and produced, then this machine converted to computer controlled electrical resistance welding with object oriented programming.

The system indicates welding quality, welding time and welding cost can seriously get better.

The work combines mechanics, pneumatic, electronics, control and software. This system is being controlled with single microcontroller and makes possible a central control network from one point. The software is designed easy to understand and visual. With selecting several parameters the system gets ready for melting. With this way the setup time decreases and workman mistakes become minimum.

In system design, miniature ball rail systems are chosen for decreasing the loss from mechanic parts. The cars have low friction coefficient and high ability of movement, so it makes possible to move trigger strap, tambour system with stepping motor. Stepping motors are chosen because it is easy to control with microcontroller.

Because of using object oriented programming it is also easy to add new features. If additional features are needed while using the machine its easy to add the features with simple steps to control system.

**Keywords:** Electric Resistance Welding, Manufacture, Control, Microcontroller, Object Oriented System Modeling

## TEŞEKKÜR

Bu çalışmada öncelikle bana her konuda yardımcı olan başta danışman hocam Yrd. Doç. Dr. İsmet ÇELİK 'e, desteğini benden hiçbir zaman esirgemeyen aileme teşekkürü bir borç bilirim. Tez çalışmam sırasında bana çeşitli konularda yardımda bulunan tüm arkadaşlarıma ve tüm KEMSAN Kesintisiz Güç Kaynakları Ltd. Şti. ailesine teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca bu çalışma ile birlikte son bulacak yüksek lisans öğrenimim boyunca, bizleri en iyi şekilde eğitmek için çaba gösteren tüm hocalarıma teşekkürlerimi sunarım.

## İÇİNDEKİLER

	<b><u>Sayfa</u></b>
ÖZET.....	iv
SUMMARY .....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. ELEKTRİK DİRENÇ KAYNAĞI ESASLARI .....	2
2.1. EDK Çeşitleri.....	4
3. ELEKTRİK DİRENÇ NOKTA KAYNAĞI.....	5
3.1. EDNK Yöntemleri .....	8
3.2. EDNK İşleminin Esasları .....	11
3.2.1. Mekanik özellikler.....	11
3.2.2. Isı oluşumu ve nedenleri .....	11
3.2.2.1. İş parçası kalınlığının sıcaklık dağılımına etkisi.....	13
3.2.2.2. Kaynak akımının sıcaklık dağılımına etkisi.....	19
3.2.3. Kaynak süresinin EDNK üzerine etkileri.....	21
3.2.4. Elektrot kuvvetinin EDNK üzerine etkileri.....	22
3.2.5. Kaynak yapılan malzemenin EDNK üzerine etkileri.....	23
3.2.6. Kaynak yapılan malzemenin yüzey durumunun EDNK üzerine etkileri .....	23
3.2.7. Isıl dengenin EDNK üzerine etkileri.....	23
3.3. EDNK Temas Dirençleri.....	24
3.3.1. Malzemenin direnci ( $R_m$ ) .....	24
3.3.2. Kaynak işlemi sırasında temas direncinin değişimi ve ısı üretimine katkısı .....	29
3.4. EDNK 'nda Kullanılan Elektrotlar .....	30
3.4.1. Elektrotların fonksiyonu .....	31
3.4.2. Elektrotların bakımı .....	31
3.4.3. Elektrot malzemeleri.....	32

## İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
3.4.3.1. Bakıra dayalı alaşımlar (RWMA grup A).....	32
3.4.3.2. Refrakter metal kompozisyonu (RMWA Grup B).....	34
3.4.3.3. Elkoniteler .....	35
3.4.3.4. EDNK için elektrot malzemesi seçimi.....	36
3.4.3.5. Elektrot ömrü.....	37
<b>4. TASARIM VE İMALATI YAPILAN PROJE İLE İLGİLİ ÇALIŞMALAR .....</b>	<b>38</b>
4.1. Mekanik ve Hareket sistemi .....	39
4.1.1. Alüminyum lama ve profiller .....	39
4.1.2. Minyatür araba ve ray sistemleri .....	41
4.1.3. Triger kayış ve kasnaklar .....	43
4.1.4. Step (adım) motorlar.....	45
4.2. Pnömatik Sistem.....	48
4.2.1. Silindir.....	48
4.2.2. Valf .....	50
4.2.3. Şartlandırıcı.....	50
4.3. Elektronik Kontrol Sistemi .....	51
4.3.1. Mikrodenetleyiciler .....	52
4.3.2. Akım kontrol devresi.....	55
4.3.3. Step motor kontrol devresi .....	56
4.3.4. Valf kontrolü .....	56
4.4. Proje Yazılımı.....	57
4.4.1. Nesne yönelimli programla yaklaşımı .....	60
4.4.1.1. Nesne.....	64
4.4.1.2. Sınıf.....	65
4.4.1.3. Kalıtım .....	66
4.4.1.4. Yeniden kullanılabilirlik.....	67
4.5. Gerçekleştirilmiş Olan Proje ve Çalışma Prensipleri .....	69
<b>5. SONUÇ VE ÖNERİLER .....</b>	<b>75</b>
<b>KAYNAKLAR DİZİNİ .....</b>	<b>76</b>
<b>EKLER .....</b>	<b>78</b>



## ŞEKİLLER DİZİNİ

<b><u>Sekil</u></b>	<b><u>Sayfa</u></b>
2.1. EDK da elektrotlar ve kaynak edilen parçaların şematik görünüşü .....	3
3.1. EDNK temel devre şeması .....	5
3.2. EDNK periyotlarının şematik gösterimi .....	6
3.3. EDNK'na uygunluk kriterleri.....	7
3.4. Tek noktalı direkt kaynak .....	8
3.5. Çok noktalı direkt kaynak .....	9
3.6. Tek noktalı dolaylı kaynak .....	10
3.7. Çok noktalı dolaylı kaynak.....	10
3.8. EDNK sırasında bölgesel sıcaklık dağılımı .....	12
3.9. Kaynak bölgesinde sıcaklık dağılımı (sac kalınlığı 1,5 mm) .....	19
4.1. Tez çalışması sisteminin şematik gösterimi .....	38
4.2. Mekanik sistem ana gövde elemanları .....	40
4.3. 30x30 özel profil ölçü ve şekil özellikleri .....	40
4.4. Sistemde kullanılan minyatür araba ölçüsel özellikleri .....	42
4.5. Sistemde kullanılan kızak ölçüsel özellikleri .....	43
4.6. Projede kullanılan step motor ölçüleri .....	47
4.7. Pnömatik devre şematik görünüşü .....	48
4.8. Pnömatik silindir örnekleri .....	49
4.9. 5/2 yön valfi şematik ve genel görünüşü.....	50
4.10. Elektronik kontrol sistemi devre şeması .....	51
4.11. Projede kullanılan dsPIC ve bacak tanımlamaları .....	53
4.12. Akım kontrol devre şeması (tristör tetikleme) .....	55
4.13. Step motor sürücü devre şeması .....	56
4.14. Bilgisayar programı seçim ekranı .....	57
4.15. Parametreler seçilmiş ve kaynak yapmaya hazır halde program ekranı görünüşü ..	58
4.16. Bilgisayar programı algoritması .....	59
4.17. Programa ait sınıf ve nesnelerin şematik görünüşü .....	63
4.18. Gerçekleştirilen projeye ait genel görüntü .....	69
4.19. Bilgisayar programından gerekli verilerin girilmesi .....	70
4.20. Eksen hareketlerini sağlayan step motorları ve minyatür araba .....	71

**ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)**

<b><u>Sekil</u></b>	<b><u>Sayfa</u></b>
4.21. Sistem x, y ekseni ve sınır switchleri .....	71
4.22. Sırasıyla sistemde kullanılan valf, silindir ve şartlandırıcı .....	72
4.23. Sırasıyla kaynak akımı üretim trafosu ve elektronik devre besleme trafosu .....	72
4.24. Kaynak elektrotları ve bağlantı şekilleri .....	73

## ÇİZELGELER DİZİNİ

<b><u>Çizelge</u></b>	<b><u>Sayfa</u></b>
3.1. Kaynak işlemi sırasında zamana göre sıcaklık değişimi (0,8 mm. sac kalınlığı).	13
3.2. Kaynak merkezinden uzaklığa bağlı sıcaklık değişimi (0,8 mm. Sac kalınlığı)...	14
3.3. Sıcaklık dağılımının zamana bağlı değişimi (1 mm. Sac kalınlığı) .....	15
3.4. Kaynak merkezinden uzaklığa göre sıcaklık dağılımı (1 mm sac kalınlığı) .....	16
3.5. Zamana göre sıcaklık dağılımı (1,5 mm. sac kalınlığı) .....	17
3.6. Kaynak merkezinden uzaklığa göre sıcaklık dağılımı (1,5 mm sac kalınlığı) ....	17
3.7. Sac kalınlıklarına göre, kaynak merkezindeki sıcaklık dağılımı .....	18
3.8. Sıcaklığın akım şiddetine bağlı değişimi .....	20
3.9. Çeşitli malzemelere ait 20 °C sıcaklıktaki özgül direnç ve sıcaklık katsayıları .....	25
3.10. Çeşitli yüzeylere sahip, düşük karbonlu, 3 mm kalınlıklı sac levhalarda temas direnci değerleri .....	28
3.11. RWMA Grup A, Sınıf 1, 2, 3 elektrot malzemelerinin minimum özellikleri .....	33
3.12. Refrakter metal kompozisyonunda RWMA Grup B elektrot malzemeleri için minimum özellikler.....	35
4.1. Triger kasnak dişi seçim kriterleri .....	44
4.2. Triger sistem diş adımı seçim kriterleri .....	44

## 1. GİRİŞ

Elektrik enerjisinin ısı enerjisine dönüşümünün bir uygulaması olan Elektrik Direnç Kaynağı (EDK), ısı ve basıncın aynı anda uygulanması ile gerçekleştirilen bir birleştirme yöntemidir. EDK esaslı 1815 'li yıllarda bakırın tam keşfine dayanmaktadır. Bu tarihte toprak altında toplu olarak yığılan bakırın, güneş enerjisi tesiriyle birleştiğinin fark edilmesi ile EDK ortaya çıkmıştır [1].

Bu kaynak yönteminin amacı, düşük kalınlıktaki parçaları kaynak noktaları sayesinde birleştirmektir. Kaynak noktaları, eriyik haline getirilen metal damlacığının, iki levha arasındaki temas yüzeyinde katılaşıp kalıcı bir birleştirme oluşturmasıyla elde edilir. Kaynak yapılacak saclar birbirleri üzerine bindirilmekte daha sonra elektrotlar arasında gerekli basma kuvveti ve akım uygulanarak birleştirme işlemi gerçekleştirilmektedir. Bu işlem sırasında elde edilen ısı enerjisinde Joule Kanunu geçerlidir.

Üretim endüstrisinde, dikiş makinelerinden bilgisayara, araba jantlarından uçak gövdelerine kadar birçok alanda EDK kullanılmaktadır. Bu yöntemin en büyük avantajı metal esaslı tüm malzemelerin kaynak edilebilir olmasıdır. Günümüzde dizayn edilen modern sistemlerle, bir buzdolabı gövdesi yerinden hareket ettirilmeden aksesuarları birleştirilebilmektedir [2].

Bu kaynak yönteminde ilave malzeme kullanılmadan birleştirme yapılması, yüksek mukavemete sahip olması, estetik olması ve uygulanması için kalifiye eleman ihtiyacı olmaması, kaynak hızının yüksek olması yaygın kullanımını sağlamıştır.

Bu çalışmada, EDK yapabilen bir makine tasarım ve imalatı yapılmış, Nesne Yönelimli Modelleme mantığıyla çalışan bilgisayar programı ile birleştirilmiş ve bu entegre sistem bilgisayar kontrollü hale getirilmiştir.

## 2. ELEKTRİK DİRENÇ KAYNAĞI ESASLARI

EDK, ısı ve basıncın birlikte uygulanması ile yapılan bir kaynaktır. Isı, kaynak yapılacak malzemelerin elektrik akımı devresinde bir direnç gibi kullanılması ile elde edilir ve elektrik akımının iletimini de sağlayan elektrotlar ile bir kuvvet uygulanarak kaynak işlemi gerçekleştirilir. Dışardan bir ısı kaynağı ve kaynak işlemi için ilave hiçbir malzeme kullanılmaz. Şekil 2.1 de EDK şematik olarak gösterilmiştir [3, 4].

Gerekli kaynak akımı yüksek gerilim ve düşük akım şiddetini, düşük gerilim ve yüksek akım şiddetine çeviren transformatörler ile sağlanır. Gerekli elektrot kuvveti ise, hidrolik, pnömatik veya mekanik sistemler ile elde edilir [3, 4].

Elektrotlar arasında oluşan ısı miktarı (  $Q$  ), Joule Kanununa göre, elektriksel işe eşdeğer olarak ; [5]

$$W = U \times I \times t \quad (W.s)$$

yazılabilir. Ohm kanununa göre;

$$U = I \times R \quad (V)$$

yerine yazılırsa;

$$W = I^2 \times R \times t \quad (W.s)$$

elde edilir. Ayrıca;

$$1 W.s = 0,239 \text{ Cal}$$

eşitliği yerine yazılırsa;

$Q = 0,239 I^2 \times R \times t \quad (Cal)$  elde edilir. Bu değer EDK esnasında oluşan ısı miktarıdır.

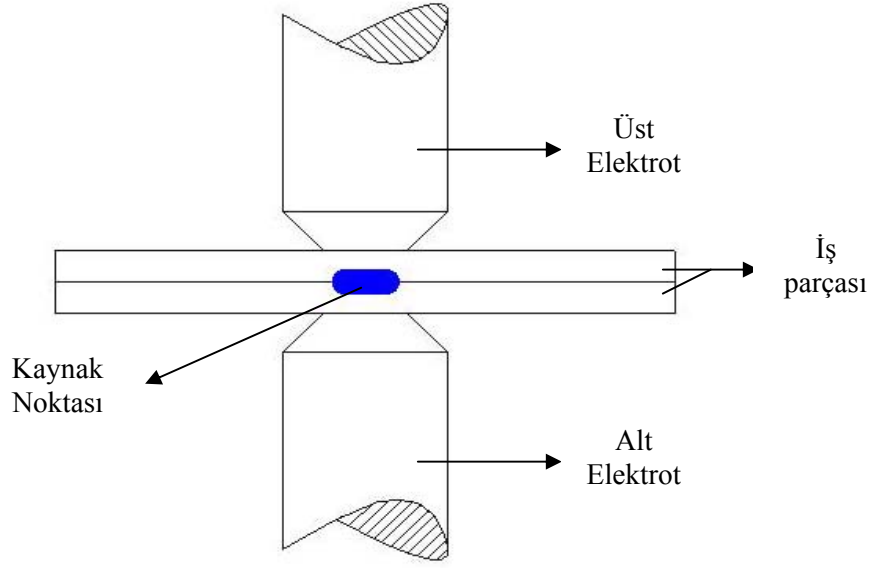
W : Elektriksel iş

U : Gerilim miktarı

I : Akım şiddeti

t : Zaman

Q : Isı miktarı



**Şekil 2.1** EDK da elektrotlar ve kaynak edilen parçaların şematik görünüşü

EDK da önemli olan kaynak yapılacak malzemenin direncidir. Örneğin, demirin direnci yeteri kadar yüksek olduğu için demir parçaların kaynağı kolay, buna karşın alüminyumun direnci az olduğu için kaynatılması zordur [5].

## 2.1 EDK Çeşitleri

EDK çeşitleri esas olarak şöyle gruplanabilir;

### A. Nokta Kaynağı

A<sub>1</sub>. Normal Nokta Kaynağı

A<sub>2</sub>. Kabartılı Nokta Kaynağı

### B. Dikiş Kaynağı

B<sub>1</sub>. Sürekli Dikiş Kaynağı

B<sub>2</sub>. Aralıklı Dikiş Kaynağı

### C. Alın Kaynağı

C<sub>1</sub>. Basıncılı Alın Kaynağı

C<sub>2</sub>. Yakma Alın Kaynağı

Uygun akım şiddeti ve kaynak zamanı ayarlaması tüm EDK çeşitleri için geçerlidir.

EDK prosesinde işlem sırası özetle şöyle sıralanabilir.

- Sınırlı bir metal hacminin ergimesi için gerekli ısı miktarının elde edilmesi,
- Daha sonra bu metalin basınç altında yeniden katılaşması ile soğumasının sağlanmasıdır.

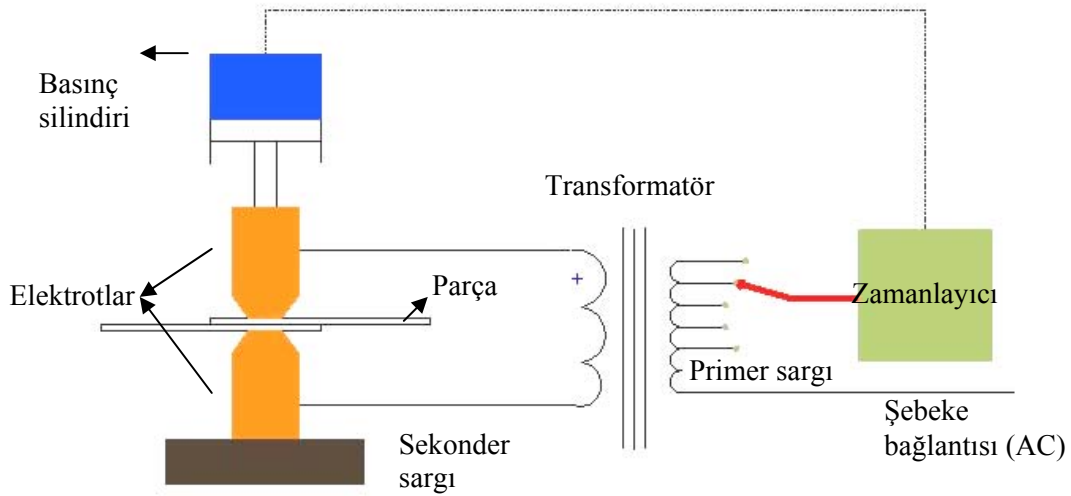
Isınma ve soğuma hızlarının yüksek olması işlem zamanı bakımından avantaj sağlar. Ancak demir esaslı alaşımlarda hızlı soğuma gevrek bir yapı oluşmasına neden olacak derecede ise, temperleme işlemine gerek duyulabilir [5].

### 3. ELEKTRİK DİRENÇ NOKTA KAYNAĞI

Elektrik direnç nokta kaynağı (EDNK), geçen bölümlerde de bahsedildiği gibi, elektrotlar tarafından iletilen elektrik akımına karşı, iş parçalarının göstermiş olduğu dirençten elde edilen ısı ve çubuk şekilli elektrotlar tarafından uygulanan kuvvet ile meydana gelir. Elde edilen kaynak dikişinin boyut ve şekli, elektrotların boyut ve şekli ile sınırlıdır [4].

Bu yöntemde, değişik kalınlıklarda malzemelerin kaynağını yapmak mümkündür. Kaynak olacak parçalar elektrotlar arasına alındıktan sonra parçalar sıkıştırılır ve kaynak trafosuna şebeke gerilimi uygulanır. Bu işlem sonucunda, trafonun sekonderinde bir gerilim indüklenir. Bu gerilim değeri başlangıçta 12–15 volt iken, elektrotlar kapandığında 2–5 volta iner. Sekonderden geçen akımın değeri 30000 A' i bulabilir [5].

EDNK 'a ait genel bir şematik gösterim Şekil 3.1 de verilmiştir.



**Şekil 3.1** EDNK temel devre şeması

Kaynak işlemi esas olarak dört periyottan oluşur. Bunlar şöyle sıralanabilir [1].

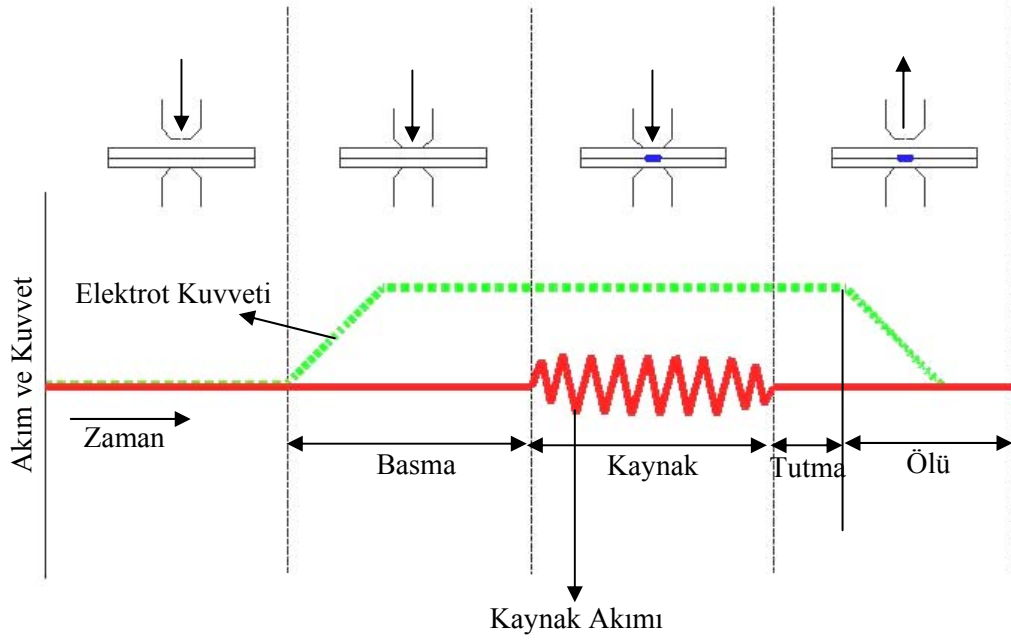
- a. Basma Süresi: Elektrot kuvvetinin uygulanmasından, kaynak işleminin gerçekleşmesine kadar geçen süredir.
- b. Kaynak Süresi: Kaynak akımının uygulanmaya başlanmasından, bitmesine kadar geçen süredir.



c. Tutma Süresi: Kaynak akımının kesilmesinden, elektrot kuvvetinin kesilmesine kadar geçen süredir. Bu süre “Dövme Zamanı” olarak da adlandırılmaktadır.

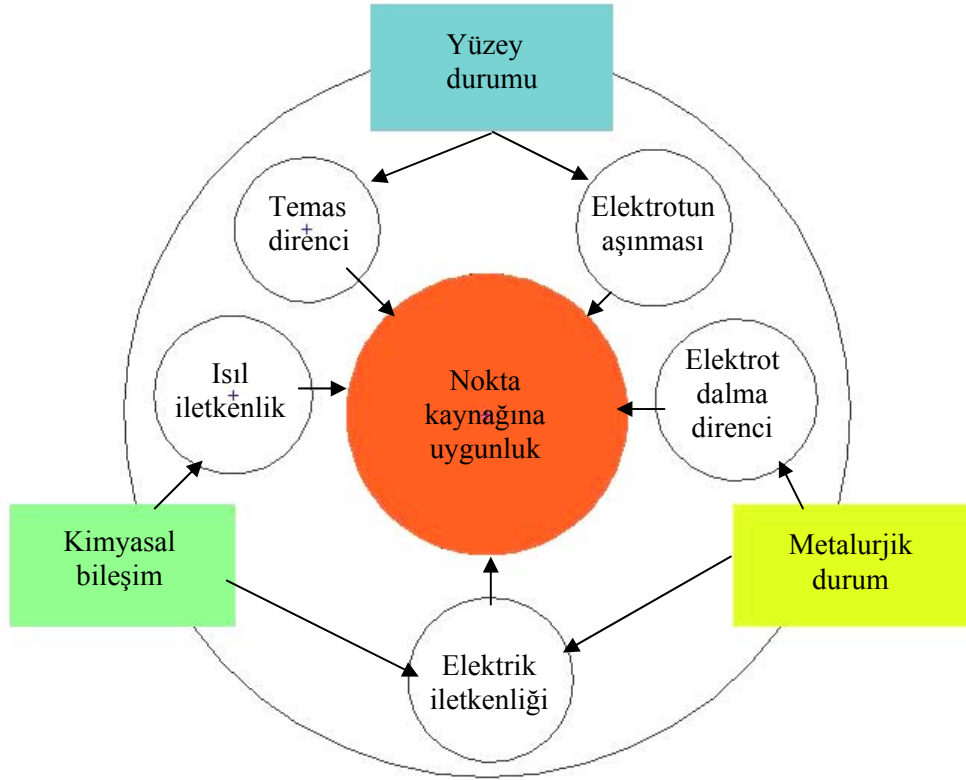
d. Ölü Süre: Elektrot kuvvetinin kesilmesi ve elektrot ağızlarının açılmasını kapsayan süredir.

Bu periyotlar Şekil 3.2 de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.2 EDNK periyotlarının şematik gösterimi

EDNK, birleştirilen malzemeler bakımından diğer kaynak yöntemlerine kıyasla çok büyük bir serbestlik ve çeşitliliğe sahiptir. Bu yöntemden yararlanmak suretiyle, birçok metal ve metal çiftlerini, değişik biçim ve boyutlarda kusursuz olarak birleştirmek mümkündür. EDNK 'na uygunluk kriterleri Şekil 3.3 de gösterilmiştir.



Şekil 3.3 EDNK'na uygunluk kriterleri

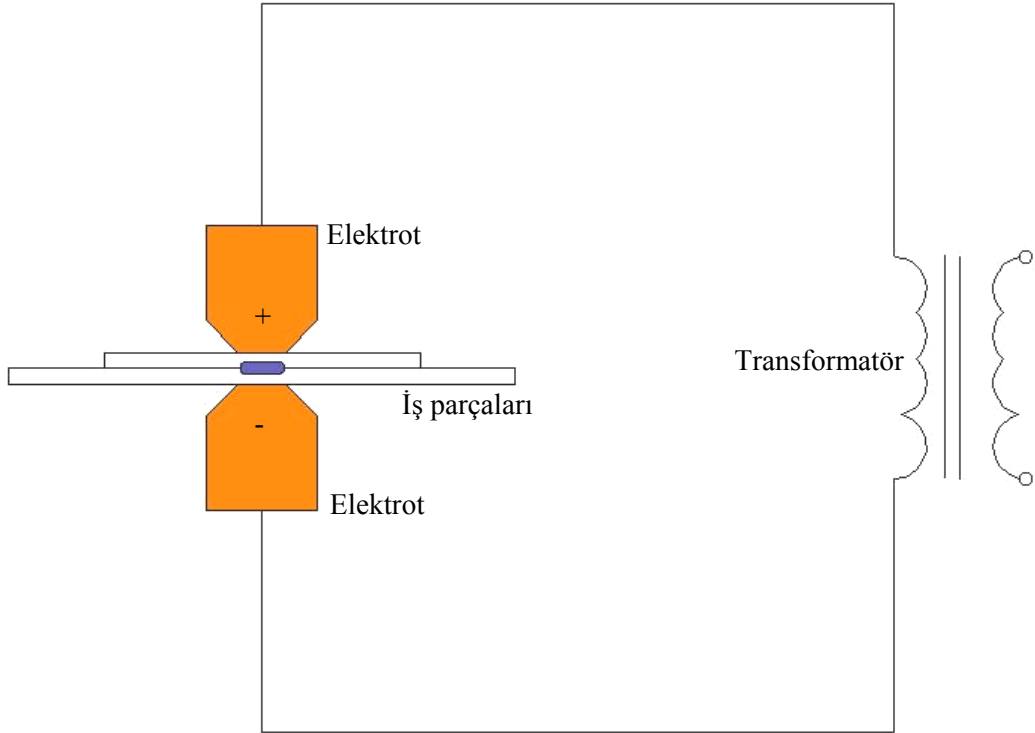
### 3.1. EDNK Yöntemleri

Genel olarak, EDNK yöntemleri iki grupta sınıflandırılır.

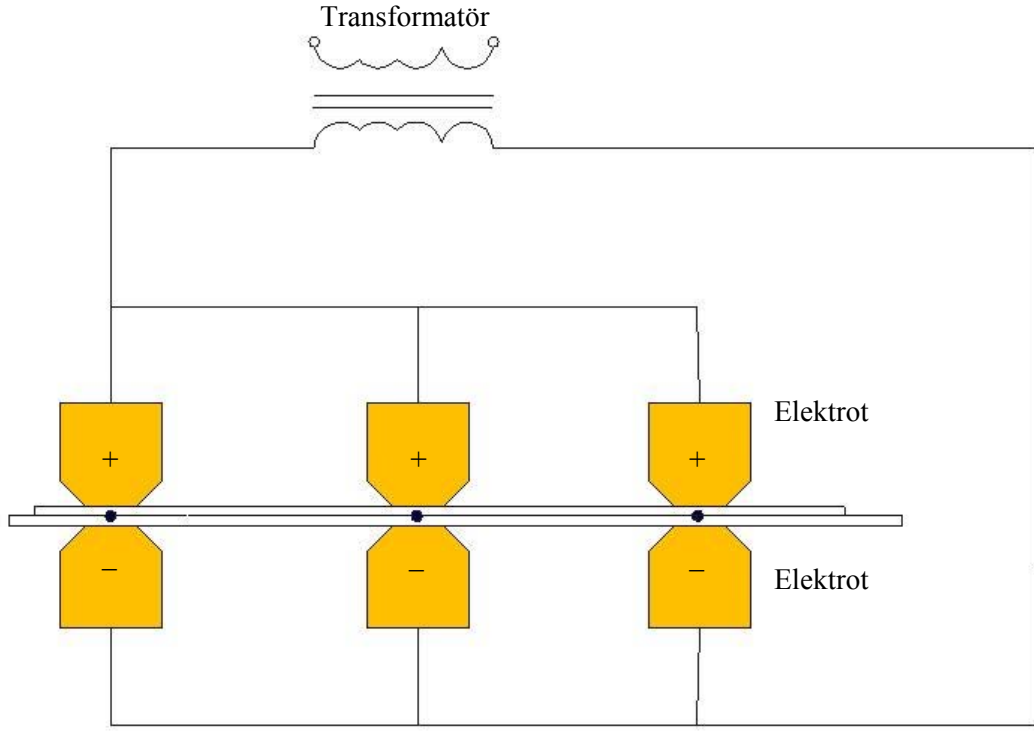
- Tek noktalı kaynak
- Çok noktalı kaynak

Akımın uygulandığı periyot boyunca bir kaynak noktası elde ediliyorsa tek noktalı kaynak (Şekil 3.4), aynı anda iki veya daha çok kaynak noktası oluşuyorsa çok noktalı kaynak (Şekil 3.5) olarak tanımlanır.

