

**YÜKSEK AŞINMA DİRENCİNE SAHİP  
(HARDOX 400) ÇELİK MALZEMENİN  
PLAZMA ARK YÖNTEMİ İLE KESİLMESİNDE  
KESME PARAMETRELERİNİN İNCELENMESİ**

**2012  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**

**Mustafa Refik METLİOĞLU**

**YÜKSEK AŞINMA DİRENCİNE SAHİP  
(HARDOX 400 )ÇELİK MALZEMENİN PLAZMA ARK YÖNTEMİ  
İLE KESİLMESİNDE KESME PARAMETRELERİNİN İNCELENMESİ**

**Mustafa Refik METLİOĞLU**

**Karabük Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalında  
Yüksek Lisans Tezi  
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK  
Haziran 2012**

Mustafa Refik METLİOĞLU tarafından hazırlanan “YÜKSEK AŞINMA DİRENCİNE SAHİP (HARDOX 400) ÇELİK MALZEMENİN PLAZMA ARK YÖNTEMİ İLE KESİLMESİNDE KESME PARAMETRELERİNİN İNCELENMESİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd.Doç. Dr. Mehmet ERMURAT

Tez Danışmanı, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 26/ 06/ 2012

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Prof. Dr. Nizamettin KAHRAMAN (KBÜ)

Üye : Doç. Dr. Hasan GÖKKAYA (KBÜ)

Üye : Yrd. Doç. Dr. Mehmet ERMURAT (KBÜ)

...../...../2012

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Nizamettin KAHRAMAN

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

*“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”*

Mustafa Refik METLİOĞLU

## **ÖZET**

**Yüksek Lisans Tezi**

### **YÜKSEK AŞINMA DİRENCİNE SAHİP (HARDOX 400 ) ÇELİK MALZEMENİN PLAZMA ARK YÖNTEMİ İLE KESİLMESİNDE KESME PARAMETRELERİNİN İNCELENMESİ**

**Mustafa Refik METLİOĞLU**

**Karabük Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı:**

**Yrd. Doç. Dr. Mehmet ERMURAT**

**Haziran 2012, 59 sayfa**

Bu çalışmada yüksek aşınma direncine sahip çeliğin (Hardox 400) plazma arkı ile kesilmesinde kesme parametrelerinin etkileri incelenmiştir. 10 mm ve 20 mm olmak üzere iki farklı kalınlığa sahip malzemeler farklı ilerleme hızı, kesme yüksekliği ve koruyucu gaz debisi değerleri ile kesilmiştir.

İki farklı deney yapılmıştır. İlk deneyde farklı ilerleme hızı ve kesme yüksekliği değerlerine göre kesme kenarı dikliği ve enerji sarfiyatı incelenmiştir. İkinci deneyde ise, farklı ilerleme hızı ve koruyucu gaz debisi değerlerine göre kesme kenarı dikliği ve çapak oluşumu incelenmiştir. İlk deneyin sonuçlarına göre, 10 mm kalınlığındaki malzemenin kesilmesi için 2,5 mm kesme yüksekliği ve 2100 mm/dk ilerleme hızı, 20 mm kalınlığındaki malzemenin kesilmesi için ise 4 mm kesme yüksekliği ve 300 mm/dk ilerleme hızı tercih edilmesi gereken sonuçlar olarak elde edilmiştir.

İkinci deney ilk deneyde elde edilen sonuçlar kullanılarak gerçekleştirilmiştir. İkinci deneyde ilerleme hızı koruyucu gaz debisi ile ilişkisini incelemek için tekrar değişken parametre olarak kullanılmıştır.

Nihai sonuçlara göre, Hardox 400 malzemesinin plazma arkı ile kesme ile kesilmesinde optimum parametre seviyeleri şu şekilde olmalıdır; 10 mm kalınlığındaki malzeme için 2,5 mm kesme yüksekliği, 2100 mm/dk ilerleme hızı ve 20 lt/dk koruyucu gaz debisi; 20 mm kalınlığındaki malzeme için ise 4 mm kesme yüksekliği, 200 mm/dk ilerleme hızı ve 20 lt/dk koruyucu gaz debisi.

**Anahtar Sözcükler** : Yüksek aşınma direncine sahip çelik (Hardox 400), plazma arkı ile kesme, ilerleme hızı, kesme yüksekliği

**Bilim Kodu** : 914.1.140

## **ABSTRACT**

**M.Sc. Thesis**

### **CUTTING PARAMETERS EXAMINATION OF PLASMA ARC CUTTING OF HIGH WEAR RESISTANT STEEL (HARDOX 400) MATERIAL**

**Mustafa Refik METLİOĞLU**

**Karabük University**

**Graduate School of Natural and Applied Sciences**

**Department of Mechanical Engineering**

**Thesis Advisor:**

**Assist. Prof. Dr. Mehmet ERMURAT**

**June 2012, 59 pages**

In this study, cutting parameters effects of plasma arc cutting of high wear resistant steel (Hardox 400) were investigated. Materials which have different thickness, i.e 10 mm and 20 mm, were cut with different values of feed rate, standoff distance and shielding gas flow rate.

Two different experiments were performed. In first experiment, cutting edge squareness and energy consumption were investigated for different values of feed rate and standoff distance. In second experiment, cutting edge squareness and burr formation were investigated for different values of feedrate and shielding gas flow rate. 2,5 mm of standoff distance and 2100 mm/min of feedrate for the thickness of 10 mm, 4 mm of standoff distance and 300 mm/min of feedrate for the thickness of 20 mm should be chosen according to the results of first experiment.

Second experiment was performed according to results of first experiment. In second experiment, feed rate was used as variable parameter as well in first experiment to investigate the relation with shielding gas flow rate.

According to the overall results, optimum parameter levels to cut the Hardox 400 material by plasma arc cutting should be following; 2,5 mm of standoff distance, 2100 mm/min of feed rate and 20 lt/min of shielding gas flow rate for the thickness of 10 mm; 4 mm of standoff distance, 200 mm/min of feed rate and 20 lt/min of shielding gas flow rate for the thickness of 20 mm.

**Key Words** : High wear resistant steel (Hardox 400), plasma arc cutting, cutting feed rate, standoff distance.

**Science Code** : 914.1.140



## TEŞEKKÜR

Bu tez çalıŐmasının planlanmasında, araŐtırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalıŐmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren sayın hocam Yrd. Doç. Dr. Mehmet ERMURAT'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca tezimle ilgili işlerdeki yön göstericiliklerinden ve bilgi ve tecrübelerini paylaşan sayın hocam Doç. Dr. Hasan GÖKKAYA'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Deneysel alıŐmalar sırasında yardımlarını esirgemeyen Karçel/Kardemir A.Ő'nin müdürü sayın Kerim Kenan SUNGUR'a ve mesai arkadaşlarıma teşekkürü bir borç bilirim.

Hayatımın her aşamasında beni destekleyen babam sayın İsmail METLİOğLU ve annem Aniş METLİOğLU'na, manevi hiçbir yardımı esirgemedен yanımda olan oğlum Arda ve eşim Hatice'ye tüm kalbimle teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

KABUL .....	ii
ÖZET .....	iv
ABSTRACT .....	vi
TEŞEKKÜR .....	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xvi
BÖLÜM 1. ....	1
GİRİŞ .....	1
BÖLÜM 2. ....	3
PLAZMA ARKI İLE KESME YÖNTEMİ .....	3
2.1. PLAZMA ARKI İLE KESME .....	3
2.1.1. Transfer Edilen Ark Yöntemi .....	3
2.1.2. Transfer Edilmeyen Ark Yöntemi.....	5
2.2. CNC PLAZMA KESME TEZGÂHININ DONANIMLARI .....	7
2.2.1. Plazma Ünitesi .....	7
2.2.1.1. Güç Ünitesi.....	7
2.2.1.2. Gaz Konsolu .....	8
2.2.1.3. Torç Ünitesi.....	8
2.2.2. CNC Ünitesi.....	12
2.3. PLAZMA ARKI İLE KESMEDE KESMEYİ ETKİLEYEN PARAMETRELER .....	14
2.3.1. Malzeme Cinsi ve Kalınlığı .....	14
2.3.2. Kesme Yüksekliği.....	15
2.3.3. Uygulanan Enerji miktarı .....	15

2.3.4. İlerleme hızı .....	15
2.3.5. Kullanılan gaz ve miktarları .....	16
2.3.5.1. Argon .....	16
2.3.5.2. Hidrojen .....	17
2.3.5.3. Azot.....	17
2.3.5.4. Hava.....	17
2.3.5.5. Oksijen .....	17
BÖLÜM 3. ....	18
LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	18
3.1. GİRİŞ.....	18
3.2. YÜKSEK AŞINMA DİRENCİNE SAHİP MALZEMELER VE KESME YÖNTEMLERİ.....	18
3.3. PLAZMA ARK KESME YÖNTEMİ İLE İLGİLİ LİTERATÜR ARAŞTIRMASI .....	20
3.4. LİTERATÜR ARAŞTIRMASININ DEĞERLENDİRİLMESİ .....	25
BÖLÜM 4. ....	26
MATERYAL METOD .....	26
4.1. GİRİŞ.....	26
4.2. İŞ PARÇASI MALZEMESİ.....	26
4.3. CNC PLAZMA KESME TEZGAHI.....	28
4.4. DENEY PARAMETRELERİ .....	28
4.5. ÖLÇÜM VE GÖZLEM METOTLARI.....	31
4.5.1. Enerji Sarfıyatı Ölçümü.....	31
4.5.2. Çapak oluşumu gözlemi .....	32
4.5.3. Boyutsal ölçüm ve değerlendirme.....	33
BÖLÜM 5. ....	34
BULGULAR VE TARTIŞMA.....	34
5.1. GİRİŞ.....	34
5.2. DENEY 1'E AİT DEĞERLENDİRMELER .....	34

	<b><u>Sayfa</u></b>
5.3. DENEY 2'YE AİT DEĞERLENDİRMELER .....	45
BÖLÜM 6. ....	53
SONUÇ ve ÖNERİLER.....	53
KAYNAKLAR.....	56
ÖZGEÇMİŞ.....	59

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

Şekil 2.1.	Transfer edilen ark yöntemi .....	4
Şekil 2.2.	Transfer edilen ark yönteminde plazma jeti oluşum aşamaları.....	5
Şekil 2.3.	Transfer edilmeyen ark yöntemi.....	6
Şekil 2.4.	Plazma güç ünitesi.....	7
Şekil 2.5.	Plazma makinesi gaz konsolu .....	8
Şekil 2.6.	Torç Ünitesini oluşturan elemanlar .....	9
Şekil 2.7.	Torç ünitesini oluşturan elemanların fotoğraf görüntüsü.....	9
Şekil 2.8.	Elektrot görünümü.....	10
Şekil 2.9.	Lüle görüntüsü.....	10
Şekil 2.10.	Nozul görüntüsü .....	11
Şekil 2.11.	Elektrot, lüle ve nozulun monte edilmiş hali (solda), tespit kapağı (sağda) .....	12
Şekil 2.12.	Koruyucu kap ve başlığı görüntüsü.....	12
Şekil 2.13.	Deneylerin yapıldığı Kaltenbach marka CNC Plazma tezgâhı fotoğrafı.....	13
Şekil 2.14.	Plazma ile kesmede etkili olan parametreleri şematik gösterimi .....	14
Şekil 3.1.	Farklı işleme gazları ile farklı kesme hızlarında kesilen düşük alaşımli malzemelerin kesim aralığı kesit görüntüleri.....	23
Şekil 3.2.	Farklı akım ve kesme hızlarında kesilen düşük alaşımli malzemelerin kesim aralığı kesit görüntüleri.....	24
Şekil 3.3.	Farklı gaz ve kesme hızlarında kesilen düşük alaşımli malzemelerin yüzey görüntüleri .....	24
Şekil 4.1.	Veri elde etme sürecinin şematik gösterimi .....	26
Şekil 4.2.	Autocad programı ile yapılmış kesim hattını belirten 2 boyutlu çizim ...	27
Şekil 4.3.	Deneylerde kullanılan ampermetre görüntüsü .....	32
Şekil 4.4.	Kesme işlemi ve kesme bölgesinin temsili görünüşünün kesit görüntüsü .....	33
Şekil 5.1.	10 mm'lik malzemenin, beş farklı ilerleme hızı ile kesilmesinde kesme yüksekliğine göre kesme yüzeyi genişlikleri oranı değişimi.....	35
Şekil 5.2.	20 mm'lik malzemenin, beş farklı ilerleme hızı ile kesilmesinde kesme yüksekliğine göre kesme yüzeyi genişlikleri oranı değişimi.....	36

Şekil 5.3.	10 mm'lik malzemenin, üç farklı kesme yüksekliğinde kesilmesinde ilerleme hızına göre kesme yüzeyi genişlikleri oranı değişimi .....	37
Şekil 5.4.	20 mm'lik malzemenin, üç farklı kesme yüksekliğinde kesilmesinde ilerleme hızına göre kesme yüzeyi genişlikleri oranı değişimi .....	37
Şekil 5.5.	10 mm'lik malzemenin, beş farklı ilerleme hızı ile kesilmesinde kesme yüksekliğine göre şebekeden çekilen akım miktarı değişimi .....	40
Şekil 5.6.	20 mm'lik malzemenin, beş farklı ilerleme hızı ile kesilmesinde kesme yüksekliğine göre şebekeden çekilen akım miktarı değişimi.....	41
Şekil 5.7.	10 mm'lik malzemenin, üç farklı kesme yüksekliğinde kesilmesinde ilerleme hızına göre şebekeden çekilen akım miktarı değişimi .....	42
Şekil 5.8.	20 mm'lik malzemenin, üç farklı kesme yüksekliğinde kesilmesinde ilerleme hızına göre şebekeden çekilen akım miktarı değişimi .....	42
Şekil 5.9.	10 mm'lik malzemenin, üç farklı kesme yüksekliğinde kesilmesinde ilerleme hızına göre kesim yarığı genişlikleri değişimi.....	44
Şekil 5.10.	20 mm'lik malzemenin, üç farklı kesme yüksekliğinde kesilmesinde ilerleme hızına göre kesim yarığı genişlikleri değişimi.....	44
Şekil 5.11.	10 mm'lik malzemenin 2,5 mm sabit kesme yüksekliğinde ve farklı koruyucu gaz debilerinde ilerleme hızlarına göre kesme yüzeyi genişlikleri oranı değişimi.....	46
Şekil 5.12.	10 mm'lik malzemenin 2,5 mm sabit kesme yüksekliğinde ve farklı ilerleme hızlarında koruyucu gaz debilerine göre kesme yüzeyi genişlikleri oranı değişimi .....	46
Şekil 5.13.	10 mm'lik malzeme numunesinin üst yüzey fotoğrafı .....	47
Şekil 5.14.	10 mm'lik malzeme numunesinin alt yüzey fotoğrafı-1 .....	47
Şekil 5.15.	10 mm'lik malzeme numunesinin alt yüzey fotoğrafı-2 .....	48
Şekil 5.16.	20 mm'lik malzemenin 4 mm sabit kesme yüksekliğinde ve farklı koruyucu gaz debilerinde ilerleme hızlarına göre kesme yüzeyi genişlikleri oranı değişimi.....	49
Şekil 5.17.	20 mm'lik malzemenin 4 mm sabit kesme yüksekliğinde ve farklı ilerleme hızlarında koruyucu gaz debilerine göre kesme yüzeyi genişlikleri oranı değişimi .....	50
Şekil 5.18.	20 mm'lik malzeme numunesinin üst yüzey fotoğrafı .....	50
Şekil 5.19.	20 mm'lik malzeme numunesinin alt yüzey fotoğrafı-1 .....	51
Şekil 5.20.	20 mm'lik malzeme numunesinin alt yüzey fotoğrafı-2 .....	51

## **Sayfa**

- Şekil 5.21. 10 mm'lik malzemenin, üç farklı koruyucu gaz debisinde kesilmesinde ilerleme hızına göre kesim yarığı genişlikleri değişimi.....52
- Şekil 5.22. 20 mm'lik malzemenin, üç farklı koruyucu gaz debisinde kesilmesinde ilerleme hızına göre kesim yarığı genişlikleri değişimi.....52

## ÇİZELGELER DİZİNİ

### Sayfa

Çizelge 2.1. Bazı malzemelerin plazma ile kesimi için tavsiye edilen gazlar .....	16
Çizelge 3.1. Hardox malzemelerinin kesilmesinde uygulanabilecek ilerleme hızları.....	19
Çizelge 4.1. Deney numunesinin (hardox 400) kimyasal bileşimi (%Ağırlık) .....	27
Çizelge 4.2. Deney numunesinin (hardox 400) mekanik özellikleri .....	28
Çizelge 4.3. Deney 1’de kullanılan parametreler ve seviyeleri.....	29
Çizelge 4.4. Deney 2’de kullanılan parametreler ve seviyeleri.....	29
Çizelge 4.5. Deney 1’de kullanılan parametreler .....	29
Çizelge 4.6. Deney 2’de kullanılan parametreler (10 mm’lik malzeme).....	30
Çizelge 4.7. Deney 2’de kullanılan parametreler (20 mm’lik malzeme).....	30
Çizelge 4.8. Deneylerde kullanılan Ampermetre cihazı teknik özellikleri .....	32
Çizelge 5.1. Kesme yarığı genişlikleri ölçüm sonuçları (10 mm için) .....	34
Çizelge 5.2. Kesme yarığı genişlikleri ölçüm sonuçları (20 mm için) .....	35
Çizelge 5.3. Şebekeden çekilen anlık akım şiddeti değerleri (10 mm için) .....	39
Çizelge 5.4. Şebekeden çekilen anlık akım şiddeti değerleri (20 mm için) .....	39
Çizelge 5.5. 10 mm Hardox malzeme için kesme değerleri.....	45
Çizelge 5.6. 20 mm Hardox malzeme için kesme değerleri.....	49



## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### SİMGELER

A	: Amper
°C	: Santigrad Derece
N	: Azot
K	: Kelvin
J	: Joule
V	: Volt
kW	: Kilowatt
O <sub>2</sub>	: Oksijen

### KISALTMALAR

AISI	: American Iron and Steel Institue (Amerika Demir ve Çelik Enstitüsü)
K <sub>o</sub>	: Kesme üst yüzey genişlik ortalamasının kesme alt yüzey genişlik ortalamasına oranı
K <sub>a</sub>	: Kesme alt yüzey genişlik ortalaması
K <sub>ü</sub>	: Kesme üst yüzey genişlik ortalaması
lt	: Litre
dk	: Dakika
DC	: Doğru Akım
f	: İlerleme hızı
H	: Kesme yüksekliği
s	: Saniye
K <sub>g</sub>	: Kesim yarığı genişliği

## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Yüksek aşınma direncine sahip levha malzemelerin kesilmesi için genel olarak termal olan ve olmayan kesme yöntemleri olarak iki başlıkta toplanabilecek yöntemler kullanılmaktadır. Termal olarak adlandırılabilir yöntemler oksijen-gaz ile kesme, lazerle kesme ve plazma arkı ile kesme yöntemleri; termal olmayan kesme yöntemi ise aşındırıcı su ile kesme yöntemi olarak sıralanabilir [1].

Karmaşık şekilli parçaların da kesilebilmesini sağlama bakımından bilgisayar kontrollü olarak kullanılan bu yöntemlerin birbirlerine göre bir takım avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır. Kullanılması gereken yöntem işin mahiyetine, kesme kalitesine, kesme hızına, maliyete ve işletmenin sahip olduğu olanaklara bağlıdır.

