

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**GEMİ İNŞAATINDA KULLANILAN 316L PASLANMAZ ÇELİKLERİN METAL
ARK KAYNAĞINDAKİ DUMAN EMİSYONLARININ HESAPLANMASI**

KUTSİ MERT ŞENÖZ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
GEMİ İNŞAATI VE GEMİ MAKİNELERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
GEMİ İNŞAATI VE GEMİ MAKİNELERİ MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI**

**DANIŞMAN
PROF. DR. NURTEN VARDAR**

İSTANBUL, 2015

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**GEMİ İNŞAATINDA KULLANILAN 316L PASLANMAZ ÇELİKLERİN METAL
ARK KAYNAĞINDAKİ DUMAN EMİSYONLARININ HESAPLANMASI**

Kutsi Mert ŞENÖZ tarafından hazırlanan tez çalışması 26.02.2015 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Nurten VARDAR

Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Nurten VARDAR

Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Eyüp BAĞCI

Yıldız Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Uğur Buğra ÇELEBİ

Yıldız Teknik Üniversitesi

ÖNSÖZ

Gemicilik endüstrisi dünyada büyük bir öneme sahiptir. Aynı zamanda bu sektör ağır sanayi koludur ve yüksek boyutta emisyon üretimine neden olmaktadır. Bu sebeple gemi imalatında oluşan emisyonların incelenmesi önem arz etmektedir.

Son yüzyılda endüstriyel üretim artan bir ivme ile ilerlerken, gemicilik sektöründe bu ilerlemenin baş aktörlerinden birisi haline gelmiştir. Bu gelişimin yanında çevreye ve insan sağlığına olan kötü etkileri nedeniyle yenilikçi düzenlemelere gidilmesi zorunlu hale gelmiştir.

Bu çalışmamda, en kötü zamanımda bile yanımda olan ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen danışman hocam Sayın Prof. Dr. Nurten VARDAR'a teşekkürü bir borç bilirim.

Deneylerimde bana değerli vakitlerini ayıran Sayın Dr. Tolga MERT'e, Sayın Doç. Dr. Serkan EKİNCİ'ye Sayın Yrd. Doç. Dr. Uğur Buğra Çelebi'ye ve Doç Dr. Eyüp Bağcı'ya teşekkür ederim.

Tezimin yazımında bana en büyük desteği veren Sayın Ar. Gör. Levent BİLGİLİ'ye, tüm hayatımda bana destek olan Annem, babam ve kardeşime, arkamdaki gücü sağlayan eşim Pınar EKER ŞENÖZ'e teşekkür ederim.

Şubat, 2015

Kutsi Mert ŞENÖZ

Bu alışma, Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü' nün 2013-06-01-GEP01 numaralı Genç Araştırmacı Destek Projesi (GEP) ile desteklenmiştir.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	vii
KISALTMA LİSTESİ.....	viii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ	x
ÖZET	xi
ABSTRACT.....	xiii
BÖLÜM 1	
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	5
1.3 Hipotez	5
BÖLÜM 2	
GEMİ ÜRETİMİ PROSESLERİ	6
2.1 Boya Prosesi	7
2.2 Raspa Yöntemi	8
2.3 Kaynak Prosesi	8
2.3.1 Kaynak Yöntemleri.....	8
2.3.1.1 Örtülü Elektrot Kaynağı.....	9
2.3.1.2 Gazaltı Ark Kaynağı.....	11
2.3.1.3 Tozaltı Ark Kaynağı.....	13
2.3.2 Kaynak Prosesi Atıkları.....	15
2.3.3 Hava Emisyonları	16
2.3.4 Kaynakta Oluşan Hava Kirliliğinin İnsan Sağlığına Etkileri	17
2.3.5 Kaynak Dumanı ve Oluşumu.....	18
2.3.5.1 Gazlar	20
2.3.5.2 Dumanlar.....	21

2.3.5.3	Tozlar	24
2.3.5.4	Kısa Süreli Sağlık Problemleri	24
2.3.5.5	Uzun Süreli Sağlık Problemleri	25
2.3.6	Kaynak Dumanı ve Gazının Yol Açtığı Mesleki Rahatsızlıklar.....	26
2.3.7	Kaynak Dumanı ve Gazlarına Karşı Alınması Gereken Önlemler	28
2.3.8	Alternatif Kaynak Emisyon Çözümleri	28
 BÖLÜM 3		
316L PASLANMAZ ÇELİK ÖRTÜLÜ ELEKTROT KAYNAĞI DENEYİ		31
3.1	Deney Düzenegi	31
3.2	Deneyin Yapılışı	34
3.3	Deney Sonuçları ve Analizi	35
 BÖLÜM 4		
SONUÇLAR VE ÖNERİLER		41
KAYNAKLAR		43
ÖZGEÇMİŞ		46

SİMGE LİSTESİ

A	amper
V	volt
cm	santimetre
gr	gram
s	saniye
mm	milimetre
µm	mikrometre
%Vol	yüzde hacim
ppmVol	parts per million

KISALTMA LİSTESİ

AP-42	havayı kirleten emisyon faktörlerinin hesaplarını veren doküman
CO	Carbon monoxide (Karbon monoksit)
CO ₂	Carbondioxide (Karbondioksit)
Cr+3	+3 değerlikli krom
EPA	Amerika Çevre Koruma Ajansı
FFR	Duman oluşum hızı
IMO	International Maritime Organization (Uluslararası Denizcilik Örgütü)
MAG	Metal active gas
MIG	Metal inert gas
NO ₂	Nitrogen Dioxide (Azot dioksit)
NO _x	Azot Oksitleri
PM10	Partiküler madde (10 micron)
PM2.5	Partiküler Madde (2.5 micron)
SO ₂	Sulfur Dioxide (Kükürt dioksit)
SO _x	Sulfur Oxides (Kükürt oksitler)
TSP	Toplam asılı partikül miktarı

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Örtülü elektrot ark kaynağı	10
Şekil 2.2 Gazaltı Ark Kaynağı	12
Şekil 2.3 Tozaltı Ark Kaynağı	14
Şekil 3.1 Kaynak Duman Kabini ve içi	32
Şekil 3.2 Filtre Aparatı	33
Şekil 3.3 Gaz Ölçüm Cihazı (Mobydic 5000)	33
Şekil 3.4 Kaynak Makinesi ve Multimetre	34
Şekil 3.5 Oerlikon E19 12 3 LR 32 (Inox BWL) Elektrot	35
Şekil 3.6 Deneyler için kullanılan 316L paslanmaz çelik plaka	36
Şekil 3.7 70A, 100A ve 125A için FFR-Kaynak hızı grafiği ve kritik bölge	37
Şekil 3.8 25, 35 ve 45 cm/dak için NO _x – Kaynak Akımı grafiği ve kritik bölge	37
Şekil 3.9 Filtrelerde Biriken Partiküller	41

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2.1 Gemi üretiminde kullanılan prosesler ve ham madde girişleri	8
Çizelge 2.2 Endüstride kullanılan genel kaynak ve kesme yöntemleri	10
Çizelge 2.3 Kaynak Emisyonları	19
Çizelge 2.4 Maruziyet Limit Değerleri	23
Çizelge 3.1 Elektrot içeriğ	35
Çizelge 3.2 AISI 316L paslanmaz çelik plakaların kimyasal bileşenleri	36
Çizelge 3.3 Deney Sonuçları	39
Çizelge 3.4 NOx Analiz Değerleri	40
Çizelge 3.5 FFR Analiz Değerleri	40

**GEMİ İNŞAATINDA KULLANILAN 316L PASLANMAZ ÇELİKLERİN METAL
ARK KAYNAĞINDAKİ DUMAN EMİSYONLARININ HESAPLANMASI**

Kutsi Mert ŞENÖZ

Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Nurten VARDAR

Gemi imalatı geçmişten günümüze kadar gelen en eski üretim ve yöntemlerinden birisidir ve günümüz teknolojisi ile gelişimine devam etmektedir. Gemi inşaatı sektörü yolcu taşımacılığından, yük taşımacılığına, savunma sanayii gibi pek çok farklı alanda hizmet vermektedir.

Gelişen ekonomiler ve buna bağlı mal ve hizmet talebindeki artış, gemicilik sektörünün de aynı oranda büyümesine neden olmaktadır. Bu sayede her geçen gün daha fazla ve daha büyük gemi ihtiyaçları doğmaktadır. Bu talep daha fazla üretim sağlarken, aynı zamanda da insan sağlığına ve çevreye daha büyük zararlar vermektedir. Tersanelerde imalat yöntemleri gereğince parçaların birleştirilmesi işleminde kaynak yöntemleri kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra raspa ile yüzey hazırlama ve boyama süreçleri ana işlemler olarak tanımlanmaktadır. Kaynak, raspa ve boya süreçleri insan ve çevreye zararı olabilecek en önemli imalat süreçleri arasında yer almaktadır. Kaynak dumanının insan sağlığına olan olumsuz etkileri yapılan bilimsel çalışmalarla kanıtlanmıştır. Ancak kaynak dumanının oluşumu ve işçi maruziyetleri konusundaki çalışmalar çok kısıtlıdır. Bu nedenle kaynak dumanının oluşum hızının hesaplanması, hem dumana maruz kalan işçinin sağlığı hem de çevresel etkiler açısından önem arz etmektedir.

Bu çalışmada gemi inşaatında genellikle ambarlarda kullanılan AISI 316L paslanmaz çeliklerde elektrot ark kaynağı esnasında oluşan duman oluşum hızı ölçülmesi amaçlanmaktadır. Bu amaçla özel olarak tasarlanmış ve imal edilmiş duman kabini içerisinde örtülü elektrot ark kaynağı yöntemiyle 70, 100 ve 125 amper’de 25, 35 ve 45

cm/dk hızlarında 45 saniye süre ile kaynak dikişleri çekilerek filtre üzerinde tutulan partikül miktarları ölçülmüştür. Bu partikül miktarlarından da duman oluşum hızları hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar özellikle ülkemizdeki kaynak dumanı işçi maruziyetleri üzerine yapılacak çalışmalar için bir başlangıç teşkil edecektir.

Anahtar Kelimeler: gemi inşaatı, paslanmaz çelik, kaynak dumanı, duman oluşum hızı, gaz emisyonu

**CALCULATION OF 316L STAINLESS STEEL METAL ARC WELDING FUME EMISSIONS IN
SHIPBUILDING**

Kutsi Mert ŞENÖZ

Department of Naval Architecture and Marine Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Prof. Dr. Nurten VARDAR

Shipbuilding is one of the oldest production and methods comes from past and continues with development of modern technology. Shipbuilding serves in many different areas such as transportation, freight, defense industry etc.

According to growing economies and demand for goods, the shipping industry leads to the same rate of growth as well. Thus arises the need for more and larger ships every day. This demands while ensure more production, at the same time serve a greater damage to the human health and the enviroment.

The process of welding manufacturing method is used for joining parts in shipyards. As well as blasting and surface preparation and painting processes are used as the main process. Welding, blasting and painting processes are among the most important manufacturing processes that may be harmful to human and enviroment. Negative effects of welding fume are proven by scientific studies. However, studies about the welding fume formation and fume exposure are limited. Therefore, the calculation of the fume formation rate of welding fumes are important for health of workers and enviromental impact.

In this study intended to be measured that AISI 316L stainless steel electrod arc welding fume formation rate which use in shipbuilding process. For this purpose, inside the specially designed and manufactured fume cabin, electrod arc welding is done at 70A, 100A and 125A with 25, 35, 45 cm/min welding speed for 45 seconds and

the amount of particles retained on the filters was measured. With these particle quantities, fume formation rates are investigated. These calculations will serve as a starting point for further studies on workers exposure to welding fumes in our country.

Keywords: Shipbuilding, Stainless steel, welding fume, fume formation rate, gas emission

1.1 Literatür Özeti

Gemi inşaatı sektörü, geminin sacdan denize indirilmesine kadar geçen sürede, makine imalat, demir-çelik, elektrik-elektronik ve haberleşme vb. birçok sanayi kolunun ürünlerinin kullanıldığı bir üretim dalıdır. Bu sanayide kullanılan ürünlerin çeşitliliği nedeniyle diğer sanayi kollarının gelişimine katkıda bulunup, deniz sektörünün yanında ülkelerin de kalkınmasında büyük rol oynamaktadır. Gemi inşa sanayi önemli bir istihdam potansiyeli yaratmaktadır.

Dünya deniz ticareti yıllar boyunca incelendiğinde deniz ticari hacmindeki artışlar, hurdaya ayrılan gemilerle oluşan yeni talepler sayesinde dünya gemi inşa sanayinde bir canlılık yaratmıştır. Avrupa'daki pahalı işçilik ve uzak doğudaki kapasite doluluğu, ülkemizdeki ucuz işçilik ve Avrupa'ya yakınlıktan dolayı ülkemiz gemi inşaatı sanayi bir dönem cazip hale gelmiştir.