Çok noktalı kaynak, tasarım şekline bağlı olarak paralel veya seri noktalar halinde elde edilebilir.

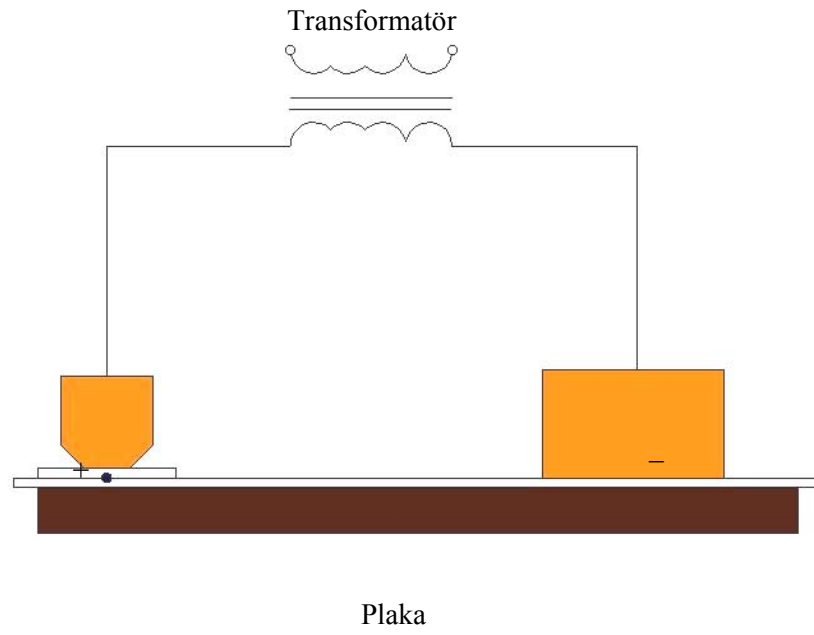


Şekil 3.4 Tek noktalı direkt kaynak

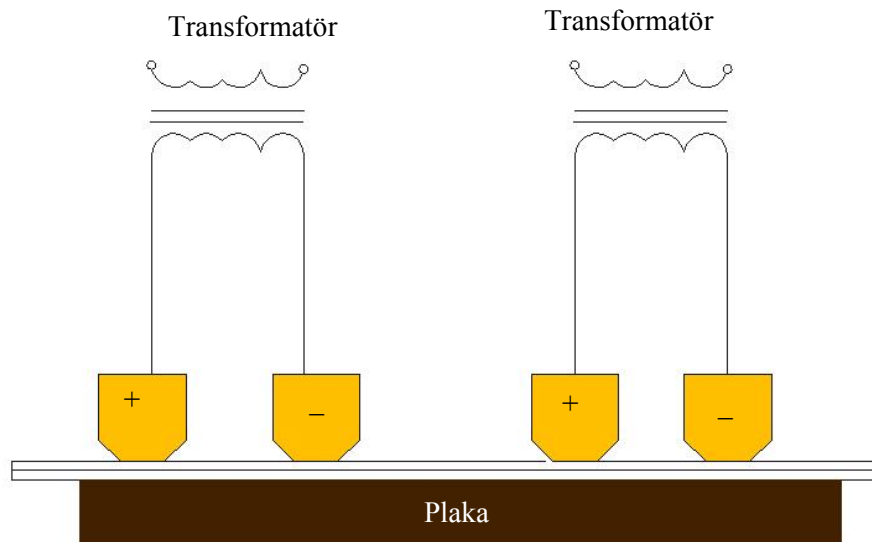


**Şekil 3.5** Çok noktalı direkt kaynak

Dolaylı kaynak yöntemine örnek olarak da Şekil 3.6 ve 3.7 verilebilir.



Şekil 3.6 Tek noktalı dolaylı kaynak



Şekil 3.7 Çok noktalı dolaylı kaynak

### 3.2. EDNK İşleminin Esasları

Diğer elektrikli ısı aletlerinde olduğu gibi gerekli ısı, iş parçalarından geçen elektrik akımına karşı parçanın oluşturmuş olduğu direnç ile elde edilir.

EDK 'da, direnç değerleri düşük olduğundan dolayı, gerekli ısının elde edilebilmesi için yüksek kaynak akımlarına ihtiyaç vardır.

#### 3.2.1. Mekanik özellikler

Elektrotların iş parçalarına yaklaşma ve uzaklaşma zamanları ve hızları önceden ayarlanmıştır. Bu arada, elektrotların basma kuvveti pnömatik, hidrolik veya mekanik sistemler ile gerçekleştirilebilir. Bu işlem sırasında elektrot hızı yüksek olmalı ancak, elektrotların deforme olmasına da neden olmamalıdır. Isınan iş parçalarında, kaynak işlemi sırasında hem genişleme hem de büzülme meydana gelir. Elektrotlar basınç altında dinamik harekettedir. Hareket hızının değişimi, hareketli parçaların ağırlığından veya ataletinden, sabit ve hareketli parçalar arasındaki sürtünmeden etkilenir. Bu şartlar altında yeterli elektrot kuvvetini sağlamak gereklidir.

Zıt yönde akım taşıyan paralel iletkenler karşılıklı olarak geriye doğru itilir. Bu kuvvet elektrotları birbirinden ayırmaya çalışır. Bu esnada elektrotların iş parçasından ayrılmasını engelleyecek bir kuvvet uygulanması gereklidir. Yani elektrot kuvvetinin itme kuvvetinden büyük olması gerekir [6].

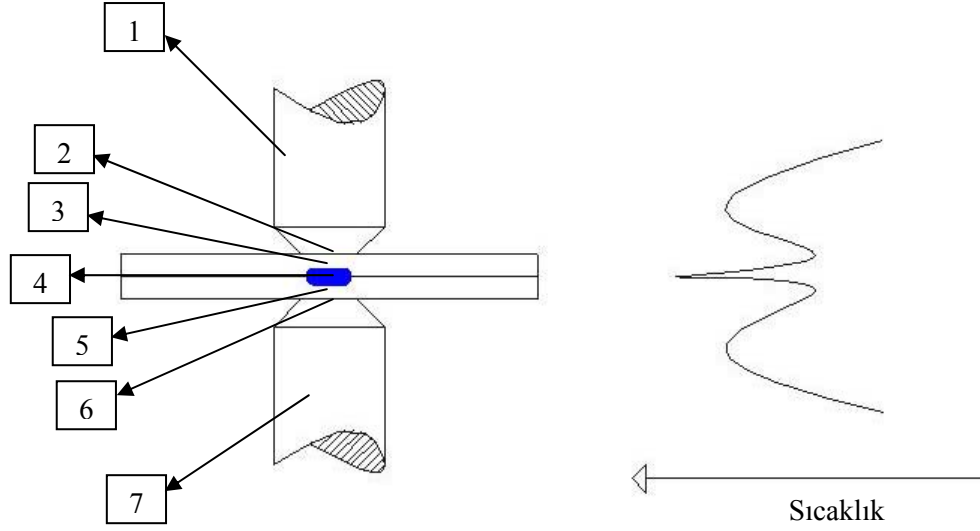
#### 3.2.2. Isı oluşumu ve nedenleri

Kaynak edilecek parçalar, elektrik akımına karşı bir seri direnç oluşturur. Bu dirençlerin toplamı elektrik akım şiddetini belirler. Elektrik akımı devrenin her noktasında, o noktanın direnci ile bağımsız olarak aynıdır. Bununla beraber herhangi bir noktada oluşan ısı, o noktadaki mevcut direnç ile orantılıdır. Sekonder devreyi oluşturan elektrikli sistem, istenilen noktada ısı oluşturacak ve sistemin geri kalan elemanlarının relatif olarak daha soğuk kalmasını sağlayacak şekildedir [6].

Kaynak olan parçalarda ve elektrotlarda ısı dağılımı Şekil 3.8'de şematik olarak gösterilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi, ısı oluşumuna neden olan yedi ayrı direnç mevcuttur. Bunlar:

- 1- Üst elektrotun direnci
- 2- Üst elektrot ile üst iş parçası arasındaki kontak direnci
- 3- Üst parçanın direnci
- 4- Üst parça ile alt parça arasındaki kontak direnci

- 5- Alt parçanın direnci
- 6- Alt elektrot ile alt parça arasındaki kontak direnci
- 7- Alt elektrotun direnci



**Şekil 3.8** EDNK sırasında bölgesel sıcaklık dağılımı

Bu noktaların her birinde, o noktanın direnci ile orantılı olarak ısı oluşur. En fazla ısının kaynak olan noktada yani, kaynak edilecek metallerin temas yüzeyinde (4 noktası) oluşması istenir. Şekil 3.8 de görülen sıcaklık dağılımı, kaynak edilecek iş parçalarının malzemesine, boyutuna, metal ile elektrot arası ısı iletkenliğine, elektrotun şekline, boyutlarına ve elektrotun soğutulma şekline bağlıdır.

Kaynak yapılan bir malzemede, zamana bağlı sıcaklık değerleri belirlenerek, soğuma hızı ve buna bağlı olarak da kaynak sonrası malzeme içyapılarındaki değişimler hakkında fikir edinmek mümkündür. Böylece, kaynak yapılan malzeme mekanik özelliklerinin işletme şartlarına uygun olup olmadığı belirlenebilir. EDNK' da, kaynak işlemi yaklaşık bir saniyede gerçekleşmekte ve daha sonra da çok hızlı bir soğuma oluşmaktadır. Kaynak işleminden dört – beş saniye sonra, kaynak bölgesi sıcaklığı oda sıcaklığına inmektedir. Kaynak işleminde, malzeme içyapısında oluşabilecek değişimler, işlem gören malzemenin cinsine, kalınlığına, iş parçası ile kaynak bölgesi arasındaki sıcaklık farkına, yani soğuma hızına bağlıdır. Bu nedenle bazı kaynak işlemlerinde, iş parçası ile kaynak sıcaklığı arasındaki sıcaklık farkını azaltarak

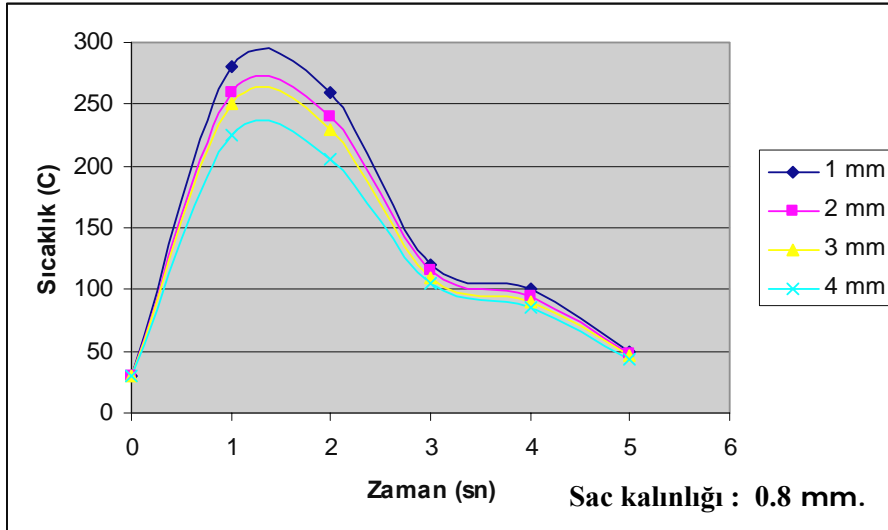
soğuma hızını düşürmek amacı ile ön tavlama uygulanabilir. Yani, kaynaktan önce malzeme belirli bir sıcaklığa kadar ısıtılabilir. Çünkü işlem sırasında malzemeyi ve kalınlığı değiştirmek mümkün değildir. Bazı durumlarda kaynak sonrası ısıl işlemler de uygulanabilir.

### 3.2.2.1 İş parçası kalınlığının sıcaklık dağılımına etkisi

0.8 mm kalınlığındaki iş parçası için, zamana bağlı, deneysel olarak elde edilen, kaynak bölgesinin değişik noktalarındaki sıcaklık değerleri Çizelge 3.1 de gösterilmiştir.

Grafikten de görülebileceği gibi, elektrik akımının uygulandığı 0–1 saniye zaman aralığında sıcaklık hızlı bir şekilde artmakta ve akım kesildikten sonra özellikle 2–3 saniye zaman aralığında hızlı bir şekilde düşmektedir. Bu zaman aralığında soğuma hızının fazla olduğu, sıcaklık düştükçe noktalar arasındaki sıcaklık farkının azaldığı ve buna bağlı olarak da 3. saniyeden sonraki zaman diliminde soğuma hızının daha yavaş olduğu gözlenmektedir. Ayrıca, bu grafikler incelendiğinde, kaynak merkezinden uzaklaştıkça sıcaklığın düştüğü açıkça görülmektedir.

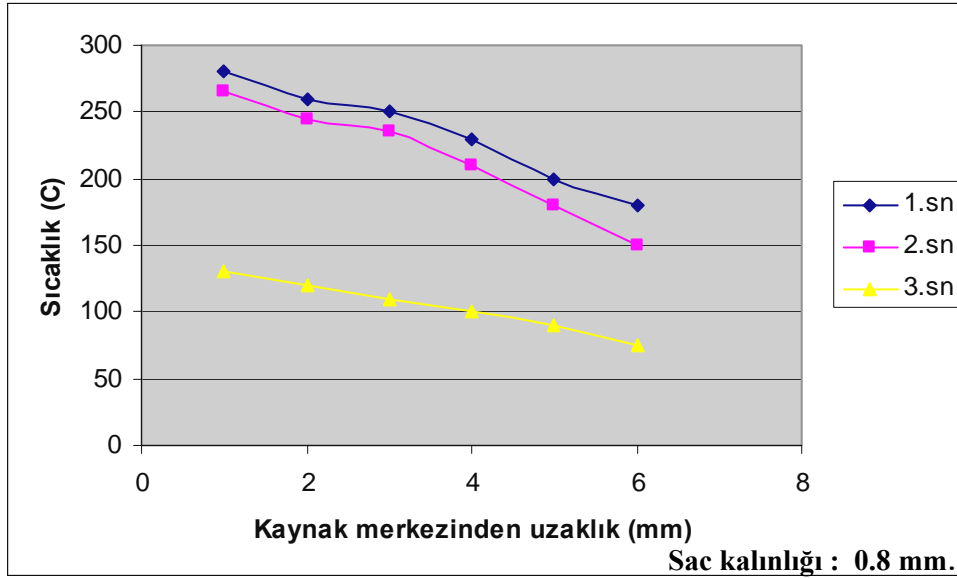
**Çizelge 3.1** Kaynak işlemi sırasında zamana göre sıcaklık değişimi (0,8 mm. sac kalınlığı)



Kaynak merkezinden uzaklığa göre, periyodik olarak elde edilen sıcaklık dağılımı Çizelge 3.2 de görülmektedir. Kaynak merkezinden uzaklaştıkça tüm zaman dilimlerinde sıcaklığın yaklaşık lineer azaldığı bu grafikte açık olarak görülebilmektedir.

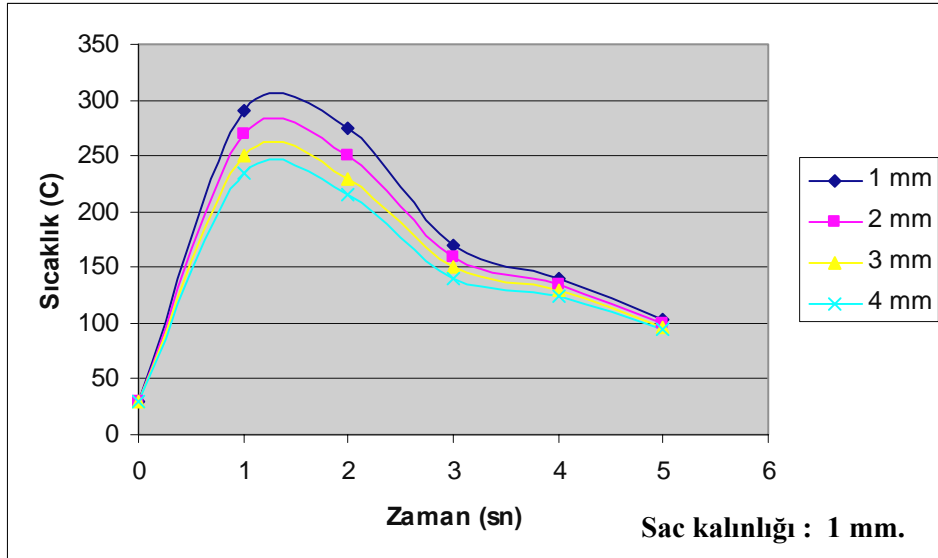


**Çizelge 3.2** Kaynak merkezinden uzaklığa bağlı sıcaklık değişimi (0,8 mm. Sac kalınlığı)



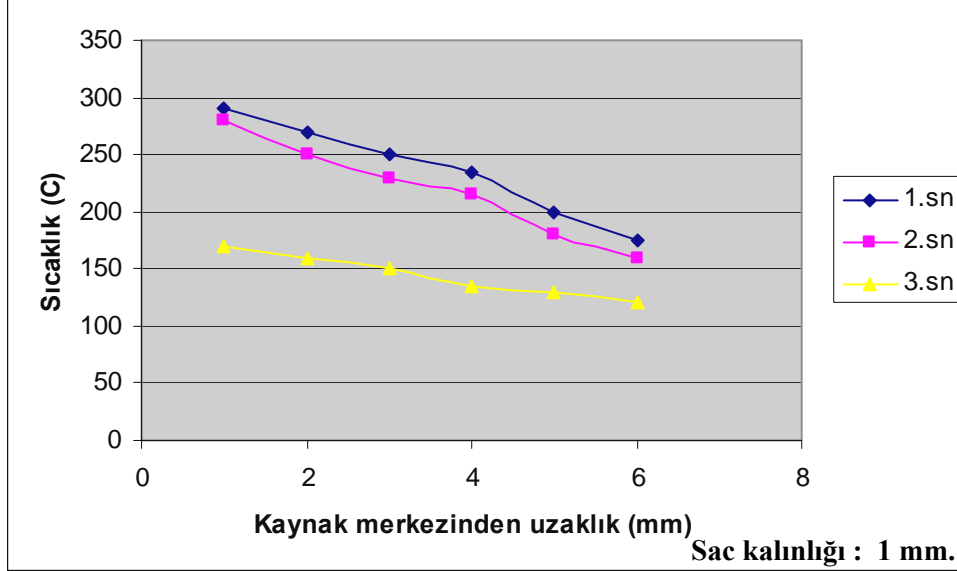
Çizelge 3.3 de 1 mm kalınlığındaki numuneler için, zamana bağlı olarak elde edilen sıcaklık dağılımları grafik halinde sunulmuştur. Eğriler incelendiğinde, sıcaklığın ilk 1 saniyelik zaman diliminde hızla arttığı, daha sonra özellikle 2. ve 3. saniyeler arasında hızla düştüğü izlenebilmektedir. Deneyler sırasında, sıcaklığı ölçülen noktanın kaynak merkezine uzaklığı değiştirilerek işlemler tekrarlanmış ve sonuçta farklı uzaklıklar için farklı eğriler elde edilmiştir. Grafikteki bu eğriler incelendiğinde, kaynak merkezinden uzaklaştıkça sıcaklığın düştüğü de görülebilmektedir [6].

**Çizelge 3.3** Sıcaklık dağılımının zamana bağlı değişimi (1 mm. Sac kalınlığı)



Çizelge 3.4 de 1 mm kalınlıklı numuneler için, kaynak merkezinden uzaklığa göre çizilmiş sıcaklık dağılımı görülmektedir. Burada 1, 2 ve 3 saniyelik zamanlar için deneyler tekrarlanarak 3 ayrı grafik elde edilmiştir. Grafikler incelendiğinde, kaynak merkezinden uzaklaştıkça sıcaklığın düştüğü ve ayrıca eğriler birbiri ile kıyaslandığında zaman arttıkça sıcaklığın özellikle 2. saniyeden sonra hızla düştüğü, başka bir ifadeyle iş parçalarının hızlı bir şekilde soğuduğu görülebilmektedir. Bu eğrilerde grafikler 1.saniyeden başlatılmış, 0-1 saniye arasındaki ısınma süreci gösterilmemiştir [6].

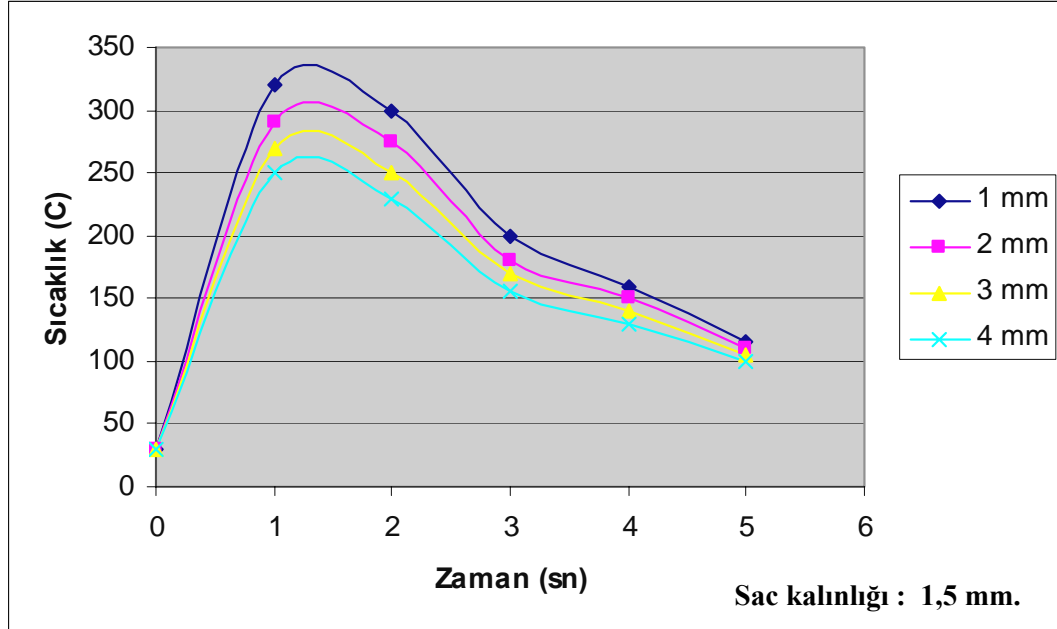
**Çizelge 3.4** Kaynak merkezinden uzaklığa göre sıcaklık dağılımı (1 mm sac kalınlığı)



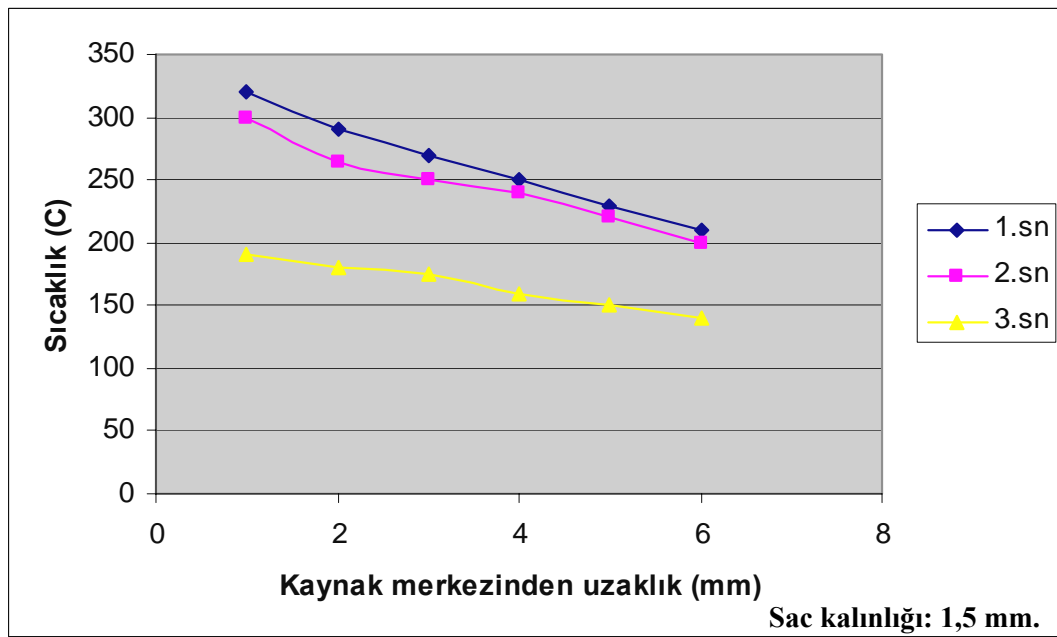
Çizelge 3.5 ve 3.6 da ise 1,5 mm. Kalınlığındaki sac için zamana ve kaynak merkezinden uzaklığa bağlı olarak elde edilen sıcaklık dağılımları grafikler halinde sunulmuştur. Bu grafiklerde de Çizelge 3.3 ve 3.4 'dekine benzer sonuçlar elde edilmiştir.

Grafikler kıyaslandığında, sac kalınlığının artmasıyla, kaynak bölgelerindeki sıcaklıklarda belirli bir artış olduğu gözlenmektedir. Deneylerde aynı akım şiddeti ve kaynak zamanı kullanılmıştır. Ancak, parça kalınlığı arttıkça, elektrik akımına karşı gösterilen direnç arttığından daha fazla ısı enerjisi oluşmakta, bunun sonucu olarak kalın parçalarda daha yüksek sıcaklıklar görülmektedir. Bu durum Çizelge 3.5 de daha net görülebilmektedir.

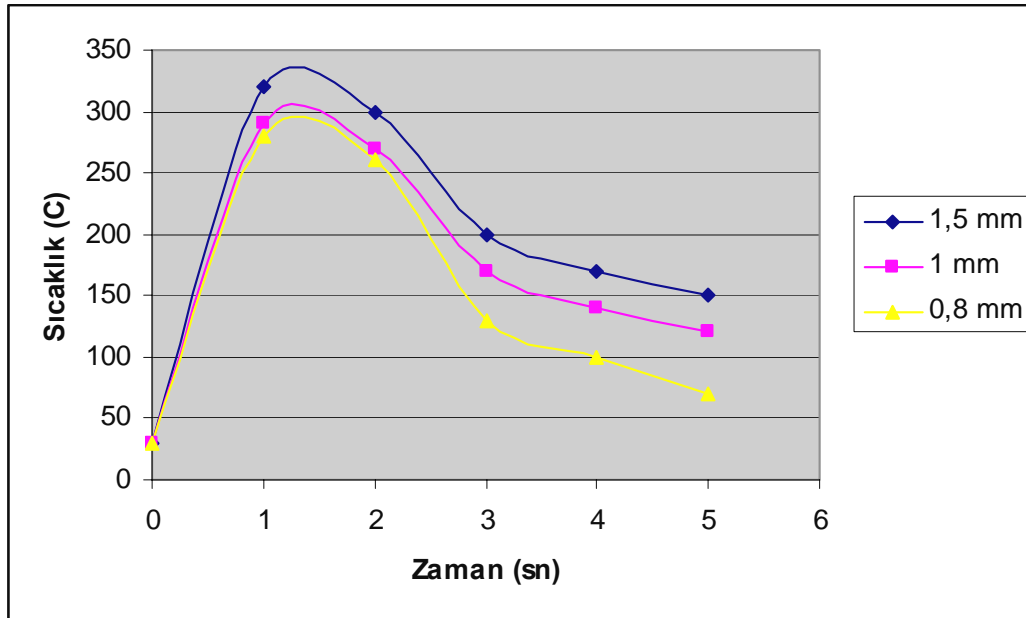
**Çizelge 3.5** Zamana göre sıcaklık dağılımı (1,5 mm. sac kalınlığı)



**Çizelge 3.6** Kaynak merkezinden uzaklığa göre sıcaklık dağılımı (1,5 mm sac kalınlığı)

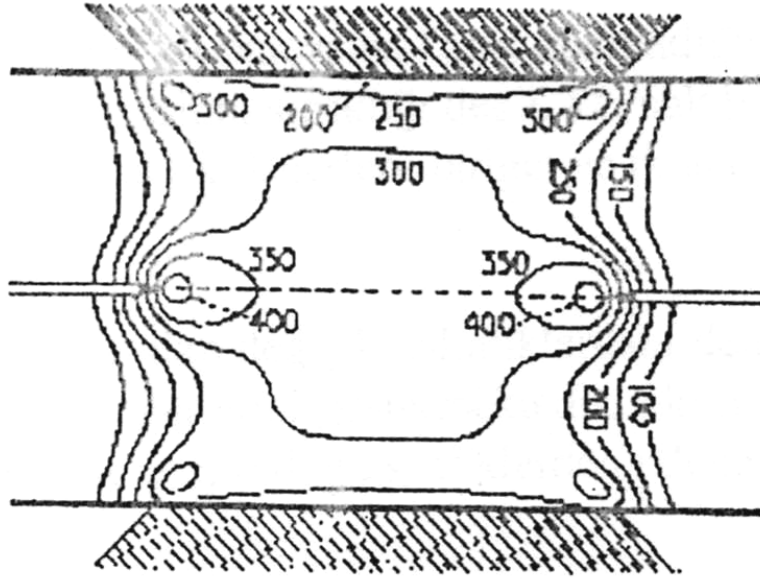


**Çizelge 3.7** Sac kalınlıklarına göre, kaynak merkezindeki sıcaklık dağılımı



Grafikler karşılaştırıldığında bu sıcaklık değişiminin çok fazla olmadığı görülebilmektedir. Bu durumda, iş parçasının boyut değişimine bağlı olarak ortaya çıkan elektrik direnci artışının ısı oluşumunda çok fazla etkili olmadığı söylenebilir [6].