Ayda yaklaşık 1500 ton çelik konstrüksiyon imalatı yapan Karçel A.Ş. firmasında levha malzeme kesimi işlemlerinin önemli bir kısmı plazma arkı kesme yöntemi ile yapılmaktadır. Plazma arkı ile kesme yönteminde kesme parametrelerinin iyi seçilmediği durumlarda bir takım problemler yaşanmaktadır. Bu problemler kesim yüzeyinin eğik çıkması, çapak oluşumu, kesmenin tam olarak gerçekleşmemesi, gereğinden fazla enerji sarfiyatı, sarf malzemelerin ömrünün kısa olması vb. olarak sıralanabilir.

Kesme yüzeyinin açılı bir şekilde olması özellikle kesme yüzeyi kaynak/montaj amaçlı kullanılması durumunda problem oluşturmakta, montajın hatasız gerçekleştirilebilmesi için kesme işleminden sonra işgücü ve zaman kaybına neden olmaktadır. Bu yüzden elde edilen kesim yüzeyinin dikliği önemlidir.

Bu çalışmada; iki farklı kalınlıkta Hardox 400 çeliği plazma ark yöntemiyle farklı kesme parametrelerinde kesilmesi sonucunda kesme parametrelerinin kesme yüzeyi üst tarafı genişliği ortalamasının kesme yüzeyi altı genişliği ortalamasına oranı ( $K_o$ ), şebekeden çekilen akım miktarı ve plazma koruyucu gaz debilerinin etkileri deneysel olarak incelenmiştir.

Çalışmada birbirini takip eden 2 farklı deney yapılmıştır. Birinci deneyde kesme yüksekliği ve ilerleme hızı kesmeyi etkileyen parametreler olarak kabul edilmiş ve 2 farklı kalınlıkta malzeme toplamda 30 adet kesim yapılarak kesme esnasında enerji sarfiyatı ölçülmüş, kesimden sonra boyutsal ölçümleri gerçekleştirilmiştir. İkinci deneyde ise ilk deneyde elde edilen veriler referans kabul edilerek ilerleme hızı ve koruyucu gaz debisi değişken parametre olarak kabul edilmiş ve yine iki farklı malzeme kalınlığı için toplamda 18 adet kesim yapılarak çapak oluşumu ve boyutsal ölçümleri gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışma, giriş, plazma arkı ile kesme yöntemleri hakkında genel bir bilgi, literatür araştırması, materyal ve metod, bulgular ve tartışma ve sonuç ve öneriler olmak üzere altı bölümden oluşmaktadır.

## BÖLÜM 2

### PLAZMA ARKI İLE KESME YÖNTEMİ

#### 2.1. PLAZMA ARKI İLE KESME

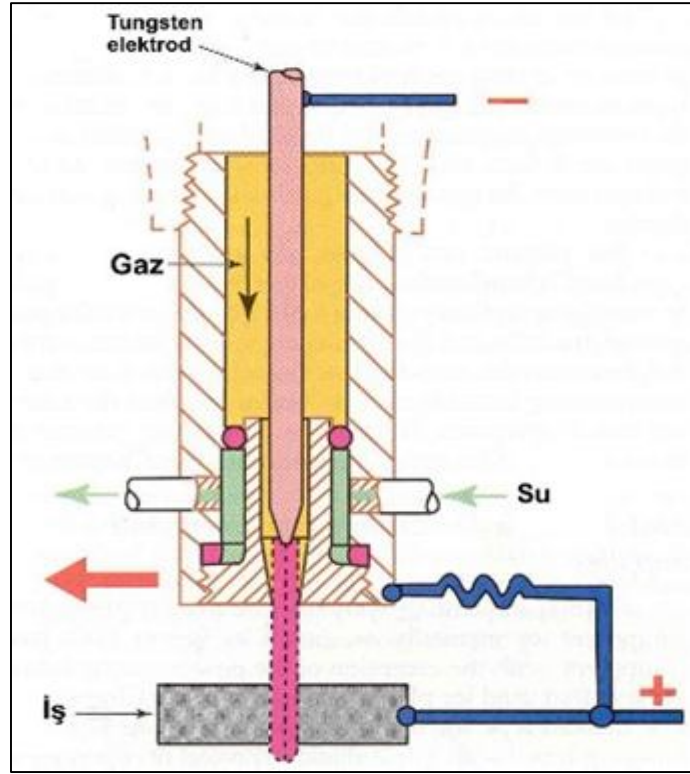
Plazma arki ile kesmede, torç içerisinde akan gaza (argon, azot, hava vb.) enerji verilerek kısmen iyonlaştırılır. İyonlaşan gazlar plazma gazı olarak adlandırılır. Plazma haline dönüşen yüksek sıcaklıktaki gazlar, elektrotların negatif ve malzemenin ise pozitif kutuplanması sonucunda gaz akışı etkisi ile plazma gazları iş parçası üzerinde malzemeyi ergiterek, eriyen malzemenin akan gazın jet etkisiyle uzaklaştırılması ile gerçekleştirilir [2,3].

Geleneksel plazma sistemleri 20-150 mm kalınlık aralığında olan malzemelerin kesiminde yaygın olarak kullanılmaktadır. Günümüz hassas plazma kesme sistemleri, lazer kesme sistemlerinin tercih edildiği malzeme kalınlıklarında da bu sistemlere yakın hassasiyette kesme yapabilecek şekilde geliştirilmektedirler.

Plazma arki ile kesme yöntemi, kesilecek malzemenin iletkenlik durumuna göre transfer edilen ve transfer edilmeyen ark metodu olmak üzere iki gruba ayrılabilir [4].

##### 2.1.1. Transfer Edilen Ark Yöntemi

Bu yöntemle elektrik iletkenliğine sahip malzemeler kesilebilir. İş parçası elektriksel olarak plazma ark torcuna bağlıdır ve elektriksel devrenin bir parçasıdır. Elektrot negatif (-) plazma torcu ve iş parçası ise pozitif (+) kutupdur. Elektrik arki elektrotla, plazma torcu ve iş parçası arasında oluşur. Bu yöntem şematik olarak Şekil 2.1'de gösterilmiştir [5].



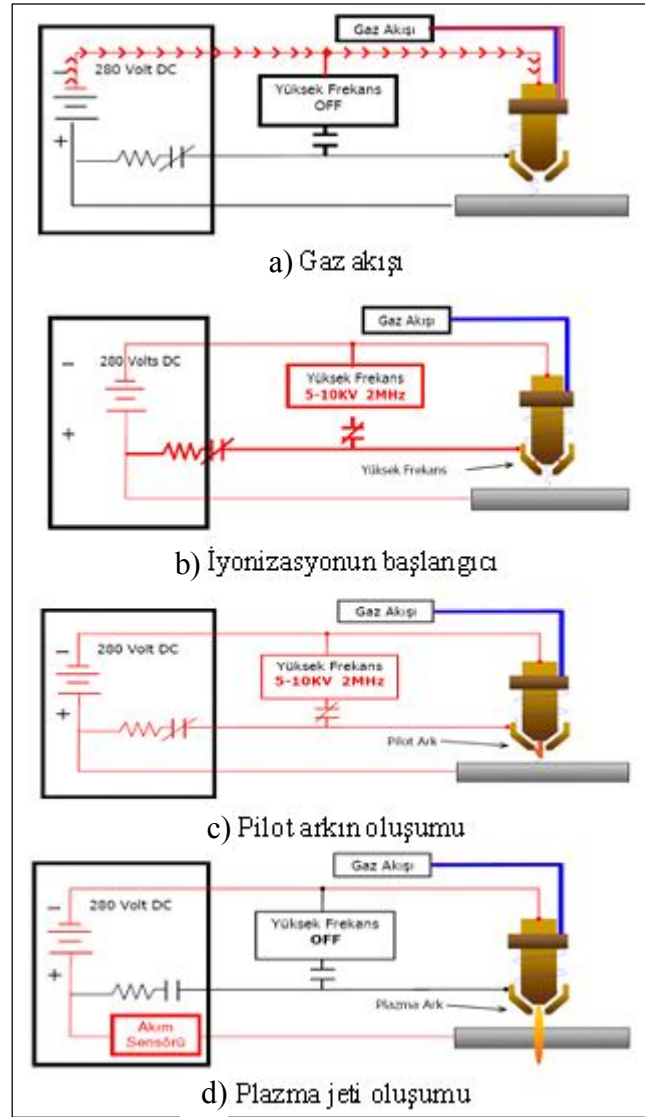
Şekil 2.1. Transfer edilen ark yöntemi [5].

Kesme işlerinde kullanılan plazma jetinin oluşum süreçleri Şekil 2.2’de gösterilmiştir. Plazma arkının oluşmasının ilk aşamasında DC (Doğru Akım) güç kaynağına tetik sinyali gönderilir. Tetik sinyali aynı anda açık devre gerilimini oluşturur ve torça gaz akışını başlatır (Şekil 2.2-a) [6,7].

Gaz akışı kararlı hale geldikten sonra yüksek frekans devresi devreye girer. Bu esnada yüksek frekans ateşleme devresi, nozul ile elektrot arasında yüksek frekansta arklar oluşturur ve buradan geçen gaz iyonize olur (Şekil 2.2-b) [2,6].

Elektriksel olarak iletken hale gelmiş gaz elektrot ile nozul arasında devrenin tamamlanmasını ve pilot arkın oluşmasını sağlar (Şekil 2.2-c) [6].

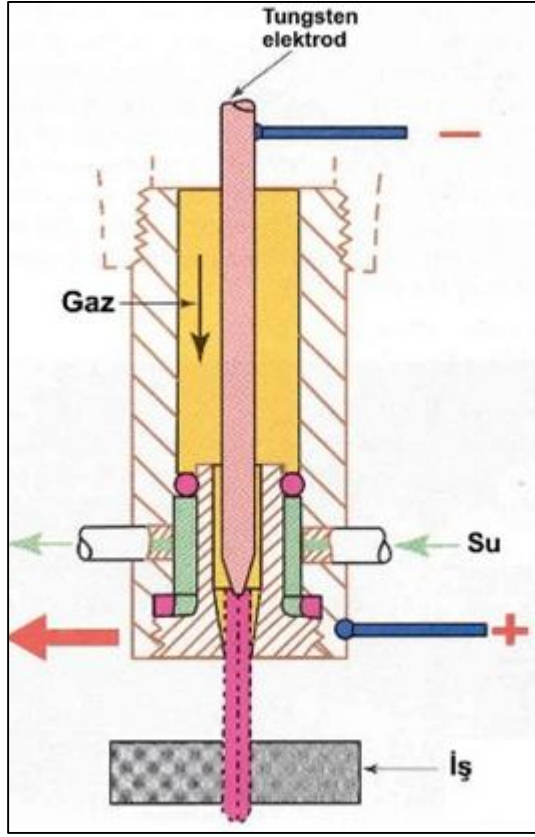
Sonuncu aşamada (Şekil 2.2-d) ise, pilot ark yüksek hızla akan gazla nozuldan dışarı çıkmaya zorlanarak parçaya temas eder ve plazma jeti oluşur. Plazma jeti, malzemeyi ergetebilecek seviyeye ulaşarak ergiyeğin ortamdaki uzaklaşmasını sağlar ve böylece kesme işlemi başlamış olur. Torç hareket ettirilerek kesime devam ettirilir [6,7].



Şekil 2. 2. Transfer edilen ark yönteminde plazma jeti oluşum aşamaları.

### 2.1.2. Transfer Edilmeyen Ark Yöntemi

Bu yöntemlerde kullanılan torç yapıları farklıdır. Oluşan plazma arkı, kesilecek iş parçasına transfer olmadan nozul ile elektrot arasında meydana gelir ve kullanılan gazın etkisi ile plazma torç ucundan alev olarak çıkar. Bu yöntemler iletken olmayan malzeme kesimlerinde kullanılmaktadır (Şekil 2.3) [2,3].



Şekil 2.3. Transfer edilmeyen ark yöntemi [5].

Transfer edilmeyen ark yönteminde de doğru akım kullanılmaktadır. Elektrot ise negatif (-) kutuplama yapılmak üzere kesme işlemi gerçekleştirilir. Doğru akım ve negatif kutuplama sayesinde ısının iş parçası üzerinde yoğunlaşması sağlanır [7].

Bu yöntem elektriksel iletkenliği olmayan malzemelerin kesilmesi için kullanılmasının yansıra elektriksel iletkenliği olan malzemelerin kesilmesinde de kullanılabilir. Fakat kesme işlemlerinde daha çok transfer edilen kesme yöntemi kullanılır. Çünkü plazma jeti ile iş parçasına aktarılan ısı, arkın iş parçası ile yapmış olduğu elektriksel kontak sayesinde daha etkili olmaktadır [8]. Transfer edilmeyen ark yönteminde plazma arkının yoğunluğunun tam anlamıyla kontrol edilememesi bu yöntemin iletken malzemelerin kesiminde tercih edilmemesinin bir sebebidir [2,3].

## 2.2. CNC PLAZMA KESME TEZGÂHININ DONANIMLARI

CNC plazma kesme tezgâhı plazma ünitesi ile CNC ünitesinden oluşmaktadır.

### 2.2.1. Plazma Ünitesi

Plazma ünitesi güç ünitesi, gaz konsolu ve torçtan oluşmaktadır.

#### 2.2.1.1. Güç Ünitesi

Plazma arkı ile kesme işlemi, negatif ucu torç içerisinde bulunan elektroda bağlı, pozitif ucu ise iş parçasına bağlı olan yüksek gerilime sahip doğru akım güç kaynağına ihtiyaç duyar. Güç kaynağı Bölüm 2.1.1’de belirtildiği gibi plazma jetinin oluşması için ateşleme görevi görmesinin yanı sıra iyonizasyon sonrası plazma jetinin devamlılığını sağlamak için gerekli enerjiyi de sağlar [2]. Şekil 2.4’te plazma ünitesinin güç kaynağının resmi görülmektedir.



Şekil 2.4. Plazma güç ünitesi.

Plazma arkı ile kesmede farklı değerlerde güç üreten cihazlar mevcuttur. 30 A ve altında olanlar düşük güçlü, 30–100 A arası orta güçlü ve 100–1000 A arası yüksek güçlü olarak kategorize edilebilir. Değişik güç seviyeleri değişik uygulamalar için uygundur. Yüksek güçlerle daha kalın malzemeler daha hızlı kesilebilir [6].



### 2.2.1.2. Gaz Konsolu

Plazma jetinin oluşmasında kullanılan gaz plazma veya kesme gazı olarak adlandırılır. Plazma arkı ile kesme esnasında plazma jeti ertilmiş metali özellikle kalın malzemelerde ortamdan uzaklaştırmaya yeterli olmadığı için ikinci bir kesme gazı kullanılır. Koruyucu gaz olarak adlandırılan bu gaz ertilmiş metalin ortamdan daha hızlı uzaklaştırılmasının yanı sıra kesilen yüzeyin temiz, yüksek kaliteli ve dar bir kesim yapılabilmesini sağlar [4].

Gaz konsolu kullanılan bu gazların tiplerinin, akış miktarlarının ve karışım oranlarının ayarlamalarının yapıldığı genelde elektronik kontrollü bir ünedir. Şekil 2.5'te elektronik kontrollü bir gaz konsolu görülmektedir.

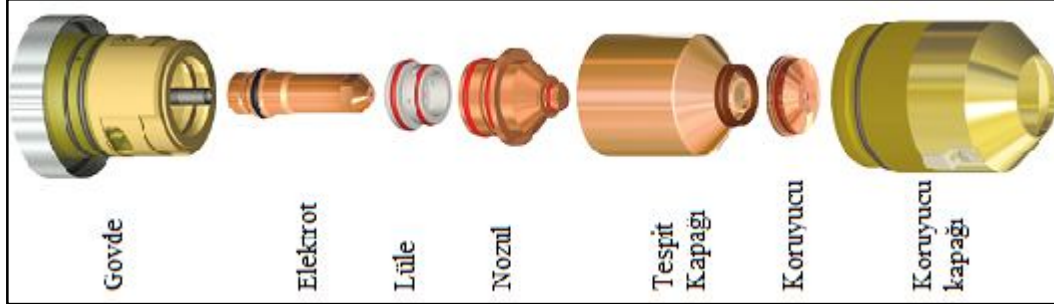


Şekil 2.5. Plazma makinesi gaz konsolu.

### 2.2.1.3. Torç Ünitesi

Torç ünitesi, kesme işlemini gerçekleştiren ve manuel tezgâhlarda elle tutmaya bilgisayar kontrollü tezgâhlarda ise tezgâh üzerine bağlanmaya müsait yapısı olan bir ünedir. Torç ünitesi gövde, elektrot, lüle, nozul, tespit kapağı, koruyucu ve koruyucu kapağı gibi elemanları üzerinde bulundurur. Şekil 2.6'da bir torç ünitesine

ait olan parçaların 3 boyutlu model görüntüsü, Şekil 2.7’de ise fotoğraf görüntüleri bulunmaktadır.



Şekil 2.6. Torç ünitesini oluşturan elemanlar [9].



Şekil 2.7. Torç ünitesini oluşturan elemanların fotoğraf görüntüsü.

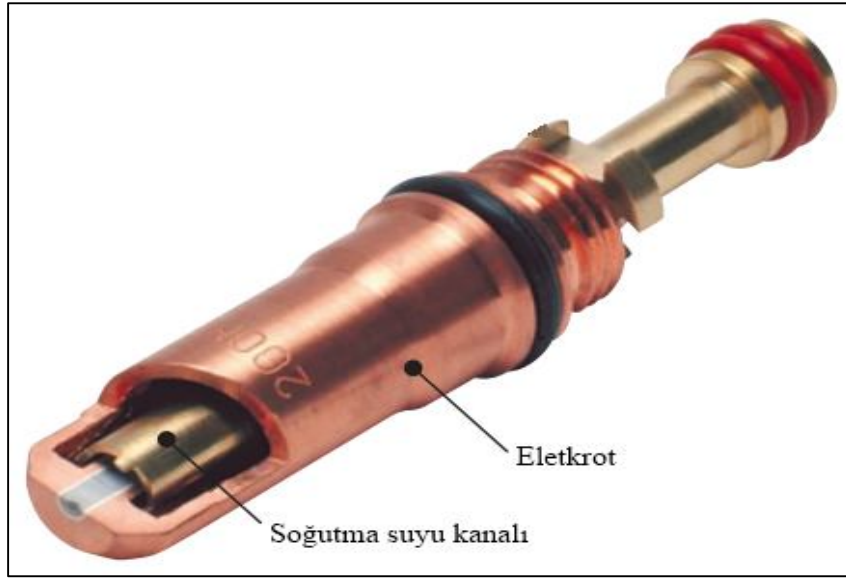
## Gövde

Torç ünitesinin zamanla aşınarak değiştirilmesi gereken diğer parçalarını üzerinde taşıyan, soğutma suyu ve gaz donanımlarına ait kanalları ve elektrik bağlantılarını barındıran bir yapıdır.

## Elektrot

Güç kaynağının negatif kutbuna gövde üzerinden bağlıdır. Elektrik iletkenlik katsayısının ve ısıl iletkenlik katsayısının fazla olmasından dolayı bakırdan imal edilmiştir. Elektrot, soğutulması için içerisinde soğutma suyunun dolaştığı iç kaviteye sahiptir. Uç kısmında ark oluşumunun gerçekleştirildiği ısıya dayanıklı

hafniyum veya tungstenden imal edilen ikinci bir parça bulunmaktadır. Hafniyum plazma gazı olarak hava veya oksijen kullanılan sistemlerde tungsten ise azot veya argon-hidrojen gibi soy gazların kullanıldığı sistemlerde kullanılmaktadır. Ateşleme sayısı başta olmak üzere çalışma zamanı ve diğer çalışma koşullarına göre ömrü değişmektedir. Aşınma ve bozulma elektrot ucunda görülür. Şekil 2.8’de elektrodun torç gövdesi üzerindeki soğutma suyu tüpü ile monte edilmiş fotoğrafı gösterilmiştir.



