

**T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ARK KAYNAK PARAMETRELERİNİN  
OPTİMİZASYONU**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Sadık USLU**

**Enstitü Anabilim Dalı : METAL EĞİTİMİ**  
**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Fehim FINDIK**  
**Ortak Tez Danışmanı : Yard. Doç. Dr. Uğur SOY**

**Mayıs 2010**

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ARK KAYNAK PARAMETRELERİNİN  
OPTİMİZASYONU**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

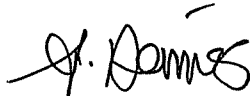
**Sadık USLU**

**Enstitü Anabilim Dalı : METAL EĞİTİMİ**

**Bu tez 28/05/2010 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.**



**Prof. Dr. Fehim FİNDİK**  
Jüri Başkanı



**Doç. Dr. Adem DEMİR**  
Üye



**Yrd. Doç. Dr. Osman İYİBİLGİN**  
Üye

## ÖNSÖZ

Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metal Eğitimi Enstitü Anabilim Dalında gerçekleştirilen bu çalışmada, Ark kaynak yönteminin optimizasyonu sağlanıp bir bilgisayar programı hesaplanması yapılacaktır. Bu çalışma süresince değerli fikir ve yönlendirmeleri ile desteğini esirgemeyen Yüksek lisans tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Fehim FINDIK'a ortak danışmanım Yard. Doç. Dr. Uğur SOY'a ve bilgisayar programının yapılmasında yardımlarını esirgemeyen Enes HOŞŞİRİN'e en içten teşekkürlerimi arz eder, şükranlarımı sunarım. Bu Yüksek lisans tezi Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu'nun (TÜBİTAK) 109M087 numaralı ve Sakarya Üniversitesi'nin 2009-50-01-066 numaralı araştırma projeleri tarafından desteklenmiştir. Bu vesile ile TÜBİTAK kurumuna, TÜBİTAK proje yürütücüsü Doç. Dr. Cemil ÖZ'e ve Sakarya Üniversitesi Rektörlüğü'ne teşekkürü bir borç bilirim.

Son olarak yetişmemde ve bugünlere gelmemde haklarını hiçbir zaman ödeyemeyeceğim aileme ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen değerli eşime teşekkürü bir borç bilirim.

Mayıs 2010

Sadık USLU

# İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	viii
TABLolar LİSTESİ.....	x
ÖZET.....	xii
SUMMARY.....	xiii
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2.	
ARK KAYNAK YÖNTEMLERİ.....	3
2.1. Giriş.....	3
2.2. Elektrik Arak Kaynak Yöntemi.....	3
2.3. MIG/MAG Kaynak Yöntemi.....	5
2.4. TIG Kaynak Yöntemi.....	7
BÖLÜM 3.	
KAYNAK PARAMETRELERİ.....	9
3.1. Giriş.....	9
3.2. Elektrik Arak Kaynak Yöntemi için Parametreler.....	9
3.2.1. Kaynak ağzı formları.....	9
3.2.2. Elektrotlar.....	13
3.2.3. Kaynak akımı.....	15
3.2.4. Kaynak hızı.....	17

3.2.5. Isı dağılımı.....	17
3.2.6. Ark boyu.....	18
3.2.7. İlerleme açısı ve salınım açısı .....	20
3.3. MIG/MAG Kaynak Yöntemi için Parametreler.....	22
3.3.1. Kaynak ağzı formları.....	22
3.3.2. Teller.....	26
3.3.3. Gazlar.....	27
3.3.4. Kaynak akımı.....	28
3.3.5. Kaynak hızı.....	31
3.3.6. Isı dağılımı.....	32
3.3.7. Ark boyu.....	33
3.3.8. İlerleme açısı ve salınım açısı .....	35
3.4. TIG Kaynak Yöntemi İçin Parametreler.....	38
3.4.1. Kaynak ağzı formları.....	38
3.4.2. Teller.....	39
3.4.3. Gazlar.....	41
3.4.4. Kaynak akımı.....	42
3.4.5. Kaynak hızı.....	43
3.4.6. Isı dağılımı.....	44
3.4.7. Ark boyu.....	45
3.4.8. İlerleme açısı ve salınım açısı.....	46

#### BÖLÜM 4.

KAYNAK PARAMETRELERİNİN OPTİMİZASYONU.....	48
4.1. Giriş.....	48
4.2. Elektrik Ark Kaynak Parametrelerinin Optimizasyonu.....	48
4.2.1. Malzeme türü.....	48
4.2.2. Kaynak ağzı formu.....	49
4.2.3. Elektrot çapının seçimi.....	50
4.2.4. Kaynak akımının belirlenmesi.....	51
4.2.5. Kaynak hızı .....	52
4.2.6. Ark boyu.....	53
3.2.7. Elektrod ilerleme açısı.....	54

4.2.8. Elektrod salınım açısı ve hareketi.....	55
4.2.9. Kaynak hacminin hesaplanması.....	56
4.3. MIG/MAG Kaynak Parametrelerinin Belirlenmesi.....	57
4.3.1. Malzeme türü.....	57
4.3.2. Kaynak ağzı formu.....	57
4.3.3. Tel çapının seçimi.....	59
4.3.4. Kaynak akımının belirlenmesi.....	59
4.3.5. Kaynak hızı.....	61
4.3.6. Ark boyu.....	61
4.3.7. Elektrod ilerleme açısı.....	62
4.3.8. Elektrod salınım açısı ve hareketi.....	63
4.3.9. Kaynak hacminin hesaplanması.....	64
4.4. TIG Kaynak Parametrelerinin Belirlenmesi.....	65
4.4.1. Malzeme türü.....	65
4.4.2. Kaynak ağzı formu.....	65
4.4.3. Tel çapının seçimi.....	66
4.4.4. Kaynak akımının belirlenmesi.....	67
4.4.5. Kaynak hızı.....	69
4.4.6. Ark boyu.....	69
4.4.7. Torç ve ilave tel ilerleme açısı.....	70
4.4.8. Torç salınım açısı ve hareketi.....	71
4.4.9. Kaynak hacminin hesaplanması.....	72
BÖLÜM 5.	
OPTİMİZASYON PROGRAMI.....	74
5.1. Giriş.....	74
5.2. Bilgisayar Programı.....	76
5.3. Sistemin Çalışma Prensibi.....	79
5.4. Program Arayüzü.....	89
5.5. Elektrik Ark Kaynak Yöntemi için Örnek Uygulama.....	89
5.6. MIG/MAG Kaynak Yöntemi için Örnek Uygulama.....	90
5.7. TIG Kaynak Yöntemi için Örnek Uygulama.....	91

BÖLÜM 6.	
GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	93
6.1. Genel Sonuçlar.....	93
6.2. Öneriler.....	93
KAYNAKLAR.....	95
ÖZGEÇMİŞ.....	97

## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

AEK	: Elektrik Ark Kaynağı
MIG	: Metal İnerit Gas
MAG	: Metal Aktif Gas
TIG	: Tungsten İnerit Gas
TS	: Türk Standardı
A	: Amper
V	: Volt
G	: 1 metre kaynak dikişindeki kaynak metali
h	: Sıçrama kayıplarını göz önüne alan yığma verimi
d	: Elektrod Çapı
$V_e$	: Elektrod besleme hızı
$V_k$	: Kaynak hızı
W	: Wolfram
$\alpha$	: Kaynak ağız açısı
b	: İki malzeme arasındaki boşluk
KA	: Kaynak Ağızı
S	: Malzeme kalınlığı
CTE	: Isıl genleşme katsayısı
I	: Akım şiddeti
H	: 1 saniyede elde edilen kaynak hacmi
V	: İlerleme hızı
t	: Zaman



## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Elektrik ark kaynak yöntemi.....	4
Şekil 2.2.	MIG/MAG (Gazaltı) kaynak yöntemi.....	6
Şekil 2.3.	TIG Kaynak yöntemi .....	8
Şekil 3.1.	Kaynak esnasında ısın tesiri altındaki bölge .....	18
Şekil 3.2.	Akım şiddeti, Akım yoğunluğu, Ark boyu ve kaynak hızının dikiş biçimine etkisi.....	19
Şekil 3.3.	Alın ve İç köşe birleştirmelerde elektrodun çalışma ve hareket açıları .....	20
Şekil 3.4.	Elektrodun hareket açısının dikiş şekline etkisi.....	21
Şekil 3.5.	İş parçası eğiminin kaynak dikişine etkisi .....	23
Şekil 3.6.	Çeşitli koruyucu gazların dikişin şekline ve nufuziyete etkisi... ..	28
Şekil 3.7.	Alaşımız çelik elektrodlar için kaynak akımları ile elektrod besleme hızları arasındaki ilişki.....	28
Şekil 3.8.	Alüminyum elektrod için kaynak akımları ile elektrod besleme hızları arasındaki ilişki.....	29
Şekil 3.9.	300 Serisi paslanmaz çelik elektrodlar için kaynak akımları ile elektrod besleme hızları arasındaki ilişki.....	31
Şekil 3.10.	Kaynak hızının kaynak dikişine etkisi .....	32
Şekil 3.11.	Gazaltı kaynağında kullanılan terimler .....	34
Şekil 3.12.	Hareket, çalışma düzlemleri ve Elektrod açıları.....	36
Şekil 3.13.	Elektrod açısının ve kaynak tekniğinin etkileri .....	37
Şekil 3.14.	İç köşe ve yukardan aşağı kaynaklar için normal çalışma açıları .....	37
Şekil 3.15.	Tungsten elektrodların akım şiddetine göre uç şekilleri .....	43
Şekil 3.16.	Isının tesiri altındaki bölge.....	45
Şekil 3.17.	TIG Kaynak bölgesi.....	46
Şekil 3.18.	TIG Kaynağında torç ve ilave telin tutuluş açıları.....	47

Şekil 4.1.	Elektrik Ark Kaynağı Kaynak pozisyonlarına bağlı ilerleme açıları.....	55
Şekil 4.2.	Elektrik Ark Kaynağında Salınım açısının şematik gösterimi...	55
Şekil 4.3.	MIG/MAG Kaynağı Kaynak pozisyonlarına bağlı ilerleme açıları.....	63
Şekil 4.4.	MIG/MAG Kaynağında Salınım açısının şematik gösterimi...	63
Şekil 4.5.	TIG Kaynağında ilerleme açısının şematik gösterimi.....	71
Şekil 4.6.	TIG Kaynağında salınım ve hareket açısının şematik gösterimi	72
Şekil 5.1.a.	Bilgisayar programının çalışma prensibini gösteren algoritma...	80
Şekil 5.1.b.	Programa verilerin girilmesini gösteren algoritma.....	81
Şekil 5.1.c.	Elektrod çapının kontrol edildiği algoritma.....	82
Şekil 5.1.d.	Kaynak yöntemi ve malzeme kalınlığına göre kaynak akımının kontrol eden algoritma.....	83
Şekil 5.1.e.	Kaynak yöntemi ve malzeme kalınlığına göre kaynak hızını kontrol eden algoritma.....	84
Şekil 5.1.f.	Kaynak yöntemi ve kaynak pozisyonuna göre ilerleme açısını kontrol eden algoritma.....	85
Şekil 5.1.g.	Kaynak ağız formu ve malzeme kalınlığına göre $\alpha$ açısı ve $b$ 'yi kontrol eden algoritma.....	86
Şekil 5.1.h.	Ark kaynak yöntemlerine göre ark boyunun hesaplandığı algoritma.....	87
Şekil 5.1.ı.	Ark kaynak yöntemlerine göre salınım açısını belirleyen algoritma.....	88
Şekil 5.2.	Ark kaynak parametrelerinin belirlenmesi ile ilgili programın ara yüzü.....	89
Şekil 5.3.	Elektrik ark kaynağında karbonlu çelikte kullanılan parametre değerleri.....	90
Şekil 5.4.	MIG/MAG Kaynağında Alaşımli Çelikte kullanılan parametre değerleri.....	91
Şekil 5.5.	TIG Kaynağında Alüminyumda kullanılan parametre değerleri..	92

## TABLolar LİSTESİ

Tablo 3.1.	TS 3473'e göre kaynak ağız biçimleri.....	10
Tablo 3.2.	Elektrik Ark Kaynağında Elektrodlar için akım aralıkları .....	16
Tablo 3.3.	Örtülü Elektrodlar için akım şiddeti hesabı .....	17
Tablo 3.4.	Örtülü Elektrod ile ark kaynağında uygun elektrod açıları.....	22
Tablo 3.5.	MIG/MAG Kaynağında kullanılan kaynak ağız şekilleri.....	24
Tablo 3.6.	TIG Kaynağında kullanılan kaynak ağız şekilleri.....	39
Tablo 3.7.	Tungsten elektrodların kimyasal bileşimleri ve renk kodları....	40
Tablo 4.1.	Elektrik Ark Kaynağında Kaynak ağız formlarının belirlenmesi.....	50
Tablo 4.2.	Parça kalınlığına göre elektrod çekirdek çapı değerleri.....	51
Tablo 4.3.	Elektrik Ark Kaynağında parça kalınlığına göre kaynak akım değerleri.....	52
Tablo 4.4.	Elektrik Ark Kaynağında Parça kalınlığına göre kaynak hızları.	54
Tablo 4.5.	Elektrik Ark Kaynağında Ark boyunun uzaklaşması ve yakınlaşması durumundaki değişiklikler.....	54
Tablo 4.6.	Elektrik Ark Kaynağında Kaynak pozisyonuna bağlı olarak ideal ilerleme açısı değerleri ve toleransları.....	54
Tablo 4.7.	Elektrik Ark Kaynağında Elektrod çekirdek çapına bağlı 1 saniyede eriyen elektrod boyu.....	57
Tablo 4.8.	MIG/MAG Kaynağında kaynak ağız formlarının belirlenmesi..	58
Tablo 4.9.	MIG/MAG Kaynağında parça kalınlığına göre tel çapları.....	59
Tablo 4.10.	MIG/ MAG Kaynağında parça kalınlığına bağlı olarak kaynak akım değerleri.....	60
Tablo 4.11.	MIG/MAG Kaynağında Parça kalınlığı, Kaynak akımı ve Elektrod çapına göre kaynak hızları.....	61
Tablo 4.12.	MIG/MAG Kaynağında ark boyunun Kaynağa etkileri.....	62

Tablo 4.13.	MIG/MAG Kaynağında kaynak pozisyonlarına bağlı ideal ilerleme açıları ve toleransları.....	62
Tablo 4.14.	MIG/MAG Kayağında kaynak tel çapına bağlı 1 saniyede eriyen elektrod boyu.....	64
Tablo 4.15.	TİG Kaynağında kaynak ağız formları.....	66
Tablo 4.16.	TIG Kaynağında parça kalınlığına göre kullanılan tel çapları..	67
Tablo 4.17.	TIG Kaynağında parça kalınlığına bağlı akım değerleri.....	68
Tablo 4.18.	TIG Kaynağında parça kalınlığı, kaynak akımı ve elektrod çapına göre kaynak hızları.....	69
Tablo 4.19.	TIG Kaynağında kaynak pozisyonlarına bağlı ideal ilerleme açıları ve toleransları.....	70
Tablo 4.20.	TIG Kayağında kaynak tel çapına bağlı 1 saniyede eriyen elektrod boyu.....	73

## ÖZET

Anahtar kelimeler: Ark Kaynak Yöntemi, Kaynak Parametreleri, Optimizasyon

Bu çalışmada, kullanımı ve uygulama alanı diğer ark kaynak yöntemlerinden daha fazla olan elektrik ark, MIG/MAG ve TIG kaynak yöntemlerine ait kaynak parametrelerinin optimizasyonu yapılmıştır. Kaynak işleminin öncesinde, uygulanışı esnasında ve sonrasında seçilen ve kullanılan parametreler kaynağın kalitesini ve performansını önemli oranda etkiler. Kullanılacak kaynak yöntemine, birleştirilecek malzemelere ve istenilen özel şartlara bağlı olarak; kaynak hızı, akım şiddeti, elektrot çapı, kaynak ağzı formu, kaynak pozisyonu, ilerleme ve salınım açısı gibi birçok parametrenin optimum seviyede seçilmesi gerekir. Optimizasyon çalışmasında; literatürde ve uygulamada belirlenen ideal ark kaynak parametreleri belirlenerek bir veritabanı oluşturulmuştur. Ardından bu veritabanı alt yapısı ile çalışan optimizasyon yazılımı hazırlanmıştır. Yazılıma optimizasyon işleminin yapılacağı bir arayüz modülü eklenerek ark kaynak parametrelerinin optimizasyonunu yapabilen bilgisayar programı oluşturulmuştur. Sonuç olarak, geliştirilen bu program sayesinde, kaynak yönteminin seçilmesi ve malzeme ölçülerinin programa girilmesi ile bilgisayar programı tarafından optimizasyon yapılmakta ve tüm ideal kaynak parametreleri otomatik olarak listelenmektedir. Geliştirilen bu program, hem kaynak eğitiminde hem de endüstrideki kaynak uygulamalarında yüksek verim almak amacı ile kullanılabilirken, malzeme sarfiyatı, zaman, verim, performans ve kalite gibi konular açısından yararlı olur. Ayrıca, kaynak bölgesinde oluşma potansiyeline sahip çatlama, kırılma ve kopma gibi hatalar ve buna paralel doğabilecek kazalar minimize edilebilmektedir.

# **OPTIMIZATION OF ARC WELDING PARAMETERS**

## **SUMMARY**

Key words: Arc Welding Process, Source Parameters, Optimization

In this study, the use and application of welding technique is higher than other electrical arc, MIG / MAG and TIG welding method has been made to the optimization of the welding parameters. Before welding process, during and after the implementation of the selected and the parameters of the source significantly affects the quality and performance. To use resources on the method, to combine materials and required special conditions, depending on, welding speed, current setting, electrode diameter, welding of the form, source position, progress and release for many other parameters of the optimal level must be selected. In optimization studies in literature and in practice is determined by determining the ideal parameters of arc welding, a database was created. After working with this database engine optimization software has been prepared. Optimization process will be made to the software interface module that can be added to the optimization of arc welding parameters of the computer program was created. As a result, through this developed program, the selection of welding methods and materials to the extent of entering the program with a computer program made by the optimization parameters and automatically lists all the right resources. While this program, which was developed, can be used both in training resources and practice in the industry resources in order to get high yield, It may be beneficial to metarilal waste, tile, efficiency, performane and quality issues as well. Furthermore, the craking which has the potential to ocur around the source, breaking and breaking off and such errors may arise from paralled accidents can be minimized.

## **BÖLÜM 1. GİRİŞ**

İnsanoğlunun bugünkü hayat seviyesine ulaşmasını sağlayan endüstrinin gelişmesine borçlu olduğu imalat yöntemlerinden bir tanesi de kaynaktır. İmalat ve uygulama açısından günümüzde kaynak; tamir kaynağı ve imalat kaynağı olarak iki ana grup altında yapılmaktadır. Bazı hallerde aynı kaynak yöntemi her iki grupta da uygulanır. Anık (2007)

Teknolojik gelişmelere paralel olarak kaynak tekniğinde de gelişmeler sağlanmıştır. Bu gelişmeler içinde otomatik ve yarı otomatik kaynak makineleri ile emniyetli kaynak dikişleri çekilmektedir. Yarı otomatik ve otomatik olmayan kaynak makineleri ile emniyetli kaynak dikişlerinin çekilmesi iyi yetişmiş kaynak teknisyenleri tarafından yapılabilmektedir. Bu tür kaynak işlerinde çalışan kaynak teknisyenleri çok çeşitli tür kaynak işlerini yapabilecek derecede bilgi ve tecrübeye sahip olmalıdır. Anık (2007)

Ülkemiz sanayisinin kaynak teknisyenine olan ihtiyacı genelde Çıraklık Eğitim Merkezleri ile Endüstri Meslek Liselerinden karşılanmaktadır. Teknik bilgi ve beceriye sahip kaynak teknisyeninin yetiştirilmesi uzun süreler alır ve pahalıdır. Kaynak eğitiminin ilk aşamasında teknolojik bilgi birikimleri paralelinde el becerilerini geliştirmek amacı ile temrin parçaları üzerinde kaynak dikişleri çekilerek yapılır. Yapılan bu temrin parçaları eğitim amaçlı olduğundan herhangi bir iş parçası olarak kullanılamazlar. Yapılan temrin parçalarının maliyetleri yüksek olup bu temrinler defalarca tekrarlanarak kaynakçı el becerisi eğitimini tamamlar. Anık (2007)

El ile yapılan normal ark kaynağının mazarine göz atıldığında üç ayrı usul göze çarpar. Bunların en eskisi Bernardos usulüdür. (1885) Bernardos karbon bir elektrod ile iş parçası arasında arkı teşkil ederek, ayrıca oksijen asetilen kaynağında olduğu gibi de

bir kaynak teli kullanmak suretiyle kaynak yapmıştır. Bu usulle yapılan kaynakta, dikiş havadaki oksijen ve azotun tesirinden korunamadığı için, düşük mekanik özelliklere sahip olur. Ayrıca arkın etrafında da karbonun yanmasından mütevellit bir CO ve CO<sub>2</sub> karışımı meydana gelmektedir. Daha sonra 1889 yılında Zereker bulduğu usulde, arkı iki karbon elektrod arasında teşkil etmiştir. İki elektrod arasında bulunan magnetik bir bobinle arkın parçaya doğru üflenmesi sağlanmaktadır. Bu usulde de ayrıca bir kaynak teline ihtiyaç vardır. 1889 yılında da Slavianoff bugünkü ark kaynağının esasını buldu. Slavianoff usulünde karbon elektrod yerine, çıplak metalik bir elektrod ile iş parçası arasında ark teşkil edilerek elektrodda erimek suretiyle kaynak ağzını doldurmaktadır. Slavianoff usulünde de erimiş haldeki kaynak banyosunu havanın tesirinden korumak mümkün olmamıştır. Ancak 1908 yılında Oscar Kjelberg elektrod örtüsünü bularak bu mahzuru ortadan kaldırmıştır. Anık (2007)



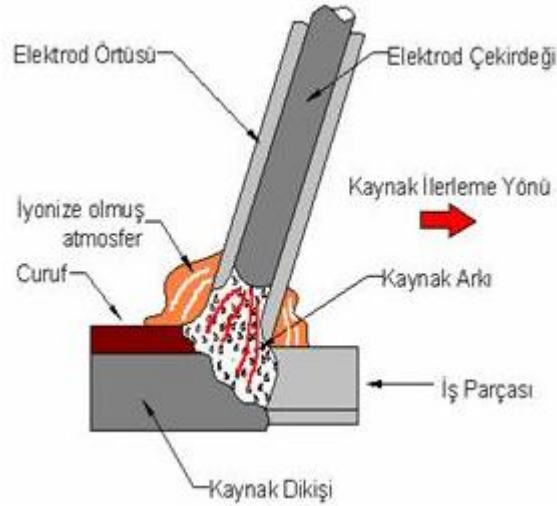
## **BÖLÜM 2. ARK KAYNAK YÖNTEMLERİ**

### **2.1. Giriş**

Modern fiziğe göre ark, kızgın bir katottan yayılan elektronların, yüksek bir hızla anodu bombardıman etmesi sonucunda oluşmaktadır. Bu bombardıman, nötr moleküllerin, iyonize olmasına neden olduğundan, kuvvetli bir sıcaklık yükselmesi ortaya çıkar ve böylece elektrik enerjisi ısı enerjisine dönüşür. Arktaki toplam enerjinin %85'i ısı, %15'i de ışık enerjisine dönüşmektedir. Elektrik ark kaynak yöntemi, gazaltı kaynağı, özlü elektrot ile kaynak, TIG kaynağı ve tozaltı kaynağı en çok bilinen ve kullanılan ark kaynak yöntemleridir. Aşağıda en çok kullanılan elektrik ark, MIG/MAG ve TIG kaynağı ile ilgili bilgiler verilmiştir. Anık (1991)

### **2.2. Elektrik Ark Kaynak Yöntemi**

Elektrik ark kaynağında, kaynak için gerekli olan ısı, örtülü elektrot ile iş parçası arasında oluşan ark sayesinde elde edilir. Elektrik ark kaynağında genellikle elektrot negatif (katot), iş parçası pozitif (anot) kutbunu oluşturur. Bu durumda elektrotun erimesi ve ark sütunu boyunca damlacıklar halinde hareket ederek iş parçasına geçmesi katodik leke tarafından üretilen ısı ile, iş parçasının ısınması ise anodik krater tarafından sağlanır. Elektrik ark kaynak yönteminin şematik gösterimi Şekil 2.1'de gösterilmektedir. Çalışma esnasında etrafa yayılan ve kaynak işlemi için kullanılan ısı ile ark huzmesi tarafından üretilen ısı denge halindedir. %15 oranından ışık enerjisine sahip olan arktan yayılan ışınları parlak ışınlar, ultraviyole ışınları ve enfraruj ışınları (mor ötesi ve kırmızı öncesi) oluşturmaktadır. Anık (1991)



Şekil 2.1. Elektrik ark kaynak yönteminin şematik gösterimi Anık (2007)

Kaynak banyosu, ark ve iş parçasının kaynağa yakın bölgeleri, atmosferin zararlı etkilerinden örtü maddesinin yanması ve ayrışması ile oluşan gazlar tarafından korunur. Ergimiş örtü maddesinin oluşturduğu cüruf kaynak banyosundaki ergimiş kaynak metali için ek bir koruma sağlar. İlave metal (dolgu metali), tükenen elektrotun çekirdek telinden ve bazı elektrotlarda da elektrot örtüsündeki metal tozları tarafından sağlanır. Elektrik ark kaynağı sahip olduğu avantajları nedeniyle metallerin birleştirilmesinde en çok kullanılan kaynak yöntemidir. Anık (1991)

#### **Avantajları :**

- Elektrik ark kaynağı açık ve kapalı alanlarda uygulanabilir.
- Elektrot ile ulaşılabilen her noktada ve pozisyonda kaynak yapmak mümkündür.
- Diğer kaynak yöntemleri ile ulaşılamayan dar ve sınırlı alanlarda kaynak yapmak mümkündür.
- Kaynak makinesinin güç kaynağı uçları uzatılabildiği için uzak mesafedeki bağlantılarda kaynak yapılabilir.
- Kaynak ekipmanları hafif ve taşınabilirdir.
- Pek çok malzemenin kimyasal ve mekanik özelliklerini karşılayacak örtülü elektrot türü mevcuttur. Bu nedenle kaynaklı birleştirmeler de ana malzemenin sahip olduğu özelliklere sahip olabilir.

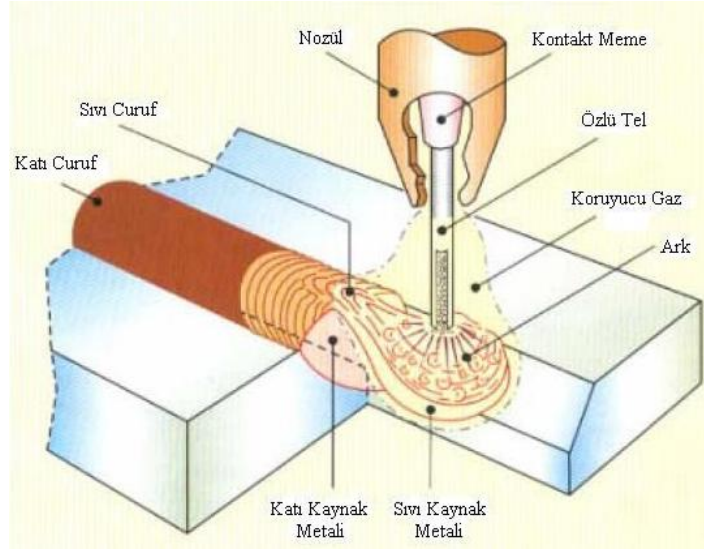
### **Dezavantajları :**

- Elektrik ark kaynağının metal yığıma hızı ve verimliliği pek çok ark kaynak yönteminden düşüktür. Elektrotlar belli boylarda kesik çubuklar şeklindedir, bu nedenle her elektrot tükendiğinde kaynağı durdurmak gerekir.
- Her kaynak pasosu sonrasında kaynak metali üzerinde oluşan cürufu temizlemek gerekir. Anık (1991)

### **2.3. MİG/MAG Kaynak Yöntemi**

Bu yöntemde kaynak için gerekli ısı, sürekli beslenen ve eriyen bir tel elektrotla kaynak banyosu arasında oluşturulan ark yoluyla ve elektrottan geçen kaynak akımının elektrotta oluşturduğu direnç ısıtması yoluyla üretilir. Elektrot çıplak bir tel olup, bir elektrot besleme tertibatıyla kaynak bölgesine sabit bir hızla sevk edilir. Çıplak elektrot, kaynak banyosu, ark ve esas metalin kaynak bölgesine komşu bölgeleri, atmosfer kirlenmesine karşı, dışarıdan sağlanan ve bölgeye bir gaz memesinden iletilen uygun bir gaz veya gaz karışımı tarafından korunur. MIG/MAG kaynak yönteminin şematik gösterimi Şekil 2.2.'de gösterilmektedir. Eryürek (2004)

Eriyen elektrotla gazaltı kaynağı fikri 1920'lerde ortaya atılmış olmakla birlikte, ticari anlamda ancak 1948'den itibaren kullanılmaya başlanmıştır. Önceleri yöntem soy gaz koruması altında yüksek akım yoğunluklarında ince elektrotlarla gerçekleştirilen bir kaynak yöntemi olarak benimsenmiş ve temelde alüminyumun kaynağında kullanılmıştır. Eriyen metal elektrot ve soy gaz kullanılması nedeniyle yöntem MIG (Metal Inert Gas) kaynağı adı verilmiştir. Yöntemde daha sonra düşük akım yoğunluklarıyla ve darbeli akımla çalışma, daha değişik metallere uygulama ve koruyucu gaz olarak aktif gazların (CO<sub>2</sub>) ve gaz karışımlarının kullanılması gibi gelişmeler meydana gelmiştir. Bu gelişmeler, aktif koruyucu gazın kullanıldığı yöntemde MAG(Metal Active Gas) kaynağı adının verilmesine neden olmuştur. Bu ad ayırımı sadece yöntemin adını belirtmek isteyenlerde sıkıntı yaratmış ve bu nedenle çeşitli ülkeler yöntemi belirtmek amacıyla değişik adlar kullanmaya başlamıştır. Örneğin, Amerika'da yöntem Gaz Metal Ark Kaynağı (GMAW), İngiltere'de ve Almanya'da MIG/MAG kaynağı adı verilmektedir. Ülkemizde ise, Eriyen Elektrotla Gazaltı ve MIG/MAG kaynağı adları kullanılmaktadır. Eryürek (2004)



Şekil 2.2. MIG/MAG (Gazaltı) kaynak yönteminin şematik gösterimi Eryürek (2004)

Bu yöntemde dışarıdan sağlanan gazla korunan ve otomatik olarak sürekli beslenen ve eriyen elektrot kullanılır. Kaynakçı tarafından ilk ayarlar yapıldıktan sonra arkın elektriksel karakteristiğinin kendi kendine ayarını otomatik olarak kaynak makinesi sağlar. Bu nedenle yarı otomatik kaynakta kaynakçının gerçekleştirdiği elle kontroller, kaynak hızı, doğrultusu ve torcun pozisyonundan ibarettir. Uygun donanım seçilip, uygun ayarlar yapıldığında ark boyu ve akım şiddeti (elektrot besleme hızı) kaynak makinası tarafından otomatik olarak sabit değerde tutulur. Eryürek (2004)

#### **Avantajları :**

- Gazaltı kaynağı, elektrik ark kaynağına göre daha hızlı bir kaynak yöntemidir.
- Tel şeklindeki kaynak elektrodu kaynak bölgesine sürekli beslendiği için kaynakçı elektrik ark kaynak yönteminde olduğu gibi tükenen elektrodu değiştirmek için kaynağı durdurmak zorunda değildir.
- Cüruf oluşmadığı için örtülü elektrotlardaki gibi her paso sonrası cüruf temizliği işlemi yoktur ve kaynak metalinde cüruf kalıntısı oluşma riski olmadığından, daha kaliteli kaynaklar elde edilir.
- Elektrik ark kaynağına göre daha düşük çaplı elektrotlar kullanıldığından, aynı akım aralığında yüksek akım yoğunluğuna ve yüksek metal yığıma hızına sahiptir.