Bentley ve Greenwood [6], metalografik ve nümerik metotlar kullanarak kaynak bölgesinin değişik noktalarında oluşan maksimum sıcaklıkları belirlemişlerdir. Şekil 3.9'da, bu araştırmacıların yaptığı çalışmalar sonucunda, metalografik metot yardımıyla kaynak bölgesinin çeşitli noktalarında ölçülen sıcaklık değeri, izotermal hatlar halinde gösterilmiştir.



Şekil 3.9 Kaynak bölgesinde sıcaklık dağılımı (sac kalınlığı 1,5 mm)

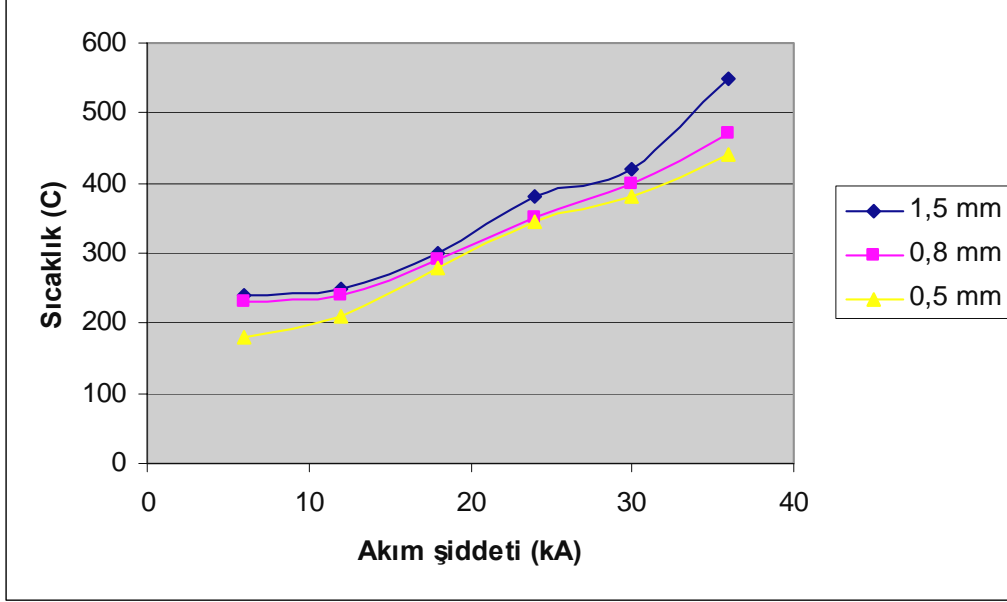
Araştırmacılar tarafından yapılan bu deneylerde, kullanılan kaynak parametreleri, sac kalınlığı  $s = 1.5$  mm., kaynak akım şiddeti  $I = 25$  kA, kaynak zamanı yani devreden akım geçiş süresi  $t = 0.5$  sn ve elektrot uç çapı  $r = 3$  mm.'dir [6].

### 3.2.2.2 Kaynak akımının sıcaklık dağılımına etkisi

Bu bölümde, kaynak akımının sıcaklık üzerine etkileri yine deneysel sonuçlar ve grafiklerden yararlanılarak açıklanmıştır. Deneylerde kullanılan elektrot uç çapı 5 mm. Ve devreden akım geçiş süresi 1 saniye olacak şekilde seçilmiş ve deneyler sırasında sabit tutulmuştur. Deneylerde 12 kA, 18 kA, 24 kA, 30 kA ve 36 kA değerlerinde sıcaklık ölçümleri yapılarak karşılaştırılmıştır.

Çizelge 3.8, EDNK 'da yapılan değişik kalınlıklardaki deney numunelerinde, akım şiddetine bağlı olarak elde edilen sıcaklık değerlerini göstermektedir. Akım şiddeti arttıkça, kaynak bölgesinde oluşan sıcaklıklarda da önemli bir artış olduğu grafikten de açık bir şekilde görülebilmektedir.

**Çizelge 3.8** Sıcaklığın akım şiddetine bağlı değişimi [6]



Elektrot temas yüzeyinin sabit olduğu düşünüldüğünde, malzeme direncini etkileyen parametre, sac kalınlığıdır. Sac kalınlığı arttıkça, malzemenin elektriksel direnci ve buna bağlı olarak da açığa çıkan ısı miktarı artar. Ancak, grafiklerden de anlaşıldığı gibi, malzeme kalınlığının dolayısıyla da malzemenin elektrik direncinin ısınma üzerine etkisi, akım şiddetinin etkisine göre oldukça düşüktür.

Bu grafiklerden elde edilebilecek diğer bir sonuçta, akım şiddetinin soğuma hızı üzerinde de etkili olduğudur. Akım değişimlerinde, sıcaklık büyük ölçüde değişmekte, ortam sıcaklığı sabit olduğundan buna paralel olarak sıcaklık farkı ve soğuma hızı da değişmektedir. EDNK 'da, soğuma hızı ve sıcaklık dağılımı üzerinde, malzeme kalınlığı ile karşılaştırıldığında akım şiddetinin çok daha büyük bir etkiye sahip olduğu söylenebilir.

Sekonder akımında değişime neden olan etkenler şöyle sıralanabilir:

- Şebeke gerilimindeki değişimler
- Alternatif akım makinesi kullanıldığında, boğaz geometrisindeki değişiklikler ile ortaya çıkan sekonder empedans değişimleri
- Makinenin sekonder devresi içerisine değişken miktarda manyetik malzemenin sokulması

Akım şiddetindeki değişmelere ilaveten, kaynak ara yüzeyinde de, akım yoğunluğunda değişmeler ortaya çıkar. Bu olay, akımın bir önceki kaynak noktasından ve elektrotların etki alanı dışındaki bir takım metalik temas noktalarından kısa devre olması ile meydana gelir.

Boyutları büyümüş elektrotlar akım yoğunluğundaki azalma sebebiyle, kaynak ısısında ve kaynak özelliklerinde azalmaya sebep olur.

Yumuşama sıcaklığına erişildiğinde, kaynak dikişinin boyutları ve mukavemeti akımda küçük artmalar ile hızlı bir artış gösterir. Aşırı miktardaki akım kaynakta fışkırmaya sebep olur ve kaynağın mukavemetini düşürür.

### 3.2.3 Kaynak süresinin EDNK üzerine etkileri

Isı üretim hızı çok iyi ayarlanmalı ki, kaynak, arzu edilen zaman aralığı içerisinde, ısı kayıplarını da karşılayarak gerçekleşebilsin. Isı formülünde de görüldüğü gibi, üretilen toplam ısı zamanın lineer bir fonksiyonudur. Isı kayıpları, iş parçalarına ve elektrotlara kondüksiyon ile olduğu gibi, iş parçalarından çevreye radyasyon yolu ile de meydana gelir. Bu kayıpların genel olarak kontrol edilmesine imkân yoktur, ancak kayıplar toplam zamanın artması ile birlikte artar.

Sıcaklık gradyanında, zaman, başlama noktasından itibaren sağa doğru artmaktadır. Akımın sürekli bir şekilde uygulanması, yüzey üzerindeki pürüzlerin düzelmesine sebep olacak, kaynak dikişi elektrot yüzeylerine doğru büyüyecektir.

Bu olay ise, özellikle büyük yüzey açılarında elektrotların iş parçalarına aşırı gömülmesine sebep olacaktır. İlave olarak, ısının tesiri altındaki bölge, iş parçaları içinde, elektrotlardan çok uzak bölgelere kadar uzanacaktır. Bu nedenle malzeme için bir kesin minimum zaman değeri belirlenmelidir. Kesin minimum zaman değeri, akım şiddetine, malzeme kalınlığına ve bileşimine bağlıdır.

Üretilen ısı, akımın karesi ile doğru orantılı olduğundan, kayıplar ihmal edilirse, herhangi bir zaman aralığında teşekkül eden ısıyı dört katına çıkarır. Toplam ısıda arzu edilen bir değişme ya akımı, ya da zamanı değiştirerek sağlanabilir. Bununla beraber, ısı iletimi zamanın bir fonksiyonudur ve belirli bir dikiş boyutunun meydana gelişinde zaman elemanı, akımdaki artmayı dikkate almaksızın çok fazla kısaltılamaz. Uygun olmayan zaman kontrolünün ilk etkileri, ısının temas yüzeylerinde hızla gelişip fışkırmaya sebep olması ile görülür.

Kalın levhaların kaynağında akım, genellikle elektrot basıncını kaldırmaksızın, kısa impulslar halinde uygulanır. Sıcaklık gradyanında, birleşme yerine ait sıcaklık maksimumunun



meydana gelmesi ve buna karşılık elektrot yüzeyindekilerin ise gecikmesi arzu edilir. Bu impulslar, uygun ısı dengeye erişilmesini sağlar. Bu olay aynı zamanda, yüksek iletkenliğe sahip elektrot malzemesinin kaynak işlemi sırasında soğutulması ile de gerçekleştirilir.

Belirli bir ısı enerjisi elde etmek için çeşitli (  $I, t$  ) değerleri mevcut olmakla beraber, ısı kaybının da, zamana bağlı olması nedeni ile akım şiddetini keyfî olarak azaltarak kaynak zamanını arttırmak mümkün değildir. Akımın bir minimum şiddetinden küçük değerlerinde kaynak bölgesinde herhangi bir ergime meydana gelmez. Bu minimum şiddet, malzemenin cinsine, kalınlığına, elektrot uçlarının boyutlarına ve elektrot kuvvetine bağlıdır. Bir başka deyimle, ergimenin meydana gelebilmesi için bir minimum akım yoğunluğu mevcut olup, bu değer malzemenin cinsine, kalınlığına ve kaynak bölgesine etki yapan elektrot basıncına bağlıdır [3].

Verilmiş bir elektrot basıncı için, akım yoğunluğunun bir üst sınırı da mevcuttur. Bunun üzerindeki değerlerde kaynak bölgesindeki ergimiş metal, levhalar arasında, bölge dışına doğru fişkirir. Bu olay kaynak dikişinde dayanıklılık azalmasına neden olur. Elektrotlarla levhalar arasındaki temas yüzeylerinde ergime meydana gelir, elektrotlar levhalara yapışarak tahrip olur.

Kısa kaynak zamanı ve yüksek akım şiddeti kullanarak veya uzun kaynak zamanı, düşük akım şiddeti kullanarak, aynı nokta çapı elde etmek mümkündür. Bunlara sırasıyla, kısa süreli kaynak ve uzun süreli kaynak adı verilir. Genel olarak kısa süreli kaynak tercih edilmektedir.

### **3.2.4 Elektrot kuvvetinin EDNK üzerine etkileri**

Elektrot kuvveti kaynak işleminin üç safhasında da önemli rol oynar. Basma safhasında elektrot kuvveti, levhalar arasındaki temas direncinin uygun bir değerde, buna karşılık elektrot-levha temas direncinin düşük bir değerde olmasını sağlar. Levhaların elektrotlar altında, belirli bir alanda temas etmesini sağlayarak kaynak noktasının kesin yerini belirler. Kaynak safhasında elektrot kuvvetinin görevi, levhalar arasından fişkirmaya çalışan sıvı metali, katı haldeki metal çukuru içinde basınç altında tutarak bu fişkirmayı engellemektir. Dövme safhasında ise, kaynak dikişinin sıvı halden itibaren soğuması ve katılaşması sırasında, büzülme nedeni ile ortaya çıkabilecek boşluk, çatlak gibi kusurların oluşumunu önlemektir.

Elektrot kuvvetinin artması, levhalar arası temas direncini azaltacağından, kaynak akımının arttırılmasını gerektirir. Diğer yönden çok yüksek elektrot kuvveti, levhalarda istenmeyen deformasyonlar ortaya çıkarır [1].

### 3.2.5 Kaynak yapılan malzemenin EDNK üzerine etkileri

Metallerin bileşimi, onların özgül ısılarını, ergime sıcaklıklarını, gizli ergime ısılarını, ısı ve elektrik iletkenliklerini ve yoğunluklarını etkiler. Elektrik iletkenliği ifadesindeki R değeri yolu ile verilmiş bir akım şiddetinde, ısı üretim hızını saptayan bir faktördür.

Metallerde, elektrik ve ısı iletkenlik genellikle aynı yönde paralel olarak değişir, bu nedenle yüksek elektrik iletkenliği ve dolayısı ile de yüksek ısı iletkenliğine sahip bakır, gümüş, alüminyum gibi metallerde yüksek akım yoğunluğunda dahi, üretilen çok az ısı çevreye hızla yayıldığından dolayı ergime için gerekli ısı birikimini engeller. Bu ise kaynak işlemini zorlaştırır ve çok yüksek akım değerleri uygulanmasını gerekli hale getirir [1].

### 3.2.6 Kaynak yapılan malzemenin yüzey durumunun EDNK üzerine etkileri

Kaynak yapılacak iş parçalarının yüzey durumu temas dirençleri yoluyla ısı üretimini etkiler. Eğer yüzeyler temiz ise, belirli bir uygulamada, daima aynı kalitede kaynak noktası elde edilir. Yüzeyi üzerinde oksit, pas gibi şeyler olan iş parçası değişik kalitede kaynak noktalarının oluşumuna yol açar.

Parça üzerinde mevcut yağ, kir, pas gibi maddeler akım iletimini zorlaştıracığı gibi, elektrotların yüzeyine yerleşerek, elektrot ömrünü azaltır. Bu gibi hallerde, çeşitli malzemeler için tavsiye edilen, yağ giderme ve yüzey temizleme işlemlerine başvurulmalıdır.

### 3.2.7 Isıl dengenin EDNK üzerine etkileri

Eğer değişik bileşimde ve kalınlıkta iki levha, eşit kütle ve şekle sahip elektrotlarla kaynak edilirse, ısı her iki parçada da uniform olarak üretilecek ve kaynak kesiti tipik oval biçimde olacaktır. Bu şart mevcut ise, ısıl denge mevcuttur, bununla beraber, levhalardan biri diğerinden daha yüksek elektriksel dirence sahipse, ısı bu levhada diğerine nazaran çok daha hızlı üretilecektir. Bu durumda ısıl denge mevcut değildir. Farklı iki metalin kaynak edilmesi halinde, ısıl denge ya yüksek dirençli malzeme tarafındaki elektrot temas alanını arttırarak yahut düşük dirençli malzeme tarafında, daha yüksek dirençli elektrot kullanarak sağlanır.

Farklı kalınlıktaki metallerin kaynağında, soğutulmuş elektrotun ince parça tarafında kaynak ara yüzeyine daha yakın olması nedeni ile ara yüzeyde yetersiz ısı üretimi yönünde bir eğilim vardır. Uygun ısıl denge, ince levha tarafında daha küçük temas alanına sahip elektrot kullanarak daha yüksek akım yoğunluğu elde etmek ve kısa kaynak zamanı kullanmak suretiyle gerçekleştirilir.

### 3.3 EDNK Temas Dirençleri

Elektrik direnç kaynak makineleri rastlantı olarak 1877 yılında bulunmuş, ancak 1916 yılına kadar önemli bir ilerleme kaydedilmemiştir [3, 7]. Bu yıllardan sonra, direnç kaynak makineleri seri olarak yapılmaya başlanmış ve endüstride geniş ölçüde kullanılmıştır.

Bu konudaki bilimsel araştırmalar 1935'lerden itibaren başlamış ve II. Dünya harbi sırasında bir duraklamadan sonra devam etmiştir [8, 9].

Bununla beraber, temas alanlarının ve elektriksel temas direncinin etüdü, direnç kaynağından bağımsız olarak 1880 yıllarından itibaren yapılmıştır. Bu araştırmaların daha sonra, direnç kaynağı teorisinin gelişmesine büyük ölçüde katkısı olmuştur.

#### 3.3.1 Malzemenin direnci ( $R_m$ )

Sistemde ortaya çıkan dirençler esas olarak iki türdür [3]. Kullanılan malzeme dirençleri ve temas dirençleri; Malzeme direnci, kaynak yapılacak malzemenin özelliklerine, akım yolunun büyüklüğüne, akım yolundaki sıcaklığa bağlıdır. Silindirik bir akım yolu için malzeme direnci aşağıdaki formül yardımıyla bulunur.

$$R_m = s \cdot \delta / \pi \cdot d^2 \cdot 250$$

Burada:

$R_m$ : Malzeme direnci (ohm)

$S$  : Akım yolu uzunluğu (mm)

$d$  : Akım yolu çapı (mm)

$\delta$  : Özgül direnç ( $\text{mm}^2 \cdot \text{ohm/m}$ )

Çeşitli malzemeler için 20 °C sıcaklıktaki özgül direnç değerleri Çizelge 3.9 da verilmiştir [10].

**Çizelge 3.9** Çeşitli malzemelere ait 20 °C sıcaklıktaki özgül direnç ve sıcaklık katsayıları

Malzeme	$\delta$ (mm <sup>2</sup> .ohm/m)	$\alpha$ (1/1000)
Alüminyum (% 99.5 Al)	0,0278	4
Al-Mg 5	0,059	2,1
Saf demir	0,1	5,6
Bakır	0,0178	3,92
Saf nikel	0,069	6,9
Saf gümüş	0,0149	4,1
Çelik (% 0,1 C; % 0,5 Mn)	0,13 - 0,15	4 -- 5
Çelik (% 0,25 C; % 0,3 Si)	0,18	4 -- 5
Tungsten	0,0491	4,82
Saf çinko	0,048	4,1

Alaşım elemanları metalin özgül direncini saf haline oranla oldukça artırır. Fakat bu etki yüksek sıcaklıklarda görünür şekilde azalır. Çok yüksek sıcaklıklarda alaşım ile saf metalin özgül dirençleri arasındaki fark pratik olarak kaybolur. Soğuk şekil verme ve su verme ile özgül direnç yükselir, buna karşılık tavlama ve temperleme ile ilk değerine kadar düşebilir. Çeliğin özgül direnci karbon miktarı ile de değişir.

Kotschergin [11], her bir levhadaki dönel elipsoid biçimindeki akım yolunun, yaklaşık olarak, taban tabana temas eden iki kesik koni ile temsil ederek, bir levhadaki malzeme direncini aşağıdaki formülle ifade etmiştir.

$$R_m = (4 \cdot s \cdot \delta) / (\pi \cdot d \cdot b)$$

Burada;

d: Kesik koninin taban çapı

b: Elektrot çapı

s: Levha kalınlığı

Metalik bir yüzey hiçbir zaman mükemmel bir yüzey pürüzlülüğünde değildir. Mikroskop altında incelenirse yüzeyin çukur ve çentiklerle kaplı olduğu görülür [12]. Bu yüzeysel pürüzlülük iki metalik yüzeyin temasının elektriksel ve mekanik özelliklerini etkiler. Birçok küçük temas yüzeylerinin toplamından oluşan, gerçek temas yüzeyi, teorik temas yüzeyinden çok küçük bir değerdedir.

Akımın geçişi sırasında, akım çizgileri bu temas alanları çevresinde yoğunlaşır. Bu nedenle temas noktalarındaki direnç çok yüksektir. Yüzeyler birbirlerine bastırıldıklarında, mikroskobik basınç metalin akma sınırının altında bile olsa, mikroskobik mertebede değeri metalin akma sınırı üzerinde olan şiddetli lokal gerilmeler meydana gelir.

Sonuç olarak, temas halindeki metal yüzeylerinde daima mevcut olan yüzey pürüzleri elastik sınırları üzerinde derhal şekil değiştirir. Bu şekil değişimi sırasında yeni noktalar da temas haline gelir ve olay, yükü taşımaya yeterli derecede toplam alan meydana gelinceye kadar devam eder [13].

Yük taşıyıcı bu alanlar akım iletimi açısından dört ayrı kısımda incelenebilir.

a) Metalik temas noktaları: Akım bu noktalardan herhangi bir geçiş direncine maruz kalmadan akar.

b) Yarı metalik (Quasi-metallic) temas noktaları: Elektron akımının "tünel etkisi" ile film malzemesinin direncine bağlı olmaksızın kolaylıkla geçirebilecek kadar ince filmle kaplı alanlar. Bu filmlerin kalınlığı  $20^{\circ}\text{A}$  veya daha az olup; izafi olarak düşük film direnci meydana getirirler. Bu direncin değeri temas noktalarının sayısından bağımsız olup, aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$R_f = \bar{\sigma} / A \text{ (ohm)}$$

Burada  $\bar{\sigma}$  ohm cinsinden tünel direnci,  $A \text{ m}^2$  cinsinden ince filmle kaplı toplam yük taşıyıcı alandır. Bu çeşit filmlere örnek olarak, havada herhangi bir yüzey üzerinde meydana gelebilen, kimyasal olarak absorbe olmuş oksijen atomu verilebilir.

Kimyasal olarak absorbe olmuş atomlar, metal yüzeylerindeki atomların valanslarına kovalent bağlar ile bağlanırlar. Artan yük ile etkileri ihmal edilebilecek mertebelere düşer.

c) İzafi olarak kalın filmlerle kaplı temas noktaları: Bu filmler esas metal üzerindeki kimyasal olarak absorbe olmuş filmlerden gelişirler ve içindeki bileşenlerden biri esas metalin atomudur. Bu filmlere örnek olarak oksitler ve sülfürler verilebilir. Bu filmlerle kaplı alanlar, küçük temas yüklerinde pratik olarak yalıtıcıdır. Bu nedenle, nokta kaynağında kaynak akımı tatbik edilmeden önce, yüzey üzerindeki kalın filmlerin, özellikle oksit filminin kaynak öncesi elektrot basıncı ile parçalanma tarzı, kaynak akımının ilk akış şeklini tayin ettiğinden oldukça önemlidir.

Temas yüzeyinde elastik şekil değişimleri mevcut ise, yüzeydeki farklı noktalar mesafelerini çok az artırır ve film şekil değişimini parçalanmadan takip edebilir. Bununla beraber, temas yüzeyinde plastik şekil değişimleri mevcut ise, noktalar arasında büyük

mesafeler ve metal yüzeyinde artma meydana gelir. Film bu hareketi ve büyümeyi takip edemez ve metalik noktaların teşekkülü için bir fırsat hazırlayarak parçalanır.

Williamson [14], yumuşak çelikte oksit filmlerinin çatlaması ile ilgili olarak yaptığı araştırmada, oksit filminin, esas metaldeki şekil değişimi % 0,2 civarında iken çatlamaya başladığını bulmuştur.

Williamson, çeşitli yüzey profillerini etüt ederek, pürüz tepelerindeki eğimin genellikle 3 ila 5 derece olduğunu ortaya çıkarmıştır.

Diğer bir araştırmada, düşük temas dirençlerinin, pürüz yüksekliğinin 0,5 mikrondan daha büyük olması halinde ortaya çıktığı, daha düz yüzeylerde azalan pürüz yüksekliği ile direncin hızla arttığı tespit edilmiştir. Bunun nedeni oksit filmlerinin parçalanmadan yerlerinde kalmasıdır [14, 15].

Kouvenhoven ve Tampico, ince işlenmiş yüzeylerdeki temas direncinin pürüzlü yüzeylere nazaran çok daha fazla olduğunu tespit etmiş ve bu farkı ince işlenmiş yüzeylerde oksit tabakasının parçalanmadan kalmasına bağlamıştır.

En iyi metalik temas oksit filmlerinde meydana gelen çatlaklar vasıtası ile sağlanır, ancak temas elemanlarındaki metalik kısımlar bu çatlaklar içine sokulmalıdır. Bu ise doğal olarak kalın filmlerde daha zordur. Oksit filmlerinde yukarıda açıklanan mekanik parçalanmadan ayrı olarak elektriksel parçalanma da meydana gelmektedir [15].

Yüksek dirençli kalın oksit filmleri ile kaplı iki metal yüzey temas haline getirilip, giderek artan bir gerilim tatbik edilirse, başlangıçta, yüksek film direnci nedeni ile çok az akım geçer. Fakat potansiyel gradyanı  $10^8$  V/m değerine ulaştığında akımda ani bir artma ve temas gerilimindeki azalma oksit filminin elektriksel olarak parçalandığını ve metalik temas noktalarının ortaya çıktığını gösterir. Bunun dışında akımın ısı etkisi ile pürüzler yeniden yumuşayarak şekil değiştirirler. Bu iki olay akım tatbikinden hemen sonra temas direncinin çok küçük değerlere ulaşmasına neden olur.

d) Yabancı filmlerle kaplı temas noktaları: Yabancı filmler bir sıvı yağlayıcı veya su filmi olabilir. Su filmi veya diğer sıvı yağlayıcılar, temas yükleri altında temas bölgelerinden kolaylıkla uzaklaştıklarından temas direncine çok az etkisi olur. Ancak izafi nemin % 70-80'nin üzerinde olması halinde ve havada higroskopik toz parçalarının ve sülfür dioksitin bulunuşu demirde paslanmayı başlatan ve hızlandıran etkenlerdir. Pas ise, büyük elektro yüklerinde bile direnç kaynağının gerçekleşmesine engel olur.

Temas direncinin değeri artan yük ile azalır, nedeni temas noktası sayısının ve temas alanlarının giderek artmasıdır. Bu değişim:

$$R_t = C \cdot P^{-n} \text{ ile ifade edilebilir [15].}$$

Burada,  $R_t$ : Temas direnci

P: Elektrot yükü

C,n: Sabitlerdir.

C sabiti, malzemenin sertliğine, özgül direncine, yüzey durumuna ve levha kalınlığına bağlıdır. n değeri, malzemeye ve yüzey durumuna bağlı olarak nokta kaynağı şartlarında 0,5 ile 1 arasında değer almaktadır [16]. İnce filmlerle kaplı yüzeylerde  $n = 0,6$ 'dır. Film direnci arttıkça n değeri 1'e yaklaşır.

Direnç kaynağı şartlarında temas direncini ölçmek için yapılan birçok araştırmalarda identik olarak aynı görünen temaslarda bile düşük yüklerde direnç değerlerinde oldukça büyük sapmalar elde edilmiştir. Sapma miktarı artan yüklerle giderek azalır [16]

Sidorenko [17], çeşitli yüzeylere sahip % 0,1 C 'lu çeliklerde temas dirençlerini ölçmüştür. Çizelge 3.10 de 2000 N 'luk elektrot yükü için çeşitli yüzeylerdeki levhalar arası ve elektrot levha arası temas dirençlerinin değerleri verilmiştir. Levha kalınlığı 3 mm, elektrot çapı 8 mm 'dir.

**Çizelge 3.10** Çeşitli yüzeylere sahip, düşük karbonlu, 3 mm kalınlıklı sac levhalarda temas direnci değerleri [1]

YÜZEY DURUMU	LEVHALAR ARASI DİRENÇ (ohm)	ELEKTROD – LEVHA ARASI DİRENÇ (ohm)
Asitle dağlanmış	$300 \cdot 10^{-6}$	$300 \cdot 10^{-6}$
Zımpara kağıdı ile temizlenmiş	$160 \cdot 10^{-6}$	$220 \cdot 10^{-6}$
Temizlemeden sonra paslandırılmış	0,08	0,076
Temizlemeden sonra yağlanmış	$300 \cdot 10^{-6}$	$370 \cdot 10^{-6}$
Oksitlendirilmiş	0,08	0,1
Paslandırılmış ve oksitlendirilmiş	0,5	0,36
Talaş kaldırılarak işlenmiş	$1200 \cdot 10^{-6}$	$1300 \cdot 10^{-6}$
Eğelenmiş	$280 \cdot 10^{-6}$	$430 \cdot 10^{-6}$
Zımparalanmış	$110 \cdot 10^{-6}$	$140 \cdot 10^{-6}$

### 3.3.2 Kaynak işlemi sırasında temas direncinin değişimi ve ısı üretimine katkısı

Kaynak işlemi sırasında levhalardaki toplam direncin ( $R_{top}$ ) değişimi birçok araştırmacı tarafından etüt edilmiştir. Studer, Hess 'in çalışmalarını kendi çalışmaları ile birleştirerek ilk kez, kaynak sırasında levhalardaki toplam direncin zamanla değişimi hakkında bir fikir ileri sürmüştür [18, 19].

Temas direnci kaynak akımının tatbik edilmesinden hemen sonra, akımın ilk 1/4 periyodunda ortadan kalkmaktadır. Bunun nedeni, oksit filminin elektriksel parçalanması ve akımın ısı etkisi ile temas yüzeyindeki pürüzlerin yumuşayarak yeniden şekil değiştirmesidir. Bu sırada temas bölgesindeki sıcaklık metalin ergime sıcaklığı altındadır. Temas direncinin ortadan kalkmasından sonra geriye sadece malzeme direnci kalmaktadır. Bundan sonra metalin sıcaklığı ergime sıcaklığına doğru artmakta ve malzemenin iç direncinde de önemli bir artma meydana gelmektedir. Böylece toplam direnç eğrisi bir maksimuma doğru artar. Bu maksimumdan sonra meydana gelen azalma, ergime nedeniyle, yüzeyler arasındaki temas alanının büyümesi ve levhalar ile elektrotlara ısı ileti minin artmasıdır [20].