Gemi inşaat sektörü imalat ve inşaat endüstrisinin karakteristiklerini içerir. Bu imalatta kullanılan ana malzemelerden biri de çeliklerdir. Bu çeliklerin birleştirilmesinde kaynak yöntemleri kullanılmaktadır. En çok uygulanan yöntemler elektrot ark kaynağı, toz altı ve gaz altı kaynaklarıdır [1]. Kaynak işlemi, metal parçaların yüksek kalite ile birleştirilmesi için etkili bir imalat yöntemidir. Tüm metaller ve alaşımları kaynaklanabilir; bir kısmı kolaylıkla kaynaklanırken, diğerleri özel önlemler altında kaynak yapılabilmektedir. Her bir kaynak yönteminin kendine has metalürjik ve teknolojik üstünlükleri vardır ve her birinin kendine has muhtemel sağlık ve iş güvenliği

tehlikeleri mevcuttur [2]. Elektrik ark kaynağı ise tüm sektörlerde en çok kullanılan birleştirme metodudur [3].

Gemi inşaatı endüstrisinde metal parçaların kaynakla birleştirilmesinde çeşitli kaynak elektrotları kullanılmaktadır. Kullanılan bu farklı elektrot cinsine bağlı olarak farklı çeşitlerde ve miktarlarda hava emisyonları oluşmaktadır. Hava emisyonları, kaynak sonucu olan en önemli atıktır ve toprakta, zeminde birikebilir veya yağmur suyu ile birleşebilir [4].

Kaynak işlerinin yapıldığı küçük atölyelerden büyük fabrikalara, kara ve deniz platformlarından boru hatlarına, şantiyelere her alanda kaynakçının, işyerinin, ortamın kaynak nedeniyle etkilenmesi kaçınılmazdır. Kaynaktan dolayı ortamın (kişi, ortam, atmosfer vb.) kirlenmesi ve bu kirleticilerin çalışanların sağlığında olumsuz etkiler yaratması nedeniyle iş sağlığı ve güvenliği açısından da kaynağın ayrı bir başlık halinde incelenmesi ve analizi iş güvenliği ile ilgili tüm teknik ve yönetim ekibinin sorumlulukları arasında olması gerekir. Kaynaktan dolayı ortaya çıkan kirleticilerin belli başlıları; katı (toz) , gaz kirleticiler, zararlı ışınlar ilk akla gelenlerdir [5].

Kaynak hızı, voltaj, akım, elektrot tipi vb. operasyonel koşullar duman oluşumuna etki etmektedir. Kaynak dumanı, metalik elementlerin hava içinde buharlaşması ve yoğunlaşması şeklinde oluşur. Oluşan emisyon miktarı kaynak süreçlerine göre çok çeşitli olabilir. Dumanın bileşimi elektrot ve işlenecek parçanın bileşimi ile değişir. Duman bileşimi, ABD’de 1990’da yayımlanan Temiz Hava Sözleşmesi değişikliklerinde belirtildiği şekliyle manganez, nikel, krom, kobalt ve kurşun olarak kabul edilir. Buna ek olarak altı değerlikli krom da özellikle paslanmaz çeliklerin kaynağı sırasında açığa çıkmaktadır. Kaynak işlemi sonucu açığa çıkan toksik duman, insan sağlığı için potansiyel zararlar içermektedir. İşçi maruz kalmaları genellikle havalandırma ve kişisel koruyucu donanım ile önlenmektedir. Çevresel maruz kalmaların tespiti çok daha zordur [6].

Kaynak dumanının çevreye ve işçiye zararlarını önlemek, koruyucu önlemler geliştirmek için öncelikle duman oluşum hızı, kimyasal yapısı ve zamana bağlı maruz kalmaların deneysel çalışmalarla belirlenmesi gerekmektedir. Ayrıca optimum kaynak şartlarının belirlenmesi için yine deneysel çalışmalara ihtiyaç bulunmaktadır.

Levchenko, 2001 yaptığı çalışmada kaynak dumanı sırasında ortaya çıkan katı partiküller ve oluşma şekilleri ile ilgili matematiksel model geliştirilmesi üzerine çalışmıştır. Bulguları arasında katı partiküllerin içeriklerinin %90'a yakın kısmının elektrot içeriğinden oluştuğunu tespit etmiştir [7]. Tersanelerde imalat yöntemleri gereğince parçaların birleştirilmesi işleminde kaynak yöntemleri kullanılmaktadır. Buradaki ana amaç birleştirilecek yüzeylerin özelliklerine uygun dolgu malzemesini yüksek sıcaklıkta parçalarla beraber ergiyik bir havuz haline getirmektir [8].

Tersanelerde neredeyse her atölye ve alanda kaynakla birleştirme yöntemleri kullanılmaktadır. En çok uygulanan yöntemler ise örtülü elektrot ark kaynağı ile tozaltı ve gazaltı kaynak yöntemleridir. 1960'lı yıllardan itibaren kaynak metotları alanındaki teknolojik gelişmeler sayesinde, yüksek mukavemetli, düşük alaşımlı çeliklerin gemi ve deniz platformları inşaatı alanında kullanımları artmıştır [1].

Gemi üretiminde saclar ve profiller kesilir, şekillendirilir ve çeşitli kaynak yöntemleri ile birleştirilir. Tersanelerde kaynak süreçlerinden ortaya çıkan en önemli kirletici kaynak dumanıdır. Hava kirletici emisyonların izlenmesi kaynakla imalat yapan büyük endüstriler için bir zorunluluktur. Ancak emisyonların ölçülebilmesi için mevcut yöntemler pahalı olmaktadır; bunun yerine tahminsel modeller çözüm olarak sunulmaktadır. Çevresel kanunlar dünya üzerinde ülke ve bölge bazında farklılık gösterebilmektedir. Bu konuda literatürde birçok çalışma mevcuttur. Amerika Birleşik Devletleri'nde emisyon tahminleri üzerine çalışan en büyük kurum Amerika Çevre Koruma Ajansı (EPA) tarafından emisyonların hesaplanabilmesi için AP-42 (1972) havayı kirleten emisyon faktörlerinin hesaplarını veren bir dokümandır. Yeni değerlerin ve hesaplama yöntemlerinin geliştirilmesi sayesinde sürekli güncellenmektedir. Matczak vd., (1989) çalışmalarında kaynak dumanı içindeki çözünebilir ve çözünemeyen Cr^{+3} ve Cr^{+6} bileşiklerini sayısal hesaplamışlardır. Aynı çalışmada Matczak ve Chmielnicka vd., (1989) yaptıkları çalışmada kaynak dumanında ortaya çıkan çözünebilir ve çözünemez formlarda Cr^{+3} ve Cr^{+6} bileşiklerinin analitik olarak çözümü ve işçi maruz kalma değerlerini hesaplamışlardır [9]. Hewett, (1995a) çalışmasında alaşımlı çelik ve paslanmaz çelikler için uygulanan tozaltı ve gazaltı kaynağı harcamalarını ve partikül boyutlarını incelemiştir. Yapılan çalışmada bulunan bulgulara göre, metal alaşımlarının oranları ile duman kütlesinin oranları birbirine benzer

özellikler göstermektedir. Bunun yanı sıra kullanılan malzemeye ve yönteme göre duman içeriği değişiklik göstermektedir [10]. Yine Hewett (1995b) örtülü metal ark kaynağı ve gaz metal ark kaynağı yöntemlerinden işçi maruz kalmalarını geliştirdiği matematiksel model ile hesaplamıştır. Burada gaz metal ark kaynağı dumanı ve maruz kalmalar örtülü metal ark kaynağına göre % 60 daha fazladır. Bu çalışmaya göre gaz metal ark kaynağı, örtülü metal ark kaynağına göre daha zararlıdır [11]. Chung ve Carter, (1996) MAG kaynağı ve özlü tel ark kaynağı yöntemleri ile partikül boyutlarını incelemişlerdir [12]. Kura, (1998) çalışmasında özlü elektrotla yapılan kaynak yönteminden çıkan dumanın diğer yöntemlere göre daha fazla olduğunu tespit etmiştir [13].

Antonini vd., (1998) tarafından yapılan çalışmada, paslanmaz çeliklerin kaynağı sırasında oluşan yeni kaynak dumanı eski (havada kalan) dumana göre, daha tehlikeli olduğu gözlenmiştir [14]. Bosworth ve Deam, (2000) yaptıkları deneysel çalışmada duman formasyon oranı ile gazaltı kaynağında damlacık boyutu arasında bir bağıntının olduğunu bulmuştur [15]. Zimmer ve Biswas, (2001) en çok kullanılan kaynak yöntemlerinden ark kaynağı yöntemlerinin duman karakteristiklerinin anlaşılabilmesi için gazaltı ve tozaltı kaynaklarının dumanlarını analiz ederek hem duman karakteristikleri hem de dumanın akışının incelenmesi ile işçilerin dumana maruz kalma durumları için senaryolar oluşturmuşlardır [16].

Mener vd. (2001) boyutları 10 mikron ve 2.5 mikron mertebesinde olan partikül emisyonları olan PM₁₀ ve PM_{2.5} emisyonlarını da kapsayacak şekilde 200'ün üzerindeki deneysel ve matematik modelleme çalışmaları sonucunda tersanelerde en çok kullanılan elektrot ve tel çeşitleri için kaynak emisyon faktörlerini geliştirmiştir [6]. Stopford, (2005) kaynak dumanı ile ilgili araştırmalar yaparak, kimyasal özelliklerinin yanı sıra partikül boyutları ve oranlarını da incelemiştir [17].

Kaynak gazları esas olarak karbondioksit, karbonmonoksit, azot oksitler ve ozondan oluşur. Elektrot örtüsüne, üflenene koruma gaz cinsine ve kaynak parametrelerine bağlı olarak oluşan gaz bileşimi ve gaz oranı değişir. Bu gazlar bilhassa solunum yollarında muhtelif hastalıklara sebep olurlar. Dar ve kapalı alanlarda kaynak yapılırken kaynak gazları solunan havanın oksijen oranını azalttıkları için boğucu etki gösterirler [18].

1.2 Tezin Amacı

Bu çalışmanın amacı gemi inşaatında özellikle yük ambarlarında kullanılan paslanmaz çelik sacların kaynak süreçleri ile ilgili duman oluşum hızlarını bulmaktır. Bulunan bu emisyon değerleri hava kalitesi planlamalarında ve işçi maruz kalması incelemelerinde kullanılmak üzere tersanelere kaynak emisyonlarını hesaplama konusunda yardımcı olacaktır.

1.3 Hipotez

Duman oluşum hızının ölçülebilmesi için özel tasarlanmış ve imal edilmiş bir duman kabinine ihtiyaç vardır. Duman kabinde, 316L kalite paslanmaz çelik malzeme üzerine INOX BWL tipi rutil karakterli paslanmaz kaynak elektrotu ile farklı parametrelerle yapılacak deneysel çalışmalar sonucunda duman oluşum hızı hesaplanacaktır.

BÖLÜM 2

GEMİ ÜRETİMİ PROSESLERİ

Gemi inşaatı ve tamiri sektörü pek çok süreçten oluşur. Bu süreçlerden bazıları, Yüzey hazırlama, boya ve astar vb kaplama, metal kaplama yüzey tamamlama, çözücü temizleme, yağ giderme, makinelendirme ve metal işleri, kaynak ve fiberglas işlemleri Olmak üzere çeşitlidir. Tersanelerde gemi üretimi ve onarımı süreçlerinden pek çok tipte katı, sıvı ve gaz kirletici maddeler açığa çıkar. Gemi inşaatı ve tamiri endüstrisinde ham madde girişi olarak, öncelikle çelik ve diğer metaller, boya ve çözücüleri (solvent), raspa aşındırıcılar ve makine ve kesme yağları sayılabilir. Buna ilave olarak yağ temizleyici çözücüler, asit ve alkali temizleyiciler ve kaplama solüsyonları gibi ağır metal ve siyanür iyonları içeren pek çok çeşitli kimyasallar yüzey hazırlama işlemlerinde kullanılmaktadır. Metal taşıma atıkları, kirli su, kirli atık boya, atık boya parçaları ve atılan aşındırıcıları içerir.

Çizelge 2.1’de gemi üretiminde kullanılan prosesler ve ham madde girişleri ve atık oluşumları verilmektedir.