Şekil 2.8. Elektrot görünümü [10].

## Lle

Plazma gazını elektrot etrafında girdap etkisi verip döndürerek iten yüzük Şeklinde bir parçadır (Şekil 2.9).

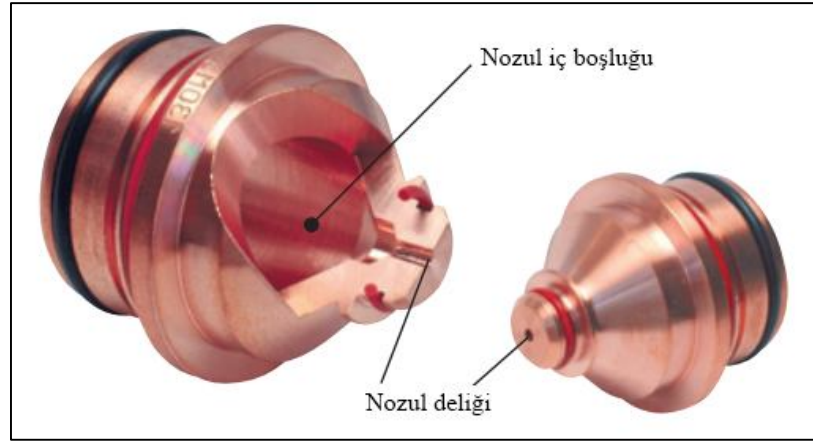


Şekil 2.9. Lle görüntüsü.

Girdap etkisi plazma gazını silindir şeklinde çevirerek daha etkili ve kararlı olmasına yardımcı olur. Girdap etkisini torç eksenine belirli açılarda lüle üzerinde açılmış gaz giriş delikleri oluşturur.

## Nozul

Nozul plazma gazının akış çapını belirli bir açıda daraltarak yoğunluğunu ve hızını artırır. Ateşlemenin başlangıcında elektrot ile nozul arasında ark oluşturmak için nozul gövde üzerinden güç ünitesinin pozitif kutbuna bağlıdır. Nozul delik çapı kesme akım şiddetini belirler (Şekil 2.10).



Şekil 2.10. Nozul görüntüsü [10].

## Tespit Kapağı

Elektrot, lüle ve nozulun içerisinde konumlandığı ve bu parçalar için muhafaza ve tespit görevini gerçekleştiren bir parçadır. Şekil 2.11’de görülmektedir.



Şekil 2.11.Elektrot, lüle ve nozulun monte edilmiş hali (solda), tespit kapağı (sağda).

### **Koruyucu ve Koruyucu Kapağı**

Koruyucu nozulun alt kısmında konumlanmıştır ve özellikle patlatma esnasında olmak üzere kesme bölgesinden sıçrayan eriyikten nozulu koruma işlevi görür. Koruyucu kapağı ise içerisinde elektrot, lüle ve nozulun konumlandığı tespit kapağı ile koruyucuyu eş eksenli olarak konumlandırarak torç gövdesine tutturma işlevini görür (Şekil 2.12).



Şekil 2.12. Koruyucu kap ve başlığı görüntüsü.

### **2.2.2. CNC Ünitesi**

Karmaşık yapılu parçaların imal edilmesinde CNC (Bilgisayarlı Sayısal Kontrollü) tezgâhların kullanılması günümüz şartlarında bir zorunluluk haline gelmiştir. CNC

tezgâhlarda hareketli aksamların kontrolü bilgisayardan alınan verinin kullanılarak yine bilgisayar kontrollü olarak gerçekleştirilir. Bunun yanı sıra gaz açma-kapama, ateşleme gibi işlemler de bilgisayar kontrollü olması nedeniyle otomatik olarak gerçekleştirilir.

CNC ünitesi malzemelerin istenilen şekillerde kesilebilmesi için torcun veya malzemenin bilgisayar kontrollü olarak çeşitli eksenlerde hareket ettirilmesini sağlar. Bazı sistemlerde malzeme tek eksende hareketli olmak üzere torç 2 eksende hareket edebilme kabiliyetine sahiptir. Özellikle daha büyük boyutlu malzemelerin kesilmesinde kullanılan bazı sistemlerde ise malzeme sabit torç ise her 3 eksende hareket edebilme kabiliyetine sahiptir. CNC üzerine monte edilmiş bir plazma tezgâhının fotoğrafı Şekil 2.13’de bulunmaktadır.

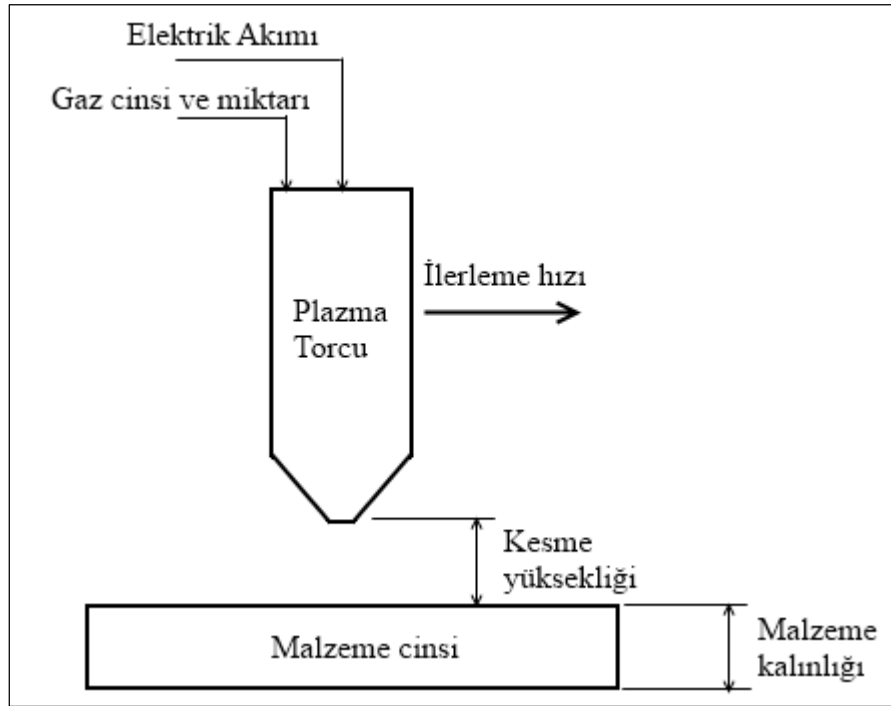


Şekil 2.13. Deneylerin yapıldığı Kaltenbach marka CNC Plazma tezgâhı fotoğrafı.

### 2.3. PLAZMA ARKI İLE KESMEDE KESMEYİ ETKİLEYEN PARAMETRELER

Plazma arkı ile kesme yönteminde, kesilecek malzemenin cinsi ve kalınlığı göz önünde bulundurularak ve istenilen/hedeflenen kesme kalitesini etkileyen çeşitli parametreler bulunmaktadır. Başlıca parametreler kesilecek malzemenin cinsi ve kalınlığı, kesme yüksekliği, elektrik akımı, ilerleme hızı ve kullanılan gaz ve miktarlarıdır [2].

Şekil 2.14'te plazma ile kesmede etkili olan bazı parametrelerin şematik gösterimi bulunmaktadır.



Şekil 2.14. Plazma ile kesmede etkili olan parametrelerin şematik gösterimi.

#### 2.3.1. Malzeme Cinsi ve Kalınlığı

Plazma arkı ile kesmede kesilen malzemenin cinsi ve kalınlığı önemli bir etkiye sahiptir. Malzemelerin bünyelerinde barındırdığı elementlerin ve bu elementlerin oluşturdukları alaşımın özellikle ısıl ve elektriksel özellikleri plazma arkı ile kesme

yönteminde önemli etkiye sahiptir. Malzeme kalınlığı bakımından ise kesmeyi etkileyen en önemli olgu kalınlık arttıkça eritilmesi gereken malzemenin artış göstermesi ve bu eritilen malzemenin ortamdan uzaklaştırılmasının güçleşmesidir.

### **2.3.2. Kesme Yüksekliği**

Kesme yüksekliği, kesilecek malzeme ile torç arası mesafeyi ifade etmektedir. Kaliteli bir kesme yüzeyinin elde edilebilmesi için; kesilecek malzeme cinsi, malzeme kalınlığı, ilerleme hızı ve kullanılan gazların debileri açısından bu mesafenin iyi ayarlanması önemlidir.

Kesme yüksekliği, otomatik kesme tezgâhlarında, kesme işlemine başlamadan önce otomatik olarak ayarlanır. Kesme başladıktan sonra ise malzeme yüzeyinde eğer bir dalgalanma veya zararlı cisim varsa kesme yüksekliği mesafesini torç yükseklik kontrol sistemi kontrol eder. Geribildirim döngüsünden gelen anlık gerilim değerini verilen değer ile kıyaslar ve bu değere göre yükseklik ayarlanır. Kesme yüksekliği malzeme cinsine ve kalınlığına, kullanılan torç tipine göre tablolarda kesme öncesi için mm olarak, kesme süresince kullanılmak için ise gerilim birimi ile belirtilir.

### **2.3.3. Uygulanan Enerji Miktarı**

Plazma arkının oluşumu esnasında ve alevinin sürekliliğinin sağlanması için sisteme uygulanan enerji miktarı plazma sisteminin gücünü belirler. Malzemeye transfer edilen birim zamandaki enerji arttıkça torcun malzeme üzerinde yapması gereken ilerleme hızı artacaktır [2].

### **2.3.4. İlerleme Hızı**

Optimum yüzey kalitesini elde etmek, işletme maliyetlerini minimum seviyede tutabilmek (akım, ekipmanların değiştirilme süresi vb.) için ilerleme hızının; malzemenin kalınlığına, kimyasal içeriğine ve istenen kalite seviyesine göre seçilmesi gerekir.



### 2.3.5. Kullanılan Gaz ve Miktarları

Plazma arkı ile kesme yönteminde kullanılan gazlar, kesme yüzeyinin kalitesi ve işletme maliyetleri açısından önemli etkiye sahiptirler. Kesme işleminde argon, hava, hidrojen, azot, oksijen gibi gazlar kullanılabilirdiği gibi, bazı gazların belirli oranlarda karıştırılması ile elde edilen karışım gazlar da kullanılabilir [11]. Kesme yarığının oluşumunda, plazma gazının kimyasal özellikleri (oksitleyici, nötr veya redükleyici olması) büyük etki yapar. Bir plazma gazının seçiminde, gazın atom veya molekül ağırlığı, özgül ağırlığı, ısı iletkenliği vb. özellikler etkilidir [5].

Çizelge 2.1’de düşük alaşımlı çelik, paslanmaz ve alüminyum levhaların kesiminde plazma gazı ve koruyucu gazı olarak tavsiye edilen gaz çeşitleri gösterilmiştir.

Çizelge 2.1. Bazı malzemelerin plazma ile kesimi için tavsiye edilen gazlar [9].

<b>Düşük alaşımlı çelik</b>	
Plazma Gazı	Koruyucu Gaz
O <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>
O <sub>2</sub>	Hava
<b>Paslanmaz çelik</b>	
Plazma Gazı	Koruyucu Gaz
F5 (%95 N <sub>2</sub> , %5 H <sub>2</sub> )	N <sub>2</sub>
H35 (%35 H <sub>2</sub> , %65 Ar)	N <sub>2</sub>
H35 ve N <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>
N <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>
<b>Alüminyum</b>	
Plazma Gazı	Koruyucu Gaz
Hava	Hava
H35 (%35 H <sub>2</sub> , %65 Ar)	N <sub>2</sub>

Plazma ark kesme yönteminde kullanılan başlıca gazlar şu şekildedir.

#### 2.3.5.1. Argon

Hava içerisinde bulunan soy gazlar arasında, hacimsel olarak en fazla bulunan gaz argondur. Hava içerisinde % 0,9325 oranında argon bulunur. Diğer soy gazlara göre yüksek bulunma yüzdesi maliyetlerin düşmesi anlamına gelmektedir. Plazma hüzmesindeki yüksek impuls yoğunluğu, ergimiş metalin kesme yarığında uzaklaştırılmasını kolaylaştırır [5].

### **2.3.5.2. Hidrojen**

Yüksek alaşımlı çeliklerin kesilmesi işleminde % 65 argon ve % 35 hidrojen karışım gazları kullanılır. Hidrojenin redükleyici özelliğinden faydalanılarak oksitsiz bir kesme yüzeyi elde edilir. Karışım gazının H<sub>2</sub> kısmında oluşacak ilave artışlar, kesme hızlarında önemli bir artış oluşturmasa da kesme yüzeylerinde oluşacak yüzey pürüzlülüğünü artırır ve kesme yüzeyi alt kısmında çapaklanmalara neden olur [5].

### **2.3.5.3. Azot**

Atom ağırlığı 14 olan azot, argon ile hidrojenin arasında yer almaktadır. Isıl iletkenliği ve entalpisi hidrojeninkinden düşük argonunkinden yüksektir. Bu sebeple azot, kesme işleminde sadece kendisi bir plazma gazı meydana getirebilir, kalınlığı az olan ince cidarlı malzemelerin kesilmesinde plazma gazı olarak azot kullanılabilir [5].

### **2.3.5.4. Hava**

Hava kimyasal içerik olarak hacimce % 78,8 azot ve % 20,8 oksijenden oluşmaktadır. Havanın argon gazına oranla maliyetlerinin az olması, plazma arkı ile genelde alaşımsız çeliklerin kesilmesinde kullanılır. Yapı çeliklerinin kesilmesinde, yüksek kesme hızlarında kaliteli kesme yüzeylerin oluşmasına neden olur. Plazma gazı olarak havanın kullanılması durumunda yüksek gürültü oluşumları meydana gelmektedir. Kesme nozulunun ömrü diğer gazların kullanımına kıyasla oldukça kısadır [5].

### **2.3.5.5. Oksijen**

Karbonlu çelik için en iyi tercihtir. İdeal kesim kalitesi ve kesim hızları yakalanır. Sarf ömrü düşüktür. İkincil gaz kesim alanını atmosferden yalıtır. Arkı daraltır, kesim yüzeyinin daha düzgün çıkmasına yardımcı olur. Nozulun soğumasını sağlar. İkincil gazın seçimi plazma gazının ne olduğuna bağlıdır. Genel olarak plazma gazı oksijense, ikincil gaz hava veya oksijen seçilir [6].

## BÖLÜM 3

### LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

#### 3.1. GİRİŞ

Bu bölümde; deneysel çalışmaya yön vermek üzere, öncelikle yüksek aşınma direncine sahip malzemeler ve bu malzemelerin plazma arkı ile kesme yöntemi kullanılarak kesilmesi sonucu yapılan bilimsel çalışmaların literatür taraması sunulmuş ve bir değerlendirilmesi yapılmıştır.

#### 3.2 YÜKSEK AŞINMA DİRENCİNE SAHİP MALZEMELER VE KESME YÖNTEMLERİ

Çeşitli endüstriyel alanlarda aşınma direnci yüksek malzemelere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu ihtiyacı karşılamak için çeşitli alaşımlarda malzemeler geliştirilmektedir. Hardox serisi çelikler de bu tür malzemelerden birisi olup, özellikle aşınma direnci oldukça yüksektir. Bu yönüyle bu çelik türü diğer yüksek dayanımlı çeliklere göre aşınma bakımından daha uzun ömürlü olmakta ve bu özelliğinden dolayı yaygın olarak kullanılmaktadır [12-14]. Hardox su verilmiş ve menevişlenmiş bir aşınma levhasıdır. Ürünün ilk defa piyasaya sunulduğundan bu güne değişik ihtiyaçları karşılayacak şekilde sürekli olarak geliştirilmiştir [15].

Yüksek toklukları, rahat bükülebilme ve kaynak edilebilmeleri sayesinde, bu levhalar bazı uygulamalarda yük taşıyıcı görevlerde de kullanılabilir. Yüksek aşınma direnci gereksinimi olan uygulamalarda (damper kasaları, ekskavatör kepeçleri, kırıcılar ve benzeri ekipmanlarda) parçaların çalışma ömürlerinde artış sağlar [13].

Levhanın sertliği, su verme hattında yüksek verimle su verilerek elde edilir. Bu yöntem sayesinde çeliğin bünyesindeki alaşım elementlerinin düşük tutulmasına

rağmen yüksek sertliklere ulaşılır. Bunun sonucunda ise levha kolay işlenebilir, bükülebilir ve kaynak edilebilir [16,17].

Bu tür çeliklerin kesilmesinde yaygın olarak termal kesme yöntemleri kullanılır. Bunlar oksî-gaz ile kesme, lazerle kesme ve plazma ark ile kesme yöntemleridir. Bunların dışında aşındırıcı su jeti ile kesme yöntemi de termal olmayan fakat yaygın olarak kullanılan diğeri bir metottur.

Bu kesme yöntemlerinin birbirlerine çeşitli üstünlükleri bulunmaktadır. Termal uygulamalarda kesim kenarı çatlaması oluşumu bu malzemelerin en önemli sorunlarından. Kullanılan malzemenin sertliğine ve malzemenin kalınlığına bağlı olarak uygulamadan haftalar sonra bile ortaya çıkabilen bu durum ön ısıtma işlemi veya düşük ilerleme hızı uygulayarak önlenmektedir. Hardox malzemesinin kesilmesi için bazı çeşitlerine göre uygulanabilecek en yüksek ilerleme hızları Çizelge 3.1'de gösterilmiştir [18].

Çizelge 3.1. Hardox malzemelerinin kesilmesinde uygulanabilecek ilerleme hızları.

<b>Malzeme Kalınlığı (mm)</b>	<b>Hardox 400</b>	<b>Hardox 450</b>	<b>Hardox 500</b>
≤20	Sınırlama yok	Sınırlama yok	Sınırlama yok
≤25	Sınırlama yok	Sınırlama yok	300 mm/dk
≤30	Sınırlama yok	Sınırlama yok	250 mm/dk
≤35	Sınırlama yok	Sınırlama yok	230 mm/dk
≤40	Sınırlama yok	230 mm/dk	200 mm/dk
≤45	230 mm/dk	200 mm/dk	170 mm/dk

Bu yöntemlerin yanı sıra kesme sonrası malzemelerin yavaş soğutulması veya kesim sonrası tekrar ısıtma işlemleri de kesim kenarı çatlaması oluşumunun engellenebildiği diğeri yöntemlerdir. Diğeri yandan malzemeye gereğinden fazla ısı girişi yapılması sertliğini kaybetmesi bakımından göz önünde bulundurulması gereken bir durumdur. Termal olmayan bir kesme işlemi olan aşındırıcı su jeti ile kesme yöntemi ile bu problem söz konusu olmamaktadır. Termal yöntemlerden ise

oksi gaz ile kesme yöntemine nazaran lazer veya plazma ile kesim tercih edilmesi gereken kesme yöntemleridir. Kullanılacak kesme yöntemi bu problemler ve maddi olanaklar göz önünde bulundurularak malzemenin cinsine, kalınlığına ve kesme kalitesinin ne düzeyde olması gerektiğine göre belirlenmelidir [19].

