

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

**ARK KAYNAK PARAMETRELERİNİN SANAL
KAYNAK SİMÜLATÖRÜNE ENTEGRASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Teknik Öğretmen Yalçın YAŞAR

Enstitü Anabilim Dalı : METAL EĞİTİMİ

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Uğur SOY

NİSAN 2012

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ


ARK KAYNAK PARAMETRELERİNİN SANAL
KAYNAK SİMÜLATÖRÜNE ENTEGRASYONU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Yalçın YAŞAR

Enstitü Anabilim Dalı : METAL EĞİTİMİ

Bu tez 16/04/2012 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile kabul edilmiştir.



Prof. Dr. Hüseyin UZUN
Jüri Başkanı



Yrd. Doç. Dr. Uğur SOY
Danışman



Yrd. Doç. Dr. Osman İYİBİLGİN
Üye

ÖNSÖZ

Sanal gerçeklik bilgisayar ortamında oluşturulan resimler ve animasyonların teknoloji yardımı ile insanların zihninde gerçek bir ortamda bulunma hissi veren teknolojik olgudur. Sanal ortam denilebilen sanal gerçeklik, herhangi bir yerde olmayı hissettiren ve bunun için duyu organlarına hitap eden (ses, ışık v.s.) üç boyutlu bilgisayar simülasyonudur.

Sanal gerçeklik son yıllarda fen, tıp, askeri ve havacılık endüstrisinde kullanılmaya başlanmıştır. Günümüzde öğretim alanındaki sorunların çözümünde karşılaştıkları zorlukları aşmada geleneksel yolların yetersiz kaldığı düşünüldüğünde, bu sorunları aşmada teknolojik gelişmelerden faydalanılmaktadır.

Bu bağlamda tasarımı yapılan sanal kaynak simülatörü bünyesinde bulunan etkileşim, öğrencinin dikkatini toplaması, deneyimsel olması ve duylara hitap etmesi gibi özellikleri ile öğretim sorunlarını aşmada faydalı olacaktır.

Bu çalışmada, sanal kaynak simülatörünün öğretimi tam olarak gerçekleştirebilmesi için veri tabanı oluşturacak kaynak parametreleri (kaynak akımı, ark boyu, çalışma açıları v.s.) literatür taraması ile derlenecektir. Böylece operatör, gerçek uygulamanın dezavantajlarını yaşamadan(malzeme ve zaman kaybı) yaptığı kaynak işleminin parametrelerini ekranda görebilecek ve doğru-yanlış uygulamalar hakkında bilgi sahibi olacaktır.

Bu çalışma süresince değerli fikir ve yönlendirmeleri ile desteğini esirgemeyen değerli Hocam Sayın Prof. Dr. Fehim FINDIK'a tez danışmanım Yrd. Doç. Dr. Uğur SOY'a en içten teşekkürlerimi arz eder, şükranlarımı sunarım. Bu çalışmanın ortaya çıkmasında desteğini esirgemeyen Prof. Dr. Hüseyin UZUN' a teşekkür ederim. Bu çalışmada, teknik destek ve ürün konusunda hiçbir desteğini esirgemeyen M.C.B. Sanayi Ürünleri A.Ş.'ye ve GÜNAK İnşaat San. ve Tic. A.Ş.'ye teşekkürü borç bilirim. Ayrıca Tüvasaş yöneticilerine ve çalışanlarından Rüstem GÜVEN ile Timuçin ÖZGÜNDÜZ'e teşekkür ederim. Tez çalışmalarım sürecinde desteğini hiçbir zaman esirgemeyen Hasan KARADENİZ ve Emrah ÖNAL'a teşekkürü borç bilirim. Manevi desteğini esirgemeyen Akcan Metal yöneticilerine teşekkür ederim. Bu Yüksek lisans tezi Sakarya Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Projesi tarafından desteklenmiştir. Bu vesile ile Sakarya Üniversitesi Rektörlüğü'ne teşekkürü bir borç bilirim.

Bu tez 109M087 numaralı TÜBİTAK Araştırma Projesi desteğiyle hazırlanmıştır. Proje koordinatörü Doç. Dr. Cemil ÖZ'e, projede görev alan diğer hocalarım Yrd. Doç. Dr. Osman İYİBİLGİN'e, Tekn. Öğrt. Yaşar KIYAN'a, Arş. Gör. Soydan SERTTAŞ'a, Arş. Gör. Kayhan AYAR'a, teşekkür ederim. Ayrıca proje çalışmasında yer alan Sadık USLU ve Enes HOŞŞİRİN'e de teşekkür ederim.

Son olarak yetişmemde ve bugünlere gelmemde haklarımı hiçbir zaman ödeyemeyeceğim aileme teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	ix
TABLolar LİSTESİ.....	xi
ÖZET.....	xiii
SUMMARY.....	xiv

BÖLÜM 1.

GİRİŞ.....	1
1.1. Çalışmanın Amacı.....	4
1.2.Literatür Taraması.....	5
1.3.Sanal Gerçeklik.....	8
1.4.Sanal Kaynak Simülatörleri.....	9
1.4.1. Eski nesil kaynak simülatörleri.....	10
1.4.2. Yeni nesil kaynak simülatörleri.....	12

BÖLÜM 2.

ARK KAYNAK YÖNTEMLERİ.....	16
2.1. Giriş.....	16
2.2. Elektrik Ark Kaynak Yöntemi.....	17
2.2.1. Çalışma prensibi.....	17
2.2.2. Kaynak donanımı.....	19
2.2.3. Kullanılan elektrotlar.....	20
2.2.4. Kaynak hataları.....	20
2.3. MIG/MAG Kaynak Yöntemi.....	21

2.3.1. Çalışma prensibi.....	21
2.3.2. Kaynak donanımı.....	23
2.3.3. Kullanılan ilave teller.....	24
2.3.4. Kaynak hataları.....	25
2.4. TIG Kaynak Yöntemi.....	24
2.4.1. Çalışma prensibi.....	24
2.4.2. Kaynak donanımı.....	27
2.4.3. Kullanılan ilave teller.....	28
BÖLÜM 3	
ARK KAYNAK PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ.....	29
3.1. Giriş.....	29
3.2. Elektrik Ark Kaynağı Parametrelerinin Belirlenmesi.....	29
3.2.1. Malzeme türü.....	29
3.2.2. Kaynak ağzı formları.....	30
3.2.3. Elektrot çapının seçimi.....	32
3.2.4. Kaynak akımının belirlenmesi.....	33
3.2.5. Parça kalınlığına göre paso sayısı.....	34
3.2.6. Kaynak hızı.....	35
3.2.7. Ark boyu.....	36
3.2.8. Elektrot ilerleme açısı.....	37
3.2.9. Elektrot salınım açısı ve hareketi.....	39
3.2.10. Kaynak hacminin hesaplanması.....	40
3.3. MIG-MAG Kaynağı Parametrelerinin Belirlenmesi.....	41
3.3.1. Malzeme türü.....	41
3.3.2. Kaynak ağzı formları.....	41
3.3.3. Tel çapının seçimi.....	43
3.3.4. Kaynak akımının belirlenmesi.....	44
3.3.5. Parça kalınlığına göre paso sayısı.....	45
3.3.6. Kaynak hızı.....	46
3.3.7. Ark boyu.....	46
3.3.8. Elektrot ilerleme açısı.....	47
3.3.9. Elektrot salınım açısı ve hareketi.....	48

3.3.10. Kaynak hacminin hesaplanması.....	49
3.4. TIG Kaynağı Parametrelerinin Belirlenmesi.....	50
3.4.1. Malzeme türü.....	50
3.4.2. Kaynak ağzı formları.....	50
3.4.3. Tel çapının seçimi.....	52
3.4.4. Kaynak akımının belirlenmesi.....	53
3.4.5. Parça kalınlığına göre paso sayısı.....	55
3.4.6. Kaynak hızı.....	55
3.4.7. Ark boyu.....	56
3.4.8. Torç ve ilave tel ilerleme açısı.....	56
3.4.9. Torç salınım açısı ve hareketi.....	57
3.4.10. Kaynak hacminin hesaplanması.....	58
BÖLÜM 4	
KAYNAK PARAMETRELERİNİN SİMÜLASYONA ENTEGRASYONU.	60
4.1. Giriş.....	60
4.2. Sanal Kaynak Simülatöründe İşlem Basamakları.....	61
4.3. Örnek Sanal Kaynak Uygulamaları.....	62
4.3.1. Elektrik ark kaynak uygulamaları.....	64
4.3.2. MIG-MAG kaynak uygulamaları.....	70
4.3.3. TIG kaynak uygulamaları.....	75
BÖLÜM 5	
SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	80
5.1. Sonuçlar.....	80
5.2. Öneriler.....	81
KAYNAKLAR.....	83
ÖZGEÇMİŞ.....	87

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
ITAB	: Isı Tesiri Altında Kalan Bölge
d	: Elektrod Çapı
W	: Wolfram
α	: Kaynak ağız açısı
b	: İki malzeme arasındaki boşluk
S	: Malzeme kalınlığı
I	: Akım şiddeti
A	: Amper
V	: Volt
G	: 1 metre kaynak dikişindeki kaynak metali
h	: Sıçrama kayıplarını göz önüne alan yığılma verimi
d	: Elektrod Çapı
V_e	: Elektrod besleme hızı
V_k	: Kaynak hızı
W	: Wolfram
α	: 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 1.1.	Schaeffler diyagramı.....	2
Şekil 1.2.	Çoklu-kamera	14
Şekil 1.3.	Flock of Bird	14
Şekil 1.4.	Sanal kaynak simülatörü modülleri ve sistem yapısı.....	14
Şekil 2.1.	Elektrik ark kaynak yönteminin şematik gösterimi.....	17
Şekil 2.2.	Elektrik ark kaynak donanımı	19
Şekil 2.3.	Elektrik ark kaynağı hataları ve sebepleri	21
Şekil 2.4.	MIG/MAG (Gazaltı) kaynak yönteminin şematik gösterimi.....	21
Şekil 2.5.	MIG-MAG kaynak donanımı.....	24
Şekil 2.6.	TIG Kaynak yönteminin şematik gösterimi	26
Şekil 2.7.	TIG kaynak donanımı	28
Şekil 3.1.	Kaynak pozisyonu bağlı ilerleme açılarının şematik gösterimi.....	38
Şekil 3.2.	Salınım açısının şematik gösterimi.....	39
Şekil 3.3.	Kaynak pozisyonu bağlı ilerleme açılarının şematik gösterimi:.....	48
Şekil 3.4.	Salınım açısının şematik gösterimi.....	48
Şekil 3.5.	ilerleme açısının şematik gösterimi.....	57
Şekil 3.6.	Salınım açısının şematik gösterimi.....	58
Şekil 4.1.	Sanal kaynak simülatörü ana formu.....	61
Şekil 4.2.	Öğrenci kayıt ve seçim formu.....	62
Şekil 4.3.	İdeal kaynak parametrelerinin belirlenmesi ara yüz ekranı.....	63
Şekil 4.4.	Sanal kaynak simülasyonunda kaynak elemanları ve dikiş görüntüsü.....	63
Şekil 4.5.	Kaynak başarı durumunu gösteren ayrıntılı puanlama ve yorum ekranı.....	64
Şekil 4.6.	Elektrik-Ark Kaynak Görüntüsü (Ark kopmuş hali).....	65
Şekil 4.7.	Elektrik-Ark Kaynak Görüntüsü (Kaynak yaparken).....	65

Şekil 4.8.	Sanal Kaynak Simülatörü ile başarılı bir elektrik-ark kaynağı denemesinden elde edilen veriler.....	66
Şekil 4.9.	Elektrik-Ark kaynağı için yapılan başarılı bir kaynak denemesi.....	67
Şekil 4.10.	Sanal kaynak simülatörü ile başarısız bir elektrik-ark kaynağı denemesinden elde edilen veriler.....	68
Şekil 4.11.	Elektrik-Ark kaynağı için yapılan başarısız bir kaynak denemesi.....	69
Şekil 4.12.	Mig-Mag Kaynak Görüntüsü.....	70
Şekil 4.13.	Mig-Mag Kaynak Görüntüsü (Kaynak yaparken).....	70
Şekil 4.14.	Sanal kaynak simülatörü ile başarılı bir Mig-Mag kaynağı denemesinden elde edilen veriler.....	71
Şekil 4.15.	Mig-Mag kaynağı için yapılan başarılı bir kaynak denemesi.....	72
Şekil 4.16.	Sanal kaynak simülatörü ile başarısız bir Mig-Mag kaynağı denemesinden elde edilen veriler.....	73
Şekil 4.17.	Mig-Mag kaynağı için yapılan başarısız bir kaynak denemesi.....	74
Şekil 4.18.	TIG Kaynak Görüntüsü (Ark kopmuş hali).....	75
Şekil 4.19.	TIG Kaynak Görüntüsü (Kaynak yaparken).....	75
Şekil 4.20.	Sanal kaynak simülatörü ile başarılı bir TIG kaynağı denemesinden elde edilen veriler.....	76
Şekil 4.21.	TIG kaynağı için yapılan başarılı bir kaynak denemesi.....	77
Şekil 4.22.	Sanal kaynak simülatörü ile başarısız bir TIG kaynağı denemesinden elde edilen veriler.....	78
Şekil 4.23.	TIG kaynağı için yapılan başarısız bir kaynak denemesi.....	79

TABLULAR LİSTESİ

Tablo 2.1.	Elektrodlar İçin Akım Aralıkları	20
Tablo 3.1.	Kaynak ağızı formlarında boyutların belirlenmesi	31
Tablo 3.2.	Parça kalınlığına göre program tarafından önerilen elektrot çekirdek çapı değerleri.....	32
Tablo 3.3.	Parça kalınlığına (s) bağlı kaynak akımı (I) değerleri	34
Tablo 3.4.	Parça kalınlığına(s), kaynak akımı(I) ve elektrod çapına(d) göre kaynak hızları.....	35
Tablo 3.5.	Ark boyunun uzaklaşması ve yaklaşması durumundaki değişiklikler.....	37
Tablo 3.6.	Ark boyunun uzaklaşması ve yaklaşması durumundaki değişiklikler.....	38
Tablo 3.7.	Elektrot çekirdek çapına bağlı 1 saniyede eriyen elektrot boyları.....	40
Tablo 3.8.	Kaynak ağızı formlarında boyutların belirlenmesi (Geometrik Model).....	42
Tablo 3.9.	Parça kalınlığına göre program tarafından önerilen elektrot çekirdek çapı değerleri.....	43
Tablo 3.10.	Parça kalınlığına (s) bağlı kaynak akımı (I) değerleri.....	45
Tablo 3.11.	Parça kalınlığına(s), kaynak akımı(I) ve elektrod çapına(d) göre kaynak hızları.....	46
Tablo 3.12.	Ark boyunun uzaklaşması ve yaklaşması durumundaki değişiklikler	47
Tablo 3.13.	Ark boyunun uzaklaşması ve yaklaşması durumundaki değişiklikler.....	48
Tablo 3.14.	Tel çekirdek çapına bağlı 1 saniyede eriyen tel boyları.....	49
Tablo 3.15.	Kaynak ağızı formlarında boyutların belirlenmesi.....	51

Tablo 3.16.	Parça kalınlığına göre program tarafından önerilen tel çekirdek çapı değerleri.....	52
Tablo 3.17.	Parça kalınlığına (s) bağlı kaynak akımı (I) değerleri.....	54
Tablo 3.18.	Parça kalınlığına (s), kaynak akımı (I) ve elektrod çapına (d) göre kaynak hızları.....	55
Tablo 3.19.	Ark boyunun uzaklaşması ve yaklaşması durumundaki değişiklikler.....	57
Tablo 3.20.	Tel çekirdek çapına bağlı 1 saniyede eriyen tel boyları.....	59

ÖZET

Anahtar kelimeler: Ark Kaynak Yöntemleri, Kaynak Parametreleri, Sanal Kaynak Simülasyonu

Bu çalışmada, ark kaynak parametrelerinin Sanal Kaynak Simülatörüne entegrasyonu incelenmiştir. Elektrik ark kaynağı (SMAW), Metal İner Gaz kaynağı (MIG), Metal Aktif Gaz kaynağı (MAG) ve Tungsten İner Gaz kaynağı (TIG) yöntemlerine ait kaynak parametreleri literatür incelenerek tanımlanmıştır. Kaynak yöntemlerine bağlı olarak seçilen ve mevcut çalışmadaki bazı parametreler ele alınmıştır. Her bir kaynak yönteminin kaynak parametrelerini tanımlamak için ulusal ve uluslar arası kaynak standartları ve ayrıca kaynak uygulaması deneyimleri hesaba katılmıştır. Mevcut çalışmada kaynak yöntemleri için tanımlanan kaynak parametreleri detaylı olarak irdelenmiştir. Ortaya çıkan ideal kaynak parametreleri ve limitleri formül ve tablolarda verilmiştir. Elde edilen kaynak parametre değerleri sanal kaynak simülatörüne entegre edilmiştir. Sanal kaynak simülatörü optimum kaynak parametreleri ile başarılı bir şekilde test edilmiştir.

INTERGRATION OF ARC WELDING PARAMETERS TO VIRTUAL WELDING SIMULATOR

SUMMARY

Key words: Arc, Welding, Method, Parameters, Virtual Welding Simulators

In this study, integration of arc welding parameters for virtual welding simulator was investigated. Welding parameters of Shielded metal arc welding (SMAW), metal inert gas welding (MIG), metal active gas welding (MAG) and Tungsten Inert Gas Welding (TIG) methods were determined by using literature review. Parameters are selected depending on welding methods and in the present study some parameters are included. To determine the welding parameters, the national and international welding standards and also welding application experiences are taken into consideration for each welding method. In the present thesis, the determined welding parameters are examined in detailed for welding methods and the resultant ideal welding parameters and their limits are given in equations and tables. Obtained welding parameter values were integrated to virtual welding simulator. Virtual welding simulator was accomplishedly tested with optimal welding parameters.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Endüstride genel olarak üç farklı kaynak yöntemi (Elektrik ark, MIG-MAG ve TIG) ile çalışılmaktadır. Bu kaynak yöntemleri ile yoğun olarak karbonlu çelik, paslanmaz çelik ve alüminyum alaşımları birleştirilmektedir. Paslanmaz çelikler sanayide gün geçtikçe kullanım oranı artan vazgeçilmez malzemelerdir. Östenitik paslanmaz çelikler kolayca şekillendirilebilirler ve uygun kaynak şartları oluşturulması halinde iyi kaynak yapılabilirler. Ancak geleneksel kaynak yöntemleri ile paslanmaz çeliklerin kaynağı esnasında dikkatli olmak gerekir. Aksi takdirde kaynak dikişinin ve ısı tesiri altındaki bölgenin korozyon direncinin düşmesi, artık gerilmeler, kaynak dikişinde çatlak oluşumu veya kaynak sonrası parçaların çarpılması olumsuz durumlar ortaya çıkabilir [1].

Karbonlu çelikler düşük, orta ve yüksek karbonlu olmak üzere 3 gruba ayrılmaktadır. Düşük karbonlu çelikler, $0.1 < C < 0.2$ arasında karbon ihtiva etmektedir. En ucuz çelik türüdür, sünekliği yüksektir, su verme ile sertleştirilemez. Orta karbonlu çelikler, $0.2 < C < 0.5$ arasında karbon ihtiva etmektedir. Daha yüksek mukavemetli olup su verme ile setleşebilir. Yapılarda makine parçaları üretiminde kullanılırlar. Yüksek karbonlu çelikler ise, $0.5 < C < 2$ arasında karbon ihtiva etmektedir. Sert olup işlenmesi zordur, genellikle takım ve kalıp üretimine elverişlidir, su vererek sertleştirilir [2].

Paslanmaz çelikler; içerisinde en az % 11 oranında krom içeren demir esaslı alaşımlar olarak tanımlanırlar. Alaşımsız ve az alaşımlı çelikler korozif etkilere karşı dayanıklı olmadıklarından, bu tür uygulamalar için genellikle paslanmaz çelik kullanılmaktadır. Paslanmaz çelikler mükemmel korozyon dayanımları yanında değişik mekanik özelliklere sahip türlerin bulunması, düşük ve yüksek sıcaklıklarda kullanılabilirliği, şekil verme kolaylığı, estetik görünüşleri gibi özelliklere sahiptir [2].

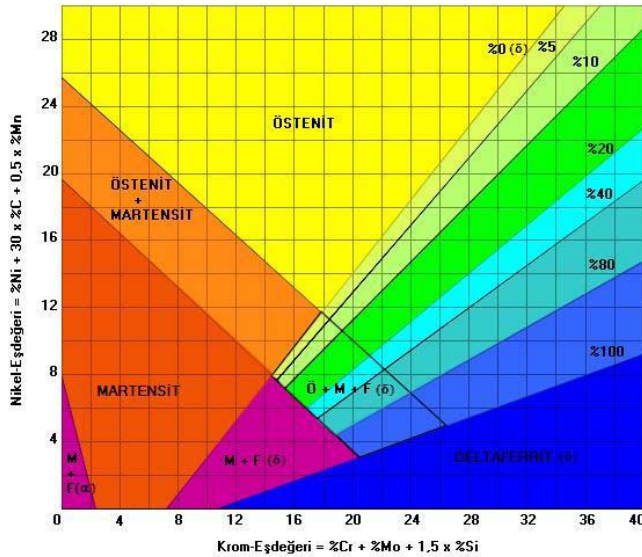
Günümüzde farklı amaçlarla kullanılan paslanmaz çelik türleri vardır. Bunlar;

- 1- Östenitik paslanmaz çelikler
- 2- Martenzitik paslanmaz çelikler
- 3- Ferritik paslanmaz çelikler
- 4- Çökeltme yoluyla sertleşebilen paslanmaz çelikler
- 5- Dupleks paslanmaz çelikler

Şekil 1.1’ de verilen diyagram herhangi bir çeliğe ait iç yapının, sözkonusu çeliğin sahip olduğu kimyasal analize göre belirlenmesinde kullanılır. Bu diyagramla, kaynak edilen parçaların ve dolgu metalinin cinsine göre kaynak işleminden sonra oluşan erimiş bölgenin yapısını da belirlemek mümkündür. Schaeffler, geliştirdiği bu diyagramda ferrit oluşturucu elementleri ‘Krom Eşdeğeri-Cr(eş)’ ile, ostenit oluşturucu elementleri ise ‘Nikel Eşdeğeri-Ni(eş)’ ile ifade etmektedir [3].

$$\text{Ni (eş)} = \% \text{ Ni} + 30 (\% \text{ C}) + 0,5 (\% \text{ Mn})$$

$$\text{Cr (eş)} = \% \text{ Cr} + \% \text{ Mo} + 1,5 (\% \text{ Si}) + 0,5 (\% \text{ Nb})$$



Şekil 1.1. Schaeffler diyagramı [3]

Günümüzde alüminyum ve alüminyum alaşımları; artırılmış mukavemet özellikleri, hafiflikleri, iyi ısı ve elektrik iletkenlikleri, korozyona karşı dirençleri nedeniyle gıda, kimya, otomotiv ve gemi inşa endüstrileri, taşıt, makina ve cihaz yapımı ile mimari alanda, inşaat, havacılık ve uzay endüstrilerinde geniş kullanım alanına sahiptirler ve birçok özellikleri nedeniyle mühendis ve tasarımcılar için tercih edilen endüstriyel malzemeler konumuna gelmişlerdir [4].