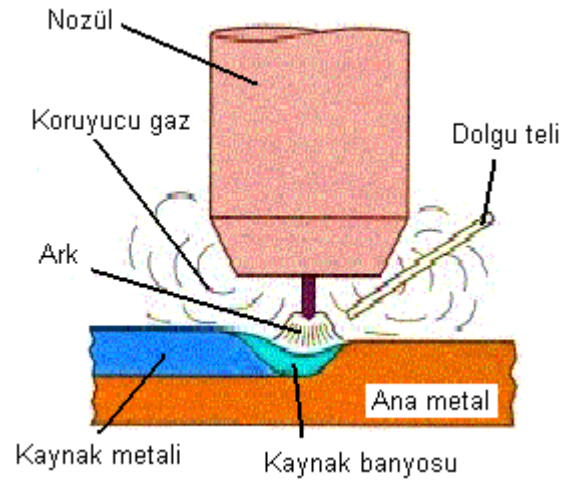
- Gazaltı kaynağı ile elde edilen kaynak metali düşük hidrojen miktarına sahiptir, bu özellikle sertleşme özelliğine sahip çeliklerde önemlidir.
- Gazaltı kaynağında derin nüfuziyet sağlanabildiği için bazen küçük köşe kaynakları yapmaya izin verir ve elektrik ark kaynağına göre daha düzgün bir kök penetrasyonu sağlar.
- İnce malzemeler çoğunlukla TIG kaynak yöntemi ile ilave metal kullanarak veya kullanmadan birleştirilse de, gazaltı kaynağı ince malzemelerin kaynağına elektrik ark kaynağından daha iyi sonuç verir.
- Hem yarı otomatik hem de tam otomatik kaynak sistemlerinde kullanıma çok uygundur. Eryürek (2004)

#### **Dezavantajları :**

- Gazaltı kaynak ekipmanları, elektrik ark kaynağı ekipmanlarına göre daha karmaşık, daha pahalı ve taşınması daha zordur.
- Gazaltı kaynak torcu iş parçasına yakın olması gerektiği için elektrik ark kaynağı gibi ulaşılması zor alanlarda kaynak yapmak kolay değildir.
- Sertleşme özelliği olan çeliklerde gazaltı kaynağı ile yapılan kaynak birleştirmeleri çatlamaya daha eğilimlidir çünkü, elektrik ark kaynağında olduğu gibi kaynak metalinin soğuma hızını düşüren bir cüruf tabakası yoktur.
- Gazaltı kaynağı, gaz korumasını kaynak bölgesinden uzaklaştırabilecek hava akımlarına karşı ek bir koruma gerektirir. Bu nedenle, elektrik ark kaynağına göre açık alanlarda kaynak yapmaya uygun değildir.

#### **2.4. TİG Kaynak Yöntemi**

TIG kaynağı, kaynak için gerekli ısının, tükenmeyen bir elektrot (tungsten elektrot) ile iş parçası arasında oluşan ark sayesinde ortaya çıktığı bir ark kaynak yöntemidir. Elektrot, kaynak banyosu, ark ve iş parçasının kaynağa yakın bölgeleri, atmosferin zararlı etkilerinden kaynak torcundan gelen gaz veya karışım gazları tarafından korunur. Gaz, kaynak bölgesini tam olarak koruyabilmelidir; aksi takdirde çok küçük bir hava girişi dahi kaynak metalinde hataya neden olur. TIG kaynak yönteminin şematik gösterimi Şekil 2.3.'de gösterilmektedir. Anık (1991)



Şekil 2.3. TIG kaynak yönteminin şematik gösterimi Eryürek (2004)

#### **Avantajları :**

- TIG kaynağı, sürekli bir kaynak dikişi yapmak, aralıklarla kaynak yapmak ve punto kaynağı yapmak için hem elle, hem de otomatik kaynak sistemleri ile uygulanabilir.
- Elektrod tükenmediği için ana metalin ergitilmesiyle veya ilave bir kaynak metali kullanarak kaynak yapılır.
- Her pozisyonda kaynak yapılabilir ve özellikle ince malzemelerin kaynağına çok uygundur.
- Kök paso kaynaklarında yüksek nüfuziyetli ve gözeneksiz kaynaklar verir.
- Isı girdisi kaynak bölgesine konsantre olduğu için iş parçasında deformasyon düşük olur.
- Düzgün kaynak dikişi verir ve kaynak dikişini temizlemeye gerek yoktur.

#### **Dezavantajları :**

- TIG kaynağının metal yığıma hızı diğer ark kaynak yöntemlerine göre düşüktür. Kalın kesitli malzemelerin kaynağında ekonomik bir yöntem değildir. Anık (1991)

## **BÖLÜM 3. KAYNAK PARAMETRELERİ**

### **3.1. Giriş**

Kaynak parametreleri kaynak işleminin ve elde edilen kaynak bağlantısının kalitesini belirleyen en önemli etmenlerdir; bunlar kaynaklanan metal veya alaşım ile kaynak metalinin türü ve kaynak ağız ve parça geometrisi göz önünde bulundurularak saptanırlar. Bu parametrelerin uygun seçimi, kaynakçının çalışma koşullarını kolaylaştırdığı gibi gereken özellikte kaynak bağlantısı elde edebilme olasılığını da artırır.

### **3.2. Elektrik Ark Kaynak Yöntemi**

#### **3.2.1. Kaynak ağız formları**



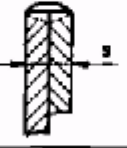

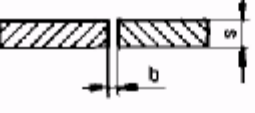

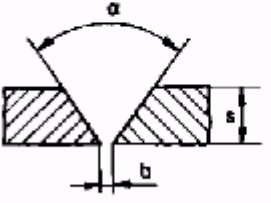

Kaynak tasarımında uygulanan birleştirme türleri beş grupta toplanabilir; bunlar sırası ile:

- Alın birleştirmeleri,
- İç köşe birleştirmeleri
- Dış köşe birleştirmeleri,
- Bindirme birleştirmeleri.

Örtülü elektrod ile yapılan elektrik ark kaynağında ilk dört türe gereken birleştirmeler ile çok sık karşılaşılmasına karşın, kıvrık alın birleştirmeler çok az kullanılır. Kaynakla birleştirilen parçalarda, kaynak bağlantısının kesit boyuna gereken derinlikte işleyebilmesi için, parçanın kaynak ağızı açılarak hazırlanması gereklidir. Kaynak ağızlarının genel biçimleri çeşitli standartlar ile saptanmıştır. Ülkemizde, bu konuda TS 3473 geçerlidir ve bu standarda eritme kaynak yöntemlerinde kullanılması gereken ağız biçimleri etraflıca açıklanmıştır. Anık, (1991)

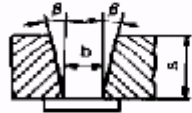







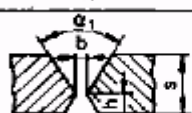

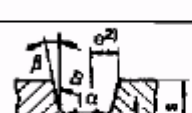

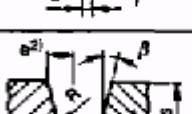

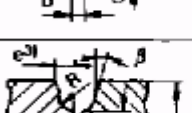

Kaynak ağızlarının hazırlanmasında, parça malzemesinin kalınlığı ile birleştirme türüne göre giyotin makas ile kesme, talaş kaldırarak işleme, oksijenle ile kesme, karbon ark veya özel oluk elektrodu ile oluk açma yöntemlerinden birisi kullanılabilir. Aynı birleştirme türü için çok çeşitli kaynak ağız biçimleri hazırlamak mümkündür. Tablo 3.1. de TS 3473'e göre kaynak ağız biçimleri görülmektedir. Anık, (1991)

Tablo 3.1. TS 3473'e göre kaynak ağız biçimleri

Kaynak ağızı	Sembol	S (mm)	$\alpha, \beta$ (°)	b (mm)	c (mm)	h (mm)	Kaynak yapışması 1)	Kaynak yöntemi 1)
		2 (içinde)'ye kadar	-	-	-	-	Bir taraftan	G,E,KV KM
		4 (içinde)'e kadar	-	-	-	-	Bir taraftan	G,E,KV KM
		4 (içinde)'e kadar	-	=S	-	-	Bir taraftan	G,E,KV
		-	-	0-S				KM
		8 (içinde)'e kadar	-	= $\frac{S}{2}$			iki taraftan	E,KV
		-	-	0- $\frac{S}{2}$				KM
		3-10	= 60	0-3	-	-	Bir taraftan ya da iki taraftan	G
		3-40	= 60					E,KM
			40-60					KM



Tablo 3.1. TS 3473'e göre kaynak ağız biçimlerinin devamı

Kaynak ağızı	Sembol	S (mm)	$\alpha, \beta$ (°)	b (mm)	c (mm)	h (mm)	Kaynak yapılışı 1)	Kaynak yöntemi 1)
		16'dan büyük	5-15	6-10	-	-	Bir tarafтан	E,KM
		10'dan büyük	$\approx 60$ 40-60	0-3	2-4	-	iki tarafтан	E,KV KM
		10'dan büyük	$\approx 60$ 40-60	0-4	2-8	-	iki tarafтан	E,KV KM
		10'dan büyük	$\approx 60$ 40-60	0-3	-	$\frac{s}{2}$	iki tarafтан	E,KV KM
		10'dan büyük	$\alpha_1 \approx 60$ $\alpha_2 \approx 60$ $\alpha_1, 40-60$ $\alpha_2, 40-60$	0-3	-	$\frac{2}{3}$	iki tarafтан	E,KV KM
		12'den büyük	$\alpha \approx 60$ $\beta \approx 8$	0-3	-	$\approx 4$	Bir tarafтан	E,KV,KM
		12'den büyük	$\approx 8$	0-3	$\approx 3$	-	Bir tarafтан ya da iki tarafтан	E,KV,KM
		30'dan büyük	$\approx 8$	0-3	$\approx 3$	$\approx \frac{5}{2}$	iki tarafтан	E,KV,KM

Tablo 3.1. TS 3473'e göre kaynak ağız biçimlerinin devamı

Kaynak ağızı	Sembol	S (mm)	$\alpha, \beta$ (°)	b (mm)	c (mm)	h (mm)	Kaynak yapılışı 1)	Kaynak yöntemi 1)
	✓	30-40	40-60	0-4	-	-	Bir taraftan ya da iki taraftan	E, KV, KM
	U	16'dan büyük	15-30	60-10 = 10	-	-	İki taraftan	E KM
	K	10'dan büyük	40-60	0-3	-	$\frac{3}{2}$	İki taraftan	E, KV, KM
	Y	16'dan büyük	10-20	0-3	$\geq 2$	-	Bir taraftan ya da iki taraftan	E, KM
	R	30'dan büyük	10-20	0-3	$\geq 2$	-	İki taraftan	E, KM

1) Bilgi için gösterilmiştir. Kaynak yöntemlerinde G = Gaz kaynağı; E = Elektrik ark kaynağı; KV = Erimeyen elektrodlu koruyucu gazla kaynağı; KM = Eriyen elektrodlu koruyucu gazla kaynağı göstermektedir.

2)  $e = 4.6 + 0.14.s$  dir.

3)  $e = 5 + 0.1.s$  dir.

4)  $c = 2$  mm. ve  $\beta = 10^\circ$  olduğunda,  $e = 6.4 + 0.2.s$  dir.  $c = 2$  mm. ve  $\beta = 20^\circ$  olduğunda ise,  $e = 4.9 + 0.36.s$  olur.

5)  $c = 2$  mm. ve  $\beta = 10^\circ$  olduğunda,  $e = 6.5 + 0.1.s$  dir.  $c = 2$  mm. ve  $\beta = 20^\circ$  olduğunda ise,  $e = 6.7 + 0.2.s$  olur.

### 3.2.2. Elektrodlar

Kaynak metalinin mekanik özelliklerini gösteren mukavemet değerleri esas metalinkilere eşit veya biraz daha büyük olmalı ve bileşimi ile fiziksel özellikleri de esas metalinkinin aynı veya ona çok yakın olmalıdır. Bu bakımdan uygun elektrod seçimi için esas metalin özelliklerinin bilinmesi gereklidir; esas metalin özelliklerinin bilinmediği hallerde işin durumuna göre mıknatıs testi, alev testi, keski testi, kıvılcım testi gibi kolay yapılabilen atölye testleri ile kimyasal analiz, çekme özelliklerinin saptanması gibi laboratuvar muayenelerine gerek vardır. Tülbentçi (1982)

Bilinen bir esas metal ve tanımlanmış bir kaynak işlemi için elektrod seçiminde şu hususlar göz önünde bulundurulur. Esas Metalin Mukavemet Özellikleri Esas metalin mukavemet özelliklerinin her zaman bilinmesi gereklidir. Özellikle az karbonlu ve az alaşımlı yapı çeliklerinde, elektrod seçimi esas metalin çekme ve akma mukavemetine göre yapılır. Esas Metalin Kimyasal Bileşimi Esas metalin kimyasal bileşiminin bilinmesi zorunludur; az karbonlu ve az alaşımlı yapı çeliklerinde kaynak metali ve esas metalin bileşiminin uyumu önemli bir sorun değildir. Buna karşın alaşımlı çelikler, demir dışı metal ve alaşımları halinde bu konu çok önemlidir. Kaynak metali ve esas metalin kimyasal bileşimi uyumlu olmak zorundadır. Tülbentçi (1982)

#### **-Kaynak pozisyonu**

Her tür elektrod belirli bazı kaynak pozisyonları için uygundur; elektrod seçiminde bu önemli konu da gözden uzak tutulmamalıdır. Anık (1991)

#### **-Kaynak akımı**

Her tür kaynak elektrodu belirtilmiş olan akım türü (doğru akım veya alternatif akım) ve kutuplama (ters kutuplama, doğru kutuplama) ile kullanılmak koşulu ile üretilmiştir. Bu durumlarda, eldeki kaynak akım üretici nedeni ile elektrod seçiminde bu konu büyük etken olarak ortaya çıkmaktadır. Anık (1991)

### **-Kaynak ağız dizaynı**

Elektrod seçiminde, elektrodur) nufuziyeti de önemli bir etmendir. Örneğin; küt alın birleştirmelerde veya kök aralığı bırakılmadan hazırlanan X, V, U kaynak ağızlarında nufuziyeti fazla olan elektrodlar, ince parçaların kaynatılması halinde nufuziyeti az olan türde elektrodlar tercih edilmelidir. Anık (1991)

### **-Kaynaklanan parçanın kalınlığı ve biçimi**

Kalın kesitlerde ve karışık biçimli parçalarda kaynak gerilmeleri nedeni ile özellikle kök pasonun çatlamaması için sünek kaynak metali veren elektrodlar tercih edilmelidir. Anık (1991)

### **-İşletme koşulları**

Aşın yüksek veya düşük sıcaklıktaki ortamlarda çalışan, darbeli yüklere maruz kalan parçalarda kaynak metali, esas metalin bileşiminde ve aynı zamanda da tok olmak zorundadır. Bu gibi hallerde bazik örtülü elektrodlar kullanılmalıdır. Anık (1991)

### **-Çalışma koşulları ve prodüktivite**

Bazı tür elektrodlar yüksek verimlidir; erime güçleri yüksektir dolayısı ile bu tür elektrodların kullanılması halinde kaynak süresi kısalmır ve ekonomi sağlanmış olur. Yalnız bu tür elektrodlar ancak bazı kaynak pozisyonlarında kullanılabilir. Koşulların uygun olduğu hallerde, bu tür elektrodlar tercih edilmelidir. Anık (1991)

### **-Elektrod çapının saptanması**

Uygun elektrod çapının saptanmasında şu hususların göz önüne alınması gereklidir. Anık (1991)

- Kaynak pozisyonu, birleştirme türü ve kaynak ağız geometrisi,
- Kaynak metalinin özelliklerini etkilemeden elektrodun yüklenebileceği en yüksek akım şiddeti,
- Esas metalin kütlesi ve kaynak sonrası ilk özelliklerini koruma konusunda ki davranışı,
- Kaynak esnasında uygulanan ısıya ve bunun oluşturduğu kaynak gerilmelerine konstrüksiyonun davranışı,
- Parçaya kaynak öncesi veya sonrası ısı işlem uygulanabilirliği,

- Kaynaklı bağlantının kalitesi konusunda öngörölmüş özel koşullar,
- Ekonomi.

Elektrodların büyük bir bölümü çok pasolu kaynak için üretilmişlerdir; her çaptaki elektrodun yüklenebileceği bir maksimum akım şiddeti vardır ki bu da elektrodun yanma süresini etkiler. Yüksek akım şiddeti ile yüklenebilen kalın çaplı elektrodlar ile yüksek kaynak hızlarında çalışılır. Dik ve tavan pozisyonlarındaki kaynaklarda küçük çaplı elektrodlar tercih edilir; zira bunların oluşturdukları kaynak banyosu ufak olduğundan yer çekiminden daha az etkilenir ve küçük kaynak banyosu kaynakçı tarafından daha kolay kontrol altında tutulabilir. Kaynak ağız geometrisi de elektrod çapının saptanmasını etkiler, ancak ince çaplı elektrodlar ile V ve X ağızlarında kök pasoya erişilebilir; dolgu pasoları ise daha kalın çaplı elektrod ile çekilir. Elektrod çapı kalınlaştıkça kaynak hızı artırılmalıdır; zira kaynağa uygulanan ısı girdisi artmaktadır. Birim kaynak pasosu boyuna uygulanan ısı girdisi arttıkça parçada kendini çekmeler, çarpılmalar artar; ayrıca çok kalın çaplı elektrodlar büyük kaynak banyosu oluşturduklarından kaynakçının banyoyu kontrol altında tutabilmesi için bu konuda deneyimli olması gereklidir. Öte yandan işin yapım süresini kısaltabilmek için de, birim zamanda yığılan kaynak metali miktarını arttırmak gerekir ki bu da en çok elektrod çapının büyütölməsi ile sağlanabilir. Anık (1991)

### 3.2.3. Kaynak akımı

Kaynak dikişinin karakteristiklerinin belirlenmesinde en önemli faktör kaynak akım şiddetidir. Her çaptaki elektrod için kaynak akım şiddeti belirli bir ayar aralığına sahiptir; bu aralık içinde uygun değerin seçilmesinde elektrod örtü tür ve kalınlığı, kaynak pozisyonu ile kaynak ağız biçimi en önemli etkenlerdir. Anık (1991)

Kaynak akım şiddetinin artması, diğer değişkenler sabit kalmak koşulu ile eriyen metal miktarının, dikişin nufuziyeti ile boyutlarının artmasına neden olur. Tablo 3.2 de Elektrod çaplarına göre en düşük ve en yüksek akım şiddetleri verilmiştir. Eryürek (2007)

Tablo 3.2. Elektrodlar İçin Akım Aralıkları

Tel Çapı (mm)	Akım (A)	
	En düşük	En yüksek
2,50	50	90
3,25	65	130
4,00	110	185
5,00	150	250
6,00	220	350

Akım şiddetinin aşırı yükselmesi sıçramanın çoğalmasına, yanma oluklarının oluşumuna ve düzgün olmayan bir kaynak dikişi eldesine neden olur ve ayrıca dikişte çatlaklar ortaya çıkabilir; akım şiddetinin fazla yükseltilmesi özellikle ince örtülü elektrodalarda, elektrodun ısınıp kızarmasına ve örtünün ark bölgesine gelmeden yanmasına neden olur. Anık (1991)

Kaynak akım şiddetinin azalması da, diğer değişkenler sabit kalmak koşulu ile eriyen metal miktarının ve nufuziyetin azalmasına neden olur. Çok düşük akım şiddetlerinde esas metalde erime oluşmaz ve kaynak metali esas metal ile yeterli bir birleşme yapamaz. Tablo 3.2'de Örtülü elektrodlar için akım şiddeti hesabı görülmektedir. Anık (1991)

Tablo 3.3. Örtülü elektrodlar için akım şiddeti hesabı

İnce örtülü elektrodalarda	$I = d \times (40 - 45) A$
Kalın örtülü elektrodalarda	$I = d \times (45 - 50) A$
Demir tozlu kalın örtülü elektrodalarda	$I = d \times (50 - 60) A$

Yatay oluk kaynak pozisyonlarında verilen sınırların üst değerleri, dik ve tavan pozisyonlarda ise alt değerleri seçilir. Anık (1991)

### 3.2.4. Kaynak hızı

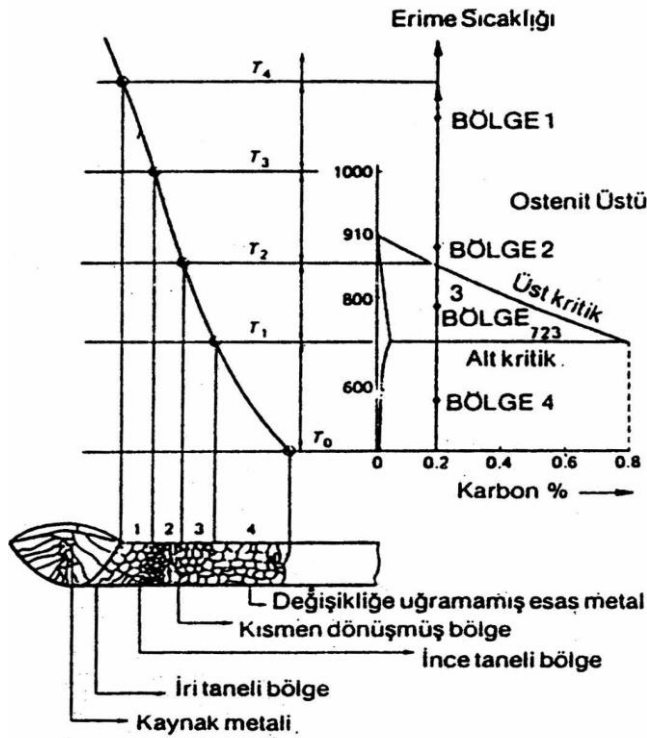
Kaynak hızı da, kaynak dikişinin biçimini ve nufuziyetini etkileyen önemli etkenlerdendir. Örtülü elektrod ile ark kaynağında kaynak hızı kaynakçı tarafından ayarlanır ve sabit tutulur; hızın sabitliği kaynakçının el melekesine bağlıdır. Anık (1991)

Kaynak hızının artması, diğer değişkenler sabit kalmak koşulu ile kaynak dikişinin genişliğinin azalmasına ve optimum bir değere kadar nufuziyetin artmasına neden olur; bu hız değeri aşıldıktan sonra nufuziyet te azalmaya başlar. Kaynak hızının aşırı artması çok küçük kesitli ve kenarları düzgün olmayan bir kaynak dikişinin ortaya çıkmasına neden olur. Kaynak hızının aşırı azalması aşırı derecede kaynak metalinin ağız üzerine, kenarlarda erime yapmadan yığılmasına ve emniyetsiz bir dikiş oluşumuna neden olur. Anık (1991)

### 3.2.5. Isı dağılımı

Kaynak işleminde, kaynak edilecek malzemelere verilecek ısı enerjisi, metalin ergimesin sağlayarak ısı geçişi konularına göre metal sac içerisinde yayılır. Kaynak işleminde, ısının etkisi altındaki bölgenin özelliklerini önceden tahmin edebilmek ve uygulanan sıcaklığın çelik malzemenin özelliklerine etkilerini inceleyebilmek açısından kaynak esnasında parçalara uygulanan ısı çevrim (ısınma ve soğuma) bilinmelidir. Benli (2004)

Malzemelere uygulanan ısı işlem çevrimlerinin, malzeme özelliklerinde meydana getireceği değişiklikleri saptaya bilmek için; ısınma hızı, erişilen maksimum sıcaklık, maksimum sıcaklıkta kalma süresi ve soğuma hızı kavramlarının bilinmesi gereklidir. Benli (2004) Tablo 3.1 de Kaynak esnasında ısının tesiri altındaki bölge görülmektedir.



Şekil 3.1. Kaynak esnasında ısının tesiri altındaki bölge

Normal endüstriyel ısıl çevrimlerden farklı olarak, kaynak işleminde malzemelere uygulanan ısıl çevrimi kontrol altında tutabilmek çok zordur. Kaynak işleminde ısınma hızı ve maksimum sıcaklıkta kalma süresinin neticeye tesiri çok azdır. Isıl çevrimde esas dikkate alınması gereken faktörler erişilen maksimum sıcaklıkla ile soğuma hızıdır. Benli (2004)

### 3.2.5. Ark boyu

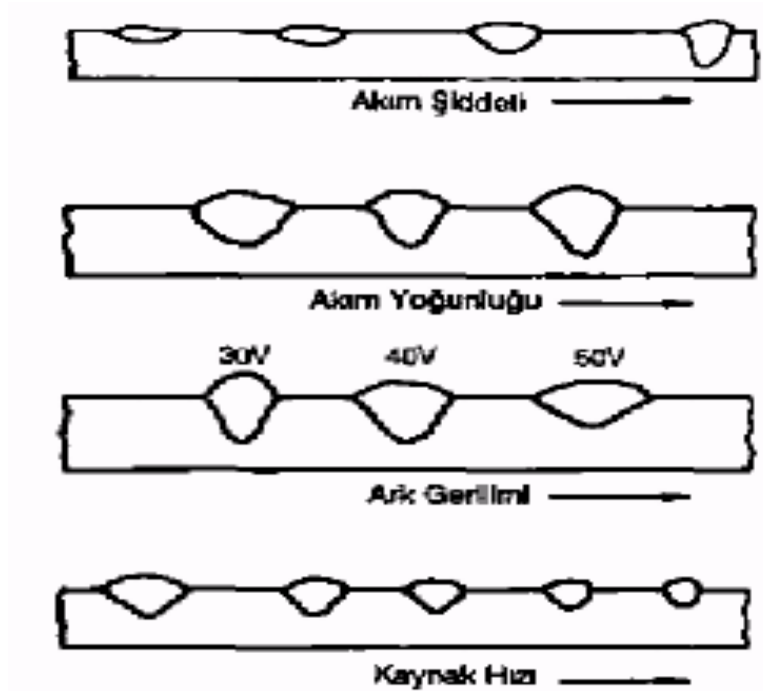
Ark boyu kaynak banyosunun yüzeyi ile elektrod telinin ucu arasındaki uzaklıktır ve ark gerilimini belirleyen faktördür, ark boyu arttıkça gerilimde artar. Ark boyu, dolayısıyla da ark gerilimi, örtülü elektrod ile ark kaynağında dikişin biçim ve kalitesi bakımından en önemli etmenlerden bir tanesidir; bu kaynak yönteminde ark boyu kaynakçı tarafından ayarlandığından ve sabit tutulduğundan bu kaynakçının el becerisi çok önemlidir. Anık (1991)

Ark boyunun uzaması, yani ark geriliminin artması geniş ve yaygın bir kaynak dikişinin ortaya çıkmasına neden olur ve ark üfleme tehlikesi artar; ark boyunun



daha fazla artması düzgün olmayan, çok az nüfuziyetli kaynak dikişine ve aşırı sıçramaya neden olur. Ayrıca kaynak banyosu örtünün yanması sonucu oluşan koruyucu gaz tarafından hanın olumsuz etkilerinden korunmaz ve ark enerjisinin büyük bir kısmı etrafa yayılır. Anık (1991)

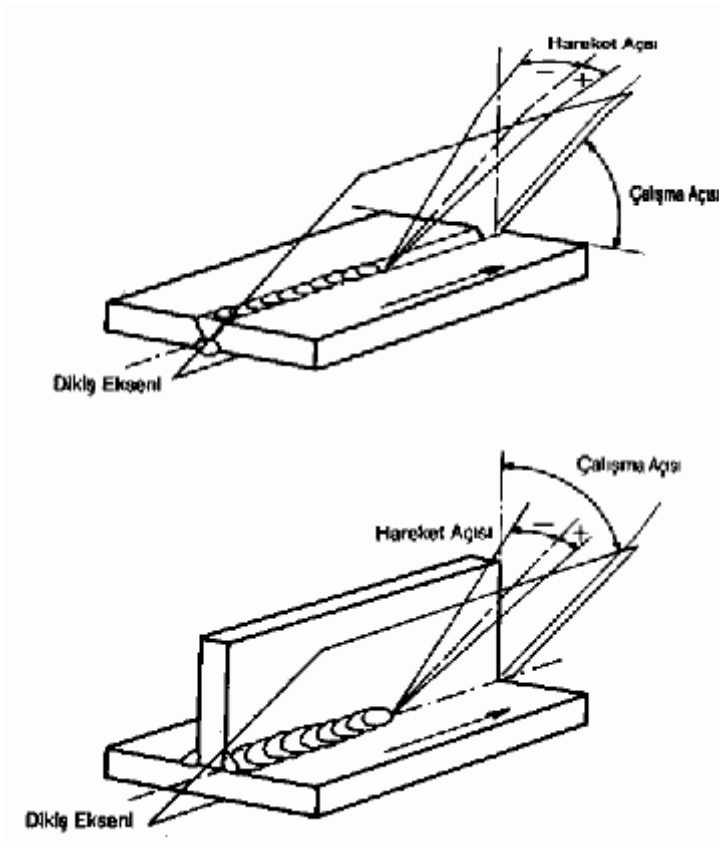
Normal olarak bazik karakterli elektrodlar hariç, bütün örtülü elektrod türlerinde ark boyu, elektrod çapı kadar, bazik elektrodlarda ise tel çapının yarısı kadar tutulmalıdır. Anık (1991) Şekil 3.2 de Akım şiddeti, Akım yoğunluğu, ark boyu ve kaynak hızının dikiş biçimine etkileri görülmektedir.



Şekil 3.2. Akım şiddeti, Akım yoğunluğu, ark boyu ve kaynak hızının dikiş biçimine etkileri

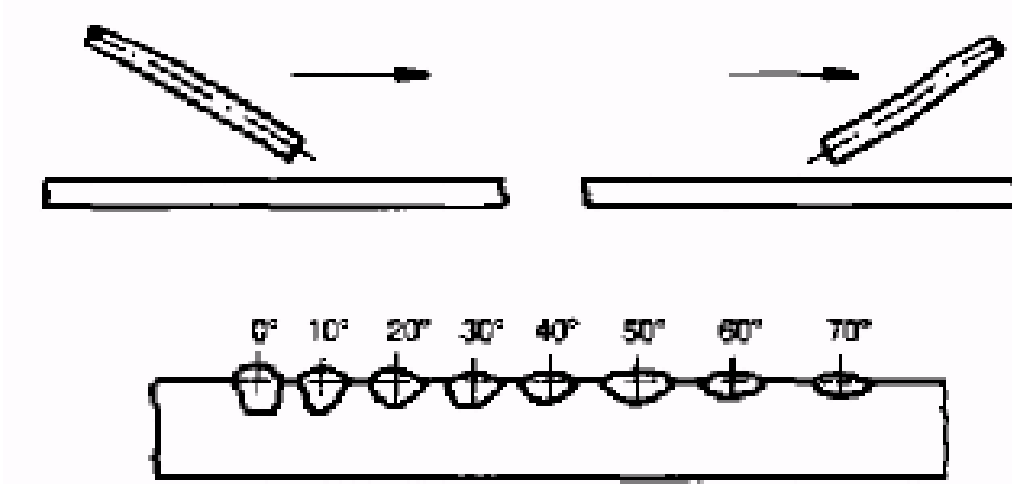
### 3.2.5. İlerleme ve salınım açısı

Kaynak elektrodunun iş parçasına nazaran konumu, kaynak dikişinin biçimini etkileyen faktörlerden bir tanesidir. Şekil 3.3 de Alın ve iç köşe birleştirmelerde elektrodun çalışma ve hareket açıları görülmektedir.