### **3.3. PLAZMA ARK KESME YÖNTEMİ İLE İLGİLİ LİTERATÜR ARAŞTIRMASI**

Plazma ile kesme yöntemi endüstride yaygın olarak kullanılan alaşımlı çelik, paslanmaz çelik, karbon çeliği, alüminyum alaşımları, titanyum ve nikel alaşımları ve bakır gibi malzemelerin kesilmesinde kullanılmaktadır.

Plazma ark ile kesme işlemi daha çok elektrik iletme özelliği olan malzemelerde kullanılmasının yanı sıra elektrik iletme özelliği olmayan malzemelerde elektrik arkı enerjinin nozul üzerinden tamamlanması ile gerçekleştirilir.

Maddenin dördüncü hali plazma olarak isimlendirilir. Gaz halindeki maddeye uygun koşullarda enerji verme işlemi sürdürüldüğü takdirde, gaz halinden plazma haline geçmektedir. Maddenin gaz halinden plazma elde edebilmek için kullanılan kaynak; elektriksel, ısı veya ışın türlerinden birisi uygulanarak elde edilebilir. Plazmayı diğer gazlardan ayıran özellikleri elektrik iletkenliğinin olması, sıcaklığının çok yüksek olması ve ışık yaymasıdır [2].

Yüksek basınca sahip plazma, parçacık yoğunluğunun ve elektriksel alanın yüksek olmasına sebep olur. Ortaya çıkan parçacıkların yoğunluğu, elektronlarla atomların elastik dışı çarpışması nedeniyle oluşan iyonizasyon ihtimaline bağlı olduğu bilinmektedir [20].

Plazma ile kesme yöntemi çok yüksek sıcaklıklara sahip iyonize edilmiş gazın malzemeyi ergitmesi ve ergiyen malzemenin kesme bölgesinden uzaklaştırılması prosesine dayanmaktadır. Öncelikle plazma gazı (argon, azot, hava, oksijen v.s.) torç içerisinden yüksek bir akış ile geçirilir. Gaz akışı esnasında enerji verilerek kısmen iyonlaştırılır. Proses esnasında elektrot ile iş parçası arasında elektrik arkı oluşur. Bu

elektrik arkının etkisi ile çok ince yüksek sıcaklığa ve yüksek hıza sahip bir plazma jeti oluşur. İş parçası bu plazma jeti etkisi ile ısınarak erimeye başlar. İş parçasının ergiyen kısımları gaz akışının etkisi ile ortamdan uzaklaştırılır [2,3,19].

Severance ve Anderson, yaptıkları çalışmada plazma gazı olarak azot kullanarak yapmış oldukları kesme işleminde cüruf miktarının en alt düzeyde olduğu sonucuna varmışlardır. Değişik gaz kombinasyonu uygulamalarında kullandıkları oksijenin, alaşımsız çelikler üzerinde pürüzsüz bir yüzey oluşturmaya rağmen, paslanmaz ve alüminyum malzemeler de kaba bir kesme yüzeyi elde ettiklerini bildirmişlerdir. Kesme gazı olarak hidrojenin kullanılması ile oksit oluşumu oksitler indirgenerek temiz ve parlak kesme yüzeylerinin elde edilmesini sağladığını da belirtmişlerdir [21].

Yun ve Na, plazma arkı ile kesme yönteminde yüzey kalitesinin istenen değerlerde sürekliliğinin sağlanabilmesi için, plazma ark yoğunluğunun kontrol altında tutulması gerektiğini belirtmişlerdir [22].

Fernicola, plazma gazı debisinin fazla olmasının, ergimiş metalin kesme yarığında kolay uzaklaştırılmasını sağladığını, debinin az olması durumunda ise torca zarar verdiğini ve bu sebeple kesme yüzeyi kalitesinin bozulduğunu belirtmiştir. Plazma gazı olarak oksijenin kullanıldığı işlemlerde, kesme esnasında ergiyen metalin damlacık karakteristiğinin daha küçük boyutta olduğunu ve kesme yarığında daha kolay uzaklaştırıldığını bildirmiştir [23].

Akçam, plazma arkı ile kesme işleminde, nemden arındırılmış, temiz ve yeterli debide olmak kaydıyla havanın ve diğer bir gaz olan saf oksijenin de gerekli ekipman sağlanması durumunda kullanılabileceğini belirtmiştir. Oksijen ile kesme yapıldığında, kesme yüzeyinde malzemenin bir bölümünün yanmasını sağlayacağından daha etkili bir kesme işlemi olacağını belirtmiştir [24].

Akşahin, 2 mm kalınlığında St-37 ve 316 kalite östenitik paslanmaz çelik malzemeleri farklı kesme hızlarında plazma ile keserek kesme yüzeylerini gözle muayeneye tabi tutmuştur. St-37 malzemenin farklı kesme hızlarında kesme

kenarının altında cüruf yapışması hatasının olduğunu gözlemlemiştir. 316 kalite paslanmaz çelikte ise ilerleme hızındaki değişimlere bağlı olarak kesme üst yüzeyinde ergime ve aşırı sürüklenme olduğunu belirtmiştir [25].

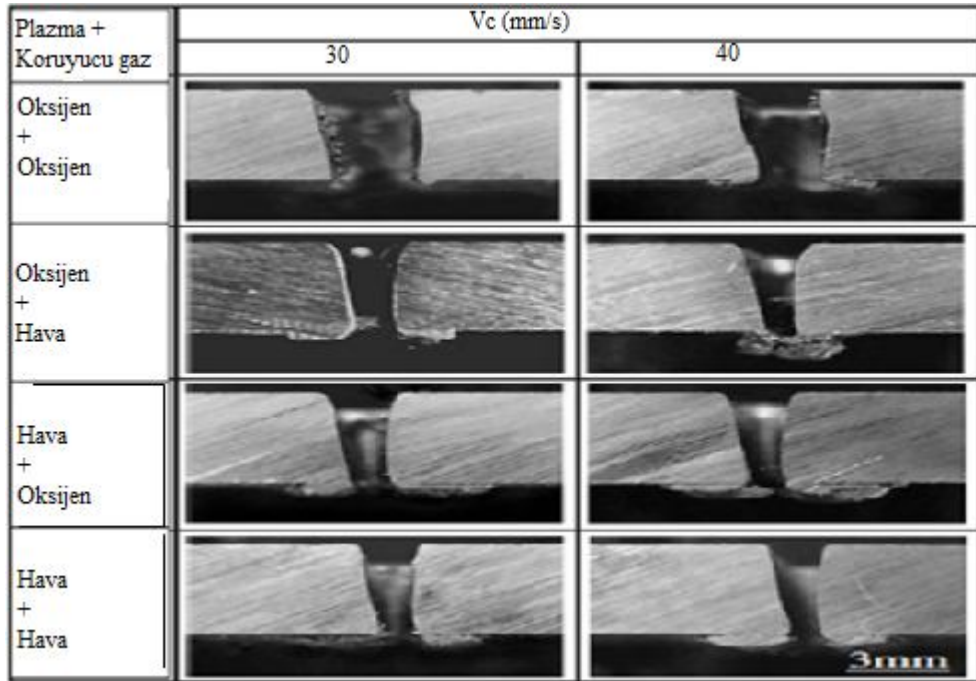
Özcan, plazma ile kesme işleminde kesme gazı olarak oksijenin kullanılması halinde asgari düzeyde çapak oluşumunun gözlemlendiği ve yüzeylerde oluşmuş çapağın oksidasyon sebebiyle daha kolay bir şekilde malzeme yüzeyinden ayrılabilirdiğini belirtmiştir. Paslanmaz malzeme kesimleri esnasında plazma gazı olarak oksijen kullanılması durumunda ise kesme hattında siyahlaşmaların oluştuğunu gözlemlemiştir [26].

Çankaya, plazma gazı olarak hidrojen ve argon gazı kullanmış, bu gazlarla paslanmaz ve alüminyum malzeme üzerinde kesim deneyleri yapmıştır. Plazma gazı olarak havanın kullanıldığı malzeme guruplarının çoğunluğunu düşük alaşımli ve karbonlu çeliklerin oluşturduğunu bununla beraber alüminyum ve paslanmaz çeliklerde de kullanılabileceğini belirtmiştir [27].

Kaluç, plazma arkı ile kesme yönteminde havanın plazma gazı olarak kullanılabileceğini, işletme maliyetleri açısından avantajlı olduğunu belirtmiş fakat havanın kesme gazı olarak kullanılması halinde dezavantaj olarak torç ekipmanlarının (elektrot, nozul) değiştirilme sıklığının artması olduğunu belirtmiştir [28].

Atıcı ve Güllü, AISI 304 paslanmaz çeliği ve AISI 1050 karbon çeliği kullanarak yaptıkları kesme işlemlerinde, kesme yüzeylerinin üst tarafında alt tarafına nazaran daha düzgün sonuçlar almışlardır. Bunun nedeni olarak da kesme yüzeyinin alt tarafına yakın bölgelerde gaz debisindeki azalma ve sıvı metalin yüzeyde katılarak kalması sebebiyle kesmenin daha da güçleştiğini belirtmişlerdir. Bunun yanı sıra alt bölgelerde yüzey pürüzlülüğünün arttığını da gözlemlemişlerdir. Aynı zamanda; plazma arkı ile kesme yönteminde oluşan yüzey pürüzlülüğünün torç kesme yüksekliği, kesme işleminde kullanılacak gaz cinsi, elektrotun kalitesi ve elektrot değiştirme sıklığı vb. etkenlere bağlı olarak değişeceğini belirtmişlerdir [29].

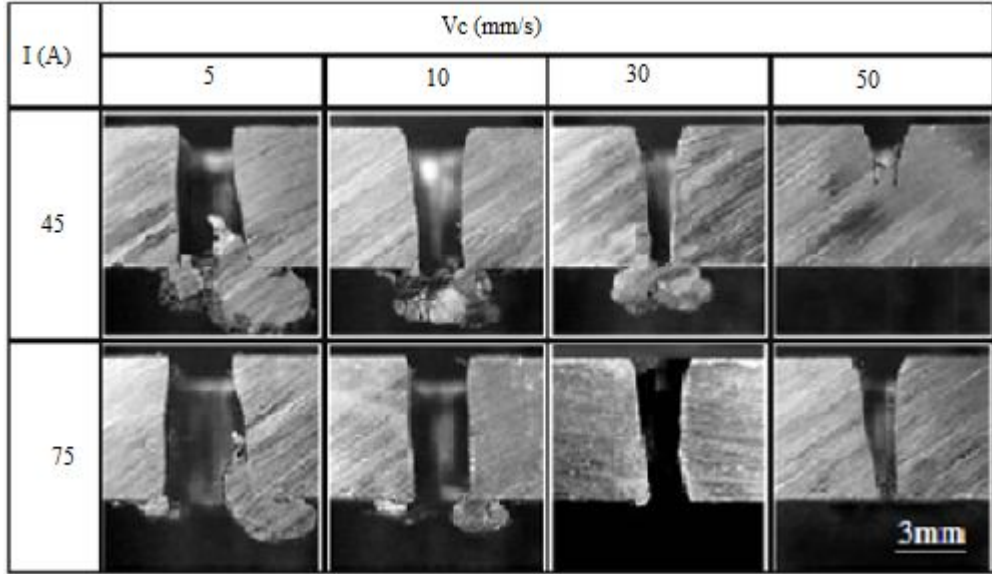
Wang ve arkadaşları yaptıkları çalışmada Plazma gazı ve koruyucu gazı olarak farklı gaz ( $O_2 + O_2$ ,  $O_2 + Hava$ ,  $Hava + O_2$ ,  $Hava + Hava$ ) kombinasyonlarını kullanarak deneyler gerçekleştirmişlerdir. Deneylerinde, akım değerini 60 A ve kesme yüksekliğini 2 mm olarak seçmişlerdir. 3 mm kalınlığındaki malzemenin 30 mm/sn ve 40 mm/sn kesme hızları ile kesimi sonucu meydana gelen kesim yarıklarının kesit görüntüleri Şekil 3.1'de verilmiştir [30].



Şekil 3.1. Farklı işleme gazları ile farklı kesme hızlarında kesilen düşük alaşımlı malzemelerin kesim aralığı kesit görüntüleri.

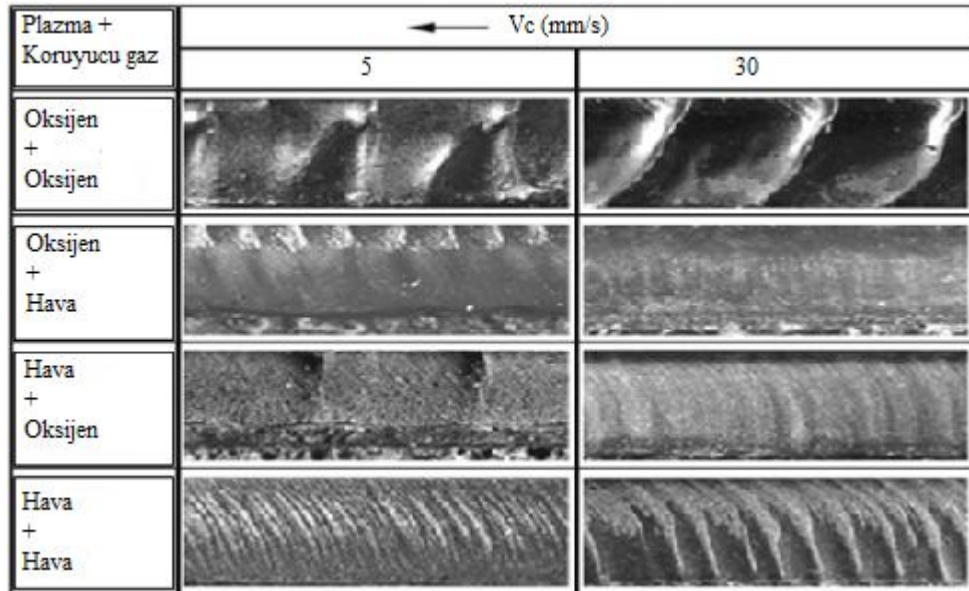
Farklı kesme akımlarında (45 A ve 75 A) ve farklı kesme hızlarında (5 mm/sn, 10 mm/sn, 30 mm/sn, 50 mm/sn) 3 mm kalınlığındaki malzeme üzerinde kesim işlemi sonrası elde edilen kesim aralığı kesit görüntüleri Şekil 3.2'te verilmiştir.





Şekil 3.2. Farklı akım ve kesme hızlarında kesilen düşük alaşımlı malzemelerin kesim aralığı kesit görüntüleri.

5 mm/sn ile 50 mm/sn ilerleme hızı aralıklarında ve farklı gaz kombinasyonları kullanılarak kesilen malzemelerin kesme yüzeyinden elde edilen görüntüler Şekil 3.3'te verilmiştir.



Şekil 3.3. Farklı gaz ve kesme hızlarında kesilen düşük alaşımlı malzemelerin yüzey görüntüleri.

Plazma ve koruyucu gaz olarak havanın kullanıldığı kesme işleminde, ilerleme hızı değerinin arttırılması ile kesme yüzeyinde meydana gelen dalgalanmanın daha seyrek fakat daha kalın kesme çizgilerinin oluştuğunu belirtmişlerdir.

### **3.4. LİTERATÜR ARAŞTIRMASININ DEĞERLENDİRİLMESİ**

Plazma arkı ile kesme yönteminde kullanılan malzeme, gaz cinsi, ilerleme hızları, kesme yüksekliği ve uygulanan enerji miktarı parametrelerinin kesme yarığı, kesme yüzeyi pürüzlülüğü ve çapak oluşumu üzerine büyük bir etkisinin olduğu, bunun sonucunda torçta ve kesme yüzeyinde deformasyonlara neden olduğu anlaşılmıştır.

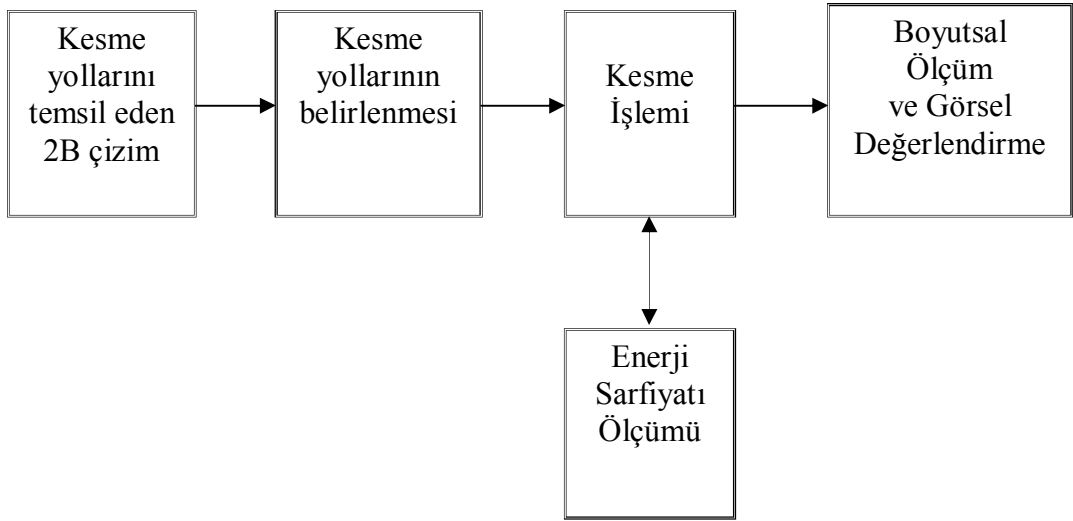
Farklı malzeme gurupları üzerine yapılan değişik çalışmalar mevcut olup Hardox 400 vb. yüksek aşınma direncine sahip malzemelere ait oluşturulmuş katalog değerleri bulunmaması sebebiyle yapılan bu çalışmada, endüstride yaygın olarak kullanılan Hardox 400 malzeme üzerinde kesimler yapılmak suretiyle deneyler gerçekleştirilmiştir. Literatürden gözlemlendiği şekli ile bu anlamda yapılan çalışma, literatür de az sayıda olan çalışmalara zenginlik katmaktadır.

## BÖLÜM 4

### MATERYAL VE METOD

#### 4.1. GİRİŞ

Bu çalışma; CNC plazma tezgâhında, yüksek aşınma direncine sahip Hardox 400 malzemelerin plazma ark yöntemiyle kesilmesinde işleme parametrelerinin, kesim yüzeyi dikliği, çapak oluşumu ve enerji sarfiyatı yönünden etkileri araştırılmıştır. Elde edilen veriler Microsoft Excel istatistik programıyla grafiğe aktarılmıştır. CNC plazma tezgâhında deneylerin yapılması ve verilerin elde edilmesi süreci şematik olarak Şekil 4.1’de görülmektedir.