Alüminyum; oksit , termal , elektrik ve manyetik olmayan özellikleri ile diğer metallere farklıdır [3]. Saf alüminyum erime noktası en az 1200 ° F sahiptir, bu nedenle metallere erime öncesinde renk değişikliği göstermez [4]. Bu malzemenin ergitme kaynağında renk değişimi olmaması nedeniyle işlemi biraz zorlaştırmaktadır [5].

Örtülü elektrodla ark kaynağı, karbonlu çelikleri birleştirmede çok geniş ölçüde kullanılır. Seçilen elektrodun tip ve çapı çeliğin bileşimi, kalınlığı, ağız hazırlığı, kaynak pozisyonu ve elde ulunan akım membana göre değişir [1].

Çok çeşitli demir esaslı ve demir esaslı olmayan malzemelerin kaynağında yaygın olarak kullanılan MIG/MAG kaynağı akım taşıyan sürekli beslenen telin erimesi ile metallere birleşimini sağlar. Elektrottan kaynak banyosuna metal iletimi farklı şekillerde gerçekleşir. Nispeten düşük akımlarda iri damlalar halinde olan iletim şekli akım yükseldikçe sprej halini alır. Küresel (iri damla) iletim periyodik olarak elektrot ucunda büyük damlacıkların oluşması olarak tanımlanır. Bu damlacıklar yer çekimi etkisi ile koparak kaynak banyosuna dahil olurlar. Küresel iletim şekli erimiş damlacıklar üzerindeki kontrol eksikliği ve büyük damlacıkların oluşumuna bağlı ark kararsızlığı nedeniyle sorundur. Sprej iletim şekline ise ancak yüksek kaynak akımlarında ulaşılabilir, bazı malzemeler için minimum sprej iletim gerçekleşebilecek akımın yüksek oluşu, yani esik değerin yüksek oluşu, o malzeme tipi için belirli kalınlıkların altında bu yöntemin kullanımını kısıtlar [6]. Yüksek yığılma hızı sağlamasına karşın parçaya aşırı ısı girdisine neden olması sebebi ile de sprej iletim her uygulamada kullanılamaz. Bu durumun üstesinden gelebilmek için 1960lı yılların ortalarında küresel iletim ile sprej iletimin olumlu özelliklerini bir araya getiren darbeli akımla MIG/MAG kaynağı geliştirilmiştir [6].

TIG kaynağı; kaynak için gerekli ısı enerjisi bir tungsten elektrot ve iş parçası arasında oluşturulan ark tarafından sağlanan ve kaynak bölgesi de elektrotu çevreleyen bir nozuldan gönderilen asal gaz tarafından korunan kaynak yöntemidir. Bu kaynak yönteminde yüksek kalitede düzgün yüzeyli ve kusursuz kaynak dikişleri elde edilebilir. TIG kaynak yöntemi paslanmaz çelik ve alüminyum malzemelerin kaynağında mükemmel kaynak dikişleri verir [7].

1.1. Çalışmanın Amacı

Sanal kaynak simülatörü kaynakçıyı gerçek bir kaynak dünyasındaymış gibi hissettiren bir yapıdır. Kaynakçı, sanal ortamda birçok anlamlı etkileşimde bulunur. Bu etkileşim kaynak operatörünün simüle edilmiş ortama tam olarak konsantre olmasını sağlar. Şöyle ki; sanal kaynak simülatörünün ekranında kaynak masası, elektrot(veya tel), kaynak pensesi v.b. atölye ortamı gerçeğe uygun düzenlenmiştir. Operatör sanal kaynak simülatöründe endüstride yoğunlukla kullanılan üç farklı malzeme (Çelik, Paslanmaz Çelik, Alüminyum) ve üç farklı kaynak yöntemini (Elektrik ark, MIG-MAG, TIG) kullanabilmektedir. İstenilen kalınlıkta parça da uygulamaya esneklik sağlamaktadır.

Gerçek uygulamalarda bir öğrencinin "V" kaynak ağızı açılmış deney parçasının kaynağı için ortalama 200gr malzeme ve 3 adet elektrot kullanılmaktadır. Ayrıca düzgün bir dikiş elde edebilmek için birden fazla uygulama yapmaktadır. Bu da eğitimde malzeme israfına ve imalatı için zaman sarfiyatına sebep olmaktadır. Ancak bu simülatör ile öğrenci istediği kadar parça ile çalışabilecek ve deneyimini daha kısa sürede kazanabilecektir. Kaynak simülatörünün gerçeğe uygun olması amacıyla, parametrelerin literatürlerden araştırılarak derlenmesi gerekmektedir. Aksi takdirde tek bir parametrede yapılan kaynak dikişinin kişiyi eğitimde yetersiz kalacağı düşünülmektedir. Kaynak operatörünün yaptığı işlerde doğru ya da yanlış uygulamaları görmesi sağlıklı olacaktır. Bu çalışmada, tasarımı yapılacak kaynak simülatöründe kullanılacak parametreler (kaynak akımı, ark boyu, çalışma açısı v.b.) literatür çalışması ile derlenecektir.

1.2. Literatür Taraması

Projemizde kullanılması planlanan düşük karbonlu çelikler, endüstrinin her alanında yaygın olarak kullanılmaktadır. Paslanmaz çelikler, sahip oldukları üstün mekanik özellik ve korozyon direncinden dolayı kimya, gıda, petro-kimya, fırın parçaları, depolama tankları gibi çeşitli konstrüksiyon işlemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Alüminyum alaşımları ise, düşük yoğunlukları, yüksek mukavemetleri, iyi korozyon dirençleri ve uygun kaynak kabiliyetleri sayesinde havacılık, uzay, gemi yapımı, raylı taşıt ve otomotiv endüstrilerinde geniş uygulama alanı bulmuştur.

Ertemiz [2] çalışmasında, 304 ve 317LMN kalite östenitik paslanmaz çeliğe TIG(Tungsten İner Gas) kaynak yöntemi kullanarak küt alın kaynak dizaynında birleştirilmiştir. Çalışmasında ilave metalin ve koruyucu gazın, malzemenin çekme dayanımı ve sertliği hakkında veriler elde etmiştir. Özellikle koruyucu gazın etkisiyle mekanik özelliklere artma gözlenmiştir.

Taban [4] çalışmasında, AW-5083 ve AW-5086 alüminyum alaşımı levhalar bağlantının mekanik özellikleri ve mikroyapısal özelliklerini incelemek üzere MIG, TIG ve FSW kaynak yöntemlerini kullanmıştır. Çalışmada FSW kaynaklı bağlantıların mekanik özelliklerinin MIG ve TIG kaynaklı bağlantıların mekanik özellikleri ile eşdeğer hatta daha iyi oldukları gözlenmiştir.

ŞIK [8] çalışmasında, 4 mm kalınlığındaki yapı çeliğine(St 52-3) endüstride çok yaygın uygulama alanı olan MIG/MAG kaynak yöntemini uygulamıştır. Bu çalışmada üç farklı gaz karışımı ve iki farklı ilave tel kullanmıştır. Yapılan deneylerde; SG3 ilave teli kullanarak 88 Ar-10CO₂-2O₂ gaz karışımı ile yapılan birleştirmenin mekanik özelliklerinin yüksek olduğunu gözlemiştir.

Ekici [8] çalışmasında, D25M6 kodlu, dual-fazlı, mikro-alaşımli çelik malzemeler, ER100 SG ve SG 3 olmak üzere iki farklı kaynak teli ile gaz-altı kaynağı yöntemi ile birleştirmiştir.

Koruyucu gaz olarak %100 Argon, %15 CO₂ + %85 Argon ve %25 CO₂ + %75 Argon kompozisyonları seçilmiş, CO₂ içeriğinin mekanik özellikler etkisi araştırılmıştır. Kaynaklı birleştirmeler 130 Amper, 20 Volt; 150 Amper, 22 Volt ve 170 Amper, 24 Volt kaynak akım şiddeti ve kaynak gerilimi parametrelerinde gerçekleştirilmiştir. Amper-Volt değerleri yükseldikçe mukavemet değerlerinde düşüş olduğunu gözlemiştir.

Muzafferoğlu [7], çalışmasında darbeli akımla MIG/MAG kaynağındaki darbe parametrelerinin dikiş geometrisi üstündeki etkilerini açıklamıştır. Buradan darbeli akımla MIG/MAG kaynağında konvansiyonel metoda göre daha düşük akım değerinde (ortalama akım) istenilen kaynağın elde edilebildiği ortaya koymuştur. Böylece ayarlar bakımından kullanıcı için zorluk yaratan darbeli MIG/MAG kaynağının bu zorluğu sinerjik makinelerle geride bırakılmış, üstelik ortalama akımın geçiş akımından düşük olması ile de kararlılık sağlamıştır.

Yaşar [9] çalışmasında, 1XXX serisi alüminyum alaşımına TIG kaynak yöntemini uygulamıştır. Malzemeleri 80, 110, 140, 180 akım değerlerinde birleştirmiştir. Yapılan mekanik ve mikroyapısal incelemeler sonucunda 140 amper akım ile birleştirilen malzemelerin mukavemet değerinin daha yüksek çıktığını belirlemiştir.

Babu, Kumar ve Balasubramanian [10], çalışmalarında AA6061 alüminyum alaşımına TIG kaynağı uygulamıştır. Maksimum çekme dayanımı, minimum tane boyutu elde etmek amacıyla darbeli akım kullanılmıştır. Sonuç olarak AA6061 alüminyum alaşımının TIG kaynağında tepe akım değeri 171 amper, taban akımı 84 amper, 3.5Mhz hız ile 19.89 mikron boyutunda tane yapısına ulaşmıştır.

Zielinska, Valensi, Pellerin, Musiol, Izarra, Briand [11] çalışmalarında; MIG kaynak yöntemi için koruyucu gazın, kaynak bölgesine olan etkisi incelenmiştir. Koruyucu gazın metal türü üzerinde farklı etkileri olmakla birlikte, özellikle karbondioksit oranının artışı sprey metal transferi moduna geçişe neden olmaktadır.

Gülenç, Candan ve Kahraman [12], çalışmalarında X52 malzemesinden imal edilmiş spiral kaynaklı çelik borular, değişik pozisyonlarda tam otomatik gazaltı (MAG) kaynak yöntemi ile alın altına birleştirmişlerdir.

Kaynak esnasında kullanılan torç konumunun kaynak bölgesindeki etkilerini görmek amacıyla numunelere tahribatlı (çekme, çentik darbe ve sertlik) ve tahribatsız (floroskopik) testler uygulanmıştır. Kaynaklı numunelere uygulanan tahribatlı testler sonucunda, kaynak esnasında kullanılan torç pozisyonunun kaynaklı bağlantıların çekme ve çentik darbe dayanımını değiştirdiği tespit edilmiştir. Tahribatsız test sonucunda da torç pozisyonunun kaynak dikiş formunu etkilediğini ve bazı pozisyonlarda yetersiz ergime olurken bazı pozisyonlarda da kaynak kökünün iyi oluşmadığı tespit edilmiştir.

Mishra, Lienert, Johnson [13], çalışmalarında farklı kükürt konsantrasyonlarındaki paslanmaz çeliklere TIG(Tungsten Inert Gas) yöntemini uygulamış, deneysel olarak da incelemiştir. Kaynak esnasında kükürt varlığı, kaynak banyosundaki akışkanlığı ve kaynak geometrisini olumsuz etkilemiştir. Yapılan çalışmada düşük kükürt ihtiva eden paslanmaz çeliğin kaynağında malzeme geçişinin daha kolay olduğu gözlenmiştir.

Yılmaz ve Uzun [14], çalışmalarında 304L ve 316L serisi paslanmaz çeliğe kök paso için 100, ikinci paso için 120 amper akım değerlerinde MIG ve TIG kaynak yöntemlerini uygulamıştır. Çekme ve çentik darbe gibi mekanik deneyler yapılmıştır. Ayrıca sertlik ölçümü ve mikroyapı görüntüleri alınmıştır. Yapılan deneysel çalışmalar neticesinde hem 304L hem de 316L östenitik paslanmaz çeliklerde, TIG yöntemiyle birleştirilenlerde MIG yöntemi ile birleştirilenlere göre, daha yüksek çekme mukavemet değerleri elde edilmiştir. Elde edilen çekme deneyi sonuçlarına göre, TIG yöntemi kullanılarak birleştirilen numuneler, MIG yöntemi kullanılarak birleştirilen numunelere göre, daha yüksek tokluğa sahip oldukları görülmüştür. Birleştirilen 316L östenitik paslanmaz çeliklerin sertlik deneylerinde, kaynak metali ile ana metalin sertliği arasında çok farklı sertlik değerleri görülmemektedir. Bununla beraber, çok az da olsa kaynak metali ana metale göre daha fazla sertlik değeri göstermiştir. TIG yöntemiyle birleştirilen 304L paslanmaz çeliğin kaynak bölgesinde yüksek sertlik değerleri bulunmuştur. MIG yöntemiyle birleştirilen 304L paslanmaz çeliğin kaynak bölgesinin sertliği az da olsa ana metalin sertliğine göre yüksek değerler göstermiştir.

TIG kaynak yönteminde paslanmaz çelikler çift paso olarak kaynak edildiğinden, birinci paso ile ikinci paso arasında bir miktar sertlik artışı görülmüştür. Çentik darbe deneyinde TIG kaynak yöntemi kullanılarak birleştirilen numuneler, en yüksek kırılma enerjisi değerleri verirken, her iki kaynak yöntemi kullanılarak birleştirilen 316L paslanmaz çeliği, 304L paslanmaz çeliğe göre daha yüksek kırılma enerji değerleri göstermektedir. . Mikroyapı çalışmalarında kaynak metali içerisinde bir miktar δ -ferrit bulunduğu tespit edilmiştir. Delta ferrit oranının kaynak metaline ve kullanılan kaynak yöntemine göre % 9-11 oranlarda değişmekte olduğu Scheaffler diyagramı kullanılarak hesaplanmıştır. Ayrıca, kaynak bölgesindeki mikroyapının östenit+ferrit fazlarından oluştuğu gözlenmiştir.

Uslu [15], çalışmasında düşük karbonlu çelik, paslanmaz çelik ve alüminyum alaşımlarına sanayide yaygın olarak kullanılan elektrik ark, MIG-MAG ve TIG kaynakları için kullanılan kaynak parametreleri üzerine bir yazılım geliştirmiştir. Yazılımda; malzeme türü, parça kalınlığı, kaynak yöntemi gibi seçimler yapıldıktan sonra en uygun parametreleri vermektedir. Bu yazılım sanayide kullanımı oldukça faydalı olacağı düşünülmekte fakat; bu parametrelerin deneysel olarak bulunmamış olması kullanıcılarda soru işaretleri bırakmaktadır.

1.3. Sanal Gerçeklik

Sanal Gerçeklik, katılımcılarına gerçekmiş hissi veren, bilgisayarlar tarafından yaratılan dinamik bir ortamla karşılıklı iletişim olanağı tanıyan, üç boyutlu bir benzetim modelidir. Bu ise tasarladığımız sistemleri kavrama ve algılama gücümüzü önemli ölçüde arttıracaktır. Şu ana dek eğlence dünyasından, tıp alanındaki karmaşık bilimsel deneylere kadar pek çok uygulama alanı bulmuştur. İş başı ve örgün olmak üzere eğitimin her alanında geleneksel öğrenme araçlarına ciddi bir rakip olarak ortaya çıkmakta ve vazgeçilmez yeni fırsatlar ortaya koymaktadır. Bu arada sanal gerçeklik kendi içinde bir takım sorunları da beraberinde getirmektedir. Sanal dünyalar, etkileşimli kontrolün temini ve objelerdeki değişimlerin yansıtılabilmesi için gerçek zamanda ya da gerçeğe yakın bir süratle görüntülenmelidir.

Bu sebeple SG sistemlerinin pahalı olması yaygın kullanım açısından önemli bir dezavantajdır. Dolayısıyla özellikle oyun ve eğlence dünyasında daha fazla uygulama olanağı bulmuştur. Sanal prototipler ise günümüzde gerçeklerinden daha ekonomik oldukları için giderek daha çok kullanım şansı bulmaktadır. Benzetim modelleriyle desteklenen sanal prototipler, çok daha etkin mühendislik analizlerine olanak tanıyacaktır.[16]

Sanal Gerçeklik (Virtual Reality) en iyi şekilde teknolojiler koleksiyonu şeklinde tanımlanabilir. Bu teknolojiler kişilere üç boyutlu bilgisayarlı veritabanlarına gerçek zamanlı olarak kendi doğal duyuları ve becerilerini kullanarak verimli bir şekilde etkileşimine izin vermektedir.[17]

1.4. Sanal Kaynak Simülatörleri

Sanal kaynak simülatörü, kaynak işlemi sırasında kullanılan kaynak elemanlarının ve birleştirilecek parçaların üç boyutlu sanal bir dünyada oluşturulduğu ve kullanıcının eline tutturulan konum ve oryantasyon sensörleri ile etkileşimin sağlandığı bir sistemdir. Kullanıcı Kaynak başlığı içerisine tutturulmuş, başa takılan stereo ekran(HMD) ile dış dünyadan ilişkisini kesip sadece sanal dünyayı görebildiği bir sistemdir. [18]

Bu sistem gerçek kaynak uygulaması sırasında ark mesafesi, kaynak tipi gibi parametrelere bağlı olarak alınan ses kayıtlarının bilgisayar ortamında işlenip, filtre edildikten sonra, benzetim sırasında kullanıcıya etkileşimi tamamlayacak şekilde sunulacaktır. Simülatörü kullanarak, kaynak eğitimi gerçek bir kaynak kabini olmadan, test çubukları veya plakalarını kullanmadan (kontrollü test şartları altında) yapılır. Elle yapılan ark kaynağında gerekli olan el-göz koordinasyon yeteneklerini öğretmek için kullanılır. Şekil 1.1'de bu sistemin yapısı gösterilmektedir. Sistem; sanal modeller, etkileşim yazılımı, performans analizi ve test yazılımı, sanal ses üretici yazılım, giriş birimleri, çıkış birimleri ve bilgisayar modüllerinden oluşmaktadır. [18]

Sanal modeller; torç modelleri, elektrotlar, kaynak dikişleri, ışın, 3b kaynak sahnesi, el vb modellerden oluşmaktadır. Etkileşim yazılımı ise sensörlerden gelen verilere bağlı olarak sanal modellerle etkileşimi gerçekleştiren ve gerekli görüntü ile ses çıkışlarını üreten yazılımdır. Performans analizi; gerek kaynak yapımında kullanıcıya kılavuzluk etmesi, gerekse, kaynak ile ilgili verilerin istatistiksel ve yapay zekâ algoritmaları ile değerlendirilmesi ve analiz edilmesini sağlar. Sanal ses üretici ise, hem gerçek kaynak uygulaması sırasında kaydedilen seslerin işlenmesini, hem de sanal ses üretimini sağlayan yazılım birimidir. Çıkış birimine gelince, kaynak maskesi içerisine gömülmüş HMD (başa takılan stereo ekran) ve kulaklık iken, giriş birimleri ise veri eldiveni ve konum algılayıcı sensörlerden oluşmaktadır [18].

1.4.1. Eski nesil kaynak simülatörleri

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 [19].

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 [19].

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 [19].

Wu ve arkadaşları [20-21] 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, Tim [22] 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 [23] ve gazaltı kaynağının modelleme ve simülasyonu [24] iki grup tarafından rapor edilmiştir.

Kaynak simülatörleri ile ilgili olarak çeşitli bilim adamları tarafından [25-26], 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 [27], kaynakta spotu gösteren sistem [28] üzerine de patentler vardır.

Son yıllarda da Sakarya Üniversitesi'nde Yaşar Top tarafından “simülasyon ve temrinle ark kaynakçısı yetiştirme programı” isimli bir yüksek lisans tezi [29] ve daha sonra da Top ve Fındık tarafından konu ile ilgili bir makale yayınlanmıştır [30]. 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. Önerilen 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.

1.4.2. Yeni nesil kaynak simülatörleri

Yeni nesil kaynak simülatörleri, bilgisayar donanım ve yazılım teknolojileri kullanılarak, sanal ortamla kullanıcı arası etkileşimin sağlandığı 3-boyutlu simülatörlerdir. Bu simülatörlerin üzerinde ilk olarak, U.S.A, Kanada ve Fransa'da geçtiğimiz 10 yıl içerisinde çalışılmaya başlanmıştır. Kullanım alanları eğitim sektörüdür[13].