Şekil 3.3. de Alın ve iç köşe birleştirmelerde elektrodun çalışma ve hareket açıları görülmektedir.

Kaynak elektrodunun konumunu, kaynak dikişini referans olarak belirlemek konusunda kıta Avrupa'sında bir kural veya alışkanlık yoktur, buna karşın Amerikan Literatüründe bu konuya yer verilmektedir. Bu konumlamaya göre, kaynak doğrultusuna dik düzleme; çalışma düzlemi ve bu düzlem üzerinde elektrodun iz düşümü ile kaynak yapılan parçanın üst yüzü arasındaki açıya çalışma açısı denir. Kaynak doğrultusu ve elektrodan geçen düzleme de hareket düzlemi adı verilir. Elektrodun bu düzlemde bulunan ve kaynak doğrultusuna dik olan doğru ile yaptığı açı da hareket açısı olarak tanımlanır ve elektrodun ucu kaynak yönünde olursa bu açı negatif aksi yönde olursa pozitif olarak gösterilir. Şekil 3.4 de Elektrodun hareket açısının dikiş şekline etkisi görülmektedir. Anık (1991)



Şekil 3.4. Elektrodun hareket açısının dikiş şekline etkisi

Elektrodun iş parçasına nazaran açısal konumu kaynak dikişinin kalitesini büyük çapta etkiler; cüruf kalıntıları, tek taraflı yanma oluğu, dikişin düzgünlüğü ve asimetrikliği hep yanlış açıların neden olduğu kaynak hatalarıdır. Hareket açısının pozitif yönde büyümesi dikiş yüksekliğinin artmasına ve nufuziyetin azalmasına neden olur. Anık (1991)

Çalışma açısının küçülmesi tek yanda yanma oluğunun oluşmasına ve kök pasolarda cüruf kalıntısına ve soğuk kalmış bölgelerin ortaya çıkmasına neden olur. Anık (1991)

Özellikle bazik karakterli örtülü elektrodlar halinde, açıların önemi büyüktür, burada çalışma açısı  $90^\circ$  olmalı, hareket açısı da 5 dereceyi aşmamalıdır. Tablo 3.4 Örtülü Elektrod ile ark kaynağında uygun elektrod açıları görülmektedir. Anık (1991)

Tablo 3.4. Örtülü Elektrod ile ark kaynağında uygun elektrod açıları

Birleştirme türü	Kaynak pozisyonu	Çalışma açısı (Derece)	Hareket Açısı (Derece)
Alın	Yatay oluk	90°	5-20°
Alın	Korniş	80-100°	5-20°
Alın	Dik ( Aşağıdan yukarı)	90°	(-5) – (-10°)
Alın	Tavan	90°	5-20°
İç köşe	Yatay oluk	45°	5-20°
İç köşe	Dik (Aşağıdan yukarı)	35-55°	(-5) – (-20°)
İç köşe	Tavan	30-45°	5-20°

### 3.3. MİG/MAG Kaynak Yöntemi İçin Parametreler

#### 3.3.1. Kaynak ağız formları

Sprey tipi kaynakların çoğu oluk ve yatay pozisyonlarda gerçekleştirilir. Buna karşılık, düşük enerji seviyelerindeki darbeli ve kısa devre iletimli kaynaklar tüm pozisyonlarda kullanılabilir. Oluk pozisyonunda spreynin metal iletimi ile gerçekleştirilen iç köşe kaynakları, yatay pozisyonda gerçekleştirilen benzer birleştirmelere nazaran daha üniform olup, farklı ayak uzunluklarına ve içbükey dikiş profiline sahip olmaları daha düşük olasılıkta ve yanma oluşuna eğilimleri daha azdır. Düşey ve tavan pozisyonlarında yerçekiminin kaynak metali üzerindeki çekme etkisini yenebilmek için küçük çaplı elektrodlarla ya kısa devre metal iletimli veya darbeli spreynin iletimli kaynak yapmak gerekir. 1,1 mm. ve daha küçük çaplı elektrodlar zor pozisyonların kaynağı için tercih edilir. Düşük ısı girdisinin kullanılması zor pozisyonların kaynağı için çok uygundur. Bu şekilde erimiş banyonun hızla katılaşması sağlanır. Düşey pozisyondaki ince saçların kaynağında genellikle yukarıdan aşağıya kaynak tercih edilmelidir. Eryürek (2004)

Kaynak oluk pozisyonunda yapılırken, kaynak ekseninin yatay düzleme göre eğimli hale getirilmesi dikiş şeklini, nüfuziyeti ve kaynak hızını etkiler. Oluk pozisyonundaki çevresel kaynaklarda işparçası kaynak torcunun altında döner ve bu eğim, kaynak torcunu tepe ölü merkezden itibaren iki taraftan birine doğru hareket

ettirmek suretiyle elde edilir. Doğrusal bağlantılarda, parça oluk pozisyonunda iken aşırı dikiş taşması oluşturabilecek kaynak şartlarında, kaynak eksenini yatayla  $15^\circ$  açı yapacak şekilde yerleştirerek ve aşağı doğru kaynak yaparak dikiş taşması azaltılabilir. Aynı zamanda, aşağı doğru kaynak yaparken kaynak hızı da artırılabilir. Bu şartlarda nufuziyet daha azdır ve bu, metal saçların kaynağında yararlı bir husustur. Eryürek (2004)

Aşağı doğru kaynak Şekil-3.5. a'da görüldüğü gibi, dikiş profilini ve nufuziyeti etkiler. Bu pozisyonda kaynak banyosu elektroda doğru akma eğilimi gösterir ve özellikle yüzeyde esas metalin ön tavlmasına neden olur. Bu ise düzensiz bir erime bölgesi oluşturur. Eğim açısı arttıkça kaynak dikişinin orta yüzeyi çöker, nufuziyet azalır ve dikiş genişliği artar. Aşağı doğru kaynak tekniği, temizleme etkisinin kaybolması ve yetersiz gaz koruması nedeniyle alüminyumun kaynağı için tavsiye edilmez. Eryürek (2004)

Yukarı doğru kaynak tekniği ise Şekil-3.5.b'de görüldüğü gibi, dikiş profilini ve dikiş yüzeyini etkiler. Yerçekimi kuvveti kaynak banyosunun geriye doğru akmasına ve elektrodun arkasında kalmasına neden olur. Kaynağın kenarları merkeze doğru akan metal kaybına maruz kalır. Eğim açısı artarsa dikiş taşması ve nufuziyet artar, dikiş genişliği azalır. Etkiler aşağı doğru kaynakta rastlananların tamamen tersidir. Daha yüksek kaynak akımları kullanıldığında, uygulanabilecek en büyük eğim açısının değeri de azalır.



Şekil 3.5. İş parçası eğiminin kaynak dikişine şekline etkisi

Tablo 3.5. MİG/MAG Kaynağında kullanılan kaynak ağızı şekilleri Tülbentçi (1990)

s mm			b mm	c mm	$\alpha$
1...4			0...0,25 s	—	—
5...10			<1,0	—	—
5...12			<1,0	2,5	90°
5...20			<1,0	2,5	60°
>10			<1,0	2,5	90°
>10			<1,0	3	60°
>6			5...10	2	40°
>18			5...7	5	70°
>30			—	—	90°

Kaynak ağız şekil seçimini etkileyen faktörlerden bir tanesi de kaynak pozisyonudur. Örneğin oluk pozisyonunda ağız açısının dar tutulabilmesine karşın dik pozisyonda daha geniş ağız açısına gerek vardır. Dik ve tavan pozisyonlarında akım şiddetinin alt sınırları kullanıldığından kök aralığı daha büyük ve kökte alın yüksekliği daha az olmak zorundadır. Ayrıca korniş kaynaklarında, asimetrik V ağızı banyonun akmasına mani olduğundan simetrik V ağızına tercih edilir. Kaynak ağızı dizaynında en önemli etkenlerden bir tanesi de parça kalınlığıdır. MIG-MAG yönteminde iki taraftan kaynak yapmanın mümkün olduğu hallerde, uygun kök aralığı bırakmak ve akım şiddetini üst sınırlarda seçmek koşulu ile 10 mm kalınlığındaki parçalar dahi küt alın ağız ile kaynatılabilirler. Kalın parçalar için V ve X ağızları kullanılır, parça kalınlığının daha da artması hazırlanması zor olan U ağızını daha ekonomik hale getirir, zira kalın parça halinde (15 mm'den kalın) daha az kaynak metali gerektirmesinden ötürü U ağızı daha ekonomik olmaktadır. Kaynak ağız dizaynını etkileyen diğer önemli bir husus da kaynatılan malzemenin türüdür. Örneğin alüminyumun ısı iletkenliği çok yüksek ve erime sıcaklığı düşüktür, buna karşın paslanmaz çeliğin ısı iletkenliği daha düşüktür, bu bakımdan alüminyum halinde küt alın ağızı ile kaynatılabilecek azami parça kalınlığı paslanmaz çelikten daha küçük olacaktır, zira ısı kaynak bölgesini hızla terk etmekte ve kaynak banyosunun derinleşmesine olanak sağlamaktadır. Nikel halinde, kaynak banyosunun tam akıcı hale gelmemesi nedeni ile uygun bir erimeyi sağlamak için torç manipülasyonuna olanak verebilmek için daha geniş bir ağız açısına gerek vardır. Tek taraftan yapılan kaynak dikişlerinde, kök nufuziyetini kontrol altında tutmak ve akmayı önlemek için zaman zaman çeşitli altlık türleri de kullanılır. Yukarıda belirtilmiş olan bu önemli faktörler de göz önüne alınarak dizayn edilen kaynak ağızlarının hazırlanmasına gereken itina gösterilmelidir. Uygun olmayan bir dizayn ve kötü hazırlanmış kaynak ağızları, hatalı dikişlerin ortaya çıkmasına neden olur. MIG-MAG kaynağı için önerilen kaynak ağızı formları Tablo 3.5'de gösterilmiştir. Tülbentçi (1990)

### 3.3.2. Teller ( Elektrodlar)

Birleştirme işlerinde elektrodun bileşimi esas metalin bileşimine benzerdir. Kaynak arkında oluşan kayıpları karşılamak veya kaynak banyosuna oksit giderici maddeler sağlamak amacıyla elektrodun bileşimi hafif bir şekilde değiştirilebilir. Bazı hallerde bu, esas metalin bileşiminden çok az bir değişikliğe neden olur. Ancak bazı uygulamalarda, başarılı bir kaynak karakteristiği ve kaynak metali özellikleri elde etmek için esas metalden farklı kimyasal bileşime sahip elektrod gerekebilir. Örneğin, manganez bronzunun gazaltı kaynağı için en başarılı elektrod ya alüminyum bronzu veya bakırmanganez-nikel-alüminyum alaşımı elektroddur. Yüksek mukavemetli alüminyum ve çelik alaşımları için en uygun elektrodlar bileşim olarak kullanıldığı esas metalden farklıdır. Bunun nedenlerinden biri, örneğin, 6061 alüminyum alaşımlarının bileşimlerinin kaynak dolgu metali olarak kullanılmaya müsait olmamasıdır. Sonuç olarak, elektrod alaşımları arzu edilen kaynak metali özellikleri sağlayacak ve kabul edilebilir çalışma karakteristiğine sahip olacak şekilde tasarlanırlar. Eryürek (2004)

Gazaltı kaynağında kullanılan elektrodlar tozaltı ark veya özlü elektrodla ark kaynağında kullanılanlara nazaran çok daha küçük çapa sahiptirler. Genelde elektrod çapları 0,8 ila 1,6 mm. arasındadır. Ancak 0,5 mm'ye kadar ince ve 3,2 mm.'ye kadar kalın çaplı elektrodlar kullanılabilir. Elektrod çapının küçük olması ve akım şiddetinin göreceli olarak yüksek olması elektrod besleme hızlarının yüksek olmasını gerektirir. Besleme hızları magnezyum hariç, çoğu metaller için 40 ila 340 mm/s arasında değişir. Magnezyumda ise, üst değer 590 mm/s'ye kadar çıkabilir. Eryürek (2004)

Çaplarının küçük olması nedeniyle elektrodlar yüksek yüzey / hacim oranına sahiptir. Elektrod yüzeyinde kalan herhangi bir çekme bileşimi ve yağlayıcısı kaynak metalinin özelliklerini kötü bir şekilde etkileyebilir. Bu yabancı maddeler alüminyum ve çelik alaşımlarında kaynak metali gözenekliliğine ve yüksek mukavemetli çeliklerde de kaynak metalinde veya ısı tesiri altındaki bölgede çatlamaya neden olurlar. Sonuç olarak elektrodlar yüzeylerine kirleticiler yerleşemeyecek kadar yüksek kalitede yüzeye sahip olacak şekilde üretilmektedir. Eryürek (2004)



### 3.3.3. Gazlar

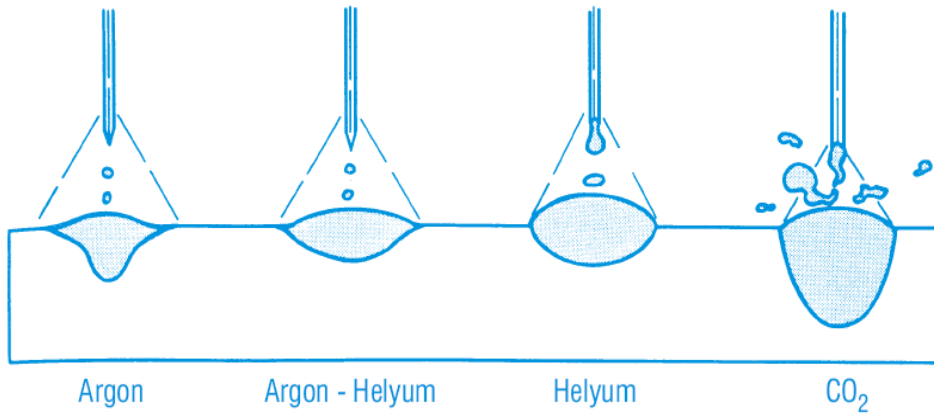
Metallerin çoğu oksit oluşturmak üzere oksijenle birleşmeye kuvvetli bir eğilim ve metal nitritleri oluşturulmak üzere azotla birleşmeye daha düşük ölçüde bir eğilim gösterirler. Oksijen erimiş çelikteki karbonla, karbon monoksit gazı oluşturmak üzere reaksiyona girer. Bu reaksiyonların ürünlerin tümü aşağıdaki kaynak hatalarının oluşumuna neden olur: Eryürek (2004)

- Oksitler nedeniyle erime hataları
- Gözenek, oksit ve nitritler nedeniyle mukavemet kaybı
- Oksitler ve nitritler nedeniyle kaynak metalinin gevrekleşmesi

Atmosfer yaklaşık % 80 azot, % 20 oksijenden oluştuğu için kaynak sırasında bu reaksiyonların ürünleri kolaylıkla oluşur. Koruyucu gazın temel görevi çevredeki atmosferin erimiş kaynak banyosuyla temasını engellemektir. Yani koruyucu gaz burada örtülü elektrodlardaki örtünün görevini görür. Esas görevi dışında koruyucu gazın kaynak işlemine ve sonuç da elde edilen kaynak dikişine aşağıda belirtilen hususlar yoluyla önemli etkileri vardır: Eryürek (2004)

- Arkın karakteristiği
- Metal transferin şekli
- Nufuziyet ve kaynak dikişinin profili
- Kaynak hızı
- Yanma oluğu oluşma eğilimi
- Temizleme etkisi
- Kaynak metalinin mekanik özellikleri

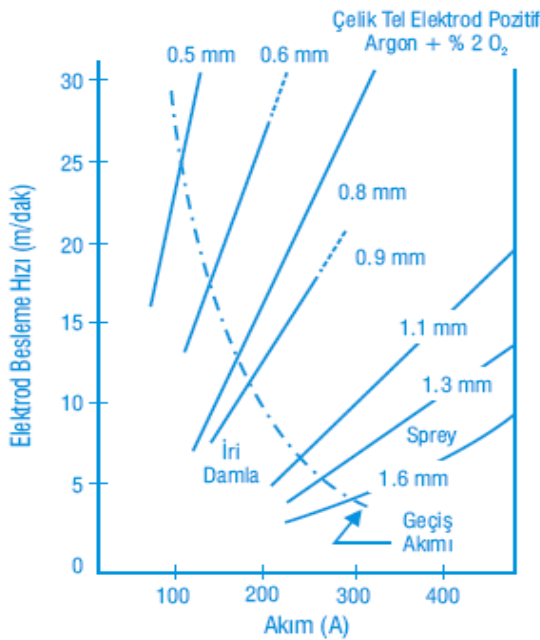
MİG/MAG kaynağında kullanılan çeşitli koruyucu gazların kaynak dikiş şekline ve nufuziyete etkisi Şekil 3.6, da görülmektedir. Eryürek (2004)



Şekil 3.6. Çeşitli Koruyucu gazların dikişin şekline ve nufuziyete etkisi Eryürek (2004)

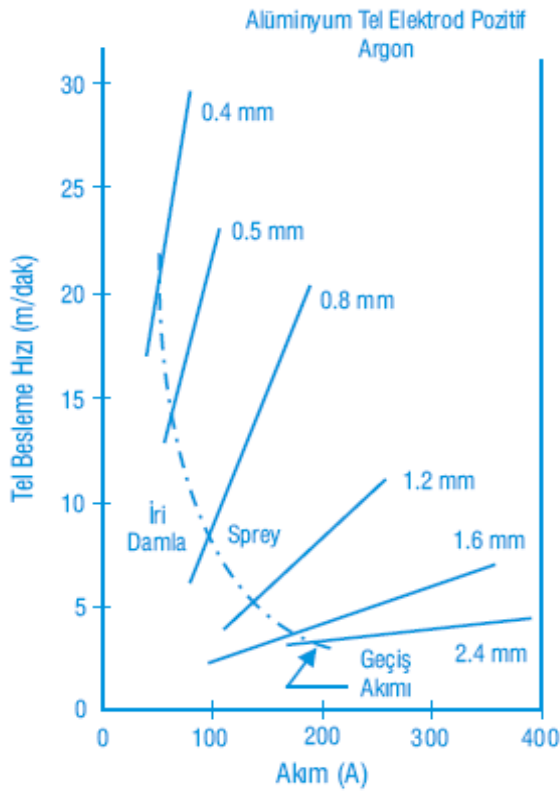
### 3.3.4. Kaynak akımı

Diğer tüm değişkenler sabit tutulduğunda kaynak akımının şiddeti elektrod besleme hızı veya erime hızı ile doğrusal olmayan bir şekilde değişir. Elektrod besleme hızı değiştirildiğinde sabit gerilimli güç ünitesi kullanılıyorsa kaynak akımı da benzer şekilde değişir. Kaynak akımı ile elektrod besleme hızı arasındaki bu ilişki çelik elektrodlar için Şekil 3.7. de gösterilmiştir. Eryürek (2004)



Şekil 3.7. Alaşımız Çelik Elektrodlar için Kaynak Akımları ile Elektrod Besleme Hızları arasındaki ilişki Eryürek (2004)

Her bir elektrod çapı için düşük akım değerlerinde eğriler yaklaşık olarak doğrusaldır. Ancak daha yüksek akım değerli üzerinde özellikle küçük elektrod çaplarında eğriler doğrusallıktan sapar ve kaynak akımı arttıkça bu sapma daha da artar. Bu değişim serbest elektrod uzunluğunda oluşan direnç ısıtmasına bağlanmaktadır. Tel besleme hızı ile kaynak akımı arasındaki bu ilişki elektrodun kimyasal bileşiminden de etkilenir. Bu etki Şekil 3.8-9 ve 10 da sırasıyla alaşımsız çelik, alüminyum ve paslanmaz çelik elektrodlar için verilen eğriler kıyaslanarak görülebilir. Eryürek (2004)

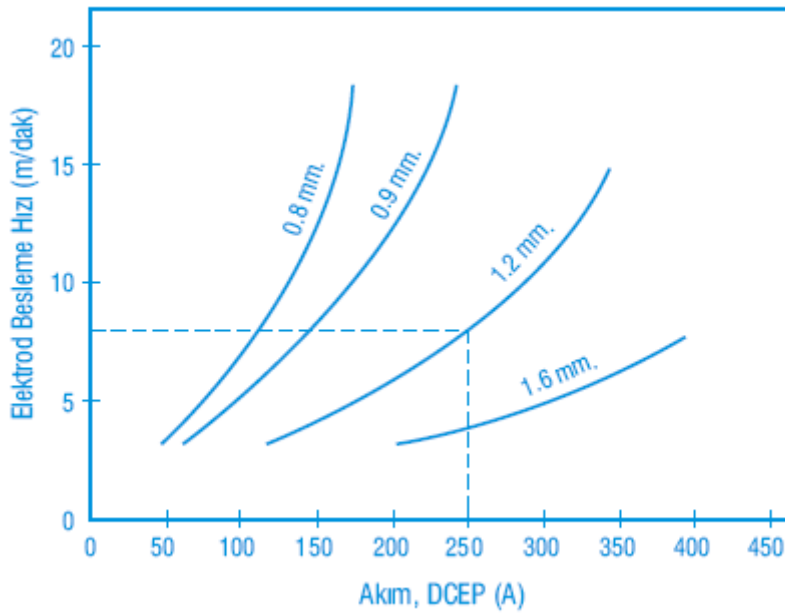


Şekil 3.8. ER4043 Alüminyum Elektrodlar için Kaynak Akımları ile Elektrod Besleme Hızları arasındaki ilişki Eryürek (2004)

Eğrilerin farkı konumlarda ve eğimlerde olmasının nedeni metallerin erime sıcaklıklarının ve elektrik dirençlerinin farklılığından kaynaklanmaktadır. Serbest elektrod uzunluğu da bu ilişkiyi etkiler. Diğer tüm değişkenler sabitken kaynak akımında (elektrod besleme hızında) artma aşağıdaki sonuçları doğurur: Eryürek (2004)

- Kaynak nufuziyet derinliğinde ve genişliğinde artma
- Yığma hızında artma
- Kaynak dikişinin boyutlarında artma

Darbeli sprej kaynağında sprej tipi metal iletimini sağlamak için ortalama şiddeti "geçiş" akımından daha düşük değerlerde kaynak akımına neden olan akım darbeleri kullanılır. Ark kuvveti ve yığma hızı akıma kuvvetle olarak bağlı olduğundan "geçiş" akımı üzerindeki akım değerlerinde düşey ve tavan pozisyonlarında çalışma, ark kuvvetlerini kontrol edilemez hale getirir. Darbe akımı ile ortalama akımı düşürülerek hem ark kuvvetleri ve hem de yığma hızı azaltılır ve böylece kaynağın tüm pozisyonlarda ve ince saçlarda yapılması mümkün olur. Dolu elektrodalarda, darbeli akım kullanmanın diğer bir avantajı daha büyük çapta elektrodaların (yani 1,6 mm.) kullanılabilmesidir. Bu durumda yığma hızları ince elektrodalardan pek farklı olmamakla birlikte, yığılan birim metal başına maliyetin daha düşük olması bir kazanç sağlar. Azalan sıçrama kayıpları nedeniyle yığma veriminde de bir artış oluşur. Özlü elektrodalarda darbeli akım, dolu elektrodalara kıyasla, serbest elektrod uzunluğu ve gerilimdeki değişmelerden daha az etkilenen bir ark oluşturur. Bu nedenle işlem kaynakçının kaynak sırasında oluşturduğu değişmelere daha toleranslıdır. Darbeli akım, sıçramanın zaten düşük olduğu bir operasyonda sıçramayı daha da düşük bir düzeye indirir. Eryürek (2004)



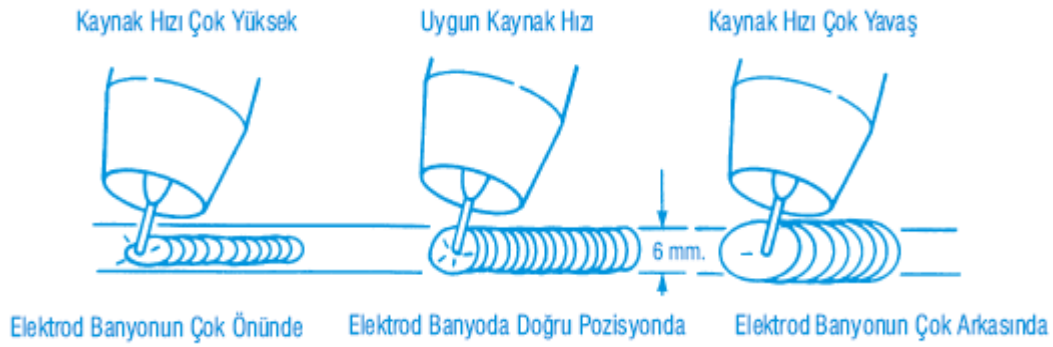
Şekil 3.9. 300 Serisi Paslanmaz Çelik Elektrodlar için Kaynak Akımları ile Elektrod Besleme Hızları arasındaki ilişki Eryürek (2004)

### 3.3.5. Kaynak hızı

Kaynak hızı, arkın kaynak birleştirmesi boyunca ilerleme hızıdır. Diğer bütün şartlar sabit tutulduğunda, orta değerdeki kaynak hızlarında kaynak nüfuziyeti en fazladır. Şekil 3.10 da Kaynak hızının Kaynak dikişine etkisi görülmektedir. Kaynak hızı azaldığında, birim kaynak uzunluğunda yığılan kaynak metali miktarı artar. Bu ilişki aşağıdaki eşitlikle verilebilir: (Eryürek, 2004)

$$G \text{ (kg/m)} = 7,8 \cdot 10^{-4} \cdot h \cdot g \cdot d^2 \cdot (V_e / V_k) \quad (3.1)$$

Burada G bir metre kaynak dikişi başına kg olarak yığılan kaynak metali, h sıçrama kayıplarını göz önüne alan yığıma verimi, g (gr/cm<sup>3</sup>) elektrod malzemesinin yoğunluğu, d (mm) elektrod çapı, V<sub>e</sub> (m/dak) elektrod besleme hızı, V<sub>k</sub> (m/dak) kaynak hızıdır.