Kaynak sırasındaki direnç değişimine kaynak akımı ve elektrot yükünün de etkisi vardır. Genellikle aynı şartlar altında iken, artan akım ile direnç-kaynak zamanı eğrisindeki maksimum noktanın değeri azalmaktadır. Elektrot yükü değiştikçe, temas direncinin ortadan kalktığı nokta, yani minimum direnç değeri yaklaşık olarak sabit kalmakla beraber, düşük elektrot yüklerinde bu minimumdan sonra direnç artması daha hızlı olmaktadır [21].

Temas direncinin bu şekilde kaynak akımının tatbik edilmesiyle birlikte ortadan kalkması nedeniyle bazı araştırmacılar bu direncin kaynak sırasındaki ısı üretimine ve dikiş oluşumuna önemli bir etkisi olmadığını ileri sürmüşlerdir [18]. Bazılarına göre, temas direncinin çok yüksek ve etkin olduğu kısa zaman süresi içinde ısınma sadece temas bölgesinde yoğunlaşmakta ve özgül direnç bu bölgede levhanın diğer bölgelerine nazaran en yüksek olmaktadır. Bu andan itibaren meydana gelen ısı enerjisi de levhaların temas bölgesinde en fazla olmaktadır [13].

Apps [22], düşük karbonlu çelikler ile yaptığı araştırmada, ısı üretiminin ilk safhalarında temas direncinin etkin olduğunu, ancak daha sonra, ısı gelişimi ve verilmiş bir hacimdeki ergimiş kaynak dikişinin meydana gelmesi için gerekli zaman açısından, elektrotlara ısı iletiminin en önemli faktör olduğunu ileri sürmüştür. Nitekim artan elektrot yükü ile elektrot levha arası temas direncindeki azalmaya ve sonuçta elektrot temas yüzeyinde üretilen ısıda azalmaya ilaveten levhalardan elektrotlara ısı iletimi daha da artmakta, levhalardaki ısı gelişimi ve kaynak dikişi teşekkülü gecikmektedir.



Satoh [23], kaynak işleminin ilk safhalarında ortaya çıkan levha ayrılmasının ısı gelişimi ve kaynak dikişi oluşmasına önemli etkisi olduğunu ileri sürmüştür. Bu araştırmacıya göre, ısınmanın ilk safhalarında temas yüzeyi civarında yeterli ısı üretiliyor ise, levhalar arası temas bölgesinde plastik şekil değişimi kolaylıkla meydana gelir ve levha ayrılması ortaya çıkar. Bu olay elektrot yükü arttıkça daha erken, hatta büyük elektrot yüklerinde, ısınma başlamadan önce bile meydana gelmektedir. Levha ayrılması ise akım yolunu sınırlayarak akım yoğunluğunu arttırmakta ve ısınmanın temas yüzeyinde ve komşu bölgeler de daha etkin bir biçimde meydana gelmesine neden olmaktadır. Satoh, çok kısa bir zamanda ortadan kalkan temas direncinin ısı gelişimine etkisinin önemsiz, ancak temas yüzeyi durumunun önemli bir faktör olduğunu ileri sürmüştür.

Levhalar arası temas yüzeyinin durumu temas direnci ortadan kalktıktan sonra bile ısı üretimine etkili bir neden olmaktadır. Özellikle yüzeyler arasındaki oksit tabakasının parçalanması ile ortaya çıkan metalik temas noktalarının sayısı önemlidir. Noktalar sayıca az ise, kaynak akımının yoğunluğu bu noktalarda oldukça yüksek olmakta ve kaynak işleminin sonucu temas yüzeyi üzerindeki bu ısı merkezlerinin büyümesi ile tayin edilmektedir. Ancak oksit tabakasının parçalanması ile ortaya çıkan akım yolları sayıca çok fazla ise, bir akım yoluna isabet eden akım yoğunluğu azalmakta ve ısı üretim hızı o kadar fazla olmamaktadır.

### 3.4 EDNK 'nda Kullanılan Elektrotlar

Direnç kaynağında, iş parçalarını sıkıştıran ve sekonder uçlarına bağlanan, iletkenliği yüksek malzemelere elektrot adı verilir. Bu elektrotların şekli, kaynak ve makinenin şekliyle yakından ilgilidir.

Kaynak kalitesinde, elektrot biçim ve özelliklerinin büyük etkisi görülmektedir. Uygun elektrot seçildiği zaman hata payı azalmaktadır. Ayrıca seçilen elektrotun kaynak şartlarından minimum zararı görmesi içinde gerekli tedbirler (su ile soğutma v.b.) alınmalıdır. Elektrotların belli başlı özellikleri şunlardır:

- 1 - Yüksek elektrik ve termik iletkenlik,
- 2 - Yüksek mekanik dayanım,
- 3 - Yüksek sıcaklıkta sertlik,
- 4 - Kaynak noktasında yapışmama kabiliyeti,
- 5 - Kaynak amacına uygun uç şekli ve koruyucu tedbirleri içermesi.

Elektrotlar (genellikle bakır alaşımıdır) yapılacak işin durumuna göre uygun formlarda hazırlanmalıdır. Bunu yaparken makine gücü (kVA), elektriksel yeterlilik gibi etkenlerde göz önünde bulundurulmalıdır [12].

### 3.4.1 Elektrotların fonksiyonu

EDNK 'nda elektrotlar üç ana fonksiyonu yerine getirir:

1. Kaynak akımının iş parçasına iletilmesi,
2. Kaliteli bir kaynak üretmek için, kaynak alanı içinde iş parçalarına gereken güç miktarının iletilmesi,
3. Isıyı kaynak bölgesinden dışarıya hızla yaymak.

Kaynak operasyonu sırasında, elektrotlar, yüksek sıcaklıklarda büyük basma kuvvetlerine maruz kalmaktadır, bu nedenle sık sık yeniden kaplanıp periyodik olarak da yenilenmeleri gerekmektedir. İş parçalarına iletilen akım sabit alanda odaklanmalıdır ve elektrotlar aşırı deformasyona uğramadan uygulanan kuvvetlere direnç gösterebilmelidir. Elektrot kuvveti, ısıtılmış iş parçalarını birlikte sıkıştırmasının yanı sıra, akımın odaklanma alanına akımın geçmesini sağlar [1].

### 3.4.2 Elektrotların bakımı

EDNK 'nda, istenilen bir kaynak kalitesi elde etmek için şekil, ölçüler, elektrot uçlarının ya da temas yüzeylerinin durumu oldukça önemlidir. Elektrot uçlarının şekil ve ölçüleri mekanik aşınma ve deformasyonu ya da mantarlaşması, uç malzemesine ve tasarımına, operasyon sıcaklığına, kaynak kuvvetine, ısıtma ve soğutma hızlarına bağlı olarak etkilenir.

Elektrot ucu ve iş parçası arasında alaşım meydana gelmesi, elektrot ucu bozulma hızını artırır. Bozulma özellikle, kaynak yapılırken bakır alaşımlı elektrotların kullanılması halinde, iş metalinin kalay, çinko ya da alüminyum kaplandığı durumlarda elektrot metaliyle alaşım oluşturma şansı nedeniyle oldukça yüksektir.

Bu tür hatalı, zayıf ya da yanlış kaynaklardan, düzensiz şekilde kaynaklardan, hatalı çukurlardan, yanma ya da çalışma yüzeyinin renginin atmasından ve çalışma yüzeyine elektrot toplanmasından kaçınmak için elektrot ucunun durumu dikkatli bir şekilde tasarlanmalıdır. Elektrot uçları programlı (düzenli) aralıklarla gerekiyorsa kaplanmalı ve değiştirilmelidir.

Elektrot bakım programı, atölye ya da fabrikanın kendi özel ihtiyaçlarına cevap verecek şekilde düzenlenmelidir. Koruyucu bakım, çok elektrotlu tutucuların kullanıldığı durumlarda her punta da direncin homojenliğini sağlamak açısından oldukça önemlidir. [2]

### 3.4.3 Elektrot malzemeleri

EDNK için kullanılan elektrot malzemeleri, yeterli ısı ve elektrik iletkenliğine ve yeterli derecede düşük temas direncine sahip olmalıdır, böylece iş parçasının yanması ya da elektrotla alaşım yapması engellenir ve aynı zamanda çalışma basıncı ve sıcaklıklarında deformasyona direnç göstermesi için yeterli mukavemete de sahip olur. Çünkü elektrotun iş parçasıyla temas eden bu kısmı, kaynak sırasında sıcaklıkla doğru orantılı olarak ısınır, aynı zamanda buna ek olarak sertlik ve tav sıcaklığına da dikkat edilmelidir.

Elektrot malzemeleri RMWA (Resistance Welding Manufacturing Alliance – Direnç kaynağı üretim birliği) tarafından iki kompozisyon grubu içinde sınıflandırılır. Bakıra dayalı alaşımlar ve refrakter metal kompozisyonları. Bu sınıflandırmalar, çok geniş alana yayılmış kaynak elektrotu malzemelerini, çoğu uygulamaya cevap verecek nitelikte, içinde bulundurmaktadır [2].

#### 3.4.3.1 Bakıra dayalı alaşımlar (RWMA grup A)

Çizelge 3.11 'de çeliğin, EDNK için kullanılan elektrot malzemeleri olan bakıra dayalı alaşımların minimum özellikleri verilmektedir. Bu grup sınıf 1, 2 ve 3 'ü kapsar.

a - Sınıf 1 malzemeler: Bakıra dayalı bir alaşım olup % 1 kadmiyum ve % 99 bakır içeren kompozisyondadır. Yüksek elektrik ve ısı iletkenliğinin yanı sıra, yüksek mukavemet ve sertliğe sahiptir. Sınıf 1 malzemesi, ısı işleme tabi tutulmaz, ancak soğuk işleme (deformasyonla) mukavemeti artırılıp sertleştirilebilir, bu da yüksek elektrik ve ısı iletkenliği üzerinde bir etki yaratmaz. Sınıf 1 malzemesi, kalay kaplı düşük karbonlu çeliğin, çinko ya da, kromun; pullu sıcak çekilmiş düşük karbonlu çeliğin; alüminyum ve magnezyum alaşımları gibi bazı demir dışı metallerin punta kaynağının yapılmasında tavsiye edilir. Bu malzeme, çekme çubuk, dövme, folyo ve plaka halinde bulunabilir [2].

**Çizelge 3.11** RWMA Grup A, Sınıf 1, 2, 3 elektrot malzemelerinin minimum özellikleri [2]

Elektrot çapı (mm)	Gerilim (kg/cm)			Rockwell B			Elektrik iletkenliği (% IACS)			Çekme mukavemeti (kg/cm)			Uzama (50 mm de %)		
	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3
<b>YUVARLAK ÇUBUK MALZEMELER</b>															
25'e kadar	1230	2461	3515	65	75	90	80	75	45	4220	4570	7050	13	13	9
25-50 arası	1055	2110	3515	60	75	90	80	75	45	3870	4150	7030	14	13	9
50'den büyük	1055	1760	3515	65	65	90	80	75	45	3515	3870	6680	15	13	9
<b>KARE DİKDÖRTGEN VE ALTİGEN ÇUBUKLAR</b>															
25'e kadar	1410	2461	3515	55	70	90	80	75	45	4220	4570	7030	13	13	9
25'den büyük	1055	1760	3515	50	65	90	80	75	45	3515	3870	7030	14	13	9
<b>DÖVMELER</b>															
25'e kadar	1410	1550	3515	55	65	90	80	75	45	3170	3870	6610	12	13	9
25-50 arası	1055	1475	3515	50	65	90	80	75	45	2820	3870	6610	13	13	9
50'den büyük	1055	1410	3515	50	65	90	80	75	45	2820	3870	6610	13	13	9
<b>DÖKÜM MALZEMELER</b>															
Tamamı	....	1410	3165	...	55	90	...	70	45	...	3170	5980	...	12	5

**NOMİNAL KOMPOZİSYONLAR**

Sınıf 1 (S1), % 1 Kadmiyum, % 99 Bakır

Sınıf 2 (S2), % 0.8 Krom, % 99.2 Bakır

Sınıf 3 (S3), % 0.5 Berilyum, % 1 Nikel ve Kobalt, % 98.5 Bakır

b- Sınıf 2 malzemeler: Bakıra dayalı bir alaşım olup, kompozisyonu % 0.8 krom, geri kalanı da bakır olacak şekildedir ve yüksek mekanik özelliklerinin yanı sıra sınıf 1 malzemesine göre düşük elektrik ve ısı iletkenliğine sahiptir. Optimum fiziksel ve mekanik özellikler, ısıtılıp işlemle ya da bir ısıtılıp işlem soğuk deformasyon kombinasyonu ile geliştirilir. Sınıf 2 malzemesi en iyi genel amaçlı elektrot malzemesidir ve çok geniş çapta metalle ve farklı durumlarda kullanılabilir.

Sınıf 2 malzemesi, soğuk çekilmiş düşük karbonlu çeliğin, nikel kaplamalı çeliğin, sıcak çekilmiş tuzlu suda soğutulmuş düşük karbonlu çeliğin, paslanmaz çeliğin ve bakıra dayalı alaşımların, örneğin silikon bronz ve nikel gümüşün punta kaynağı yapılmasında kullanılır. Bu malzeme aynı zamanda kollar, miller, kalıplar, plakalar, tabanca dişleri ve yük taşıyan direnç

ekipman parçaları için de uygundur. Sınıf 2 malzemesi çekilmiş çubuk, folyo rulosu, plaka ve dövülerek şekillendirilmiş hallerde elde edilebilir durumdadır. Sınıf 2 elektrotları bu çalışmada elektrot malzemesinin tanıtıldığı tüm örneklerle kullanılabilir.

c- Sınıf 3 malzemeler: Bakıra dayalı bir alaşım olup, % 0.5 berilyum, % 1.0 nikel (bazen iptal edilir), % 1.0 kobalt, kalanı da bakır olan bir kompozisyona sahiptir. Sertleştirilir bir alaşım olan sınıf 3 malzemesi, yüksek mekanik özelliklere sahip olmasına rağmen, sınıf 1 ve sınıf 2 malzemelerinin sahip olduğu elektrik ve ısı iletkenliğinden daha düşük değerlere sahiptir.

Sınıf 3 malzemesinin yüksek sertliği, iyi aşınma direnci ve yüksek tav sıcaklığı orta derecedeki elektrik iletkenliğiyle bir araya geldiğinde (% 45 'den % 50 'ye IACS), yüksek basınç ve iş parçası direncinin yüksek olduğu punta kaynağı uygulamalarında iyi bir malzeme yapar. Bu malzeme kalın, düşük karbonlu çelik kesitlerinde, paslanmaz çelik malzemelerde kullanılabilir.

Sınıf 3 malzemesi, çekme çubuk, folyo, döküm ve dövülmüş hallerde elde edilebilir durumdadır [2].

#### **3.4.3.2 Refrakter metal kompozisyonu (RMWA Grup B)**

Çizelge 3.12 de, çeliğin EDNK 'nda elektrot malzemesi olarak kullanılan refrakter metal kompozisyonları için, minimum özellikler verilmektedir. Bu grup sınıf 10 ile 14 arasında kapsar.

Bu elektrot malzemeleri, yüksek ısı, uzun kaynak süresi, yetersiz soğutma ya da yüksek basıncın, bakıra dayalı alaşımlarda hızlı bozunmaya yol açtığı hallerde kullanılmaktadırlar. Bunların arasında seçim yaparken, her uygulama için ayrı ayrı elektrot tasarımı ve iş parçası, karşı elektrot ve punta kaynağı ekipmanının tipi ele alınmalıdır. Bir bakır alaşımı çeliğe kaynak yapıldığında, grup B elektrotu bakır alaşımına teması sağlamak ve grup A sınıf 1 ya da sınıf 2 elektrotu çeliğe teması sağlamak için kullanılır [2].

a- Sınıf 10 malzemesi: Yüksek ergime noktalı bakır-tungsten refrakter metalidir ve bakıra dayalı alaşımların yüksek sertlik ve diğer refrakter metal kompozisyonlarınca sağlanan yüksek mukavemet arasında dengeli olmayı gerektiren punta kaynağı elektrotu yüzlerinde kullanılması uygundur [2].

b- Sınıf 11 malzemesi: Hacimce, % 42 bakır, % 58 tungsten kompozisyonunda bir refrakter metaldir ve yüksek sertliğine karşılık sınıf 10 malzemelerinden daha düşük elektrik iletkenliğine sahiptir, özellikle de demir içeren metallerin punta kaynağında, örneğin, paslanmaz çelikte kullanılması uygundur [2].

c- Sınıf 12 malzemesi: Bir bakır-tungsten refrakter metaldir. Sınıf 11 malzemesinden daha yüksek sertliğe ve daha düşük elektrik iletkenliğine sahiptir [2].

d- Sınıf 13 ve 14 Malzemeleri: Sırasıyla alaşımlanmış tungsten ve alaşımlanmış molibden içerir. Bu iki malzemenin özellikleri, genellikle bakır alaşımlarının birleştirilmesi dışındaki uygulamalarda, düşük karbonlu çeliğin EDNK 'nda gerekli değildir.

Özel alaşımlar, örneğin bakır-zirkonyum ve bakır-kadmiyum-zirkonyum sınıf 1 ve sınıf 2 malzemelerine benzer özelliklere sahiptir ve direnç kaynağı elektrotları olarak kullanılırlar. Bu malzemeler, çinko, alüminyum, kalay, kadmiyum kaplanmış çeliğin ve alüminyum, magnezyum alaşımlarının punta kaynağı için uygundur.

Sınıf 1 malzemesinin kullanılabildiği herhangi bir uygulamada, elektrot yüzünün tavlama karşı yüksek direnci gerekiyorsa, sınıf 13 ve 14 malzemeli elektrotlar kullanılabilir.

**Çizelge 3.12** Refrakter metal kompozisyonunda RWMA Grup B elektrot malzemeleri için minimum özellikler.

SINIF	ROCKWELL SERTLİĞİ	ELEKTRİK İLETKENLİĞİ % IACS	BASMA MUKAVEMETİ (kg/cm)
10	B72	35	9490
11	B94	28	11250
12	B98	27	11950
13	B69	30	14060
14	B85	30	...

### 3.4.3.3 Elkoniteler

Elkoniteler, gerçek alaşım meydana getirmeyen metallerin, toz metal metalurjisi teknikleriyle birleştirilmesinden elde edilmektedir. Bu özelliklerin bir kısmı ideal elektrot özellikleridir, ancak toz metalurjisi tekniğiyle imal edilmelerinden dolayı, bünyelerinde sert ve yumuşak zerrecikler bulundurmaktadırlar. Yüksek akım ve yüksek basınç gerektiren punta kaynağında kullanıldıklarında, yumuşak kısımlar aşınmakta ve sert kısımlar ise çıkıntı olarak kalmaktadır. Bunun sonucu olarak kaynak esnasında temas noktalarında yüksek direnç meydana gelmekte ve yüksek akım yoğunluğundan dolayı parçalar yanmaktadır.

Bu sebeplerden dolayı, Elkonitelerin kullanılma sahası bukel kaynağı ve alın kaynağı için geçme yüzey parçalarıyla sınırlıdır. Sıcak perçinleme gibi uygulamalarda yumuşama ısılarının ve temas dirençlerinin yüksek olması Elkoniteler için bir avantaj sağlamaktadır.

Mallory alaşımlarının özellikleri genellikle ısı işlem sonucu elde edildiğinden, bu malzemelerin birbirine kaynak edilmesinden kaçınılmalıdır. Halbuki Elkoniteler 1000 °C 'ye kadar özelliklerini muhafaza etmektedirler.

Direnç kaynağı malzemesi olarak kullanılan Elkonitelerin esneme kabiliyeti yoktur ve dolayısıyla geçme parça halinde kullanıldıklarında kırılma ihtimali vardır. Bu bakımdan bu çeşit geçme parçalara, uygun bir destek yapılmalıdır. Elkonite parçaların destek parçalarına tutturulmaları için tavsiye edilen yöntem, gümüş kaynağıdır. Ancak, iyi bir şekilde tutturulmuş olsa bile, destek elemanı saf bakır gibi yumuşak bir malzeme olduğunda, Elkoniteden mamul geçme yüzey elemanlarının çatlama ihtimali mevcuttur [2].

#### **3.4.3.4 EDNK için elektrot malzemesi seçimi**

Nokta, kaynağı için elektrot malzemesi seçiminde düşünülmesi gereken temel teknik hususlar, kaynak edilecek malzemenin ısı ve elektrik iletkenliği, sertliği ve ergime ısısıdır.

Genel esas olarak, yüksek ısı ve elektrik iletkenliğine sahip malzemelerin kaynağı, iletkenliği yüksek elektrot kullanılmasını gerektirmekte, buna karşılık iletkenliği düşük malzemelerin kaynağında, iletkenliği biraz daha düşük elektrotlar kullanılabilir.

Sert malzemelerin nokta kaynağında, yüksek basınç kullanılmakta ve bu da malzemesi sert elektrot gerektirmektedir. Kaynak edilecek malzemenin ergime ısısı düşük olduğu durumlarda, kaynak esnasında ergimesi ihtimali çoğalmakta ve iletkenliği yüksek elektrot kullanmayı gerektirmektedir.

Değişik kalınlıkta aynı cins malzemenin kaynağında düşünülmesi gereken en önemli unsur, malzemenin elektrik direncidir. Yüksek dirençli kalın bir levha, daha ince bir malzemeye kaynak edildiğinde, elektrik akımına karşı kalın levhadaki yüksek direnç ısının bu kısmında toplanmasına ve dolayısıyla kaynağın kalın malzeme içine gömülmesine sebebiyet verir.

Kaynak edilecek malzemeler arasında kalınlık farkı fazla olmadığında, kalın malzeme tarafında uç çapı daha büyük elektrot kullanılarak, bu kısımda akım yoğunluğu azaltılır ve kaynağın malzeme içine gömülmesi önlenir.

Kalınlık farkı büyük olduğunda, iletkenliği düşük bir elektrot ince levha tarafında ve iletkenliği yüksek bir elektrot da kalın levha tarafında kullanılmalıdır. Bu şekilde, ince levhada meydana gelecek ısı çoğalacak ve böylece ince ve kalın malzemedeki ısı dağılımı dengelenmiş olacaktır [2].

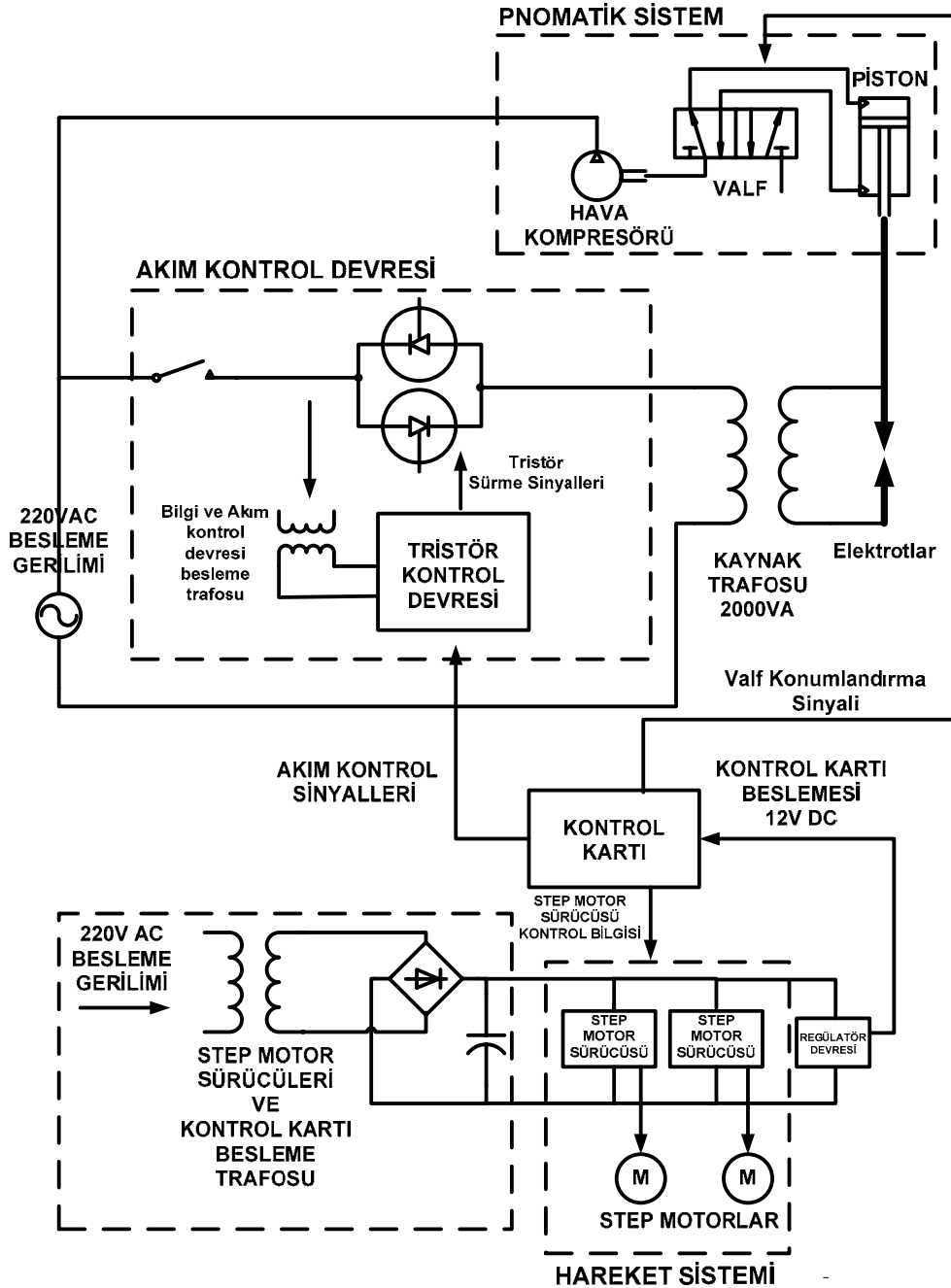
#### **3.4.3.5 Elektrot ömrü**

Üst ve alt elektrot başlıklarının boyları, yaklaşık olarak 5000 nokta kaynağına kadar hızlı, bu değerden sonra ise yavaş bir şekilde azalma göstermekte, elektrot başlıklarının mantarlaşma miktarı da büyük oranda aynı sonucu vermektedir. Bunun nedeni, elektrot yüzeyinde ortaya çıkan ısının malzemeyi daha kolay plastik şekil değiştirebilir hale getirmesidir [24].



#### 4 TASARIM VE İMALATI YAPILAN PROJE İLE İLGİLİ ÇALIŞMALAR

Sistem punta kaynak makinesinin özel bir şekli olarak tasarlanmış ve imal edilmiştir. Temel şema Şekil 4.1 de görüldüğü gibidir. Bu şema çerçevesinde sistem bölümler halinde açıklanmıştır.



Şekil 4.1 Tez çalışması sisteminin şematik gösterimi

Şekil 4.1 de görüldüğü üzere sistem esas olarak dört bölümden oluşmaktadır. Bunlar:

- 1- Mekanik ve hareket sistemi
- 2- Pnömatik sistem
- 3- Elektronik kontrol sistemi
- 4- Yazılım

#### **4.1 Mekanik ve Hareket sistemi**

Mekanik sistemin tasarım ve modellenmesi SolidWorks 2006 programı ile yapılmıştır. Bu aşamada tüm sistem elemanları part olarak birebir modellenmiş ve assembly haline getirilmiştir. Bu sayede sistemde oluşabilecek hatalar analiz edilerek sistem iyileştirilmiştir.

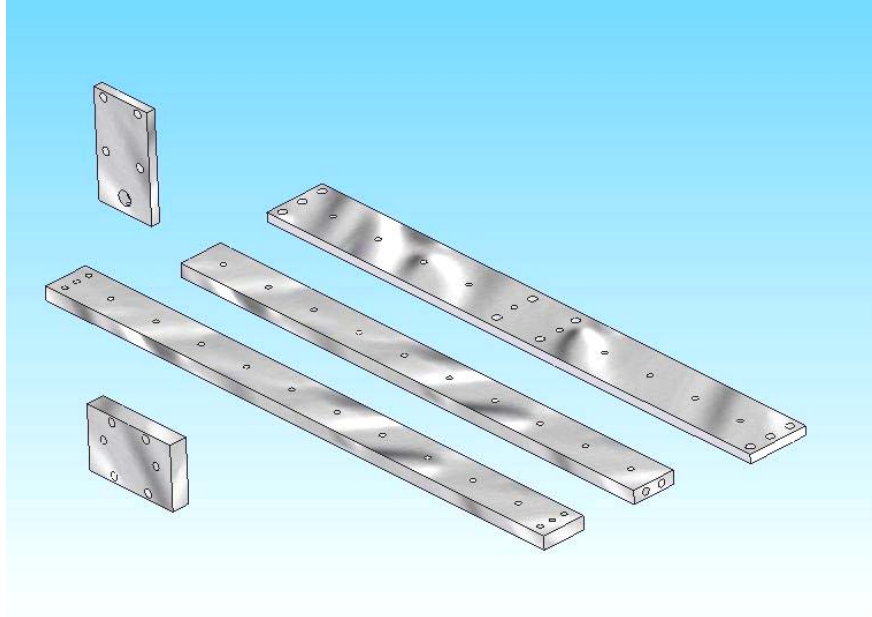
Mekanik sistemde kullanılan ana elemanlar şunlardır:

- Alüminyum lama ve profiller
- Minyatür araba ve ray sistemleri
- Triger kayış ve kasnaklar
- Step motorlar
- Ve çeşitli bağlantı elemanları

##### **4.1.1 Alüminyum lama ve profiller**

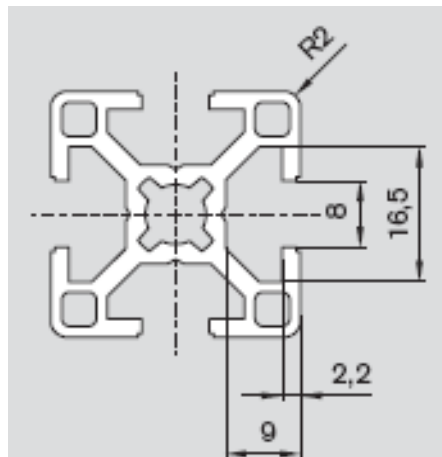
Sistem ana gövde elemanları, hafif ve kolay işlenebilme özellikleri nedeniyle alüminyum olarak tercih edilmiştir. Bu alüminyum parçalar teknik resimlere uygun olarak cnc freze tezgahında 0.05 mm. hassasiyetinde işlenmiştir. Bu parçalar toplu olarak şekil 4.2 de görülmektedir.