Bu simülatörler temiz, sessiz, güvenli ve hesaplıdır. Herhangi atık bir maddeye ve dumana neden olmadığı için temiz; metal plaka, elektrot veya gaz kullanılmadığı için hesaplı; kullanıcı kulaklığı dışında ses verilmediği için sessiz; ve bilgisayar sisteminin çalışması için gerekli elektrik dışında enerji kullanılmadığı için de güvenlidir. Ancak sistem bütünü ile ele alındığında, yazılımın gerçekleşip donanım ile bütünleştirilmesi zordur ve satın alınmak istendiğinde pahalıdır.

Yeni nesil kaynak simülatörleri ile, dünyada yaygın bir şekilde kullanılan MIG/MAG, TIG ve elektrik ark kaynağı uygulamaları yapılır. Sanal kaynak uygulamasının gerçeğe yakın olabilmesi için, bilgisayar grafikleri kullanılır. Torcun yönü ve yer değiştirmesi izlenebilmektedir. Oluşturulan kaynak modeli ile etkileşimi sağlamak üzere yazılım gerçekleştirilir. Etkileşim de giriş birimi olarak, kullanıcının el hareketlerinin konumu, konum algılayıcıları ile algılanır. Bunun için iki yol vardır. Birincisi Şekil 1.2’de görüldüğü üzere çoklu-kamera sistemiyle gerçekleştirilir [31]. Kullanılan torcun yer değiştirmesi, sisteme entegre bulunan kameralardan alınan verilerin işlenmesi sonucunda ortaya çıkar. İkincisi ise Şekil 1.3’deki gibi “Flock of Bird” denilen konum algılama cihazı kullanılarak yön ve yer değiştirme bulma metodudur. Çıkış birimi olarak başa takılan(Head Mounted Device) ekran kullanılır.

Böylece, gerçek kaynak uygulamalarında karşılaşılan ışık ve kaynak metali dikiş formu gibi parametreler kaynak simülatöründe gerçeğe yakın bir şekilde simüle edilmeye çalışılır. Gerçeklik hissinin artırılması için, sisteme önceden kaydedilen kaynak sesleri de yeni nesil kaynak simülatörlerinde kullanıcıya kulaklık vasıtasıyla iletilmektedir. Torç açısı ve itmesine göre sistem farklı ses vermektedir.

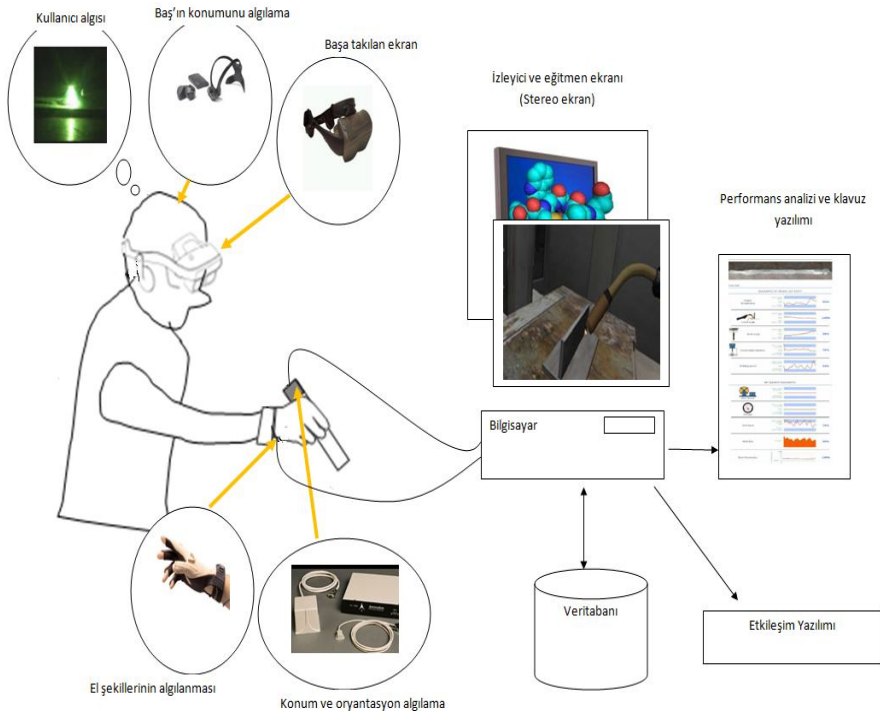
Yapılan sanal kaynak sonrasında sistem, kullanıcının nerde-nasıl hatalar yaptığını raporlamaktadır. Kullanıcı bu veriler ışığında hatalarını düzetebilmektedir. Simülatör yardımıyla yapılan sanal birleştirme bilgisayar tarafından kaydedilerek tekrar izlenebilir. Kaynakçı adayları çok sayıda uygulama gerçekleştirebilirler, böylelikle öğrenme hızlı olur.



Şekil 1.2. Çoklu-kamera [31]



Şekil 1.3. Flock of Bird [31]



Şekil 1.4. Sanal kaynak simülasyonu modülleri ve sistem yapısı [18]

Sistemin çalışma prensibi aşağıdaki gibidir: simülasyon açıldığı zaman, öğrenci klavye ile mikro-komputere pek çok parametre (hareket yeri ve kaynak hızı, çalışma zamanı, elektrotun ergime hızı v.s. gibi) tanımlar. “Çalıştır” düğmesine basılması ile de uygulama başlar. Simüle edilmiş kaynak banyosunun merkezine konumlandırılmış torca dokunarak ve uygun arkı başlatarak, kaynak uygulaması başlar. Simüle edilmiş ark ışığı görünür, kaynak işlemini simüle etmek için elektrot belli hızda gittikçe kısalır, kaynak banyosu hareket eder ve aynı zamanda arkın sesi duyulur. Torcu düz olarak kaynak yerine getirmek ve hatalı hareketlerden kaçınmak gerekir.

Ergimiş kaynak hareket ederken öğrencinin bunu yakından takip etmesi gerekir. Sensör, elektrot ucunun pozisyonunu ve elektrot açısını yakalamaya devam eder [18].

Numunenin sinyal prosesinden sonra, geliştirilecek modele göre hesaplanarak, mikro-kompüter öğrencinin yaptığı sanal kaynak uygulamasının başarı seviyesini gösterir. Deney sırasında toplanan hatalar, öğrencinin simüle edilmiş ark sesini duymadığına veya alarm tonunu duyduğunu veya simüle edilmiş ark ışığını görmediğine delil olacaktır. Simüle edilmiş arkın sesi, öğrencinin arkı kestiği zaman kesilecektir. Öğrenci, elektrot ucu ile kaynak banyosu arasındaki uygun ark mesafesini muhafaza etmediği zaman ark performansı olumsuz yönde etkilenecektir [18].

BÖLÜM 2. ARK KAYNAK YÖNTEMLERİ

2.1. Giriş

Bu çalışmada kullanılan düşük karbonlu çelik, 316 Paslanmaz Çelik ve Alüminyum malzemelerin birleştirilmesinde kullanılan kaynak yöntemleri aşağıdaki şekilde sıralanabilir [2].

- Örtülü elektrot ile ark kaynağı
- Eriyen elektrot ile gazaltı kaynağı(MIG-MAG)
- Erimeyen elektrot ile gazaltı kaynağı(TIG/WIG)
- Plazma arkı ile kaynak
- Tozaltı kaynağı
- Lazer kaynağı
- Sürtünme karıştırma kaynağı
- Direnç nokta kaynağı
- Elektron ışın kaynağı
- Difüzyon kaynağı

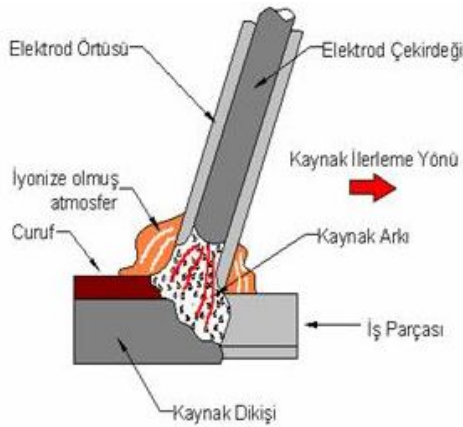
Bu bölümde sanayide en çok kullanılan Elektrik ark kaynağı, MIG-MAG kaynağı ve TIG kaynağı hakkında sırasıyla bahsedilecektir.

2.2. Elektrik Ark Kaynağı

2.2.1. Çalışma prensibi

Elektrik ark kaynağında genellikle pozitif kutuplama yapılarak örtülü elektrot (+kutba) bağlanır ve topraklama kablosu da (- kutba) bağlanarak sisteme uygulanan gerilimle, elektrot üzerinden akım geçişi sağlanır. Yatay karakteristikli kaynak makineleri kullanılan örtülü elektrotlarda akım sabit iken gerilim değişkendir. Örtülü elektrotların kullanıldığı bu yöntemde genellikle bazik karakterli elektrot kullanılır.

Kaynaklı bağlantı için gerekli ısı elektrot ile iş parçası arasında oluşturulan ark vasıtasıyla sağlandığı ergitme kaynağına denilir. Elektrik ark kaynak yönteminin şematik gösterimi Şekil 2.1'de gösterilmektedir. Ark kızgın bir katottan yayılan elektrotların yüksek hızla anot kutbunu bombardıman etmesi neticesinde, nötr moleküllerin iyonize olup kızgın bir sıcaklık enerjisi meydana getirir. Bu enerjiye ark denilir ve enerjinin % 85'i ısı % 15'i de ışık enerjisine dönüşür. Ark boyu elektrotun ucu ile metal arasında meydana gelen arkın yüksekliği olarak tanımlanır [32].



Şekil 2.1. Elektrik ark kaynak yönteminin şematik gösterimi [32]

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.
- Pek çok malzemenin kimyasal ve mekanik özelliklerini karşılayacak örtülü elektrot türü mevcuttur. Bu nedenle kaynaklı birleştirmeler de ana malzemenin sahip olduğu özelliklere sahip olabilir.
- Kaynak ekipmanları hafif ve taşınabilir.

Dezavantajları

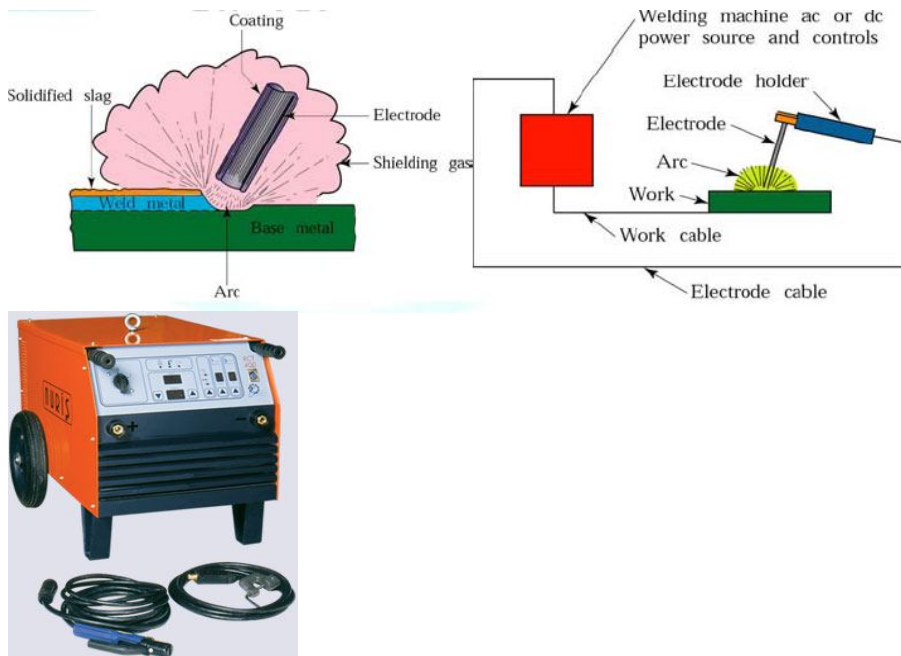
- Elektrik ark kaynağının metal yığıma hızı ve verimliliği pek çok ark kaynak yönteminden düşüktür. Elektrotlar belli boylarda kesik çubuklar şeklindedir, bu nedenle her elektrot tükendiğinde kaynağı durdurmak gerekir.
- Her kaynak pasosu sonrasında kaynak metali üzerinde oluşan cürufu temizlemek gerekir.

2.2.2. Kaynak donanımı

Elektrik ark kaynağı donanımı, kaynak işleminin başarılı bir şekilde yapılması için önem teşkil etmektedir. Kullanılan malzeme ne kadar kaliteli olursa olsun, eğer kaynak donanımında bir arıza varsa yapılan işlem kaliteli olamaz. Birleştirme işlemi yaparken kullanılan kaynak donanımının kısımları aşağıda ayrıntılı şekilde verilmiştir.

- Akım üretici
- Kaynak pensesi
- Şase pensesi
- Elektrot
- Kaynak maskesi
- Elektrik bağlantı kabloları

gibi kısımlardan oluşmaktadır. Bu kısımlar Şekil 2.2’de ayrıntılı şekilde belirtilmiştir.



Şekil 2.2. Elektrik ark kaynak donanımı [33]

2.2.3. Kullanılan elektrotlar

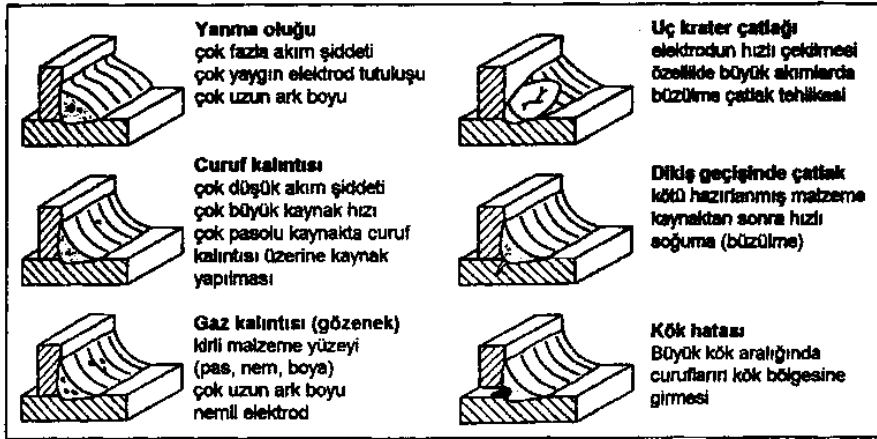
Örtülü elektrotla ark kaynağı, karbonlu çelikleri birleştirmede çok geniş ölçüde kullanılır. Seçilen elektrotun tip ve çapı çeliğin bileşimi, kalınlığı, ağız hazırlığı, kaynak pozisyonu ve elde bulunan akım membama göre değişir. Yukarıda uzunca izah edildiği gibi alçak hidrojenli elektrotlar genellikle tercih edilir. En çok kullanılanlar E 7015, E 7016, E 7017, E 8016 C1, E 801 C3, E 8018-C1, E 8018-C3, E 10016-D2 ve E 10018-D2 tipleri olup bunlar arasında E 7018 en fazla sarf edilenidir. Bunların çeşitli çaplarına göre kullanma akım şiddetleri Tablo 2.1.'de verilmiştir. Bu akım şiddetlerinin alt sınırı dik ve tavan kaynakları, üst sınırı da yatay kaynaklar içindir. 5 ve 6 mm. çapındaki elektrotlar bütün pozisyonlarda kullanılamaz [34].

Tablo 2.1. Yaygın olarak kullanılan elektrotlar için optimum akım değerleri [34]

Elektrod φ	E 7015 E 7016	E 7018	E8016-C1 E8018-C1	E8016-C3	E8018-C3	E10016-D2 E10018-D2
2.5	65-110	70-100	80-120	70-90	70-95	60-100
3.25	100-150	115-165	100-150	100-130	110-140	85-120
4	140-200	150-220	150-185	130-180	130-200	140-190
5	180-225	200-275	200-250	165-230	165-290	180-250
6	240-320	260-340	240-325	270-300	280-315	-

2.2.4. Elektrik ark kaynak hataları

Elektrik ark kaynağında görülen en önemli kaynak hataları yanma oluşu, cüruf kalıntıları ve gözenek oluşumudur. Yetersiz nüfuziyet veya kökte erime azlığı gibi hatalar, yonteme özgü olmayıp kaynakçının becerisiyle ilgilidir. Benzer şekilde çatlak oluşumu da malzemeyle yakından ilgili olup, kaynakçının malzemeyi soğutma şekline de bağlıdır. Şekil 2.3'de bazı temel hatalar ve sebepleri açıklanmıştır.

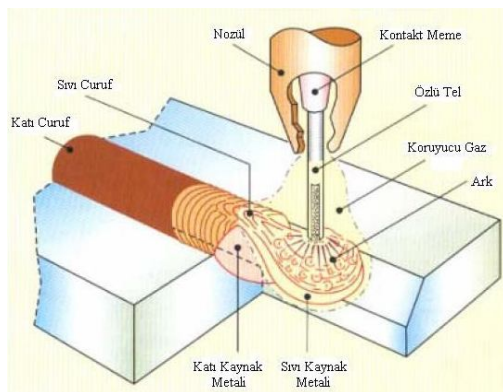


Şekil 2.3. Elektrik ark kaynağı hataları ve sebepleri [35]

2.3. MIG-MAG Kaynağı

2.3.1. Çalışma prensibi

Kaynak yapılacak bölgenin bir gaz ortamı ile korunduğu, ark kaynağı türü gazaltı ark kaynağı olarak adlandırılır [36]. MIG/MAG kaynağı, erimeyen elektrotla yapılan gaz altı kaynağı türlerinden olan TIG kaynağı ile yapılan kaynakların hızını arttırmak amacıyla geliştirilmiştir. TIG kaynağı da bir ark kaynağı prosesidir, bir koruyucu gazla korunur fakat TIG kaynağı erimeyen tungsten elektrot kullanır. TIG kaynağında dolgu metali MIG/MAG kaynağına göre çok daha düşük hızlarda manuel olarak beslenmektedir [37]. Şekil 2.4’de MIG-MAG kaynağının şematik görüntüsü verilmiştir.



Şekil 2.4. MIG/MAG (Gazaltı) kaynak yönteminin şematik gösterimi [18]

Kaynak işleminde asal gaz kullanılıyor ise MIG (Metal İnerit Gas), aktif gaz kullanılıyor ise MAG (Metal Active Gas) olarak adlandırılır. Sonuç itibariyle iki ayrı isimle adlandırılan kaynak çeşitlerindeki donanım aynıdır. Sadece CO2 korumalı kaynakta tüp çıkışına bir ısıtıcı eklenir [38].

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 [38].

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.

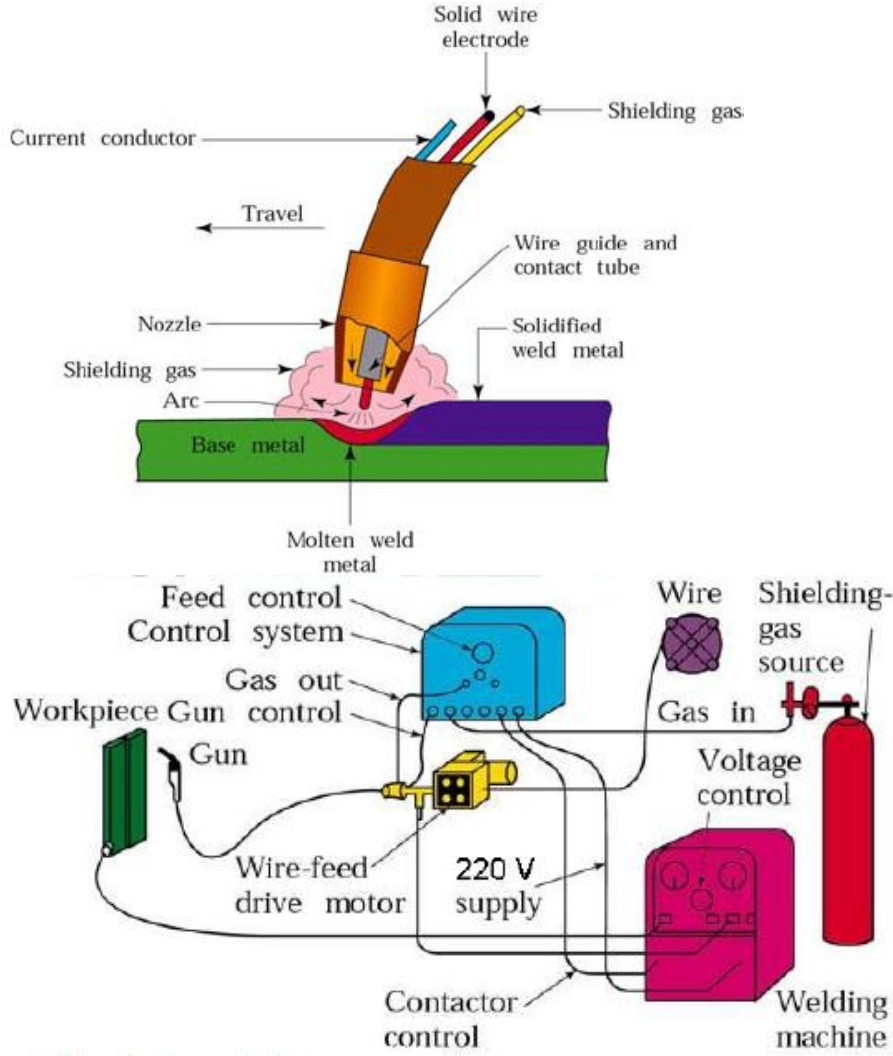
- Sertleşme özelliği olan çeliklerde gazaltı kaynağı ile yapılan kaynak birleştirmeleri çatlamaya daha eğilimlidir çünkü, elektrik ark kaynağında olduğu gibi kaynak metalininin soğuma hızını düşüren bir cüruf tabakası yoktur.
- Gazaltı kaynağı, gaz korumasını kaynak bölgesinden uzaklaştırabilecek hava akımlarına karşı ek bir koruma gerektirir. Bu nedenle, elektrik ark kaynağına göre açık alanlarda kaynak yapmaya uygun değildir [38].