Şekil 3.10. Kaynak Hızının Kaynak Dikişine Etkisi Eryürek (2004)

Çok düşük kaynak hızlarında, kaynak arkı esas metal yerine erimiş kaynak banyosu üzerinde yanar ve bu nedenle nufuziyet azalır. Bu sırada geniş bir kaynak dikişi de oluşur. Kaynak hızı arttırılırsa ark esas metale daha doğrudan etki ettiğinden, birim kaynak dikişi uzunluğu başına, arktan esas metale iletilen ısı enerjisi önce artar. Kaynak hızının daha da arttırılması, birim kaynak dikişi uzunluğu başına, esas metale daha az ısı enerjisi verilmesi sonucunu doğurur. Bu nedenle, artan kaynak hızıyla esas metalin erimesi önce artar ve daha sonra azalır. Kaynak hızı daha da arttırılacak olursa, ark tarafından eritilen yolu doldurmaya yetmeyecek miktarda dolgu metali yığılması olduğundan kaynak dikişinin kenarların dayanma olukları meydana gelir. Eryürek (2004)

### 3.3.6. Isı dağılımı

Enerji, kütle transferi ve ısı transferi arasındaki ilişkiyi temel alan ileri bir ark modelini geliştirmek için ark fiziğini iyi anlamak gerekir. Gaz altı kaynağında, enerji ve ısı elektrod damlası içinde depolanır ve plazma yardımıyla çalışma alanına transfer edilir. Elektrik enerjisi, anot ve katod bölgelerindeki ve plazma kolonu içindeki ısıyı üreten ark enerjisini sağlar. Kaynak işlemi sırasında önemli fiziksel olaylar oluşur: kontak ucunda ısı iletim transferi, elektrod boyunca Joule ısıtması, elektrod ucunda erime ve plazma ile arasında karşılıklı etkileşim, radyasyon ve buharlaşma kayıpları, koruma gazı ile metal damlası ara yüzünde ısı iletim transferi. Bingül (2001)

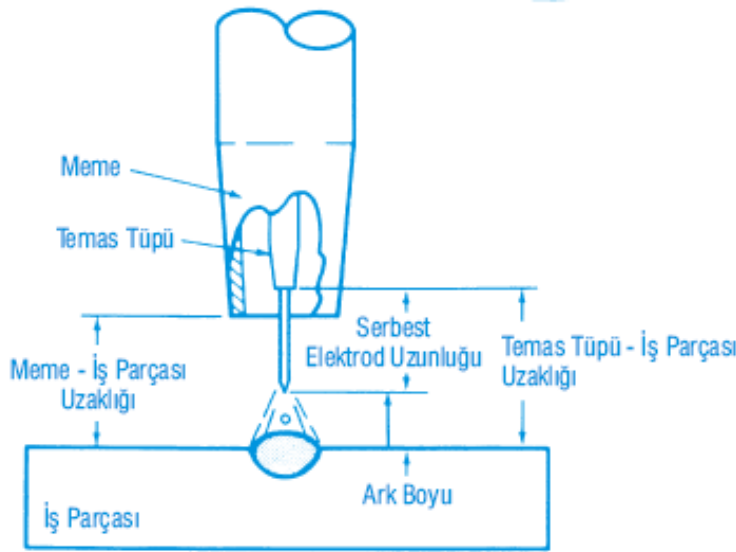
Anod bölgesindeki termik ve elektriksel karşılıklı etkileşimlerden oluşan enerjiden elektrod erimesi meydana gelir. Bu etkileşimler dolgu malzemesi olarak kullanılan metalin termodinamik ve elektriksel özellikleriyle doğrudan (ısıl geçirgenlik, yoğunluk, belirli ısı ve öz direnç) ilişkilidir. Başka bir deyişle enerji akışının değişimi elektrod sıcaklığı değişimine sebep olur ve bu değişimler dolgu metalinin termik ve elektriksel parametrelerinde değişimler üretir. Bingül (2001)

Sıcaklık değişimlerinin etkisini karşılamak için iyonlar elektronlar ve nötr atomlar arasında yeterli çarpışma oluşursa gaz altı kaynağı ark bileşenleri (anod katod ve plazma kolonu) yerel termodinamiksel dengeye (YTD) ulaşır. Bu yüzden bir bölge termodinamiksel denge içindeyse yüksek çarpışma oranına sahip olmalıdır. Yerel denge kabulünün kullanılmasıyla taşıma işlemlerindeki (transport processes) ısı iletimi Fourier kanunu gibi doğrusal kanunlarla açıklanabilir. Fakat herbir küçük kütle elemanı veya YTD'nin durum hacimsel elemanı içinde sıcaklık değişimi yeterince küçük değilse bu yerel denge kabulü kullanılamaz. Bingül (2001)

### 3.3.7. Ark boyu

Ark gerilimi ve ark boyu genellikle birbirlerinin yerine kullanılan terimlerdir. Ancak bunların aralarında bir ilişki olmakla birlikte farklı şeyler olduklarını belirtmekte yarar vardır. Gazaltı kaynağında ark boyu dikkatle kontrol edilmesi gereken bir kritik değişkendir. Örneğin, argon koruması altındaki sprej ark tipinde çok kısa ark, zaman zaman kısa devreye maruz kalır. Bu kısa devreler basınç değişimleri oluşturarak ark sütununun içine havanın pompalanmasına neden olur. Bu olay havadan absorbe edilen oksijen ve azot nedeniyle gevrekliğe ve gözenekliliğe neden olur. Eğer ark çok uzun ise gezinme eğilimi gösterir ve hem nüfuziyeti hem de dikiş profilini etkiler. Uzun bir ark aynı zamanda gaz korumasını da bozar. Karbondioksit korumalı gömülü ark halinde, uzun bir ark hem gözenekliliğe hem de aşırı sıçramaya neden olur. Ark çok kısa ise, elektrodun ucu kaynak banyosuyla kısa devre yaparak kararsızlığa neden olur. Eryürek (2004)

Ark boyu bağımsız bir değişkendir. Ancak ark gerilimi hem diğer birçok değişkenlere hem de ark boyuna bağlı olarak değişir. Ark geriliminin ark boyu dışında bağlı olduğu değişkenler şunlardır; elektrodun bileşimi ve çapı, koruyucu gazın cinsi, kaynak tekniği ve kaynak kablosunun uzunluğu. Ark gerilimi, serbest elektrod uzunluğu boyunca gerilim düşümünü de içermekle birlikte fiziksel ark boyunu elektriksel bir terimle yaklaşık olarak belirtmede ve ayarlama da kullanılan bir vasıtasıdır (Şekil 3.11). Eryürek (2004)



Şekil 3.11. Gazaltı Kaynağında Kullanılan Terimlerin Açıklanması Eryürek (2004)

Diğer bütün değişkenler sabit tutulduğunda, ark gerilimi doğrudan ark boyuna bağlıdır. Üzerinde durulan ve kontrol edilmesi gereken değişken ark boyu olmakla birlikte, ark geriliminin kontrol edilmesi çok daha kolaydır. Bu nedenle ve kaynak işlemlerinde ark geriliminin belirtilmesi doğal bir gereklilik olduğundan ark uzunluğunun ayarı, ark gerilimi kontrol edilerek yapılır. Ark gerilimi ayarları malzemeye, koruyucu gaza ve damla iletim tipine bağlı olarak değişir. En uygun ark karakteristiği ve en iyi dikiş görüntüsü oluşturan ark gerilimi ayarı için deneme pasoları çekmek gereklidir. En uygun ark gerilimi metal kalınlığı, bağlantı tipi, kaynak pozisyonu, tel çapı, koruyucu gazın bileşimi ve kaynağın tipi gibi çeşitli faktörlere bağlı olduğundan, bu tür denemeler gereklidir. Ark geriliminin bu en uygun değerden daha yüksek olması, kaynak dikişinin düzleşmesine ve erime bölgesinin genişliğinin artmasına neden olur. Aşırı yükseklikteki ark gerilimleri ise,



gözenekliliğe, sıçramaya ve anma oluşuna neden olur. Gerilimin azalması ise, daha dar ve daha yüksek kaynak dikişine ve daha derin nufuziyete neden olur. Aşırı derecede düşük gerilim ise, elektrodun iş parçasına yapışmasına neden olur. Eryürek (2004)

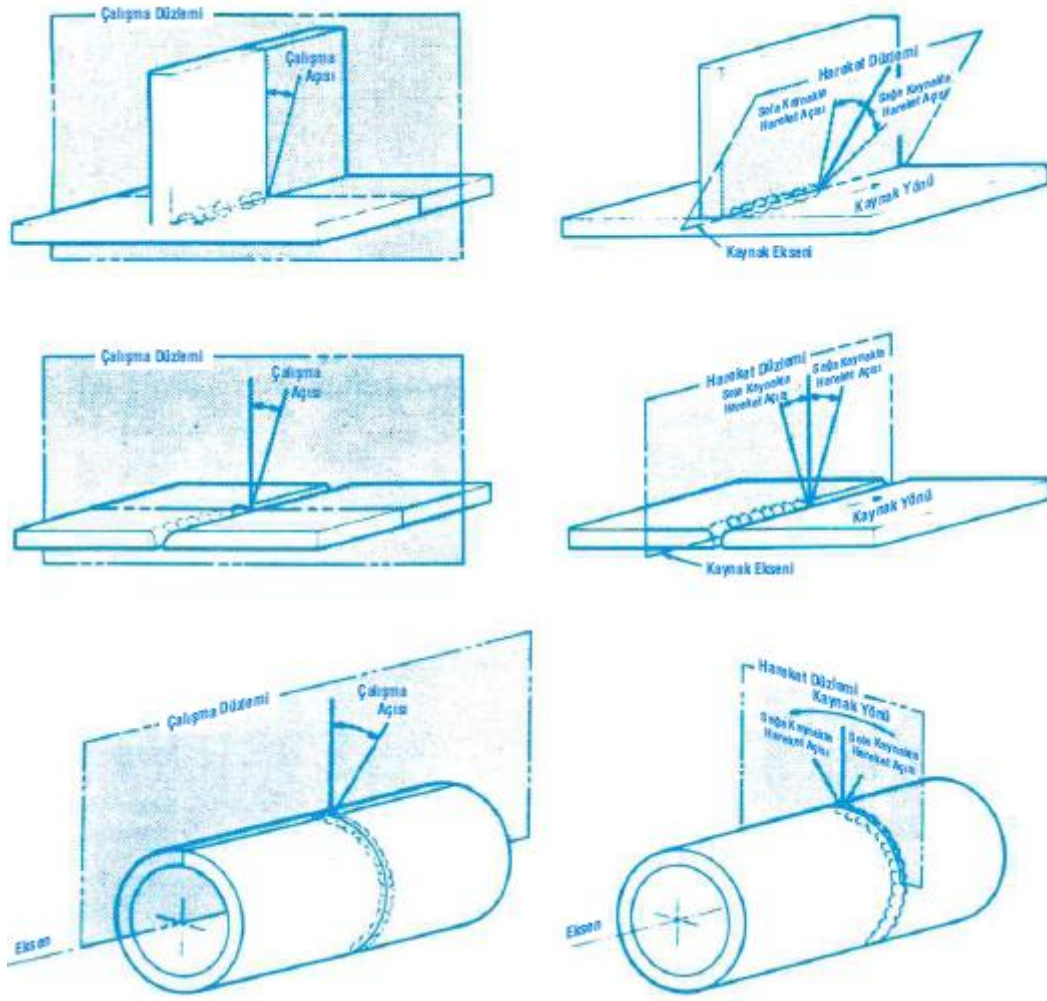
### 3.3.8. İlerleme ve salınım açısı

Diğer tüm ark kaynağı yöntemlerinde olduğu gibi, kaynak elektrodunun kaynak bağlantısına göre açılar kaynak dikiş şekli ve nufuziyetini etkiler. Elektrod açıları dikiş şekil ve nufuziyetini, ark gerilimi ve kaynak hızının etkisinden daha büyük ölçüde etkiler. Elektrod açılarını tanımlayabilmek için iki düzlemin tanımını yapmak gerekir. Bunlar, çalışma düzlemi ve hareket düzlemidir (Şekil 3.12). Eryürek, (2004)

Kaynak (hareket) doğrultusuna dik olan düzleme "çalışma düzlemi", kaynak doğrultusu ile elektroddan geçen düzleme de "hareket düzlemi" adı verilir. Bu düzlemler göz önüne alınarak elektrod açıları şu şekilde tanımlanır :

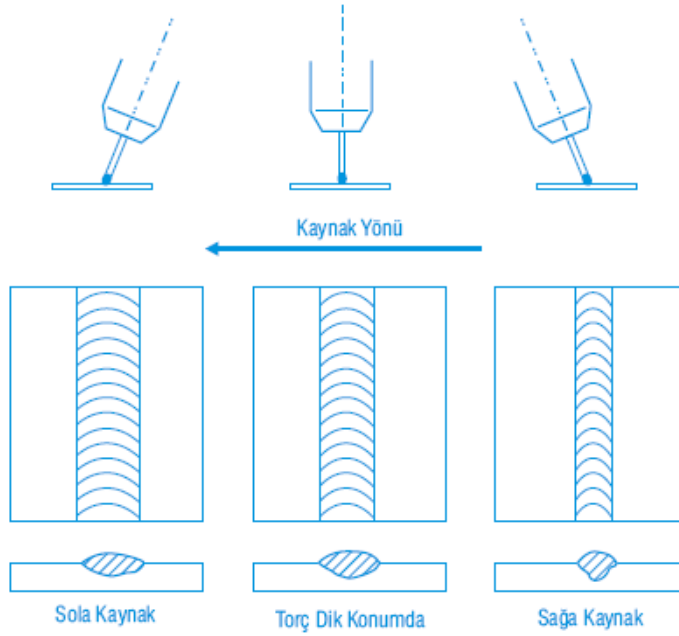
- Hareket düzlemi içinde elektrod eksenine hareket (kaynak) doğrultusuna dik doğrultu arasındaki açı, hareket açısıdır.
- Çalışma düzlemi içinde elektrod eksenine en yakın iş parçası yüzeyi arasındaki açı, çalışma açısıdır.

Elektrodun ucu kaynak yönünün aksi yönüne doğru yönlenmişse, bu teknik sağa kaynak, elektrod ucu kaynak doğrultusuna doğru yönlenmişse bu teknik sola kaynak olarak adlandırılır. Elektrod açıları ve bunların dikiş şekline ve nufuziyete etkileri Şekil 3.13'de gösterilmiştir. Eryürek (2004)



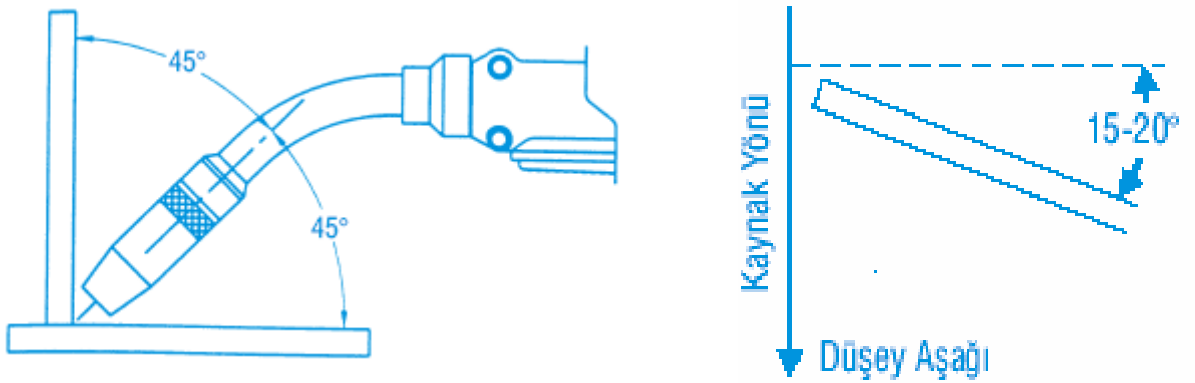
Şekil 3.12. Hareket ve Çalışma Düzlemleri ve Elektrod Açılı Eryürek (2004)

Bütün diğer şartlar değiştirilmeden, hareket açısı sıfırdan itibaren sola kaynak tekniğine doğru arttırılacak olursa, nüfuziyet artar ve kaynak dikişi geniş ve düz hale dönüşür. En yüksek nüfuziyet sağa kaynak tekniği ile hareket açısı  $25^\circ$  iken meydana gelir. Sağa kaynak tekniği, aynı zamanda daha dışbükey ve daha dar bir dikiş, daha kararlı bir ark ve işparçası üzerinde daha az sıçrama meydana getirir. Tüm pozisyonlarda, erimiş kaynak banyosunun daha iyi kontrol edilmesi ve korunması için normal olarak kullanılan elektrod açısı 5 ila 15 derece arasında değişen hareket açısıdır. Eryürek (2004)



Şekil 3.13. Elektrod Açısının ve Kaynak Tekniğinin Etkileri Eryürek (2004)

Alüminyum gibi bazı metallerde sola kaynak tekniği tercih edilmektedir. Bu teknik erimiş kaynak metali önünde “temizlik etkisi” oluşturur. Bu ise ıslatmayı iyileştirir ve esas metalin oksidasyonunu azaltır. Yatay pozisyonda iç köşe kaynağı yaparken elektrod Şekil-14’de gösterildiği gibi düşey parçayla  $45^\circ$  çalışma açısı yapacak şekilde tutulmalıdır. Eryürek (2004)



Şekil 3.14. İç Köşe ve Yukardan Aşağı Kaynakları İçin Normal Çalışma Açıları Eryürek (2004)

### 3.4. TIG Kaynak Yöntemi İçin Parametreler

#### 3.4.1. Kaynak ağız formları

TIG kaynağında kullanılan kaynak ağız şekilleri standartlaştırılmıştır. Bu bölümde DİN 8551 Kısım 1 ve DİN 8552 Kısım 1'deki ağızlar gösterilmiştir. Ancak şurası belirtilmelidir ki, TIG kaynak yöntemi, ilave metalin kullanılmaması gereken ve parça kenarlarının arkla eritilerek birleştirileceği kaynak dikişleri için özellikle uygundur. Bu uygulama türleri, standart ağız formlarından kıvrık alın kaynağı ve kıvrık bindirme alın kaynağı 'm oluşturmaktadır. Bunun dışında köşe birleştirmedeki ve üç sacın birleştirilmesindeki iç köşe dikişleri ve hafifçe çöküklüğün zararsız olduğu özel durumlar ve de I- dikişleri de bu kapsama girmektedir. Anık (1993)

I birleştirmeler, 3 veya 4 mm'ye kadar ön alın mesafesinin hiç veya çok az olduğu çeliklerde tek taraftan kaynak edilir. Alüminyum malzemelerde kalınlık 5 mm'ye kadar çıkabilir. Daha kalın saçlar (yaklaşık 8 mm'ye kadar) çift taraftan kaynak edilmelidir. Bu durumda saçlar arasında kalınlığın yarısı kadar bir aralık bırakılmalıdır. S-pozisyonunda (aşağıdan yukarıya) çift taraftan kaynak işleminde, yoğunlaşan ısı girdisi nedeniyle özellikle alüminyum ve bakırda mutlaka bir aralık bırakılmalıdır. Anık (1993)

8 veya bazen 10 mm'nin üzerindeki parça kalınlıkları durumunda esas olarak ağızlara eğiklik verilmesi ve Y- veya çift Y-şeklinde hazırlanması gerekir. Ağız açısı çeliklerde 60°, alüminyumda 70° olmalıdır. Kök alın yüksekliği çeliklerde 2 ila 4 mm ve bazen 6 mm'ye kadar, alüminyumda ise 2-3 bazen 4 olmalıdır. Ancak V-ve çift V-dikişlerinde ağız kenarlarının uçları düz kırılabilir, bu nedenle kök alın yüksekliği pratikte O 'dan başlar. Daha kalın parçalarda bu dikiş formları ve U ve çift-U dikişleri TIG kaynağıyla nadiren tam olarak doldurulabilir. Anık (1993)

Ağızların açılması, alaşımsız ve düşük alaşımlı çeliklerde alevle kesme yöntemiyle, paslanmaz çelik ve demirdışı metaller gibi özel malzemelerde ise plazmayla kesme yöntemiyle yapılır. İnce malzemeler makasla da kesilebilir. U veya çift U - ağız Hazırlanacak kalın saçlarda ise çoğunlukla talaşlı imalat yöntemleriyle ağız

hazırlanır. Anık (1993)

TIG kaynağında kaynak ağzının temizliği yaşamsal derecede önemlidir. Hadde cürüfları ve oksit kalıntılarının fırça veya taşlamayla uzaklaştırılması gerekir. Alüminyum ve alüminyum alaşımlarında ağız kenarları ve dikişin çevresi, hızla yeniden oluşan oksit kalıntılarının uzaklaştırabilmesi için kaynaktan hemen önce bir kez daha paslanmaz çelik fırçalarla fırçalanması gerekir. Çünkü oksit kalıntılarının elektron çıkış işinin daha düşük olması nedeniyle ark tercihan bu tabakalarla elektrod arasında yanar, ancak bu durumda oksitin higroskopiktik derecesine bağlı olarak gözenek oluşma tehlikesi mevcuttur. Uygun çözücü maddelerle ilave uzaklaştırma tercih edilebilir. Bu işlem nikel ve alaşımlarının kaynağında daha önemlidir. Birleşme bölgesinin üstünün taşlanması, özellikle alüminyum malzeme durumunda, plastik bağlayıcı içeren zımparaların kullanılmaması gerekir. Aksi takdirde plastik bağlayıcılar ağız kenarlarına yapışarak kaynak dikişinde gözenek oluşturabilir. Anık (1993)

Tablo 3.6. TIG Kaynağında kullanılan ağız şekilleri Anık (1991)

Kalınlık (mm)	Ağız formu	Elektrod Çapı	Paso Sayısı
1-1,5	Kıvrık	1,5	1
1-2	Alın (I)	1,5	1
2-3	Alın (I)	1,5	1
3-5	Alın (I)	1,5-2	1
5-8	V - Alın	2-3	1-2

### 3.4.2. Teller (Elektrod)

TIG kaynak yöntemi ile diğer elektrik ark kaynağı yöntemleri arasındaki en önemli fark, ek kaynak metalinin elektrod tarafından sağlanmaması ve elektrodun sadece ark oluşturma görevini üstlenmiş olmasıdır; bu bakımdan burada, ergime sıcaklığı 3370 °C olan tungsten elektrod malzemesi olarak seçilmiştir. Yüksek ergime sıcaklığının yanı sıra, tungsten çok kuvvetli bir elektron yayıcıdır ve yayınan elektronlar ark sütunun içinde kuvvetli bir elektron akımı oluşturur ve ark sütunundaki atomlar iyonize ederek, arkın kararlılığını sağlar. Günümüz endüstrisinde ticari saflıktaki

tungsten (%99.5 W) ile toryum, zirkonyum ve lantanyum ile alaşımlandırılmış elektrodlar kullanılmaktadır. Uygulamada karşılaşılan TIG kaynak elektrodlarını, saf tungsten elektrodlar, alaşımlı elektrodlar ve çizgili elektrodlar olmak üzere üç grup altında toplamak olanağı vardır. TIG kaynak elektrodları, AWS A5.12 ile EN 26848'de bileşimlerine göre sınıflandırılmış ve bunlar birbirinden kolaylıkla ayırt edebilmek için de renk kodları kullanılmıştır. Tablo 3.7 de Tungsten elektrodların kimyasal bileşimleri ve renk kodları verilmiştir. Kaluç, (2004)

EN 26848'de TIG kaynak elektrodlarının çapları 0,5, 1.0, 1.6, 2.0, 2.4, 3.0, 3.2, 4.0, 5.0, 6.0, 6.4 ve 8.0 mm boyları ise 50, 75, 150, 175 mm olarak belirlenmiştir. AWS A5.12'de ise, elektrod çapları 0.01, 0.02, 0.04, 1/16, 3/32, 1/8, 5/32, 3/16, 1/4 inç boyları ise 3, 6, 7, 12, 18 ve 24 inç olarak saptanmıştır. 7 inçten daha büyük olanlar sadece mekanize ve otomatik kaynak yöntemlerinde kullanılır. Kaluç (2004)

Tablo 3.7. Tungsten elektrodların kimyasal bileşimleri ve renk kodları Kaluç (2004)

İşareti	Malzeme No	Oksit içeriği %	Katışkıları %	Renk
W	2,6005	-	≤0,20	Yeşil
WT 10	2,6022	0,90..1,20 ThO <sub>2</sub>	≤0,20	Sarı
WT 20	2,6026	1,80..2,20 ThO <sub>2</sub>	≤0,20	Kırmızı
WT 30	2,6030	2,80..3,20 ThO <sub>2</sub>	≤0,20	Leylak
WT 40	2,6036	3,80..4,20 ThO <sub>2</sub>	≤0,20	Portakal
WZ 4	2,6050	0,30..0,50 ZrO <sub>2</sub>	≤0,20	Kahverengi
WZ 8	2,6062	0,70..0,90 ZrO <sub>2</sub>	≤0,20	Beyaz
WL 10	2,6010	0,90..1,20 LaO <sub>2</sub>	≤0,20	Siyah

### 3.4.3. Gazlar

Argon gazı; Özgül ağırlığı 1,784 kg/ m<sup>3</sup>' tür. Asal gazdır. Kimyasal bakımdan nötr gazdır. Havadan ayrıştırma ile elde edilir. Megep (2006) Argon hem doğru akımda, hem Alternatif akımda iyi çalışır ve tüm kaynak edilebilir metallere uygundur. Kullanılan memeler, argonun akış özelliklerine uyacak şekilde tasarlanır ve böylece herhangi bir türbülans meydana gelmez. Eryürek (2000)

Helyum gazı; Özgül ağırlığı 0,179 kg/m<sup>3</sup> olup havadan yaklaşık 7 kat daha hafiftir. Asal gazdır. Kimyasal bakımdan nötr karakterdedir. Kokusuz renksiz, monoatomik bir gazdır. Doğal gazdan elde edilir. Maliyeti yüksek bir gazdır. Megep (2006) Helyum, argona alternatif diğer bir koruyucu gazdır. Bir tungsten arkı helyum ile korunacak olursa daha yüksek ark gerilimleri elde edilir. Bu ark boyunun arttırarak ark geriliminin arttırılmaması ile karıştırılmamalıdır. Verilen bir ark boyu için aralıktaki gerilim helyum ile yapılan korumada argon ile yapılan korumaya nazaran daha yüksektir. Sonuçta ısı girdisinde bir artma meydana gelir ve bu da yüksek ısı iletkenliğe sahip metallerin kaynağında iyileşme sağlar. Verilen bir akımda nufuziyet derinliği de yüksektir. Bu da daha yüksek kaynak hızları kullanılabilmesine olanak sağlar. Helyum argondan çok daha pahalı bir gazdır ve bu nedenle argonla karıştırılarak kullanılmaktadır. Eryürek (2000)

Karbondioksit gazı; Karbonun yanması ile oluşan karbondioksit gazı, yanıcı gazların, akaryakıt ve kokun yanma ürünü olarak, kireç taşının kalsinasyonu, amonyak üretimi ve alkolün fermantasyonu sırasında yan ürün olarak üretilir. Maliyeti düşük bir gazdır. Megep (2006)










Karışım gazları; Demirdışı metallerin kaynağında kullanılan argon gazına az miktarda oksijen ile değişik oranlarda karbondioksit ilave edilerek elde edilir. Megep (2006)

### 3.4.4. Kaynak Akımı

Alüminyum dışında tüm metaller için elektrodun güç ünitesinin negatif kutbuna bağlandığı doğru akım kullanır. Bu düzenleme kararlı ark verir. Parça yüzeyinde toplam ısının yaklaşık %60'ı oluşur. Böylece ısının büyük bir kısmı esas metali eritmek için kullanılabilir. Toplam ısının % 10'u radyasyon ile kaybolur. Sadece %30'u elektrodan açığa çıkar. Bu nedenle elektrodu erime sıcaklığının (3370 °C) altında tutmak göreceli olarak daha kolay olur. Arkın elektrod ucundan çalışmasını teşvik etmek için elektrodun uç kısmı sivriltilir. Bu, arkın kararlılığını artırır ve kaynakçıya ark boyuna sabit tutmada yardımcı olur. Eryürek (2000)

Alüminyum ve alaşımları önemli bir problem arz eder. Esas metal eridiğinde oksit tabakası, erime noktası alüminyumunkinden önemli derecede yüksek olduğundan, erimemiş halde kalır. TIG kaynağında herhangi bir dekapan olmadığından bu oksit tabakası arkın etkisiyle uzaklaştırılmalıdır. Bu olay sadece elektron akışı kaynak banyosundan elektrodta doğru ise, yani elektrod pozitif kutba bağlı ise gerçekleşir. Bu şartlar altında alüminyumda oksitten arındırılmış kaynak dikişleri üretebilir. Bunun en önemli sakıncası elektrodun aşırı ısınmasıdır; nedeni ise toplam ısının büyük kısmının elektrodta oluşmasıdır. Yani bu, yukarıda elektrod negatif kutba bağlı içeren açıklanan durumun tersidir. Bu ise çok sayıda zorluklar çıkardığından, elektrod pozitif d.a pratikteki uygulamalarda nadiren kullanılır. Bu sorunun çözümü, bir alternatif akım kullanmakta yatmaktadır. Elektrodun pozitif olduğu yarım çevrimler sırasında oksit, erimiş alüminyumdan dışarıya doğru saçılır. Negatif yarım çevrimler sırasında kaynak banyosunda ısı üretilirken elektrod soğur. Bu şekilde ısının üniform bir şekilde dağılımı sağlanır ve elektrodun önemli ölçüde erimesi engellenebilir. (genellikle elektrodun ucunda erimiş tungsten bir yarım küre oluşur.) Eryürek (2000) Şekil 3.15'de Tungsten Elektrodların akım şiddetine göre uç şekilleri görülmektedir. Megep (2006)



Akım Türü	Elektrod Türü	Akım Şiddeti		
		Çok Düşük	Normal	Çok Yüksek
DAEN.	WT			
AA.	W			
AA.	WT			

Şekil 3.15. Tungsten Elektrodların akım şiddetine göre uç şekilleri Megep (2006)

### 3.4.5. Kaynak hızı

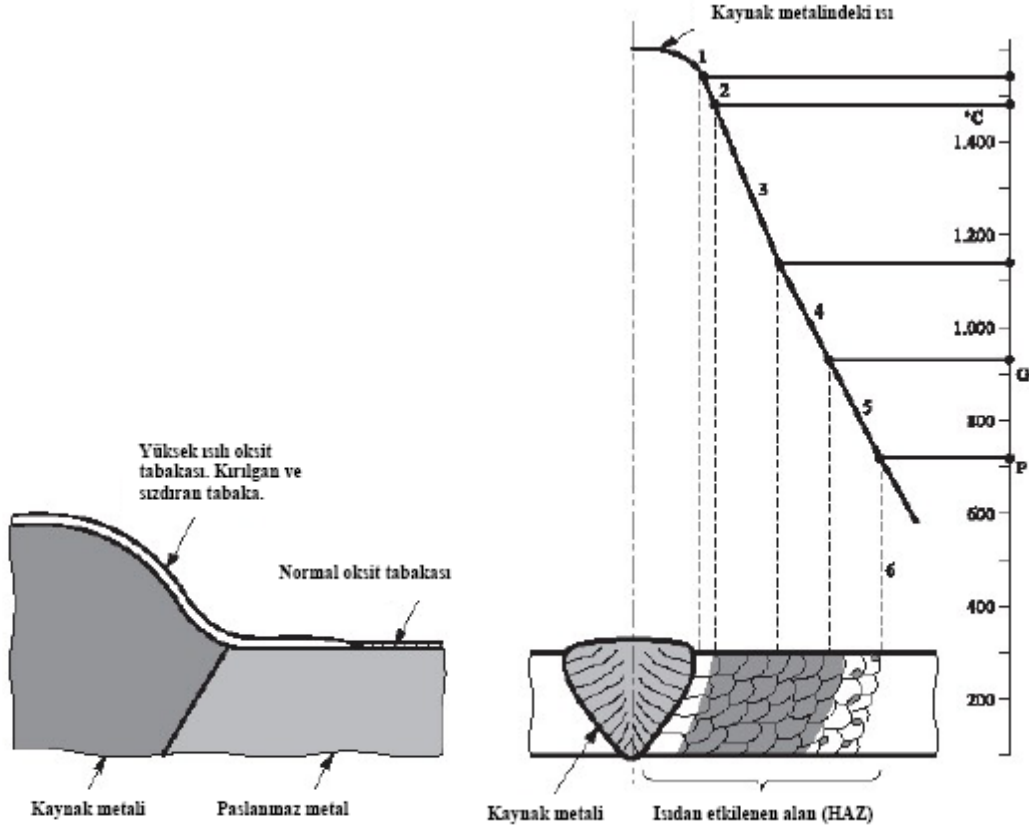
Ark gerilimi gibi kaynak hızı da, diğer ark kaynak yöntemlerinde olduğu derecede dikiş geometrisini etkileyen bir parametre değildir. Kaynak sırasındaki şartlara göre ayarlanır ve aynı değerde tutulur. Bu sayede esas metal yeterli derecede erir ve katılma sırasında eşölçülü bir dikiş oluşur. Kaynak hızının arttırılması, birleşme hatalarına, düşürülmesi ise dikişin genişlemesine ve istenmeyen aşırı ısı girdisine yol açar. TIG kaynağında en yaygın kaynak hızları 10 ila 40 cm/dak arasındadır. Anık (1993)

Boruların çevresel kaynağında arkı dikiş ortasında bitirilmez çünkü dikiş sonunda dikiş ortasından dışarı çekilmeli veya bir akım azaltma tekniği uygulanmalıdır. Arkın söndürülmesinden sonra kaynak banyosu kenarlarından katılmaya başlar. Büyük kaynak banyolarında tüm kaynak akımı kapatıldığında uç krater çatlakları oluşabilir. Dikiş sonunda kaynak hızı arttırıldığında banyo küçülür. Aynı anda ark dikiş yanına doğru çekilir. Bu durumda kritik bölge daraltıldığından hata bölgesi de mümkün

olduğunca küçültülmüş olur. Daha iyi bir teknik de, torcunun tutamak kısmında bir akım düşürümü gerçekleştirilebilen bir TIG kaynak makinesi kullanımınıdır. Anık (1993)

### 3.4.6. Isı dağılımı

Kaynak işleminin ya da paslanmaz çeliğin başka bir yöntemle ısıtılmasının bir sonucu olan sertleşme pasif malzeme yüzeyine hasar verir ve paslanma direncini ciddi oranda düşürür. Bu sertleşme krom yönünden zengin yüksek ısı oksitlerin çok kırılabilir ve sızdıran bir tabaka oluşturmasının sonucu olarak ortaya çıkar. Bu nedenle alttaki malzeme krom yönünden çok fakir ve paslanma direnci az hale gelir. Krom oksitler ortadan kaldırılmalı ya da oluşumlarının engellenmesi için ölçülmelidirler. Koruma gazı ile kaynak yaparken oksit oluşumu gaz dağıtıcı ya da hemen torçtan sonra gelen parça ile engellenebilir.. Manuel TIG kaynağında koruma gazı olarak kullanılan gaz genelde argondur. Gaz TIG torcuna bağlanır ve tungsten elektrotu korur ve havadaki oksijeni kaynak havuzundan uzaklaştırmak için havuzun üzerinden akar. Argon, bazen az miktarda hidrojen ile karıştırılarak kaynağın arkasını korumak için kullanılır. Formier gaz ile yapılan koruma genelde daha ucuz ve birçok durumda daha iyi bir seçimdir. Çeliğe zararlı olan sertleşmeyi önlemek için sıcaklık 200°C'nin altına düşene kadar gaz akışına sahip olmak gereklidir. Uygun arka gaz gereçleri gaz tüketiminin azalmasını ve gaz kalitesinin artmasını sağlayabilir. Er-ce (1995)



Şekil 3.16. Isıdan etkilenen bölgenin şematik gösterimi Er-ce (1995)

Isıdan Etkilenen Alan Kaynak dikişinin çevresindeki ısıdan etkilenen alanları erimez ve çok sert ısıya maruz kalırlar ve bu çeliğin mikro-yapısının bozulmasına neden olur. Bu değişimlerin nedeni malzemenin oluşumuna ve ısıdan etkilenen alanlarının ısınma hızına bağlıdır. Soğutma hızı da önemlidir ve malzemenin kalınlığına, kaynak alanının ebadına ve kaynak işlemi ile oluşan ısı girişine ve soğutma metoduna bağlıdır. (1. Bölge Kaynak metali, 2. Bölge tamamlanmamış, 3. Bölge fazla ısınmış, 4. bölge normalleştirilmiş, 5. Bölge eksik transformasyon, 6. bölge ana malzeme) Şekil 3.16'da Isıdan etkilenen bölgenin şematik gösterilmektedir. Er-ce (1995)

### 3.4.7. Ark boyu

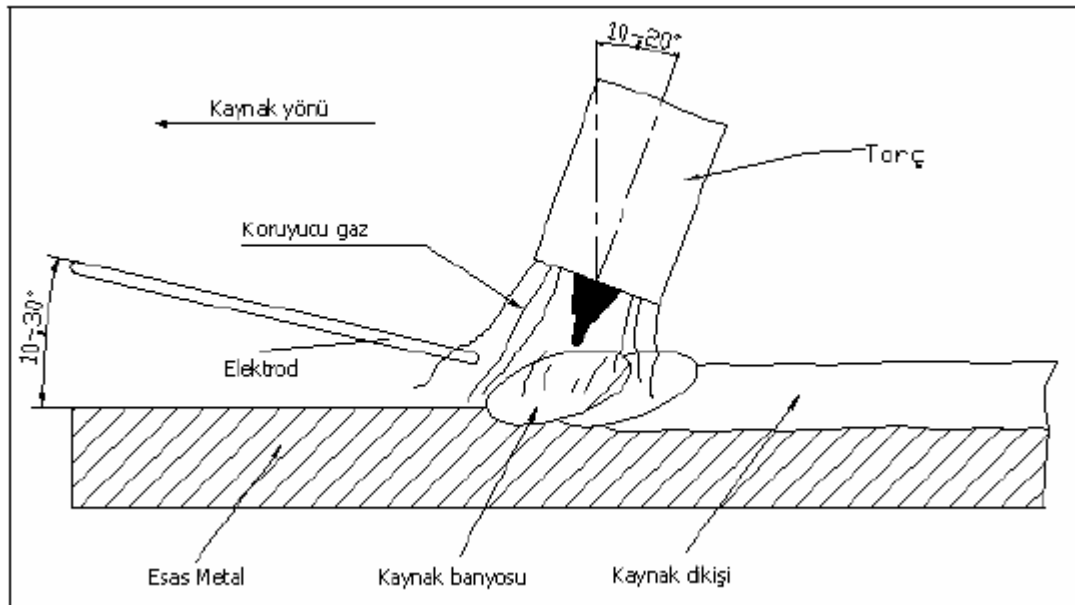
İş parçası ile Tungsten elektrod arasındaki gerilime veya mesafeye ark boyu (ark gerilimi) denir. Ark boyu ark akımına tungsten elektrodun şekline, tungsten elektrod ile iş parçası arasındaki mesafeye ve koruma gazın tipine bağlıdır. Ark gerilimi ark boyunu kontrol eder. Ark boyu da kaynak havuzunun genişliğini kontrol eder. El ile

yapılan kaynakta ark boyu kaynakçı tarafından ayarlanır; otomatik kaynak halinde ise elektrod ucu ile iş parçası arasındaki mesafe değiştirilerek ark gerilimi ayarlanır. Megep (2006)

TIG kaynağında ark gerilimi, arkın tam bir gaz örtüsü ile korunmasının mümkün olduğu kadar kısa olması için daima çok düşük olmalıdır. Bu nedenle dikiş geometrisini etkileyen bir parametre değildir. Yine de ark geriliminin yükseltilmesi yani ark boyunun arttırılması halinde, dikiş genişliği artar ve alaşım yanması problemi azalır. Anık (1993)

### 3.4.8. İlerleme ve salınım açısı

İlave metalin (tel) iş parçası ile yaptığı açı da kaynak dikişinin bitimini etkileyen faktörlerdendir. Otomatik TIG kaynağında çalışma açısı 0 derece olarak belirlenir. El ile yapılan kaynakta açı 20 derece civarındadır. Tel verme açısı azaldıkça nufuziyet azalır, açının artması ise kaynak dikişinin yüksekliğinin artmasına neden olur. Megep (2006) Şekil 3.17’de TIG kaynak bölgesi gösterilmektedir.