Alüminyum malzemelerin yanı sıra tasarlanan sistemin alt ve üst elektrotları arasında yalıtımın sağlanması amacı ile sağ ve sol kenarların fiber malzemeden işlenmesi uygun görülmüştür. Fiber malzeme, mukavemet olarak yeterli, işlenebilirlik açısından iyi ve yalıtkan bir malzemedir.



**Şekil 4.2** Mekanik sistem ana gövde elemanları

Bunun yanında sistemin iskelet sisteminde kullanılan 30x30 özel profilin tercih sebepleri yüksek mukavemet ve dayanım, estetik görünüm ve kolay montaj özellikleridir. Bu profilin kesit görüntüsü ve ölçüleri şekil 4.3 de gösterilmiştir.



**Şekil 4.3** 30x30 özel profil ölçü ve şekil özellikleri

#### 4.1.2 Minyatür araba ve ray sistemleri

Sistemde 3 adet minyatür araba kullanılmıştır. Araba tercihinde teknik özellikler göz önünde bulundurulmuştur. Bu özellikler;

Toplam moment dayanımı,

$$M_t = ((F_e/2)+G) \times L$$

$M_t$ : Arabaya uygulanan toplam moment (kg. m)

$F_e$ : Elektrot kuvveti (kg)

$G$ : Parça ağırlığı (kg)

$L$ : Kuvvet kolu uzaklığı

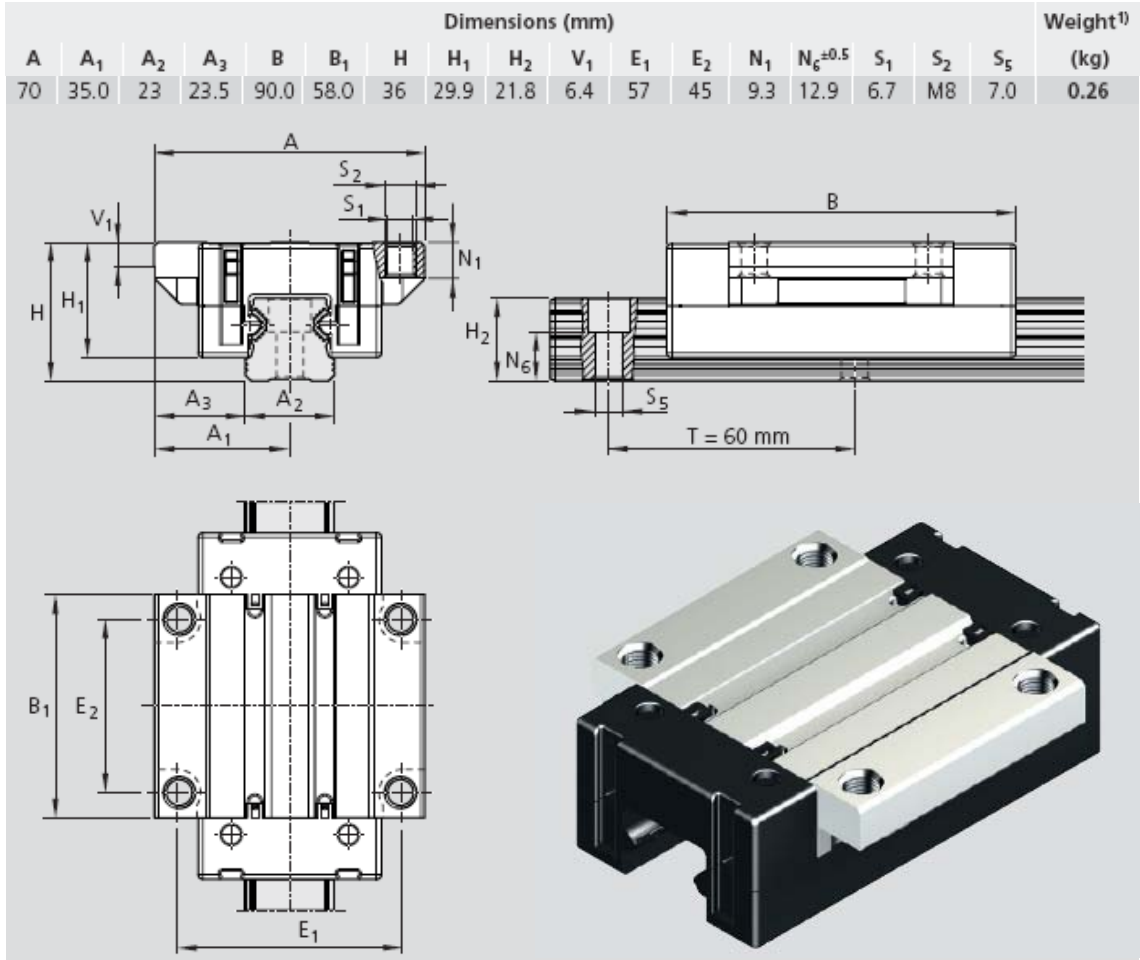
Sistemde en büyük moment kaynak sırasında pistonun maksimum kuvvetle bastığı düşünülürse (118 kg - 6 Bar) sabit elektrotun bağlı olduğu 2 numaralı arabaya uygulanır. Bu araba için yukarıda ki eşitlik uygulandığında;

$$M_t = ((118/2).70+0,25.25) \times 10^{-3}$$

$M_t = 4.136$  kg.m değeri elde edilir.

Ayrıca arabaya dik olarak uygulanabilecek maksimum kuvvete en altta bulunan 3 numaralı araba maruz kalacaktır bu değerde taşınmış olduğu yüklerdir ve bu yükler toplamı yaklaşık olarak 10 kg 'dır.

Tüm bu şartlar ve ekonomiklik göz önüne alınarak BOSH REXROTH R2031 295 10 numaralı minyatür arabası uygun görülmüştür. Bu arabanın dayanabilir maksimum momenti 66 Nm. ve maksimum kuvvet dayanımı 6400 N'dur. Araba ağırlığı 0,26 kg 'dır. Ölçüsel özellikleri şekil 4.4 de görülmektedir. Bu arabaların ana malzemesi alüminyum alaşımıdır. İçlerinde bulunan bilyeler özel sertleştirilmiş çelik malzemedir.

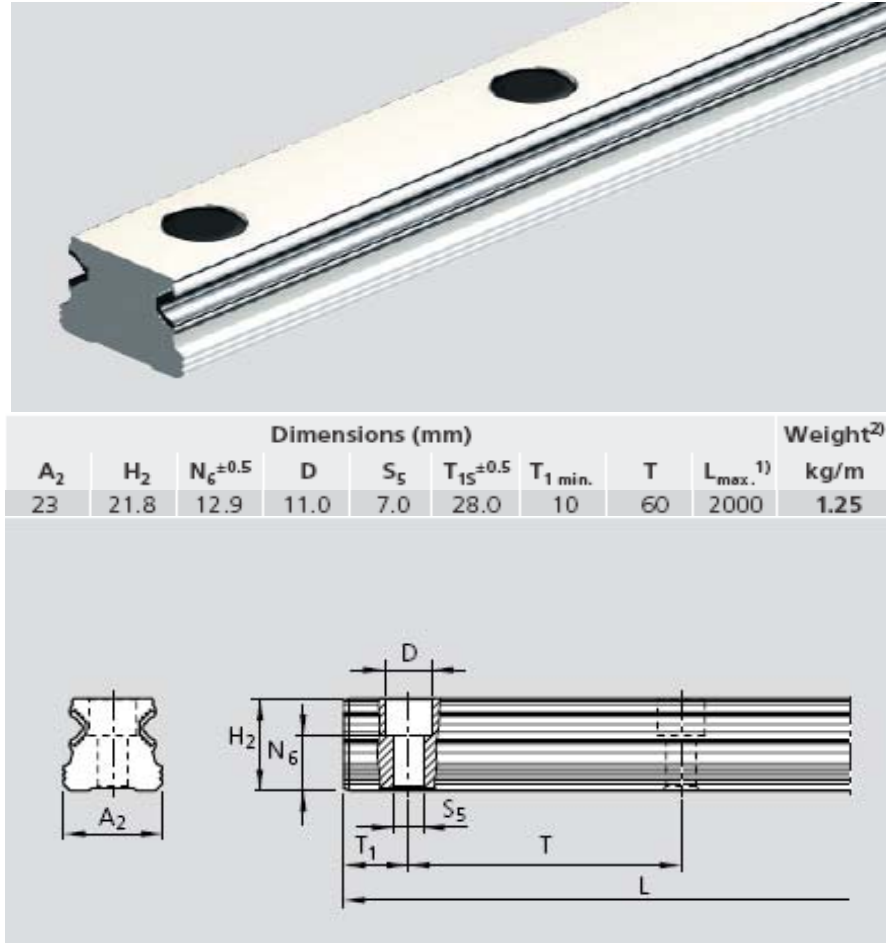


**Şekil 4.4** Sistemde kullanılan minyatür araba ölçüsel özellikleri

Bu arabaların kızakları da yine BOSH REXROUTH firması ürünü olan R2035 205 31.. olarak seçilmiştir. Bu kızaklar alüminyum alaşımıdır ve bilyelerle temas eden yüzey özel bir işleme sertleştirilmiştir.

Kızakların boyları 600 mm. olarak tasarlanmış ve bu şekilde temini sağlanmıştır. Kızak ölçüsel özellikleri şekil 4.5 de görülmektedir.

Araba ve kızaklara ek bir işlem yapmadan kullanmak mümkündür. Bu araba kızak sistemleri her tür otomasyon sistemde çok sayıda kullanılmaktadır. Bu sistemde kızak araba arası boşluk yok denecek kadar az mertebedir. Bu da mekanik sistemlerde çok büyük bir avantajdır.



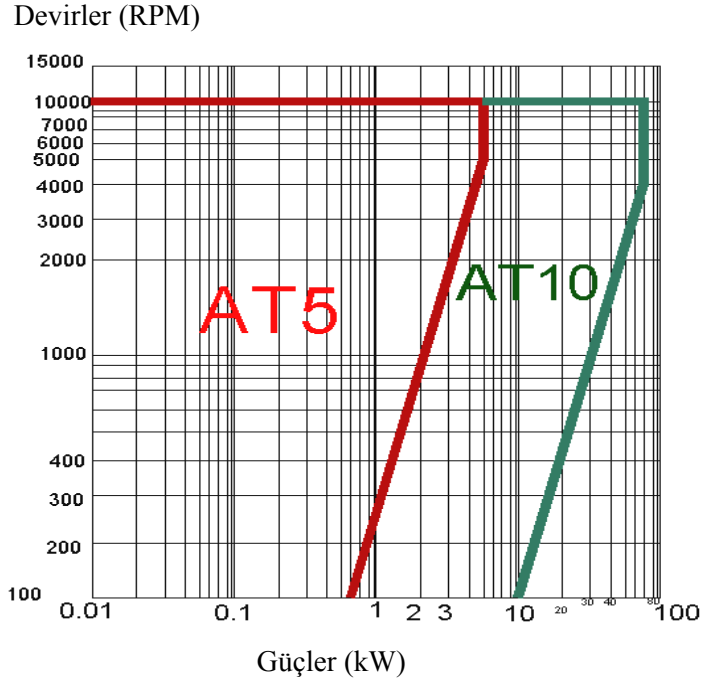
Şekil 4.5 Sistemde kullanılan kızak ölçüsel özellikleri

#### 4.1.3 Triger kayış ve kasnaklar

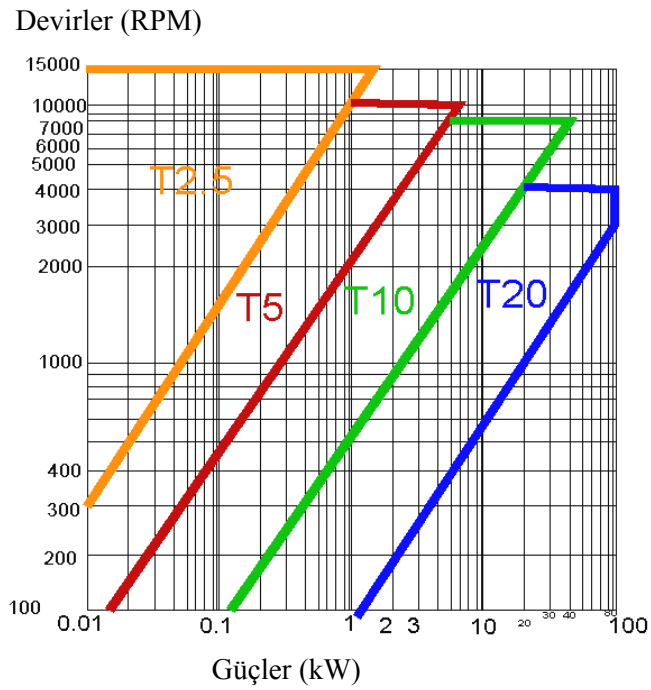
Triger kayış ve kasnak sistemlerinin kullanım alanı çok geniştir. Sistemimizde triger kayış kullanmanın temel nedeni basit ve kullanım alanının geniş olmasıdır. Bu tür sistemler genel olarak sanayide kullanılan v kayış kasnak sisteminin yerini hızla almaktadır. Bu kayışlarda güç kaybı en aza indirilmiş, ayrıca v kayışlarda oluşan birçok sıkıntı giderilmiştir.

Tasarım gereği kasnak çapının 55 mm den küçük olmaması gerekmekte olduğundan kasnak ve kayış seçiminde bu özellik ön plana çıkmıştır. Bu kayışların bir diğer adı da zaman kayışıdır. Bunun nedeni de çok ince zaman ayarlarını yapabilmemizdir. İmal edilen sistemde de koordinat eksenine uygun ve senkron hareketler söz konusu olduğundan dolayı triger kayış kasnak sistemi en uygun, en basit ve en ekonomik yöntem olmuştur. Triger kayış ve kasnak seçim tabloları çizelge 4.1 ve çizelge 4.2 de görülmektedir.

**Çizelge 4.1** Triger kasnak dişi seçim kriterleri



**Çizelge 4.2** Triger sistem diş adımı seçim kriterleri



Bu grafikler yardımıyla 5 watt gücündeki motora uygun olarak ÖZGÜLEÇ MAK. SAN. ürünlerinden 36-T5-B10F ve 40-T5-B10F tipi kasnaklar tercih edilmiştir. Bu kasnaklardan hareket iletimini sağlamak amaçlı 6 adet ve T5–10 kayıştan yaklaşık 5 m. kullanılmıştır. Bu kayış ve kasnakların başlıca avantajları şöyle sıralanabilir:

- Kayma problemi yoktur. Bunun için de kolay aşınmaz ve ömrü uzun olur.
- Zaman kayışının üzerine sistemden yağ bile damlasa yine kayma yapamaz.
- Küçük çaplara sarılması çok iyidir; aynı zaman da yakın merkez mesafelerinde de randımanlı çalışır.
- Yük taşımaları, diğer kayış sistemlerine göre daha fazladır.
- Zaman kayışının gerginliği diğer kayışlar kadar olması gerekmez; dolayısıyla yataklara gelecek yük az olur ve yatakların kullanma ömrü artar.
- Hafif olduğu için mil ve yataklara gelen yük azaltılmış olur.
- Çok geniş hatve genişlik yelpazesi olduğundan yük ve devir seçimlerinde kolaylık sağlar.
- Bütün ölçüler standart olduğu için temini ve yedeklemesi kolaydır.
- Malzeme ve kaplamadan dolayı ambar stoğunda korozyon problemi yaşanmaz.

#### 4.1.4 Step (adım) motorlar

Açısal konumu adımlar halinde değiştiren, çok hassas sinyallerle sürülen motorlara adım motorları denir. Adından da anlaşılacağı gibi adım motorları belirli adımlarla hareket ederler. Bu adımlar, motorun sargılarına uygun sinyaller gönderilerek kontrol edilir.

Herhangi bir uyarımda, motorun yapacağı hareketin ne kadar olacağı, motorun adım açısına bağlıdır. Adım açısı motorun yapısına bağlı olarak 90°, 45°, 18°, 7.5°, 1.8° veya daha değişik olabilir. Motora uygulanacak sinyallerin frekansı değiştirilerek motorun hızı kontrol edilebilir. Adım motorlarının dönüş yönü uygulanan sinyallerin sırası değiştirilerek saat ibresi yönü veya saat ibresinin tersi yönünde olabilir.

Adım motorlarının hangi yöne doğru döneceği, devir sayısı, dönüş hızı gibi değerler mikroişlemci veya bilgisayar yardımı ile kontrol edilebilir. Sonuç olarak adım motorlarının hızı, dönüş yönü ve konumu her zaman bilinmektedir. Bu özelliklerinden dolayı adım motorları çok hassas konum kontrolü istenen yerlerde çok kullanılırlar. Adım motorlarının kullanıldıkları yerlere örnek olarak, endüstriyel kontrol teknolojisi içerisinde bulunan bazı sistemler, robot sistemleri, takım tezgahlarının ayarlama ve ölçmeleri verilebilir. Ayrıca, adım motorları konumlandırma sistemlerinde ve büro makineleri teknolojisi alanında da kullanılmaktadır.



Adım motorlarının bu kadar çok kullanılma alanı bulmasının nedeni bu motorların bazı avantajlara sahip olmasıdır. Bu avantajlar aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Geri beslemeye ihtiyaç göstermezler. Açık döngülü olarak kontrol edilebilirler.
- Motorun hareketlerinde konum hatası yoktur.
- Sayısal olarak kontrol edilebildiklerinden bilgisayar veya mikroişlemci gibi elemanlarla kontrol edilebilirler.
- Mekanik yapısı basit olduğundan bakım gerektirmezler.
- Herhangi bir hasara yol açmadan defalarca çalıştırılabilirler.

Adım motorlarının bu avantajları yanında bazı dezavantajları da aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

- Adım açıları sabit olduğundan hareketleri sürekli değil darbelidir.
- Sürtünme kaynaklı yükler, açık döngülü kontrolde konum hatası meydana getirirler.
- Elde edilebilecek güç ve moment sınırlıdır.

İmal edilen sistemde 2 adet step motor kullanılmıştır. Bu motorlar tercih edilirken sisteme hareketini sağlayacak kapasitede olmasına dikkat edilmiştir. Bu güç hesabı basit bir şekilde şu formülle yapılmaktadır:

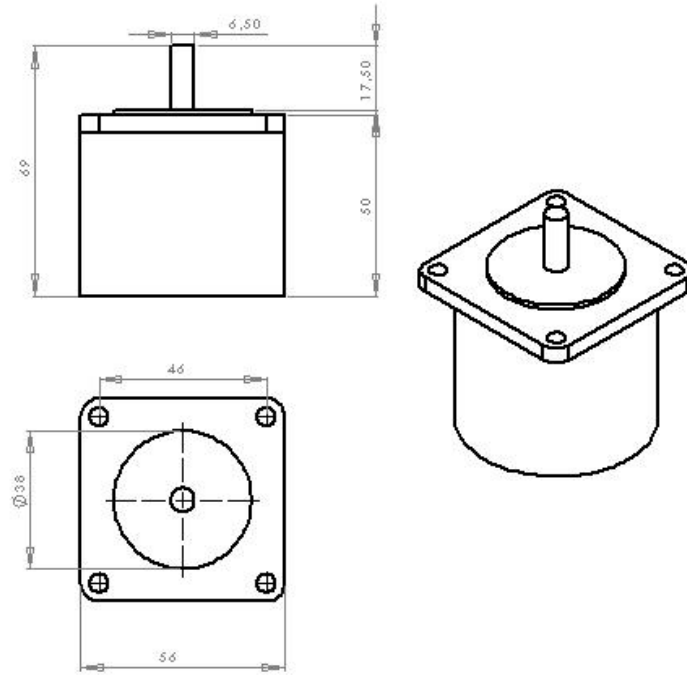
$$M_L = F_b \times D/2 \quad (\text{Nm})$$

$M_L$ : Gerekli motor momenti

$F_b$ : Kayışa etkiyen kuvvet (N)

$D$ : Motora bağlanan kasnak çapı (m)

Bu eşitlikten  $M_L = 20 \times 70 \times 10^{-3} / 2 = 7 \text{ Nm}$  momente sahip bir motor ihtiyacı olduğu teorik olarak hesaplanmıştır. Oluşabilecek ekstra sürtünmeler de göz önüne alınarak 10 Nm momente sahip 2 motor temin edilmiştir. Bu motorlar 5 V, 1 A enerji ile çalışmaktadır. Hassasiyeti  $1.8^\circ$  'dir. Şekil 4.6 da motor ölçüleri ve 3 boyutlu resmi görülmektedir.



Şekil 4.6 Projede kullanılan step motor ölçüleri



Proje için tasarlanan elektrot kuvveti 100 kg civarı ve strok 40-50 mm arasındır. 100 kg için piston çapını hesap edecek olursak:

$$F = P \times A \times \eta$$

F: Pistondan uygulanan kuvvet (kg.f)

P: Uygulanan hava basıncı (Bar)

A: Piston yüzey alanı (cm<sup>2</sup>)

$\eta$ : Verim (%)

Projede istenilen kuvvete göre formül uygulanırsa;

$$100 = 6 \text{ bar} \times 0.785 \cdot A \times 0,85$$

$$A = 24.978 \text{ cm}^2$$

$$D = 4.997 \text{ cm} \approx 50 \text{ mm}$$

Bu veriler çerçevesinde TEKMAKSAN marka 50x50 silindir tercih edilmiştir. Silindire ait resim şekil 4.8 de mevcuttur.



**Şekil 4.8** Pnömatik silindir örnekleri

#### 4.2.2 Valf

Valfler pnömatik sistemin en önemli elemanlarıdır. Kompresörden gelen havayı yapılacak işleme göre yönlendirir yani sistemde bir beyin görevi görürler. Valflerin kullanım alanına göre birçok çeşidi bulunmaktadır. Proje de kullanılmak üzere 5/2 valf tercih edilmiştir. Bu valf 220 volt bir röleye sahiptir. Yani şebekeden sinyal verildiğinde valf yolu değişebilmektedir. Sistem de silindirin çalışma alanına uygun olan bu valfin şematik görünümü şekil 4.9 'daki gibidir.



Şekil 4.9 5/2 yön valfi şematik ve genel görünüşü

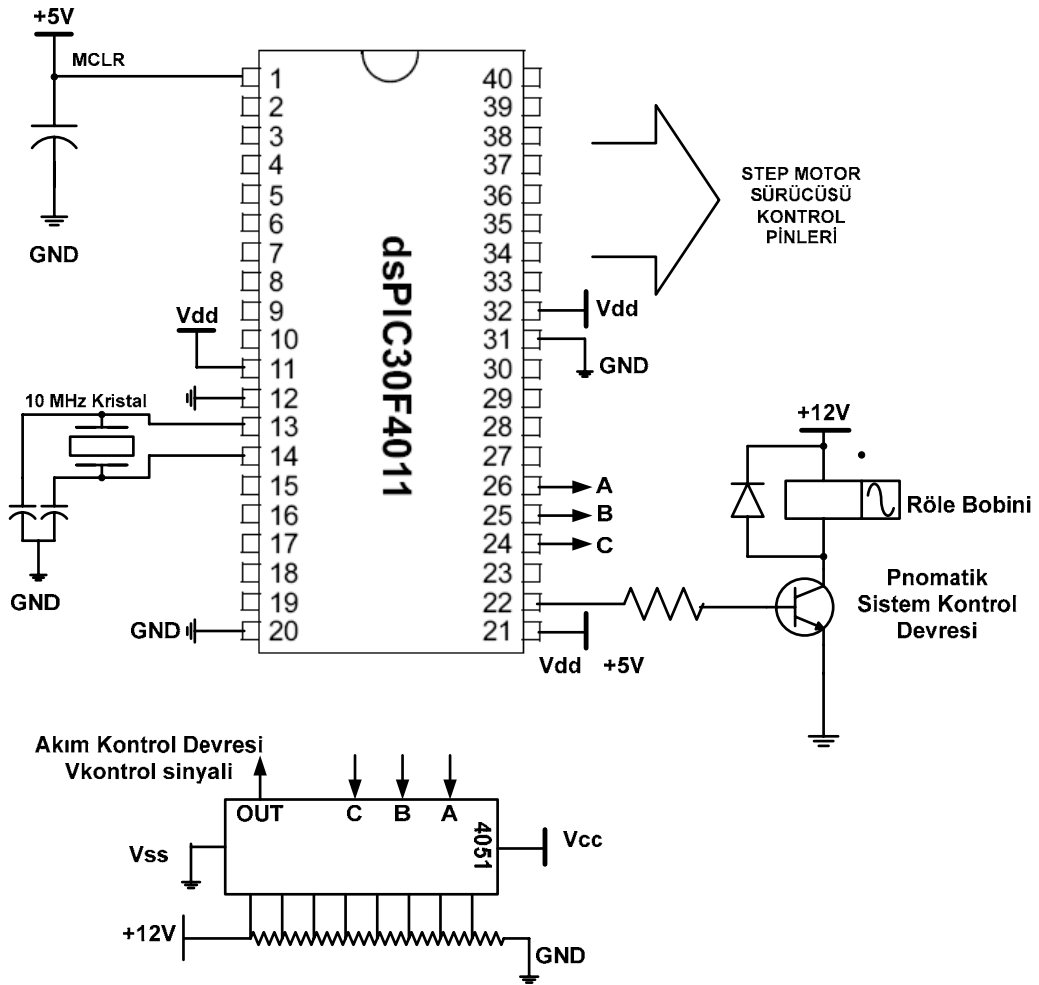
#### 4.2.3 Şartlandırıcı

Pnömatik sistemde kullanılan basınçlı havanın elemanlara gönderilmeden önce temizlenmesi, basıncının düzenlenmesi ve yağlanması gerekir. Kompresörden gelen basınçlı havanın içerisinde yağ artıkları, su buharı, toz ve pislikler bulunabilir. Bu yabancı maddelerin basınçlı havayla birlikte sisteme gitmesi çeşitli problemler doğurur. Hassas devre elemanlarında tıkanmalara yol açan toz ve pislikler, hareketli parçalarda sürtünmeyi artırır, aşınma ve ısınmalara yol açar. Ayrıca sistemin gerçek fonksiyonlar; yerine getirmesine engel olur, hatalı sonuçların doğmasına yol açar ve sistemin verimini düşürür.

Bu nedenlerden dolayı sisteme verilecek havanın şartlandırılması küçük ama önemli bir noktadır. Sistem için uygun görülen bir şartlandırıcı da eklenmiştir. Bu şartlandırıcı ile kompresörden gelen havanın nemini alma, zararlı atıklardan arındırma, yağlama ve basıncını ayarlama işlemleri yapılabilmektedir. Şartlandırıcılar pnömatik sistemde kompresör ile valf arasına bağlanmaktadır.

### 4.3 Elektronik Kontrol Sistemi

Proje de uygulanan elektronik kontrol sistemi ana bir mikrodenetleyici ile kontrol edilmektedir. Bu mikrodenetleyici ile akım kontrol devresi, step motor kontrol devresi ve valf kontrolü sağlanmaktadır. Uygulamada kullanılan kontrol sistemi devre şeması Şekil 4.10 da görüldüğü gibidir.



Şekil 4.10 Elektronik kontrol sistemi devre şeması

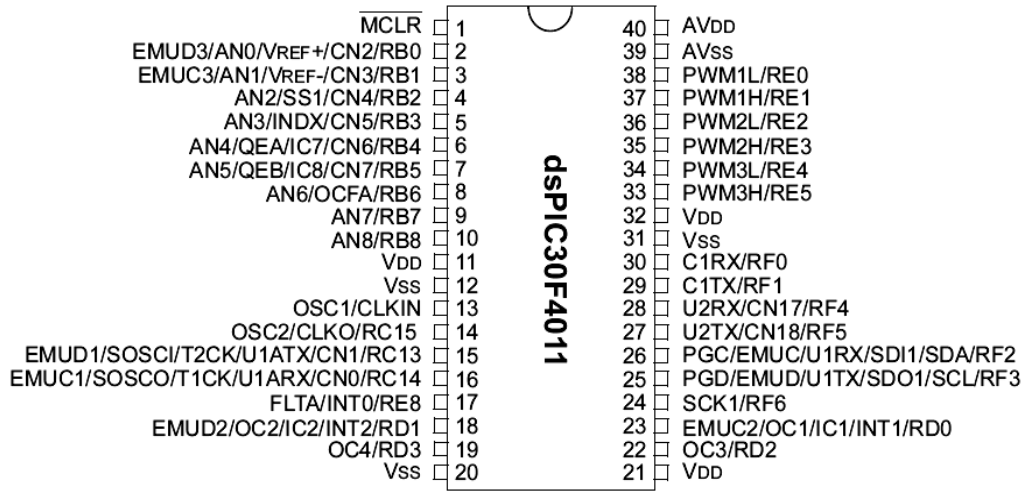
### 4.3.1 Mikrodenetleyiciler

Bir bilgisayar içerisinde bulunması gereken temel bileşenlerden RAM, I/O ünitesinin tek bir çip içerisinde üretilmiş biçimine mikrodenetleyici (mikrokontrolör) denir. Bilgisayar teknolojisi gerektiren uygulamalarda kullanılmak üzere tasarlanmış olan mikrodenetleyiciler, mikroişlemcilerle göre çok daha basit ve ucuzdur. Günümüz mikrodenetleyicileri pek çok alanda kullanılmaktadır. Neredeyse her mikroişlemci üreticisinin ürettiği birkaç mikrodenetleyicisi bulunmaktadır. Bir uygulamaya başlamadan önce hangi özelliklere sahip mikrodenetleyicinin kullanılacağı önemlidir [5].