Çizelge 2.1 Gemi üretiminde kullanılan prosesler ve ham madde girişleri [1]

PROSES	GİRİŞ MALZEMESİ	HAVA EMİSYONLARI	ATIKSU	HURDA ATIKLAR
Yüzey hazırlama	Aşındırıcılar (çelik bilye, grit, bakır cüruf, boya sökücüler ve temizleyiciler)	Partiküller (metal, boya, aşındırıcılar), solvent temizleyicilerden ve boya sökücülerden kaynaklı VOC emisyonları	Boya parçaları, temizleme sıvıları, yüzey kirleticileri, kargo ve balast tanklarından yağ ve hurda yağ	Boya parçacıkları, kullanılan aşındırıcılar, aşındırıcı kutuları, değişen hurda kargo tankları parçaları
Metal kaplama ve yüzey sonlandırma	Kaplama metaller, siyanür çözeltiler, temizleme solventleri, durulama suları	Metal iyon buharı, asit buharı, solventlerden gelen VOC emisyonları	Metal, siyanür, asit, alkaliler, organikler ve solventlerle kirlenmiş Durulama suyu	Kullanılan çözeltiler, atık su iyileştirme sonucu tortu
Boyama	Boya, solvent ve su	Boya ve solventlerden ve temizlenen ekipmanlardan VOC emisyonları	Ekipman temizliğinden ve solventlerden kirlenmiş su	Artık boya, boya ve solvent kutuları,
Fiberglass imalatı	Fiberglas, reçine, katalizörler, ahşap ve plastik malzemeler	İmalat süresinde oluşan VOC emisyonları	Atık su oluşumu çok azdır	Atık fiberglas, reçine ve kutular
Talaşlı imalat ve metal işleri	Kesme yağları, yağlama yağları ve solventler	Yağ gidericilerden ve temizleme solventlerinden kaynaklı VOC emisyonları	Kullanılan solventler, yağlama yağları, kesme yağları ve soğutucu yağlar ile kirlenmiş atık su	Atık kesme yağları, yağlama yağları ve metal talaş

2.1 Boya Prosesi

Boyama, tersanede çelik sacların ve profillerin tersaneye gelmesinden denize indirilmesine kadar geçen sürede imalatın hemen hemen her aşamasında uygulanan

bir prosestir. Açık ve kapalı alanlarda mekanik ya da elle uygulanabilmektedir. Teknenin boyanması yeni gemi inşaatında ve bakım onarımında ortak proseslerdendir. Tank ve kompartımanların boyanması ya da yeniden boyanması sırasında uygun yüzey hazırlama metotları kullanılarak yüzey boyama için hazır hale getirilir. Boya, korozyondan korunmada ve teknenin su altında kalan kısmında istenmeyen organizmaların birikmesini engellemede gemi bünyesine uygulanması zorunlu bir sistemdir [1].

2.2 Raspa Yöntemi

Gemi inşaatı ve onarımı endüstrisinde raspalama; eski boya, pas tabakası, deniz organizmaları, kir ve tuz gibi diğer yüzey kirleticilerini yüzeyden çıkartmak için başvurulan en yaygın yüzey hazırlama tekniğidir. Fouling, paslanma ve korozyon gemi yüzeyinde pürüzlülüğü arttırtarak ek bir direnç oluşmasına ve geminin istenilen hıza ulaşamamasına ya da aynı hız için daha fazla yakıt harcamasına neden olmaktadır. Bu nedenle özellikle bakım onarımına gelen gemilerde bu takıntıların temizlenmesi gerekmektedir [1].

2.3 Kaynak Prosesi

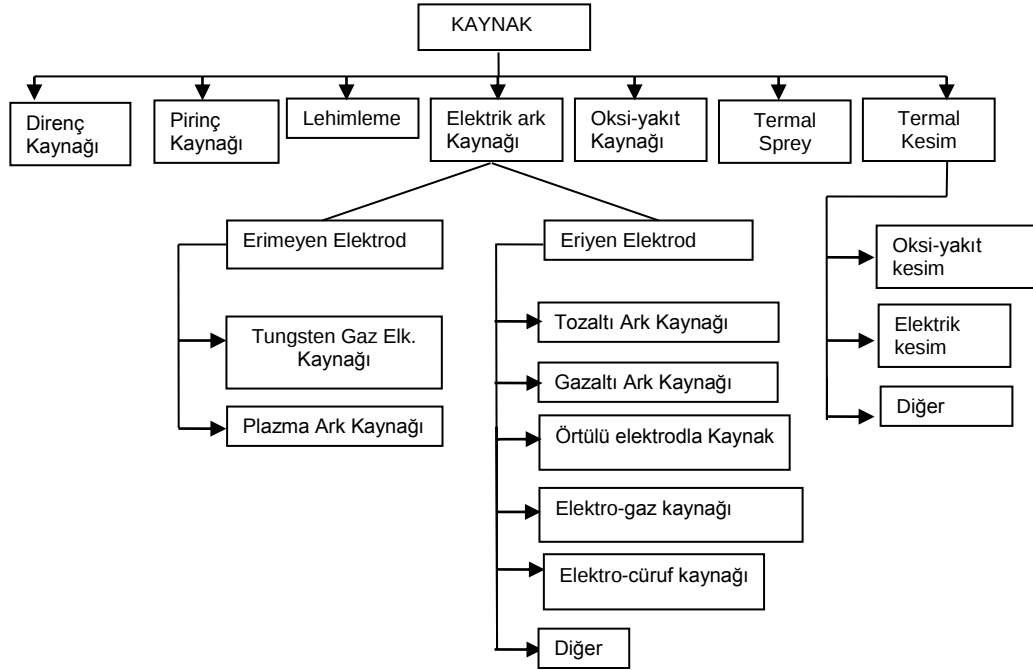
Kaynak, malzemeleri birbiri ile birleştirmek için kullanılan bir imalat yöntemidir; genellikle metal veya termo plastik malzemeler üzerinde kullanılır. Bu yöntemde genellikle çalışma parçalarının kaynak yapılacak kısmı ergitilir ve gerekliyse bu kısma dolgu malzemesi ilave edilir. Daha sonra ek yeri soğutularak katılaşması sağlanır, bazı hallerde ısı ile birleştirme işlemi basınç altında yapılır.

Kaynak için gaz alevi, elektrik arkı, lazer, elektron ışını, sürtünme, ultrasonik ses dalgaları gibi birçok farklı enerji kaynakları kullanılabilir. Endüstriyel işlemlerde, kaynak açık hava, su altı, uzay gibi birçok farklı ortamda gerçekleştirilebilir.

2.3.1 Kaynak Yöntemleri

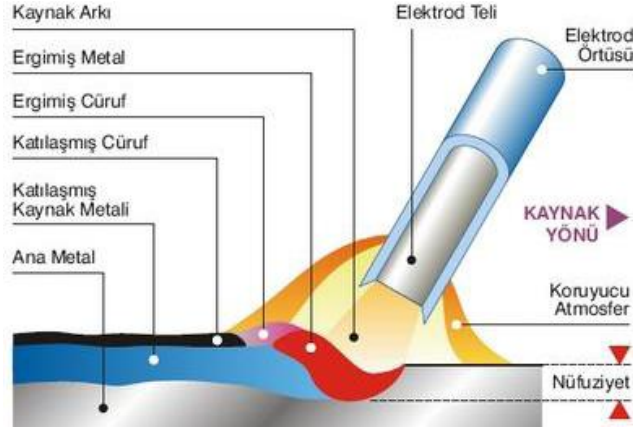
Gemi inşaatı sırasında üretim yöntemi olarak kullanılan farklı kaynak prosesleri bulunmaktadır. Endüstride kullanılan genel kaynak ve kesme yöntemleri şematik olarak Şekil 2.1’de gösterilmektedir [3]

Çizelge 2.2 Endüstride kullanılan genel kaynak ve kesme yöntemleri [1]



2.3.1.1 Örtülü Elektrot Kaynağı

Örtülü elektrot ark kaynağı, kaynak için gerekli ısının, örtü kaplı tükenen bir elektrot ile iş parçası arasında oluşan ark sayesinde ortaya çıktığı, elle yapılan bir ark kaynak yöntemidir. Elektrodun ucu, kaynak banyosu, ark ve iş parçasının kaynağa yakın bölgeleri, atmosferin zararlı etkilerinden örtü maddesinin yanması ve ayrışması ile oluşan gazlar tarafından korunur. Ergimiş örtü maddesinin oluşturduğu cüruf kaynak banyosundaki ergimiş kaynak metali için ek bir koruma sağlar. İlave metal (dolgu metali), tükenen elektrotun çekirdek telinden ve bazı elektrotlarda da elektrot örtüsündeki metal tozları tarafından sağlanır. Örtülü elektrot ark kaynağı sahip olduğu avantajları nedeniyle metallerin birleştirilmesinde en çok kullanılan kaynak yöntemidir.



Şekil 2.1 Örtülü elektrot ark kaynağı

Avantajları:

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

Dezavantajları:

Örtülü elektrot ark kaynağının metal yığma 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 [20].

Örtülü Elektrotlar

- Asit türü elektrotlar (Es), demir (ferro) ve mangan örtünün temel elementidir.
- Rutil (Ti), örtünün temel elementi titandioksittir.
- Selülozik (Ze) elektrotlar, selüloz örtünün temel elementi olup yanıcı niteliktedir.
- Bazik elektrotlar (Kb), kalsiyum karbonat örtünün temel elemanı olup, az hidrojenli diye tanımlanabilir.

e) Demir tozlu elektrotlar (fe Es, fe Ti, fe Kb). Dikiş katkıda bulunmak amacı ile örtü içerisine demir tozu eklenerek elektrotun ergime yeteneği arttırılır. Demir tozlu olarak bazik, rutil ve asit türü elektrotlar vardır [19].

Örtü Türlerine Göre Elektrotların Kullanıldığı Yerler

Rutil Elektrotlar; Kaynak tekniğinde en çok kullanılan elektrot çeşidi olup, yumuşak çeliklerin kaynağında kullanılır.

Demir Tozlu Elektrotlar; Mekaniksel mukavemet istenmeyen, birleşme özelliği istenen (çoğunlukla iç köşe) kaynaklarında kullanılır. Örtü türü rutil olarak seçilir.

Asit Türü Elektrotlar; Bu tür elektrotlar asitli sıvı taşıyan veya depo eden kapların kaynağında kullanılır. Bazik Tür Elektrotlar Sertleşebilen çeliklerin, sarsıntıya, darbeye, çalışan elemanların kaynağı ile asite, suya ve sıvıya dayanıklı olması istenen yerlerin kaynağında kullanılır.

Selülozik Elektrotlar; Basıncılı boruların kaynaklarında, her türlü boru imalatında ve konstrüksiyonlarında kullanılır.

Paslanmaz Çelik Elektrotlar; Krom-Nikel'li çeliklerin kaynağında kullanılır. Örtülü rutil ve bazik karakterli manganlı elektrotlardır [21].

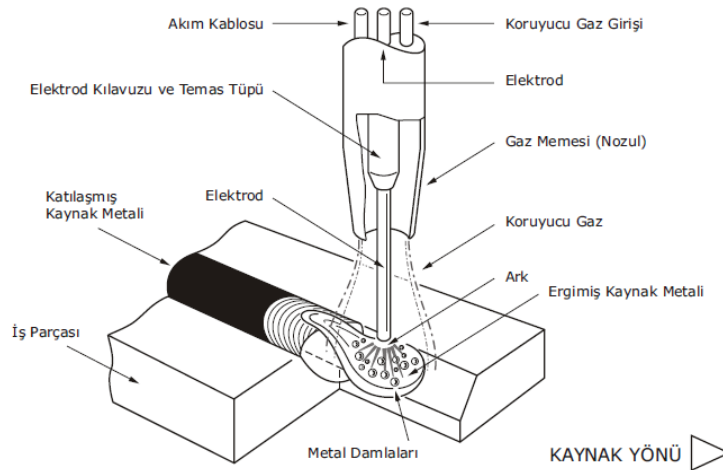
2.3.1.2 Gazaltı Ark Kaynağı

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

Gazaltı kaynağında gerekli sıcaklık, sürekli beslenen ve ergiyen bir tel elektrotla kaynak banyosu arasında oluşturulan ark yoluyla ve elektrotdan geçen kaynak akımının elektrotta oluşturduğu, direnç ısınması yoluyla oluşur. Elektrot çıplak bir tel olup, bir elektrot besleme tertibatıyla kaynak bölgesine sabit bir hızla sevk edilir. Çıplak elektrot,

kaynak banyosu, ark ve esas metalin kaynak bölgesine komşu bölgeleri; atmosfer kirlenmesine karşı dışardan sağlanan ve bölgeye bir gaz memesinden iletilen uygun bir gaz veya gaz karışımı tarafından korunur. Eriyen metal elektrot ve soy gaz kullanımı nedeniyle yönteme MIG (Metal Inert Gas) kaynağı adı verilmiştir. Yöntemde daha sonra, düşük akım yoğunlukta ve darbeli akımla çalışma, daha değişik metallere uygulama ve koruyucu gaz olarak aktif gazların (CO₂) ve gaz karışımlarının kullanılması gibi işlemler meydana gelmiştir. Bu gelişmeler, aktif koruyucu gazın kullanıldığı yönteme MAG (Metal Active Gas) kaynağı adının verilmesine neden olmuştur.