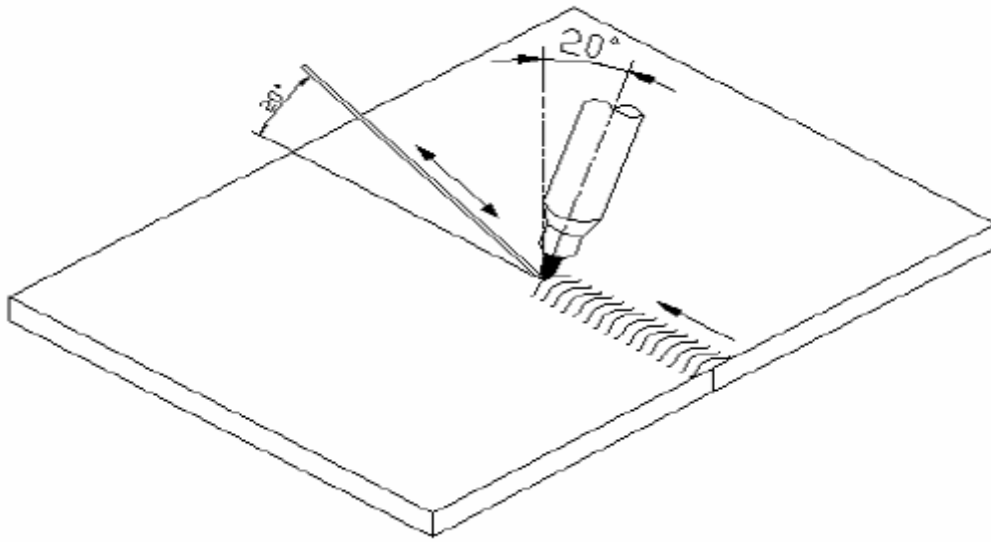


Şekil 3.17. TIG Kaynak bölgesi Megep (2006)

TİG kaynak yönteminde her pozisyonda kaynak yapılabilir. Fakat yatay pozisyon tercih edilir. Megep (2006)

Arkı tutuşturduktan sonra çapraz hareketlerle başlangıç noktası sıvı hale getirilir. Sola kaynak tekniği kullanılarak kaynak işlemine devam edilir. Torç, kaynak yönüyle yaklaşık 20 derece açı yapmalıdır. Megep (2006)

El ile yapılan kaynakta ilerleme hızı kaynakçı tarafından, işin gereğine göre ayarlanır. Otomatik makinelerde ilerleme hızı önemlidir. Aşırı hız, kaynak dikişinin nufuziyetini ve boyutlarının azalmasına şeklinin bozulmasına, çok yavaş hız da kaynak dikişinin ebatlarının aşırı artmasına ve dikişin şişmesine neden olur. Megep (2006) Şekil 3.18’de TİG kaynağında torç ve ilave telin tutuluş açıları gösterilmiştir.



Şekil 3.18. TİG Kaynağında torç ve ilave telin tutuluş açıları Megep (2006)

## **BÖLÜM 4. ARK KAYNAK PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ**

### **4.1. Giriş**

Ark kaynak parametrelerinin belirlenmesi aşamasında, uygulama yapılabilecek elektrik ark, MIG/MAG ve TIG kaynak yöntemlerine ait parametreler ayrı ayrı ele alınmıştır. Kaynak yöntemine bağlı olarak parametreler seçilmiş, bazı parametreler eklenmiş bazı parametreler ise çıkarılmıştır. Elektrik ark, MIG/MAG ve TIG kaynak yöntemlerine ait kaynak parametrelerin tespit edilmesinde ulusal-uluslararası standartlar ile kaynak uygulamalarındaki gözlenen deneyim ve tecrübeler dikkate alınmıştır. Bu bölümde tespit edilen kaynak parametreleri her üç kaynak yöntemi için detaylı olarak ayrı ayrı irdelenmiş, sonucunda ideal kaynak parametreleri ve sınırları formüller veya tablolar halinde verilmiştir.

### **4.2. Elektrik Ark Kaynağı Parametrelerinin Belirlenmesi**

Bu kısımda, elektrik ark kaynak yöntemi için kaynak parametreleri belirlenmiştir. Kaynak parametrelerin belirlenmesinde ulusal ve uluslar arası standartlar ile gerçek kaynak uygulamalarındaki karşılaşılan deneyimler dikkate alınmıştır.

#### **4.2.1. Malzeme türü**

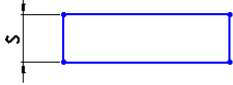
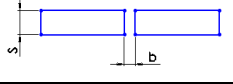
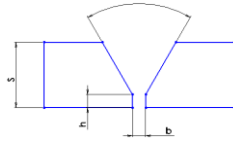
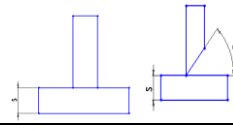
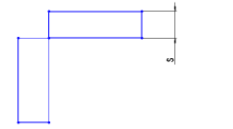
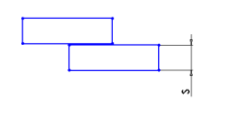
Kaynak uygulaması üç farklı malzeme kullanılarak gerçekleştirilecektir. Bu malzemeler; karbonlu çelik, alaşımlı çelik ve paslanmaz çeliktir. Alüminyum malzemelerin, elektrik ark kaynak yöntemi ile birleştirilmesi önerilmediğinden dolayı elektrik ark kaynak yöntemi için malzeme türü seçimine alüminyum ilave edilmemiştir.

#### 4.2.2. Kaynak ağız formları

Kaynak tasarımında yaygın olarak uygulanan birleştirme türleri alın, iç köşe, dış köşe ve bindirme olmak üzere dört gruba ayrılabilir. Kaynakla birleştirilecek parçalarda, kaynak bağlantısının kesit boyuna gereken derinlikte işleyebilmesi için, parçanın kaynak ağızı açılarak hazırlanması gereklidir. Kaynak ağzının genel biçimleri çeşitli standartlar ile saptanmıştır. Ülkemizde, bu konuda TS 3473 standardı geçerlidir ve bu standartta eritme kaynak yöntemlerinde kullanılması gereken ağız biçimleri detaylı bir şekilde belirlenmiştir.

TS 3473 standardı göz önüne alınarak, en çok kullanılan kaynak ağız formları Tablo 4.1.'de verilmiş olup, bu tabloda malzeme kalınlığı (s) parametresine bağlı olarak, kaynak ağızı formu ve kaynatılacak iş parçaları arasında bırakılması gereken (b) mesafesi ve bu mesafenin hesaplanmasına dair sınır değerleri verilmiştir.

Tablo 4.1. Kaynak ağız formlarında boyutların belirlenmesi

Kod	Ağız Formu	Şematik Gösterimi	$\alpha$	b	Açıklama
KA(1)	Düz kaynak		0	0	
KA(2)	Alın kaynağı		0	$s \leq 3$ ise $b=0,5$ mm $3 < s \leq 8$ ise $b=2$ mm $8 < s \leq 20$ ise $b=3$ mm $s > 20$ ise $b=4$ mm	$s > 8$ mm ise alın kaynağı tavsiye edilmez, v kaynak ağızı önerilir.
KA(3)	V kaynağı		60	$s \leq 8$ ise $b=0$ mm $s > 8$ ise $b=2$ mm	$s > 8$ ise $h=3$ mm (h= taban yük.) $S < 8$ ise v kaynak ağızı tavsiye edilmez, alın kaynak ağızı önerilir.
KA(4)	İç köşe		0 60	$s \leq 8$ ise $b=0$ mm $s > 8$ ise $b=0$ mm	
KA(5)	Dış köşe		0	0	
KA(6)	Bindirme		0	0	
<p>s=parça kalınlığı b=iki parça arasındaki alt boşluk <math>\alpha</math>= V kaynak ağızı için ideal açı değeri KA(1) [Kaynak Ağızı (1)] = düz kaynak</p>					

### 4.2.3. Elektrot çapının seçimi

Elektrik ark kaynağında kullanılan elektrotlar, kaynağın amacına göre birleştirme ve dolgu kaynağı elektrotları olmak üzere iki ana gruba ayrılırlar. Kullanılan elektrotların oluşturduğu kaynak metalinin yüksek dayanım değerine sahip, tok ve sünek olması istenir. Oğuz (1993) Eriyen elektrotlar hem arkın oluşmasını hem de eriyerek gerekli kaynak metalini sağlarlar. TS 563 standardına göre, alaşımsız ve az alaşımlı çeliklerin kaynağında kullanılan elektrotlar belirlenmiştir. Elektrot seçiminde; malzeme türü, kaynak pozisyonu, kaynak akımı, kaynak ağızı formu ve en önemlisi de kaynatılacak parçaların kalınlığı dikkate alınır. Malzeme kalınlığına ve



kaynak ağzı formuna göre elektrot çapı değişmektedir. Elektrik ark kaynağı uygulamalarında en çok kullanılan elektrotlar; çekirdek çapı 2.50, 3.25 ve 4.00 mm olanlarıdır. Tablo 4.2.'de Parça kalınlığına bağlı olarak elektrot çekirdek çapı değerleri belirlenmiştir.

Tablo 4.2. Parça kalınlığına göre program tarafından önerilen elektrot çekirdek çapı değerleri

Parça kalınlığı (S)	Elektrot çekirdek çapı (d)	Birim
$S \leq 3$	2,5	mm
$3 < S \leq 20$	3,25	mm
$S > 20$	4,00	mm

#### 4.2.4. Kaynak akımının belirlenmesi

Kaynak yaparken, yani kaynak devresinde ark yanarken, çalışma gerilimine karşı gelen alım şiddetine kaynak akımı denir. Kaynak akım üreticine bağlanan akım ve toprak kablolarının uçlarında kutuplar belirlenir. Elektrot pensesine ve toprağına bağlı uçlar hazırlanır, elektrot penseye takılır ve elektrot parçaya temas ettiği anda ark oluşur ve dolayısıyla sürekli bir akım döngüsü devam eder.

Kaynak akımı kaynakçı tarafından uygulama öncesinde hazırlanır. Kaynak uygulaması süresince kaynak akımı değeri (ayar) değişmez. Fakat kaynak uygulamasının durumuna göre ark kesilerek akım arttırılabilir veya azaltılabilir. Kaynak akımı, ortalama olarak, elektrot çekirdek çapının 40 katı alınır ( $I = d \times 40$ ). Kaynatılan parçaların kalınlığı ve pozisyona bağlı olarak %10 oranında değişiklik olabilir. Akım şiddetinin optimum bir sınırı vardır. Bu sınırın üzerine çıktığında malzeme de deformasyonlar (delinme, çarpılma, büzülme v.b.) oluşabilir. Buna ilaveten ark bölgesinde aşırı derecede parlaklık ve sıçramalar oluşur. Dolayısıyla, ark boyu kontrolsüz olarak artar. Akım şiddeti optimum değerin altında olduğunda, yeterli ergime olmayacağından elektrot malzemeye yapışabilir, ya da çok kısa ark boyu oluşur. Parça kalınlığına (s) bağlı olarak kaynak akımının (I) belirlenmesi ile ilgili sınır değerleri Tablo 4.3.'de verilmiştir.

Tablo 4.3. Parça kalınlığına (s) bağılı kaynak akımı (I) değerleri.

Parça kalınlığı (S)	Kaynak akımı (I)	Kaynağın durumu
$S \leq 3$	$0 < I < 60$	elektrot malzemeye yapışacak
	$60 < I < 90$	ideal kaynak
	$90 < I < 350$	kademeli olarak malzemede erime ve çarpılma olacak
$3 < S \leq 8$	$0 < I \leq 60$	elektrot malzemeye yapışacak
	$60 < I \leq 80$	yetersiz nüfuziyet
	$80 < I \leq 110$	ideal kaynak
	$110 < I < 350$	kademeli olarak malzemede erime ve çarpılma olacak
$8 < S < 20$	$0 < I \leq 60$	elektrot malzemeye yapışacak
	$60 < I \leq 90$	yetersiz nüfuziyet
	$90 < I \leq 130$	ideal kaynak
	$130 < I < 350$	kademeli olarak malzemede erime ve çarpılma olacak
$S > 20$	$0 < I \leq 80$	elektrot malzemeye yapışacak
	$80 < I \leq 120$	yetersiz nüfuziyet
	$120 < I \leq 150$	ideal kaynak
	$150 < I < 350$	kademeli olarak malzemede erime ve çarpılma olacak

#### 4.2.5. Kaynak hızı

Kaynak hızı, kaynak arkının iş parçası boyunca olan hareketi ya da birim zamanda yapılan kaynak dikişi boyu olarak bilinmektedir. Kaynak işlemi esnasında hız yavaş olduğu zaman birim boya yığılan kaynak metali artar ve bu da sonuçta kaynak banyosunun büyümesine sebep olur. Kaynak metalinin büyümesi ve ısı girdisinin artmasıyla akışkan hale gelen sıvı metal kaynak ağzı içinde arkın önüne doğru akar, düzgün ark oluşumunu etkiler. Hızın artması birim boya verilen kaynak ısısının azalmasına ve dolayısıyla da ana metalin ergiyen miktarının azalmasına neden olur, bu da kaynak dikişi ıslatmasını olumsuz yönde etkiler. Durgutlu (1997), Ertürk (1994) Parça kalınlığına(s), kaynak akımı(I) ve elektrot çapına(d) göre belirlenen kaynak hızları Tablo 4.4.'de verilmiştir.

Tablo 4.4. Parça kalınlığına(s), kaynak akımı(I) ve elektrot çapına(d) göre kaynak hızları

Parça kalınlığı (S)	Kaynak hızı ( $V_k$ ), mm/sn	Kaynak akımı (I)
$S \leq 3$	4,50	d x 40 amper
$3 < S \leq 8$	4,00	d x 40 amper
$S > 8$	3,50	d x 40 amper

#### 4.2.6. Ark boyu

Ark oluşmasında elektrot ile iş parçası arasındaki mesafenin önemi büyüktür. Birçok kaynak uygulamasında ark boyunun anılması, ark boyları arasındaki farkın kavranmasını gerekli kılmaktadır. Buna göre; ark boyu elektrot çapına eşit olduğu takdirde, normal ark boyu olarak anılması gerekir. Ark boyu elektrot çapından büyük olduğu takdirde ismi; uzun ark olur. Elektrot çapından küçük mesafeler ise, kısa ark boyu olarak anılmaktadır.

Tecrübeler, uzun ark boyu ile çalışmada, arkın üflenmesinin kısa ark boyuna nazaran, daha kuvvetli olduğunu gösterir. Bu sebepten dolayı daima kısa ark boyu ile çalışma tavsiye edilir. Örtülü elektrotlarla kaynak yapılması yine tecrübeler, örtülü elektrotlarla kaynakta, ark üflenmesinin çıplak ve özlü elektrotlara nazaran daha az olduğunu ortaya koymuştur. Keza ince örtülü elektrotlarda üfleme, kalın örtülü elektrotlardan daha fazladır. Anık (2007)

Ark boyunun uzaklaşması durumunda ark kopar, üfleme kopuncaya kadar artar, kademeli olarak üfleme arttıkça kaynak metali yüksekliği (h) azalır ve kaynak dikişinin genişliği artar. Patlama ve sıçrama sesleri artar. Ark boyunun yaklaşması durumunda ark yapışır, elektrot ucu ile malzeme birbirine yaklaştıkça elektrot malzemeye yapışma özelliği gösterir, dikiş görüntüsü kabarık görünebilir, ışık şiddeti azalır, tam temas halinde ise kaynak gerçekleşmez. Tablo 4.5.'de Ark boyunun uzaklaşması ve yaklaşması durumundaki değişiklikler verilmiştir. Ark boyu genellikle elektrot çekirdek çapının yarısı kadardır. Formül (4.1.) ile belirlenir. Ark boyu (a) olarak kullanılabilir.

$$\text{Ark Boyu} = d / 2 \quad (4.1)$$

Tablo 4.5. Ark boyunun uzaklaşması ve yaklaşması durumundaki değişiklikler

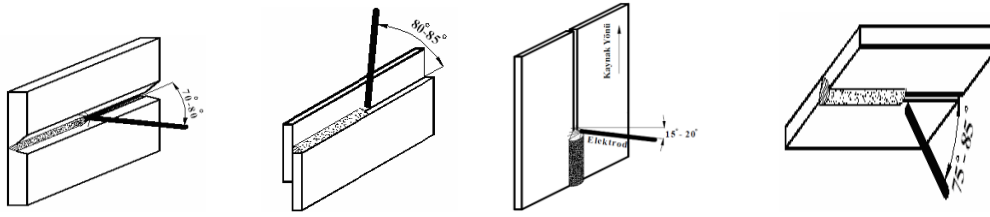
	Ark boyunun uzaklaşması durumunda	Ark boyunun yaklaşması durumunda
Ark boyu (a)	d x 1,25	d x 0,25
Üfleme	Artar	Azalır
Kaynak metali yüksekliği	Azalır	Artar
Kaynak dikişliği	Artar	Azalır
Patlama ve Sıçramalar	Artar	Azalır
Işık Şiddeti	Artar	Azalır

#### 4.2.7. Elektrot ilerleme açısı

Erimiş metal, tüm kaynak işlemi boyunca ark yoluyla transfer edilir ve kaynakçı arkı bağlantı yüzeylerinde erime oluşacak şekilde yönlendirmelidir. Elektrotun, kaynağın ilerleme yönü ile yapacağı açı çoğu zaman 60 ile 70° arasında olmakla beraber elektrot tipi ve birleşme şekline göre 45 ile 90° arasında da değişebilir. Buradaki esas prensip, yukarıdan aşağıya dik kaynaklar dışında, bu açının, cürufun arkın önüne akmasını önleyecek şekilde olmasıdır. Tablo 4.6.'da kaynak pozisyonuna bağlı olarak ideal ilerleme açı değerleri ve toleransları verilmiştir. İlerleme açısı değerleri ilerleme yönüne göre verilmiştir. Şekil 4.1'de ise kaynak pozisyonu bağlı ilerleme açılarının şematik gösterimi verilmiştir. Toleransların altına düşülmesi durumunda; kaynak dikiş formu değişir, çizgisel kavisler (yaylar) çok azalır, kenarlarda yanma olukları görülür, nüfuziyet azalır. Toleransların üstüne çıkılması durumunda ise; kaynak dikiş formu değişir, ark üfleme gerçekleşir (50° nin altında gerçekleşir), kenar yenmeleri oluşur.

Tablo 4.6. Kaynak pozisyonuna bağlı olarak ideal ilerleme açı değerleri ve toleransları

Kaynak pozisyonu	İlerleme açısı	Tolerans
Düz kaynak	80°	±5 °
Korniş kaynağı	80°	±5 °
Düşey kaynak	105	±5 °
Tavan kaynağı	80°	±5 °

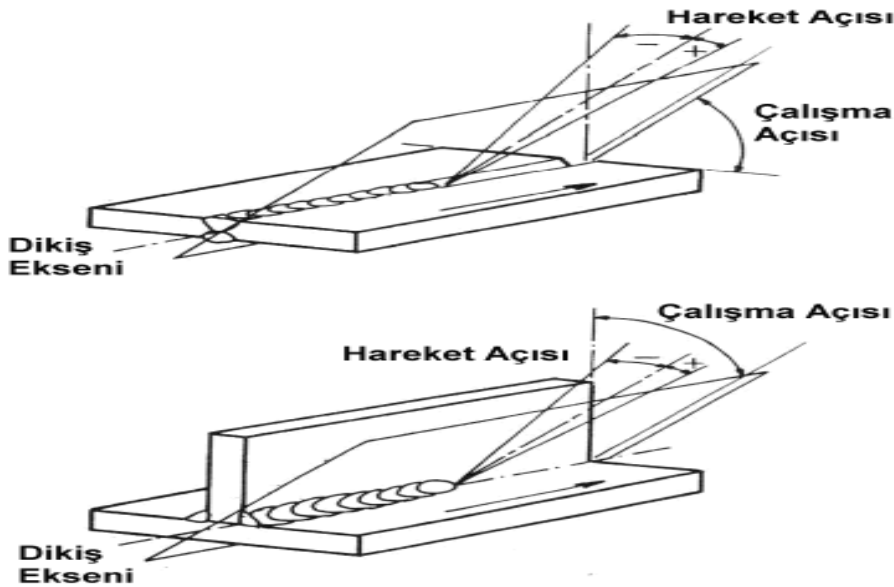


Şekil 4.1. Kaynak pozisyonu bağlı ilerleme açılarının şematik gösterimi

#### 4.2.8. Elektrot salınım açısı ve hareketi

Salınım açısı; kaynak dikişinin yüzey genişliğini doğrudan etkileyen parametredir. Salınım açısı arttığında dikiş genişliği artar, azaldığında ise dikiş genişliği azalır. Genişlik, elektrot çekirdek çapına bağlı olarak değişir. (Kaynak dikiş genişliği =  $d \times 2,5$  tolerans %20). Salınım açısı formül (4.2.)'de, salınım açısının şematik gösterimi ise Şekil 4.2.'de verilmiştir. Salınım açısı ( hareket açısı) “ $\beta$ ” ile gösterilmektedir.

$$\beta = 5^\circ \pm 2,5 \quad (4.2)$$



Şekil 4.2. Salınım açısının şematik gösterimi Anık (1991)

Elektrot hareketi, yatay konumda düz dikiş çekerken elektrotumuzu değişik şekillerde hareket ettirmemiz sonucu değişkenlik gösterir. Burada önemli olan elektroda yaptırdığımız el hareketlerinin mümkün olduğunca birbirinin aynısı olmasını sağlamaktır. Bu da bir süre kaynak yaptıktan sonra el becerimizin gelişmesi sonucunda sağlanabilir. Düz dikiş çekerken elektrota genellikle parça kalınlığına bağlı olmakla beraber düz paso dediğimiz hareket yaptırılır. Elektrot sağa sola hiç hareket ettirilmeden düz çekilir. Diğer bir elektrot hareketi de yarım ay (zig-zag) olarak adlandırılır. Sağa ve sola eşit zig-zaglar yapılarak dikiş çekilir.

#### 4.2.9. Kaynak hacminin hesaplanması

Kaynak hacmi, elektrik ark kaynağında elektrotun 1 sn zaman içerisinde erime miktarıdır [Oğuz, 1989]. Kaynak hacminin hesaplanmasına dair formül (4.3)'de verilmiştir. Tablo 4.7.'de elektrot çekirdek çapına bağlı 1 saniyede eriyen elektrot boyu verilmiştir.

$$H = \frac{\pi \times d^2}{4} \times h \times t \quad (4.3)$$

Denklemden verilen parametreler sırası ile;

d= elektrot çapı

h = 1 sn'de eriyen elektrot boyu (mm)

H = 1 sn'de elde edilen kaynak hacmi

t = zaman (sn)

V= ilerleme hızı mm/sn (bknz. Kaynak hızı)

Elektrotun erime miktarı kaynak akımına ( $I = d \times 40$ ) bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Tablo 5.7.'de verilen değerler ortalama değerlerdir.

Tablo 4.7. Elektrot çekirdek çapına bağlı 1 saniyede eriyen elektrot boyları

d (mm) elektrot çekirdek çapı	h (mm) 1 sn'de eriyen elektrot boyu
2,50	5,7
3,25	3,8
4,00	2,5

### 4.3. MIG-MAG Kaynağı Parametrelerinin Belirlenmesi

Bu bölümde, MIG-MAG kaynak yöntemi için kaynak parametreleri belirlenmiştir. Kaynak parametrelerin belirlenmesinde ulusal ve uluslar arası standartlar ile gerçek kaynak uygulamalarındaki karşılaşılan deneyimler dikkate alınmıştır.

#### 4.3.1. Malzeme türü

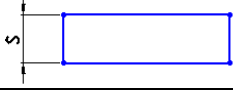
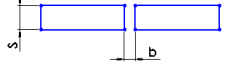
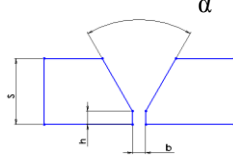
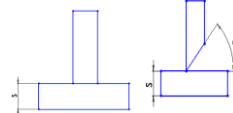

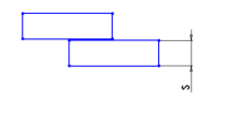
Kullanılan malzeme türüne bağlı olarak farklı kaynak yöntemleri kullanılmaktadır. Bu çalışmada kaynak uygulaması dört farklı malzeme için gerçekleştirilecektir. Bu malzemeler; karbonlu çelik, alaşımlı çelik, paslanmaz çelik ve alüminyumdur.

#### 4.3.2. Kaynak ağız formları

Kaynak tasarımında yaygın olarak uygulanan birleştirme türleri, alın, iç köşe, dış köşe ve bindirme kaynağı olmak üzere dört gruba ayrılabilir. Kaynakla birleştirilecek parçalarda, kaynak bağlantısının kesit boyuna, gereken derinlikte işleyebilmesi için, iş parçasına uygun kaynak ağız açılması gereklidir. Kaynak ağzının genel biçimleri çeşitli standartlar ile saptanmıştır. Ülkemizde, bu konuda TS 3473 standardı geçerlidir ve bu standartta eritme kaynak yöntemlerinde kullanılması gereken ağız biçimleri detaylı bir şekilde belirlenmiştir.

Tablo 4.8.'de TS 3473 standardı göz önüne alınarak, en çok kullanılan kaynak ağız formları, malzeme kalınlığı(s) parametresine bağlı olarak, kaynak ağız formu ve kaynatılacak iş parçaları arasında bırakılması gereken(b) mesafesi ve bu mesafenin hesaplanmasına dair sınır değerleri verilmiştir.

Tablo 4.8. Kaynak ağız formlarında boyutların belirlenmesi (Geometrik Model)

Kod	Ağız Formu	Şematik Gösterimi	$\alpha$	b	Açıklama
KA(1)	Düz kaynak		0	0	
KA(2)	Alın kaynağı		0	$s \leq 3$ ise $b=0,5$ mm $3 < s \leq 8$ ise $b=2$ mm $8 < s \leq 20$ ise $b=3$ mm $s > 20$ ise $b=4$ mm	$s > 8$ mm ise alın kaynağı tavsiye edilmez, v kaynak ağızı önerilir.
KA(3)	V kaynağı		60 (çelik için) 70 (Al için)	$s \leq 8$ ise $b=0$ mm $s > 8$ ise $b=2$ mm	$s > 8$ ise $h=3$ mm ( $h$ = taban yük.) $S < 8$ ise v kaynak ağızı tavsiye edilmez, alın kaynak ağızı önerilir.
KA(4)	İç köşe		0 60	$s \leq 8$ ise $b=0$ mm $s > 8$ ise $b=0$ mm	
KA(5)	Dış köşe		0	0	
KA(6)	Bindirme		0	0	
<p><math>s</math>=parça kalınlığı  <math>b</math>=iki parça arasındaki alt boşluk  <math>\alpha</math>= V kaynak ağızı için ideal açı değeri  KA(1) [Kaynak Ağızı (1)] = düz kaynak</p>					



### 4.3.3. Tel çapının seçimi

Tel çapı, kaynak işlemi sırasında dikkate alınması gereken önemli parametrelerden bir diğeridir. Günümüz endüstrisinde, elektrod seçimini kolaylaştırmak gayesi ile çeşitli standartlar hazırlanmış ve özellikler sınıflandırılmıştır, gereksinimleri karşılayacak ve esas metal ile en iyi uyumu sağlayarak en iyi sonuçları verecek türde çok çeşitli tel ve özlü tel elektrodlar üretilmektedir. Anık, (1994)

Elektrot seçiminde, parça kalınlığı arttıkça elektrot çapının artacağı bilinen bir gerçektir. Örneğin dış köşe kaynağında parça ne kadar kalın olursa olsun pozisyon itibarı ile parçaların köşeleri karşılıklı olarak aynı hizaya getirilmelidir. Aksi takdirde parça kenarları eriyebilir. Megep, (2006) Malzeme kalınlığına ve kaynak ağzı formuna göre tel çapı değişmektedir. Tablo 4.9.'da parça kalınlığına bağlı olarak elektrot çekirdek çapı değerleri belirlenmiştir.