Mikrodenetleyici seçiminde dikkat edilecek bazı önemli özellikler şöyle sıralanabilir:

- Programlanabilir dijital paralel giriş / çıkış.
- Programlanabilir analog giriş / çıkış.
- Seri giriş / çıkış.
- Motor ve Servo kontrol için PWM çıkışı.
- Harici giriş vasıtasıyla kesme.
- Zamanlayıcı vasıtasıyla kesme.
- Harici bellek arabirimi.
- Dahili bellek tipi seçenekleri ( ROM, EPROM, PROM, EEPROM).
- Dahili RAM seçeneği vs.

Bu özellikler göz önünde bulundurularak tüm elektronik devreleri tek noktadan yönetebilen bir dsPIC serisi mikrodenetleyici kullanılmıştır. Bu mikrodenetleyiciye ait bilgiler Şekil 4.11 de görülmektedir. Bu şekilde mikrodenetleyici bacak bağlantıları açıklanmıştır.



Şekil 4.11 Projede kullanılan dsPIC ve bacak tanımlamaları

Mikroişlemcinin hafıza ve dijital işlem yeteneği sayesinde, kaynak prosesine kaliteyi artırıcı birçok yeni özellik girmiştir. Konvansiyonel klasik makinelerde kontrol ünitesi sadece bir programa ayarlanabilirken, mikroişlemcili ünitelerde birden fazla program oluşturulup, parametreler her programda ayrı ayrı değerlere set edilebilmektedir. Aynı makine farklı parametreler gerektiren değişik iş parçaları kaynatılacağı zaman, operatörün her farklı parça değişiminde yeniden parametreleri set etmesine gerek olmadan sadece çalıştırmak istediği programın numarasını seçmesi yeterli olmaktadır. Programlanan parametreler kalıcı hafızada enerji kesilse dahi muhafaza edilmektedir.

Adım fonksiyonu sayesinde elektrot ömrü uzatılır. Bilindiği gibi, kaynak sayısı arttıkça elektrotlar aşınır. Elektrot yüzeyleri büyür ve bu nedenle akım yoğunluğu azalır. Buna bağlı olarak kaynak çekirdeği çapı küçülür. Dolayısıyla, aynı kaynak kalitesini sürdürmek için daha yüksek akım uygulamak gerekir. Bir kaynak nokta sayacı kullanımıyla yeni elektrota uygulanan temel akım değeri, artan kaynak sayısına bağlı olarak elektrotun aşınmasına uygun oranda arttırılabilir. Hangi kaynak sayısında, akımda ne kadarlık artış olması gerektiği mikroişlemcili üniteye parametre olarak girilebilmektedir. Belirli bir kaynak sayısına ulaştığında, elektrotların bilenmesi veya değiştirilmesi için operatörü uyarıcı sinyal gönderilebilmektedir.

Mikroişlemcili kaynak kontrol ünitelerinde kaynak prosesi her an kontrol edilerek, proses anında oluşabilecek hatalar ve limit değerlerin aşılması gibi kaynak kalitesini olumsuz



etkileyebilecek durumlar oluştuğunda sistemi durdurup, hata hakkında operatöre bilgi verebilmektedirler. Örneğin kaynak akımı için alt ve üst limit değerleri verilerek, gereğinden az veya fazla akım akması durumu tespit edilebilir. Aynı şekilde şebeke gerilimi içinde maksimum ve minimum değer verilerek, şebekedeki aşırı değişimlerde hatalı kaynağı önlemek için prosesi durdurup, uyarı verilmesi sağlanabilmektedir.

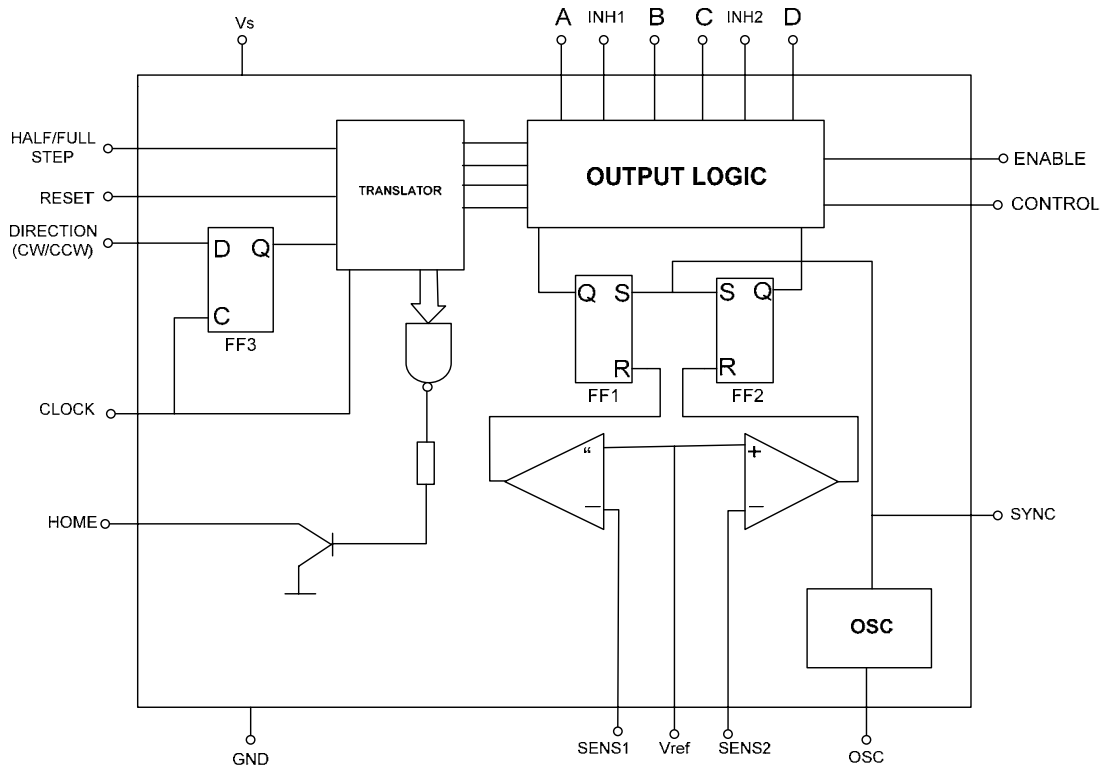
Kaynak prosesinde önemli bir parametre olan basınç değeri de oransal valf kullanılması durumunda mikroişlemcili ünite parametrelerinden ayarlanabilmektedir. Operatör hangi programda hangi basıncı istediğini ilgili program parametresine girmektedir. Diğer taraftan bir kaynak çevrimi esnasında farklı dönemlerde farklı basınç uygulanmasını gerektiren alüminyum gibi özel parçalar söz konusu olabilmektedir. Birbirine karşı denge kuvveti yapacak şekilde piston bağlantısı yapılmış iki selenoid valf, mikroişlemcili ünite ile kontrol edilerek inme, sıkma, kaynak, tutma, ayrılma dönemlerinde önce isteğe uygun farklı kuvvetler elde edilebilmektedir.

Çok sayıda kaynak makinesinin kullanıldığı otomobil fabrikaları gibi entegre tesislerde, mikroişlemci kaynak kontrol üniteleri birbirine bir network ağı ile bağlanarak, tüm tesisteki kaynak makineleri merkezi bir bilgisayar üzerinden kontrol edilebilir. Böylece tüm ünitelerin parametreleri bir merkezden değiştirilebilir veya kaynakla ilgili değerler anlık olarak izlenebilir.



### 4.3.3 Step motor kontrol devresi

Step motor kontrol devresi motor sürücülerinden oluşmaktadır. Bu devre ile mikrodenetleyiciden gelen sinyaller doğrultusunda motorlara hareket verilebilmektedir. Step motorlara sürekli sinyal verme yöntemiyle motorların kararlı bir yapıda hareket etmeleri sağlanır. Bu devrede projede bulunan her motor için bir sürücü mevcuttur. Step motor sürücü devre şeması Şekil 4.13 de görüldüğü gibidir.



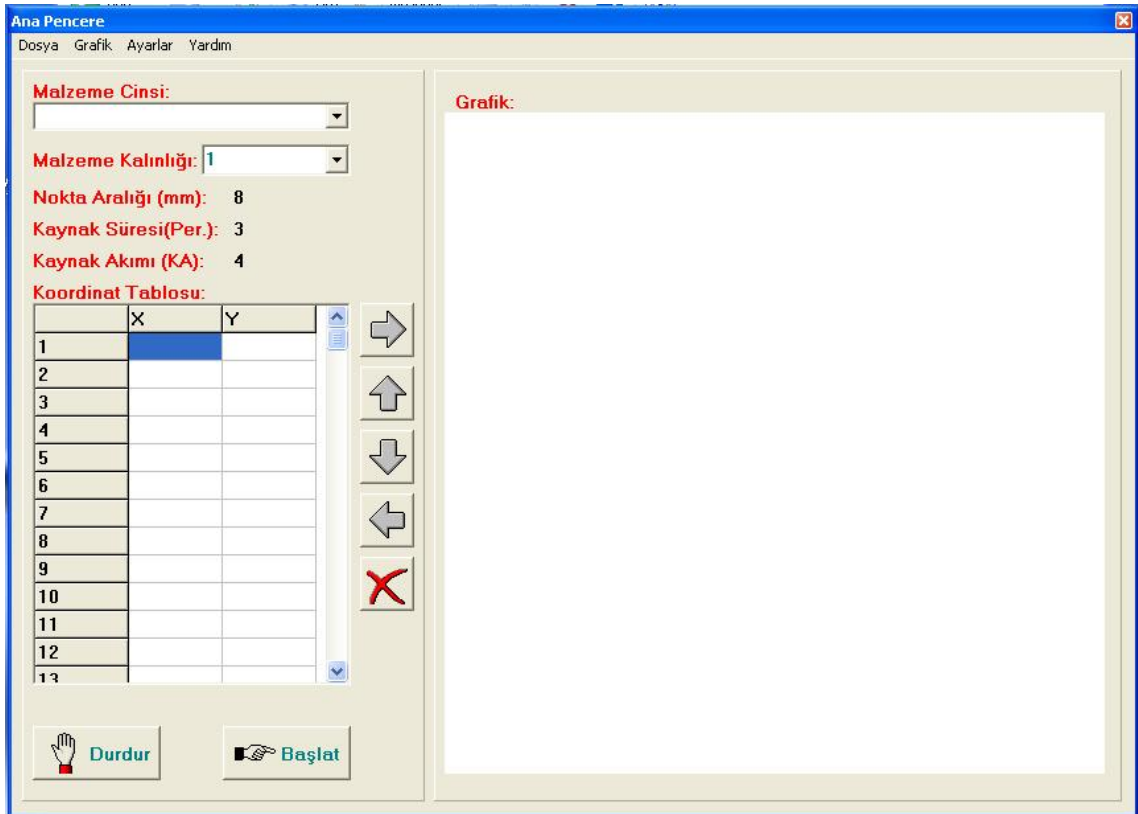
Şekil 4.13 Step motor sürücü devre şeması

### 4.3.4 Valf kontrolü

Kaynak prosesi açısından elektrot kuvveti ve süresi büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle valf kontrolünün mikrodenetleyici ile yapılması uygun görülmüş ve projede valf içinde bir kontrol ünitesi oluşturulmuştur. Bu devrede yapılan işlem 12 voltluk bir röle ile 220 voltluk rölenin tetiklenmesidir.

#### 4.4 Proje Yazılımı

Proje için özel olarak bir program yazılmıştır. Bu program ile tüm sistemi yönetmek mümkün hale gelmiştir. Türkçe bir yazılım olması da sisteme ayrı bir kolaylık katmaktadır. Program tarafından istenilen sac malzeme cinsi ve akım değeri ile diğer kaynak parametreleri olan akım, kaynak süresi, kaynak aralıkları ve elektrot basma süresi direk olarak algılanır ve sistemde gerekli ayarlar yapılır. Daha sonra verilen x,y kaynak olacak parça koordinat değerleri ile parça kaynağı rahatlıkla yapılabilir. Bilgisayar ile sistem arasındaki bağlantı seri port ile sağlanmaktadır. Bilgisayar programına ait seçim ekranı şekil 4.14 de görüldüğü gibidir.

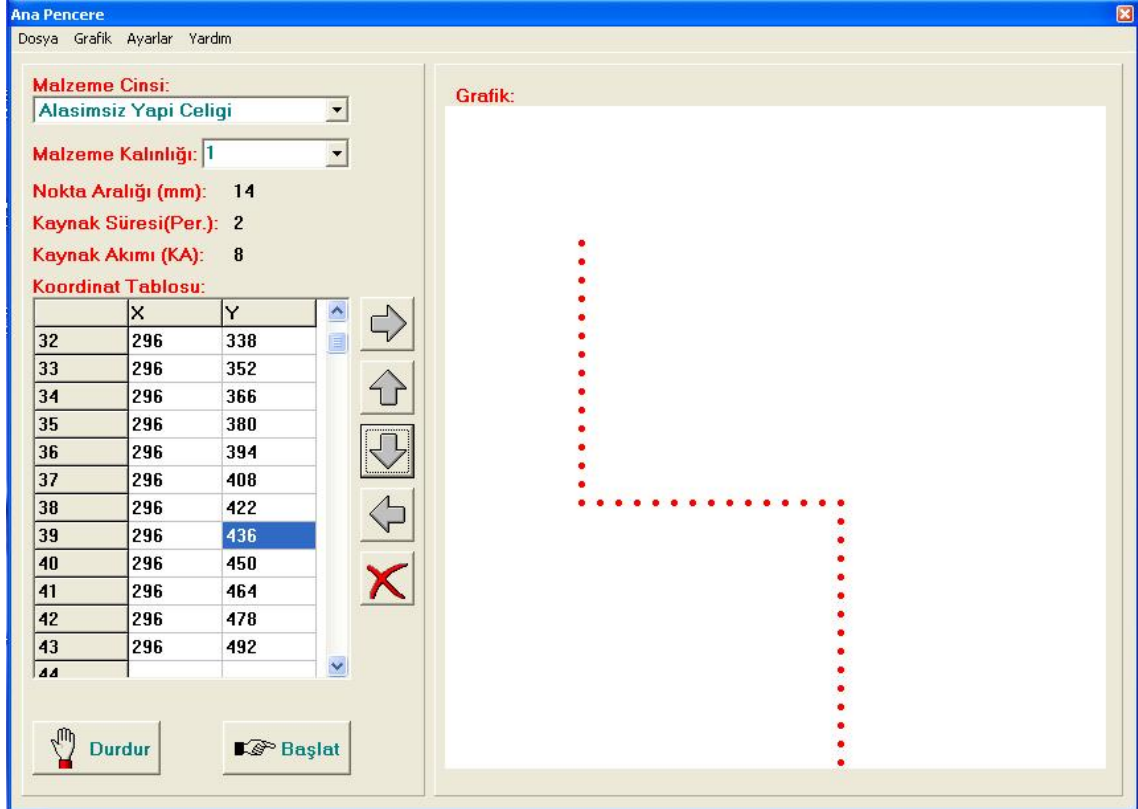


Şekil 4.14 Bilgisayar programı seçim ekranı

Burada ekrandan da görüldüğü üzere malzeme cinsi, malzeme kalınlığı, x ve y koordinatları girilerek başlat düğmesine basıldığında sistem çalışmaktadır. Girilen x, y değerlerine göre kaynak olacak noktalar grafik ekranında da noktalar halinde görülmektedir.

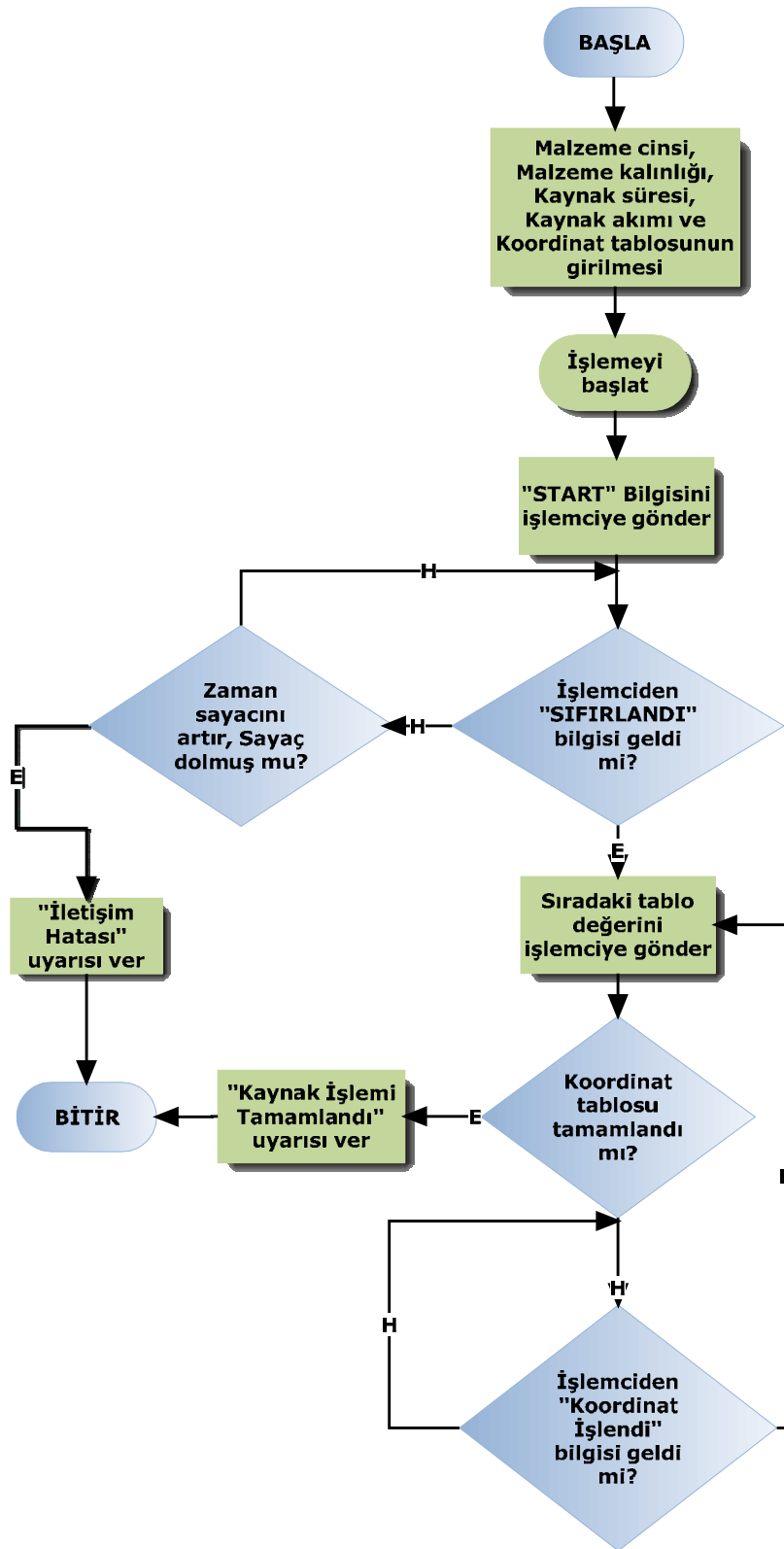
Eğer x veya y eksenini boyunca sürekli bir kaynak yapılacaksa sağ, sol, ileri, geri tuşlarına basarak belirli bir koordinat boyunca müsaade edilen aralıklarda kaynak atılabilmektedir.

Programın çalışmaya hazır ekranı şekil 4.15 'de görülmektedir.



Şekil 4.15 Parametreler seçilmiş ve kaynak yapmaya hazır halde program ekranı görünüşü

Bilgisayar programı algoritması şekil 4.16 da görüldüğü gibidir.



Şekil 4.16 Bilgisayar programı algoritması

Bilgisayar programı yazımında C++ dili nesne yönelimli programlama özelliği kullanılmıştır.

#### 4.4.1 Nesne yönelimli programlama yaklaşımı

Nesne yönelimli programlama, daha önceki programlama tekniklerinde yaşanan kısıtlamalar neticesinde geliştirilmiştir. Nesne yönelimli programlamanın kıymetini anlayabilmek için bu kısıtlamaların neler olduğunu ve geleneksel programlama dillerinde bu kısıtların nasıl ortaya çıktığından bahsetmekte yarar vardır.

C, Pascal, FORTRAN ve benzeri diller prosedürel dillerdir. Yani, dildeki her ifade bilgisayara bir iş yapması gerektiğini söyler: Girdiyi al, girdi olarak alınan sayıları topla, altıya böl, sonucu ekranda göster. Prosedürel dilde yazılan bir program, bir komut listesidir.

Çok küçük programlar için başka bir düzenleyici prensibe (çoğunlukla paradigma olarak adlandırılır) gerek yoktur. Programcı komut listesini oluşturur, bilgisayar bu listedeki komutları yerine getirir.

Programların hacmi büyüdükçe tek bir komut listesinin idaresi güçleşir. Birkaç yüz ifadeden daha fazlasına sahip bir program, daha küçük birimlere bölünmediği takdirde az sayıda programcı tarafından anlaşılabilir. Bu nedenle, programların kendilerini üreten insanlara daha anlaşılır görünmesi amacıyla fonksiyon (function) yapısı geliştirilmiştir. ("Function" terimi C ve C+ + 'ta kullanılır. Diğer dillerde bu kavram subroutine, subprogram veya procedure olarak adlandırılır.) Prosedürel bir program fonksiyonlara bölünmüştür. Her fonksiyonun (en azından ideal olarak) açıkça tanımlanmış bir amacı vardır ve program içindeki diğer fonksiyonlarla arasında açıkça tanımlanmış bir arayüz mevcuttur [25].

Bir programı fonksiyonlara bölme fikri daha da genişletilebilir: Birkaç fonksiyon bir araya getirilip modül denilen (bu, genellikle bir dosyadır) daha büyük bir birim içinde gruplanabilir. Fakat prensip her iki durumda da aynıdır: Bir komut listesini yürüten bileşenlerin gruplanması.

Bir programı fonksiyonlara ve modüllere ayırmak yapısal programlamanın esaslarından biridir. Yapısal programlama, nesne yönelimli programlamanın ortaya çıkışına kadarki on yıllar boyunca programlama yapısını etkilemiş olan, bir ölçüde üstünkörü tanımlanmış bir disiplindir.

Programlar sürekli büyüyüp daha karmaşıktıkça, yapısal programlama yaklaşımı da zorlanmaya başlar. Proje fazlasıyla karmaşıktır, planların gerisinde kalınmıştır, programcı sayısı artırılır, karmaşıklık daha da artar, maliyet hızla yükselir, planların daha da gerisinde kalınır ve nihayet felaket kaçınılmazdır.

Bu başarısızlıkların ardındaki nedenler incelendiğinde asıl zayıflığın prosedürel yaklaşımın kendisinden kaynaklandığı görülür. Yapısal programlama ne kadar iyi gerçekleştirilirse gerçekleştirilsin, büyük hacimli programlar haddinden fazla karmaşık hale gelir.

Prosedürel dillerde yaşanan bu problemleri ile ilgili iki problem vardır. Birincisi, fonksiyonların global verilere erişimlerinin sınırsız olmasıdır. İkincisi de, prosedürel yaklaşımın temeli olan iki husus olan ilişkisiz fonksiyon ve verilerin, gerçek dünyanın modellenmesinde yetersiz olmalarıdır.

Bu problemleri bir envanter programı örneğinde inceleyelim. Böyle bir programda, envanterdeki mal yığını önemli bir global veridir. Yeni malın envantere girilmesi, gösterimi, mal ile ilgili değişiklik yapılması ve benzeri işlemler için çeşitli fonksiyonların bu veriye erişmesi gerekir.

Prosedürel bir programda, mesela C dilinde yazılmış olsun, iki çeşit veri vardır. Yerel veri (local data), bir fonksiyon içinde gizlidir ve yalnızca bu fonksiyon tarafından kullanılır. Envanter programında bir gösterim fonksiyonu, ekranda hangi malı gösterdiğini hatırlaması amacıyla yerel veri kullanabilir. Yerel veri, fonksiyonun işleviyle yakından ilgilidir ve diğer fonksiyonların yapabileceği değişikliklerden etkilenmez.

Ancak, iki veya daha fazla fonksiyon aynı veriye erişmek zorunda ise ve bu durum programın en önemli verileri için geçerliyse o halde bu verinin, örneğimizdeki envanterdeki mal yığını gibi, global olarak tanımlanması gereklidir. Global veri, program içindeki tüm fonksiyonlar tarafından erişilebilir.

Nesne yönelimli dillerin ardındaki ana fikir verileri ve bu veriler üzerinde işlem yapan fonksiyonları tek bir birim içinde birleştirmektir. Bu birim nesne (object) olarak adlandırılır.

Bir nesnenin fonksiyonları, bu nesnenin verilerine erişmeyi sağlayan tek yoldur. C++ dilinde bu fonksiyonlar üye fonksiyonlar olarak adlandırılır. Bir nesnenin içindeki bir veriyi okumak istiyorsanız, bu nesnenin içindeki bir üye fonksiyonu çağırırsınız. Bu üye fonksiyon veriye erişip, değerini size döndürür. Siz veriye doğrudan ulaşamazsınız. Veriler gizlenmiştir, böylece kazara meydana gelebilecek değişikliklerden korunmuş olurlar. Veriler ve ilgili fonksiyonlar tek bir birim içine paketlenmişlerdir. Verilerin paketlenmesi ve veri gizliliği nesne yönelimli dillerin tanımlanmasında kullanılan temel terimlerdir [25].

Bir nesneye ait verileri değiştirmek istediğinizde, bu verilerle etkileşen fonksiyonların neler olduğunu tam olarak bilmeniz gerekir: Nesnenin üye fonksiyonları. Diğer hiçbir

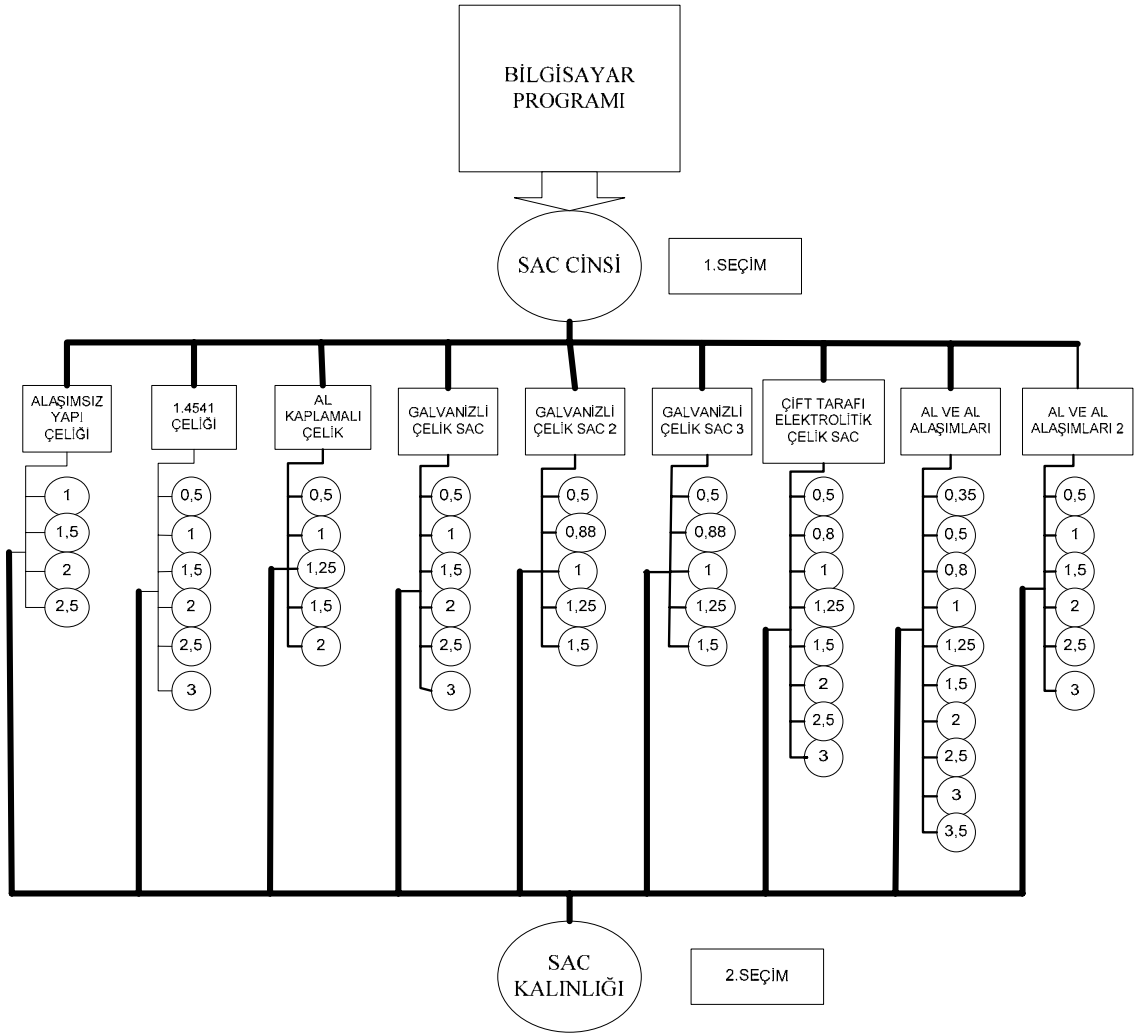


fonksiyon bu verilere erişemez. Bu, kodlamayı, hataları ayıklamayı ve programın bakımını kolaylaştırır.