Alaşımsız çelikler, yüksek mukavemetli düşük alaşımlı çelikler, paslanmaz çelikler, alüminyum, bakır, titanyum ve nikel alaşımları gibi ticari açıdan önemli tüm metaller uygun koruyucu gaz, elektrot ve kaynak değişkenleri seçmek şartıyla, bu yöntemle kaynak edilebilirler.



Şekil 2.3 Gazaltı Ark Kaynağı

Avantajları;

Ticari metak ve alaşımların tümünün kaynağında kullanabilen, ergiyen elektrotla kaynak yöntemidir. Elektrik ark kaynağında karşılaşılan sınırlı uzunlukta elektrot kullanma problemini ortadan kaldırmıştır. Kaynak her pozisyonda yapılabilir. Bu tozaltı kaynağında mümkün değildir. Metal yığma hızı elektrik ark kaynağına nazaran oldukça yüksektir. Sürekli elektrot beslemesi ve yüksek metal yığma hızı nedeniyle, kaynak hızları elektrik ark kaynağına nazaran yüksektir. Elektrot beslemesinin sürekli olması

nedeniyle hiç durmadan uzun kaynak dikişleri çekilebilir. Sprey iletim kullanıldığında, elektrik ark kaynağına nazaran daha derin nüfuziyet elde edilir. Böylece içköşe kaynaklarında aynı mukavemeti sağlayan daha küçük kaynak dikişleri çekmek mümkün olur. Yoğun bir cüruf tabakasının olmayışı nedeniyle pasolararası temizlik için harcanan zaman çok azdır.

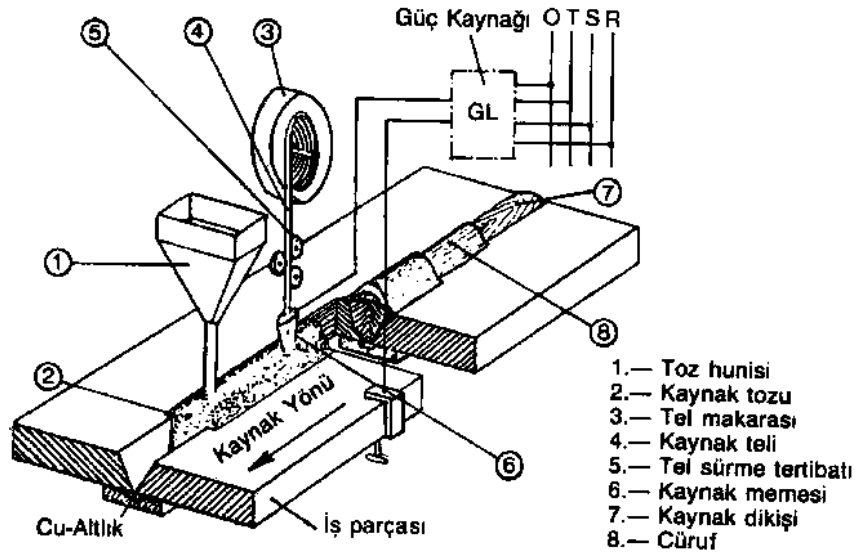
Dezavantajları;

Kaynak donanımı, elektrik ark kaynağına nazaran daha karmaşık, daha pahalı ve bir yerden başka yere taşınması zordur. Kaynak torcunun elektrik ark kaynağı pensesinden daha büyük olması nedeniyle ve kaynak metalinin koruyucu gazla etkin bir şekilde korunması amacıyla torcun bağlantıya 10 ila 20 mm arasında değişen yakın bir mesafede tutulması gerektiği için, bu yöntemin ulaşılması güç olan yerlerde kullanılması mümkün değildir. Kaynak arkı koruyucu gazı bulunduğu yerden uzaklaştıran hava akımlarından korunmalıdır. Bu nedenle, kaynak alanının etrafı hava akımına karşı koruma altına alınmadıkça, yöntemin açık alanlarda kullanılması mümkün değildir [21].

2.3.1.3 Tozaltı Ark Kaynağı

Toz altı kaynak yönetiminde de ark, otomatik olarak kaynak yerine sürülen çıplak elektrot ile iş parçası arasında meydana gelir ve ayrı bir kanaldan kaynak yerine dökülen toz yığını altında işlevine devam eder. Kaynak arkının toz yığını altında teşekkül etmesinden dolayı bu yönetime yozaltı kaynak yöntemi denmiştir.

Toz altı kaynak yönteminde kaynak parametreleri (kaynak akımı, ark voltajı, tel ilerleme hızı, kaynak hızı) iyi seçildiği takdirde hatasız ve çok güzel görünümlü dikişler elde edilir. Normal örtülü elektrotla yapılan kaynağa göre bu yöntemde kullanılan aynı çaplı elektrot daha yüksek kaynak akımı ile yüklendiğinden, daha büyük kaynak banyosu ve daha derin nüfuziyet elde edilir. Yöntem; yan, otomatik ve tam otomatik kaynak uygulamalarına da müsait olduğu için, modern kaynak uygulaması olarak sanayileşmiş ülkelerde yaygın kullanım sahası bulmuştur.



Şekil 2.4 Tozaltı Ark Kaynağı

Avantajları;

Yüksek kaynak hızı, kaynak parametreleri uygun seçildiğinde hatasız ve güzel görünümlü dikişler elde edilir. Kaynak arkı, kaynak tozu tarafından örtüldüğünden ark ışınlarından korunmak için maske kullanmaya gerek yoktur. Kaynak esnasında zararlı metal tozları ve duman çıkarmaz. Sıçrama kaybı yoktur. Koşan atmadan ileri gelen kaynak malzemesi zayıflığı yoktur. Derine işleme kabiliyeti iyi olduğu için daha dar ve daha derin kaynak ağzlarında kaynak yapılabilir. Bu özelliği, daha az işçilik ve daha az kaynak malzemesi kullanımı demektir. Gerekli toz tutma önlemleri alındığında tek taraflı kaynakta kaynak ağzı açmadan 16 mm kalınlığa kadar, iki taraflı kaynakta ise 30 mm. kalınlığa kadar kaynak yapabilme imkânı sağlar. Kaynak tozu, kaynak dikişinin özelliklerini etkileyecek şekilde alaşımlandırılabilir. Böylece ucuz ve alaşımsız bir elektrotla alaşımlı bir toz kullanarak istenen özellikte daha ekonomik kaynak dikişleri elde edilebilir.

Dezavantajları:

Tozaltı kaynak tozları havadan nem almaya eğilimlidir, bu da kaynakta gözeneğe neden olur. Yüksek kalitede kaynaklar elde edebilmek için ana metal düz ve düzgün olmalı, ana metal yüzeyinde yağ, pas ve diğer kirlilikler olmamalıdır. Cüruf kaynak dikişi üzerinden temizlenmelidir, bu bazı uygulamalarda zor bir işlem olabilir. Çok pasolu

kaynaklarda, kaynak dikişine cüruf kalıntısı olmaması için cüruf her paso sonrası temizlenmelidir. Tozaltı kaynağı 5 mm'den ince malzemelerde yanma yapabileceği için genellikle uygun değildir. Yöntem özel bazı uygulamalar hariç, düz, yatay pozisyondaki alın kaynakları ve köşe kaynakları için uygundur. Her metal ve alaşım için uygulanabilen bir yöntem değildir [20].

2.3.2 Kaynak Prosesi Atıkları

Uygulanacak kaynak yöntemini seçerken metalürjik açıdan avantajlarının yanı sıra potansiyel sağlık ve güvenlik kurallarına da dikkat etmek gerekir. Isıl prosesleri de içerdiğinden dolayı, işçilerin yüksek sıcaklıklara maruz kalması, oluşan kaynak dumanı ve elektriksel donanımların fazlalığı iş sağlığı ve güvenliği açısından son derece önemli bir durumdur. Elektrot eridiği zaman ortaya çıkan dumanda pek çok metal partikül bulunmaktadır. Bunun yanı sıra eriyen ana metaldeki oksit tabakası da bu dumana karışmaktadır. Kaynak işlemi başlı başına tehlikeli durumlar içermektedir. Sıcaklık, akı, radyasyon, gürültü, duman, gazlar, elektrik akımı, kaynak dumanı içerisindeki tehlikeli kimyasal içerikli gazlar, hem çalışan hem de çevre açısından son derece tehlikeli durumlar yaratabilmektedir.

Kaynak dumanının miktarı, kullanılan elektrot ve yönteme, örtü gazlarına, ortama ve kaynak becerilerine bağlı olarak değişim göstermektedir. En çok kullanılan kaynak malzemeleri, manganez, silika, krom ve nikel içermektedir. Paslanmaz çeliklerin kaynağında oluşan dumanın %20 sini krom bileşikleri ve % 10 kadarını da nikel oluşturmaktadır. Krom ve nikel dumanı insanlarda kanser oluşumuna neden olduğundan kanserojen sınıfına girmektedir. Yüksek oranda manganeze maruz kalmalarda işçilerde nörolojik bozukluklar ve rahatsızlıklar oluşturmaktadır. Karbon monoksit, ozon, nitrojen oksit gibi iritan gazlar pek çok kaynak yönteminde meydana gelmektedir [1].

Direk olarak kaynak dumanının kanser yaptığı konusunda kesin bulgular olmamakla beraber yapılan çalışmalarda etkisinin olduğu kesinleşmiştir. Yapılan epidemiyolojik çalışmalarda kaynak dumanının akciğer kanserine neden olduğu anlaşılmaktadır. Son çalışmalarda paslanmaz çeliklerin kaynağından solunması ve maruz kalması son derece tehlikeli ve kanserojen olan krom, nikel çok yüksek oranlarda çıkmaktadır. Bunun yanı

sıra genotoksiste çalışmalarında paslanmaz çeliklerin kaynak dumanı, memeli hücrelerinde mutasyona yol açmaktadır. Geliştirilen toksikoloji çalışmaları ile kaynak dumanının kansere neden olabilecek aktörleri belirlenmeye çalışılmaktadır [2].

2.3.3 Hava Emisyonları

İmalat parçalarının malzemesinin içerdiği gibi; mukavemet, korozyon direnci, esneklik, erime kabiliyeti, soğuma hızı gibi özellikler göz önüne alınıp çeşitli katkılar eklenerek üretilen elektrotlar ark veya başka bir enerji ile eridiklerinde havaya emisyon bırakmaktadırlar. Kaynak ark dumanı içindeki bu emisyon maddelerinin çoğu tehlikeli hava kirleticileridir (HAP). Örtü gazları, kaynak kaplamaları, yüzeydeki boya ve kaplama çeşidi, kaynak dumanını belirleyen etmenler arasındadır. Buharlaştan metal dumanı hava ile birleştğinde metal oksit dumanı da oluşmaktadır [2].

Salınan emisyon miktarı önemli ölçüde kaynak yöntemine ve operasyon koşullarına bağlıdır. Elektrot seçimi, çap ve içeriğine bağlı olarak emisyon miktarı azalıp artabilmektedir. Çalışma parçasının bileşimi de salınan dumanın miktarını belirleyen bir faktördür. Çalışma parçası üzerindeki kaplama(galvaniz, temizleyici, yağ, boya, vb) organik bileşenli ve metalli duman salabilir. Duman emisyonlarını etkileyen operasyon koşulları arasında kaynak hızı, voltaj, akım, ark uzunluğu, polarite, kaynak pozisyonu, elektrot açısı ve tortu oranı vardır [6]. Kaynak dumanı metal elementlerin mevcut havaya karışmasıyla meydana gelir. Dumanın element bileşimi elektrot ve iş parçasına göre çeşitlilik gösterir. 1990 Clean Air Act üzerinde son düzenlemeye göre kaynak dumanında da bulunan manganez, nikel, krom, hekzavalan krom, kobalt ve kurşun en tehlikeli elementlerdir. Kaynak sırasında çıkan toksik hava kirletici emisyonlar insan sağlığına olumsuz etki etmektedir. İş sırasında kaynak dumanı riski havalandırma ve kişisel koruyucu donanımla kontrol altında tutulmaktadır. Çevresel riskin ve bu yolla sebep olunan olası sağlık tehlikelerinin belirlenmesi ise zordur ve çoğunlukla bilgisayar destekli saçılım modellemeleri ve sağlık araştırmaları ile tahmin edilmektedir. Araştırma sonuçları emisyon değerleriyle doğrudan bağlantılı olduğu için emisyon faktörlerinin tutarlı olarak belirlenebilmesi çok önemlidir [1].