Tablo 4.9. Parça kalınlığına göre program tarafından önerilen elektrot çekirdek çapı değerleri

Parça kalınlığı (S)	Tel çapı (d)	Birim
$S \leq 6$	0,80	mm
$6 < S \leq 14$	1,00	mm
$14 < S \leq 20$	1,20	mm
$S > 20$	1,60	mm

### 4.3.4. Kaynak akımının belirlenmesi

Kaynak yaparken, çalışma gerilimine karşı gelen akım şiddetine kaynak akımı denir. Kaynak akım üreticine bağlanan akım ve toprak kablolarının uçlarında kutuplar belirlenir. Torç ve toprağına bağlı uçlar hazırlanır, elektrot penseye takılır ve elektrot parçaya temas ettiği anda ark oluşur ve dolayısıyla sürekli bir akım döngüsü devam eder. Anık (1993)

Kaynak akımı kaynakçı tarafından uygulama öncesinde hazırlanır. Kaynak uygulaması süresince kaynak akımı değeri (ayar) değişmez. Fakat kaynak uygulamasının durumuna göre ark kesilerek akım arttırılabilir veya azaltılabilir.

Akım şiddetinin optimum bir sınırı vardır. Bu sınırın üzerine çıkıldığında malzeme de deformasyonlar (delinme, çarpılma, büzülme v.b.) oluşabilir. Buna ilaveten ark bölgesinde aşırı derecede parlaklık ve sıçramalar oluşur. Dolayısıyla, ark boyu kontrolsüz olarak artar. Akım şiddeti optimum değerinin altında olduğunda, yeterli ergime olmayacağından elektrot malzemeye yapışabilir, ya da çok kısa ark boyu oluşur. Parça kalınlığına (s) bağlı olarak kaynak akımının (I) belirlenmesi ile ilgili sınır değerleri Tablo 4.10.'da verilmiştir.

Tablo 4.10. Parça kalınlığına (s) bağlı kaynak akımı (I) değerleri.

Parça kalınlığı (S)	Kaynak akımı (I)	Kaynağın durumu
S≤6	0<I<100	elektrot malzemeye yapışacak
	100<I<90	ideal kaynak
	90<I<350	kademeli olarak malzemede erime ve çarpılma olacak
3<S≤8	0<I≤60	elektrot malzemeye yapışacak
	60<I≤80	yetersiz nufuziyet
	80<I≤110	ideal kaynak
	110<I<350	kademeli olarak malzemede erime ve çarpılma olacak
8<S≤20	0<I≤60	elektrot malzemeye yapışacak
	60<I≤90	yetersiz nufuziyet
	90<I≤130	ideal kaynak
	130<I<350	kademeli olarak malzemede erime ve çarpılma olacak
S>20	0<I≤80	elektrot malzemeye yapışacak
	80<I≤120	yetersiz nufuziyet
	120<I≤150	ideal kaynak
	150<I<350	kademeli olarak malzemede erime ve çarpılma olacak

#### 4.3.5. Kaynak hızı

Kaynak hızı, kaynak arkının iş parçası boyunca olan hareketi ya da birim zamanda yapılan kaynak dikişi boyu olarak bilinmektedir. Kaynak işlemi esnasında hız yavaş olduğu zaman birim boya yığılan kaynak metali artar ve bu da sonuçta kaynak banyosunun büyümesine sebep olur. Kaynak metalinin büyümesi ve ısı girdisinin artmasıyla akışkan hale gelen sıvı metal kaynak ağzı içinde arkın önüne doğru akar, düzgün ark oluşumunu etkiler. Hızın artması birim boya verilen kaynak ısısının azalmasına ve dolayısıyla da ana metalin ergiyen miktarının azalmasına neden olur, bu da kaynak dikişi ıslatmasını olumsuz yönde etkiler. Parça kalınlığına(s), kaynak akımı(I) ve elektrot çapına(d) göre belirlenen kaynak hızları Tablo 4.11.'de verilmiştir.

Tablo 4.11. Parça kalınlığına(s), kaynak akımı(I) ve elektrod çapına(d) göre kaynak hızları

Parça kalınlığı (S)	Kaynak hızı ( $V_k$ ), mm/sn	Kaynak akımı (I)
$S \leq 6$	6,50	$100 < I < 150$
$6 > 3 \leq 14$	6,50	$160 < I \leq 240$
$14 > 3 \leq 20$	6,50	$200 < I \leq 280$
$S > 20$	6,50	$230 < I \leq 320$

#### 4.3.6. Ark boyu

Ark boyu tel iş parçası ile kontak meme arasındadır. Genellikle tel çapının 15 katı kadardır. Aşağıdaki formül ile belirlenir.

$$\text{Ark Boyu} = d * 15 \quad (4.4)$$

Tablo 4.12.'de ark boyunun uzaklaşması ve yaklaşması durumundaki değişiklikler verilmiştir.

Tablo 4.12. Ark boyunun uzaklaşması ve yaklaşması durumundaki değişiklikler

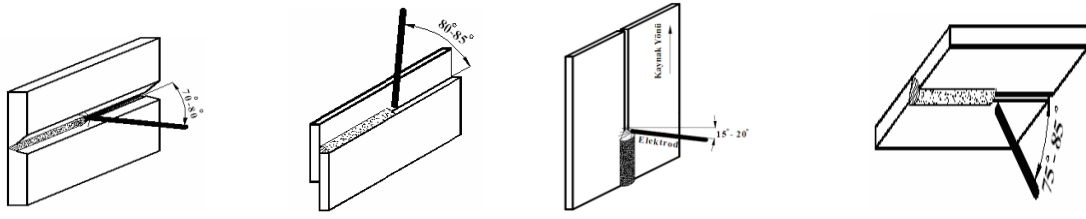
	Ark boyunun uzaklaşması durumunda	Ark boyunun yaklaşması durumunda
Ark boyu (a)	d x 22	d x 8
Üfleme	Artar	Azalı
Kaynak metali yüksekliği	Azalı	Artar
Kaynak dikişliği	Artar	Azalı
Patlama ve Sıçramalar	Artar	Azalı
Işık Şiddeti	Artar	Azalı

#### 4.3.7. Elektrot İlerleme açısı

Erimiş metal, tüm kaynak işlemi boyunca ark yoluyla transfer edilir ve kaynakçı arkı bağlantı yüzeylerinde erime oluşacak şekilde yönlendirmelidir. Torcun, kaynağın ilerleme yönü ile yapacağı açı çoğu zaman  $70^{\circ}$  ile  $80^{\circ}$  arasında olmakla beraber elektrot tipi ve birleşme şekline göre  $60^{\circ}$  ile  $90^{\circ}$  arasında da değişebilir. Tablo 4.13’de kaynak pozisyonuna bağlı olarak ideal ilerleme açı değerleri ve toleransları verilmiştir. İlerleme açısı değerleri ilerleme yönüne göre verilmiştir. Şekil 4.3.’de ise Kaynak pozisyonu bağlı ilerleme açılarının şematik gösterimi verilmiştir. Toleransların altına düşülmesi durumunda; kaynak dikiş formu değişir, çizgisel kavisler (yaylar) çok azalı, kenarlarda yanma olukları görülür, nüfuziyet azalı. Toleransların üstüne çıkılması durumunda ise; kaynak dikiş formu değişir, ark üfleme gerçekleşir ( $50^{\circ}$  nin altında gerçekleşir), kenar yenmeleri oluşur.

Tablo 4.13. Kaynak pozisyonuna bağlı olarak ideal ilerleme açı değerleri ve toleransları

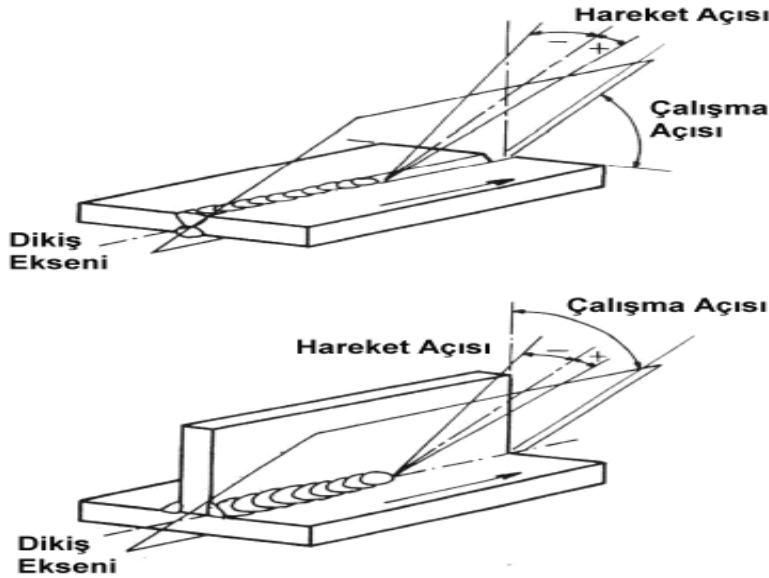
Kaynak pozisyonu	İlerleme açısı	Tolerans
Düz kaynak	75	$\pm 5^{\circ}$
Korniş kaynağı	75	$\pm 5^{\circ}$
Düşey kaynak	105	$\pm 5^{\circ}$
Tavan kaynağı	75	$\pm 5^{\circ}$



Şekil 4.3. Kaynak pozisyonu bağlı ilerleme açılarının şematik gösterimi

#### 4.3.8. Elektrot salınım açısı ve hareketi

Salınım açısı; kaynak dikişinin yüzey genişliğini doğrudan etkileyen parametredir. Salınım açısı arttığında dikiş genişliği artar, azaldığında ise dikiş genişliği azalır. Genişlik, elektrot çekirdek çapına bağlı olarak değişir. Kaynak dikiş genişliği =  $d \times 6,5$  tolerans  $\pm\%20$ ). Salınım açısı formül (4.5)'de, salınım açısının şematik gösterimi ise Şekil 4.4.'de verilmiştir. Salınım açısı ( hareket açısı) " $\beta$ " ile gösterilmektedir.



Şekil 4.4. Salınım açısının şematik gösterimi Anık (1991)

$$\beta = 5^\circ \pm 2,5$$

(4.5)

### 4.3.9. Kaynak hacminin hesaplanması

Kaynak dikişinin, programda form yapısını oluştururken, yazılımda kullanılacak hacim aşağıdaki formül ile hesaplanacaktır.

$$H = \frac{\pi \times d^2}{4} \times h \times t \quad (4.6)$$

Denklemden verilen parametreler sırası ile;

d= tel çapı

h = 1 sn'de eriyen tel boyu (27 mm)

H = 1 sn'de elde edilen kaynak hacmi

t = zaman (sn)

V= ilerleme hızı mm/sn (bkz. Kaynak hızı)

Kaynak uygulamalarında, tel besleme hızı manuel olarak ayarlanmaktadır. Parça kalınlığına göre bu değerlerde ortalama  $\pm\%10$  civarında değişiklik gösterse de, bu çalışmada değer 27 mm olarak kabul edilmiştir. Tablo 4.14.'de farklı tel çaplarına bağlı olarak 1 sn'de eriyen tel boyları görülmektedir.

Tablo 4.14. Tel çekirdek çapına bağlı 1 saniyede eriyen tel boyları

D (mm) tel çekirdek çapı	h (mm) 1 sn'de eriyen tel boyu
0,8	27
1,00	27
1,20	27
1,60	27

#### 4.4. TIG Kaynağı Parametrelerinin Belirlenmesi

Bu bölümde, TIG kaynak yöntemi için kaynak parametreleri belirlenmiştir. Kaynak parametrelerinin belirlenmesinde ulusal ve uluslar arası standartlar ile gerçek kaynak uygulamalarından elde edilen deneyimler dikkate alınmıştır.

##### 4.4.1. Malzeme türü

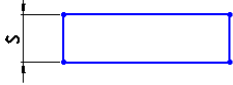
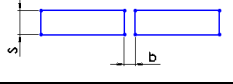
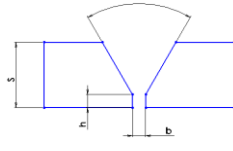
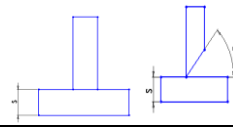
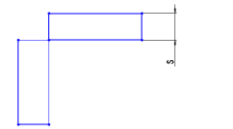
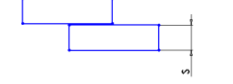
TIG kaynak uygulaması dört farklı malzeme kullanılarak gerçekleştirilecektir. Bu malzemeler; karbonlu çelik, alaşımlı çelik, paslanmaz çelik ve alüminyumdur.

##### 4.4.2. Kaynak ağızı formları

Kaynak tasarımında yaygın olarak uygulanan birleştirme türleri alın, iç köşe, dış köşe ve bindirme olmak üzere dört gruba ayrılabilir. Kaynakla birleştirilecek parçalarda, iyi bir nüfuziyet sağlanabilmesi için, parça kalınlığına bağlı olarak uygun kaynak ağızı açılması gerekmektedir. Kaynak ağzının genel biçimleri çeşitli standartlar ile belirlenmiştir. Ülkemizde, bu konuda TS 3473 standardı geçerlidir ve bu standartta eritme kaynak yöntemlerinde kullanılması gereken ağız biçimleri detaylı bir şekilde verilmiştir.

Tablo 4.15.'de TS 3473 standardı göz önüne alınarak, en çok kullanılan kaynak ağızı formları, malzeme kalınlığı(s) parametresine bağlı olarak, kaynak ağızı formu ve kaynatılacak iş parçaları arasında bırakılması gereken(b) mesafesi ve bu mesafenin hesaplanmasına dair sınır değerleri verilmiştir Anık (2001)

Tablo 4.15. Kaynak ağızı formlarında boyutların belirlenmesi

Kod	Ağız Formu	Şematik Gösterimi	$\alpha$	b	Açıklama
KA(1)	Düz kaynak		0	0	
KA(2)	Alın kaynağı		0	$s \leq 3$ ise $b=0,5$ mm $3 < s \leq 8$ ise $b=2$ mm $8 < s \leq 20$ ise $b=3$ mm $s > 20$ ise $b=4$ mm	$s > 8$ mm ise alın kaynağı tavsiye edilmez, v kaynak ağızı önerilir.
KA(3)	V kaynağı		60 (çelik için) 70 (Al için)	$s \leq 8$ ise $b=0$ mm $s > 8$ ise $b=2$ mm	$s > 8$ ise $h=3$ mm (h= taban yük.) $S < 8$ ise v kaynak ağızı tavsiye edilmez, alın kaynak ağızı önerilir.
KA(4)	İç köşe		0 60	$s \leq 8$ ise $b=0$ mm $s > 8$ ise $b=0$ mm	
KA(5)	Dış köşe		0	0	
KA(6)	Bindirme		0	0	
<p><math>s</math>=parça kalınlığı  <math>b</math>=iki parça arasındaki alt boşluk  <math>\alpha</math>= V kaynak ağızı için ideal açı değeri  KA(1) [Kaynak Ağızı (1)] = düz kaynak</p>					

#### 4.4.3. Tel çapının seçimi

TIG kaynağında kullanılan elektrotlar saf tungsten veya tungstenin toryum ve zirkonyum ile alaşımlandırılmasıyla elde edilir. Alaşımlamayla üretilen bu elektrotlar iyi bir emisyon sağlar, % 25 daha yüksek akım şiddetiyle yüklenebilir, ömürleri daha uzundur. Ergimiş metalle temasta sıçrama ve buharlaşma daha az olur. Tel seçiminde; malzeme türü, kaynak pozisyonu, kaynak akımı, kaynak ağızı formu ve en önemlisi de kaynatılacak parçaların kalınlığı dikkate alınır. Kaynak atılan parçalara verilen ısı elektrot ucunun formuna bağlıdır. Buna bağlı olarak dikiş formu da değişmektedir. Elektrot ucunun dairesel olması halinde (alüminyum hariç); nüfuziyet



az, genişliği fazla bir dikiş olur. Konik uçlu elektrotla genişliği az ve nüfuziyet'i fazla olan dikişler elde edilir. Malzeme kalınlığına ve kaynak ağzı formuna göre tel çapı değişmektedir. TIG kaynağı uygulamalarında en çok kullanılan elektrotlar; çekirdek çapı 0.50, 1.00, 1.60, 2.40, 3.20, 4.00, 4.80, ve 6.40 mm olanlarıdır. Tablo 4.16'da parça kalınlığına bağlı olarak tungsten elektrot ve ilave tel çapı değerleri belirlenmiştir Kaluç (2004)

Tablo 4.16. Parça kalınlığına göre program tarafından önerilen tel çekirdek çapı değerleri

Parça kalınlığı (S)	Tungsten elektrot çapı (d) mm	İlave tel çapı
$S \leq 1$	0,50	---
$S \leq 2$	1,00	---
$2 < S \leq 4$	1,60	2
$4 < S \leq 8$	2,40	3
$8 < S \leq 12$	3,20	4
$12 < S \leq 16$	4,00	4
$16 < S \leq 20$	4,80	5
$S > 20$	6,40	5

#### 4.4.4. Kaynak akımının belirlenmesi

Akım şiddeti, diğer ark kaynak yöntemlerinde olduğu gibi, her şeyden önce nüfuziyet derinliğini etkiler. Ayarlanan akım şiddeti bu nedenle kaynak edilen parça kalınlığına uygun olmalıdır. Parça kalınlığının her mm'si için gerekli akım şiddeti aşağıdaki gibi hesaplanabilir: Çelik ve alüminyum malzemeler için ortalama kaynak akımı değerleri aşağıda verilmiştir. Fakat parça kalınlığına göre kaynak akımı değeri değişkenlik gösterebilmektedir. Parça kalınlığına (s) bağlı olarak kaynak akımının (I) belirlenmesi ile ilgili sınır değerleri Tablo 4.17'de verilmiştir Kaluç (2004)

Tablo 4.17. Parça kalınlığına (s) bağlı kaynak akımı (I) değerleri.

Parça kalınlığı (S)	Kaynak akımı (I)	Kaynağın durumu
$S \leq 1$	$0 < I \leq 5$	Malzemede kaynak banyosu oluşmayacaktır
	$5 < I \leq 15$	ideal kaynak
	$15 < I \leq 20$	kademeli olarak malzemede erime ve çarpılma olacak
$1 < S \leq 2$	$5 < I \leq 10$	Malzemede kaynak banyosu oluşmayacaktır
	$10 < I \leq 60$	ideal kaynak
	$60 < I \leq 80$	kademeli olarak malzemede erime ve çarpılma olacak
$2 < S \leq 4$	$30 < I \leq 50$	tel malzemeye yapışacak
	$50 < I \leq 100$	ideal kaynak
	$100 < I \leq 140$	kademeli olarak malzemede erime ve çarpılma olacak
$4 < S \leq 8$	$60 < I \leq 100$	tel malzemeye yapışacak
	$100 < I \leq 160$	ideal kaynak
	$160 < I \leq 200$	kademeli olarak malzemede erime ve çarpılma olacak
$8 < S \leq 12$	$80 < I \leq 150$	tel malzemeye yapışacak
	$150 < I \leq 210$	ideal kaynak
	$210 < I \leq 275$	kademeli olarak malzemede erime ve çarpılma olacak
$12 < S \leq 16$	$100 < I \leq 200$	tel malzemeye yapışacak
	$200 < I \leq 275$	ideal kaynak
	$275 < I \leq 350$	kademeli olarak malzemede erime ve çarpılma olacak
$16 < S \leq 20$	$180 < I \leq 250$	tel malzemeye yapışacak
	$250 < I \leq 350$	ideal kaynak
	$350 < I \leq 425$	kademeli olarak malzemede erime ve çarpılma olacak
$S > 20$	$250 < I \leq 325$	tel malzemeye yapışacak
	$325 < I \leq 425$	ideal kaynak
	$425 < I \leq 500$	kademeli olarak malzemede erime ve çarpılma olacak

#### 4.4.5. Kaynak hızı

Kaynak hızı, kaynak arkının iş parçası boyunca olan hareketi ya da birim zamanda yapılan kaynak dikişi boyu olarak bilinmektedir. Kaynak işlemi esnasında hız yavaş olduğu zaman birim boya yığılan kaynak metali artar ve bu da sonuçta kaynak banyosunun büyümesine sebep olur. Kaynak metalinin büyümesi ve ısı girdisinin artmasıyla akışkan hale gelen sıvı metal kaynak ağzı içinde arkın önüne doğru akar, düzgün ark oluşumunu etkiler. Hızın artması birim boya verilen kaynak ısısının azalmasına ve dolayısıyla da ana metalin ergiyen miktarının azalmasına neden olur, bu da kaynak dikişi ıslatmasını olumsuz yönde etkiler Durgutlu, (1997), Ertürk, (2001). Parça kalınlığına ( $s$ ), kaynak akımı ( $I$ ) ve tel çapına ( $d$ ) göre belirlenen kaynak hızları Tablo 4.18’de verilmiştir.

Tablo 4.18. Parça kalınlığına ( $s$ ), kaynak akımı ( $I$ ) ve elektrod çapına ( $d$ ) göre kaynak hızları

Parça kalınlığı ( $S$ )	Kaynak hızı ( $V_k$ ), mm/sn	Kaynak akımı ( $I$ )
$S \leq 1$	4,50	$d \times 20$ amper
$1 < S \leq 2$	4,00	$d \times 35$ amper
$2 < S \leq 4$	3,50	$d \times 45$ amper
$4 < S \leq 8$	3,50	$d \times 50$ amper
$8 < S \leq 12$	3,50	$d \times 55$ amper
$12 < S \leq 16$	3,50	$d \times 55$ amper
$16 < S \leq 20$	3,50	$d \times 60$ amper
$S > 20$	3,50	$d \times 60$ amper

#### 4.4.6. Ark boyu

TIG kaynağında ark gerilimi, arkın tam bir gaz örtüsü ile korunmasının mümkün olduğu kadar kısa olması için daima çok düşük olmalıdır. Bu nedenle dikiş geometrisini etkileyen bir parametre değildir. Yine de ark geriliminin yükseltilmesi yani ark boyunun arttırılması halinde, dikiş genişliği artar ve alaşım yanması problemi azalır.

TIG kaynak yönteminde kaynağa başlarken arkın tutuşturulması, elektrodu değdirerek tutuşturulması ve yüksek frekans akımı ile arkın tutuşturulması olmak

üzere iki yöntemle sağlanır. Elektrod ile iş parçası arasında yüksek gerilim arki oluşur. Bu ark elektrod ile iş parçası arasındaki gazı iyonize ederek kaynak arkının oluşmasını sağlamaktadır. Ark boyunun uzaklaşması durumunda ark kopar. Ark boyunun yaklaşması durumunda ark boyunun yaklaşması durumunda tungsten elektrod ucu eriyerek kaynak dikişine kalıntı yapar Kaluç, (2004)

Ark boyu; tungsten elektrot ucunda oluşan arktır. Genellikle tungsten elektrot çapının 2-4 katı kadardır. Tungsten elektrot çapına bağlı olarak ark boyutları değişecektir.

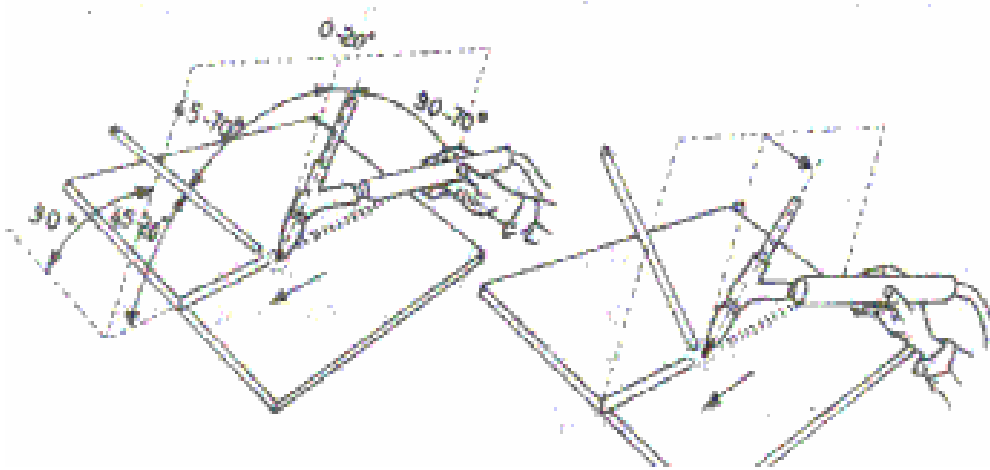
$$\text{Ark Boyu (a)} = d * 3 \quad (4.7)$$

#### 4.4.7. Torç ve ilave tel ilerleme açısı

Torcun, kaynağın ilerleme yönü ile yapacağı açı çoğu zaman  $70^{\circ}$  ile  $80^{\circ}$  arasında olmakla beraber ilave tel açısı ise  $20^{\circ}$  ile  $40^{\circ}$  arasında da değişir. Tablo 4.19'da kaynak pozisyonuna bağlı olarak ideal ilerleme açı değerleri ve toleransları verilmiştir. İlerleme açısı değerleri ilerleme yönüne göre verilmiştir. Şekil 4.5'de ise kaynak pozisyonu bağlı ilerleme açılarının şematik gösterimi verilmiştir. Toleransların altına düşülmesi durumunda; kaynak dikiş formu değişir, çizgisel kavisler (yaylar) çok azalır, nüfuziyet azalır. Toleransların üstüne çıkılması durumunda ise; kaynak dikiş formu değişir Kaluç (2004)

Tablo 4.19. Ark boyunun uzaklaşması ve yaklaşması durumundaki değişiklikler Kaluç (2004)

Kaynak pozisyonu	İlerleme açısı	İlave tel açısı	Tolerans
Düz kaynak	$75^{\circ}$	$30^{\circ}$	$\pm 5^{\circ}$
Korniş kaynağı	$75^{\circ}$	$30^{\circ}$	$\pm 5^{\circ}$
Düşey kaynak	105	$30^{\circ}$	$\pm 5^{\circ}$
Tavan kaynağı	$75^{\circ}$	$30^{\circ}$	$\pm 5^{\circ}$



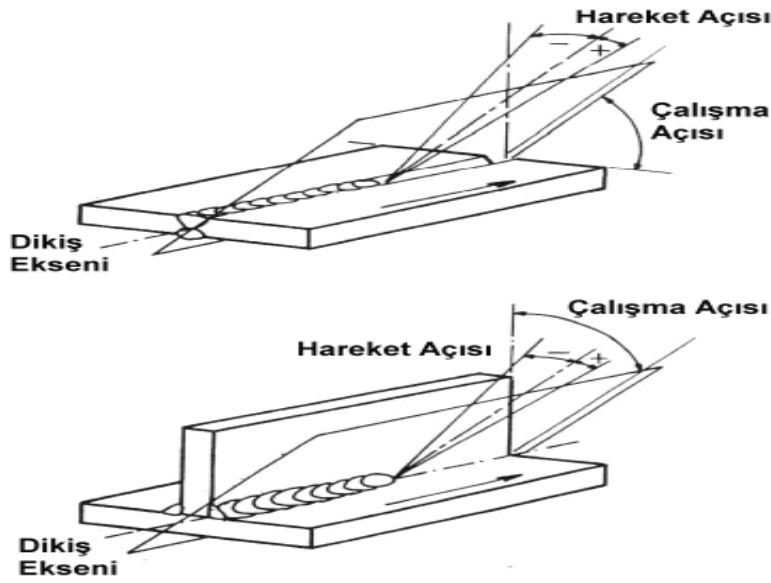
Şekil 4.5. ilerleme açısının şematik gösterimi Kaluç (2004)

#### 4.4.8. Torç salınım açısı ve hareketi

Salınım açısı; kaynak dikişinin yüzey genişliğini doğrudan etkileyen parametredir. Salınım açısı arttığında dikiş genişliği artar, azaldığında ise dikiş genişliği azalır. Genişlik, tel çekirdek çapına bağlı olarak değişir. (Kaynak dikiş genişliği =  $d \times 2,5$  tolerans %20). Salınım açısı formül (4.8)'de, salınım açısının şematik gösterimi ise Şekil 5.6.'da verilmiştir. Salınım açısı ( hareket açısı) “ $\beta$ ” ile gösterilmektedir Kaluç (2004)

$$\beta = 5^\circ \pm 2,5$$

(4.8)



Şekil 4.6. Salınım ve hareket açısının şematik gösterimi Anık (1991)

İlave tel kaynak sırasında torç hareketi dikkate alınarak yukarı aşağı hareket ettirilmek suretiyle kaynak işlemi gerçekleştirilir.

#### 4.4.9. Kaynak Hacminin Hesaplanması

Kaynak hacmi, TIG kaynağında telin 1 sn zaman içerisinde erime miktarıdır. Kaynak hacminin hesaplanmasına dair formül (4.9)'de verilmiştir. Tablo 4.20.'de tel çekirdek çapına bağlı 1 saniyede eriyen tel boyu verilmiştir.

$$H = \frac{\pi \times d^2}{4} \times h \times t \quad (4.9)$$

Denklemden verilen parametreler sırası ile;

d= tel çapı

h = 1 sn'de eriyen tel boyu (mm)

H = 1 sn'de elde edilen kaynak hacmi

t = zaman (sn)

V= ilerleme hızı mm/sn (bkz. Kaynak hızı)

Telin erime miktarı kaynak akımına ( $I = d \times 45$ ) bağı olarak değişkenlik göstermektedir. .

Tablo 4.20. Tel çekirdek çapına bağı 1 saniyede eriyen tel boyları

d (mm) tel çekirdek çapı	h (mm) 1 sn'de eriyen tel boyu
2	2,0
3	1,8
4	1,5
5	1,2

## **BÖLÜM 5. OPTİMİZASYON PROGRAMI**

### **5.1. Giriş**

Ark kaynağında kullanılan parametreler, her malzeme ve her kaynak türüne göre farklılık göstermektedir. Yani çelikte kullanılan parametre ile Alüminyumda kullanılan parametreler farklıdır. E.A.K kullanılan parametreler ile TIG de kullanılanlar farklıdır. Malzemelerin cinsi, boyutu, kaynak yöntemi, kaynak pozisyonuna göre kaynak parametreleri farklılık gösterir. Her parametreyi aklımızda tutmak veya her biri için bir belge bulundurmak zordur. Bunun için bu çalışmanın asıl amacı TÜBİTAK destekli Sanal kaynak simülatörünün temeli olan kaynak parametrelerinin bir formül veya sınır değerleri belirlenip bu formül ve sınır değerleri kullanılarak bir bilgisayar programı sayesinde diğer parametrelerin hesaplanması ve sanal kaynak simülatöründe kullanılmasıdır.