Bir C++ programı tipik olarak birkaç tane nesne içerir. Bu nesnelere diğerlerinin üye fonksiyonlarını çağırarak birbirleriyle iletişim kurarlar. Şunu vurgulamamız gerekir: C++'ta üye fonksiyon olarak ifade edilen fonksiyonlar diğer nesne yönelimli dillerde yöntem (method) olarak adlandırılır (mesela, ilk nesne yönelimli programlama dili olan Smalltalk'ta böyledir.) Ayrıca, verilere de nitelikler (attributes) veya örnek değişkenler (instance variables) denilmektedir. Bir nesnenin üye fonksiyonlarını çağırarak bu nesneye mesaj göndermektir. Bu terimler C++ terminolojisinin resmi terimleri değildir ama özellikle nesne yönelimli tasarımlarda artan sıklıkla kullanılmaya başlanmıştır.

Nesnelere bir şirket içindeki bölümler olarak düşünebilirsiniz: Söz gelişi, satış, muhasebe, insan kaynakları bölümleri gibi. Bölümler, kurumsal organizasyonlara önemli katkılar sağlar. Çok küçükleri hariç pek çok şirkette insanlar bir gün personel problemleriyle, diğer gün maaşlarla uğraşıp sonra da satışa çıkmazlar. Her bölümün, görevleri açıkça belirlenmiş kendi personeli vardır. Ayrıca her bölüm kendi verilerine sahiptir: Muhasebe bölümü maaş bilgilerini, satış bölümü satış rakamlarını, personel bölümü de çalışanların kayıtlarını tutar.

Bölümlerdeki insanlar kendi bölümlerinin verilerini denetler ve bu veriler üzerinde işlem yaparlar. Şirketi bölümlere ayırmak, şirket faaliyetlerini anlamayı ve denetlemeyi kolaylaştırır; ayrıca şirket bilgilerinin entegrasyonunun sürekliliğine de yardımcı olur. Muhasebe bölümü, mesela, maaş verilerinden sorumludur. Eğer siz satış müdürüyseniz ve Temmuz ayında güney bölgesinde yapılan maaş ödemelerinin yekûnunu merak ediyorsanız, muhasebe bölümüne gidip dosya dolaplarının altını üstüne getirmesiniz. Muhasebe bölümündeki ilgili bir kişiye bir not gönderir; daha sonra görevli kişinin veriye erişip, istediğiniz bilgiyi size göndermesini beklersiniz. Bu, veriye hatasız erişilmesini garanti eder ve verinin izinsiz erişimlerle bozulmasını önler. Aynı şekilde, nesnelere de, program verilerinin bütünlüğünü korumaya yardımcı olur; aynı zamanda programları organize etmenin yollarından biridir. Gerçekleştirilmiş olan projede bu ilişki Şekil.4.17 de gösterildiği gibidir.



Şekil 4.17 Programa ait sınıf ve nesnelerin şematik görünüşü

Şemada görüldüğü gibi program sınıflardan ve alt sınıflardan oluşmuştur. Sac cinsi bir sınıf olarak tanımlanmış ve dokuz çeşit sac bu sınıfın alt sınıfı olmuştur. Bu alt sınıfların her birine de sac kalınlıkları birer nesne olarak tanımlanmıştır. Bu nesnelerin özellikleri ayrıca programda tanımlanmış ve bu özellikler bilgisayar programı seçimi doğrultusunda karşılıklı mesajlar ile programda kullanılmıştır.

Alaşımız yapı çeliği program akışı aşağıdaki gibi tanımlanmıştır. Burada eğer bilgisayar programından alaşımız yapı çeliği seçilirse hangi sac kalınlığı değerlerini alabileceği tanımlanmış ve sac kalınlığı değerine ait özellikler için yönlendirmeler yapılmıştır. Böylece ikinci seçim olan sac belirtildiğinde bu kalınlığa ait değerler, özellik olarak tanımlanmış tablolardan alınarak program tarafından kullanılabilir.

```

“if (ComboBox1->Text=="Alasimsiz Yapi Celigi")
{
    if (ComboBox2->Text=="1"){Label7->Caption=14;Label9->Caption=2;Label11->Caption=8;goto
sonlandir;}
    if (ComboBox2->Text=="1.5") {Label7->Caption=24;Label9->Caption=4;Label11->Caption=13;
goto sonlandir;}
    if (ComboBox2->Text=="2"){Label7->Caption=28;Label9->Caption=5;Label11->Caption=15;goto
sonlandir;}
    if (ComboBox2->Text=="2.5") {Label7->Caption=40;Label9->Caption=9;Label11->Caption=22;
goto sonlandir;}
}“

```

Nesne yönelimli programlama aslında programın çalışma ayrıntılarıyla ilgilenmez. Onun yerine, programın genel organizasyonu ile ilgilenir. C++ 'daki birçok program ifadesi prosedürel dillerdeki ifadelerle benzer, pek çoğu da C 'deki ifadelerin aynısıdır. Gerçekten, bir C++ programındaki bir üye fonksiyonun tümü, C 'deki bir prosedürel fonksiyona çok benziyor olabilir. Bir ifade veya fonksiyonun prosedürel bir C programının veya nesne yönelimli C++ programının parçası olup olmadığı ancak daha genel açıdan bakıldığında görülebilir [25].

#### 4.4.1.1 Nesne

Nesne yönelimli bir dilde programlama problemini çözmeniz gerektiğinde, artık, problemin fonksiyonlara nasıl bölüneceğini değil de nesnelere nasıl bölüneceğini düşünmeniz gerekir. Fonksiyonlar yerine nesnelere cinsinden düşünmenin, programların kolaylıkla tasarlanmasında şaşırtıcı bir etkisi vardır. Bu, programlardaki nesnelere ile gerçek dünyadaki nesnelere birbiriyle yakından eşleşmesinden kaynaklanır.

Nesne yönelimli programlarda neler nesne olarak tanımlanabilir örnekler:

- Fiziksel nesnelere
- Trafik akışı simülasyonundaki otomobiller
- Devre tasarımı programındaki elektriksel bileşenler
- Ekonomik bir modeldeki ülkeler
- Hava kontrol sistemindeki hava taşıtları
- Bilgisayar kullanımındaki öğeler
- Pencereler
- Menüler
- Grafik nesnelere (çizgiler, dikdörtgenler, çemberler)
- Fare, klavye, disk sürücüler, yazıcı
- Veri yedekleme yapıları

- Özelleştirilmiş diziler
- Yığınlar
- Bağlı listeler
- İkili ağaçlar
- İnsani değerler
- Çalışanlar (personel)
- Öğrenciler
- Müşteriler
- Satış elemanları
- Veri Yığınları
- Bir envanter
- Bir personel dosyası
- Bir sözlük
- Dünyadaki şehirlerin enlem ve boylam bilgilerini saklayan bir tablo
- Kullanıcı tanımlı veri tipleri
- Zaman
- Açılar
- Karmaşık sayılar
- Düzlem üzerindeki noktalar
- Bilgisayar oyunlarındaki bileşenler
- Oto yarışındaki otomobiller
- Oyun tahtası üzerindeki pozisyonlar (satranç, dama)
- Bir ekolojik simülasyondaki hayvanlar
- Macera oyunlarındaki rakipler ve arkadaşlar

Programlama nesnelere ve gerçek dünya nesnelere eşlenebiliyor olması, veriler ve fonksiyonların birleştirilebilmesinin bir sonucudur. Ortaya çıkan nesnelere, program tasarımında bir devrim niteliğindedir. Prosedürel dillerde, programlama yapıları ve modellenen birimler arasında böyle bir yakın eşleşme söz konusu değildir [25].

#### 4.4.1.2 Sınıf

Nesne yönelimli programlamada, nesnelere sınıfların (class) birer üyesidir. Benzer bir örnek verelim. Hemen hemen tüm bilgisayar dillerinde standart veri tipleri mevcuttur. Söz gelişi, tamsayı anlamında bir veri tipi olan int C++ 'ta standart olarak tanımlıdır. Programınızda int tipinde istediğiniz sayıda değişken tanımlayabilirsiniz:

İnt sac cinsi;  
 int sac kalınlığı;  
 int alüminyum ve alaşımları;  
 int galvanizli çelik sac;

Benzer biçimde, aynı sınıfa ait birçok nesne tanımlayabilirsiniz. Bir sınıf adeta bir plan gibidir. Sınıf, o sınıfın nesnelere içinde hangi verilerin ve fonksiyonların bulunduğunu belirtir. Bir sınıfın tanımlanması, o sınıf tipinde nesnelere oluşturulması anlamına gelmez. Nasıl ki, veri tipi olarak int tek başına bir değişken oluşturulmasını sağlayamıyorsa, sınıf için de durum aynıdır.

Yani, bir sınıf, bir dizi benzer nesnenin genel tanımıdır. Bu, sınıf sözcüğünün teknik olmayan tanımıyla da örtüşür. Prince, Sting ve Madonna rock müzisyenleri sınıfının birer üyesidir. "Rock müzisyeni" adında tek bir kişi yok ama; bazı özelliklere sahip, belirli isimleri olan belirli kişiler bu sınıfın üyeleridir. Nesnelere genellikle sınıfların birer "örnek kopyası" (instance) olarak adlandırılırlar.

#### **4.4.1.3 Kalıtım**

Sınıf kavramı bizi kalıtım (inheritance) kavramına götürür. Günlük yaşantımızda alt sınıflara ayrılmış sınıf kavramlarını kullanırız. Mesela, hayvanlar aleminin memeliler, sürüngenler, böcekler, kuşlar vs alt sınıflarına ayrıldığını biliyoruz. Taşıt sınıfı da araba, kamyon, otobüs, motosiklet vs alt sınıflarına ayrılmıştır.

Bu tür bir bölünmedeki temel prensip, her sınıfın kendisinden türetilen alt sınıfla ortak özellikler paylaşıyor olmasıdır. Araba, kamyon, otobüs ve motosikletlerin hepsinin tekerlekleri ve motorları vardır; bunlar taşıtları tanımlayan özelliklerdir. Sınıfın diğer üyeleriyle paylaşılan özelliklere ek olarak, her alt sınıfın ayrıca kendisine özgü özellikleri de mevcuttur: Otobüslerin, örneğin, çok sayıda kişinin oturabilmesi için koltukları, kamyonların ise ağır yükleri taşımak için kasaları vardır.

Aynı şekilde, nesne yönelimli programlamada kullanılan bir sınıf, birkaç tane alt sınıfın ebeveyni (parent) olabilir. C++ 'ta orijinal sınıf temel sınıf olarak adlandırılır. Diğer sınıflar, temel sınıfın özelliklerini paylaşabilirler, ancak kendi özelliklerini de ekleyebilirler. Bu sınıflara türetilmiş sınıflar denir.

Nesnelere ve sınıflar arasındaki ilişki ile temel sınıf ve türetilmiş sınıflar arasındaki ilişkiyi birbirine karıştırmamak gerekir. Bilgisayarın belleğinde yer kaplayan nesnelere, adeta bir

şablon gibi ait oldukları sınıfın tüm özelliklerini taşırlar. Türetilmiş sınıflar ise temel sınıfın bazı özelliklerini taşıyor olsalar da kendi özelliklerini de ekleyebilirler.

Kalıtım bir bakıma, geleneksel prosedürel programlarda programın basitleştirilmesi için fonksiyon kullanmaya benzer. Eğer prosedürel bir programda neredeyse tamamen aynı işi yapan üç farklı bölüme rastlarsak, bu bölümlerin ortak elemanlarını saptayıp, bu elemanları tek bir fonksiyon içine yerleştirme şansını yakalamış oluruz. Programın bu üç bölümü ortak işlemlerin yürütülmesi için bu fonksiyonu çağırırlar, diğer yandan kendi işlemlerini de gerçekleştirirler. Aynı şekilde, bir temel sınıf da bir grup türetilmiş sınıfta ortak olan elemanlar içerir. Prosedürel programlardaki fonksiyonlar gibi, kalıtım da nesne yönelimli bir programın uzunluğunu azaltır ve program öğeleri arasındaki ilişkileri netleştirir [25].

#### **4.4.1.4 Yeniden kullanılabilirlik**

Bir sınıf yazılıp, oluşturulduktan ve hataları giderildikten sonra, diğer programcılara kendi programlarında kullanmaları için dağıtılabilir. Buna yeniden kullanılabilirlik denir. Bu, prosedürel bir dildeki kütüphane fonksiyonlarının değişik programlara dahil edilmesine benzer.

Bununla birlikte, nesne yönelimli programlamada kalıtım kavramı, yeniden kullanılabilirlik fikrini önemli ölçüde genişletir. Bir programcı mevcut bir sınıfı alır, bu sınıf üzerinde değişiklik yapmadan ona ilave özellikler ve beceriler ekleyebilir. Bu, mevcut bir sınıftan yeni bir sınıf türeterek gerçekleştirilir. Yeni sınıf eskisinin becerilerine sahiptir ancak, kendisine ait yeni özellikler de ekleyebilir.

Örneğin, Windows veya diğer GUI 'lerdeki (Grafik Kullanıcı Arayüzü) gibi bir menü sistemi oluşturan bir sınıf yazdığınızı (veya başkasından satın aldığınızı) varsayalım. Bu sınıf düzgün çalışır ve üzerinde değişiklik yapmanıza gerek yoktur. Fakat diyelim ki, bazı menü elemanlarının yanıp sönmesini istiyorsunuz. Bunu yapmak için mevcut sınıfın tüm özelliklerini taşıyan, ayrıca yanıp sönme özelliğini de içeren yeni bir sınıf oluşturmanız yeterlidir.

Mevcut yazılımın yeniden kullanılmasının getirdiği kolaylık, nesne yönelimli programlamanın sağladığı önemli bir avantajdır. Pek çok şirket, mevcut sınıfları ikinci bir projede yeniden kullanabilmenin, orijinal programlama yatırımlarının getirisini artırdığının farkındadır.

Programcıya yeni veri tipleri oluşturmak için elverişli bir yöntem sunmaları, nesnelere sağladığı bir avantajdır. Varsayalım ki, programınızda, x-y koordinatları veya enlem-boylam gibi iki boyutlu konumlarla çalışıyorsunuz. Bu konumsal değerler üzerinde gerçekleştireceğiniz işlemleri normal aritmetik işlemleri kullanarak ifade etmek istediğinizi düşünelim. Örneğin,

Pozisyon 1 = pozisyon 2 + orijin

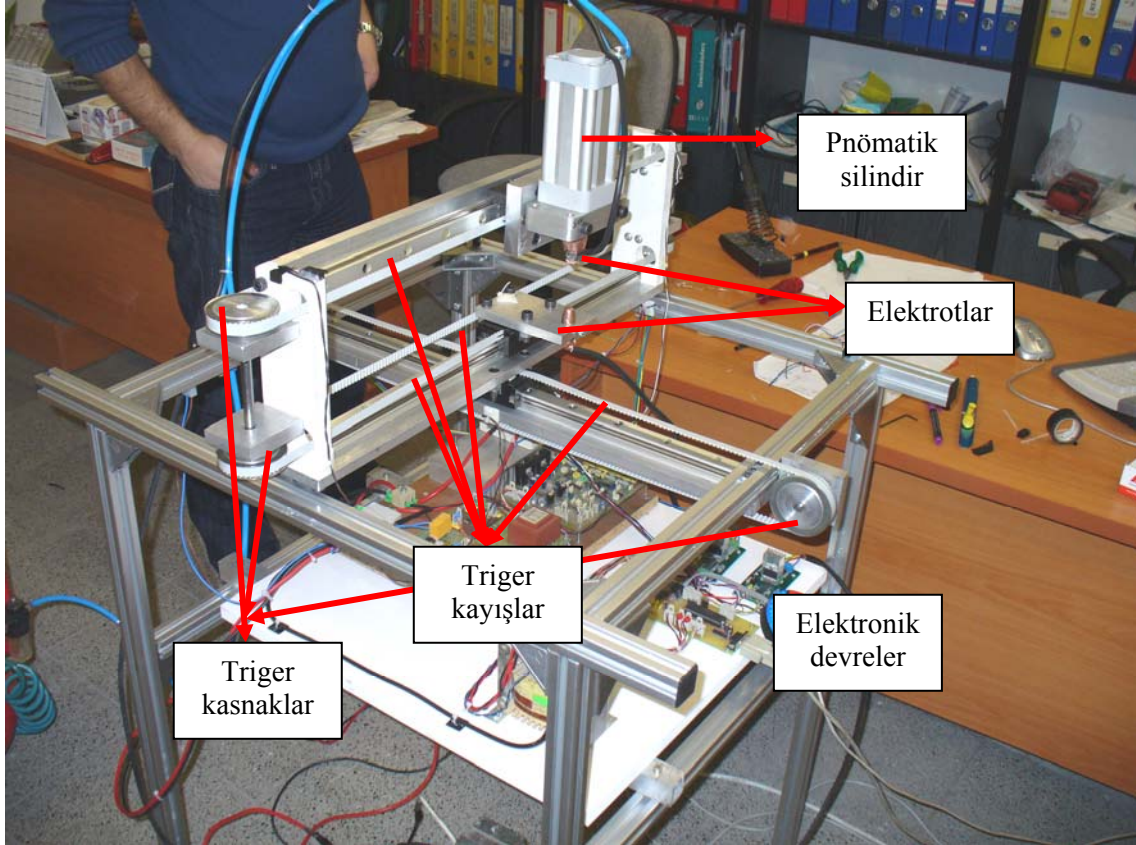
Burada pozisyon 1, pozisyon 2 ve orijin değişkenlerinin her biri, birbirinden bağımsız nümerik değerleri gösterir. Bu iki değeri kapsayan bir sınıf oluşturarak ve pozisyon 1, pozisyon 2 ve orijin'i bu sınıfın nesneleri olarak tanımlayarak, aslında yeni bir veri tipi tanımlamış oluruz. C++ 'ın birçok özelliği, bu şekilde yeni veri tiplerinin oluşturulmasını kolaylaştırmak amacına yöneliktir [25].

Nesne yönelimli yaklaşım kullanılarak bir sistem tasarlandığında aşağıdaki sistematik yöntem izlenmelidir:

- 1- Anahtar nesneleri tanımlayarak kavramsal bir sistem modeli geliştirmek,
- 2- 1.adımda tanımlanan her nesne ile ilgili özellikleri ve metotları belirlemek,
- 3- Bir sınıf-kalıt hiyerarşisi içinde nesneleri düzenlemek,
- 4- Yeniden kullanma, uzmanlaşma ve genelleştirmeyi belirterek hiyerarşiyi artırma,
- 5- Sistem dinamiklerini elde etmek için nesneler arasındaki müşteri-hizmet ilişkilerini ve mesaj dönüşümlerini tanımlamak,
- 6- Mevcut gereksinimler için bir prototip uygulama gerçekleştirmek,
- 7- Nesneleri, nitelikleri, metotları veya ortaklıkları değiştirerek veya ilave ederek interaktif olarak sistem tasarımını artırmak [26]

#### 4.5 Gerçekleştirilmiş Olan Proje ve Çalışma Prensibi

Gerçekleştirilen projeye ait mekanik aksam ve elektronik devreler montajlı halde şekil 4.18 de görülmektedir.



**Şekil 4.18** Gerçekleştirilen projeye ait genel görüntü

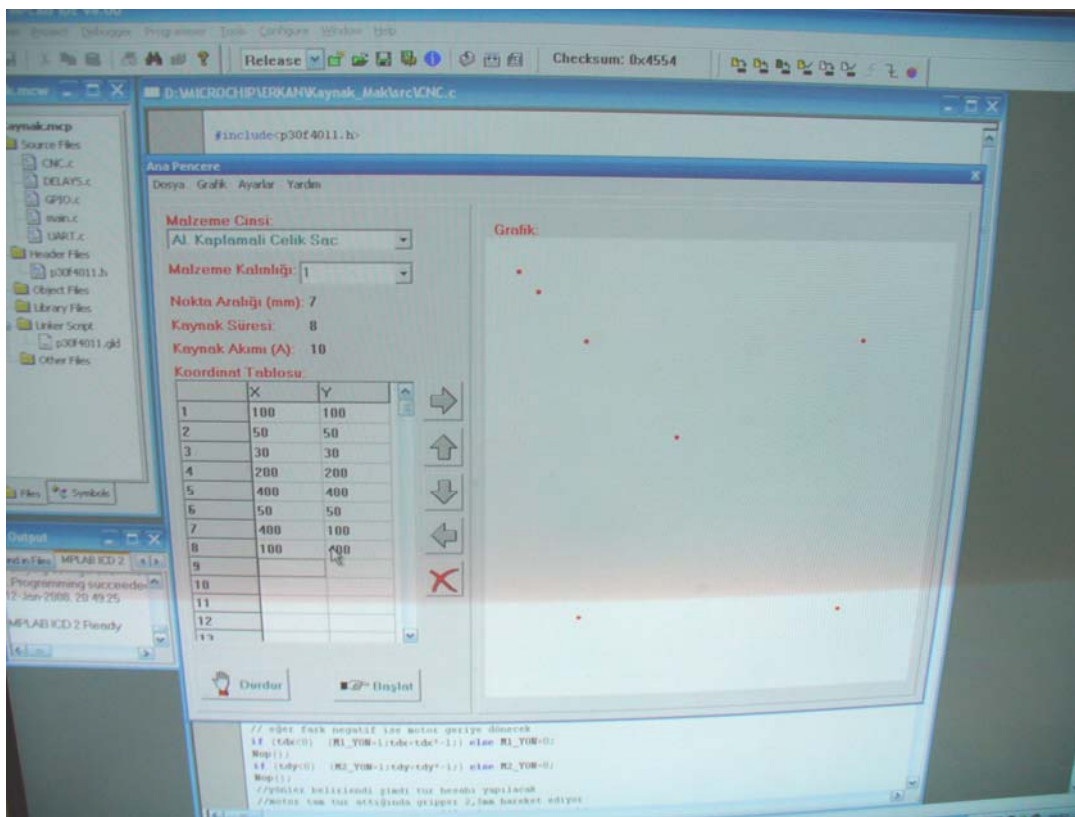
Bu sistemin çalışma adımları şöyledir;

- 1- Bilgisayar programından gerekli verilerin girilmesi
- 2- Sisteme gerekli enerjinin verilmesi (elektrik, hava v.b.)
- 3- İşlenecek sacın tablaya bağlanması
- 4- Bilgisayar programından başlat tuşuna basılması
- 5- Mikrodenetleyiciden gelen sinyaller doğrultusunda sistemin (0, 0) noktasına gelerek sınır switchleri ile kendini sıfırlaması



- 6- Bu sıfırlamadan sonra bilgisayardan gelen datalar ile ilk koordinata sistemin hareketi
- 7- İstenilen koordinata ulaşıldıktan sonra bilgisayardan gelen datalar ile sırasıyla, pistonun basılması, akımın verilmesi ve pistonun kalkması
- 8- İkinci koordinata geçilmesi ve aynı işlemin bu koordinatlar içinde tekrarlanması

Bu sisteme veriler 4.19 da görüldüğü gibi veriler girilir.



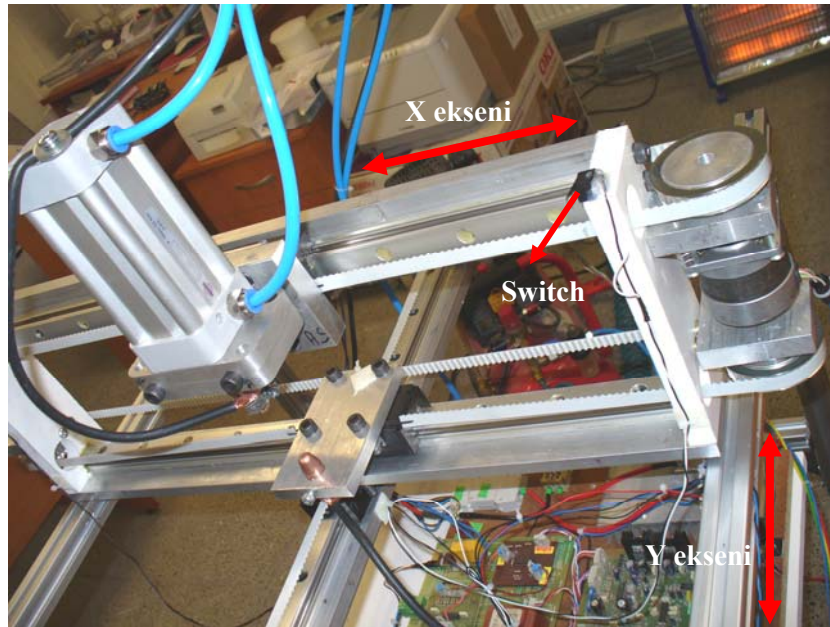
Şekil 4.19 Bilgisayar programından gerekli verilerin girilmesi

Sistemin hareketini sağlayan step motor ve minyatür araba görüntüleri Şekil 4.20 de verilmiştir.



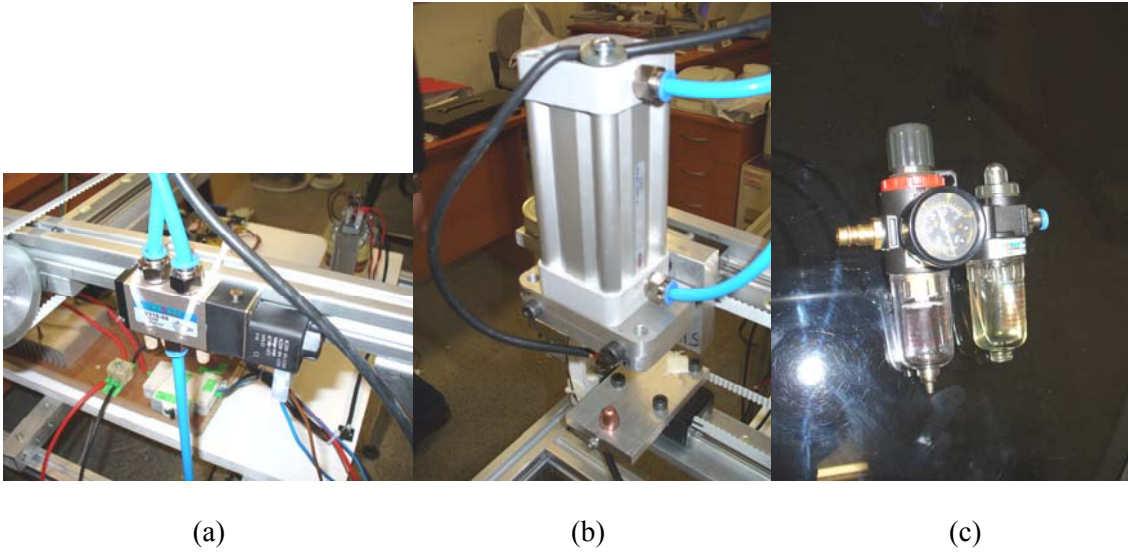
**Şekil 4.20** Eksen hareketlerini sağlayan step motorları (a) ve minyatür araba(b)

Şekil 4.21 de sistemde x ve y olarak tanımlanan eksenler gösterilmiştir.



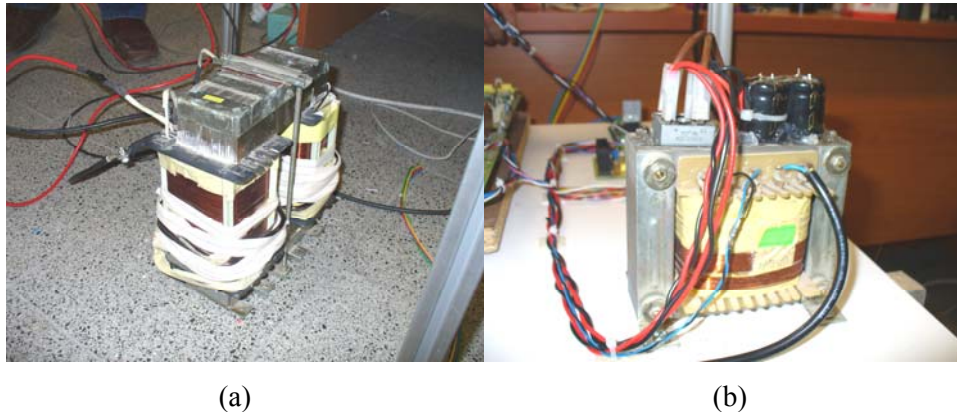
**Şekil 4.21** Sistem x, y eksenleri ve sınır switchleri

Koordinatlara geldikten sonra pistonun basmasını sağlayan şartlandırıcı, valf ve piston şekil 4.22 de görüldüğü gibidir.