Partikül madde (PM) boyut, kimyasal özellikler ve kaynağına göre tanımlanmaktadır. Kaçak partikül emisyonları baca, havalandırma gibi yerlerde toplanamayan, ortama

yayılan partikülleri ifade eder. Partikül emisyonları genellikle tersanelerde açık alanda yapılan, emisyon kontrolünün olmadığı alanlarda kaynak ve raspa işlemlerinde ortaya çıkmaktadır. Toplam partikül miktarları, toplam asılı partikül miktarı (TSP), boyutu 10 mikrondan düşük partikül miktarı (PM_{10}) ve boyutu 2.5 mikrondan düşük partikül miktarı ($PM_{2.5}$) olmak üzere üç ana grupta incelenebilir. Parçacık boyutları 0,5 mm den 10-7 mm ye kadar geniş bir boyut aralığına sahip organik ve inorganik katı ve sıvı parçacıkların atmosferde asılı kalması ile partikül hava kirliliği oluşmaktadır. Amerika çevre koruma ajansı 1987 yılında PM_{10} 'ların solunmasının insan sağlığına zararları olmasından dolayı yeni bir düzenleme yayınlamıştır. Partiküller birinci ve ikinci olmak üzere ikiye ayrılırlar. Birincil partiküller daha büyük boyutludurlar. İkincil tip partiküller genellikle kimyasal reaksiyonlar sonucu meydana gelirler. PM toksisitesi, kullanılan malzemelerin toksikliğinden ya da prosesler sırasında ortaya çıkan fiziksel ve kimyasal reaksiyonlardan ortaya çıkmaktadır. Bunların solunması ve akciğer gibi organlarda birikmesi insan sağlığı açısından son derece tehlikelidir. Bunun yanı sıra partiküllerin çevreye yayılması, suda birikmesi biyolojik olarak da oldukça tehlikelidir [22]. ABD'de 1990 yılında hazırlanan temiz hava yasası düzenlemesinde, 189 tane tehlikeli hava kirleticisi (HAP) için emisyon standartları ortaya konulmuştur. Tersanelerde sıklıkla karşılaştığımız bu kirleticilerden bazıları, boyut olarak 10 ve 2.5 mikrondan daha küçük partikül maddeler (PM_{10} ve $PM_{2.5}$), sülfür dioksit (SO_2), nitrojen dioksit (NO_2), karbon monoksit (CO) ve ozon (O_3)'dur [4].

2.3.4 Kaynakta Oluşan Hava Kirliliğinin İnsan Sağlığına Etkileri

Kaynak ve kesme işlemi sırasında insan sağlığına zarar verebilecek zehirli gazlar, duman, metal buharı ve partikülleri çıkmaktadır. Emisyon maddesi denilen bu maddelerin özellikle solunum yollarına zararı büyüktür. Kaynak dumanında bulunan çeşitli maddeler örneğin krom (Cr), nikel (Ni), arsenik, asbest (amyant), mangan (Mn), silisyum (Si), berilyum (Be), kadmiyum (Cd), azot oksitleri (NO_x), karbon oksit klorürü (fosgen), akroelin, flüor (fluorin) bileşikler, karbon monoksit (CO), kobalt (Co), bakır (Cu), kurşun (Pb), ozon (O_3), selenyum (Se), çinko (Zn) zehirli maddelerdir. Bu metallerin buharı, parçacıklarının solunum yollarına ve ciğerlere yerleşerek solunum sistemini zamanla fonksiyon dışı bırakması söz konusudur.

Çizelge 2.3 Kaynak Emisyonları

Duman		Gaz	Radyan enerji	Diğer tehlikeler
Alüminyum	Manganez	Karbon dioksit	Ultraviyole	Sıcaklık
Kadmiyum	Magnezyum	Karbon	Kızıl ötesi	Gürültü
Krom	Molibden	monoksit		Titreşim
Bakır	Nikel	Nitrojen oksit		
Florid	Silika	Nitrojen		
Demir	Titanyum	dioksit		
Kurşun	Çinko	Ozon		
Bakır				

Genel olarak kaynak dumanı;

Kaynak edilen esas metalden veya kullanılan dolgu metalinden, kaynak edilen metalin üstünde mevcut olan kaplamalar ve boyalardan veya örtülü elektrotlarda elektrot üzerindeki örtüden, tüplerden tedarik edilen koruyucu gazlardan, arkta ultraviyole ışınların ve ısınin etkisi ile oluşan kimyasal reaksiyonlardan, kullanılan yöntem ve dolgu maddelerinden, çalışma ortamındaki hava kirliliği, örneğin kaynak öncesi yapılan temizleme ve yağ sökme işlemleri sonucunda oluşan buhardan kaynaklanır. Kaynak ve kesme işlemi esnasında oluşan dumandan korunulmadığı takdirde, insan sağlığı üzerinde yaratmış olduğu kötü etkileri listelemek kolay değildir. Çünkü kaynak dumanı zararlı olduğu bilinen birçok madde içermektedir. Kaynak dumanı akciğer, kalp, böbrek gibi vücudun herhangi bir parçasını ve merkezi sinir sistemini etkileyebilir. Sağlık açısından kaynak dumanından korunmayan personel çok büyük risk almaktadır.

2.3.5 Kaynak Dumanı ve Oluşumu

Kaynak sırasında ısınan elektrotun veya telin ucu eriyerek sıvı damla oluşur. Bu damlaların oluşması ve düşmesi esnasında buharlaşma meydana gelir [23]. Buharların kimyasal bileşimi sıvı damlanın kimyasal bileşimine bağlıdır [24]. Buharlaşmanın % 90'ı kaynak elektrotu veya kaynak telinin damlalarından oluşur [25]. Sıcak metal buharları yükselirken yoğunlaşır ve oksijenin ile reaksiyona girerek metaloksit partiküllerini oluşturur [16, 26].

Duman tabiri, eriyen metallerin çok küçük boyutta parçacıklar oluşturmak üzere yoğunlaştığında havada askıda kalan katı metalleri ifade eder. Buharlaşan metal dumanı havadaki oksijen ile temas ettiğinde oksitlenir ve dolayısıyla, kaynak dumanında bulunan ana bileşenler, kaynak elektrotunun yapımında kullanılan metallerin oksitleri olmaktadır. Bazı metaller kendi özellikleri nedeniyle diğerlerine göre çok daha tehlikeli olabilecek dumanların oluşumuna neden olurlar [2].

Hem kaynak dumanı oluşum hızı ve hem de kimyasal kompozisyonu kaynak parametreleri ve uygulamadaki değişkenlerden etkilenir. Kaynak dumanı oluşum hızı ve bileşimi aşağıdaki faktörlerden etkilenir [27, 28, 32].

- Kaynak işlem türü
- Akım türü - Akım şiddeti.
- Ark uzunluğuna bağlı olarak değişen gerilim
- Elektrot ve çalışma parçası arasındaki açı - Kaynak pozisyonu
- Isı girdisi (akım, gerilim ve kaynak hızına bağlıdır.)
- Kaynatılan iş parçasının kimyasal kompozisyonu
- Kullanılması durumunda ilave metalin kimyasal kompozisyonu
- İş parçasının kaplama durumuna ve yüzey kirliliği
- Kullanılan koruyucu gazlardan etkilenmektedir.

Duman oluşum hızı kaynakçı becerisine bağlı olarak değişen ark uzunluğu ile değişebilir. Genel olarak ark mesafesinin artması ile gerilim artar ve kaynak duman oluşum hızı da artar [27]. Kaynak duman ve gazının tehlike yaratması aşağıdaki faktörlere bağlıdır [24].

- Duman veya gazların kimyasal kompozisyonuna
- Oluşan tozların partikül boyutuna
- Tozun veya dumanın kandaki çözünürlüğüne
- Duman veya gazların absorbe miktarına

- Maruz kalma sürekliliği veya sıklığına
- Mesleki çevreye
- Bireysel etkilenmeye (korunmaya)

Kaynak duman partikülleri (yani tozlar) oluştukları zaman 1 μm 'dan daha küçüktürler. Fakat boyutları zamanla aglomerasyon işlemi ile büyümektedir yani partiküller birbirine yapışmaktadır. Partiküller zamanla büyüyerek 1-7 μm olabilir. Bu boyuttaki partiküller solunum organlarındaki tüyler tarafından kolayca temizlenemediğinden dolayı akciğerin dip bölgelerine kadar nüfuz ederek büyük bir sağlık tehlikesi meydana getirebilirler. Kaynak dumanı bulutu içindeki partiküller genellikle ağırdır yani büyük boyutadır ve bu partiküller yakın bir yüzeye hızlı bir şekilde düşerler. 2 μm 'dan daha küçük partiküller ise havalandırma yapılmadığı takdirde kaynakçı solunum bölgesinde birkaç saat havada kalabilirler [27].

2.3.5.1 Gazlar

Azot Oksitleri (NO_x)

Renksiz, kokusuz, tatsız durağan gazdır. Sıvı halde de renksizdir. Su ve alkolde çözünür. Göz ve solunum yollarında tahriş, akciğer ödemi ve kusma görülür. Çok uzun süre etkiğinde diş ve ciltte sarı renk, dişlerde çürüme görülür [28].

Asetilen (C_2H_2)

Bu gaz, oksijen-yakıt gaz kaynağında ve alevle kesme işlemlerinde en çok kullanılan yanıcı gazlardan birisidir. Asetilen alevinin ısı, kullanılan Oksijen miktarına bağlıdır. Hava-Asetilen karışımının alev sıcaklığı 2200 $^{\circ}\text{C}$ civarındadır. Kimyasal kalitede saf asetilen, kokusuz, renksizdir ancak piyasada satılan asetilen karpitten dolayı sarımsağa benzer kokar. Yanıcı ve boğucudur. Hava ile parlak, yoğun ve isli bir alevle yanar. Hava ya da oksijen ile karışan veya karışmadan asetilen gazı ısıtıldığı zaman patlar. Asetilen gazı 1,5 barın üzerinde bir basınçla sıkıştırıldığı zaman kolaylıkla patlar. Bakır, gümüş, civa ile patlayıcı karışımlar yapar. Asetilen, hava içinde %2,5-81 oranında kullanıldığı zaman yanıcı ve patlayıcıdır. Ayrıca düşük enerjili kıvılcımlar (örneğin statik elektrik) dahi patlamaya neden olabilir. Asetilen zehirleyici değildir, ancak kaçaqlar havadaki

oksijen seviyesini % 19,5'in altına indirirse bilinç kaybı ve hatta ölüme kadar gidebilen sonuçlar yaratır [28].

Karbonmonoksit (CO)

Renksiz, kokusuz, boğucu bir gazdır. Uygun ve yeterli havalandırma sisteminin olmadığı kapalı yerlerde yapılan kaynak işlemlerinde CO miktarı yüksek değerlere erişir. CO hemoglobin ile birleşerek kanın oksijen taşımamasını engeller. Yorgunluk, baş ağrısı, çarpıntı ve bayılma gibi belirtiler görülür [28].

Karbondioksit (CO₂)

Gaz kaynağında koruyucu gaz olarak kullanılır. Suda çözünen, katı, sıvı ve gaz halinde bulunur. Gaz halinde iken renksiz, kokusuz, boğucudur. Solunum yoluyla etki eder. Havalandırma veya emici tesisatı bulunmayan kapalı ortamlarda yapılan kaynak işleminde bu gazın oranı, % 10'a çıkması halinde kandaki hemoglobin ile birleşerek kanın oksijen taşımamasını önler. Bu takdirde solunum güçlüğüne, baygınlığa ve daha yüksek konsantrasyonunda ölüme neden olabilir [28].

Ozon (O₃)

Renksiz, sarımsak kokulu ve zehirli bir gazdır. Mukoza, özellikle de solunum yolları üzerinde etkilidir. Boğazda kaşıntı ve yanma, öksürük, göğüs ağrısı, akciğer ödemi ve hırıltı etkilenme belirtileridir [28].

2.3.5.2 Dumanlar

Limit değerleri ülkelere ve araştırma merkezlerine göre değişebilmektedir. Ülkemizde kısa adı PARPAT olan 27.11.1973 Bakanlar Kurulu karar tarihli Parlayıcı, Patlayıcı, Tehlikeli ve Zararlı Maddelerle Çalışan İş Yerlerinde ve İşlerde Alınacak Tedbirler Hakkında Tüzük çeşitli kimyasal maddelerin işyeri havasında bulunmasına müsaade edilen azami miktarı gösterir bir tüzük bulunsada son yıllarda Amerika Birleşik Devletleri İş Güvenliği ve Sağlığı İdaresi (OSHA) ve Amerikan Ulusal İş Güvenliği ve Sağlığı Enstitüsü (NIOSH) değerleri ve bu merkezlerin yapmış olduğu çalışmalar takip edilmektedir. Tüzük içeriğinde kaynak dumanı ve maruziyeti hakkında özel bir madde bulunmamaktadır.