Sanal kaynak simülatörüyle ilgili bilgiler verecek olursak. İnsanoğlunun bugünkü hayat seviyesine ulaşmasını sağlayan endüstri gelişmesini borçlu olduğu imalat yöntemlerinden bir tanesi de kaynaktır. İmalat uygulama açısından günümüzde kaynak; tamir kaynağı ve imalat kaynağı olarak iki ana grup altında yapılmaktadır. Bazı hallerde aynı kaynak yöntemi her iki grupta da uygulanır.

Teknolojik gelişmelere paralel olarak kaynak tekniğinde de gelişmeler sağlanmıştır. Bu gelişmeler içinde otomatik ve yarı otomatik kaynak makineleri ile emniyetli kaynak dikişleri çekilmektedir. Yarı otomatik ve otomatik olmayan kaynak makineleri ile emniyetli kaynak dikişlerinin çekilmesi iyi yetişmiş kaynak teknisyenleri tarafından yapılabilmektedir. Bu tür kaynak işlerinde çalışan kaynak teknisyenleri çok çeşitli tür kaynak işlerini yapabilecek derecede bilgi ve tecrübeye sahip olmalıdır.



Ülkemiz sanayisinin kaynak teknisyenine olan ihtiyacı genelde Çıraklık Eğitim Merkezleri ile Endüstri Meslek Liselerinden karşılanmaktadır. Teknik bilgi ve beceriye sahip kaynak teknisyeninin yetiştirilmesi uzun süreler alır ve pahalıdır. Kaynak eğitiminin ilk aşamasında teknolojik bilgi birikimleri paralelinde el becerilerini geliştirmek amacı ile temrin parçaları üzerinde kaynak dikişleri çekilerek yapılır. Yapılan bu temrin parçaları eğitim amaçlı olduğundan herhangi bir iş parçası olarak kullanılamazlar. Yapılan temrin parçalarının maliyetleri yüksek olup bu temrinler defalarca tekrarlanarak kaynakçı el becerisi eğitimini tamamlar.

Bir ‘V’ kaynak temrin dikişi çekilmesi için üç adet elektrot ve 200 gram malzeme kullanılmaktadır. Eğitim süresince çok sayıda uygulama yapılması gerekliliği ve diğer faktörlerin de maliyeti yükselteceği göz önüne alınarak, kaynak eğitiminde ekonomiklik ve güvenilirlik ön planda tutularak, kaynak eğitiminin ilk aşamalarını simülasyon üzerinde yapılması tasarlanmıştır. Simülasyon üzerinde yapılan eğitimle, yukarıdaki ekonomik olumsuzluklar çok aza indirilir ve daha güvenli bir eğitim verilir Anık (1991)

Wu ve arkadaşları Wu (1992-1993) tarafından yapılan iki ayrı çalışmada kaynak simülatörünün eğitime katkısı incelenmiştir. Mesleki eğitimde önemli bir yer alan ve eğitimi oldukça pahalı olan kaynakçıların eğitimi geliştirilen bir kaynak simülatörü vasıtası ile araştırılmıştır. Sanal ortamda yapılan, 2 yıl süren ve 220 öğrenciye uygulanan kaynak eğitimi sonucunda ıskarta oranı azaltılarak, daha az maliyet ile ve daha kaliteli kaynakların elde edildiği rapor edilmiştir.

Ayrıca, Heston (2008) son 10 yıldır Amerika, Kanada ve Fransa’da geliştirilip kullanımı yaygınlaştırılan kaynak simülatörlerinin öğrencilerin sanal eğitimi üzerinde yaptığı olumlu etkisi üzerine bir çalışma yapmıştır. Buradaki sanal eğitimin faydası dolayısı ile, geleneksel eğitimden önce mutlaka sanal eğitimin yapılması tavsiye edilmiştir. İlaveten, ark kaynağının nümerik simülasyonu sonlu elemanlar metodu ile üç boyutlu analiz yapılarak Hamide (2008) ve gazaltı kaynağının modelleme ve simülasyonu Palani (2007) iki grup tarafından rapor edilmiştir.

Kaynak simülatörleri ile ilgili olarak çeşitli bilim adamları tarafından Denison (1984) Paton (1987), ark kaynağı ve bu kaynak yöntemi tarafından yapılan sanal kaynak eğitimi ile ilgili detayları üzerine çeşitli patentler alınmıştır. Ayrıca kaynak simülatöründe torcun hareketinin simülasyonunu sağlayan alet ile Vasiliev (1987), kaynakta spotu gösteren sistem Schow (1979) üzerine de patentler vardır.

Son yıllarda da Sakarya Üniversitesi'nde Yaşat Top tarafından "simülasyon ve temrinle ark kaynakçısı yetiştirme programı" isimli bir yüksek lisans tezi Top (1997) ve daha sonra da Top ve Fındık tarafından konu ile ilgili bir makale yayınlanmıştır Top (1998). Bu çalışmalarda, yurtdışından ithal edilen KOSGEB'deki etkileşimi zayıf bir kaynak simülatörü kullanılarak iki farklı grupta toplam 24 öğrenci üzerinde uygulama yapılmıştır. Ark kaynağı, MIG ve TIG kaynak yöntemlerini önce sanal ortamda kullanan öğrencilerin, ardından yaptıkları gerçek uygulamalarda daha başarılı oldukları, daha kaliteli kaynaklar yaptıkları ve ıskartaya çıkarttıkları parçalarda önemli azalma olduğu saptanmıştır.

Şu anda ülkemizde kaynak simülatörü yapılamamaktadır. Ancak başta Milli Eğitim Bakanlığı olmak üzere bazı eğitim kurumları sınırlı sayıda simülatörü çok pahalı fiyatlar ile yurt dışından ithal etmekte ve bu oldukça önemli döviz kaybına sebep olmaktadır. Ayrıca ithal edilen simülatörlerde servis, bakım ve onarım ile ilgili sıkıntılar yaşanmaktadır. Bu proje ile başta prototip bir kaynak simülatörü geliştirilip imal edilecek ve ardından da endüstriyel bir ürün haline getirilecek ve eğitim kurumlarının önemli bir eksikliği doldurulmaya çalışılacaktır.

## 5.2. Bilgisayar programı

Bildiğimiz gibi bir bilgisayar programı yapmak için programlama dillerine ihtiyaç duyulur. Bu dillerden en popülerleri Basic, C, C++, Pascal, Java ve Assembler 'dir. Makine dili ise donanımı kontrol etmek için donanımı üreten firma tarafından tanımlanan komutlar kümesidir. Bazı programlama dilleri derleyicilere ihtiyaç duymasına karşın bazıları ise yorumlayıcılara ihtiyaç duyarlar, mesela bir c++ programını çalıştırabilmek için C++ derleyicisine ihtiyacımız varken, Perl ile yazılmış bir CGI scripti için komut yorumlayıcısına ihtiyacımız vardır. Derleyiciler

programı çalıştırmadan önce kodları makine komutlarına çevirirler fakat yorumlayıcılar bir grup kodu satır satır ya da bloklar halinde yorumlayarak çalıştırırlar. Ormar (2010)

Aslında derleyiciler de, komut yorumlayıcıları da birer bilgisayar programından başka birşey değildirler. Yani c ve c++ dilleri bir giriş bekleyen ve çıkış veren birer bilgisayar programları gibi düşünülebilir. Giriş olarak kaynak kodu veren bu programlar çıkış olarak ise makina kodu üretirler. C dili en popüler yapısal programlama dilidir. C dili Dennis Ritchie tarafından, Martin Richards ve Ken Thompson tarafından geliştirilen BCBL ve B dillerinin temelleri üzerine kuruldu. Ormar (2010)

C dili "The C Programming Language by Brian Kernighan and Dennis Ritchie" kitabıyla büyümüştür.C dili için, 1983 yılının büyük önemi vardır.Çünkü 1983 yılında ANSI standartlar komitesi C standartları için toplanmıştır.Bu standartlaşma süreci tam 6 yıl sürmüştür.Ve tabi ki şu anki standartların oluşumuna katkıda bulunan ANSI 99 standartları da diğer önemli bir gelişmedir. Ormar (2010)

C programcılar tarafından herhangi bir tür program geliştirmek için yazılmış genel amaçlı bir dildir. C ile bir düşük seviyeli sistem için program yazabileceğimiz gibi, yüksek seviyeli bir GUI(Grafik Arabirimi) tasarlamamız da mümkündür.Ve elbette kendi kütüphanemizi de C ile oluşturabiliriz.C dilinin ortaya çıkmasından bunca yıl geçmesine rağmen popülaritesini hiçbir zaman kaybetmemiştir. Günümüz programcılarını çeşitli amaçlar için programlarını geliştirirken C dili ile yazılmış kaynak kodlarını kullanırlar. Ormar (2010)

Bjarne Stroustrup 1980 yılında C++ dilini ortaya çıkarmıştır. C++ dili C temelli ve C nin bir üst kümesi olarak düşünülebilir. C++ en popüler nesne temelli programlama dilidir. C++ dilinin ilk ismi "C with Classes"(C ile sınıflar) idi. C++ dili C diline nazaran daha etkili ve güçlüdür.Ve en önemli özelliği ise C 'den farklı olarak nesne temelli bir dildir.Şu anda C++ dili ANSI ve ISO kuruluşları tarafından standartlaştırılmıştır. Bu standartların son versiyonu 1997 yılında yayınlanmıştır. Ormar (2010)

C#, güçlü, modern, nesne tabanlı ve aynı zaman type-safe(tip-güvenli) bir programlama dilidir. Aynı zamanda C#, C++ dilinin güçlülüğünü ve Visual Basic' in ise kolaylığını sağlar. Büyük olasılıkla C# dilinin çıkması Java dilinin çıkmasından bu yana programcılık adına yapılan en büyük gelişmedir. C#, C++ 'ın gücünden , Visual Basic 'in kolaylığından ve Java 'nın da özelliklerinden faydalanarak tasarlanmış bir dildir. Fakat şunu da söylemeliyiz ki, Delphi ve C++ Builder 'daki bazı özellikler şimdi C# 'da var. Ama Delphi ya da C++ Builder hiçbir zaman Visual C++ ya da Visual Basic 'in popülaritesini yakalayamamıştır. Ormar (2010)

C ve C++ programcıları için en büyük sorun, sanırım hızlı geliştirememedir. Çünkü C ve C++ programcıları çok alt seviye ile ilgilenirler. Üst seviyeye çıkmak istediklerinde ise zorlanırlar. Ama C# ile artık böyle bir dert kalmadı. Aynı ortamda ister alt seviyede isterseniz de yüksek seviyede program geliştirebilirsiniz. C# dili Microsoft tarafından geliştirilen .NET platformunun en temel ve resmi dili olarak lanse edilmiştir. C# dili Turbo Pascal derleyicisini ve Delphi 'yi oluşturan takımın lideri olan Anders Heljsberg ve Microsoft'da Visual J++ takımında çalışan Scott Wiltamuth tarafından geliştirilmiştir. Ormar (2010)

.NET framework'ünde bulunan CLR (Common Language Runtime), JVM (Java Virtual Machine)' ye, garbage collection, güvenilirlik ve JIT (Just in Time Compilation) bakımından çok benzer. Ormar (2010)

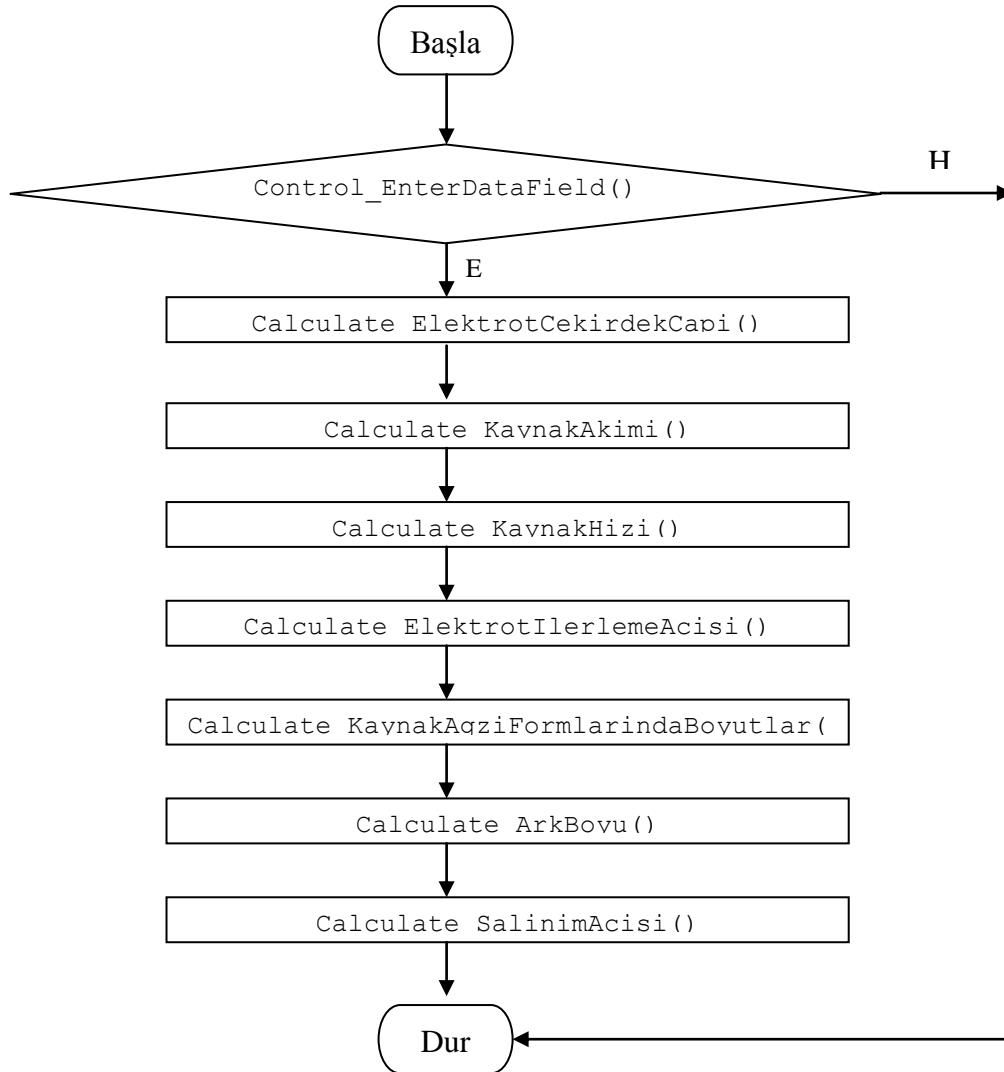
CLR, .NET Framework yapısının servis sağlama ve çalışma zamanının kod organizasyonu yapan ortamıdır. CLR, ECMA standartlarını destekler. Ormar (2010)

Kısacası C# kullanmak için CLR ve .NET Framework sınıf kütüphanesine ihtiyacımız vardır. Bu da demek oluyor ki C#, JAVA, VB ya da C++ değildir. C, C++ ve JAVA 'nın güzel özelliklerini barındıran yeni bir programlama dilidir. Sonuç olarak C# ile kod yazmak hem daha avantajlı hem daha kolay hem de etkileyicidir. Ormar (2010)

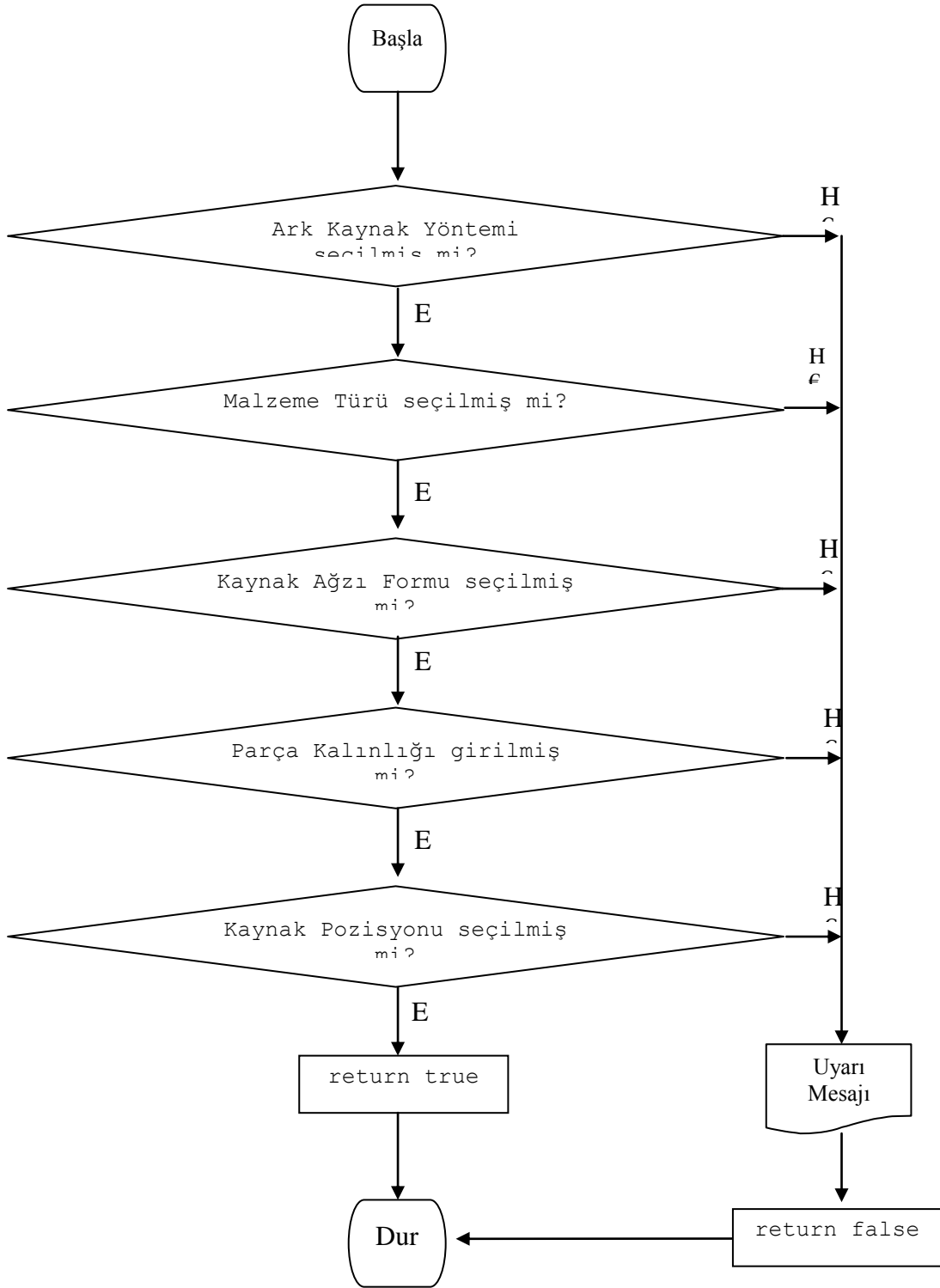
### 5.3. Sistemin Çalışma Prensibi

Sistemin çalışma prensibi ark kaynak yöntemine göre parametrelerin seçim şeklinde kısaca açıklanabilir. Sistemde ilk önce kaynak yapacağınız yöntemi seçiyorsunuz. Yani Elektrik ark kaynak yöntemimi, MIG/MAG kaynak yöntemimi yoksa TIG kaynak yöntemimi olduğunu belirliyoruz. Ondan sonraki aşama kaynatılacak malzeme seçiliyor. Burada kullanılan 4 malzeme türü belirleniyor. Bunlar Karbonlu çelik, Alaşımli çelik, Paslanmaz çelik ve Alüminyum bunlardan Alüminyum sadece Elektrik Ark kaynağında uygulamasının olmadığı için program Elektrik ark kaynağı seçildiğinde malzeme türünde Alüminyumu göstermiyor. Sonraki aşama ise kaynaklı birleştirme türü seçiliyor yani düz kaynak mı, iç köşe mi, dış köşe mi yoksa bindirme mi olduğu belirleniyor. Daha sonra malzeme kalınlığı seçiliyor. Daha sonra kaynak pozisyonu seçiliyor ondan sonra hesapla butonuna basılmak suretiyle ekrana kullanılacak bütün parametreler geliyor. İsterseniz bu parametreleri yazıcı vasıtasıyla çıktı alabiliyorsunuz.

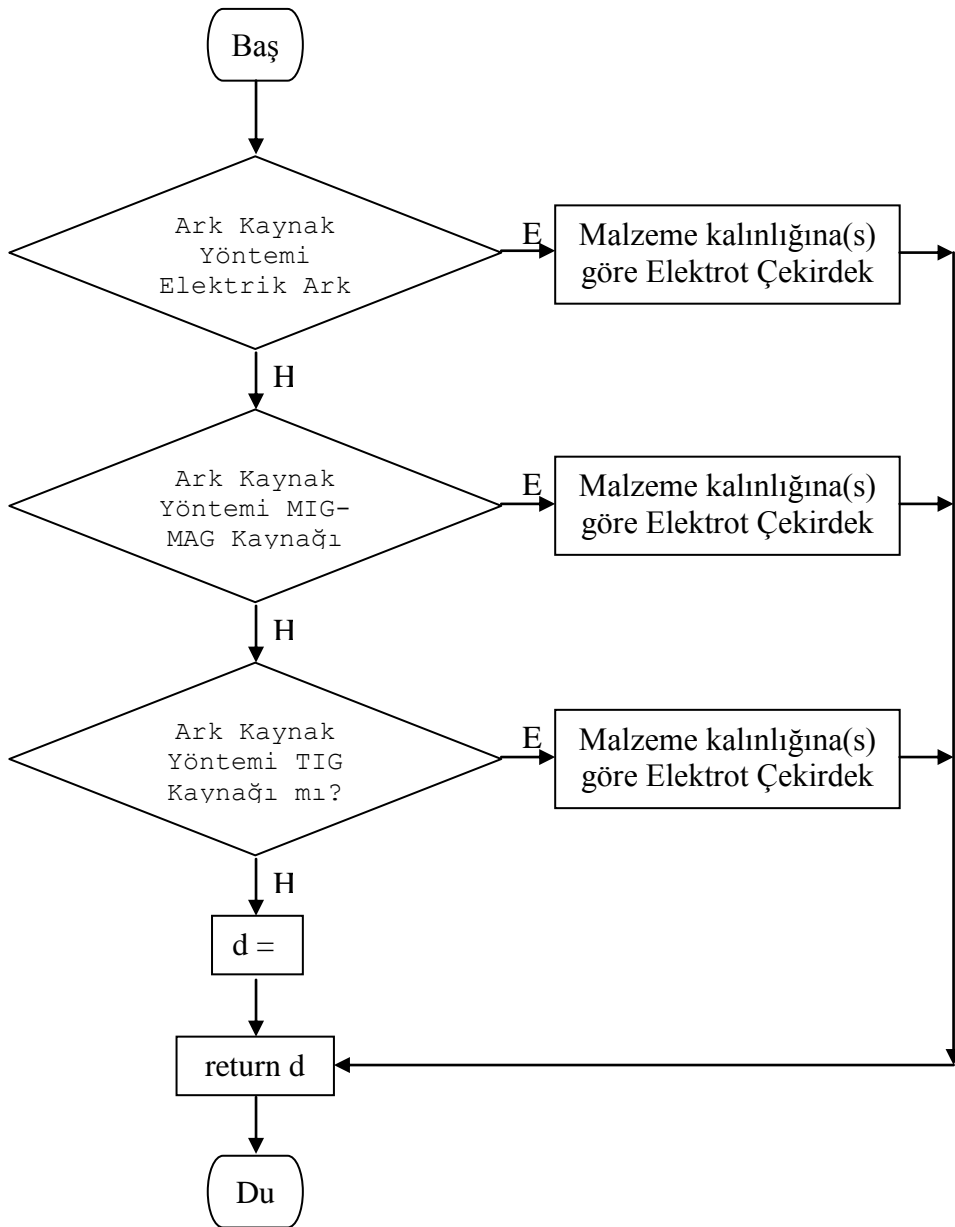
Sistemin çalışma prensibini gösteren algoritmalar Şekil 1 a, b, c, d, e, f, g, h, ı'de gösterilmiştir.