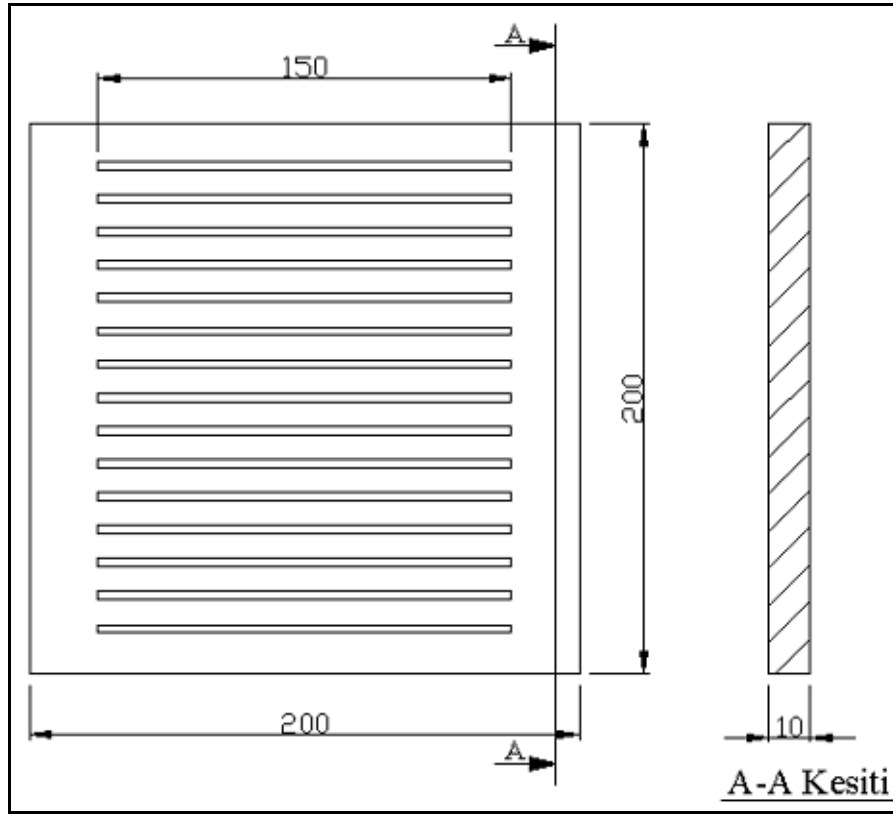
Şekil 4.1. Veri elde edilme sürecinin şematik gösterimi.

#### 4.2. İŞ PARÇASI MALZEMESİ

Deney numunesi olarak yüksek aşınma direncine sahip Hardox 400 çelik malzemeleri kullanılmıştır.

200x200x10 mm boyutlarındaki malzemeler üzerinde 150 mm'lik uzunluklarda ve belirli aralıklarla kesim yapılmasını sağlayacak iki boyutlu çizimi Autocad yazılımı ile oluşturulmuş ve CNC tezgâhına aktarılmıştır (Şekil 4.2).

CNC tezgâhında çizim üzerindeki çizgiler tek tek tanımlanarak istenilen kombinasyonlarda kesme işlemleri gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.2. Autocad programı ile yapılmış kesim hattını belirten 2 boyutlu çizim.

Deneylerde kullanılan yüksek aşınma direncine sahip malzemenin spektral analizle belirlenen kimyasal bileşimi Çizelge 4.1'de termofiziksel özellikleri ise Çizelge 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Deney numunesinin (HARDOX 400) kimyasal bileşimi (% Ağırlık).

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni
0,13	0,49	1,38	0,10	0,0010	0,05	0,028	0,04

Çizelge 4.2. Deney numunesinin (HARDOX 400) mekanik özellikleri.

Sertlik (HB)	Kopma Dayanımı (MPa)	Akma Sınırı (MPa)	Kopma Uzaması (% A <sub>5</sub> )
390	1250	1000	10

### 4.3. CNC PLAZMA KESME TEZGÂHI

Kesme deneyleri için Kardemir/Karçel A.Ş bünyesinde bulunan Hyperterm HPR 130 tipi Kaltenbach marka Bilgisayarlı Sayısal Kontrollü (CNC) tezgâhi kullanılmıştır (Bölüm 2, Şekil 2.13).

Kullanılan CNC plazma tezgâhi üç eksenlidir. Tezgâhta 1 mm'den 30 mm'ye kadar çeşitli kalınlıklarda 2000 mm x 6000 mm boyutlarında malzemeler bilgisayar kontrollü olarak kesilebilmektedir. Kesme işlemi esnasında iş parçası sabit, plazma torcu ise bağlı olduğu köprülü konsol ile birlikte hareket etmektedir. Köprülü konsol X ekseninde hareket edebilmekteyken, torç ise Y ve Z ekseninde hareket etmektedir. Kesilen malzeme tipine ve kalınlığına göre değişik çeşitlerde elektrot kullanılmaktadır.

Kesme deneyleri için plazma güç üretici firması Hyperterm firmasının 130A'lık 220181 referans numaralı elektrotu kullanılmıştır.

### 4.4. DENEY PARAMETRELERİ

Bu çalışmada iki farklı deney gerçekleştirilmiştir. İlk deneyde ilerleme hızı, kesme yüksekliği ve malzeme kalınlığı, ikinci deneyde ise ilerleme hızı, kesme yüksekliği ve gaz debisi değişken parametre olarak belirlenmiştir. Çizelge 4.3 ve Çizelge 4.4'de deneylerde kullanılan parametreler ve değer seviyeleri verilmiştir. Çizelge 4.5, Çizelge 4.6 ve Çizelge 4.7'de ise kullanılan parametre ve seviyelerine göre yapılması gereken kesim miktarları ve parametre kombinasyonları çıkarılmıştır.

Çizelge 4.3. Deney 1’de kullanılan parametreler ve seviyeleri.

Parametre İsmi	Seviyeler				
	1	2	3	4	5
Malzeme Kalınlığı (mm)	10	20			
Kesme yüksekliği (mm)	1	2,5	4		
İlerleme hızı (mm/dk – 10 mm için)	1800	2100	2400	2700	3000
İlerleme hızı (mm/dk – 20 mm için)	200	300	400	500	600

Çizelge 4.4. Deney 2’de kullanılan parametreler ve seviyeleri.

Parametre İsmi	Seviyeler		
	1	2	3
Koruyucu gaz debisi (lt/dk)	20	30	40
İlerleme hızı (mm/dk – 10 mm için)	1800	1950	2100
İlerleme hızı (mm/dk – 20 mm için)	200	300	400

Deney 1’de 2 farklı malzeme, 5 farklı ilerleme hızı ve 3 farklı kesme yüksekliği olduğu için tam faktöriyel deney tasarımında 30 adet ( $2 \times 5 \times 3 = 30$ ) kesme işlemi gerçekleştirilmelidir (Çizelge 4.5).

Çizelge 4.5. Deney 1’de kullanılan parametreler.

Kesim numarası	Malzeme Kalınlığı (mm)	İlerleme Hızı (mm/dk)	Kesme Yüksekliği (mm)	Kesim numarası	Malzeme Kalınlığı (mm)	İlerleme Hızı (mm/dk)	Kesme Yüksekliği (mm)
1	10	1800	1	16	20	200	1
2			2,5	17			2,5
3			4	18			4
4		2100	1	19		300	1
5			2,5	20			2,5
6			4	21			4
7		2400	1	22		400	1
8			2,5	23			2,5
9			4	24			4
10		2700	1	25		500	1
11			2,5	26			2,5
12			4	27			4
13		3000	1	28		600	1
14			2,5	29			2,5
15			4	30			4

Deney 2’de ise 3 farklı gaz debisi ve 3 farklı ilerleme hızı kullanıldığı için her iki malzeme için ayrı ayrı 9’ar kesim gerçekleştirilmelidir (Çizelge 4.6 ve Çizelge 4.7).

Çizelge 4.6. Deney 2’de kullanılan parametreler (10 mm’lik malzeme).

Kesim numarası	Malzeme Kalınlığı (mm)	Kesme yüksekliği (mm)	Koruyucu Gaz debisi (lt/dk)	İlerleme hızı (mm/dk)
1	10	2,5	20	1800
2				1950
3				2100
4			30	1800
5				1950
6				2100
7			40	1800
8				1950
9				2100

Çizelge 4.7. Deney 2’de kullanılan parametreler (20 mm’lik malzeme).

Kesim numarası	Malzeme Kalınlığı (mm)	Kesme yüksekliği (mm)	Koruyucu Gaz debisi (lt/dk)	İlerleme hızı (mm/dk)
1	20	4	20	200
2				300
3				400
4			30	200
5				300
6				400
7			40	200
8				300
9				400

Plazma gazı debisi her iki deneyde de 70 lt/dk olarak sabit tutulmuştur. Koruyucu gaz debisi ise deney 1’de 35 lt/dk olarak sabit tutulmuş, deney 2’de ise değişken parametre olarak 3 farklı değerde kullanılmıştır. Her iki deneyde de malzeme kalınlığı olarak 10 mm ve 20 mm’lik iki farklı kalınlık kullanılmıştır.

Malzeme tipi ve kalınlığı göz önünde bulundurularak Karçel A.Ş.’de kullanılagelen ilerleme hızları ve kesme yükseklikleri baz alınarak çizelgelerde belirtilen değerler değişken parametre olarak kullanılmıştır.

Deneysel çalışmada plazma gazı ve koruyucu gaz olarak hava kullanılmıştır. Basıncılı havayı sağlayan ünite 7,5 bar gücünde kompresöre ve nemden arındırma özelliğine sahiptir.

#### **4.5. ÖLÇÜM VE GÖZLEM METOTLARI**

Bölüm 4.4'te belirtilen deney parametrelerine göre gerçekleştirilen deneyler için 3 farklı ölçüm ve değerlendirme işlemi uygulanmıştır. Bunlar enerji sarfiyatı ölçümü, çapak oluşumu gözlemi ve boyutsal ölçümdür. Boyutsal ölçüm ve çapak oluşumu gözlemi kesimden sonra gerçekleştirilirken, enerji sarfiyatı ölçümü kesim esnasında gerçekleştirilmiştir.

##### **4.5.1. Enerji Sarfiyatı Ölçümü**

Sadece Deney 1'de yapılan bu ölçüm işleminin amacı tezgâhın kesme esnasında şebekeden çekmiş olduğu enerji miktarı üzerinde seçilen parametrelerin etkilerinin araştırılmasıdır. Şekil 4.5'de belirtilen parametreler kullanılarak yapılan her kesim esnasında tezgâhın şebekeye bağlandığı noktadan Şekil 4.3'te bir resmi, Çizelge 4.8'de teknik özellikleri görülen ve anlık ölçüm yapabilen Pens-ampermetre ile akım değerleri ölçülerek bilgisayara kaydedilmiştir.

Ölçülen akım değerinin sadece kesme işlemine ait olmasını sağlamak için tezgâh, kesme işlemi haricinde bütün fonksiyonları (CNC tezgâhının ilerleme esnasında çalışan motorlar, bilgisayarlar ve diğer elektrik/elektronik aksam ve teçhizatlar dahil) çalışır durumda iken akım değerleri ölçülmüş ve bu değerler kesme işlemi esnasında ölçülen değerlerden ayrıştırılarak deney parametrelerine ait kesimlerin gerçek akım değerlerine ulaşılmıştır.





Şekil 4.3. Deneyleerde kullanılan ampermetre görüntüsü.

Çizelge 4.8. Deneyleerde kullanılan ampermetre cihazı teknik özellikleri.

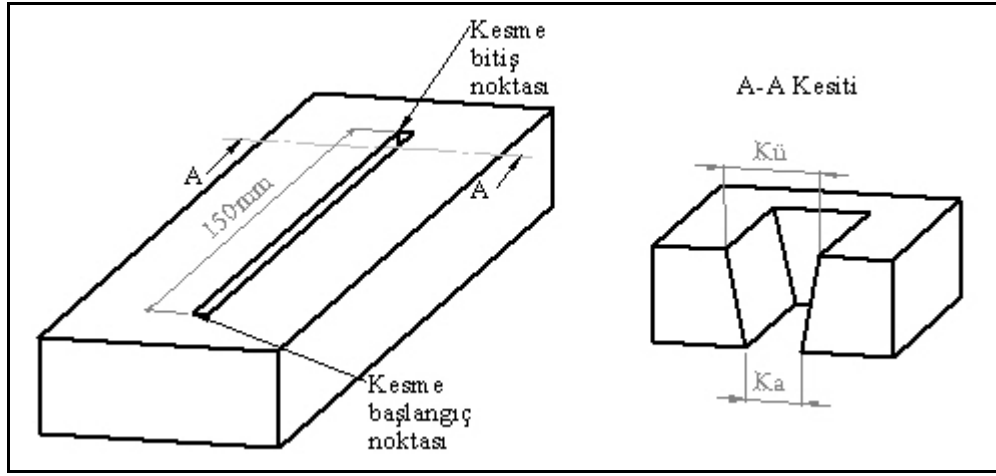
Model	TES 3050 TRMS AC/DC Akım Ölçer
Range (Akım Ölçüm Aralığı)	400/1000 A
Accuracy (Doğruluk)	% 2 rdg+ 10dgts
Resolution (çözünürlük)	0,1 A
Overload Protection (AşırıYük Koruması)	1100 A

#### 4.5.2. Çapak Oluşumu Gözlemi

Plazma arkı ile kesme esnasında özellikle kesilen levha malzemenin alt yüzeyinde kesim yarığına yakın bölgelerde çapaklar oluşmaktadır. Bu çapaklar farklı parametre kombinasyonlarında farklılık arz etmektedir. Kesilen numunelerde çapak oluşumu gözlemi kesim işleminden sonra çıplak gözle gerçekleştirilmiştir. Sadece Deneyle 2’de yapılan bu gözlem sonucunda özellikle koruyucu gazın etkisi araştırılmıştır.

### 4.5.3. Boyutsal Ölçüm ve Değerlendirme

Her iki deneyde kesilen numunelere uygulanan bu ölçüm metodu kesim yarığı genişliği ve kesim yüzeyi dikliğinin araştırılması için uygulanmıştır. Kesme bölgesindeki çapakların temizlenmesinden sonra 0,01 mm ölçüm çözünürlüğüne sahip dijital kumpas kullanılarak kesim yarığının Şekil 4.4’de görüldüğü gibi üst yüzey genişliği ve alt yüzey genişliği ölçülerek değerler bilgisayara kaydedilmiştir.



Şekil 4.4. Kesme işlemi ve kesme bölgesinin temsili görünüşünün kesit görüntüsü.

Kesim yüzeyi dikliğinin derecesinin üst ve alt yüzey genişliklerinin birbirleri ile oranlanması ile belirlenmesi hedeflenerek kesme yüzeyi genişlikleri oranı ( $K_o$ ) değerleri elde edilmiştir.

$$K_o = K_u / K_a \quad (4.1)$$

Denklem 4.1’de  $K_u$  üst yüzey genişliği,  $K_a$  alt yüzey genişliği ve  $K_o$  ise kesme yüzeyi genişlikleri oranıdır.

$K_o$  değerinin bir (1) olması kesme yüzeyinin açısının dik olduğu ve ideal bir kesme elde edildiği anlamına gelmektedir. Değerin 1’den büyük olması yarığın üst tarafının alt tarafından daha büyük olduğu anlamına gelmekte yani kesim işlemi konik şeklinde gerçekleşmektedir. Kesme genişlikleri ölçümleri farklı yerlerden üçer tekrarlı yapılmıştır.

## BÖLÜM 5

### BULGULAR VE TARTIŞMA

#### 5.1. GİRİŞ

Oluşturulan deney kombinasyonlarına (Şekil 4.5, Şekil 4.6 ve Şekil 4.7) göre yapılan kesimler esnasında ve sonucunda uygulanan ölçüm ve gözlem sonuçları bilgisayar ortamında incelenerek grafiğe aktarılmıştır. Deneyler ölçüm ve gözlem metotları bakımından ayrı bölümde ele alınarak yorumlanmıştır.

#### 5.2. DENEY 1'E AİT DEĞERLENDİRMELER

Deney 1'de gerçekleştirilen kesimler sonucunda numuneler üzerinde yapılan boyutsal ölçüm ve bu ölçüm sonuçlarına Denklem 4.1'in uygulanması ile elde edilen kesme yüzeyi genişlikleri oranı ( $K_o$ ) değerleri Çizelge 5.1 (10 mm için) ve Çizelge 5.2'de (20 mm için) verilmiştir.

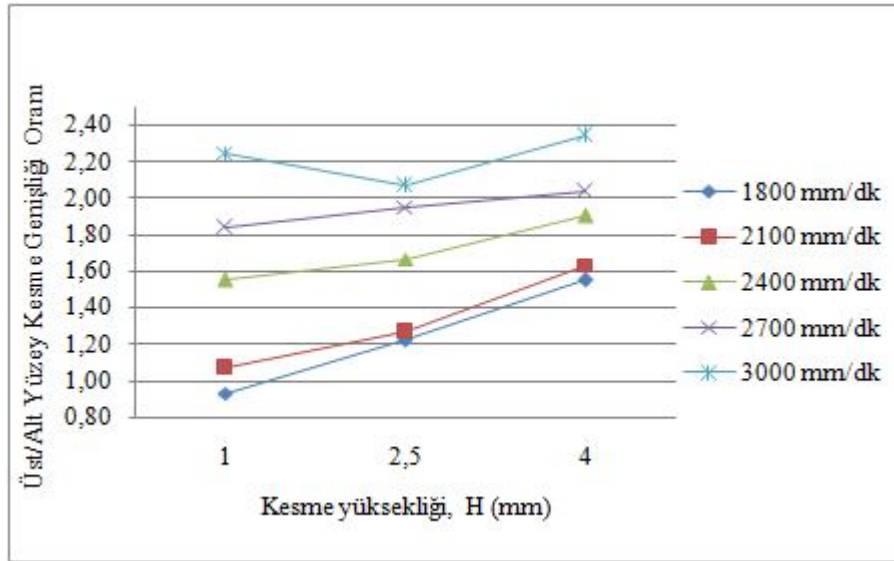
Çizelge 5.1. Kesme yarığı genişlikleri ölçüm sonuçları (10 mm için).

Kesim Numarası	Kesim yarığının üst genişliği - $K_u$ (mm)	Kesim yarığının alt genişliği - $K_a$ (mm)	Kesme yüzeyi genişlikleri oranı ( $K_o$ )
1	3,17	3,40	0,93
2	3,73	3,07	1,22
3	3,93	2,53	1,55
4	3,53	3,30	1,07
5	3,55	2,80	1,27
6	3,65	2,23	1,63
7	2,95	1,90	1,55
8	3,25	1,95	1,67
9	4,00	2,10	1,90
10	2,85	1,55	1,84
11	3,08	1,58	1,95
12	3,20	1,58	2,03
13	2,93	1,30	2,25
14	3,00	1,45	2,07
15	3,10	1,33	2,34

Çizelge 5.2. Kesme yarığı genişlikleri ölçüm sonuçları (20 mm için).

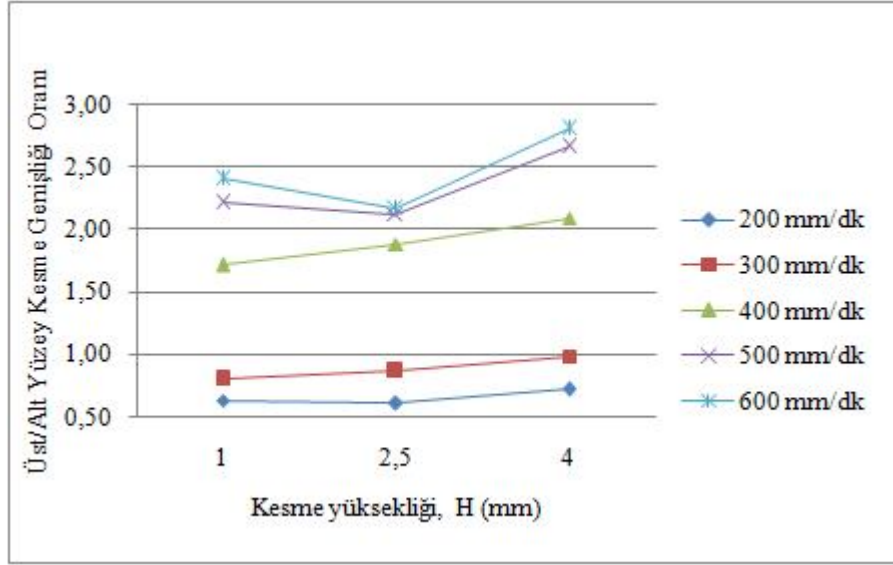
Kesim Numarası	Kesim yarığının üst genişliği - $K_u$ (mm)	Kesim yarığının alt genişliği - $K_a$ (mm)	Kesme yüzeyi genişlikleri oranı ( $K_o$ )
16	3,15	4,95	0,64
17	3,10	5,05	0,61
18	4,00	5,55	0,72
19	2,95	3,65	0,81
20	3,25	3,75	0,87
21	3,85	3,90	0,99
22	5,03	2,93	1,72
23	5,80	3,08	1,89
24	5,98	2,85	2,10
25	5,20	2,35	2,21
26	5,00	2,35	2,13
27	6,00	2,25	2,67
28	5,05	2,10	2,40
29	4,55	2,10	2,17
30	5,90	2,10	2,81

Elde edilen değerler grafiksel olarak ise Şekil 5.1 ve Şekil 5.3 (10 mm için) ve Şekil 5.2 ve Şekil 5.4'te (20 mm için) verilmiştir. Şekil 5.1 ve Şekil 5.2 kesme genişliği oranı değerlerinin kesme yüksekliğine bağlı değişimlerini, Şekil 5.3 ve Şekil 5.4 ise ilerleme hızına bağlı değişimlerini göstermektedir.