Çizelge 2.4 Maruziyet Limit Değerleri [35]

Bileşenlerin Tanımı	OSHA PEL-TWA (µg/m3)	NIOSH REL-TWA(µg/m3)	ACGIH TLV-TWA (µg/m3)
alimünyum dumanı	1500	5000	5000
Arsenik	10	2	10
Baryum alaşımları	500	500	500
Berilyum alaşımları	2	5	2
Kalsiyumoksit	-	2000	2000
Kadmiyumoksit	5	LFC (ca)	10
Krom (Cr+6)	NA	1	50
Kobalt oksit	100	50	20
Bakır dumanı	100	100	200
Demir oksit dumanı	10000	5000	5000
Magnezyum oksit	15000	NA	10000
Mangan	5000	1000	200
Molibden	5000	-	5000
Nikel	1000	15 (ca)	1000
Kurşun	50	100	50
Fosfor	100	100	100
Platin	2	1000	1000
Selenyum	200	200	200
Gümüş	10	10	100
Sodyum	NA	NA	NA
Tellür	100	100	100
Talyum	100	100	100
titanyumdioksit	15000	LFC (ca)	10000
vanadiumpentoksit	100	50	50
itruyum	1000	1000	1000
Çinko oksit	5000	5000	5000
Zirkonyum	5000	5000	5000

Krom (Cr)

Paslanmaz çelik gibi krom alaşımlı malzemeden yapılan kaynak işlemi sonucunda +3 ve +6 değerlikli krom oluşur ki her iki yapı da mukoza, solunum yolları ve akciğer üzerinde tahrişlere neden olurlar. Ayrıca vücut sıcaklığında yükselmeler görülür. +6 değerlikli krom kanser yapma riski yüksek olan bir maddedir [28]. Kromun ani etkilenimiyle; gözde kornea zararları, ciltte alerjik reaksiyon ve zor iyileşen yaralar, sindirim yoluyla alınması durumunda, ağızda, miğdede ağrı ve yaralar, kusma, kanlı ishal oluşabilir. Solunum yoluyla alınıp sonrası burun, üst solunum yolları ve akciğerde tahriş, sindirim yoluyla yğun miktarda alınmasında ise dolaşım bozukluğu, kramplar, bilinç kaybı, böbrek yetmezliği, koma ve ölüm oluşabilir [34].

Molibden (Mo)

Molibden içeren metal oksit dumanlarının solunması solunum yollarında tahrişlere neden olur. Eşik değerinin üzerindeki konsantrasyonlarda uzun süreli etkilenmeler karaciğer rahatsızlıklarına neden olabilir [28].

Demir Oksitler (Grit, Fe_2O_3 , Fe_3O_4)

Kaynak işlemi sırasında oluşan demir oksite uzun süreli etkilenme sonucu kişilerde siderosis adı verilen akciğer meslek hastalığı görülebilir [28].

Kurşun (Pb)

Kurşun genel olarak kaynak dumanı içinde bulunmaz. Ancak yüzeyi kurşun ile kaplı malzemenin kaynak işleminde ve/veya kurşun içeren yalıtım maddesi ile kaplı elektrotların kullanıldığı işlemlerde metal oksit dumanları içinde kurşun bulunabilir. Kurşun oksit dumanlarının solunması sonucu baş ağrısı, bayılma, adale ağrısı, kramp, kilo kaybı, iştahsızlık ile yüksek konsantrasyonlarda anemi ve hafıza kaybı görülebilir. [28]

Baryum (Ba)

Baryum oksit içeren dumanın solunması sonucu solunum yollarında tahrişler ve zehirlenmeler görülür. Ayrıca baş dönmesi, solunum zorluğu, kusma, ishal, karın ağrısı, kalp rahatsızlıkları ile yüz ve boyun kaslarında kasılma görülebilir. Ölüm genellikle solunum ve dolaşım yetmezliğinden meydana gelmektedir [28].

Nikel Bileşikleri (Ni)

Paslanmaz çelik parçaların kaynak işleminde açığa çıkar. Nikel oksit metal buharı ateşine neden olur. Kansorejendir [28].

Flor (F)

Temel olarak kaynak elektrotlarında örtü maddesi olarak bulunan flor bileşiklerinin kaynak işlemi sırasında açığa çıkması ve ortam havasına yayılması sonucu solunum yollarında tahrişler ile akut ve kronik etkilenmeler olabilir. Havalandırmanın iyi yapılmadığı kapalı alanlarda ortam havasında bulunan flor konsantrasyonu izin verilen eşik değerinin üzerine çıkabilir [28].

Nikel (Ni)

Paslanmaz çelik parçaların kaynak işleminde açığa çıkar. Nikel oksit metal buharı ateşine neden olur. Kanserojendir [28].

2.3.5.3 Tozlar

Kaynaklı imalatatta tozlar, çapı 1 mikrondan büyük olan taneciklerden oluşmaktadır. Metal oksit dumanları ise çapı 1 mikrondan küçük olan taneciklerden oluşmaktadır. Bu tanecikler, uzun sürelerle havada asılı kalabilir ve hava hareketleri ile kaynak yapılan noktadan çeşitli yönlere taşınabilir. Bunlar, temel olarak metal ve diğer oksitlerdir. Oluşan kaynak arkı ile erimiş metal buharları ortam havası ile temas ederek oksitlenir ve yoğunlaşır.

Kaynaklı imalat atölyelerinde ortam havasına karışan tozlar, genellikle kaynak ağı açılması, metal malzemelerin taşınması, kesilmesi, kaynak ağzının taşlanması gibi işlemler sonucunda oluşmaktadır. Tozlar genellikle çökerek işyeri tabanı ve kaynak ekipmanları üzerinde birikirken, metal oksit dumanları uzun süre havada asılı kalmakta ve hava devinimleri ile işyeri ortamında çeşitli yerlere dağılabilmektedir. [35]

2.3.5.4 Kısa Süreli Sağlık Problemleri

Metal buharını (örneğin çinko, magnezyum, bakır ve bakır oksit) soluyan kaynak personeli metal buharı ateşine(metal fume fever) yakalanabilir. Bu hastalığın belirtileri (semptomları) buhar solunduktan sonra 4 ile 12 saat içerisinde titreme, susama, ateş, kas ağrısı, göğüs ağrısı, öksürük, hırıltılı soluma, yorgunluk, mide bulantısı ve ağızda metalik (madeni) bir tat şeklinde kendini gösterir. Buharın solunmasından birkaç saat sonra kişide çok yüksek derecelerde ateş (nadiren 39 °C'den yüksek) görülür. Vücut sıcaklığı 1 ile 4 saat içinde normale dönmeden önce terleme ve titreme oluşur [36].

Kaynak dumanı ayrıca gözleri, koku alma gücünü, göğsü ve solunumla ilgili organları tahriş ederek öksürüğe, hırıltılı solumaya, nefes daralmasına, bronşite, akciğerde su toplanmasına ve zatürreye (akciğerin iltihaplanması) neden olmaktadır. Mide bulantısı, iştahsızlık, kusma, kramplar ve yavaş sindirim gibi sorunlar da kaynak ile beraber ortaya çıkar.

Kaynak buharındaki bazı maddeler örneğin kadmiyum veya kadmiyum oksit bileşikleri çok kısa süre içerisinde öldürücü olabilir. Ayrıca kaynak yönteminde kullanılan koruyucu gazlar son derece tehlikelidir. Havadaki azot ve oksijen kaynak işlemi sırasında reaksiyona girerek azot oksit ve ozon (temizlikte kullanılan) oluşturur. Bu gazlar yüksek dozlarda çok ölümcüldür ve ayrıca burun ve boğazın tahriş olmasına ve ciddi akciğer hastalıklarına da neden olmaktadır. Kaynak esnasında oluşan ultraviyole ışınlar klorlanmış hidrokarbon çözücülerle (örneğin trikloroetilen, 1.1.1 trikloroetan, metilenclorit ve percloroetilen) reaksiyona girerek fosgen (karbonoksit klorürü) gazı oluşturur. Fosgenin çok küçük miktarları bile öldürücüdür, ancak hastalığın ilk belirtileri genellikle 5-6 saat sonra baş dönmesi, titreme ve öksürük olarak gözükmemektedir.

Yüksek konsantrasyondaki kadmiyum ve kadmiyum oksitleri buharının solunum yoluyla içeri çekilmesi neticesinde mide bulantısı, baş ağrısı, baş dönmesi, sinirlilik, akciğer sorunları gibi sağlık problemleri ortaya çıkmaktadır [36].

2.3.5.5 Uzun Süreli Sağlık Problemleri

Kaynak ve kesme (alevle kesme, yakarak kesme) işlemleri yapan kişilerin akciğer kanserine yakalanma riski çok yüksektir. Çalışma şartlarına bağlı olarak gırtlak kanseri ve idrar yolu kanseri olma ihtimali vardır. Bu sonuç arsenik, krom, berilyum, nikel ve kadmiyum gibi kanser riski içeren kaynak dumanındaki zehirli maddelerin büyük miktarlarda solunduğunda ortaya çıkmaktadır. Kaynakçılar ayrıca kronik solunum problemleri (bronşit, astım, zatürree, akciğer kapasitesinin azalması v.b.) yaşayabilirler.

Krom ve nikel gibi ağır metallere maruz kalan kaynak çalışanlarının böbreklerinin zarar gördüğü görülmüştür. Ayrıca kaynakçılar üzerinde yapılan en son çalışmalarda özellikle paslanmaz çelikler ile çalışanlarda sperm miktarının azaldığı ve üreme problemlerinin ortaya çıktığı görülmüştür. Buna bağlı olarak kaynakçıların eşlerinin geç gebelik veya çocuk düşürme olaylarında da bir artış görülmüştür. Bu tarz problemler aynı zamanda alüminyum, krom, nikel, kadmiyum, demir, mangan ve bakır gibi metallere, azotlu gazlar ve ozon gibi gazlara, ısıya ve iyonlaştırıcı radyasyona (kaynak dikişlerini kontrol etmekte kullanılan radyoaktif ışınlar) korunmasız kalındığı durumlarda mümkün olmaktadır. Asbest izolasyonu ile kaplanan yüzeylerde kaynak veya kesme yapan

kaynakçılar akciğer kanserine ve diğer asbest ile ilişkili hastalıklara karşı risk içerisindeyler. Kadmiyum oksit buharına ve tozuna uzun süre maruz kalan kişilerde kronik meslek hastalıklarına, böbrek yetmezliğine ve solunumla ilgili hastalıklara da yakalandıkları görülmüştür. Uzun süre kadmiyuma maruz kalan kimse akciğer kanserine yakalanabilir. Mangan gibi yüksek derecede zehirli malzemeler de çalışan kişinin merkezi sinir sistemini (konuşma ve hareket kabiliyetini zayıflatma gibi) zamanla etkileyebilmektedir[36].

2.3.6 Kaynak Dumanı ve Gazının Yol Açtığı Mesleki Rahatsızlıklar

Son birkaç on yılda kaynak dumanının işçilerin akciğer dolaşım sistemine olan etkilerini inceleyen çok sayıda çalışma yapılmıştır. Kaynak dumanlarının akciğere etkisini inceleyen çalışmalarda birbirinden oldukça farklı sonuçlar elde edilmiştir. Bazı çalışmalar kontrol altına alınmış ortamlarda, bazıları normal işyerlerinde ve bazıları da laboratuvarlarda yapılmıştır. Dolayısıyla, kullanılan kaynak işlem türü ve malzemeler, maruz kalma süresi, çalışılan bölgenin havalandırması ve kaynak yapılan zaman ile akciğer ölçümü arasında geçen süre gibi birçok etmen kaynak dumanına maruz kalmanın sonuçlarını ciddi biçimde etkilemiştir. Bu etmenlere ilave olarak, kaynakçıların akciğer sistem testlerini etkileyecek üç etmen daha belirtmiştir. Bunlardan ilki, solunum sisteminde sorun yaşamakta olan kaynakçıların başka mesleklere yönelmesi böylece kaynakçı grubunun nüfus yapısının değişmesidir. İkinci etmen olarak ise sigara kullanımının solunum sistemine olan etkisi belirlenmiştir. Üçüncü etmen ise pasif etkidir. Tersanelerde çalışan çoğu kaynakçının, başka iş kollarında çalışan kaynakçılara göre kronik akciğer hastalıklarına yakalanma oranının daha yüksek olduğu bilinmektedir. Dolayısıyla, akciğer dolaşım sistemi test sonuçları, kaynak dumanı haricinde çalışma ortamında bulunan diğer maruziyet türleri ile de ilişkilendirilebilir [2].

Çoğu araştırma kaynağın akciğerin işlevine ölçülebilir olarak hiç etki etmediğini veya çok az etki ettiğini göstermiştir [37]. Ancak, çok ağır bir şekilde dumana maruz kalan veya daha kırılgan (hassas) olan çalışanların varlığı, genel kaynak çalışanları ile üzerinde çalışma yapılan kontrol gruplarının farklılığına sebep olması muhtemeldir. Örneğin,

daha kapalı ve kötü havalandırılan alanlarda çalışarak daha yüksek oranda dumana maruz kalan tersane kaynakçılarındaki akciğer sistemi işlevleri daha iyi havalandırılmış alanlarda çalışan kaynakçılara göre daha olumsuz sonuçlar ortaya koymaktadır [37] [38] [39].