Şekil 5.1.a Programın çalışma prensibi

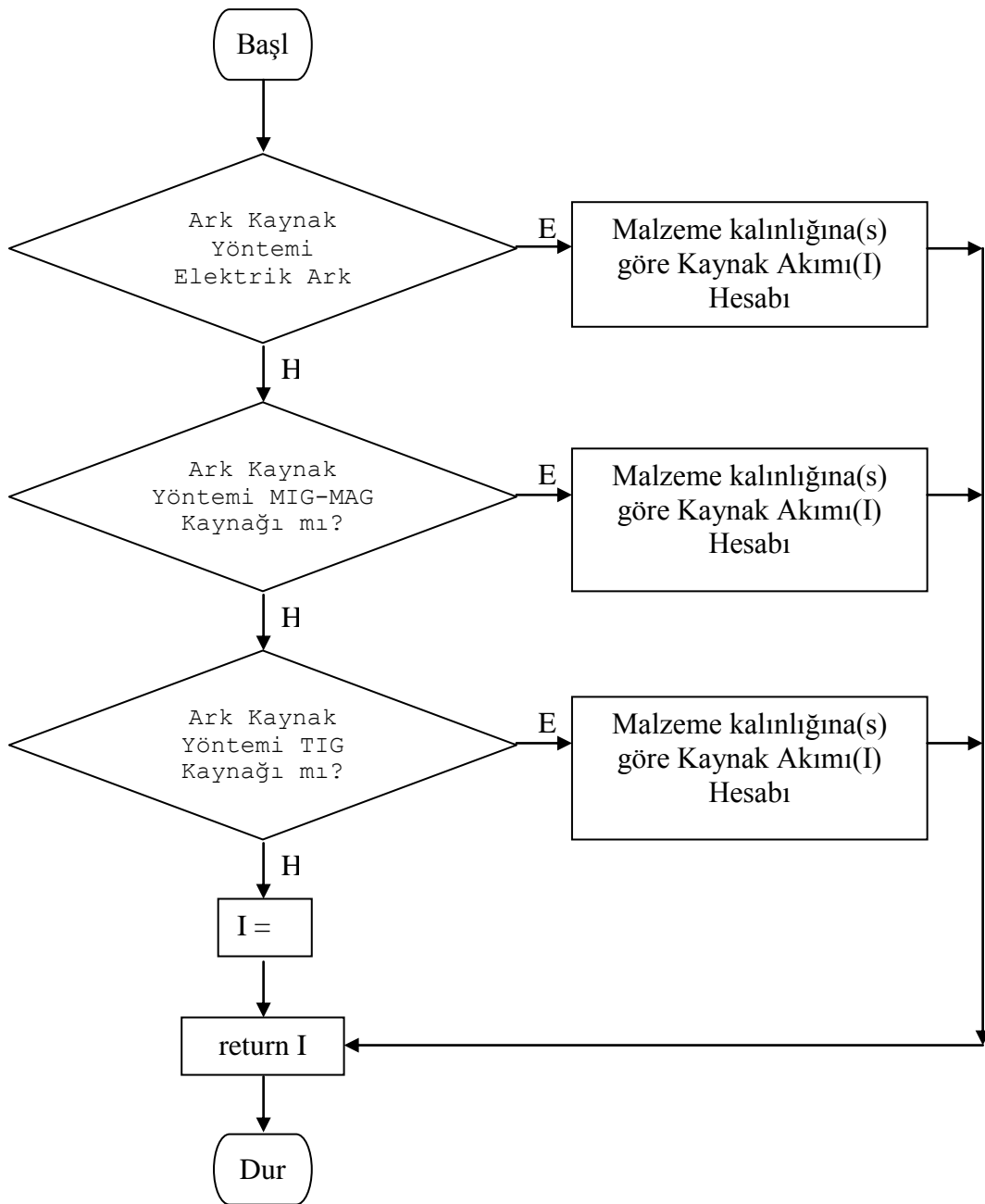


Şekil 5.1.b Programa verilen girilmesini gösteren algoritma

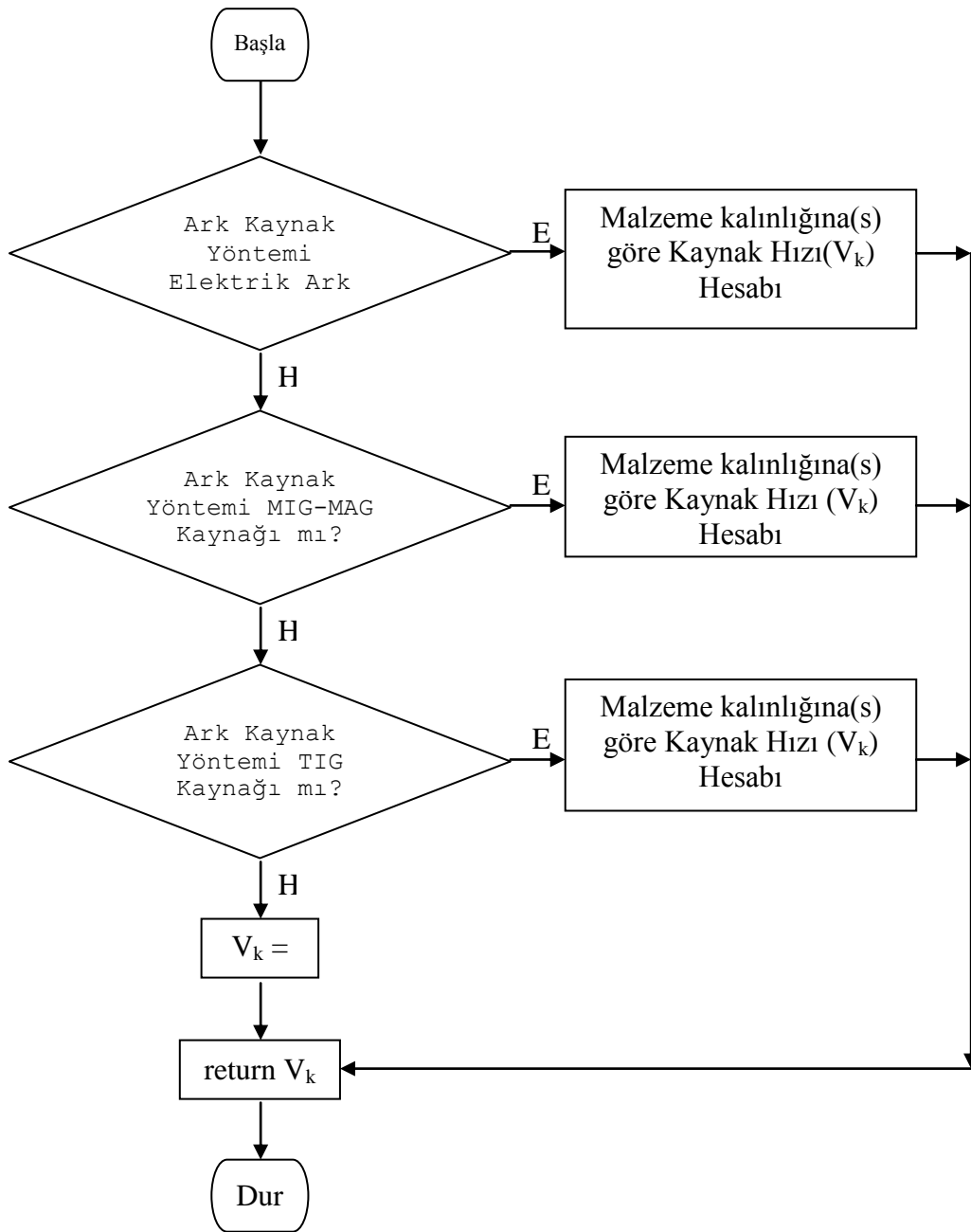


Şekil 5.1.c Elektrod çapının kontrol edildiği algoritma

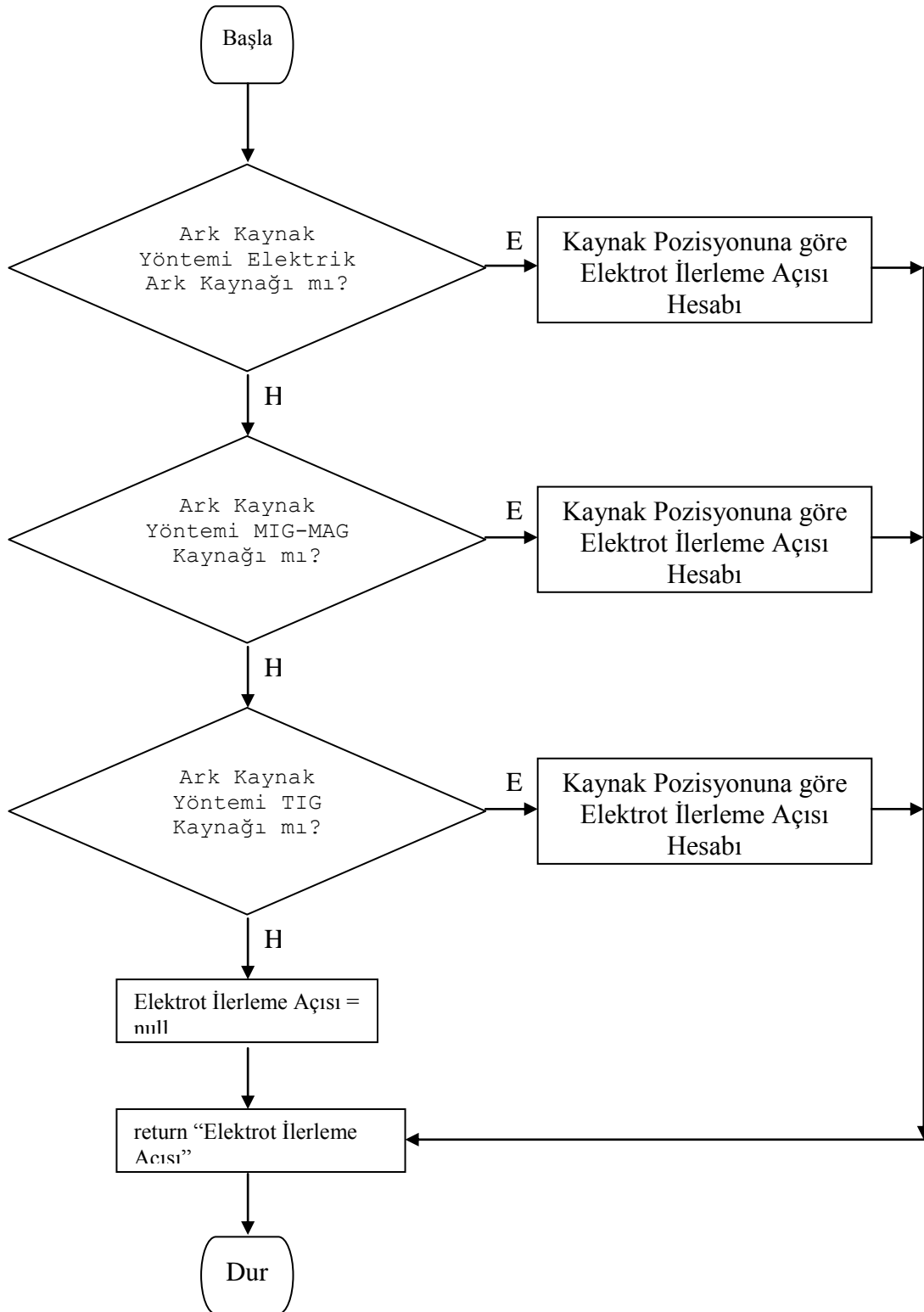




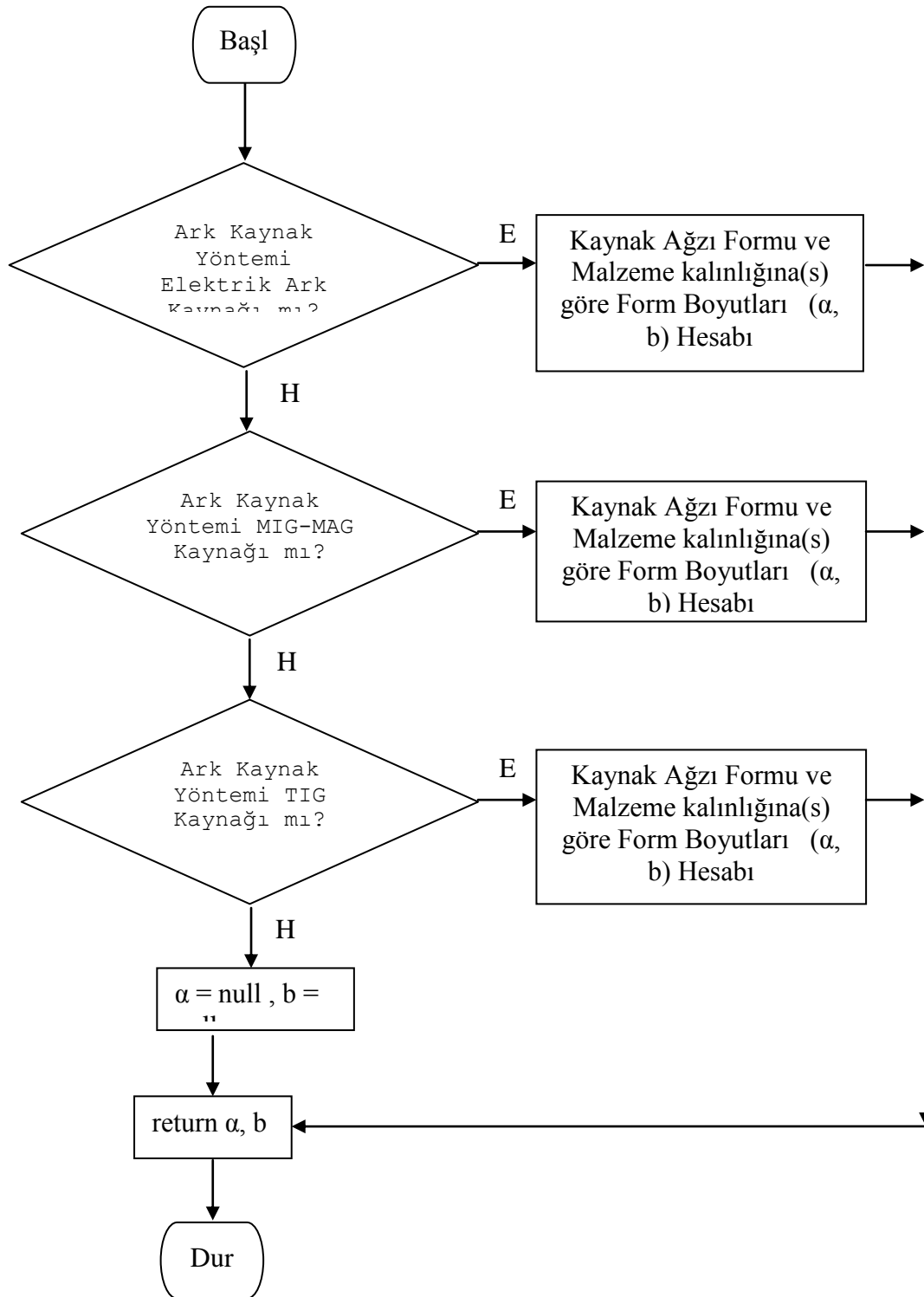
Şekil 5.1.d Kaynak yöntemi ve malzeme kalınlığına göre kaynak akımını kontrol eden algoritma



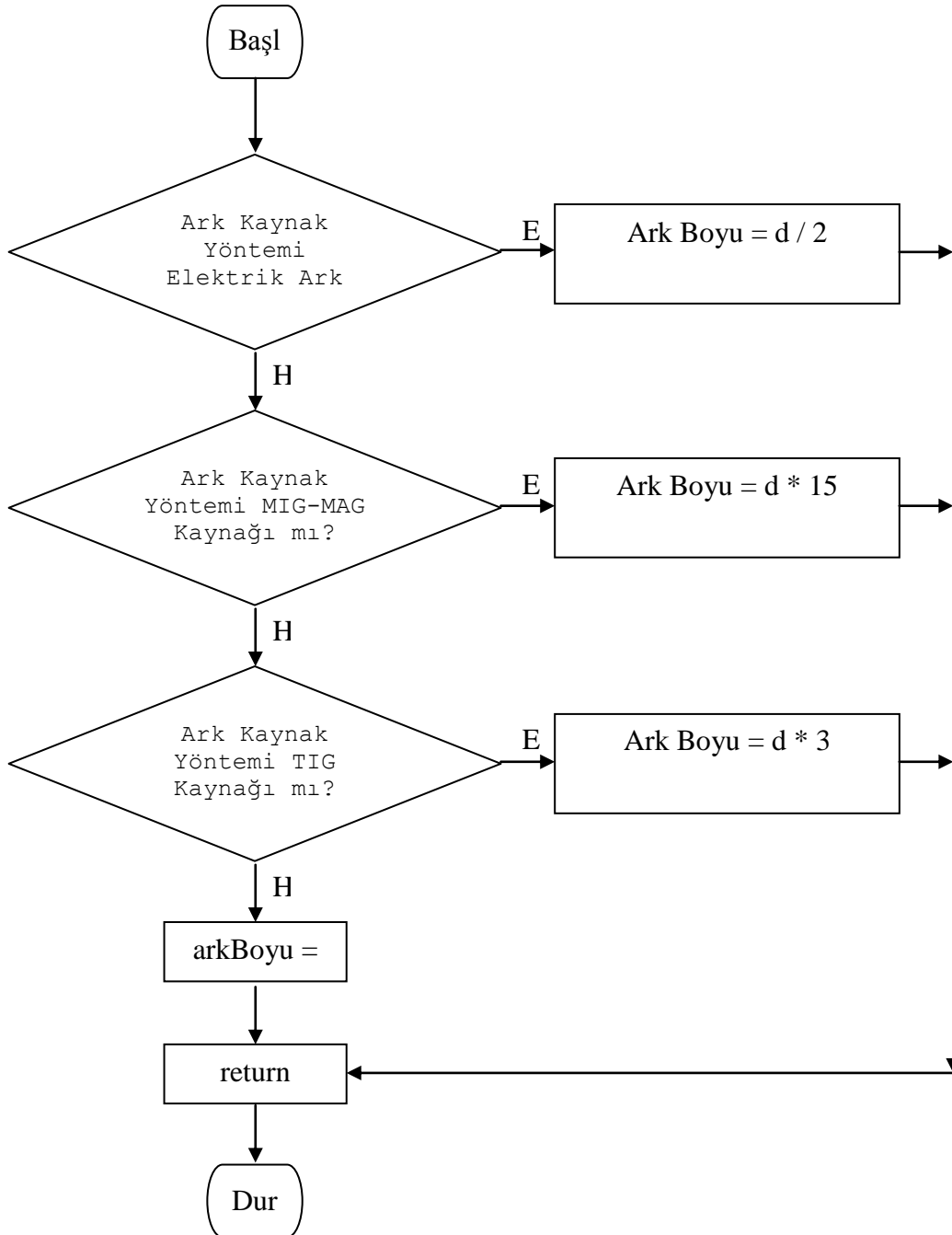
Şekil 5.1.e Kaynak yöntemi ve malzeme kalınlığına göre kaynak hızını kontrol eden algoritma



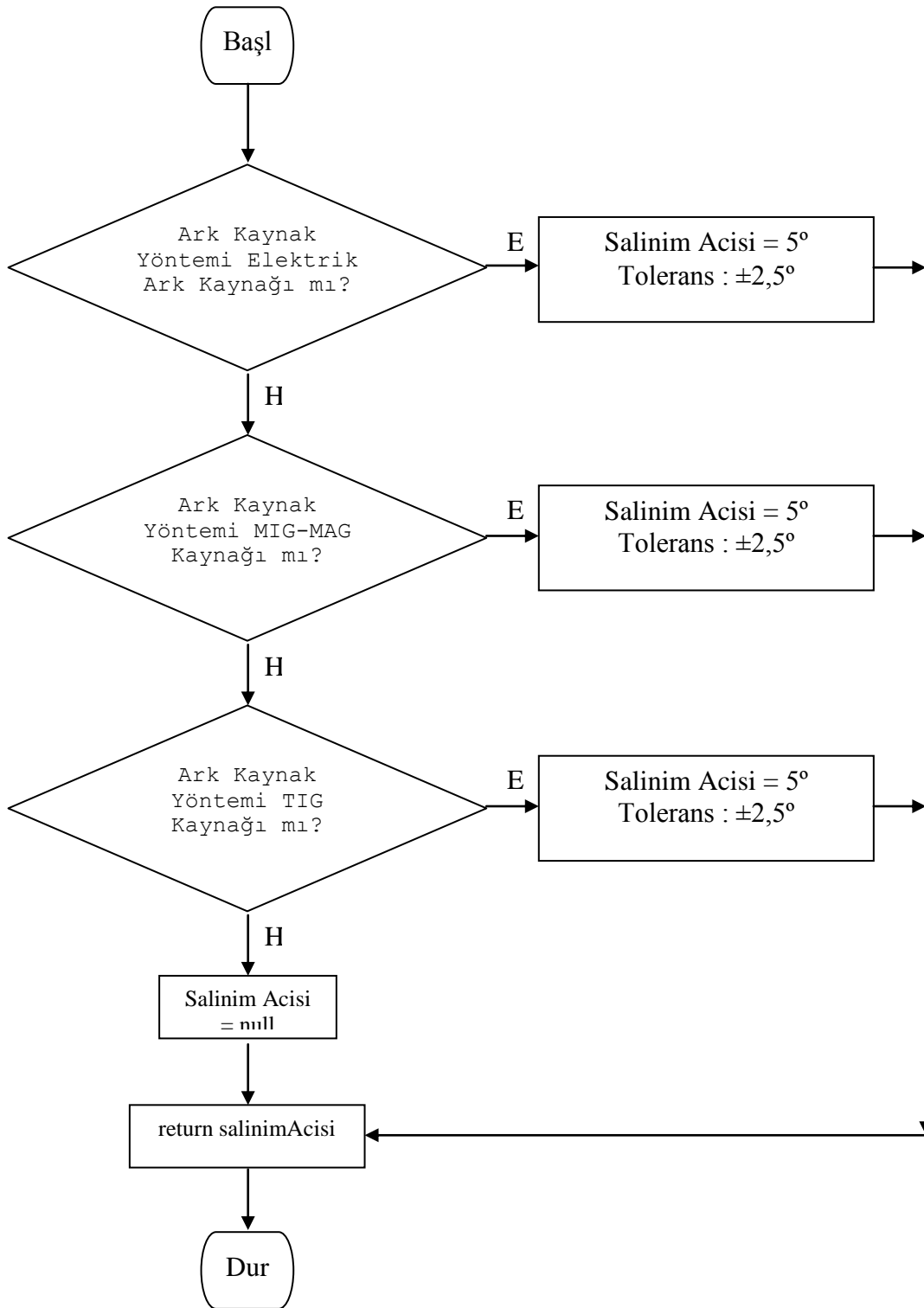
Şekil 5.1.f Kaynak yöntemi ve kaynak pozisyonuna göre ilerleme açısını kontrol eden algoritma



Şekil 5.1.g Kaynak ağız formu ve malzeme kalınlığına göre  $\alpha$  açısını ve b'yi kontrol eden algoritma



Şekil 5.1.h Ark kaynak yöntemlerine göre ark boyunu hesaplayan algoritma



Şekil 5.1.1 Ark kaynak yöntemlerine göre salinim açısını belirleyen algoritma

## 5.4. Program Ara Yüzü

Program ara yüzünde Ark kaynak yöntemi, Malzeme türü, Kaynaklı birleştirme türü, parça kalınlığı ve Kaynak yöntemi seçiliyor ve hesaplama butonuna basılmak suretiyle elektrod çapı, kaynak ağız formu, kaynak hızı, ilerleme açısı, ark boyu ve salınım açısı hesaplanıyor. Temizle butonuyla yeni veri girilerek yeni işlem yapılıyor. Yazdır butonuna basarak belirlenen parametreler yazıcıya gönderiliyor. Çıkış butonuyla da programdan çıkılıyor. Şekil 5.2.'de Ark kaynak parametrelerinin belirlenmesiyle ilgili programın ara yüzü görülmektedir.

Şekil 5.2. Ark kaynak parametrelerinin belirlenmesi ile ilgili programın ara yüzü

## 5.5. Elektrik Ark Kaynak Yöntemi için Örnek Uygulama

Elektrik ark kaynak yönetiminde malzeme türü olarak Karbonlu çelik seçiliyor. Birleştirme türü olarak düz kaynak parça kalınlığı 15 mm olarak belirleniyor ve kaynak pozisyonu da düz kaynak olarak seçildikten sonra hesaplama butonuna basılmak suretiyle parametrelerin hesaplanması sağlanıyor Şekil 5.3.'de Elektrik Ark kaynak yöntemiyle ilgili uygulama görülmektedir.

**Kaynak Parametreleri**

Ark Kaynak Yöntemi : Elektrik Ark Kaynağı

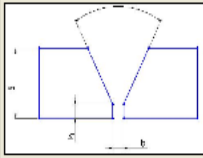
Malzeme Türü : Karbonlu Çelik

Birleştirme Türü : Düz Kaynak

Parça Kalınlığı (s) : 15

Kaynak Pozisyonu : Düz Kaynak

Hesapla Temizle Yazdır Çıkış

Ark Kaynak Yöntemi : Elektrik Ark Kaynağı	 <p>Kaynak ağızı formlarında boyutlar α: 60° b: 2mm h: 3mm</p>
Malzeme Türü : Karbonlu Çelik	
Birleştirme Türü : Düz Kaynak	
Parça Kalınlığı : 15	Kaynak Hızı : 3,50 (mm/sn) $I = d * 40$ (amper)
Kaynak Pozisyonu : Düz Kaynak	Elektrot İlerleme Açısı : 80° Tolerans: ±5°
Elektrot Çekirdek Çapı (d) : 3,25	Ark Boyu : 1,625
Kaynak Akımı (I) : $90 < I \leq 130$	Salınım Açısı : 5° Tolerans : ±2,5°

Şekil 5.3. Elektrik Ark Kaynağında karbonlu çelikte kullanılan parametre değerleri.

## 5.6. MIG/MAG Kaynak Yöntemi için Örnek Uygulama

MIG/MAG kaynak yönetiminde malzeme türü olarak Alaşımli çelik seçiliyor. Birleştirme türü olarak düz kaynak parça kalınlığı 5 mm olarak belirleniyor ve kaynak pozisyonu da düz kaynak olarak seçildikten sonra hesapla butonuna basılmak suretiyle parametrelerin hesaplanması sağlanıyor Şekil 5.4.'de MIG/MAG kaynak yöntemiyle ilgili uygulama görülmektedir.



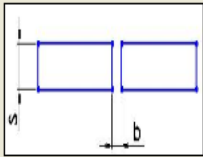
**Kaynak Parametreleri**

Ark Kaynak Yöntemi : MIG-MAG Kaynağı Parça Kalınlığı (s) : 5

Malzeme Türü : Alaşımli Çelik Kaynak Pozisyonu : Düz Kaynak

Birleştirme Türü : Düz Kaynak

Hesapla Temizle Yazdır Çıkış

Ark Kaynak Yöntemi : MIG-MAG Kaynağı	 <p>Kaynak ağızı formlarında boyutlar a: 0 b: 2mm</p>
Malzeme Türü : Alaşımli Çelik	
Birleştirme Türü : Düz Kaynak	
Parça Kalınlığı : 5	Kaynak Hızı : 6,50 (mm/sn) 100<l<150
Kaynak Pozisyonu : Düz Kaynak	Elektrot İlerleme Açısı : 75° Tolerans: ±5°
Elektrot Çekirdek Çapı (d) : 0,8	Ark Boyu : 12
Kaynak Akımı (I) : 60 < I <= 90	Salınım Açısı : 5° Tolerans : ±2,5°

Şekil 5.4. MIG/MAG Kaynağında Alaşımli çelikte kullanılan parametre değerleri.

### 5.7. TIG Kaynak Yöntemi için Örnek Uygulama

TIG kaynak yönetiminde malzeme türü olarak Alüminyum seçiliyor. Birleştirme türü olarak bindirme kaynak, parça kalınlığı 5 mm olarak belirleniyor ve kaynak pozisyonu da düz kaynak olarak seçildikten sonra hesapla butonuna basılmak suretiyle parametrelerin hesaplanması sağlanıyor Şekil 5.5.'de MIG/MAG kaynak yöntemiyle ilgili uygulama görülmektedir.

**Kaynak Parametreleri**

Ark Kaynak Yöntemi : TIG Kaynağı

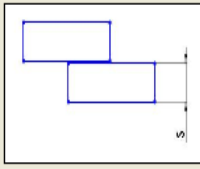
Malzeme Türü : Alüminyum

Birleştirme Türü : Bindirme

Parça Kalınlığı (s) : 5

Kaynak Pozisyonu : Düz Kaynak

Hesapla Temizle Yazdır Çıkış

Ark Kaynak Yöntemi	: TIG Kaynağı	 <p>Kaynak ağızı formlarında boyutlar α: 0 β:0</p>
Malzeme Türü	: Alüminyum	
Birleştirme Türü	: Bindirme	
Parça Kalınlığı	: 5	Kaynak Hızı : 3,50 (mm/sn) I = d * 50 (amper)
Kaynak Pozisyonu	: Düz Kaynak	Elektrot İlerleme Açısı : 75° İlave Tel Açısı: 30° Tolerans: ±5°
Elektrot Çekirdek Çapı (d)	: 2,4 İlave Tel: 3	Ark Boyu :
Kaynak Akımı (I)	: 100 < I <= 160	Salmım Açısı : 5° Tolerans : ±2,5°

Şekil 5.5. TIG Kaynağında Alüminyumda kullanılan parametre değerleri.

## **BÖLÜM 6. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER**

### **6.1. Genel Sonuçlar**

Günümüzde iş gücü ve sermaye globalleşen dünyada serbestçe dolaşması nedeniyle, işletmeler arasında büyük rekabet olmaktadır. Bu rekabetten dolayı firmalar kar oranlarını düşürmektedirler. Kar oranlarının düşmesi ise her bir malzemenin değerini artırmaktadır.. Bunun yanında firmalar giderlerini azaltma yoluna gitmişlerdir. Bunun için firmalar hatalı ürün değişimi, yada hatalı ürünü tamir etmede çok zaman ve para kaybettiğinden bunu önlemek için hatasız ve tek seferde üretme yolunu benimsemişlerdir.

Bu çalışmada sanayide en çok kullanılan ark kaynak yöntemleri olan Elektrik Ark Kaynağı, MIG/MAG ve TIG kaynağındaki parametreleri irdelenmiş ve optimum kaynak parametreleri belirlenmiştir. Bu belirlenen kaynak parametreleri hazırlanan bilgisayar yazılımı ile, seçilen kaynak yöntemi, malzeme kalınlığı ve pozisyonu belirlenerek kaynakta kullanılacak parametrelerin bilgisayar tarafından hesaplanması sağlanmıştır. Bu parametreler tablo şeklinde ekrana gelip daha sonra bir yazıcı tarafından çıktı alınarak kaynak yapacak kişiye veya eğitim verilecekse kursiyere verilerek kaynak işlemi gerçekleştirilecektir.

Sonuç olarak yazılım tarafından belirlenen bu parametreler dikkate alınarak kaynak işlemi gerçekleştirildiğinde, ideal bir kaynak elde edilecektir.

### **6.2. Öneriler**

Türkiye’de sanayi her geçen gün büyümekte ve kalifiye elmana ihtiyaç her geçen gün daha da artmaktadır. Mesleki eğitimin önemi giderek artmaktadır. Mesleki eğitimde öğrencileri yetiştirmek zaman, malzeme ve diğer giderler hesaplandığında

çok maliyetli olduğu gör÷lmektedir. Mesleki eğitimde öğrencilerin el becerilerin geliştirmede veya kaynak yöntemlerinde öğrencilerin doğru parametreleri öğrenmeleri uzun zaman almakta veya tecrübeyle öğrenilmektedir. Bu yüzden maliyetler yükselmektedir. Maliyetleri azaltmak ve zaman kaybını önlemek için bu hazırlanan yazılım geliştirilerek okullarda kullanılmaya başlanabilir. Bu çalışma TÜBİTAK tarafından desteklenen Sanal Kaynak Simülatörü isimli projenin bir parçasıdır. Bu proje kapsamında sanal kaynak simülatörü daha da geliştirilerek, malzeme israfı, zaman kaybı ve öğrenme sırasındaki iş kazaları olmaksızın, kullanıcıya el becerisi ve kaynak tecrübesi kazandırılmasını sağlayacaktır.

## KAYNAKLAR

- ANIK, S., Kaynak Tekniği El Kitabı, Gedik Eğitim Vakfı, İstanbul ( 1991).
- ANIK, S., TÜLBENTÇİ, K., KALUÇ, E., Örtülü Elektrot ile Elektrik Ark Kaynağı. İstanbul. Gedik Eğitim Vakfı, İstanbul ( 1991).
- ANIK, S., VURAL, M, . Gazaltı Ark Kaynağı (TİĞ-MİG-MAG), Gedik Eğitim Vakfı, İstanbul ( 1993).
- ANIK, S., ANIK, E.S., VURAL, M., , 1000 Soruda Kaynak Teknolojisi El, Kitabı, Cilt 1, Birsen Yayınevi, İstanbul, (1993).
- ANIK, S., VURAL, M., Gazaltı Ark Kaynağı, Gedik Eğitim Vakfı Kaynak Teknolojisi Eğitim Araştırma ve Muayene Enstitüsü, İstanbul, (1996).
- ANIK, S. VURAL, M., Kaynak ve Kesme Teknolojisinde Parametre Değer Tabloları, Birsen Yayınevi, İstanbul, (2001).
- ANIK, S., TÜLBENTÇİ, K., Kaynak Teknolojisi I, Elektrik Ark Kaynağı, Gedik Kaynak Yayınları, İstanbul, (2007).
- BENLİ, S., Kaynaklı Parçalarda Oluşan Artık Gerilmelerin İncelenmesi (Yüksek Lisan Tezi) Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, (2004).
- BİNGÜL, Z., KÜÇÜK, S., Gazaltı Kaynağında Tel Elektrod Üzerindeki Isı Transferi ve Sıcaklık Dağılımı, Kaynak Teknolojisi III. Ulusal Kongresi, İstanbul, (2001).
- DENİSON, T. G., “Arc welding simulator”, US Patent No: 4.452.589, Jun. 5, (1984).
- DURGUTLU, A., Ark kaynağı yöntemlerinde kaynak hızının mikro yapı ve nufuziyete etkisinin incelenmesi, (Yüksek Lisans Tezi), Gazi Üniversitesi, (1997).
- ER-CE,. TİG Kaynak Yöntemi, Er-Ce Makine LTD. ŐTİ., İstanbul, (1995).
- ERTÜRK, İ., MIG-MAG Kaynak Yönteminde Kaynak Parametrelerinin Sıçrama Kayıplarına Etkilerinin İncelenmesi, (Doktora Tezi), Gazi Üniversitesi, (1994).
- ERYÜREK, İ., BODUR, O., DİKİCİOğLU, A., Kaynak Teknolojisinin Esasları, Birsen Yayınevi, İstanbul (2000).
- ERYÜREK, İ., Gazaltı kaynağı, As Kaynak , İstanbul (2004).
- ERYÜREK, İ., Çelikler İçin Elektrod Seçimi, As Kaynak , İstanbul (2007).

HAMİDE, M., MASONİ, E., BELLET, M.; “Adaptive mesh technique for thermal metallurgical numerical simulation of arc welding processes”, Int. J. for Numerical Methods in Eng., 73: 624-641, (2008).

HESTON, T.; “Virtually welding”, The Fabricator, March (2008).

KALUÇ, E., Kaynak Teknolojisi El Kitabı, MMO/2004/356, Cilt 1, Ankara, (2004).

MEGEP, (Mesleki Eğitim ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi), Kaynak Teknolojisi, Tig Kaynağı, Ankara, (2006).

MEGEP, Metal Teknolojisi MIG-MAG İle Yatayda Köşe Kaynağı, Megep Modülleri, Ankara, (2006).

OĞUZ, B., Ark Kaynağı, Oerlikon Yayınları, (1989).

OĞUZ, B., Elektrik Ark Kaynağı, Oerlikon Yayınları, (1993).

ORMAR, S., C # nedir, <<http://www.webmastersitesi.com/c-c-c/c-nedir.382>>, erişim: 04 Mayıs 2010.

PATON, B. E., VASİLİEV, V. V. et al, “Electric-arc trainer for welders”, US Patent No: 4.716.273, Dec. 29, (1987).

PALANI, P. K., Murugan, N.; “Modeling and simulation of wire feed rate for steady current and pulsed current gas metal arc welding using 317L flux cored wire”, Int. J. Adv. Manuf. Technol., 34: 1111-1119, (2007).

SCHOW, H. B.; “Welding simulator spot designator system”, US Patent No: 4.132.014, Jan 2, (1979).

TOP, Y., “Simülasyon ve temrinle ark kaynakçısı yetiştirme programı”, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Haziran (1997).

TOP, Y., FINDIK, F. “Ark kaynakçısının eğitiminde simülatör kullanımı”, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Sakarya, (1998).

TÜLBENTÇİ, K., Bazik Karakterli Örtülü Elektrodlar, Böhler Kaynak Dünyası, İstanbul (1982).

TÜLBENTÇİ, K., MİG/MAG Eriyen Elektrod ile Gaz altı kaynağı, Gedik Eğitim Vakfı, İstanbul (1990).

VASİLİEV, V. V., SERGEİ, N. D. et al, “Spark trainer for welders”, US Patent No: 4.689.021, Aug.25, (1987).

WU, C., “Microcomputer-based welder training simulator”, Computers in Industry, 20, 321-325, (1992).

WU, C., WEN, C., WU, L., “A microcomputer-controlled welder training system”, Computers Education, 20 (3) 271-274, (1993).

## ÖZGEÇMİŞ

1973 Yozgat doğumlu olan Sadık USLU ilk, orta ve lise eğitimini Ankara'da tamamladı. 1994 yılında Dumlupınar Üniversitesi Kaynak teknolojisin kazandı ve buradan mezun olduktan sonra 1997 yılında tekrar sınava girerek Sakarya Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metal Eğitimi Bölümünde lisans öğrenimine başladı ve bu bölümden 2001 yılında iyi derece ile mezun oldu. 2001 den beri özel bir eğitim kurumunda idari işlere bakmaktadır.

2009-2011 yılları arasında yürütülen Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu'nun (TÜBİTAK) 109M087 numaralı araştırma projesinde araştırmacı olarak görev almakta ve halen bu projede çalışmaktadır.