2.3.2. MIG-MAG kaynak donanımı

Her kaynak yönteminde olduğu gibi bu kaynak yöntemi de uygulayabilmek için özel bir kaynak donanımına ihtiyaç vardır[37]. Mig kaynak donanımı aşağıda sıralanan kısımlardan oluşur;

- Kaynak akım üretici,
- Kaynak tabancası olarak adlandırılan bir kaynak torcu,
- Tel biçiminde elektrot klavuzunu, kaynak akım ve şalter kablolarını, gaz hortumunu, gerektiğinde soğutma suyu giriş ve çıkış hortumlarını bir arada tutan spral hortum,
- Tel biçimindeki elektrotun ilerlemesini sağlayan tel sürme tertibatı,
- Kumanda ve kontrol donanımı,
- Koruyucu gaz donanımı,
- Sulu soğutma sistemi,
- Mekanize ve otomatik kaynak için yardımcı donanımlar.

Mig-Mag kaynağı yönteminde 3 sarf malzemesi vardır. Bunlar; akım üreticinden sağlanan kaynak akımı, koruyucu gaz ve sürekli kaynak bölgesine beslenen ve ergiyen çeşitli metallere elde edilmiş ilave teldir [37]. Şekil 2.5’de MIG-MAG kaynağının donanımları ayrıntılı olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.5. MIG-MAG kaynak donanımı [33]

2.3.3. Kullanılan ilave teller

Özlü teller rutil, bazik ve metal özlü olmak üzere 3 tipi vardır. Bunlar;

a) Rutil karakterli özlü teller yumuşak ark karakteristiği, yüksek kaynak kabiliyeti, kolay cüruf kalkışı ve güzel dikiş görünüşüne sahiptir. Her pozisyonda kaynak yapmaya uygun olması nedeniyle tersanelerde en çok kullanılan özlü teldir.

b) Bazik tip teller yüksek mekanik özellikleri nedeniyle ince taneli ve yüksek dayanımlı çeliklerde kullanılır. Düz ve yatay pozisyonlarda kullanılması, sınırlı uygulama alanına neden olduğu için tersanelerde fazla kullanılmaz.

c) Metal özlü teller ise spreyc ark modunda yatay pozisyonlarda yüksek metal yığıma hızına sahiptir. Çok az sıçrama kaybı olması ve kaynak üzerinde cüruf oluşturmaması önemli avantajlardandır. Genellikle boruların kök pasolarında ve üst binalarda yukarıdan aşağıya köşe kaynaklarında kullanılırlar [7].

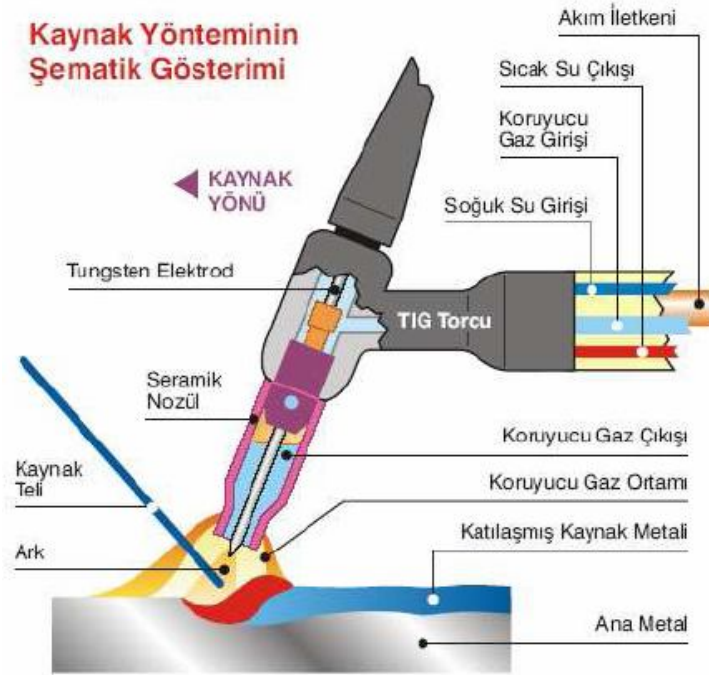
2.3.4. MIG-MAG kaynağında kaynak hataları

Tersanelerimizde kapalı alanların yetersiz olması (açık alanda yeterli gaz korumasının sağlanamaması) ve kaynaktan önce kaynak ağzı hazırlıklarının (yağ, pas, cüruf ve nemin yüzeyden arındırılması) istenilen standartlarda yapılmaması durumunda özlü telle gazaltı kaynağında, genellikle gözenek ve cüruf kalıntısı hataları oluşmaktadır [7].

2.4. TIG Kaynak Yöntemi

2.4.1. Çalışma prensibi

Soy gaz koruması altında ergimeyen tungsten elektrod ile yapılan ark kaynak yöntemi (TIG veya GTAW olarak adlandırılır), kaynak için gerekli ergime ısısının ana malzeme ile ergimeyen elektrod arasındaki elektrik arkıyla oluşturulduğu yöntemdir. Elektrik akımını ileten elektrod tungsten veya tungsten alaşımıdır. Elektrot olarak wolfram kullanıldığında WIG (Wolfram İnerc Gas) kaynağı adını alır. Kaynak bölgesi, kaynak banyosu ve tungsten elektrod havanın kötü etkisinden torçtan kaynak bölgesine gönderilen soy gaz ile korunur. Bu yöntemde ana malzemeler ergitilerek ilave metal kullanarak veya kullanmadan kaynak yapmak mümkündür[31].



Şekil 2.6. TIG Kaynak yönteminin şematik gösterimi [39]

TIG kaynak yönteminin kaynakçı tarafından kullanılması kolay olup prensip olarak gaz eritme kaynağına oldukça benzemektedir ve çok geniş, uygulama alanına sahiptir. Bu yöntemde erimeyen elektrot kullanıldığından bazı durumlarda ilave kaynak metaline gerek olmadan birleştirme yapılabilmektedir. Gerekliğinde gaz kaynağında olduğu gibi ilave metal kullanılmaktadır. Endüstride bu kaynak yöntemi daha çok kök pasoların çekilmesinde ve tamir işlerinde kaynakçıya büyük kolaylık sağladığından kullanım alanı her geçen gün yaygınlaşmaktadır [39].

TIG Kaynağının Avantajları

- Yüksek bir kaynak hızının sağlanması,
- Verilen ısının belirli bir bölgeye tesir etmesi,
- Isı distorsiyonlarının azlığı,
- Mekanik özelliklerin iyi korunması,
- Temiz kaynak dikişlerinin elde edilmesi,
- Kaynak işlemi bitiminde temizliğe ihtiyaç duyulmaması,
- Kolay bir şekilde mekanize edilmesidir.

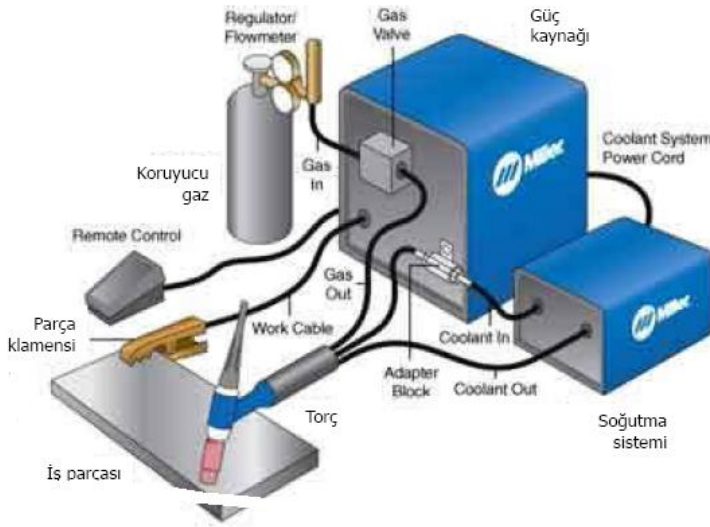
TIG Kaynağının Dezavantajları

- Tungsten elektrodun kaynak dikişine karışması,
- Oksit kalıntıları,
- Gözenek oluşumu,
- Yetersiz erime,
- Uç krater çatlaklarının oluşmasıdır

2.4.2. TIG kaynak donanımı

Bir TIG kaynak donanımı şu kısımlardan oluşur [39]:

- 1- Kaynak torcu.
- 2- Kaynak akım ve kumanda şalter kablosunu, gaz hortumunu ve gerektiğinde soğutma suyu giriş ve çıkış hortumlarını bir arada tutan metal spiral takviyeli, torç bağlantı paketi.
- 3- Kaynak akımının, gaz akışının ve gerektiğinde soğutma suyunun devreye giriş ve çıkışını, yüksek frekans ünitesini, arkın tutuşmasını ve alternatif akım ile çalışma halinde arkın sürekliliğini sağlayan devreleri de bünyesinde toplayan kumanda dolabı.
- 4- Kaynak akım üretici.
- 5- Üzerinde basınç düşürme ventili ve gaz debisi ölçme tertibatı bulunan koruyucu gaz tüpü.



Şekil 2.7. TIG kaynak donanımı [39]

Şekil 2.7.'den de görüldüğü gibi bu donanım; akım üretici, koruyucu gaz tüpü, gaz basınç debi ayar donanımı, torç ve kontrol panelinden oluşmaktadır. Yüksek akım şiddetleri durumlarında torcu soğutmak için soğutma suyu devresi kullanılmaktadır. TIG kaynak yönteminde el ile kaynak yapıldığı gibi yarı otomatik ve tam otomatik olarak kaynak yapılabilir [39].

2.4.3. TIG kaynağında kullanılan ilave teller

Malzeme cinsi, malzeme kalınlığı, birleşme dizaynı ve kaynaktan istenen özellikler ilave metal seçiminde göz önünü alınması gereken özelliklerdir. Bazı durumlarda ilave metale ihtiyaç duyulmayabilir. İlave metal ana malzeme ile benzer kimyasal özelliklerde ve kaynak banyosunda aynı özellikleri sağlayacak şekilde olmalıdır [31].

BÖLÜM 3. ARK KAYNAK PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ

3.1. Giriş

Ark kaynak parametrelerinin belirlenmesi çalışmasında, sanal kaynak simülatöründe uygulanması planlanan elektrik ark, MIG/MAG ve TIG kaynak yöntemlerine ait parametreler ayrı ayrı ele alınmıştır. Kaynak yöntemlerin uygulama sırasındaki farklılıkları dikkate alınarak parametreler belirlenmiştir. Elektrik ark, MIG/MAG ve TIG kaynak yöntemlerine ait kaynak parametrelerinin 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 her bir parametre detaylı olarak irdelenmiştir. Sonuç olarak, ideal kaynak parametreleri ve sınır değerleri, formüller ve tablolar halinde verilmiştir.

3.2. 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.

3.2.1. Malzeme türü

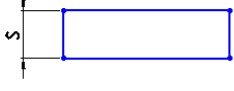
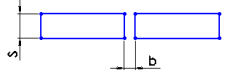
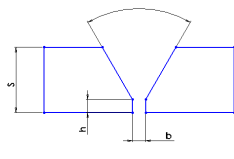
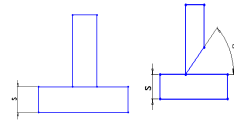
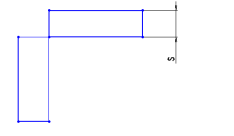
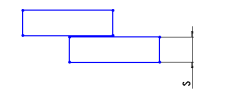
Sanal kaynak simülatörü ile kaynak uygulaması üç farklı malzeme kullanılarak gerçekleştirilecektir. Bu malzemeler; karbonlu çelik, alaşımlı çelik ve paslanmaz çeliktir. Alüminyum malzemelerin, elektrik ark kaynak yöntemi ile birleştirilmesi önerilmediğinden dolayı elektrik ark kaynak yöntemi için malzeme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

3.2.2. 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 ağızının 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 3.1'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 3.1. Kaynak ağızı formlarında boyutların belirlenmesi

Kod	Ağız Formu	Şematik Gösterimi	α	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 α= V kaynak ağızı için ideal açı değeri</p>					

3.2.3. 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 [43]. 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 ağzı formu ve en önemlisi de kaynatılacak parçaların kalınlığı dikkate alınır. Sanal kaynak simülatöründe, 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. Sanal kaynak simülatöründe; kaynak ağzı formu, parça kalınlığı ve diğer parametreler kullanıcı tarafından seçildiğinde simülatör programı otomatik olarak kullanıcıya en uygun elektrot çapını önerecektir. Tablo 3.2’de parça kalınlığına bağlı olarak simülatör programı tarafından önerilecek elektrot çekirdek çapı değerleri belirlenmiştir.

Tablo 3.2. Parça kalınlığına göre program tarafından önerilen elektrot çekirdek çapı değerleri

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

3.2.4. 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 (ayarı) 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 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 3.3'de verilmiştir.

Tablo 3.3. Parça kalınlığına (s) bağlı kaynak akımı (I) değerleri.

Parça kalınlığı (S)	Kaynak akımı (I)	Kaynağın durumu
S≤3	0<I<60	elektrot malzemeye yapışacak
	60<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

3.2.5. Parça kalınlığına göre paso sayısı

Kaynak simülatörü programında paso sayısı (PS) görülmekle birlikte kullanıcı tarafından seçimli olmayacak, ancak performans analizinde kullanılacaktır. Doldurulması gereken ideal kaynak metali hacminin (verim), kullanıcı tarafından gerçekleştirilen kaynak metali hacmine oranı ile paso sayısı ve kaynağın performansı tespit edilecektir.

$$PS = \frac{\text{(Toplam kaynak dikişı kesit alanı)}}{\text{(1 Pasoda elde edilen kaynak dikişı kesit alanı)}} \quad (3.1)$$

3.2.6. 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 [44, 45]. Sanal kaynak simülatörü için belirlenen, parça kalınlığına(s), kaynak akımı(I) ve elektrot çapına(d) göre belirlenen kaynak hızları Tablo 3.4.'de verilmiştir.

Tablo 3.4. 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)
$S \leq 3$	4,50	d x 40 amper
$S > 3 \leq 8$	4,00	d x 40 amper
$S > 8$	3,50	d x 40 amper

3.2.7. 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 [46,47].

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 3.5’de Ark boyunun uzaklaşması ve yaklaşması durumundaki değişiklikler verilmiştir. Ark boyu genellikle elektrot çekirdek çapının yarısı kadardır. Formül (3.2.) ile belirlenir. Ark boyu (a) olarak kullanılabilir.

$$\text{Ark Boyu} = d / 2 \quad (3.2)$$

Tablo 3.5. Ark boyunun uzaklaşması ve yaklaşması durumundaki değişiklikler

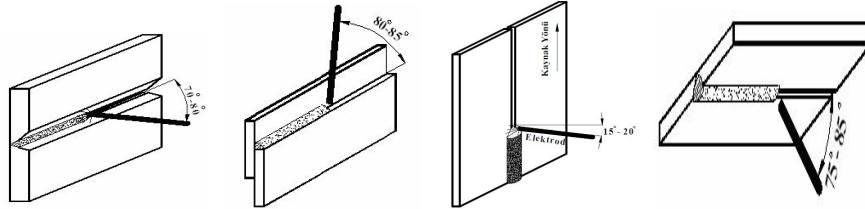
	Ark boyunun uzaklaşması durumunda	Ark boyunun yaklaşması durumunda
Ark boyu (a)	d x 1,25	d x 0,25
Üfleme	Artar	Azalı
Kaynak metali yüksekliği	Azalı	Artar
Kaynak dikişliği	Artar	Azalı
Patlama ve Sıçramalar	Artar	Azalı
Işık Şiddeti	Artar	Azalı

3.2.8. Elektrot İlerleme 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 3.6'da kaynak pozisyonuna bağlı olarak ideal ilerleme açı değerleri ve toleransları verilmiştir. İlerleme açısı değerleri ilerleme yönüne göre verilmiştir. Şekil 3.1'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° nin altında gerçekleşir), kenar yemeleri oluşur.

Tablo 3.6. kaynak pozisyonuna bağlı olarak ideal ilerleme ağı değerleri ve toleransları

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

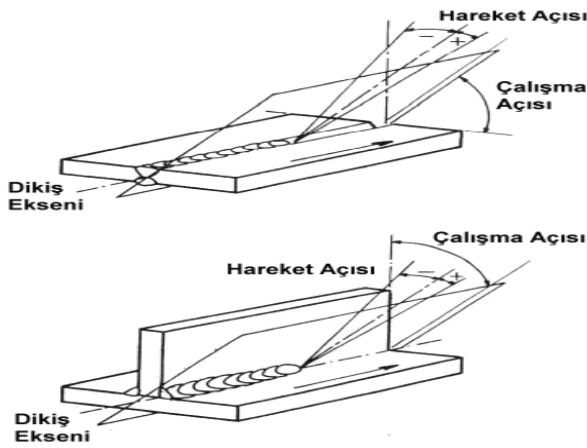


Şekil 3.1. Kaynak pozisyonu bağlı ilerleme açılarının şematik gösterimi

3.2.9. 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 (3.3)'de, salınım açısının şematik gösterimi ise Şekil 3.2'de verilmiştir. Salınım açısı (hareket açısı) “ β ” ile gösterilmektedir.

$$\beta = 5^\circ \pm 2,5 \quad (3.3)$$



Şekil 3.2. Salınım açısının şematik gösterimi

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 zik-zaklar yapılarak dikiş çekilir.

3.2.10. Kaynak hacminin hesaplanması

Kaynak hacmi, elektrik ark kaynağında elektrotun 1 sn zaman içerisinde erime miktarıdır [42]. Kaynak hacminin hesaplanmasına dair Formül (3.4)'de verilmiştir. Tablo 3.7'de elektrot çekirdek çapına bağlı 1 saniyede eriyen elektrot boyu verilmiştir.

$$H = \frac{\pi \times d^2}{4} \times h \times t \quad (3.4)$$

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 (bkz. Kaynak hızı)

Elektrotun erime miktarı kaynak akımına ($I = d \times 40$) bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Tablo 3.7'de verilen değerler ortalama değerlerdir.

Tablo 3.7. 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

3.3. 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.

3.3.1. Malzeme türü

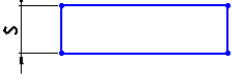
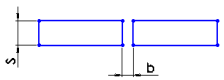
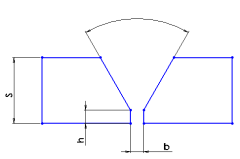
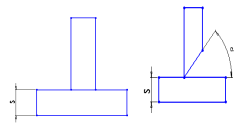
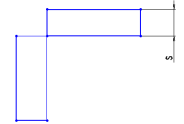
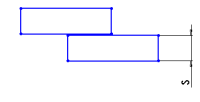
Sanal kaynak simülatörü ile kaynak uygulaması dört farklı malzeme kullanılarak gerçekleştirilecektir. Bu malzemeler; karbonlu çelik, alaşımlı çelik, paslanmaz çelik ve alüminyumdur.

3.3.2. 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, kaynak bağlantısının kesit boyuna gereken derinlikte işleyebilmesi için, parçanın kaynak ağızı açılarak hazırlanması gereklidir. Kaynak ağızının 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 ağızı formları Tablo 3.8'de verilmiştir. Tablo 3.8'de 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 3.8. Kaynak ağız formlarında boyutların belirlenmesi

Kod	Ağız Formu	Şematik Gösterimi	α	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	$s \geq 8$ 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 α= V kaynak ağızı için ideal açı değeri KA(1) [Kaynak Ağızı (1)] = düz kaynak</p>					

3.3.3. Tel çapının seçimi

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.[48]

Elektrot seçiminde, parça kalınlığı arttıkça elektrot çapının artacağı dikkate alınmalıdır. Mesela dış köşe kaynağında parça ne kadar kalın olursa olsun pozisyon itibarı ile parçaların köşeleri karşılıklı denk getirilmelidir. Aksi taktirde parça kenarları eriyebilir. [47]

Sanal kaynak simülatöründe, malzeme kalınlığına ve kaynak ağzı formuna göre tel çapı değişmektedir. Sanal kaynak simülatöründe; kaynak ağzı formu, parça kalınlığı ve diğer parametreler kullanıcı tarafından seçildiğinde simülatör programı otomatik olarak kullanıcıya en uygun tel çapını önerecektir. Tablo 3.9.'da parça kalınlığına bağlı olarak simülatör programı tarafından önerilecek elektrot çekirdek çapı değerleri belirlenmiştir.

Tablo 3.9. Parça kalınlığına göre program tarafından önerilen elektrot çekirdek çapı değerleri

Parça kalınlığı (S)	Tel apı (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

3.3.4. Kaynak akımının belirlenmesi

Kaynak yaparken, çalışma gerilimine karşı gelen akım şiddetine kaynak akımı denir. Kaynak akım üreticisine 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.

Kaynak akımı kaynakçı tarafından uygulama öncesinde hazırlanır. Kaynak uygulaması süresince kaynak akımı değeri (ayarı) 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 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 3.10'da verilmiştir.

Tablo 3.10. Parça kalınlığına (s) bağılı 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 nüfuziyet
	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 nüfuziyet
	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 nüfuziyet
	120<I≤150	ideal kaynak
	150<I<350	kademeli olarak malzemede erime ve çarpılma olacak

3.3.5. Parça kalınlığına göre paso sayısı

Kaynak simülatörü programında paso sayısı (PS) görülmekle birlikte kullanıcı tarafından seçimli olmayacak, ancak performans analizinde kullanılacaktır. Doldurulması gereken ideal kaynak metali hacminin (verim), kullanıcı tarafından gerçekleştirilen kaynak metali hacmine oranı ile paso sayısı ve kaynağın performansı tespit edilecektir.

$$PS = (\text{Toplam kaynak dikişi kesit alanı}) / (1 \text{ Pasoda elde edilen kaynak dikiş kesit alanı}) \quad (3.5)$$

3.3.6. 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. Sanal kaynak simülatörü için belirlenen, parça kalınlığına(s), kaynak akımı(I) ve elektrot çapına(d) göre belirlenen kaynak hızları Tablo 3.11’de verilmiştir. Kaynak hızı (V_k), mm/sn verileri DURGUTLU, A ve ERTÜRK, İ.’ün çalışmalarından alınmıştır[44,45].