Şekil 5.1. 10 mm'lik malzemenin, beş farklı ilerleme hızı ile kesilmesinde kesme yüksekliğine göre kesme yüzeyi genişlikleri oranı değişimi.

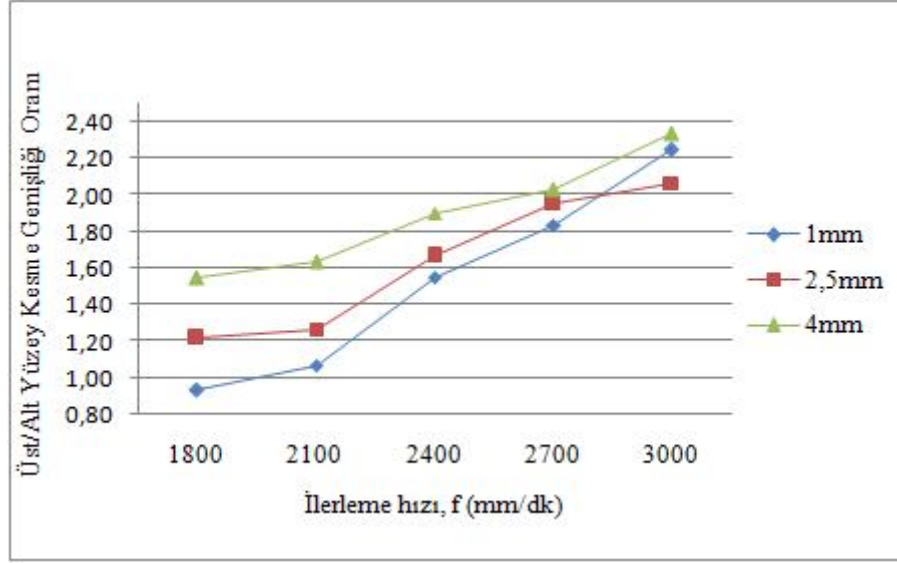
Şekil 5.1'deki grafikte, 10 mm kalınlığındaki Hardox 400 çeliğinin kesilmesi sonucunda kesme yüksekliğindeki artışla birlikte  $K_o$ 'nun arttığı görülmektedir. Kesme yüksekliğinin artmasıyla  $K_o$ 'nun artışının nedeni olarak torcun parçadan uzaklaşması sonucu plazma jetinin iş parçasına etkisinin azalması ve bundan dolayı kesme yarığının alt kısımlarında daralmaya yol açması gösterilebilir.



Şekil 5.2. 20 mm'lik malzemenin, beş farklı ilerleme hızı ile kesilmesinde kesme yüksekliğine göre kesme yüzeyi genişlikleri oranı değişimi.

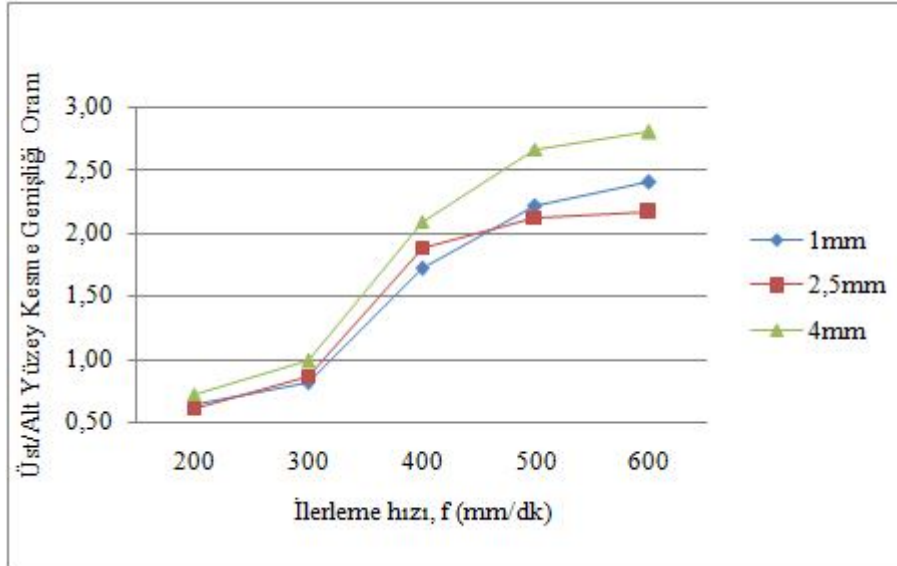
20 mm'lik malzemeye ait grafikler de Şekil 5.1'e benzemekle birlikte  $K_o$ 'nun artışı kesme yüksekliğinin artışına oranla sınırlı kaldığı gözlenmektedir.

10 mm'lik malzemenin kesilmesinde ilerleme hızlarına göre değişimi görülen  $K_o$  değerinin ilerleme hızlarındaki artışla birlikte arttığı Şekil 5.3'te görülmektedir.  $K_o$ 'nun artış göstermesinin nedeni olarak, iş parçasının hızlı kesilmesi esnasında alt kesme yüzeyi genişliği azalmakta ve matematiksel olarak Denklem 4.1'de paydanın küçülmesi gösterilebilir.



Şekil 5.3. 10 mm'lik malzemenin, üç farklı kesme yüksekliğinde kesilmesinde ilerleme hızına göre kesme yüzeyi genişlikleri oranı değişimi.

Şekil 5.3'e benzer bir değişim gösteren Şekil 5.4 ise 20 mm'lik malzemenin kesilmesi sonucunda elde edilen  $K_0$  değerinin ilerleme hızına göre yapmış olduğu değişimdir.



Şekil 5.4 20 mm'lik malzemenin, üç farklı kesme yüksekliğinde kesilmesinde ilerleme hızına göre kesme yüzeyi genişlikleri oranı değişimi.

Bütün grafikler birlikte değerlendirildiğinde öncelikle her iki kalınlıktaki iş parçasında da hem ilerleme hızının hem de kesme yüksekliklerinin artırılması ile kesme genişlikleri oranının arttığı görülmektedir.

Kesilerek oluşturulan yarığın konik çıkması veya kesme yüzeylerinin açılı çıkması her iki değişken için farklı şekillerde meydana gelmektedir. Kesme yüksekliği ile ilişkili olan parametre plazma gazı jetinin parçaya mesafesini belirleyen parametredir. Plazma gaz alevi parçadan uzaklaştıkça oran 1'den büyük olmaktadır, parçaya yaklaştıkça ise oran 1'e yaklaşmaktadır.  $K_o$  değerinin 1'den büyük olması durumunda kesim sonucunda elde edilen yüzeylerin açısı pozitif kesim açısı, küçük olduğunda ise negatif kesim açısı olarak adlandırılır.

Boyutsal ölçüm bakımından yapılan değerlendirme sonucunda 10 mm'lik malzemenin kesilmesinde yapılan kesimler arasından 1800 mm/dk ve 2100 mm/dk ilerleme hızlarında kesilen ve 1 mm ve 2,5 mm kesme yüksekliklerinde kesilen 1, 2, 4 ve 5 nolu kesimlerin, 20 mm'lik malzeme için ise 300 mm/dk ilerleme hızında 4 mm kesme yüksekliğinde kesilen 21 nolu kesimin uygun kesimler olduğu kanısına varılmıştır.

Deney 1'de yapılan kesim işlemleri esnasında şebekeden çekilen akım şiddeti değerleri ise Çizelge 5.3 (10 mm için) ve Çizelge 5.4'de (20 mm için), grafiksel gösterimi ise Şekil 5.5 ve Şekil 5.7 (10 mm için), Şekil 5.6 ve Şekil 5.8'de (20 mm için) verilmiştir.

Çizelge 5.3. Şebekeden çekilen anlık akım şiddeti değerleri (10 mm için).

Kesim Numarası	Şebekeden çekilen akım şiddeti (A)
1	32,6
2	35,5
3	37,6
4	32,4
5	33
6	36,5
7	32,3
8	32,7
9	35,7
10	31,2
11	32,5
12	33,7
13	30,7
14	32
15	33,5

Çizelge 5.4. Şebekeden çekilen anlık akım şiddeti değerleri (20 mm için).

Kesim Numarası	Şebekeden çekilen akım şiddeti (A)
16	41,5
17	41,7
18	43,3
19	41,1
20	41,3
21	42,8
22	39
23	39,4
24	40,2
25	37
26	37,2
27	38,6
28	35,4
29	35,8
30	38,2

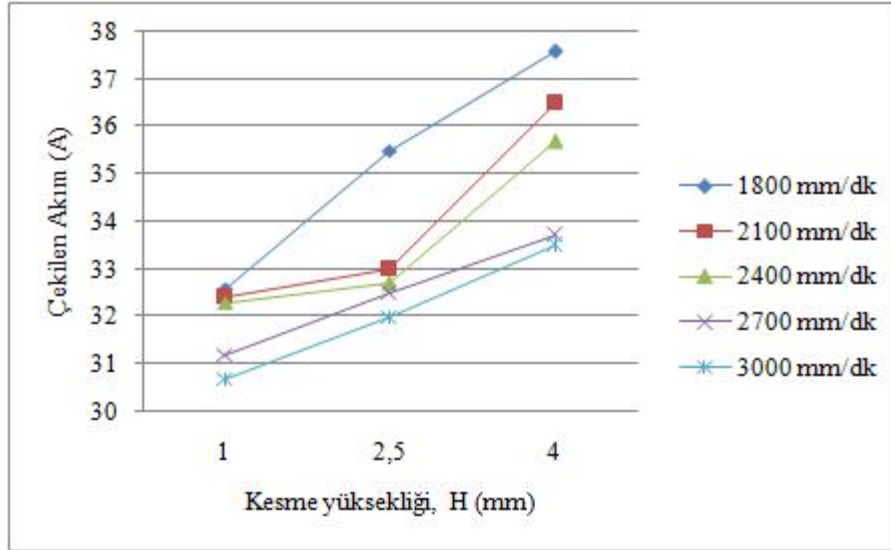
Plazma ile kesim yapılırken tezgâhın harcamış olduğu enerji sarfiyatı ark voltajı, kesilen malzemenin cinsi, kalınlığı, kesme yüksekliği ve ilerleme hızı gibi parametrelere bağlıdır.



Plazma gazı olarak havanın kullanıldığı ve ark voltajı sabit tutularak yapılan kesme işlemleri esnasında tezgâhın şebekeden çektiği akım miktarı anlık olarak ölçülmüştür (Şekil 5.5-5.11).

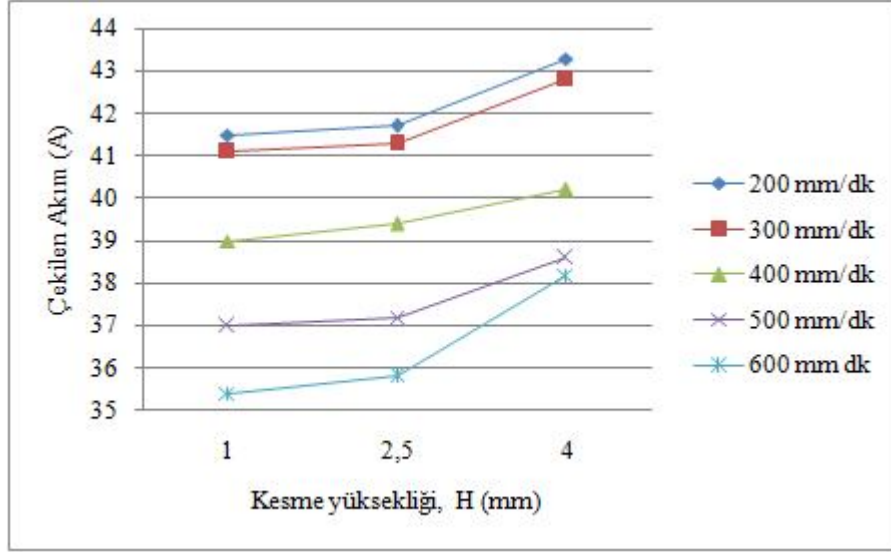
Şebekeden çekilen akım şiddeti olarak bahsedilen akım değerleri tezgâhın kesim yapmadığı zamanlardaki şebekeden çektiği akımdan arındırılmış bir şekilde sadece ark voltajından kaynaklanan değerlerdir. Hem kesme yüksekliğinin hem de ilerleme hızının çekilen akım değerleri üzerinde etkili olduğu görülmüştür.

Şekil 5.5 ve Şekil 5.6 şebekeden çekilen akım miktarının kesme yüksekliğine bağlı değişimlerini, Şekil 5.7 ve Şekil 5.8 ise ilerleme hızına bağlı değişimlerini göstermektedir.



Şekil 5.5. 10 mm'lik malzemenin, beş farklı ilerleme hızı ile kesilmesinde kesme yüksekliğine göre şebekeden çekilen akım miktarı değişimi.

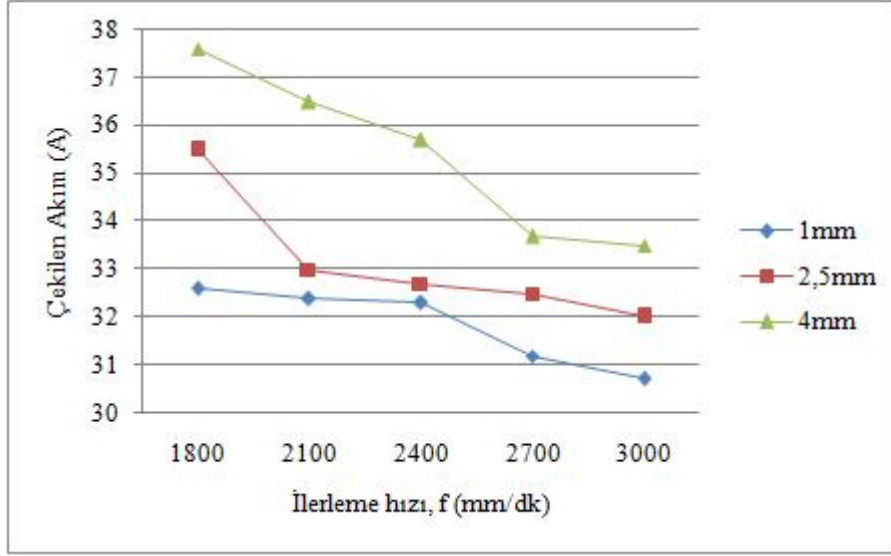
Şekil 5.5'deki grafikte 10 mm'lik malzemenin kesilmesi için kullanılan bütün ilerleme hızlarında da kesme yüksekliğinin artması ile çekilen akım miktarının da arttığı görülmektedir.



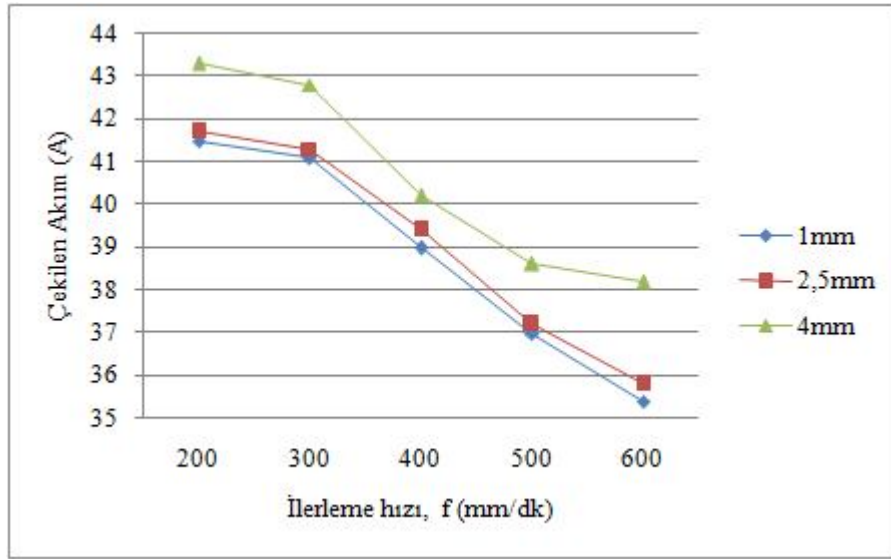
Şekil 5.6. 20 mm'lik malzemenin, beş farklı ilerleme hızı ile kesilmesinde kesme yüksekliğine göre şebekeden çekilen akım miktarı değişimi.

Şekil 5.6'de de Şekil 5.5'e benzer bir davranış gözlenmektedir. Kesme yüksekliğinin artmasının şebekeden çekilen akım miktarının artmasına neden olması, iş parçasının elektrottan uzaklaşarak ana arkın atlama mesafesinin uzaması ile direncin artmasından dolayı olduğu izahı getirilebilir.

Şekil 5.7 ve Şekil 5.8 ise kullanılan kesme yüksekliklerinde malzemelerin kesilmesi esnasında şebekeden çekilen akım miktarının ilerleme hızlarına göre değişimi gösterilmiştir.



Şekil 5.7. 10 mm'lik malzemenin, üç farklı kesme yüksekliğinde kesilmesinde ilerleme hızına göre şebekeden çekilen akım miktarı değişimi.



Şekil 5.8. 20 mm'lik malzemenin, üç farklı kesme yüksekliğinde kesilmesinde ilerleme hızına göre şebekeden çekilen akım miktarı değişimi.

Her iki kalınlıktaki malzemelerin kesilmesi esnasında şebekeden çekilen akım şiddeti değerleri incelendiğinde kesme hızlarının artması her iki kalınlıktaki malzemeler için çekilen akım miktarını azaltmıştır.