Kaynakçılar arasında en sık görülen akut solunum hastalığı olan metalduman humması, kaynak sırasında veya sonrasında kısa süreli olarak görülebilen hummalı bir hastalıktır. Bu durumun sebebi yeni oluşmuş çinko oksit dumanlarının solunmasıdır. En sık görüldüğü kaynakçı grubu çinko kaplı galvaniz çelikleri veya diğer çinko alaşımlarını kaynatan veya kesen işçilerdir [2]. Metal dumanı hummasının belirgin özelliği akut olarak gelişmesi (yaklaşık olarak dumana maruz kaldıktan 4 saat sonra) ve genellikle nezle benzeri bir hastalığı andırmasıdır [40]. Belirtileri; susuzluk, kuru öksürük, ağızda metalik veya tatlı bir his, üşütme, nefes darlığı, kırgınlık, adale ağrıları, baş ağrısı, mide bulantısı ve ateştir. Hastalık kendi kendine durur ve başlangıcından 24-48 saat sonra kendiliğinden geçer. Metal dumanı humması hastalığına yeni kaynakçıların ilk çalışma günlerinde rastlandığı gibi uzun süredir kaynak yapan kaynakçılarda da (yaklaşık % 30) görülebilmektedir [40].

Kaynak dumanının sigara kullanımından bağımsız olarak tam zamanlı kaynakçılarda kronik bronşite yol açabileceğini belirten çok daha fazla sayıda çalışma yapılmıştır. Dahası, sigara kullanan kaynakçılar arasındaki kronik bronşit yaygınlığı kullanmayanlara göre daha yüksektir. Bir Amerikan tersanesinde yapılmış olan eski bir çalışmada 100 kaynakçı ile 100 kontrol deneği arasında kronik bronşit oranları değerlendirilmiştir. Sigara kullanan kaynakçılardaki kronik bronşit belirtilerinin yaygınlığı % 79 iken sigara içen kontrol deneklerinde bu oran % 36, sigara içmeyen kaynakçılarda ise aynı oran % 41 iken sigara içmeyen kontrol deneklerinde ise % 5 olarak belirlenmiştir [2].

Kaynak dumanının akciğer kanserine yol açtığı epidemiyolojik çalışmalarla tam olarak kanıtlanmış değildir. Kaynakçılık mesleği ile akciğer kanseri vakaları ve ölümleri arasındaki muhtemel bağıntı oldukça geniş bir şekilde araştırılmaya devam etmektedir. Kaynakçılarda yapılan çalışmalar, akciğer kanseri görülme riskinin kaynakçılar arasında yüksek olduğunu göstermektedir. Uluslararası Kanser Araştırma Merkezi (IARC) 1990

yılındaki bildirisinde kaynak dumanının insanlar için “muhtemel kanserojen” maddelerden biri olduğunu belirtmiştir [2].

2.3.7 Kaynak Dumanı ve Gazlarına Karşı Alınması Gereken Önlemler

Öncelikle kişinin başını dumandan koruması için kaynak maskesi kullanmalı ve dumanı solumamalıdır. Kaynakta oluşan duman kaynakçının solunum organına (burnuna) gelmeden kaynak yerinden uzaklaşmalı veya uzaklaştırılmalıdır. Kaynak bölgesinde ve genel çalışma alanında yeterli havalandırma sağlanarak kaynak buharı ve gazları solunması önlenmelidir. Bu nedenle kapalı alanlarda yapılan kaynak ve kesme işlemlerinde yeterli çalışma alanı sağlanmalı (aynı zamanda bu alanın yeterli yüksekliğe sahip olması gerekir) ve bu alanda yeterli havalandırma sistemleri kullanılmalıdır. Kaynak dikişlerinin tahribatsız muayenesinde (örneğin penetrent muayenede) kullanılan kimyasalların zehirleyici ve diğer uzuvlara zarar verici etkilerine karşı koruma önlemleri alınmalıdır. Eğer havalandırma yetersiz ise maruz kalınacak miktar ölçülmeli ve izin verilen miktarlara göre karşılaştırma yapılarak karar verilmelidir. Bu gibi durumlarda pratik çözümler üretilmeli örneğin uygun bir solunum cihazı kullanılmalıdır [28].

Özellikle yapılan işe ve konuma göre kullanılacak KKD ve özellikleri çok iyi bilinmeli ve literatürdeki ve kanunlardaki değişiklikler takip edilmelidir. Tersane çalışanlarının işlemlerden kaynaklanan, toksik ya da solunması zararlı gaz, duman, ısı, ışık, gürültü, radyasyon, titreşim, ergonomik olmayan çalışma düzeninden kaçınması ve uygun kişisel koruyucu donanım kullanılması gereklidir. Bunun yanı sıra çalışma alanları, havalandırılmalı ve temiz hava girişi ve çevrimi sağlanmalıdır. Özellikle tersanenin açık/kapalı her alanında yapılan kaynak işlemlerinde duman ve gazdan koruyacak özellikte maske kullanılması gerekmektedir. Bunların seçimi ise yine atık yönetim modeli oluşturulurken kurallara göre belirlenmelidir. Bu kurulacak sistem bir çevrim haline getirilmeli ve kendi kendini yenileyebilmelidir [1]

2.3.8 Alternatif Kaynak Emisyon Çözümleri

El ile yapılan kaynakta emisyonların emilmesi için portatif boru veya baca kullanılabilir. Ayrıca küçük parçalar ve rutin işler için sabit borular ve bacalar ile desteklenmiş küçük

kabinler, geniş ve değişebilen işlemler için portatif veya elastiki emiş sistemleri kullanılabilir. Kaynak dumanı bertarafı için duman emildiğinde partiküller yüksek verimlilikteki filtrelerden geçirilmeli veya elektrostatik çöktürmeye uğratılmalıdır. Kaynak sahası temizlendiğinde potansiyel olarak hiçbir zehirleyici malzeme kuru bırakılmamalı veya yüzeyden salınmamalıdır. Bu işlem aynı zamanda kaçak emisyonlarının oranının da düşürülmesine yardımcı olacaktır. Tersanelerde çok hızlı, kaliteli, ekonomik ve sıçrama kayıpları az olan tam otomatik özlü tel kaynağı uygulanabilir. Atıkların minimizasyonu için kapalı ve açık blok birleştirmelerde robotik kaynak sistemlerine ağırlık verilmeli ve kaynak işlemlerinde mekanizasyon ve otomasyonun oranı arttırılmalıdır. İşçilerin dumana maruz kalmalarının azaltılması için kurallara uygun olarak kişisel koruyucu donanımlar eksiksiz olarak kullanılmalıdır. Duman emisyonlarının azaltılması için ön imalatта yatay pozisyonundaki stiffner, t-kiriş, profillerin köşe kaynaklarında kaynak robotu kullanılmalıdır. Geliştirilen vakum sistemli kaynak tabancaları sayesinde işçilerinin dumana maruz kalmaları azaltılabilir. Kaynak işlemlerinde özlü tel kullanılacaksa Ar ve CO₂ oranı düşük teller seçilmelidir. Tersanelerde yapılan işler gruplandırılarak yeni hafif portatif egzoz/duman toplama sistemleri için gereksinimlerin belirlenmesi, mekanik veya robotik kaynak operasyonlarının sağlanması, elektrot modifikasyonu, tersanelerdeki mevcut uygulamaya dayanarak kaynak dumanına karşı kaynakçının maruz kaldığı miktarlar için kapsamlı veri tabanı oluşturulması gerekmektedir. Hekzavalan krom oranının azaltılması için elektrot veya teldeki sodyum ve potasyum oranlarının azaltılması ve kullanılması son derece önemlidir. Tersanelerde üretim ve planlama departmanlarının işlerini kolaylaştıracak gelişmelerden birisi de robotik teknolojilerdir Tersanenin üretim hatları ve üretim planlaması, otomatik, yarı otomatik ve tam otomatik robotik sistemler olacak şekilde değiştirilmelidir. Kalınlığı fazla olan metallerin kaynağında zorluk yaşanması üzerine geliştirilen yüksek penetrasyon kabiliyetli çift taraflı ark kaynak yöntemleri kullanılmalıdır.

Avantajları yüksek hız, güvenilirlik, düşük ısı etki olan lazer kaynak teknolojisindeki gelişmeler takip edilerek tersanelere uygulama alanları yaratılmalıdır. Kaynak emisyonları yeni geliştirilen yöntemlerle hesaplanarak ulusal ve uluslararası kurallar incelenmeli ve işçinin maruz kaldığı duman ve partikül miktarları tespit edilmelidir.

Kaynak dumanı maruz kalma miktarları belirlendikten sonra konu ile ilgili kurumlar tarafından maruz kalma limit değerleri belirlenmeli ve periyodik tersane emisyon kontrolleri yapılması sağlanmalıdır. Kullanılan atık tel, elektrod ve bobinlerin atık yönetimi usulleri gereğince toplanması, ayrıştırılması ve geri dönüşebilecek olanların sisteme geri kazandırılması sağlanmalıdır. Kaynak işlemlerinin çevre ve insana verdiği zararların azaltılmasını sağlanması ve üretimin kalitesinin artması için kaynak teknolojilerinde yeni teknolojilerin kullanılması sağlanmalıdır. Kaynak prodüktivitesini önemli ölçüde arttıran kaynak robotları, işçi kusurlarından bağımsız olarak çalışabilmektedir. Ancak gemi iç bünyesinde kaynak yapılacak yerler karmaşık yapıda olduğu için portatif kaynak robotlarının geliştirilmesi gündeme gelmiştir. Robot sistem, taşınması ve montajı kolay ve dar alanlarda çalışabilecek şekilde tasarlanmıştır. Kaynak dumanının azaltılması, ekonomiklik ve kaynak hassasiyeti gibi sistemin avantajları mevcuttur Bilgisayar destekli tasarım (CAD) ve bilgisayar destekli imalat (CAM) son yirmi yıllık zaman diliminde büyük gelişmeler kaydetmiş ve günümüzün vazgeçilmez imalat yöntemi olmuştur. Özellikle kaynak robotlarının Uzakdoğu tersanelerinde verimli olarak kullanılması, sektördeki diğer uluslararası aktörlerin rekabet edebilirlik açısından bu teknolojilerden kullanma zorunluluğunu getirmiştir. Kurulacak merkezi bilgisayar ve ağları vasıtasıyla atölyeler, tasarım ve planlama gibi diğer bölümler arasında hızlı veri akışı sağlanmalıdır. Üç boyutlu çizimler, atölyelerde altı serbestlik dereceli robot kollara aktarılır. Çevrim içi veya dışı çalışan robot kollar, esneklik, zaman ve maliyet tasarrufu yönünden özellikle kaynak alanında prodüktiviteyi arttırıcı bir unsurdur. Portatif kaynak robotu NC kodlarını okuyarak kaynak işlemini gerçekleştirmektedir. Robot, çalışma esnekliği, toplam kaynak zamanında % 50–70 azalma ile prodüktiviteyi arttırmaktadır Tersanelerde robotik kaynak teknolojileri konusundaki çalışmalar son on yılda artış göstermektedir. Auriol vd., (1999) [30] tersaneler için dünyanın en büyük iş hacimli kaynak robotunun tasarımını geliştirmişlerdir. Madden vd., (1991) [31] 'nin çalışmaları tersanelerde kullanılabilecek kaynak yöntemleri için geliştirilen işlemsel zeka yöntemlerini kullanan “weldexcell” sisteminin prototip çalışmalarını konu almaktadır. Voltaj, ilerleme hızı, tel besleme hızı, kaynak açısı gibi parametreler kaynak mühendisliği açısından çok önemli verilerdir. Bu veriler yapay sinir ağları tabanlı modeller ile işlenmektedir [1].

316L PASLANMAZ ÇELİK ÖRTÜLÜ ELEKTROT KAYNAĞI DENEYİ

3.1 Deney Düzeneği

Kaynak Duman kabini; kaynağın yapıldığı yerdir. İçerisinde, üstüne konulan paslanmaz plakayı farklı dönme hızlarına göre döndüren tablası, filtre bağlantı yeri ve gaz ölçümleri alınan, emisyon ölçüm cihazının vakum hunisi bulunmaktadır.



Şekil 3.1 Kaynak Duman Kabini ve içi

İçerdeki havanın vakumu, kabine üst taraftan bağlı olan vakum pompası ile gerçekleştirilmektedir. Vakum pompasının kabin ile bağlantılı olan yerin arasında filtre aparatı bulunmaktadır.



Şekil 3.2 Filtre Aparatı

Emisyon Ölçümleri Mobydic 5000 marka gaz ölçüm cihazı ile yapılmaktadır.