Tablo 3.11. 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	$230 < I \leq 320$

3.3.7. Ark boyu

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

$$\text{Ark Boyu} = d * 15 \quad (3.6)$$

Tablo 3.12. Ark boyunun uzaklaşması ve yaklaşması durumundaki değişiklikler

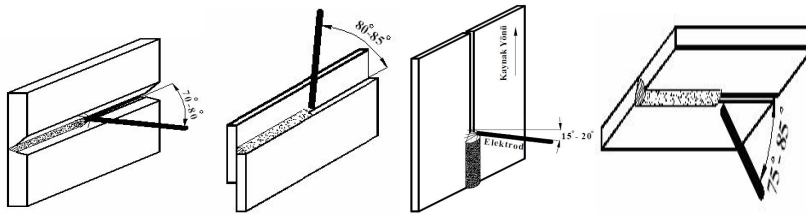
	Ark boyunun uzaklaşması durumunda	Ark boyunun yaklaşması durumunda
Ark boyu (a)	d x 22	d x 8
Üfleme	Artar	Azalı
Kaynak metali yüksekliği	Azalı	Artar
Kaynak dikişliği	Artar	Azalı
Patlama ve Sıçramalar	Artar	Azalı
Işık Şiddeti	Artar	Azalı

3.3.8. 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° ile 80° arasında olmakla beraber elektrot tipi ve birleşme şekline göre 60° ile 90° arasında da değişebilir. Tablo 3.13'de kaynak pozisyonuna bağlı olarak ideal ilerleme açı değerleri ve toleransları verilmiştir. İlerleme açısı değerleri ilerleme yönüne göre verilmiştir. Şekil 3.3'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 3.13. Ark boyunun uzaklaşması ve yaklaşması durumundaki değişiklikler

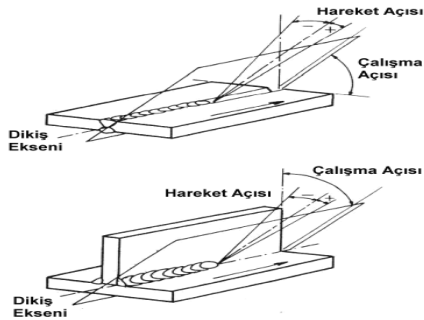
Kaynak pozisyonu	İlerleme açısı	Tolerans
Düz kaynak	75	$\pm 5^\circ$
Korniş kaynağı	75	$\pm 5^\circ$
Düşey kaynak	105	$\pm 5^\circ$
Tavan kaynağı	75	$\pm 5^\circ$



Şekil 3.3. Kaynak pozisyonu bağlı ilerleme açılarının şematik gösterimi

3.3.9. 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 (3.7)'de, salınım açısının şematik gösterimi ise Şekil 3.4'de verilmiştir. Salınım açısı (hareket açısı) “ β ” ile gösterilmektedir.



Şekil 3.4. Salınım açısının şematik gösterimi

$$\beta = 5^\circ \pm 2,5 \quad (3.7)$$

3.3.10. Kaynak hacminin hesaplanması

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

$$H = \frac{\pi \times d^2}{4} \times h \times t \quad (3.8)$$

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 3.14'de farklı tel çaplarına bağlı olarak 1 sn'de eriyen tel boyları görülmektedir.

Tablo 3.14. 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

3.4. TIG kaynağı parametrelerinin belirlenmesi

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

3.4.1. Malzeme türü

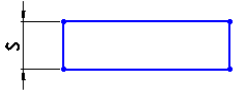
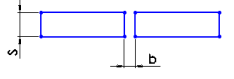
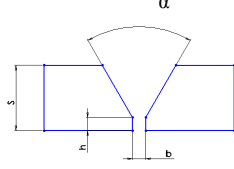
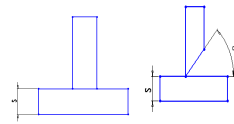
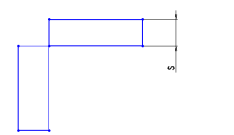
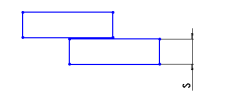
Sanal kaynak simülatörü ile TIG kaynak uygulaması dört farklı malzeme kullanılarak gerçekleştirilecektir. Bu malzemeler; karbonlu çelik, alaşımlı çelik, paslanmaz çelik ve alüminyumdur.

3.4.2. 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 3.15’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 [49].

Tablo 3.15. Kaynak ağızı formlarında boyutların belirlenmesi

Kod	Ağız Formu	Şematik Gösterimi	α	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>s=parça kalınlığı b=iki parça arasındaki alt boşluk α= V kaynak ağızı için ideal açı değeri KA(1) [Kaynak Ağızı (1)] = düz kaynak</p>					

3.4.3. 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 ağzı 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. Sanal kaynak simülatöründe, 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. Sanal kaynak simülatöründe; kaynak ağzı formu, parça kalınlığı ve diğer parametreler kullanıcı tarafından seçildiğinde simülatör programı otomatik olarak kullanıcıya en uygun tel çapını önerecektir. Tablo 3.16'da parça kalınlığına bağlı olarak simülatör programı tarafından önerilecek tungsten elektrot ve ilave tel çapı değerleri belirlenmiştir [50].

Tablo 3.16. 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

3.4.4. 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 3.17'de verilmiştir [51].

Tablo 3.17. Parça kalınlığına (s) bağlı kaynak akımı (I) değerleri.

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

3.4.5. Parça kalınlığına göre paso sayısı

Kaynak simülasyonu programında paso sayısı (PS) görülmekle birlikte kullanıcı tarafından seçimli olmayacak, ancak performans analizinde kullanılacaktır. Doldurulması gereken ideal kaynak metali hacminin (verim), kullanıcı tarafından gerçekleştirilen kaynak metali hacmine oranı ile paso sayısı ve kaynağın performansı tespit edilecektir.

$$PS = (\text{Toplam kaynak dikiş kesit alanı}) / (1 \text{ Pasoda elde edilen kaynak dikiş kesit alanı}) \quad (3.9)$$

3.4.6. Kaynak hızı

Kaynak hızı, kaynak arkının iş parçası boyunca olan hareketi ya da birim zamanda yapılan kaynak dikiş 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 eriyen miktarının azalmasına neden olur, bu da kaynak dikiş ıslatmasını olumsuz yönde etkiler [40,41]. Sanal kaynak simülasyonu için belirlenen, parça kalınlığına (s), kaynak akımı (I) ve tel çapına (d) göre belirlenen kaynak hızları Tablo 3.18'de verilmiştir.

Tablo 3.18. 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 x 20 amper
$1 < S \leq 2$	4,00	d x 35 amper
$2 < S \leq 4$	3,50	d x 45 amper
$4 < S \leq 8$	3,50	d x 50 amper
$8 < S \leq 12$	3,50	d x 55 amper
$12 < S \leq 16$	3,50	d x 55 amper
$16 < S \leq 20$	3,50	d x 60 amper
$S > 20$	3,50	d x 60 amper

3.4.7. 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 arkı 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 [52].

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

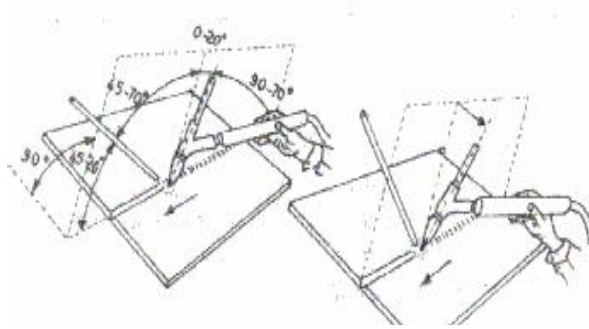
$$\text{Ark Boyu (a)} = d * 3 \quad (3.10)$$

3.4.8. Torç ve ilave tel ilerleme açısı

Torcun, kaynağın ilerleme yönü ile yapacağı açı çoğu zaman 70° ile 80° arasında olmakla beraber ilave tel açısı ise 20° ile 40° arasında da değişir. Tablo 3.19'da kaynak pozisyonuna bağlı olarak ideal ilerleme açı değerleri ve toleransları verilmiştir. İlerleme açısı değerleri ilerleme yönüne göre verilmiştir. Şekil 3.5'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 [53].

Tablo 3.19. Ark boyunun uzaklaşması ve yakınlaşması durumundaki değişiklikler

Kaynak pozisyonu	İlerleme açısı	İlave tel açısı	Tolerans
Düz kaynak	75°	30°	±5 °
Korniş kaynağı	75°	30°	±5 °
Düşey kaynak	105	30°	±5 °
Tavan kaynağı	75°	30°	±5 °

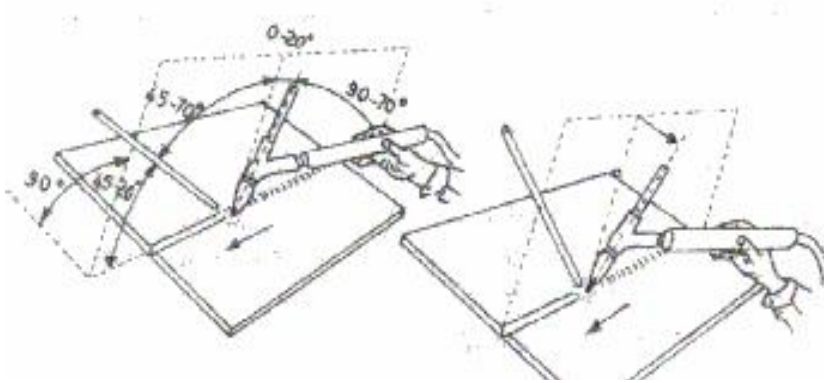


Şekil 3.5. ilerleme açısının şematik gösterimi

3.4.9. 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 (3.11)'de, salınım açısının şematik gösterimi ise Şekil 3.6'da verilmiştir. Salınım açısı (hareket açısı) “ β ” ile gösterilmektedir [51].

$$\beta = 5^\circ \pm 2,5 \quad (3.11)$$



Şekil 3.6. Salmım açısının şematik gösterimi

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

3.4.10. Kaynak hacminin hesaplanması

Kaynak hacmi, TIG kaynağında telin 1 sn zaman içerisinde erime miktarıdır. Kaynak hacminin hesaplanmasına dair formül (3.12)'de verilmiştir. Tablo 3.20.'de tel çekirdek çapına bağlı 1 saniyede eriyen tel boyu verilmiştir.

$$H = \frac{\pi \times d^2}{4} \times h \times t \quad (3.12)$$

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 ($I = d \times 45$) bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Tablo 3.20'de verilen değerler ortalama değerlerdir.

Tablo 3.20. Tel çekirdek çapına bağlı 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 4. KAYNAK PARAMETRELERİNİN SİMÜLASYONUNA ENTEGRASYONU

4.1. Giriş

Simülatör ekranında dört adet buton bulunmaktadır. Bunlar performans analizi, kaynak simülatörü, eğitim dökümanı ve programdan çıkış düğmeleridir. Oparatör ilk kullanımda kimlik bilgilerini girdikten sonra kaydet butonuna basar. Aynı kullanıcı farklı zamanlarda simülatöre sisteme giriş yaptığında kimlik bilgilerini otomatik olarak verecektir.

Kaynak işleminin sonrasında ise performans analizi butonuna basan oparatör, yaptığı kaynak hakkında geribildirim alacaktır. Kaynak dikişi gerçek uygulamalarda gözle muayene edilir ve öğrenciye anında dönüt verme imkanı yoktur. Bu anlamda kaynak simülatörü performans analizinin anında dönüt-düzeltilme avantajı ile gerçek uygulamalara üstünlük sağlamıştır.

Kaynakçı dilediği taktirde yapacağı kaynak yöntemi hakkında bilgi almak isterse eğitim dökümanı butonunu kullanarak teorik bilgisini arttırabilir. Böylece hiçbir kaynak bilgisi olmayan kişi dahi kaynak teknolojisi hakkında bilgi sahibi olur ve yaptığı dikişlerle anlamlı öğrenmeler gerçekleştirir.



Şekil 4.1. Sanal kaynak simülasyonu ana formu [54]

4.2. Sanal Kaynak Simülasyonunda İşlem Basamakları

Kullanıcı simülasyon programına ilk girdiğinde şekil 4.1 görülmektedir. Kaynağa başlamak için önce kullanıcının bilgileri alınmaktadır. Bu bilgiler veritabanına kaydolur ve kullanıcının daha sonraki girişlerinde kolaylık sağlar. Kullanıcı yaptığı ilk kaynak ile sonraki uygulamaları arasındaki farkı bu veritabanı sayesinde görebilir ve gelişimi hakkında bilgi sahibi olur. Şekil 4.2’de öğrenci kayıt formu gösterilmiştir.

Ogrenci Bilgileri

Ogrenci No 3 * Kontrol Telefon (0)

Ogrenci TC 14104675710 * Adres

Adi Emil * Isyeri

Soyadi Uz *

Kaydet Deneme

Temizle Parametreler

Bilgileri Guncelle

* ile gosterilen yerleri doldurmak zorunludur.

Şekil 4.2. Öğrenci kayıt ve seçim formu[54]

Öğrenci bilgileri girildikten sonra parametreler butonuna tıklanarak parametre giriş formu aktif hale getirilir. Burada kaynak yöntemi, parça kalınlığı birleştirme türü, malzeme türü, kaynak pozisyonu gibi parametreler girilerek hesapla butonuna basılır. Böylece kullanıcı girdiği parametrelere en uygun olan ikinci derecedeki parametreler uzman sistem yardımıyla hesaplanır. Öğrenci, istediği taktirde uzman sistemi kullanmadan da parametre girişi yapabilmektedir. Sonrasında kaynağa başlamak için çalıştır komutu kullanılarak kaynağa başlanır. Parametre giriş ekran görüntüsü Şekil 4.3’de verilmiştir.

Yapılan her kaynak uygulamasında öğrencinin her hareketi sonuç isimli tex dosyasına kaydolur. Sanal kaynak simülöründe bundan sonraki işlemler uygulamalar üzerinden bahsedilecektir.

Kaynak Parametreleri

Ak Kaynak Yöntemi: Elektrik Ark Kaynağı Parça Kalınlığı (mm): 8

Malzeme Türü: Karbonlu Çelik Kaynak Pozisyonu: Düz Kaynak Performans Analizi Çalıştır

Birleştirme Türü: Düz Kaynak Hesapla Temizle Yazdır Çıkış

Ak Kaynak Yöntemi: Elektrik Ark Kaynağı

Malzeme Türü: Karbonlu Çelik

Birleştirme Türü: Düz Kaynak

Parça Kalınlığı (mm): 8

Kaynak Pozisyonu: Düz Kaynak

Elektrot Çekirdek Çapı (mm): 3,25

Kaynak Akımı (amper): $80 < I <= 110$

Kaynak ağı formlarında boyutlar

? 60 b: 2mm h: 3mm

Kaynak Hız (mm/sn): 4,00 (mm/sn)

Elektrot İlerleme Açısı (°): 80° Tolerans: ±5°

Ark Boyu (mm): 1,625

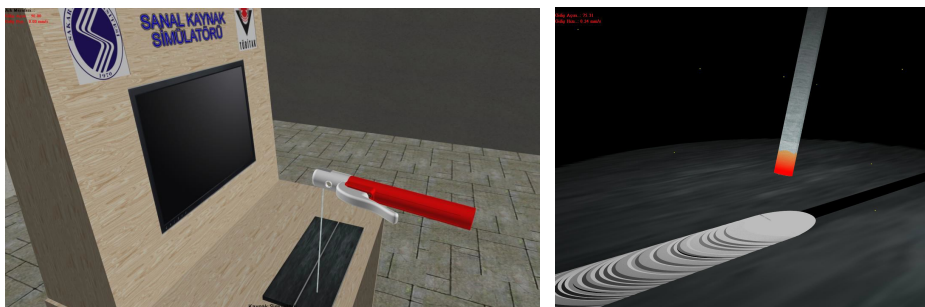
Salınım Açısı (°): 5° Tolerans: ±2,5°

OğrenciNo	AkKaynakYöntemi	MalzemeTuru	BirleştirmeTuru	ParçaKalınlığı (mm)	KaynakPozisyonu	ElektrotÇekirdek (mm)
1	Elektrik Ark Kaynağı	Karbonlu Çelik	Düz Kaynak	8	Düz Kaynak	3,25
1	MIG-MAG Kaynağı	Paslanmaz Çelik	Dış Köşe	5	Korniş Kaynak	0,8
1	TIG Kaynağı	Alüminyum	Bindirme	7	Tavan Kaynak	2,4
1	Elektrik Ark Kaynağı	Karbonlu Çelik	İç Köşe	4	Korniş Kaynak	3,25
1	Elektrik Ark Kaynağı	Karbonlu Çelik	Düz Kaynak	3	Düz Kaynak	2,5
1	Elektrik Ark Kaynağı	Karbonlu Çelik	Düz Kaynak	2	Düz Kaynak	2,5

Şekil 4.3. İdeal kaynak parametrelerinin belirlenmesi ara yüz ekranı [54]

4.3. Örnek Sanal Kaynak Uygulamaları

Kullanıcı sanal kaynak yaparken üzerine konum ve oryantasyon algılayıcısı monte edilmiş torç kullanılmaktadır. Sanal kaynak sırasında gerçek zamanlı olarak kaynak dikişi oluşturulurken kaynak sesi, kaynak ışığı ve kıvılcımları üretilerek kullanıcıya ve izleyenlere gerçek kaynak hissini vermektedir. Şekil 4.4'de örnek kaynak görüntüsü verilmiştir.



Şekil 4.4. Sanal kaynak simülasyonunda kaynak elemanları ve dikiş görüntüsü [54]

Performans analizi için dört temel parametre ve (kaynak hızı, ark boyu, ilerleme açısı, elektrot salınım açısı) dört adet grafik elde edilmektedir.

Bu çalışma Enes HOŞŞİRİN tarafından Bilişim Mühendisliği'nde yüksek lisans tezi olarak yapılmıştır. Bir önceki bölümde belirlenen parametrelerin kaynağa etkisini değerlendirmek açısından, bu bölümde performans sonuçları hakkında açıklama yapılacaktır.

Kaynak simülatörü uzman sistem tarafından optimum parametreleri kendisi belirler. Kaynakçının işlem sırasında yaptığı kaynak hareketlerini bilgisayar kaydeder. Sonuç ekranında ise optimum değerler ve kaydedilen veriler gösterilir. Sonuç grafiğinde dört farklı renk (kırmızı, siyah, sarı, yeşil)kullanılmaktadır. Kaynakçının işlem sırasında yaptığı kaynak hareketlerini bilgisayar kaydeder. Sonuç ekranında ise optimum değerler ve kaydedilen veriler gösterilir.

Puanlama sırasında her bir bölge ayrı derecelendirmeye tabi tutulmuştur. Bu bölgeler renk skalası ile de bölgelere ayrılmıştır (siyah, sarı, yeşil ve kırmızı). İdeal bölgedeki değer yüzdesi, puanlamada tam puan olarak değerlendirilmektedir. Bu bölgeden uzaklaştıkça puanlar %50, %25 ve %0 şeklinde azalmaktadır. Kaynak işleminin, genel puanlaması dört parametrenin, ağırlıklarına göre ortalamasının toplamı ile bulunmaktadır. Şekil 4.5 'de genel puanlama için örnek bir ekran çıktısı verilmiştir.

Puanlama

Öğrenci Bilgileri
 Adı : Soyadı : Numarası :

Kaynak Türü
 Ark Kaynağı Yöntemi : Parça Kalınlığı(mm) :
 Malzeme Türü : Kaynak Pozisyonu :
 Birleştirme Türü :

Puanlar

Kaynak Hızı Puanları :	<input type="text" value="100"/>	* %20 =	<input type="text" value="20"/>
Ark Boyu Puanları :	<input type="text" value="0"/>	* %30 =	<input type="text" value="0"/>
Salınım Açısı Puanları :	<input type="text" value="100"/>	* %10 =	<input type="text" value="10"/>
İlerleme Açısı Puanları :	<input type="text" value="5,625"/>	* %40 =	<input type="text" value="2,25"/>

Toplam Puan :

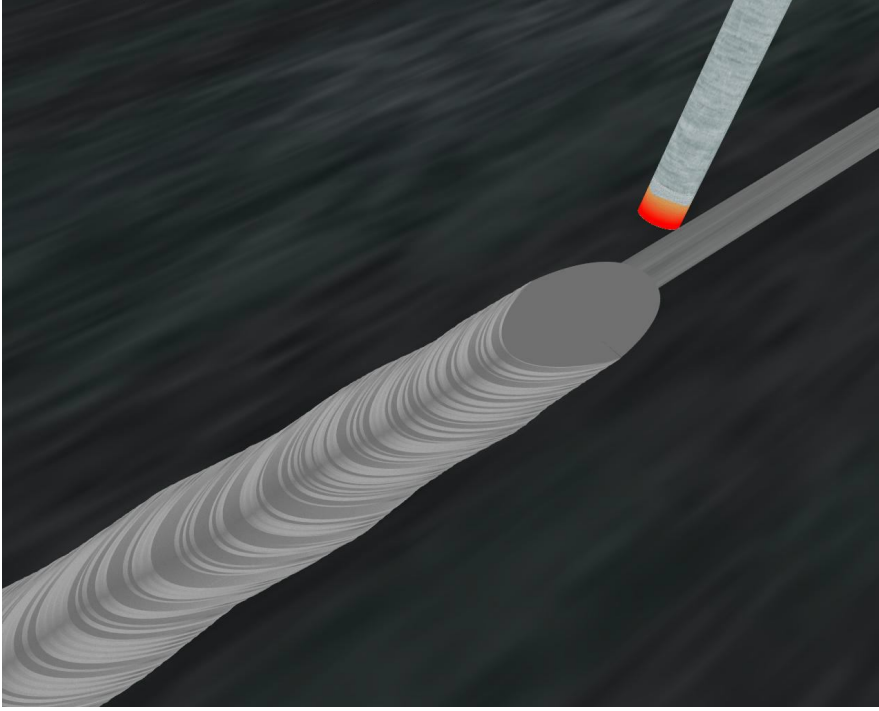
Yorumlar

Kaynak hızı olması gerekenin altında. Lütfen Kaynak hızınızı yükseltin. İlerleme açısı yüzdeniz olması gerekenin altında. Lütfen ilerleme açınızı yükseltin. Ark boyu yüzdeniz olması gerekenin üstünde. Lütfen ark boyunuzu düşürün. Elektrot salınım açısını ideal seyretmiştir...