İkinci neden ise metallerin sıcaklığının artması ile elektron akışının yavaşlamasından dolayı direncinin artması gösterilebilir. Düşük ilerleme hızı kullanılan kesimlerde

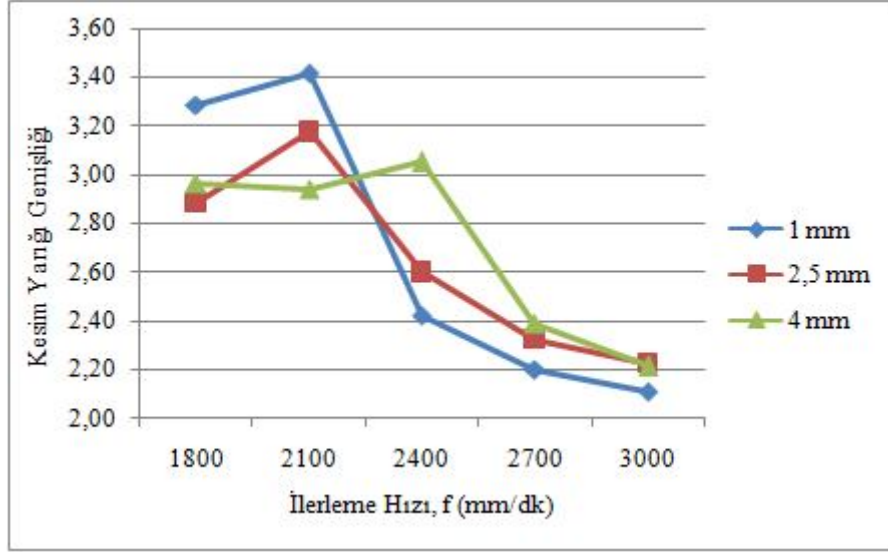
malzemeye enerji girdisi daha uzun süreli olduğu için malzeme yüksek ilerleme hızı ile yapılan kesimlere nazaran daha fazla ısınmakta dolayısıyla elektrot ile malzeme arasındaki oluşan ana arkın geçişi zorlandığından dolayı şebekeden daha fazla miktarda akım çekmektedir [31].

Malzemelerin plazma arkı ile kesme yönteminde boyutsal doğruluğun enerji sarfiyatına nazaran daha önemli olduğu varsayımıyla boyutsal değerlendirmeye uygun kesim seçimi aşamasında öncelik verilecektir.

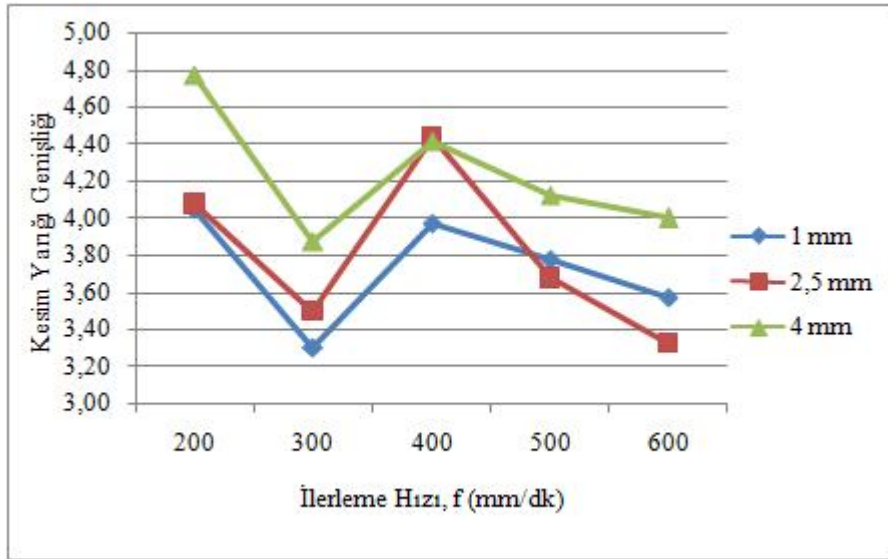
10 mm'lik malzeme için 1 ve 2 nolu kesimlerde kesme yüksekliği 1 mm iken 4 ve 5 nolu kesimlerde 2,5 mm'dir. Plazma arkı ile kesme yönteminde sarf malzemelerinin (elektrot, nozul, lüle vb.) uzun ömürlü olması için mümkün olduğunca kesme yüksekliği değerinin büyük tutulması gerektiğinden dolayı 1 mm'lik kesme yüksekliği yerine 2,5 mm'lik kesme yüksekliğinin kullanılması daha uygun olacağı üzerinde durulmuştur. Buna göre 2 ve 5 nolu kesimler boyutsal bakımdan tercih edilen kesimler olmaktadır. Enerji sarfiyatı da değerlendirmeye tabi tutulduğunda 2 nolu kesime nazaran 5 nolu kesimin en uygun parametre kombinasyonu olduğu görülmektedir.

20 mm'lik malzemenin kesimi için ise boyut boyutsal ölçüm sonucunda en sağlıklı kombinasyonun 4 mm kesme yüksekliği ve 300 mm/dk ilerleme hızının kullanıldığı 21 nolu kesim olduğu görülmektedir. 21 nolu kesimin diğer seçilebilecek kesimlere nazaran yüksek enerji sarfiyatına neden olmasına rağmen boyutsal zorunluluklar bakımından tercih edilmesi gereken bir parametre kombinasyonuna sahip olduğu söylenebilir.

Her ne kadar kesim yarığı genişliği değerleri değerlendirmeye tabi tutulmamış olsa da yapılan kesme işlemlerinde oluşan kesim yarığı genişlikleri fikir vermesi açısından Şekil 5.9 (10 mm için) ve Şekil 5.10'da (20 mm için) grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 5.9. 10 mm'lik malzemenin, üç farklı kesme yüksekliğinde kesilmesinde ilerleme hızına göre kesim yarığı genişlikleri değişimi.



Şekil 5.10. 20 mm'lik malzemenin, üç farklı kesme yüksekliğinde kesilmesinde ilerleme hızına göre kesim yarığı genişlikleri değişimi.

Kesim yarığı genişliği değer (K<sub>g</sub>), üst yüzey genişliği (K<sub>ü</sub>) ve alt yüzey genişliği (K<sub>a</sub>) değerleri kullanılarak Denklem 5.2'ye göre elde edilmiştir.

$$K_g = (K_{\bar{u}} + K_a) / 2 \quad (5.2)$$

### 5.3. DENEY 2'YE AİT DEĞERLENDİRMELER

Deney 1'de elde edilen sonuçların ışığında plazma arkı ile kesmede ikincil gaz olarak da adlandırılan koruyucu gaz debisinin başta boyutsal değerlendirme olmak üzere çapak oluşumu bakımından yaptığı etki araştırılmak istenmiştir. Buna göre Deney 1'de kullanılan parametreler göz önünde bulundurularak yeni deney parametreleri belirlenmiştir (Çizelge 4.6 ve Çizelge 4.7).

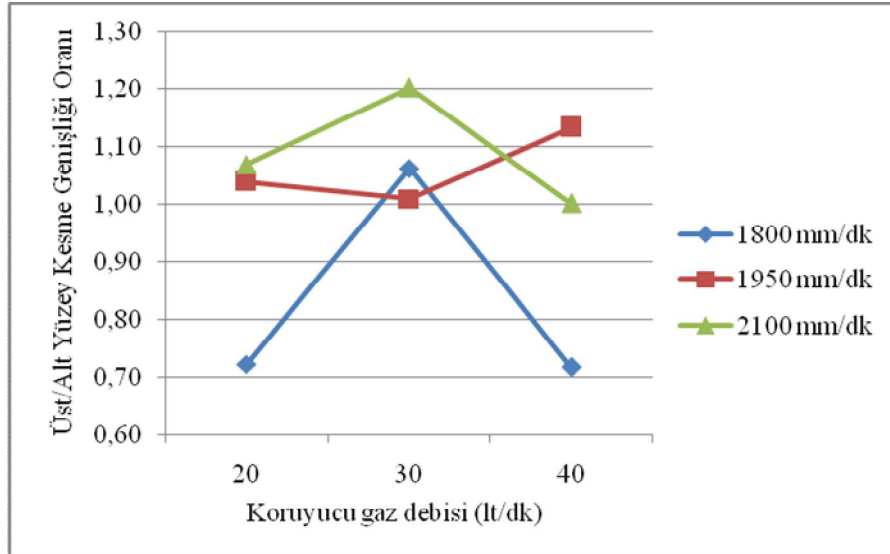
Deney 2'de 10mm'lik malzeme için yapılmış olan kesim işlemleri sonucunda elde edilen kesme yarığı üst yüzey genişliği ve alt yüzey genişliği değerleri ve bu değerlere Denklem 4.1'in uygulanması ile elde edilen  $K_o$  değerleri Çizelge 5.5'te verilmiştir. Ayrıca her koruyucu gaz debisi değeri için  $K_o$  değerlerinin ilerleme hızlarına göre yaptığı değişim Şekil 5.11'de, koruyucu gaz debisine göre yaptığı değişim ise Şekil 5.12'de grafiksel olarak gösterilmiştir.

Çizelge 5.5. 10 mm Hardox malzeme için kesme değerleri.

Kesim Numarası	Kesim yarığının üst genişliği - $K_u$ (mm)	Kesim yarığının alt genişliği - $K_a$ (mm)	Kesme yüzeyi genişlikleri oranı ( $K_o$ )
1	2,49	3,45	0,72
2	2,55	2,45	1,04
3	2,68	2,51	1,07
4	2,51	2,36	1,06
5	2,98	2,95	1,01
6	2,90	2,41	1,20
7	2,77	3,86	0,72
8	2,99	2,64	1,13
9	2,89	2,89	1,00



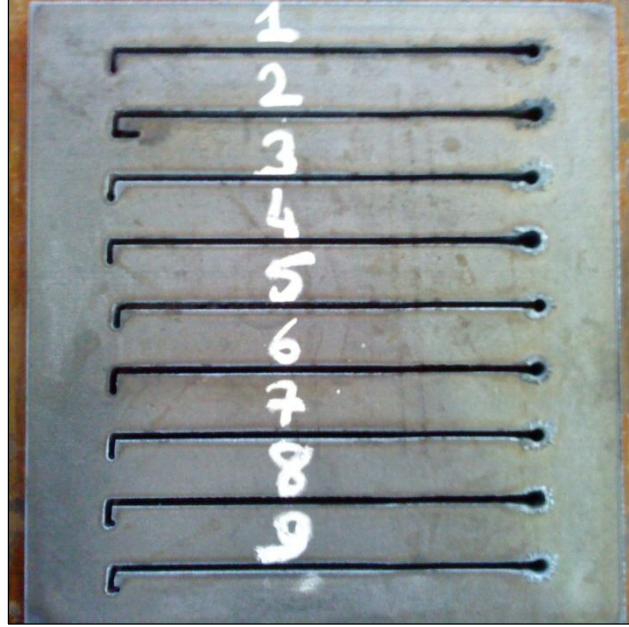
Şekil 5.11. 10 mm'lik malzemenin 2,5 mm sabit kesme yüksekliğinde ve farklı koruyucu gaz debilerinde ilerleme hızlarına göre kesme yüzeyi genişlikleri oranı değişimi.



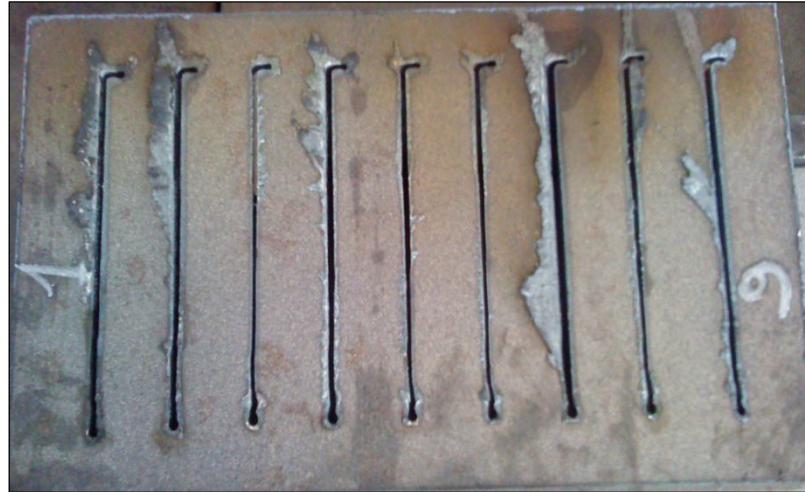
Şekil 5.12. 10 mm'lik malzemenin 2,5 mm sabit kesme yüksekliğinde ve farklı ilerleme hızlarında koruyucu gaz debilerine göre kesme yüzeyi genişlikleri oranı değişimi.

10 mm'lik malzemenin kesilmesi sonucu yapılan boyutsal değerlendirmeye göre 2, 3, 4, 5, 6, 8 ve 9 nolu kesimler kullanılabilir kesimler olarak görülmektedir.

Şekil 4.6 değerleri ile yapılan kesim işlemleri sonucunda 10mm'lik malzeme numunesinin üst yüzeyine ait fotoğraf Şekil 5.13'de, alt yüzeyine ait fotoğraflar ise Şekil 5.14 ve Şekil 5.15'te gösterilmiştir.



Şekil 5.13. 10 mm'lik malzeme numunesinin üst yüzey fotoğrafı.



Şekil 5.14. 10 mm'lik malzeme numunesinin alt yüzey fotoğrafı-1.

$K_0$ 'nun 1'e yakın olması gerekliliğinden hareketle, 2100 mm/dk ilerleme hızında ve koruyucu gazın debisinin 40 lt/dk olması durumunda,  $K_0$ 'nun 1 olduğu görülmektedir. Diğer yandan 2, 3, 4, 5 ve 8 nolu kesimler de kabul edilebilir



sınırlardadır. Bununla birlikte 10 mm kalınlığındaki iş parçasının alt yüzeyi çapaklanma bakımından incelendiğinde (Şekil 5.14 ve Şekil 5.15) 3, 5, 6, 8 ve 9 nolu kesimlerin kabul edilebilir kesimler olduğu görülmüştür.



Şekil 5.15. 10 mm'lik malzeme numunesinin alt yüzey fotoğrafı-2.

10 mm'lik malzemenin kesilmesinde hem boyutsal hem de çapak oluşumu bakımından yapılan değerlendirme sonucunda 3, 5, 8 ve 9 nolu kesimler kullanılabilir kombinasyonlar olarak değerlendirilmektedir. Bunlar arasından koruyucu gaz debisinin düşük ve ilerleme hızının yüksek olduğu 3 nolu (gaz debisi 20 lt/dk, ilerleme hızı 2100 mm/dk) kombinasyonun kullanımı tercih edilebilir.

Koruyucu gaz debisinin 20 lt/dk ve 40 lt/dk olduğu kesim işlemlerinde, düşük kesme hızlarında kesim yapıldığında  $K_0$ 'nun beklenen oranının çok altında olduğu görüldüğünden; bu koruyucu gaz debilerinde düşük ilerleme hızlarında kesim işleminin gerçekleştirilmemesi gerektiği anlaşılmıştır.

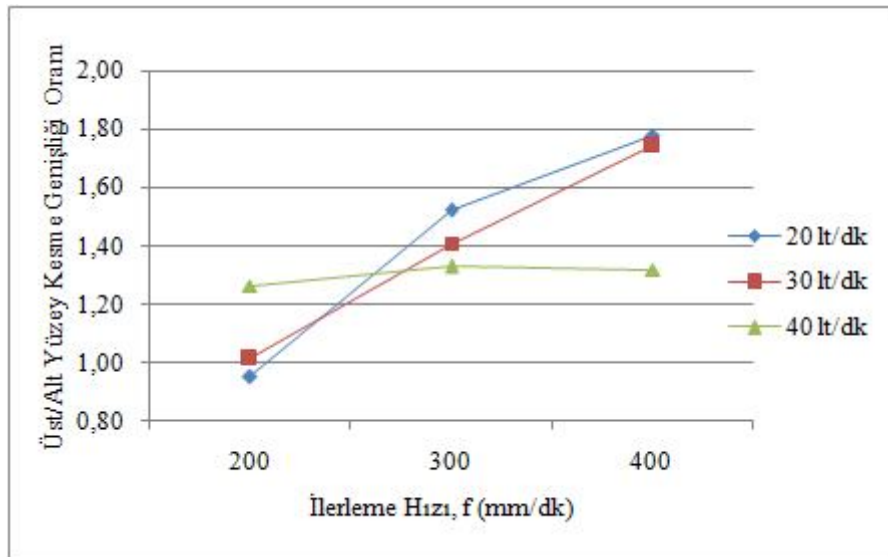
Deney numuneleri üzerinde yapılan görsel incelemelerde ilerleme hızının yüksek olduğu numunelerde çapak oluşumunun daha az olduğu gözlenmiştir. İlerleme hızının düşük olduğu kesimlerde çapak oluşumunun fazla olmasının plazma ve koruyucu gaz olarak kullanılan havanın miktarıyla ilgili olduğu düşünülmektedir.

20 mm'lik malzeme için yapılmış olan kesim işlemleri sonucunda elde edilen kesme yarığı üst yüzey genişliği ve alt yüzey genişliği değerleri ve bu değerlere Denklem 4.1'in uygulanması ile elde edilen  $K_0$  değerleri ise Çizelge 5.6'da verilmiştir. Her koruyucu gaz debisi değeri için  $K_0$  değerlerinin ilerleme hızlarına göre yaptığı

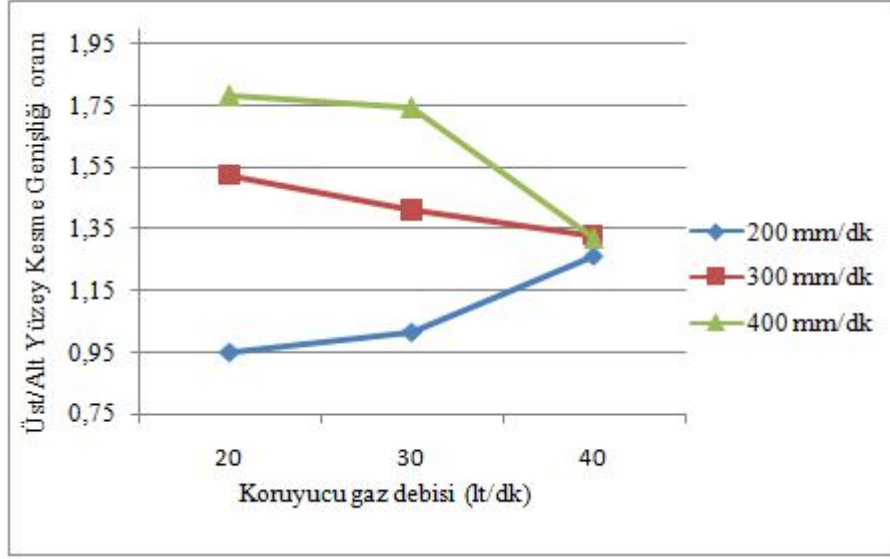
değişim Şekli 5.16’da, koruyucu gaz debisine göre yaptığı değişim ise Şekil 5.17’de grafiksel olarak gösterilmiştir.

Çizelge 5.6. 20 mm Hardox malzeme için kesme değerleri.