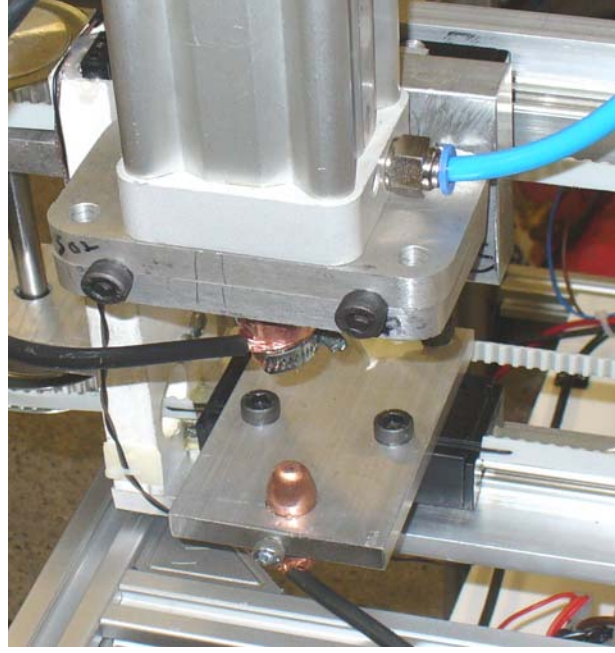
**Şekil 4.22** Sırasıyla sistemde kullanılan valf (a), silindir (b) ve şartlandırıcı (c)

Akım ve besleme trafoları da şekil 4.23 de yer almaktadır.



**Şekil 4.23** Sırasıyla kaynak akımı üretim trafosu (a) ve elektronik devre besleme trafosu(b)

Son işlem olan parçayı kaynatmayı sağlayan elektrotlar şekil 4.24 de görülebilmektedir.



**Şekil 4.24** Kaynak elektrotları ve bağlantı şekilleri

Bu punta kaynak makinesi bilgisayar verileri yardımıyla istenen koordinatlarda kaynak yapabilir hale getirilmiştir. Bu sistemin uygulanmasındaki temel neden, teknolojiye uygun üretim yöntemlerinin avantajlarını göstermektir. Bu avantajlar temel olarak ekonomik, hızlı ve kaliteli üretimdir.

Bu parametrelerle ilgili karşılaştırmalara ait sonuçlar şöyledir:

1- Zaman kaybı minimumdur. Bir kaynak elemanının manuel olarak punta kaynak makinesi ayarlarını yapması ve puntalamaya hazır hale getirmesi (akımın belirlenmesi ve ayarı, elektrotların seçimi ve değiştirilmesi, punta yapılacak noktaların belirlenmesi ve işaretlenmesi vb.) yaklaşık 30 dakika sürmekte ve puntalar arası geçen süre ( sacın tekrar konumlandırılması ve punta yapılması) yaklaşık 1 dakikadır. Bu tür bilgisayar kontrollü sistemlerde ise ayar süresi maksimum 5 dakika ve puntalar arası geçiş 5-10 saniye arasındadır. Ayrıca seri üretim yapılan bir parça da manuel kaynatıldığında her seferinde bir ayar süresi gerekecektir. Ancak bilgisayar kontrollü bu tür sistemlerde aynı parçayı hiç ara vermeden sürekli kaynatılması mümkündür. Hatta hafızaya kaydetmiş olduğunuz program ile seri üretimi olmayan parçalarda bile büyük kolaylıklar yaşanır.

2- Kaliteli üretim yapılır. Özellikle punta kaynağında parametrelerin seçimi kaliteyi etkileyen birinci derece faktördür. Bu parametreler yanlış seçilir veya tam olarak uygulanamazsa veya sürekli uygulanamazsa kalitesizlik doğar. Bu nedenle kaynak elemanının manuel olarak yapacağı her kaynakta kalitesiz bir durumla karşılaşmak mümkündür. Sürekli ve kaliteli bir kaynak yapmak için bu sistem çok uygundur. Burada yapılması gereken sadece malzeme cinsi, kalınlığı ve kaynak noktalarını belirlemektir. Sistem parametre seçimini yanlışsız yapacak ve her kaynağı aynı kalitede atacaktır. Bu da işletmeleri kalitesizlikten doğacak maliyetlerden de kurtarmış olur.

3- Ayrıca bu sistemin bir avantajı da % 85–90 doğrulukla üretim planlama yapılabilir olmasıdır. Aynı parça için sürekli aynı zaman harcanacağı için planlama yapmak ve planlanana gerçekleştirmek mümkün olacaktır.

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu projede bir punta kaynak makinesi prototip olarak tasarlanmış, imal edilmiş ve nesne yönelimli programlama ile bilgisayar programı yazılarak sistem bilgisayar kontrollü hale getirilmiştir.

Çalışmanın ilk bölümlerinde, EDNK ile ilgili genel bilgilere yer verilmiş ve çalışma prensibi açıklanmıştır. İşlemin manuel olarak gerçekleştirilmesi durumunda çok fazla zaman kaybına ve kalitesiz üretime müsait bir kaynak yöntemi olduğu görülmüştür. Bu tür kayıplara imkan vermemek için bilgisayar kontrollü bir sistem oluşturulmasına karar verilmiştir.

Oluşturulan sistemin tasarım ve modellemesi SolidWorks 2006 programı ile gerçekleştirilmiş ve bu sayede oluşabilecek problemler analiz edilebilmiş, optimum çözümler üretilerek sistemin imalatına geçilmiştir.

Bu sisteme özgü bir bilgisayar programı C++ dilinde, nesne yönelimli programlama yaklaşımı çerçevesinde yazılmış ve sistemin kontrolü tamamen bu programla yapılabilir hale getirilmiştir. Sistem bilgisayar programı görsel ve basit bir şekilde yapılmış, kaynak parametreleri için otomatik karar verir hale getirilmiştir. Türkçe bir yazılımdır.

Sistem çalışmasına yönelik deneyler yapılmış ve olumlu sonuçlar alınmıştır.

Bu çalışmada akım trafosu yeterli akımı sağlayabilecek güçte olmadığından dolayı çok yüksek akım değerlerine çıkılamamış dolayısıyla yüksek akım gerektiren kaynak işlemleri için devre akımı trafodan alınabilecek maksimum akıma ayarlanmıştır. Bu nedenle bilgisayar programında tanımlanan tüm malzeme türü ve kalınlıkları bu sistemde kaynatılamayacaktır.

Sonuç olarak bu çalışmada tasarım ve imalatı yapılan punta kaynak makinesi, nesne yönelimli programlama işleminden yararlanılarak bilgisayar kontrollü hale getirilmiş ve sistem çalıştırılmıştır.

Nesne yönelimli programlamanın bu tür sistemler için çok faydalı olduğu görülmüştür. Özellikle parametrelerin sınıflar halinde gruplandırılması ile genel programlama dillerinde yaşanan karmaşıklığın ortadan kaldırıldığı gözlenmiştir. Gruplama özelliği sayesinde, programın herhangi bir bölümüne müdahale etmek veya özellik ekleyip çıkarmak basit bir hal almıştır.



**KAYNAKLAR DİZİNİ**

- [1] Kurşungöz, N., 1986, Alüminyum esaslı malzemenin elektrik direnç nokta kaynağında temas direncinin incelenmesi, Anadolu Üniversitesi (Doktora Tezi)
- [2] Bulduk, T., 1992, Punta kaynağı ve buzdolabı sanayinde uygulanması, İTÜ (Yüksek Lisans Tezi)
- [3] Eryürek, B., 1982, Elektrik direnç kaynağı, MMO dergisi, Sayı 279
- [4] Anık, S., 1983, Kaynak teknolojisi el kitabı, Ergör Matbaası
- [5] Gültekin, N., 1988, Kaynak tekniği, İTÜ, Cilt 1
- [6] Çimen, Ş. ve Akkuş, A., 1999, Nokta direnç kaynağında sıcaklık dağılımının incelenmesi, MMO dergisi, Sayı 238
- [7] Stoney, W.A., 1950, Resistance welding, Mc Graw Hill
- [8] Humphrey, S.M., 1940, Fundamental of resistance welding, American Welding Journal
- [9] Gillette, R.T., 1940, Latest development in resistance welding, American Welding Journal
- [10] Eryürek, B., 1976, Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Temas Direncinin Etüdü, İTÜ (Doktora Tezi)
- [11] Kotschergin, K.A., 1956, Leitfadn des widerstandsschweissens, SVT
- [12] Nakane, K., 1974, Study of determination of the optim welding conditions in resistance spot welding, Transaction of Japan Welding Society
- [13] Lheureux, G.E. and Blotte, E.J., 1965, Le soudage par resistance, Dunod
- [14] Williamson, J.B.P., 1963, Internat Conf. Electromagn, Relays
- [15] Holm, R., 1967, Electric contact theory and application, Springer Verlag
- [16] Kissljk, F.I., 1950, Die elektrische widerstandsschweissung, Oborongis
- [17] Siderenko, A.M., 1938, Determination of physical properties of contact in spot welding of low carbon steels, Academy of Sciences of the Ukraniën
- [18] Kowenhoven, W.B., 1941, Measurement of contact resistance, American Welding Journal
- [19] Hess, W.F. and Ringer, R.L., 1939, Data on the spot welding of low carbon steel, AWJ
- [20] Studer, F.J., 1941, Contact resistance in spot welding, American Welding Journal
- [21] Roberts, W.L., 1951, Resistance variations during spot welding, American Welding Journal

- [22] Apps, R.L., 1970, Heat development and weld nugget formation in mild steel spot welds, Proceedings of the Conference on Advances in Welding Processes
- [23] Satoh, T., Katayama, J. and Abe, H., 1969, Temperature distribution and break down oxide layer during resistance spot welding using two dimensional model, International Institute of Welding
- [24] Anık, S., Vural, M. ve Yener, S., 1999, Direnç nokta kaynağında elektrot ömrünün deneysel analizi
- [25] Yağcı, D.A., 2002, Uzmanlar için C++ nesne yönelimli programlama kılavuzu, ALFA
- [26] Çelik, İ., 2004, İşleme merkezlerinde üretilecek parçalar için bilgi tabanlı işlem planlama sistemi, Selçuk Üniversitesi (Doktora Tezi)
- [27] Anık, S. ve Vural, M., 2001, Kaynak ve kesme teknolojisinde parametre değer tabloları, Birsen



## EKLER

Ek-1 Alaşimsız yapı çeliği için kaynak parametreleri

Yöntem : Elektrik direnç nokta kaynağı		Esas metal : Alaşimsız yapı çeliği (C ≤ % 0,15)									
İmalat türü : Yarı mekanik – tam mekanik		Elektrod malzemesi : DIN 44759'a göre 2. sınıf (ISO 5182'ye göre A2)									
Dikiş türü : Bindirme bağlantıda nokta dikişi		Elektrod formu : Düz (d) veya küresel (R) <sup>4)</sup>									
		Kaynak pozisyonu : herhangi bir pozisyon.									
Tek seç kalınlığı <sup>1)</sup> mm	Dikiş türü	Dikiş hazırlığı		Bindirme boyu	Ayar değerleri <sup>2)</sup>		Karakteristik değerler			Açıklamalar <sup>3)</sup>	
		Elektrod	Nokta aralığı		Kaynak süresi	Kaynak akımı	Elektrod kuvveti	Nokta çapı	Min. çek-mak. kuvveti		Kaynak şartları
		d	R	mm	mm	Per.	kA	kN	mm	kN	
1	Nokta	5	75	14	9	2	8	1,7	3,5	1,8	Kısa süreli
						5	6,5	1,3	3,5	1,8	Orta süreli
						12	5,5	1,0	3,5	1,8	Uzun süreli
1.5	Nokta	8	75	24	15	4	13	4,5	6,0	5,1	Kısa süreli
						10	9,5	2,5	6,0	5,1	Orta süreli
						25	8	1,9	6,0	5,1	Uzun süreli
2	Nokta	10	75	28	18	5	15	5,0	7,0	7,7	Kısa süreli
						14	10	3,1	7,0	7,7	Orta süreli
						30	8	1,9	7,0	7,7	Uzun süreli
2.5	Nokta	14	75	40	25	9	22	11,0	10	20,9	Kısa süreli
						24	14	4,5	10	20,9	Orta süreli
						60	11	3,0	10	20,9	Uzun süreli

<sup>1)</sup> İki seç de aynı kalınlıktadır. Yüzey kuru, temiz, boyasız ve hadde curufluz olmalıdır.

<sup>2)</sup> Bir yağ filmine izin verilir.

<sup>3)</sup> Ön tutma süresi, yaklaşık 15 Per., son tutma süresi yaklaşık 20 Per.'tur.

<sup>4)</sup> Elektrod formu şematik gösterilmiştir.

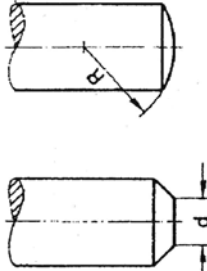
Kaynak Şartları	İmalat hızı	Gerekli makine düzeneği	Kaynak kalitesinin kontrolü	Elektrod dayanma süresi
Kısa süreli	Çok yüksek	Büyük	Daha büyük	Daha düşük
Orta süreli	Yüksek	Orta	Daha küçük	Daha büyük
Uzun süreli	Düşük	Küçük	Daha büyük	Daha büyük

## Ek-2 1.4541 çeliği için kaynak parametreleri

Yöntem : Elektrik direnç nokta kaynağı		Esas metal : X6CrNiTi1810 (Malzeme No.: 1.4541)								
İmalat türü : Yarı mekanik – tam mekanik		Elektrod malzemesi : DIN 44759'a göre 3. sınıf (ISO 5182'ye göre A3)								
Dikiş türü : Bindirme bağlantıda nokta dikişi		Elektrod formu : Düz (d) veya küresel (R) <sup>3)</sup>								
		Kaynak pozisyonu : herhangi bir pozisyon.								
Tek saç kalınlığı <sup>1)</sup>	Dikiş hazırlığı		Ayar değerleri <sup>2)</sup>	Karakteristik değerler	Açıklamalar					
	Dikiş türü	Elektrod				Nokta aralığı	Bindirme boyu	Kaynak süresi	Kaynak akımı	Elektrod kuvveti
mm	D	R	mm	mm	Per.	kA	kN	mm	kN	
0,5	Nokta	5	75	8	11	3	4,0	2,3	2,0	Orta süreli
1,0	Nokta	6	75	12	13	5	7,0	5,0	5,5	Orta süreli
1,5	Nokta	8	100	15	16	8	9,0	8,0	10,0	Orta süreli
2,0	Nokta	8	100	20	17	12	10,5	9,0	15,0	Orta süreli
2,5	Nokta	10	150	25	19	14	12,5	12,0	19,0	Orta süreli
3,0	Nokta	10	150	30	22	16	15,0	15,0	22,0	Orta süreli

<sup>1)</sup> İki saç da aynı kalınlıktadır. Yüzey kuru, temiz, boyasız, passız ve hadde curuflusuz olmalıdır. <sup>3)</sup> Elektrod formu şematik gösterilmiştir.  
Bir yağ filmine izin verilir.

<sup>2)</sup> Ön tutma süresi, yaklaşık 15 Per., son tutma süresi yaklaşık 20 Per.'tur.



Ek-3 Alüminyum kaplamalı çelik sac için kaynak parametreleri

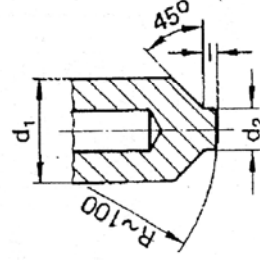
Yöntem : Elektrik direnç nokta kaynağı		Esas metal : Alüminyum kaplamalı çelik sac		Açıklamalar					
İmalat türü : Yarı mekanik – tam mekanik		Elektrod malzemesi : DIN 44759'a göre 1. veya 2. sınıf (ISO 5182'ye göre A1 veya A2)							
Dikiş türü : Bindirme bağlantıda nokta dikişi		Elektrod formu : Çikintili elektrod <sup>4)</sup>							
Kaynak pozisyonu : herhangi bir pozisyon.									
Tek sac kalınlığı <sup>1)</sup> mm	Dikiş türü	Dikiş hazırlığı		Ayar değerleri		Karakteristik değerler	Minimum çekme-makaslama kuvveti kN		
		d <sub>1</sub> mm	d <sub>2</sub> mm	Elektrod ölçüleri <sup>2)</sup>	Elektrod akımı <sup>3)</sup> KA			Elektrod kuvveti kN	Nokta çapı mm
0,50	Nokta	16	5,0	4,0	3	9,5	0,7	2,3	3,5
1,00	Nokta	16	7,0	4,0	8	10,5	2,0	6,0	4,8
1,25	Nokta	16	7,5	4,0	10	11,5	2,4	9,3	5,2
1,50	Nokta	16	8,5	4,0	15	14	2,8	10,5	5,7
2,00	Nokta	20	10,5	4,0	20	17	3,8	15,0	7,0

1) Aynı kalınlıkta iki sac. Yüzeyler temiz, nemsiz ve boyasız olmalıdır. 4) Elektrod formu şematik gösterilmiştir.

2) Ancak genel olarak önceden bir dağlama gerekmez. Bir yağ filmine izin verilir.

3) Yeterli bir soğutma suyu şartıyla (yaklaşık 8 l/dak)

4) Yeni elektrodlarda mümkün olan en düşük akımla başlanmalıdır ve nokta sayısına bağlı olarak yükseltilmelidir.



## Ek-4 Galvanizli çelik sac için kaynak parametreleri

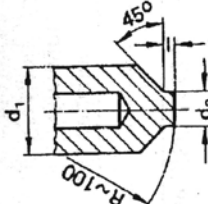
Yöntem : Elektrik direnç nokta kaynağı		Esas metal : Galvanizli çelik sac		Açıklamalar					
İmalat türü : Yarı mekanik – tam mekanik		Elektrod malzemesi : DIN 44759'a göre 1. veya 2. sınıf (ISO 5182'ye göre A1 veya A2)		Karakteristik değerler					
Dikiş türü : Bindirme bağlantıda nokta dikişi		Elektrod formu : Çikintılı elektrod <sup>4)</sup>		Minimum çekme-makaslama kuvveti kN					
Kaynak pozisyonu : herhangi bir pozisyon.		Ayar değerleri		Nokta çapı mm					
Tek sac kalınlığı <sup>1)</sup>	Dikiş hazırlığı		Kaynak süresi	Kaynak akımı <sup>3)</sup>	Elektrod kuvveti	Minimum çekme-makaslama kuvveti kN			
	Dikiş türü	Elektrod ölçüleri <sup>2)</sup>					Per.	Per.	mm
mm	d <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>	Nokta aralığı en az mm	Bindirme boyu en az mm	mm	mm			
0,5	16	5,0	15	15	8	11	2,0	4,0	2,5
1,0	16	6,5	20	15	10	14	3,5	5,5	6,5
1,5	20	8,0	30	20	16	16	4,5	6,0	10,0
2,0	25	10	30	20	20	19	6,0	7,0	14,5
2,5	25	12	45	30	24	20	8,0	8,5	20,0
3,0	25	12	50	30	30	20	11,0	10	27,0

<sup>1)</sup> İki sac da aynı kalınlıktadır. Yüzey kuru, temiz, boyasız, passız ve hadde curufluz olmalıdır. <sup>4)</sup> Elektrod formu şematik gösterilmiştir.

<sup>2)</sup> Bir yağ filmine izin verilir.

<sup>3)</sup> Yeterli bir soğutma suyu şartıyla (yaklaşık 8 l/dak)

<sup>4)</sup> Yeni elektrodlarda mümkün olan en düşük akımla başlanmalıdır ve nokta sayısına bağlı olarak yükseltilmelidir.



## Ek-5 Galvanizli çelik sac için kaynak parametreleri

Yöntem : Elektrik direnç nokta kaynağı (tek darbeli kaynak)		Esas metal : Galvanizli çelik sac						
İmalat türü : Yarı mekanik – tam mekanik		Elektrod malzemesi : Teknik saflıkta tungsten, ince taneli.						
Dikiş türü : Bindirme bağlantıda nokta dikişi		Elektrod formu : Çıkıntılı elektrod <sup>3)</sup>						
		Kaynak pozisyonu : herhangi bir pozisyon.						
Tek sac kalınlığı <sub>1)</sub>	Dikiş türü	Dikiş hazırlığı		Bindirme boyu	Ayar değerleri		Karakteristik değerler	Açıklamalar
		Elektrod ölçüleri <sup>2)</sup>	Nokta aralığı		Kaynak süresi	Kaynak akımı		
mm		d <sub>1</sub> mm	d <sub>2</sub> mm	°	Per.	kA	kN	mm
0,50	Nokta	22	6	30	15	7	2,0	4
0,88	Nokta	22	8	30	15	8,5	3,0	5
1,00	Nokta	22	8	30	15	9,5	3,5	5,5
1,25	Nokta	22	8	30	15	10,5	4,0	6
1,50	Nokta	22	8	30	20	11,5	4,5	6,5

<sup>1)</sup> İki sac da aynı kalınlıktadır. Yüzey kuru, temiz, boyasız, passız ve hadde curuvsuz <sup>3)</sup> Elektrod formu şematik gösterilmiştir.

<sup>2)</sup> a) Pres geçme veya lehimlenmiş tungsten parçalı elektrodlar  
b) Elektrod esas gövdesinin malzemesi: Bakır-krom (pres geçmelerde)  
Bakır veya herhangi bir elektrod malzemesi (lehimlenmişlerde)  
c) Su soğutma, doğrudan tungsten saplamaya yönlendirilmelidir.

Ek-6 Galvanizli çelik sac için kaynak parametreleri

Yöntem : Elektrik direnç nokta kaynağı (çok darbeli kaynak)		Esas metal : Galvanizli çelik sac				
İmalat türü : Yarı mekanik – tam mekanik		Elektrod malzemesi : Teknik saflıkta tungsten, ince taneli.				
Dikiş türü : Bindirme bağlantıda nokta dikişi		Elektrod formu : Çıktılı elektrod <sup>3)</sup>				
Kaynak pozisyonu : herhangi bir pozisyon.		Karakteristik değerler				
Tek sac kalınlığı <sub>1)</sub>	Dikiş hazırlığı	Ayar değerleri		Nokta çapı	Çekme- makaslama kuvveti	Açıklamalar
		Kaynak süresi	Kaynak akımı			
mm	Dikiş türü	Per.	kA	mm	kN	
	Elektrod ölçüleri <sup>2)</sup>	Bindirme boyu				
	d <sub>1</sub> mm	Nokta aralığı				
	d <sub>2</sub> mm					
	A °					
0,50	Nokta	10	7	4	2,5	
0,88	Nokta	12	8,5	5	5,3	
1,00	Nokta	12	9,5	5,5	6,5	
1,25	Nokta	12	10,5	6	7,5	
1,50	Nokta	14	11,5	6,5	10,0	

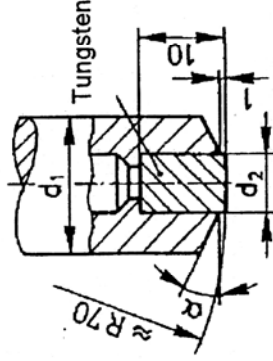
<sup>1)</sup> İki sac da aynı kalınlıktadır. Yüzey kuru, temiz, boyasız, passız ve hadde curufsuz

<sup>2)</sup> a) Pres geçme veya lehimlenmiş tungsten parçalı elektrodlar

b) Elektrod esas gövdesinin malzemesi: Bakır-krom (pres geçmelerde)  
Bakır veya herhangi bir elektrod malzemesi (lehimlenmişlerde)

c) Su soğutma, doğrudan tungsten saplamaya yönelmiş olmalıdır.

<sup>3)</sup> Elektrod formu şematik gösterilmiştir.



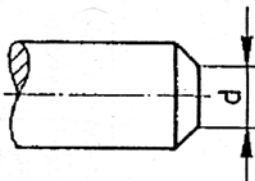
Ek-7 Çift taraflı elektrolitik galvanizli çelik sac için kaynak parametreleri

Yöntem : Elektrik direnç nokta kaynağı		Esas metal : Çift taraflı elektrolitik galvanizli çelik sac <sup>1)</sup>		Açıklamalar		
İmalat türü : Yarı mekanik – tam mekanik		Elektrod malzemesi : DIN 44759'a göre 2/2. sınıf (ISO 5182'ye göre A2/2)		Karakteristik değerler		
Dikiş türü : Bindirme bağlantıda nokta dikişi		Elektrod formu : Düz elektrod <sup>3)</sup>		Çekme-makaslama kuvveti		
Kaynak pozisyonu : herhangi bir pozisyon.		Ayar değerleri		Elektrod kuvveti		
Tek sac kalınlığı <sup>1)</sup>		Dikiş hazırlığı		Kaynak Akımı		
mm		Elektrod çapı		Per.		
mm		Nokta aralığı		mm		
mm		Bindirme boyu		kA		
mm		mm		kN		
0,5	Nokta	4	15	6	7...8	1,8
0,8	Nokta	6	20	8	9...10	4,0
1,0	Nokta	6	20	10	10...11	5,1
1,25	Nokta	6	25	12	11...12	6,4
1,5	Nokta	8	30	14	12...14	7,7
2,0	Nokta	8	30	18	14...16	12,6
2,5	Nokta	8	45	24	16...18	16,5
3,0	Nokta	10	50	30	18...20	21,0

<sup>1)</sup> DIN 1623'e göre alaşımsız yumuşak çelikten aynı kalınlıkta iki sac.  
Her yüzünde 2,5 µm çinko kaplama için küçük olan akım değeri seçilmelidir.  
Yüzeyler temiz, nemsiz ve boyasız olmalıdır.  
Bir yağ filmine izin verilir.

<sup>2)</sup> Yeterli bir soğutma suyu şartıyla (yaklaşık 8 l/dak)

<sup>3)</sup> Elektrod formu şematik gösterilmiştir.



## Ek-8 Alüminyum ve alüminyum alaşımları için kaynak parametreleri

Yöntem : Elektrik direnç nokta kaynağı		Esas metal : Alüminyum ve alüminyum alaşımları									
İmalat türü : Yarı mekanik – tam mekanik		Elektrod malzemesi : DIN 44759'a göre 1.sınıf (ISO 5182'ye göre A1)									
Dikiş türü : Bindirme bağlantıda nokta dikişi		Elektrod formu : Küresel (R)									
		Kaynak pozisyonu : herhangi bir pozisyon.									
Tek saç kalınlığı mm	Dikiş hazırlığı			Ayar değerleri <sup>1)</sup>			Karakteristik değerler			Açıklamalar	
	Dikiş türü	Elektrod radyüsü (R) mm	Nokta aralığı mm	Bindirme boyu mm	Kaynak süresi Per.	Kaynak Akımı kA	Elektrod kuvveti kN	Çekme- makas. kuvveti kN	Çekirdek çapı mm		
0,35	Nokta	75	8	8	2	18...22	1,5	3,0	3,5		
0,5	Nokta	75	10	10	2	19...24	1,8	3,5	4,0		
0,8	Nokta	75	12	12	3	24...30	2,2	4,5	5,0		
1,0	Nokta	75	14	14	3	25...32	3,0	5,0	5,5		
1,25	Nokta	100	16	16	4	26...34	3,5	5,5	6,0		
1,5	Nokta	100	18	18	5	27...35	4,0	6,0	6,5		
2,0	Nokta	100	20	20	6...8	30...38	5,0	7,0	7,7		
2,5	Nokta	100	25	23	7...9	34...42	6,5	8,0	8,7		
3,0	Nokta	100	30	25	8...10	38...45	8,0	8,5	9,3		
3,5	Nokta	100	35	30	9...12	44...50	10,0	9,5	10,3		

<sup>1)</sup> Tabloda verilen değerlerde kaynak yapılacak olan malzemenin, spesifik elektrik iletkenliği dikkate alınmalıdır.  
Yüksek iletkenlik → yüksek kaynak akımı → uzun kaynak süresi  
Düşük iletkenlik → düşük kaynak akımı → kısa kaynak süresi



**Ek-9** Alüminyum ve alüminyum alaşımları için kaynak parametreleri

Yöntem : Elektrik direnç nokta kaynağı (50 Hz alternatif akım)		Esas metal : Alüminyum ve alüminyum alaşımları										
İmalat türü : Yarı mekanik – tam mekanik		Elektrod malzemesi : DIN 44759'a göre 1.sınıf (ISO 5182'ye göre A1)										
Dikiş türü : Bindirme bağlantıda nokta dikişi		Elektrod formu : Küresel (R)										
Kaynak pozisyonu : herhangi bir pozisyon.												
Tek saç kalınlığı <sup>1)</sup> mm	Dikiş hazırlığı		Ayar değerleri	Karakteristik değerler		Açıklamalar						
	Dikiş türü	Elektrod radyüsü (R) mm		Nokta aralığı mm	Bindirme boyu mm		Kaynak süresi t <sub>1</sub> Per.	t <sub>2</sub> Per.	Kayn. akımı kA	Elektrod kuvveti F <sub>1</sub> kN	F <sub>2</sub> kN	Çekirdek çapı mm
0,5	Nokta	75	10	10	5	-	16	1,8	-	3,5	0,85	I
1,0	Nokta	100	14	14	2	2	25	2,0	4,0	3,5	2,0	F
1,5	Nokta	100	18	18	7	-	21	2,5	-	4,5	2,0	I
2,0	Nokta	100	20	20	3	4	35	4,0	8,0	4,5	3,8	F
2,5	Nokta	150	22	22	9	-	25	3,2	-	5,5	3,8	I
3,0	Nokta	150	25	25	4	7	50	6,6	13	5,5	5,9	F
					10	-	29	4,0	-	6,5	5,9	I
					6	9	55	7,5	18	6,5	7,5	F
					11	-	33	4,8	-	7,5	7,5	I
					7	10	63	10	23	7,5	9,3	F
					12	-	36	5,5	-	8,5	9,3	I
					8	12	70	13	30	8,5	9,3	F

<sup>1)</sup> İki saç aynı kalınlıkta olmalıdır; kaynaktan önce yüzey mümkünse dağlanmalıdır; <sup>2)</sup> I: genel endüstri kalitesi; F: uçak-uzay endüstrisi Dağlayıcı örneği: Nitrik asit + hidroflorik asit çözeltisi (Kontakt direnci ≤ 10 µΩ) kalitesi.

Uçak-uzay kalitesi için kuvvet programı