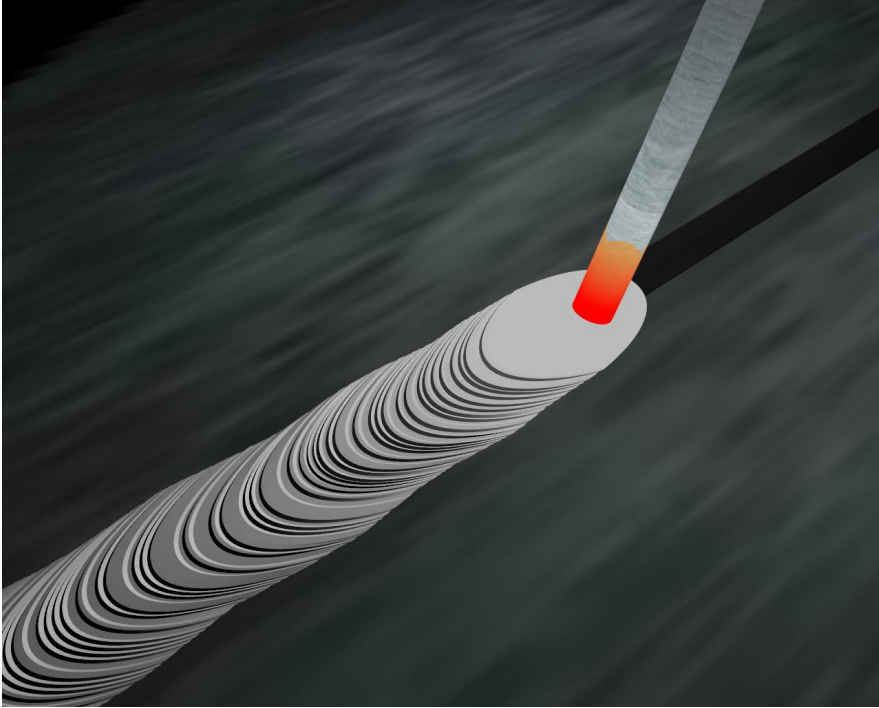
Şekil 4.5. Kaynak başarı durumunu gösteren ayrıntılı puanlama ve yorum ekranı [54]

4.3.1. Elektrik ark kaynak uygulamaları

Elektrik ark kaynağı yapılmış malzemenin ark kopmuş hali Şekil 4.6, kaynak yaparken ki görüntüsü Şekil 4.7'da gösterilmiştir. Simüle edilmiş esas malzeme ve elektrot gerçek özelliklerini yansıtmaktadır. Arkın kopmuş halinde elektrot ucunda kızarıklık görülmüştür. Başarılı bir kaynak uygulamasında kaynak metali düzgün bir geometride devam etmektedir. Kaynak işleminin sonlarında elektrot dik tutulmadığı takdirde krater çukuru gibi kaynak hataları meydana gelir. Görüntüde kaynak işlemi yarım bırakıldığı için krater çukuru oluşmuştur.

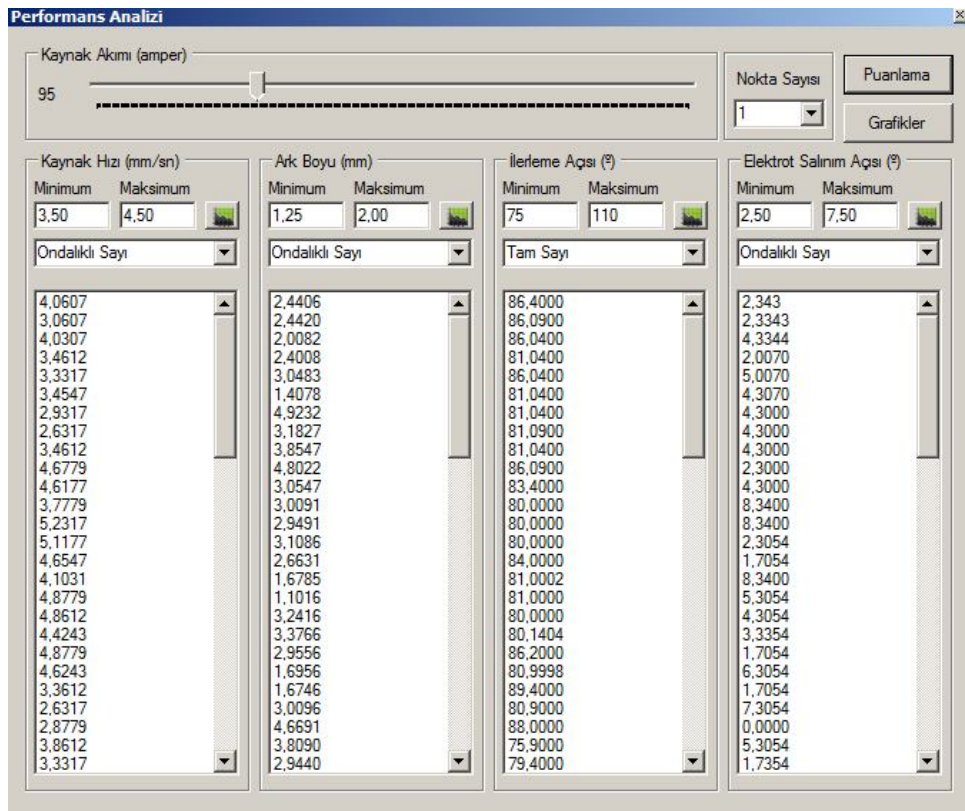


Şekil 4.6. Elektrik-Ark Kaynak Görüntüsü (Ark kopmuş hali) [54]



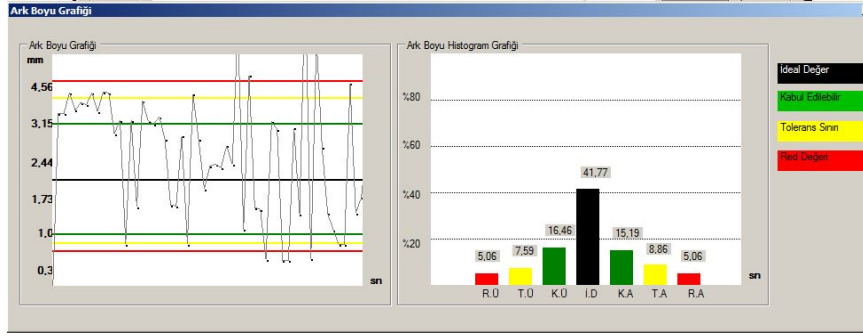
Şekil 4.7. Elektrik-Ark Kaynak Görüntüsü (Kaynak yaparken) [54]

Başarılı bir elektrik ark kaynağı uygulamasından alınan veriler Tablo 4.8’de verilmiştir. Her bir parametre için ayrı grafik ve histogramlar ile gösterilmektedir. Uygulama yapan kişinin hareketlerinden alınan veriler, grafikler ve histogramlar ile Şekil 4.9’de verilmiştir. Dikkat edildiğinde başarılı kaynak uygulamalarındaki histogramlarda, ideal değer olan siyah çubukların yüksek oranlarda olduğu gözükmektedir. Histogramlarda belirtilen RÜ red üstünü, TÛ tolerans üstünü, KÛ kabul edilebilir üstü, İD ideal, KA kabul edilebilir altı, TA tolerans altı, RA red altı değerlerini göstermektedir.

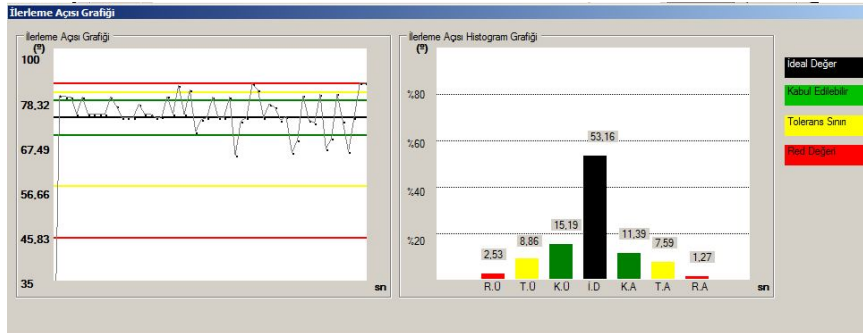


Şekil 4.8. Sanal Kaynak Simülasyonu ile başarılı bir elektrik ark kaynağı denemesinden elde edilen veriler [54]

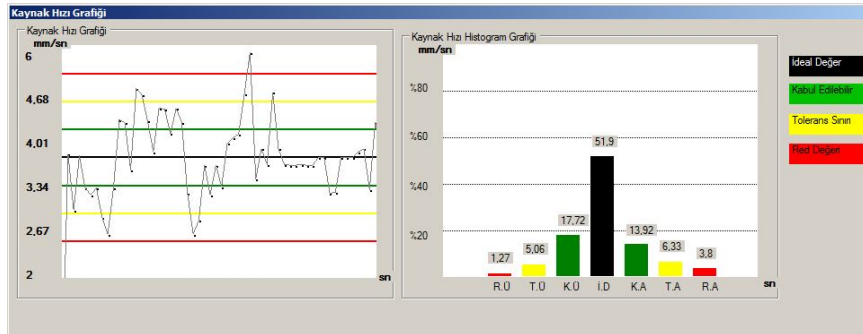
Başarılı bir kaynakta grafik ve histogramlar ele alındığında red çizgilerinin düşük değerlerde, ideal değer ile kabul edilebilir sınırın yüksek olduğu gözükmektedir. Bu haliyle kaynak işlemi istenilen değerlere yakın olduğu için çalışma başarılı olmuştur.



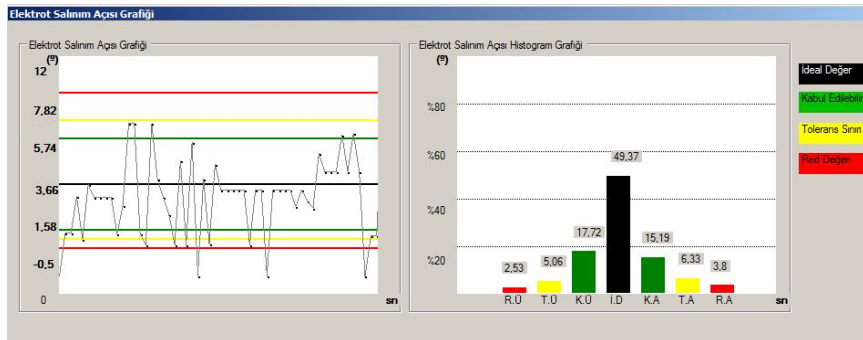
a



b



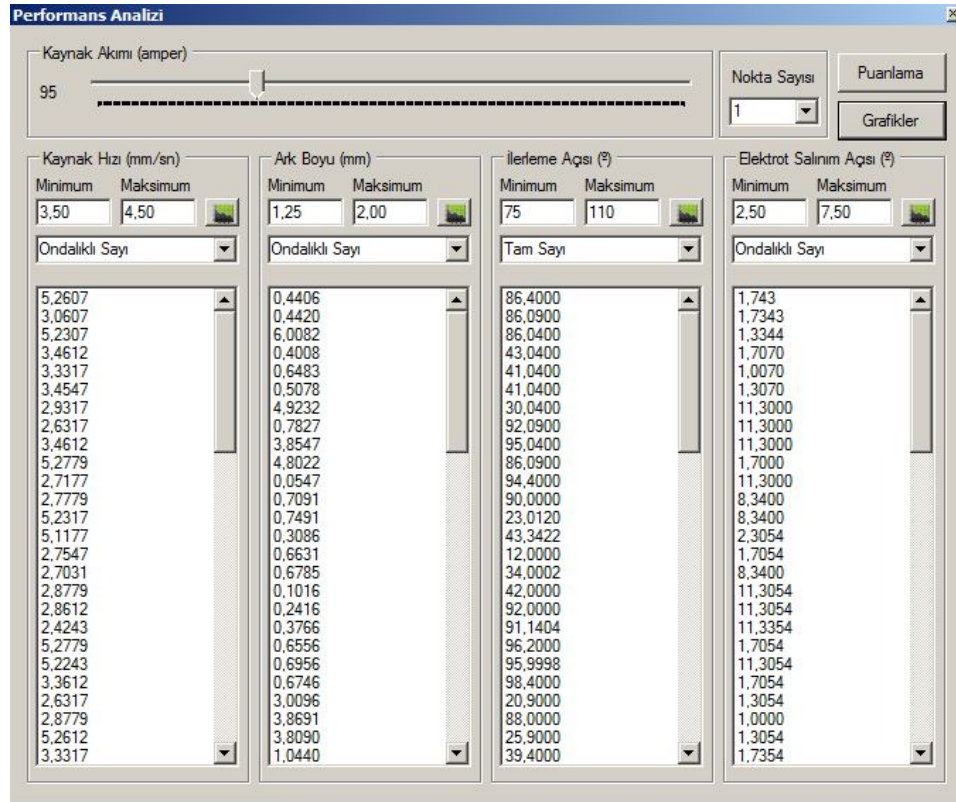
c



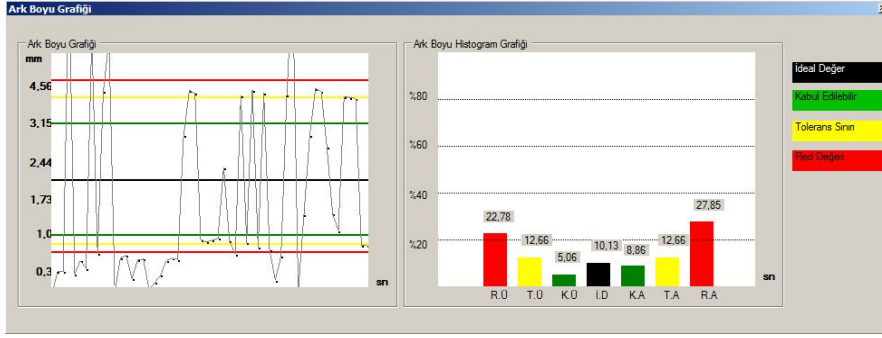
d

Şekil 4.9. Elektrik-Ark kaynağı için yapılan başarılı bir kaynak denemesi a) Ark-boyu grafiji b) İlerleme açısı grafiji c) Kaynak hızı grafiji d) Elektrot salınım açısı grafiji [54]

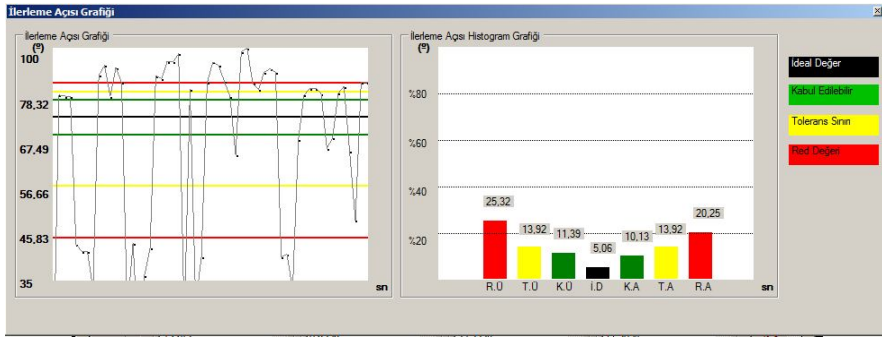
Başarısız bir elektrik ark kaynağı uygulamasından alınan veriler Şekil 4.10'da verilmiştir. Her bir parametre için ayrı grafik ve histogramlar ile gösterilmektedir. Uygulama yapan kişinin hareketlerinden alınan veriler, grafikler ve histogramlar ile Şekil 4.11'de verilmiştir. Grafik ve histogramlar incelendiğinde başarısız bir kaynak uygulamasında ideal ve kabul edilebilir değerlerde en az veri kaydedildiği görülmektedir. Bu sebeple kaynak başarısız kabul edilmektedir.



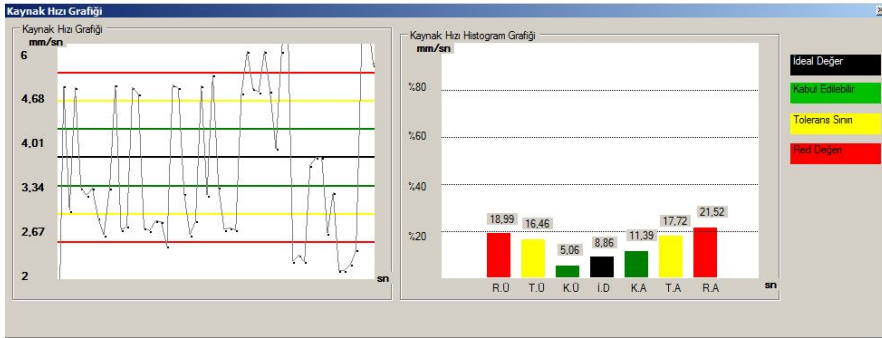
Şekil 4.10. Sanal kaynak simülasyonu ile başarısız bir elektrik-ark kaynağı denemesinden elde edilen veriler [54]



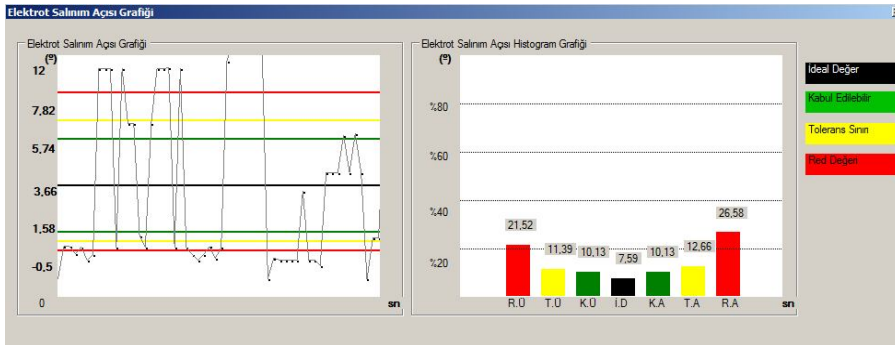
a



b



c

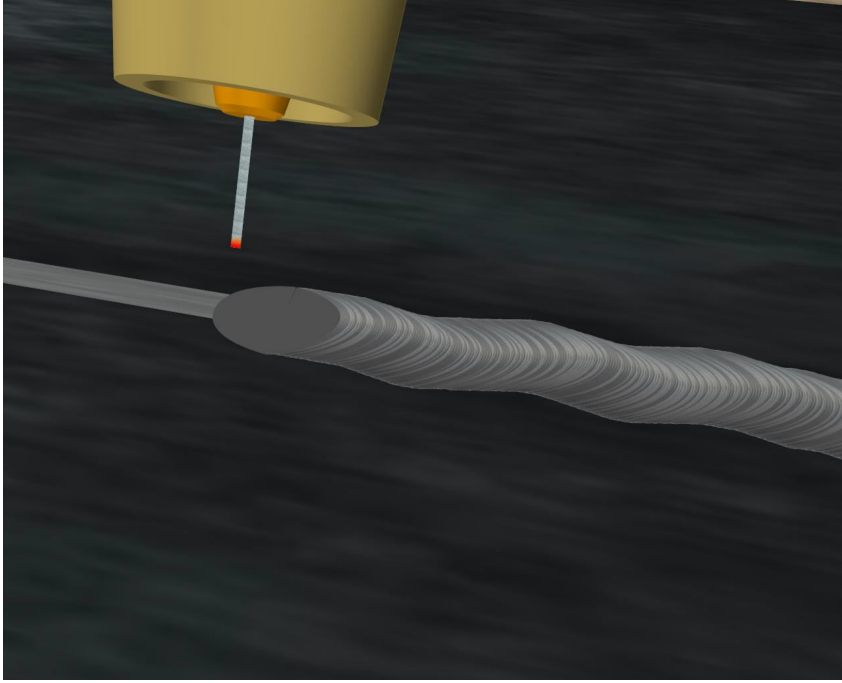


d

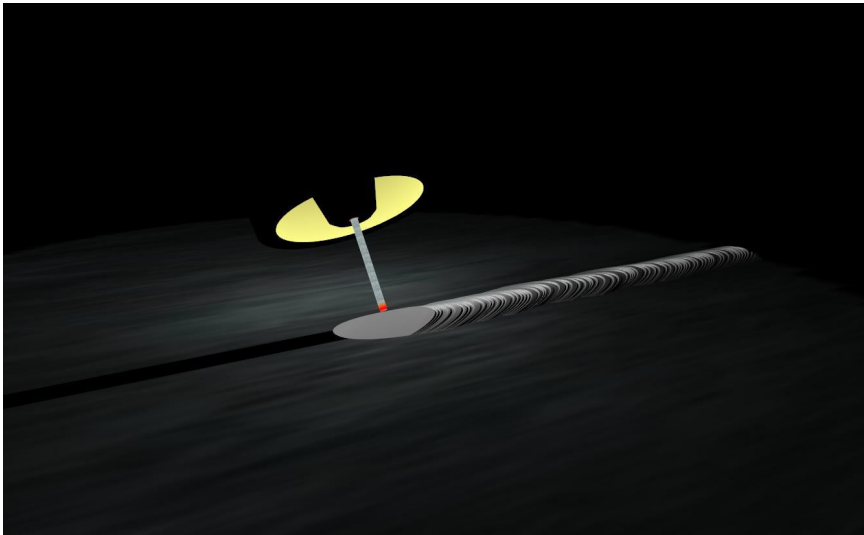
Şekil 4.11. Elektrik-Ark kaynağı için yapılan başarısız bir kaynak denemesi a) Ark-boyu grafiği b) İlerleme açısı grafiği c) Kaynak hızı grafiği d) Elektrot salınım açısı grafiği [54]

4.3.2. MIG-MAG kaynak uygulamaları

MIG-MAG kaynağı yapılmış malzemenin ark kopmuş hali Şekil 4.12, kaynak yaparken ki görüntüsü Şekil 4.13’da gösterilmiştir.