Kesim Numarası	Kesim yarığının üst genişliği - $K_u$ (mm)	Kesim yarığının alt genişliği - $K_a$ (mm)	Kesme yüzeyi genişlikleri oranı ( $K_o$ )
1	4,58	4,81	0,95
2	5,86	3,84	1,52
3	5,56	3,12	1,78
4	5,09	5,01	1,02
5	5,33	3,78	1,41
6	5,46	3,14	1,74
7	6,04	4,77	1,27
8	4,78	3,59	1,33
9	4,01	3,04	1,32



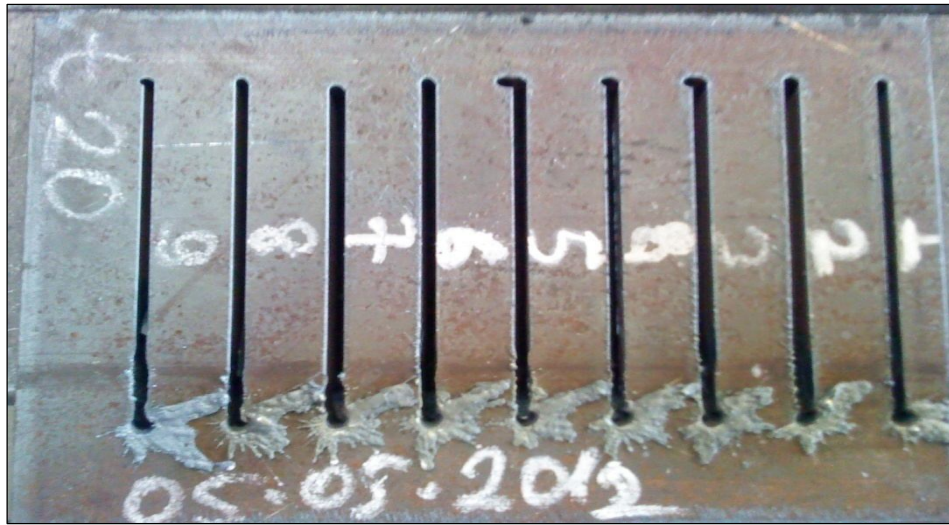
Şekil 5.16. 20 mm’lik malzemenin 4 mm sabit kesme yüksekliğinde ve farklı koruyucu gaz debilerinde ilerleme hızlarına göre kesme yüzeyi genişlikleri oranı değişimi.



Şekil 5.17. 20 mm'lik malzemenin 4 mm sabit kesme yüksekliğinde ve farklı ilerleme hızlarında koruyucu gaz debilerine göre kesme yüzeyi genişlikleri oranı değişimi.

20mm'lik malzemenin kesilmesi sonucu yapılan boyutsal değerlendirmeye göre 1 ve 4 nolu kesimler kullanılabilir kesimler olarak görülmektedir.

Şekil 4.7 değerleri ile yapılan kesim işlemleri sonucunda 20 mm'lik malzeme numunesinin üst yüzeyine ait fotoğraf Şekil 5.18'de, alt yüzeyine ait fotoğraflar ise Şekil 5.19 ve Şekil 5.20'de gösterilmiştir.



Şekil 5.18. 20 mm'lik malzeme numunesinin üst yüzey fotoğrafı.



Şekil 5.19. 20 mm'lik malzeme numunesinin alt yüzey fotoğrafı-1.

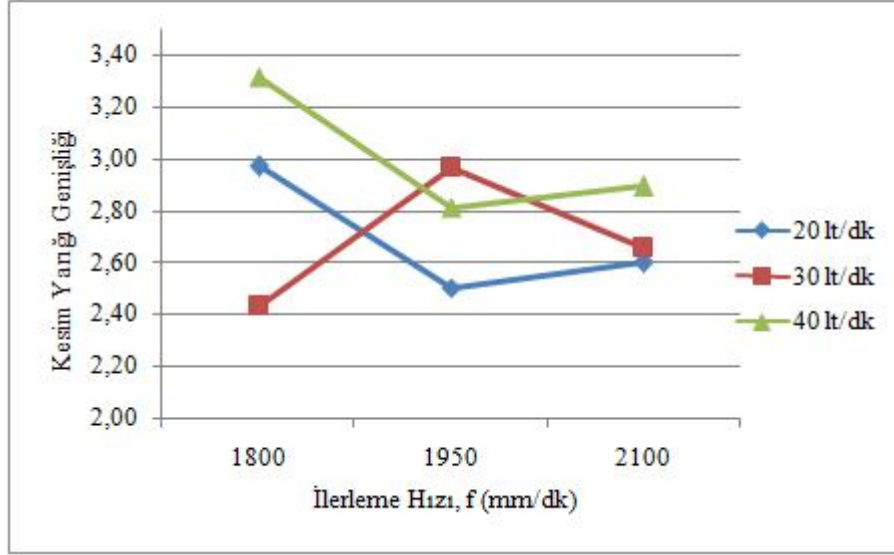


Şekil 5.20. 20 mm'lik malzeme numunesinin alt yüzey fotoğrafı-2.

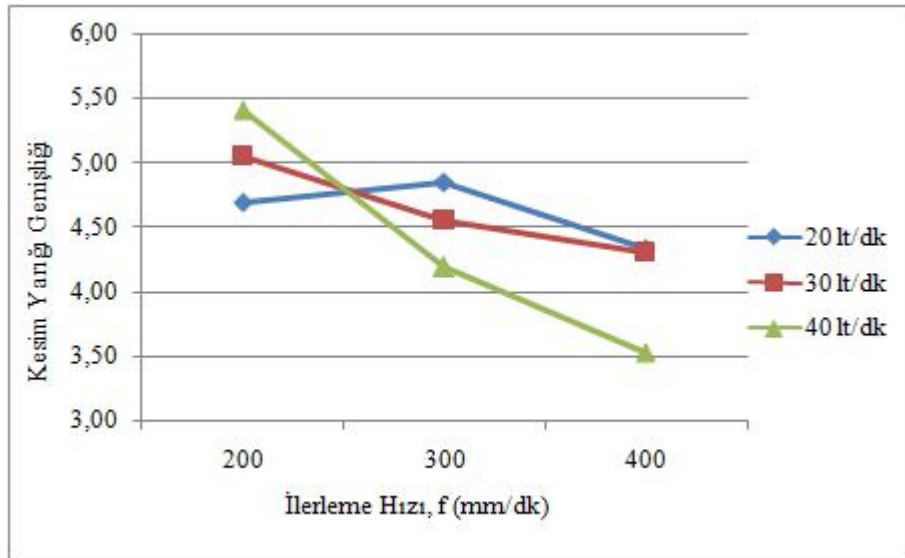
20 mm'lik malzeme numunesinin alt yüzeyi çapaklanma bakımından incelendiğinde (Şekil 5.19 ve Şekil 5.20)  $K_0$ 'nun 1,02 mm olduğu dört nolu kesme yarığındaki çapaklanmadan daha az çapaklanmanın olduğu 1, 2, 5 ve 6 nolu kesimlerin uygun kombinasyona sahip kesimler olduğu görülmüştür.

20 mm'lik malzemenin kesilmesinde hem boyutsal hem de çapak oluşumu bakımından yapılan değerlendirme sonucunda hem koruyucu gaz debisinin düşük olduğu ve hem de ilerleme hızının düşük olduğu 1 nolu (gaz debisi 20 lt/dk, ilerleme hızı 200 mm/dk) kombinasyonun kullanımı tercih edilebilir.

Diğer yandan Denklem 5.2'ye göre elde edilen kesim yarığı genişliği değerleri fikir vermesi açısından grafiksel olarak Şekil 5.21 (10mm için) ve Şekil 5.22'de (20mm için) grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 5.21. 10 mm'lik malzemenin, üç farklı koruyucu gaz debisinde kesilmesinde ilerleme hızına göre kesim yarığı genişlikleri değişimi.



Şekil 5.22. 20 mm'lik malzemenin, üç farklı koruyucu gaz debisinde kesilmesinde ilerleme hızına göre kesim yarığı genişlikleri değişimi.

## BÖLÜM 6

### SONUÇ VE ÖNERİLER

Çelik konstrüksiyon imalatı yapan işletmelerde malzeme kesme yüzeyinin düzgün ve ölçülebilir parametrelerin istenen değerlerde olması beklenir. Kesme yüzeyinde istenen diklik ve çapaklanmanın minimize edilebilmesi, imalatçı açısından büyük bir önem arz etmektedir. Diğer yandan kesme maliyetleri de kesme kalitesinin imalatçının istediği belli bir seviyede tutulması şartıyla dikkate alınması gerekmektedir.

Bu araştırmadan elde edilen en önemli bulgular aşağıda özetlenmiştir.

10 mm'lik malzemenin kesilmesi esnasında dik bir kesim işlemi tanımlayan 1'e en yakın  $K_0$  değerleri kesme yüksekliği 1 mm olmak üzere 1800 mm/dk ilerleme hızında 0,93 olarak, 2100 mm/dk ilerleme hızında ise 1,07 olarak elde edilmiştir. Kesme yüksekliğinin 1mm olması sarf malzemelerin daha çabuk yıpranmasına yol açacağından kesme yüksekliğinin 2,5 mm olduğu ve ilerleme hızının 2100 mm olduğu 5 nolu kesim de değerlendirmeye tabi tutulabilir.  $K_0$  değeri kesme yüksekliği ve ilerleme hızının artırılması ile artış göstermiştir.

20 mm'lik malzemenin kesilmesi esnasında 1'e en yakın  $K_0$  değeri 4 mm kesme yüksekliği ve 300 mm/dk ilerleme hızı değerinde 0,99 olarak elde edilmiştir. Kesme yüksekliğinin azalması ile  $K_0$  1'den küçük çıkmış yani negatif kesim yüzeyi elde edilmiş, buna karşılık ilerleme hızının artırılması ile de  $K_0$  değeri artış göstermiştir.

Kesme yüksekliği ile şebekeden çekilen akım miktarı arasında artan bir ilişki vardır. Kesme yüksekliği arttıkça şebekeden çekilen akım miktarı da artış göstermiştir. Diğer yandan ilerleme hızı ile şebekeden çekilen akım miktarı arasında ise azalan bir ilişki olduğu tespit edilmiştir.

10 mm'lik malzemenin kesilmesi esnasında şebekeden çekilen en düşük akım miktarı 1mm kesme yüksekliği ve 3000 mm/dk ilerleme hızı değerinde 30,7 A olmuştur. En yüksek akım miktarı ise 4 mm kesme yüksekliği ve 1800 mm/dk ilerleme hızı değerinde 37,6 A olmuştur.

20 mm'lik malzemenin kesilmesi esnasında şebekeden çekilen en düşük akım miktarı 1 mm kesme yüksekliği ve 600 mm/dk ilerleme hızı değerinde 35,4 A olmuştur. En yüksek akım miktarı ise 4 mm kesme yüksekliği ve 200 mm/dk ilerleme hızı değerinde 43,3 A olmuştur.

Bu sonuçlara göre 10 mm'lik malzemenin kesme yüksekliği ilerleme hızı değerlerine göre boyutsal, sarf malzeme maliyetleri ve enerji sarfiyatı bakımından ilerleme hızının 2100 mm/dk, kesme yüksekliğinin ise 2,5 mm olduğu 5 nolu kesim kombinasyonu tercih edilmelidir. 20 mm'lik malzeme için ise enerji sarfiyatından olumsuz olsa bile ilerleme hızının 300 mm/dk, kesme yüksekliğinin ise 4mm olduğu 21 nolu kesim kombinasyonu tercih edilmelidir.

10 mm'lik malzemenin koruyucu gaz debisi ve ilerleme hızı parametrelerine göre kesiminde hem boyutsal hem de çapak oluşumu bakımından yapılan değerlendirme sonucunda koruyucu gaz debisinin 20 lt/dk, ilerleme hızının ise 2100 mm/dk olduğu 3 nolu kombinasyonun kullanılması tercih edilmelidir.

20 mm'lik malzemenin koruyucu gaz debisi ve ilerleme hızı parametrelerine göre kesiminde hem boyutsal hem de çapak oluşumu bakımından yapılan değerlendirme sonucunda ise koruyucu gaz debisinin 20 lt/dk, ilerleme hızının ise 200 mm/dk olduğu 1 nolu kombinasyonun kullanılması tercih edilmelidir.

Deney 1'den elde edilen verilerin Deney 2'de farklı parametrelerle tekrar kullanılmasından dolayı Deney 2'de çıkan sonuçlar kesim yapılan malzemeler bakımından nihai sonuçlardır. Buna göre;

10 mm'lik malzeme 2,5 mm kesme yüksekliği, 20 lt/dk koruyucu gaz debisi ve 2100 mm/dk ilerleme hızı kombinasyonu ile kesim yapılmalıdır.

20 mm'lik malzeme ise 4 mm kesme yüksekliği, 20 lt/dk koruyucu gaz debisi ve 200 mm/dk ilerleme hızı kombinasyonu ile kesim yapılmalıdır.

Plazma arkı ile kesme işleminde uygulanan ilerleme hızı ile ilişkili olan kesme açısının (alev açısı) da takip edilmesi gerekmektedir.

Kalın malzeme kesimlerinde yüksek kesme hızlarında çalışılmamalıdır.

Plazma arkı ile kesme işleminde ince malzeme için kesme yüksekliği az olmalı, malzeme kalınlığı arttıkça kesme yüksekliği de artırılmalıdır.



## KAYNAKLAR

1. Erden, A., “Alışılmamış (Geleneksel Olmayan) İmalat Yöntemleri, Ders Notu”, *Atılım Üniversitesi, Mekatronik/Üretim Mühendisliği Bölümü*, Ankara, 1-5 (2005).
2. Kutlu, A. E., Monno, M. ve Bini, R. “Plazma ile kesme metoduna bir bakış”, *Mühendis ve Makine Dergisi*, 46 (541): 21-30 (2005).
3. Kahraman, N. ve Gülenç, B., “Modern Kaynak Teknolojisi”, *EPA-MAT Basım Yayın*, Ankara, 60-98 (2009).
4. Mathers, G., “The welding of aluminium and its alloy”, *Woodhead Publishing Limited*, Cambridge-England, 52-57 (2002).
5. Anık, S., Öğür, A. ve Vural, M., “Termik kesme teknolojisi”, *Gedik Eğitim Vakfı*, İstanbul, 2: 80-105 (1996).
6. Karkın, S., “Plazma Arkı ile Kesme Prensipleri”, *Oerlikon Kaynak Elektrodları ve San. A.Ş. Yayını*, İstanbul, 1-14 (2006).
7. İnternet: Milli Eğitim Bakanlığı MEGEP “Metal Teknolojisi Elektrik Arkı İle Kesme”, [http://hbogm.meb.gov.tr/modulerprogramlar/kursprogramlari/metal/moduller/elektrik\\_arki\\_ile\\_kesme.pdf](http://hbogm.meb.gov.tr/modulerprogramlar/kursprogramlari/metal/moduller/elektrik_arki_ile_kesme.pdf) (2006).
8. İnternet: Azom “The A to Z of materials”, <http://www.azom.com/articte.aspx?ArticleID=1061> (2012).
9. İnternet: Hypertherm, <http://www.hypertherm.com> (2012).
10. İnternet: Thermacut PDF katalog, <http://thermacut.us/Articles/2444-2-Thermacut+PDF+catalog.aspx> (2012).
11. İnternet: Centricut Innovation “Centricut Plasma Training Article” [http://www.centricut.com/Articles/Centricut\\_Training\\_Articles.pdf](http://www.centricut.com/Articles/Centricut_Training_Articles.pdf) (2012).
12. Uluocak, M. E., “Hardox 450 çeliklerinin Mag kaynak bölgesi mikroyapı ve mekanik özelliklerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 1-2 (2008).
13. Yılmaz, R., Gedikli, M. ve Barlas, Z., “Hardox 400 çeliğinin sert dolgu kaynağında paso sayısının sertliğe, aşınmaya ve mikroyapıya etkisi”, *Teknoloji*, 8 (1) 56-64 (2005).

14. Metlioğlu, M. R., Uzun M., Gökaya H. ve Boca G. D., “The effect of machining parameters on surface roughness in the drilling of Hardox 400”, *XXVI. MicroCAD International Scientific Conference*, Hungary, K (10): 29,30 (2012).
15. Yılmaz, R., Türkmen, M. ve Fıçıcı, F., “Hardoks 500 çeliğinin abrasif aşınma davranışının incelenmesi”, *Uluslar arası Demirçelik Sempozyumu*, Karabük, 1: 523 (2012).
16. Metlioğlu, M.R. ve Ermurat, M., “Yüksek aşınma direncine sahip malzemelerin plazma arkı yöntemi ile kesilmesinde kesme yüksekliği ve ilerleme hızı faktörlerinin kesmeye etkisinin araştırılması”, *Uluslararası Demirçelik Sempozyumu*, Karabük, 2: 756-761 (2012).
17. İnternet: NurGroup “Hardox”  
<http://www.nurgroupmuhendislik.com/hardox400.html> (2011).
18. İnternet: Ssab “Hardox Techsupport”  
[http://www.ssab.com/Global/HARDOX/Brochures/en/016\\_TS\\_Hardox\\_Cutting\\_of\\_Hardox\\_wear\\_plate\\_UK.pdf?epslanguage=en](http://www.ssab.com/Global/HARDOX/Brochures/en/016_TS_Hardox_Cutting_of_Hardox_wear_plate_UK.pdf?epslanguage=en) (2012).
19. Berglund, J., “Cut cost calculation”, M.Sc. Thesis, *Lulea University Industrial Economics*, Sweden, 12-15, (2006).
20. Karadeniz, S., “Plazma Tekniği”, *TMMOB Makine Mühendisleri Odası Yayınları*, Ankara, 60-69 (1990).
21. Severance, W. S. and Anderson, D. G., “How plasma arc cutting gases affect productivity”, *Welding Journal*, 63: 35-39 (1984).
22. Yun, K. M. and Na, S.J., “Real time control of the plasma arc cutting process by using intensity measurements of ejected plasma”, *Welding Journal*, 70: 43-48 (1991).
23. Fericola, R. C., “New oxgen plasma process rivals laser cutting methods”, *Welding Journal*, 73: 65-69 (1994).
24. Akçam, İ. Ö., “Termik kesme yöntemleri-otojen tekniği, plazma, lazer karşılaştırılması”, *TMMOB Makine Mühendisleri Odası Yayınları*, 5: 22-28 (1996).
25. Akşahin, V., “Fe 37 (St 37) ile 316 Paslanmaz çeliğın oksı-gaz ve modern kesme yöntemleriyle kesilmesinde işlemler parametrelerinin etkileri”, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 174-182 (2009).
26. Özcan, Ö., “Endüstriyel kesme yöntemlerinin Ç1030 ve SS 304 çeliklerinin kesme özellikleri ve mikro yapısı üzerine etkileri”, Yüksek lisans Tezi, *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kütahya, 56-59 (2007).

27. Çankaya, M. M., “Plazma ile kesilen parçalarda yüzey kalitesine etki eden faktörlerin araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, **Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Adana, 3-23 (1989).
28. İnternet: “Plazma ile kaynak ve kesme”, <http://arsiv.mmo.org.tr/pdf/11076.pdf> (2012).
29. Atıcı, U. and Güllü, A. “A comparison of the effects of plasma and underwater plasma arc methods on surface roughness and hardness variations of AISI 304 and AISI 1050 steels”, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi**, 18 (4): 647-655 (2005).
30. Wang, J., Zhu, Z., He, C. and Yang, F., “Effect of dual swirling plasma arc cutting parameters on kerf characteristics”, **Int J Mater Form**, 4: 39-43 (2011).
31. Kawazoe, Y., “Numerical Data and Functional Relationships in Science and Technology”, **Springer Publishing**, Berlin, 37 (3): 6-30 (2011).

## **ÖZGEÇMİŞ**

Mustafa Refik METLİOĞLU, 1976 yılında Osmaniye’de doğdu; ilk ve orta öğrenimini Düziçi’nde tamamladı. Düziçi Erkek Öğretmen Lisesi Matematik Bölümü’nden mezun oldu. Ocak 1999 yılında Balıkesir Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü’nden mezun oldu. Askerlik görevi sonrası sırasıyla; Adana Hilal Ambalaj ve Gama Holding bünyelerinde çalıştı. 2005 yılından bu yana Kardemir Karçel A.Ş’ de Baş Mühendis olarak çalışmaktadır. Makine Mühendisleri Odası’nın 54498 sicil numaralı üyesi, evli ve bir çocuk babasıdır.

### **ADRES BİLGİLERİ**

Adres : Karçel A.Ş  
Kardemir sahası içi  
Merkez / KARABÜK  
E-posta : mustafa.refik@hotmail.com