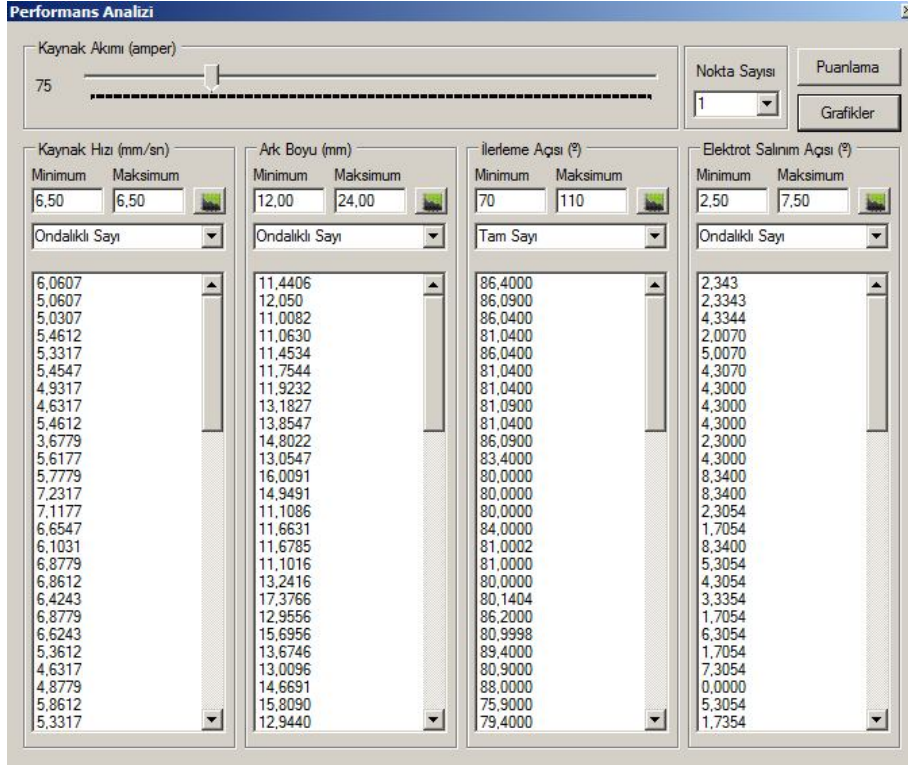


Şekil 4.12. Mig-Mag Kaynak Görüntüsü (Ark kopmuş hali) [54]

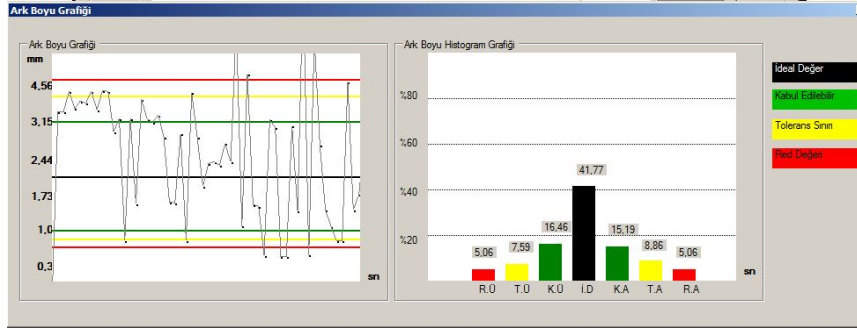


Şekil 4.13. Mig-Mag Kaynak Görüntüsü (Kaynak yaparken) [54]

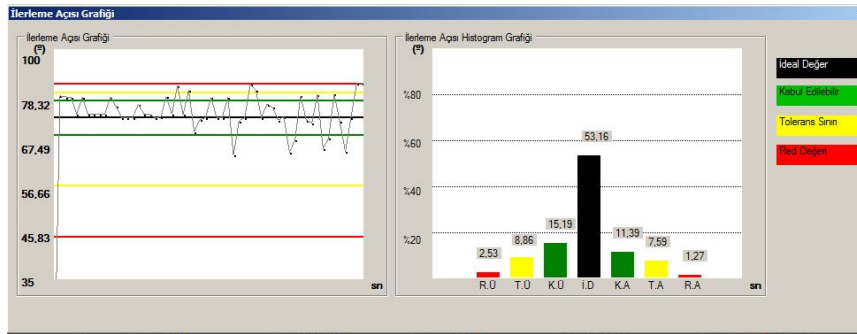
Başarılı bir MIG-MAG kaynak uygulamasından alınan veriler Şekil 4.14’de verilmiştir.. Uygulama yapan kişinin hareketlerinden alınan veriler, grafikler ve histogramlar ile Şekil 4.15’de verilmiştir.



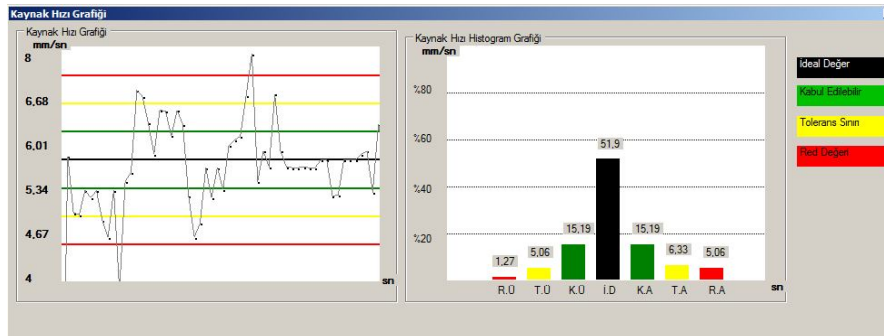
Şekil 4.14. Sanal kaynak simülatörü ile başarılı bir Mig-Mag kaynağı denemesinden elde edilen veriler [54]



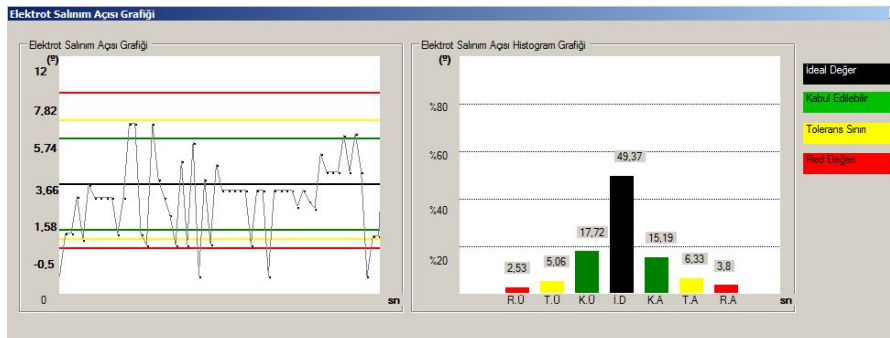
a



b



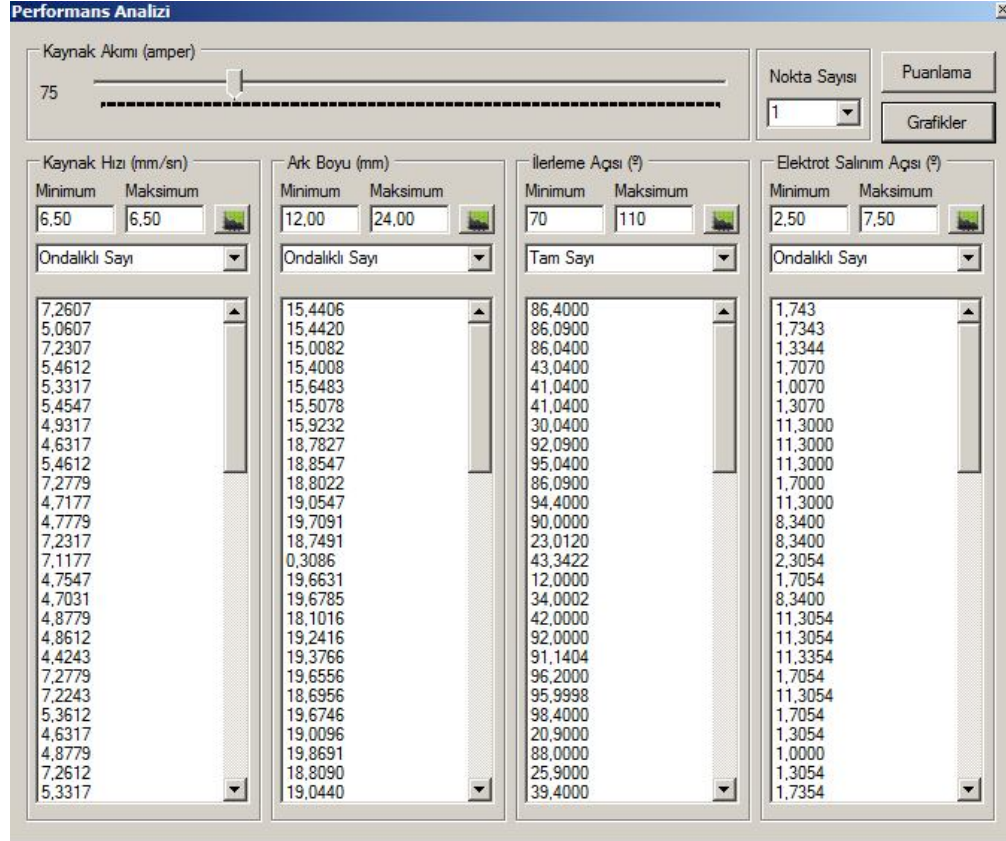
c



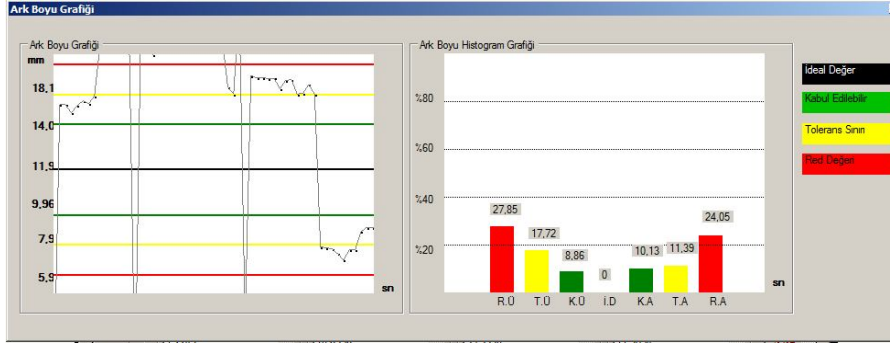
d

Şekil 4.15. Mig-Mag kaynağı için yapılan başarılı bir kaynak denemesi a) Ark-boyu grafiği b) İlerleme açısı grafiği c) Kaynak hızı grafiği d) Elektrot salınım açısı grafiği [54]

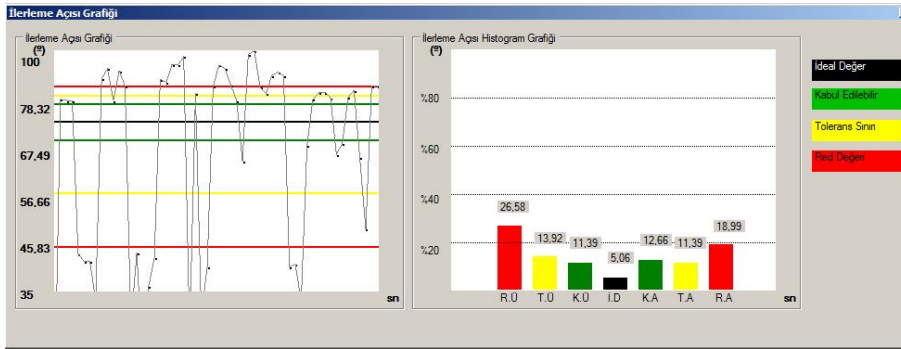
Başarısız MIG-MAG kaynak uygulamalarından alınan değerler Şekil 4.16’de, grafik ve histogramlar Şekil 4.17’da gösterilmiştir.



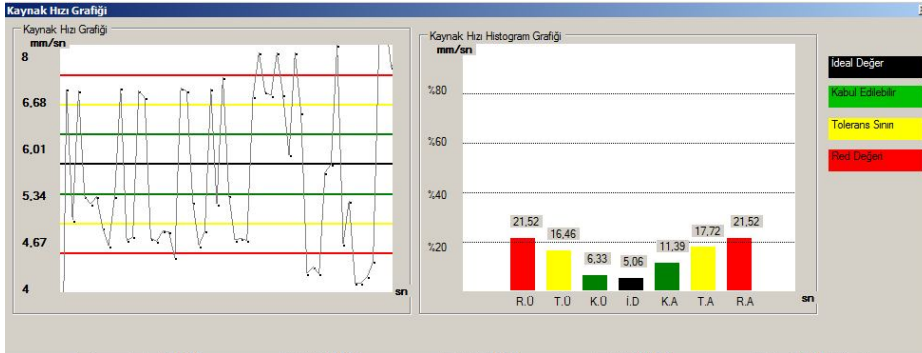
Şekil 4.16. Sanal kaynak simülatörü ile başarısız bir Mig-Mag kaynağı denemesinden elde edilen veriler [54]



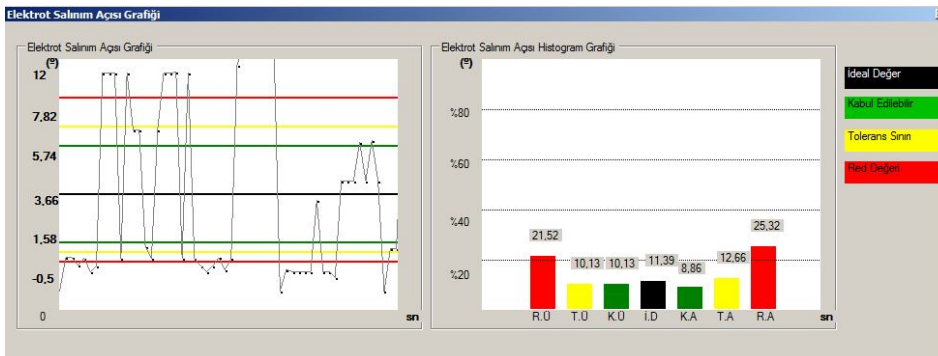
a



b



c



d

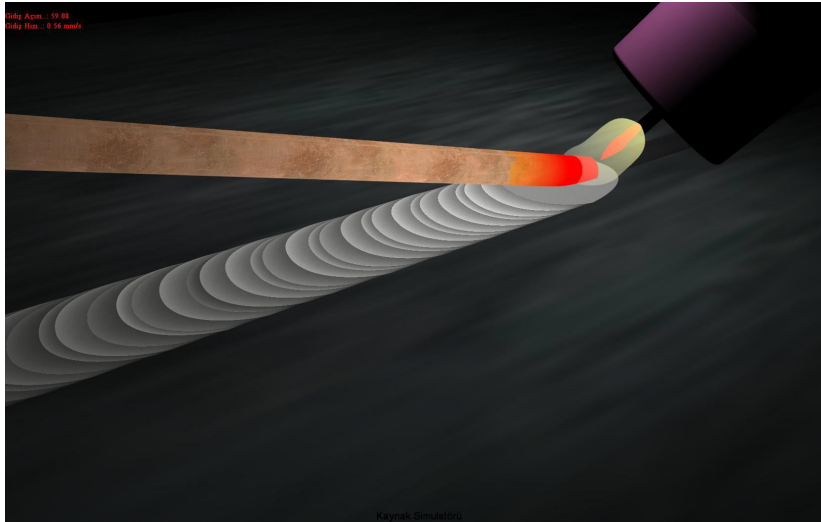
Şekil 4.17. Mig-Mag kaynağı için yapılan başarısız bir kaynak denemesi a) Ark-boyu grafığı b) İlerleme açısı grafığı c) Kaynak hızı grafığı d) Elektrot salınım açısı grafığı [54]

4.3.3. TIG kaynak uygulamaları

TIG kaynağı yapılmış malzemenin ark kopmuş hali Şekil 4.18’de , kaynak yaparken ki görüntüsü Şekil 4.19’da gösterilmiştir.

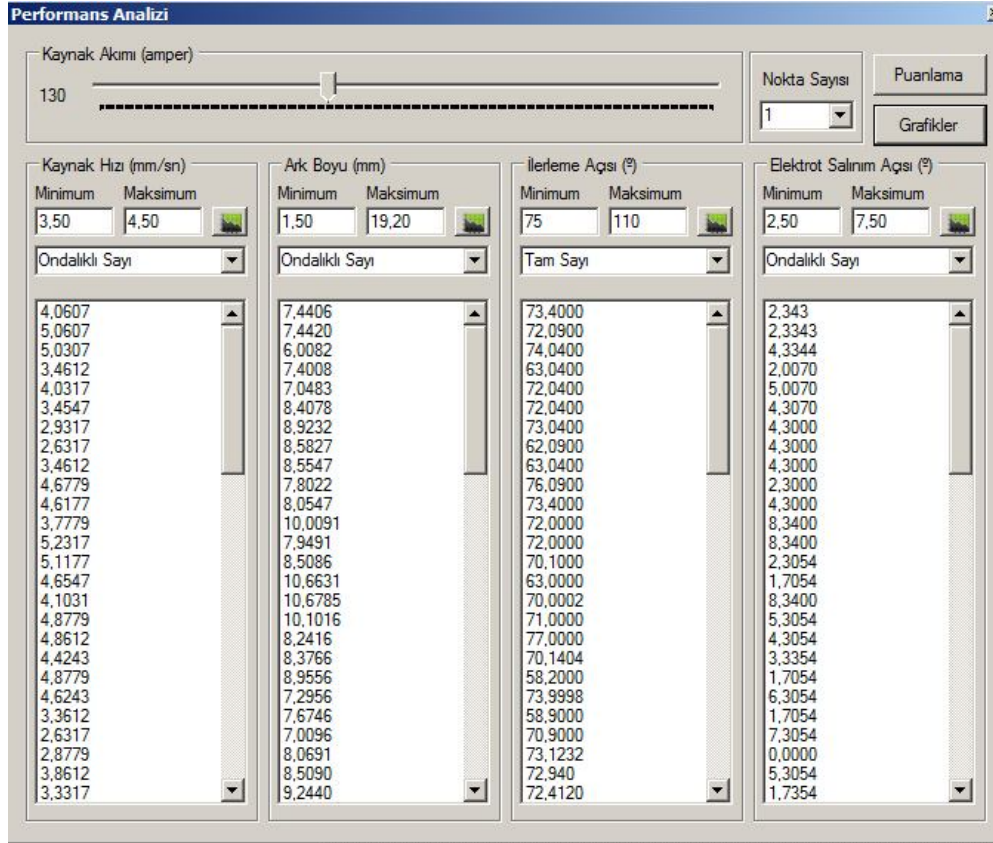


Şekil 4.18. TIG Kaynak Görüntüsü (Ark kopmuş hali) [54]

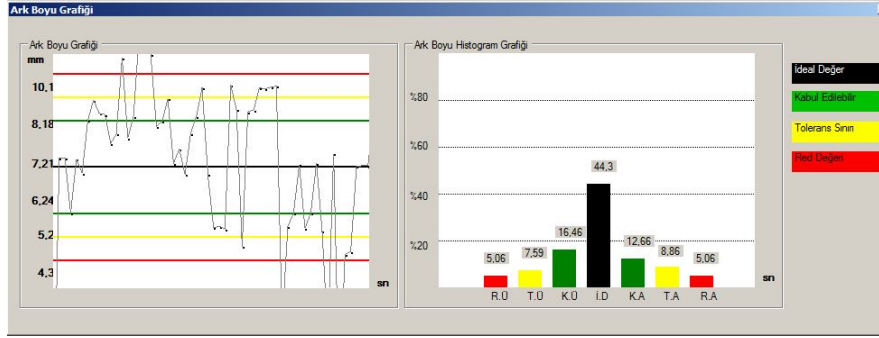


Şekil 4.19. TIG Kaynak Görüntüsü (Kaynak yaparken) [54]

Başarılı bir TIG kaynak uygulamasından alınan veriler Şekil 4.20’de verilmiştir.. Uygulama yapan kişinin hareketlerinden alınan veriler, grafikler ve histogramlar ile Şekil 4.21’de verilmiştir.



Şekil 4.20. Sanal kaynak simülâtörü ile başarılı bir TIG kaynağı denemesinden elde edilen veriler [54]



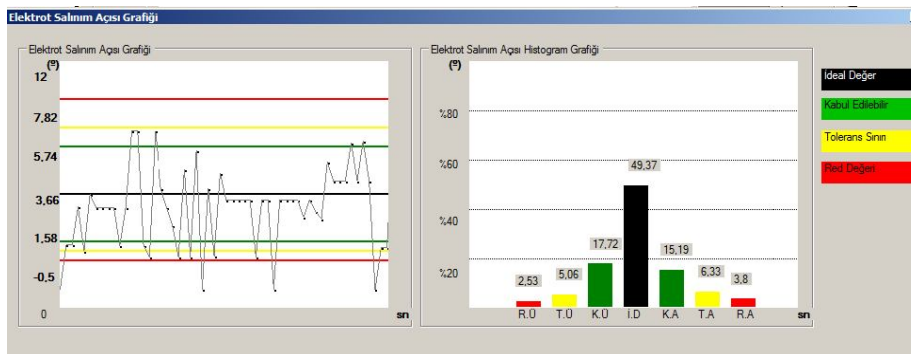
a



b



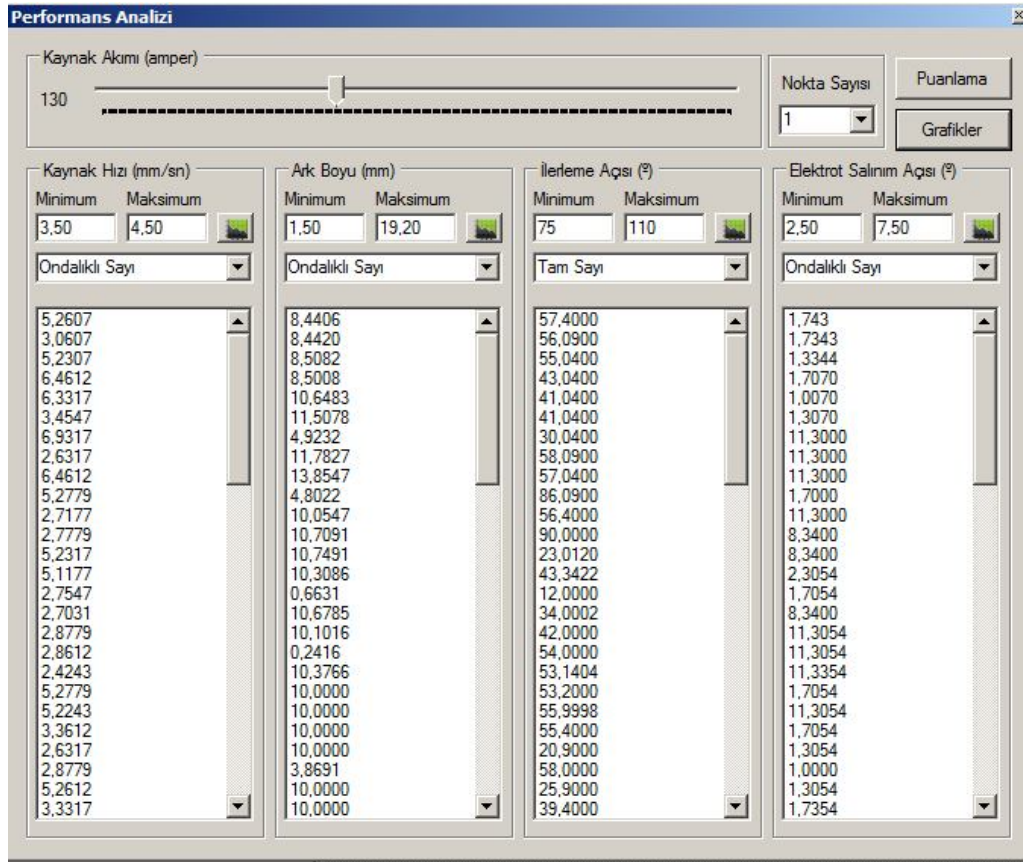
c



d

Şekil 4.21. TIG kaynağı için yapılan başarılı bir kaynak denemesi a) Ark-boyu grafifi b) İlerleme açısı grafifi c) Kaynak hızı grafifi d) Elektrot salınım açısı grafifi [54]

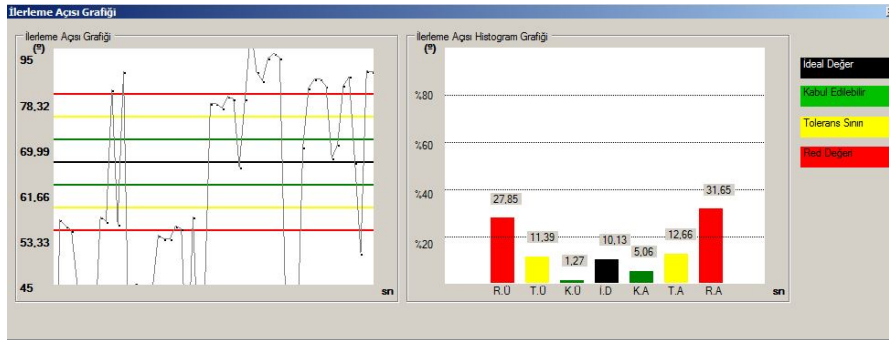
Başarısız TIG kaynak uygulamalarından alınan değerler Şekil 4.22’de, grafik ve histogramlar Şekil 4.23’de gösterilmiştir.



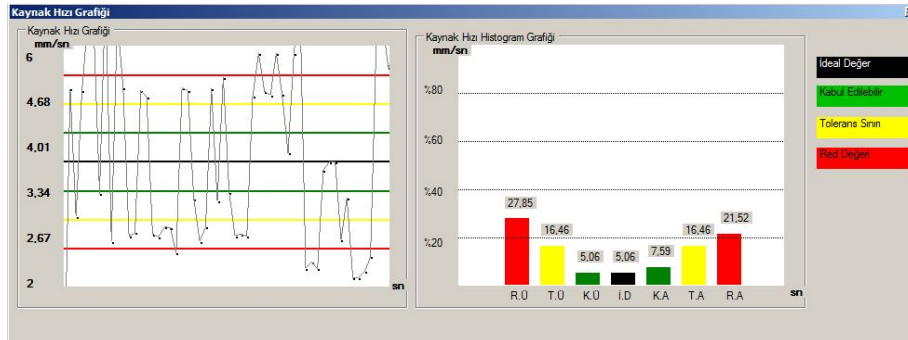
Şekil 4.22. Sanal kaynak simülatörü ile başarısız bir TIG kaynağı denemesinden elde edilen veriler [54]



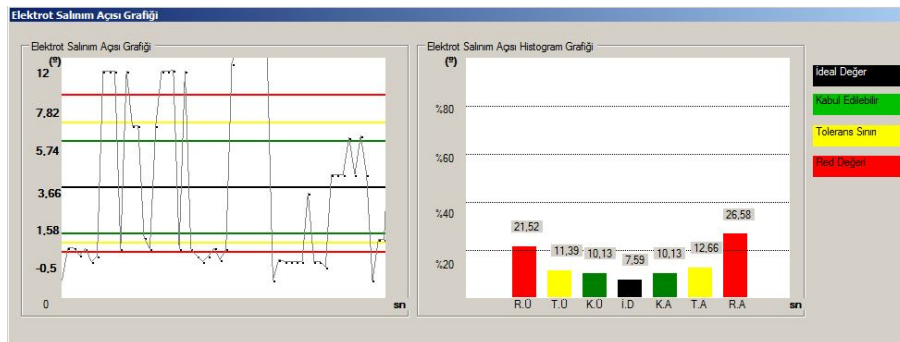
a



b



c



d

Şekil 4.23. TIG kaynağı için yapılan başarısız bir kaynak denemesi a) Ark-boyu grafiği b) İlerleme açısı grafiği c) Kaynak hızı grafiği d) Elektrot salmım açısı grafiği [54]

BÖLÜM 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Bu çalışma Sakarya Üniversitesi'nde yürütülmekte olan "Sanal Kaynak Simülatörü Tasarım ve İmalatı" projesine altyapı oluşturmak amacıyla yapılmıştır. Çalışmada elektrik ark, MIG-MAG ve TIG kaynak yöntemleri olmak üzere üç farklı kaynak yönteminin parametreleri belirlenmiştir.

Simülasyonda kullanılan parçanın kalınlığına göre ağız formları kullanılmıştır. Bu formlar bir formülasyon haline getirilmiştir. Öğrenci parça kalınlığı bilgisini girdiğinde en uygun kaynak ağızı otomatik olarak ekrana gelecektir. Aynı şekilde tel çapı, kaynak akımı, kaynak hızı, ark boyu gibi parametrelerde parça kalınlığına bağlı formül haline getirilmiştir.

Kaynak hacminin hesaplanması simülasyon için önemli bir husustur. Bu amaçla gerçek uygulamalar yapılarak 1 saniyede eriyen tel(elektrot) boyu belirlenmiştir. Böylece kaynak atılacak bölgenin doldurulması için gerekli olan tel(elektrot) boyu veya miktarı belirlenecektir.

Yapılan çalışmalarda belirlenen kaynak akımının belirlenmesi hususunda elektrik ark ve TIG kaynağı için geleneksel olarak akım değerleri kullanılmıştır. Ancak MIG-MAG kaynak akımının belirlenmesi, günümüzde kullanılan yöntemden(çalışma geriliminden) farklılık göstermektedir. MIG-MAG kaynağında çalışma gerilimi ayarlanarak birleştirme yapılmaktadır. Ancak bazı makinelerde ise tel çapına bağlı olarak kaynak akımı değişiklik göstermiştir. Buradan hareketle yapılan çalışmamızda MIG-MAG kaynağı için akım değerleri kullanılmıştır.

5.2. Öneriler

Bu çalışmada kaynak parametreleri literatür taraması ile oluşturulmuştur. Bundan sonraki çalışmalarda herhangi bir parametre ele alınarak gerçek uygulama yapılabilir.

Yenisini almanın maliyetli olduğu veya makine parçasının sökülmesinin sakıncalı olacağı yerlerde kullanılan Tamir-Bakım kaynağı kullanılır. Simülasyon çalışmasında tamir-bakım kaynağı noktasında yapılacak işlemler simülasyonu geliştirecektir. Bu bağlamda sisteme sanal bir kepçe ağzı yerleştirilerek uygulama yapılabilir.

Gerçek kaynak uygulamalarında oluşturulan ark ile kaynakçı arasında fiziksel bir etkileşim olur. Dikiş atılırken kaynakçı, ark'ın itme gücünü hisseder ve bu güç sayesinde ark'a ön verir. Simülasyon çalışmalarında bu durumun oluşturulmaması dezavantaj olarak nitelendirilebilir. Simülasyonun geliştirilmesi açısından torca verilecek ağırlık ve titreşimler faydalı olacaktır.

Kullanılan kaynak akımlarının, günümüzdeki kaynak makinelerinin parça kalınlığına bağlı verdikleri değerlerden farklı olduğu gözlenmiştir. Şöyle ki; yapılan deneysel çalışmalarda 3mm kalınlığındaki bir parçaya uygulanan 80 ve 90 amper değerindeki birleştirmenin yetersiz kaldığı görülmektedir. Bizim çalışmamızda verilen akım değerlerinin en üst sınırını kullanmak gerçek uygulamalar için daha faydalı olacaktır.

Sanal kaynak simülatörü daha önce yurtdışından ithal edilmiştir. Bu ürün Milli Eğitim Bakanlığı tarafından alınmıştır. Haydarpaşa Endüstri Meslek Lisesinde bir adet bulunmaktadır. Çalışma süresince bu ürün hakkında teknik bir yapılmıştır. Gezi sonucunda simülatör ile ilgili bazı bilgiler aşağıda sıralanmıştır.

- Ekran, kaynak formuna bağlı olarak hareketleri zor sağlıyor,
- Ark boyu değişince ark kesilmiyor,
- Ark boyu değişimlerine göre ses eklenmeli,
- Hız için bir izleyici ekranda oluşturulabilir,
- Torcun uzaklığına göre ekran üzerinde sanal bir çizgi oluşturulabilir,

- Elektrik kabloları iyi düşünölmüş; fakat kaynak esnasında rahatsız ediyor,
- İptal butonu eklenebilir,
- Kaynak esnasında torç çok hassas. Gerçek uygulamalarda, torç ile esas metal arasında bir kuvvet oluşur ve salınım hareketleri daha kontrollü gerçekleşir,
- Simölasyonun sonuçlar kısmında grafikler kullanılmış.
- Kaynak denemelerinde seviyeler kullanılmış.(Seviye 1,2,3)

Son yıllarda da Sakarya Üniversitesi'nde Yaşar Top tarafından "simölasyon ve temrinle ark kaynakçısı yetiştirme programı" isimli bir yüksek lisans tezi [29] ve daha sonra da Top ve Fındık tarafından konu ile ilgili bir makale yayınlanmıştır [30]. Bu çalışmalarda, yurtdışından ithal edilen KOSGEB'deki etkileşimi zayıf bir kaynak simölatörü 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.

KAYNAKLAR

- [1] KESKİN, M.S., Östenitik Paslanmaz Çeliğin LASER Lazer Kaynağı Yöntemi İle Birleştirilmesinin İncelenmesi, 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu, Karabük, 2009
- [2] ERTEMİZ.,M., Östenitik Paslanmaz Çeliklerin TIG Kaynak Yöntemi İle Birleştirilmesi ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Y.Lisans, Sakarya Üniversitesi,Makine Müh., s.1, 2005
- [3] ÖZ, C., FINDIK, F., İYİBİLGİN, O., SOY U., KIYAN, Y., SERTTAŞ, S., AYAR, K., USLU, S., YAŞAR, Y., Sanal Kaynak Simülatörleri Tasarımı, 2010
- [4] TABAN, E., KALUÇ,E., “EN AW-5083- H321 Alüminyum Alaşımının MIG, TIG ve Sürtünen Eleman İle Birleştirme (FSW) Kaynaklı Bağlantılarının Mekanik ve Mikroyapısal Özellikleri” Mühendis ve Makina - Cilt: 46 Sayı: 541
- [5] ASM Handbook , Welding Brazing and Soldering, Volume 6, Weliding of Aluminum Alloys
- [6] OĞUZ, B., “Karbonlu ve Alaşımli Çeliklerin Kaynağı, Oerlikon Yayını, 1985
- [7] MUZAFFEROĞLU, F., Darbeli akımla MIG/MAG Kaynağında Darbe Parametrelerinin Dikiş Geometrisine Etkisi, Y.Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Haziran 2008
- [8] ŞIK, A., MIG-MAG Kaynak Yöntemi ile Birleştirilen Çelik Malzemelerde İlave Tel Türleri ve Koruyucu Gaz Karışımlarının Eğmeli Yorulma Ömürlerine Etkilerinin Araştırılması, Gazi Üniversitesi, Endüstriyel Sanatlar Eğitim Fakültesi, Müh. Fak. Dergisi, Haziran 2007
- [9] YAŞAR, Y., 1070 Al serisinin TIG Kaynağı ile Birleştirilmesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Lisans Tezi, 2009
- [10] BABU, S., KUMAR, T.S., BALASUBRAMANIAN, V., Optimizing Pulsed Current Gas Tungsten Arc Welding Parameters of AA6061 Aluminium Alloy Using Hooke and Jeeves Algorithm, Science Pres, Science Direct, June 2008
- [11] ZIELİNSKA, S., VALANSİ, F., PELERİN, N., PELERİN, S., MUSİOL, K., IZARRA, Ch d., BRIAND, F., Microstructural analysis of the anode in gas metal arc welding (GMAW), Journal of Materials Processing Technology, 2009

- [12] GÜLENC, B., CANDAN, İ., KAHRAMAN, N., MIG-MAG Kaynağı ile Birleştirilen Boruların Tahribatlı ve Tahribatsız Muayenesi, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Dergisi, cilt 21, 2006
- [13] MİSHRA, S., LIENERT, T.J., JOHNSON, M.Q., DEPBOY, T., "An Experimental and Theoretical Study of Gas Tungsten Arc Welding of Stainless Steel Plates With Different Sulfur Concentrations, Science Direct, Mart, 2008
- [14] YILMAZ, R., UZUN, H., TIG ve MIG Gazaltı Kaynak Yöntemleriyle Birleştirilmiş Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Mekanik Özellikleri, Sakarya Üniversitesi, Journal of Marmara for Pure and Applied Sciences, 2002
- [15] USLU, S., Ark Kaynak Parametrelerinin Optimizasyonu, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2010
- [16] BAYRAKTAR, E., Kaleli, F., Sanal Gerçeklik ve Uygulamaları, Bahçeşehir Üniversitesi, Akademik Bilişim, 2007
- [17] SAFA KAPICIOĞLU, M.İ., BULUN, M., ÖĞÜT., A., Tıp Eğitiminde Simülasyon ve Sanal Gerçeklik Uygulamaları, Selçuk Üniversitesi
- [18] ÖZ, C., FINDIK, F., İYİBİLGİN, O., SOY U., KIYAN, Y., SERTTAŞ, S., AYAR, K., USLU, S., YAŞAR, Y., Sanal Kaynak Simülasyonları Tasarımı, (2010).
- [19] ANIK, S., TÜLBENTÇİ K., KALUÇ, E., Örtülü Elektrot İle Elektrik Ark Kaynağı, Gedik Holding Yayını, İstanbul, 1991
- [20] WU, C., Microcomputer-Based Welder Training Simulator, Computers in Industry, 20, 321-325, 1992
- [21] WU, C., WEN, C., WU, L., A Microcomputer-Controlled Welder Training System, Computers Education, 20 (3) 271-274, 1993
- [22] HESTON, T., Virtually welding, The Fabricator, 2008
- [23] 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
- [24] 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
- [25] DENİSİON, T. G., Arc Welding Simulator, US Patent No: 4.452.589, Jun. 5, 1984
- [26] SCHOW, H. B., Welding Simulator Spot Designator System, US Patent No: 4.132.014, 1979

- [27] VASİLİEV, V. V., SERGEİ, N. D. et al, Spark Trainer For Welders, US Patent No: 4.689.021, 1987
- [28] PATON, B. E., VASİLİEV, V. V. et al, Electric-arc Trainer For Welders, US Patent No: 4.716.273, 1987
- [29] TOP, Y., Simülasyon ve Temrinle Ark Kaynakçısı Yetiştirme Programı, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, 1997
- [30] TOP, Y., FINDIK, F. Ark kaynakçısının eğitiminde simülatör kullanımı, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Sakarya, 1998
- [31] YUMUŞAK, D.M., Gaz altı Kaynak Yöntemi ile Kaynatılan Ferritik Paslanmaz Çeliklerde Argon ve Helyum Gazlarının Kaynak Parametrelerine Etkisinin İncelenmesi, Y.Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Temmuz , 2008
- [32] ANIK, S., TÜLBENTÇİ, K., “Örtülü Elektrot ile Ark Kaynağı” Gedik Holding Yayınları, 1990
- [33] AY, İ., DEMİRCİOĞLU, T.K., “ İmalat Yöntemleri” Balıkesir Üniversitesi, Ders Notu
- [34] OĞUZ, B., “Karbonlu ve Alaşımli Çeliklerin Kaynağı” Oerlikon Yayını, 1985
- [35] ERYÜREK, İ., “Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı”, MIG-MAG Eriyen Elektrot ile Gazaltı Kaynağı, Gedik Holding-İstanbul, 1990
- [36] ANIK, S., Kaynak Tekniği Cilt 2 Tozaltı Kaynağı ve Koruyucu Gazla Kaynak, Teknik Üniversite Matbaası, İstanbul 1972
- [37] TABAN, E., 5xxx Serisi Alüminyum Alaşımlarının TIG,MIG ve Sürtünen Eleman ile Birleştirme Kaynaklı Bağlantılarının Mekanik ve Mikroyapısal Özelliklerinin İncelenmesi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü, Y.Lisans, Mayıs 2004
- [38] EKİCİ, M., MIG-MAG ve Elektrik Ark Kaynağı ile Birleştirilmiş Mikro alaşımli Çeliklerin Mekanik Özellikleri, Sakarya Üniversitesi, Y.Lisans, , s-37, 2009
- [39] GÖZÜTOK, E., Paslanmaz Çeliklerin TIG Kaynağında Argon-Hidrojen Gaz Karışımının Birleştirmelerin Mekanik ve Mikroyapı Özelliklerine Etkisi, Y.Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, 2009
- [40] ANIK S., TÜLBENTÇİ, K., KALUÇ, E., Örtülü Elektrot İle Elektrik Ark Kaynağı, Gedik Holding Yayını, İstanbul, 1991
- [41] WU, C., Microcomputer-Based Welder Training Simulator, Computers in Industry, 20, 321-325, 1992
- [42] FRANSON, D., THOMAS, E.,Game character design complete, using 3ds max 8 and adobe photoshop cs2, ISBN-13: 978-1-59863-270-5, Thomson, 2007

- [43] OĞUZ, B., Ark Kaynağı, Oerlikon Yayınları, 1989
- [44] DURGUTLU, A., Ark Kaynağı yöntemlerinde kaynak hızının mikroyapı ve nufuziyete etkisinin incelenmesi, (Yüksek Lisans) Tezi, Gazi Üniversitesi, 1997
- [45] ERTÜRK, İ., MIG-MAG Kaynak Yönteminde Kaynak Parametrelerinin Sıçrama Kayıplarına Etkilerinin İncelenmesi, (Doktora Tezi), Gazi Üniversitesi, 1994
- [46] ANIK, S., TÜLBENTÇİ, K., Kaynak Teknolojisi I, Elektrik Ark Kaynağı, Gedik Kaynak Yayınları, İstanbul, 2007
- [47] OĞUZ, B., Elektrik Ark Kaynağı, Oerlikon Yayınları, 1993
- [48] ANIK, S., VURAL, M., Gazaltı Ark Kaynağı, Gedik Eğitim Vakfı Kaynak Teknolojisi Eğitim Araştırma ve Muayene Enstitüsü , 3,
- [49] ANIK, S. VURAL, M., Kaynak ve Kesme Teknolojisinde Parametre Değer Tabloları, Birsen Yayınevi, İstanbul, Pp: 61-65. 2001
- [50] KALUÇ, E., Kaynak Teknolojisi El Kitabı, MMO/2004/356, Cilt 1, Ankara, Pp: 245. 2004
- [51] KALUÇ, E., Kaynak Teknolojisi El Kitabı, MMO/2004/356, Cilt 1, Ankara, Pp: 231. 2004
- [52] KALUÇ, E., Kaynak Teknolojisi El Kitabı, MMO/2004/356, Cilt 1, Ankara, Pp: 241 2004
- [53] ANIK, S. TÜLBENTÇİ, K., Gaz Altı Kaynak Tekniği, Gedik Kaynaksan, İstanbul, Pp: 12. 1991
- [54] HOŞŞİRİN, E., Sanal Kaynak Simülatöründe Performans Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, 2010

ÖZGEÇMİŞ

Yalçın YAŞAR, 1987 Kocaeli doğumlu. İlk, orta ve lise eğitimini Kocaeli'de tamamladı. 2005 yılında Sakarya Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metal Eğitimi Bölümünde lisans öğrenimine başladı ve bu bölümden 2009 yılında iyi derece ile mezun oldu. 2009 yılında aynı Üniversite'nin yüksek lisans programını kazandı.

2011 yılında yapılan KPSS sınavına girdi ve Tokat'ın Reşadiye ilçesinde Metal Öğretmeni oldu. Halen bu görevde devam etmektedir.