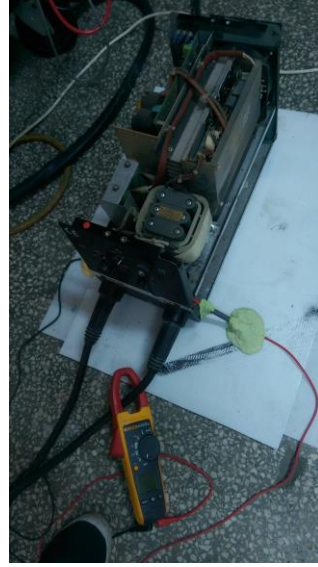
Mobydic 5000 Ölçüm aralıkları;

CO 0-10 %Vol, CO₂ 0-20 %Vol, HC 0-20000 ppmVol, O₂ 0-21 %Vol, NO_x 0-5000 ppm, SO₂ 0-500 ppm



Şekil 3.3 Gaz Ölçüm Cihazı (Mobydic 5000)

Kaynak için inverter teknolojisine sahip ve 260A kapasiteli Lincoln electric Invertec V260-S kaynak cihazı kullanılmıştır.



Şekil 3.4 Kaynak Makinesi ve Multimetre

Kaynaklar 3.25 mm kalınlığında Oerlikon marka 316L paslanmaz çelikler için üretilmiş olan “E19 12 3 LR 32 (İnox BWL)” ile yapılmıştır. Düşük karbonlu Cr-Ni-Mo'li paslanmaz çeliklerin ve bu tip çelik dökümlerin kaynağı için östenitik paslanmaz çelik kaynak metali veren rutil tip bir elektrottur. Karbon (C) miktarı düşüktür.

Çizelge 3.1 Elektrot içeriği (% ağırlık)

Karbon (C)	Silisyum (Si)	Mangan (Mn)	Krom (Cr)	Nikel (Ni)	Molibden (Mo)
% Ağırlık	17.4	12.8	2.3	0.2	0.8



Şekil 3.5 Oerlikon E19 12 3 LR 32 (İnox BWL) Elektrot

Akım ve Voltaj ölçümleri kaynak makinesi kutup başları üzerinden alınmıştır. Ölçümler Fluke marka multimetre ile yapılmıştır. Deneylerde kullanılan paslanmaz çelikler 290 mm çapında, 5 mm kalınlığında sac plakalar halindedir. 316L paslanmaz çelik, 304 kalite paslanmaz çeliğin içerisine daha fazla nikel eklenerek elde edilen bir malzeme kalitesidir. Korozyona dayanımı kimyasal içeriği sayesinde sert koşullu ortamlarda (deniz suyu, asidik sıvılar vs.) dahi çok iyidir. Düşük oranda karbon içerirler, bu sayede kaynak yapılabirliği iyidir.

Çizelge 3.2 AISI 316L paslanmaz çelik plakaların kimyasal bileşenleri

Alaşım Elemanı	Cr	Mo	Si	Ni	Mn	C	Fe
% Ağırlık	17.4	12.8	2.3	0.2	0.8	0.08	Kalan



Şekil 3.6 Deneyler için kullanılan 316L paslanmaz çelik plaka

3.2 Deneyin Yapılışı

Kaynağa başlamadan önce yapılacak kaynağın hızına göre paslanmaz çelik plakalar üzerinde kaynak bölgesi işaretlenmiştir. Plakalar, kaynak kabinindeki dönen tablanın üzerine yerleştirildikten sonra tabla hızı kaynak hızına ayarlanmaktadır. Filtreler bir saat 110°C fırında bekletilip kurutulduktan sonra, ilk ağırlıkları tartılıp, filtre aparatıyla beraber kaynak kabinin içerisindeki bölmeye yerleştirilir. Daha sonra elektrotların ilk ağırlıkları tartılıp yerine takılır. Kaynak makinesi üzerinde yapılacak kaynağa göre akım

değeri ayarlanır. Emisyon ölçüm cihazı aktif hale getirilip bilgisayar arayüzünden video kaydına hazır hale getirilir. Vakum pompası çalıştırıldıktan sonra kaynak yapılmaya başlanır. Kaynak süresi 45 saniye olarak yapılmıştır. 45 saniyelik kaynak süresinde voltaj değerleri, kaynak makinasının kutuplarına bağlı olan multimetre ile ölçülür ve video kaydı yapılır. Emisyon kayıtları 1 dakika 15 saniye olarak yapılmaktadır. Bunun sebebi kaynak bittikten sonra kaynak kabini içerisindeki dumanın tamamen emilmesini beklemektir.

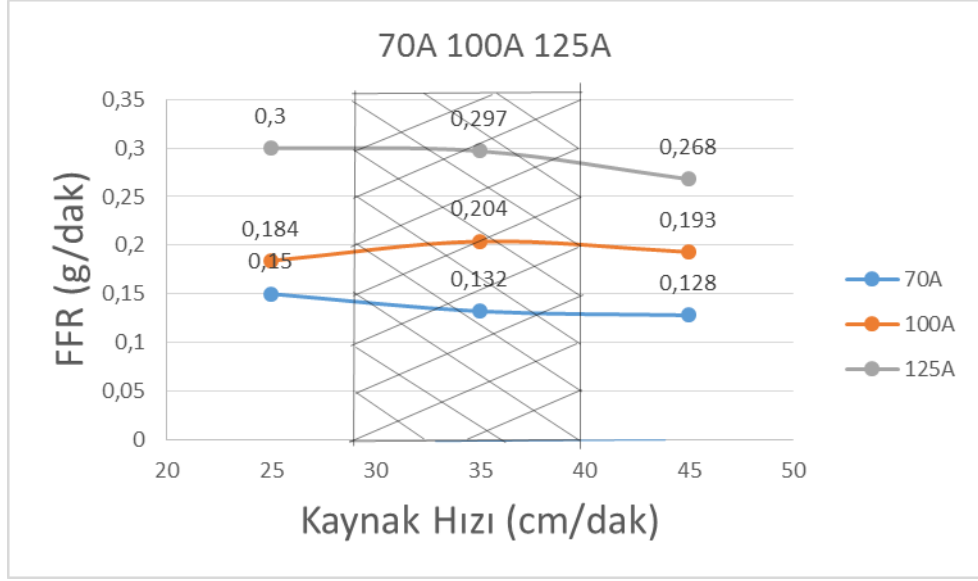
Kaynak bitişinden sonra kaynak kabinin tamamen boşalması vakum pompası açık olarak 4 dakika 15 saniye beklenmektedir. Toplam 5 dakikalık süre sonunda kalan elektrot ağırlığı ölçülüp kaydı tutulur. Daha sonra filtre kabinden çıkartılıp ağırlığı ölçülür. Herhangi bir nem durumuna göre filtreler 1 saat 110°C fırında tekrar kurutulup, ağırlık ölçümleri alınmaktadır. Emisyon için alınan video kayıtlarından NO_x değeri ele alınmıştır. Bu videodaki değişken değerlerin ağırlıklı ortalaması alınıp çıkan NO_x değeri hesaplanmaktadır. Voltaj değerleride video kayıtlarından ortalama olarak alınıp kaydedilmiştir.

Deneyler 3 farklı kaynak hızı ve 3 farklı gerilim değerlerinde yapılmıştır. Kaynak hızları 25, 35, 45 cm/dak, gerilim değerleri ise 70A, 100A ve 125A'dır. Kaynaklar sacların üzerinde farklı bölgelerde yapıldığından, deneyin yapılacağı kaynak hızlarına göre tabla hızları hesaplanmıştır. Her deney 3 kez tekrar edilip, toplamda 27 deney yapılmıştır.

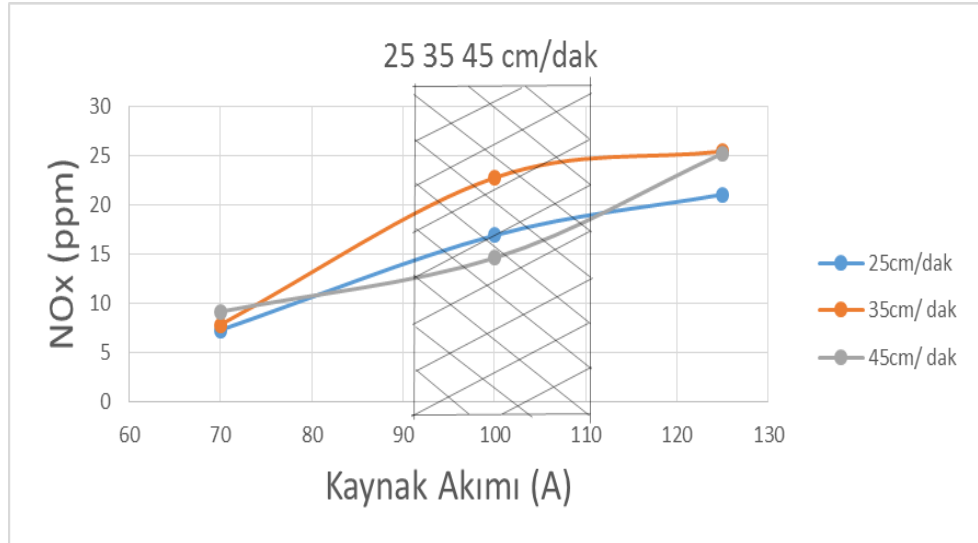
3.3 Deney Sonuçları ve Analizi

Deneylerde paslanmaz çelik kaynağında ki NO_x değerleri ve filtrelerdeki biriken partikül miktarı ölçülüp FFR (gram/dak) değerleri hesaplanmıştır.

$$\text{FFR (g/dak)} = \text{Biriken Partikül Miktarı (gram)} / \text{Kaynak Süresi (dak)} \quad (3.1)$$



Şekil 3.7 70A, 100A ve 125A için FFR-Kaynak hızı grafiği ve kritik bölge



Şekil 3.8 25, 35 ve 45 cm/dak için NO_x – Kaynak Akımı grafiği ve kritik bölge

70A kaynak akımı elektrodun ideal çalışma akımından düşüktür. Birim zamandaki damlacık geçişi az olduğu için FFR değeri de düşük çıkmaktadır. Kaynak hızı arttıkça ısı girdisi azaldığı için FFR değerlerinin de düştüğü gözlemlenmektedir. 125A kaynak akımı ile yapılan deneylerde de 70A'dakine benzer bir durum söz konusudur. Kaynak hızı düşük olduğunda ısı girdisi fazla olacağından dolayı FFR de yüksek çıkmaktadır ve kaynak hızı arttıkça da FFR değerleri azalmaktadır. 125A kaynak akımında birim zamandaki damlacık geçişi daha fazla olduğu için 70A kaynağına kıyasla FFR değerlerinde ciddi bir artış gözlemlenmiştir.

Kaynak sonrası, üç farklı kaynak akımı ile elde edilen kaynak dikişleri incelendiğinde en ideal kaynak dikişi ve görünümünün 100A ile elde edildiği görülmüştür. 100A kaynak akımı ve 25cm/dak kaynak hızı ile elde edilen FFR değeri 35cm/dak ve 45cm/dak ile elde edilen değerlere göre daha düşük çıkmıştır. Bunun nedeni ise parametre değerlerinde en ideal kaynak arkının meydana gelmesi ve kaynak ısı girdisinin en optimal değerde olmasıdır.

Yapılan gaz emisyon ölçüm değerlerinde her üç kaynak hızı için kaynak akımı arttıkça NO_x gazı emisyonunun arttığı görülmüştür. En düşük NO_x değerleri 70A kaynak akımı ile elde edilmiştir. Genel kaynak dikiş ve boyutları değerlendirildiğinde en ideal kaynak akımı 100A'dır. 100A ve 45cm/dak kaynak parametreleriyle elde edilen NO_x emisyonunun 25cm/dak ile elde edilene göre biraz daha düşük olmasına rağmen NO_x ve FFR değerleri birlikte incelendiğinde en ideal parametrelerin 100A ve 25cm/dak olduğugörülmüştür

Çizelge 3.3 Deney Sonuçları

Deney No	Kaynak Akımı (Amper)	Kaynak Hızı (cm/dak)	Gerilim (Volt)	Süre (s)	Elektrot İlk Ağırlık (gram)	Elektrot Son Ağırlık (gram)	Filtre İlk Ağırlık	Filtre Son Ağırlık (Kurutma yok) (gram)	Filtre Son Ağırlık (Kurutma var) (gram)	Biriken Partikül Miktarı (kurutma yok) (gram)	Biriken Partikül Miktarı (kurutma var) (gram)	FFR (g/dk)	NO _x (Ağırlıklı Ortalama)
1	70	25	24.6	45.0	38.647	20.953	2.448	2.568	2.566	0.120	0.118	0.150	8.054
2	70	35	25.1	45.0	38.152	20.772	2.468	2.576	2.589	0.108	0.121	0.132	6.768
3	70	45	25.4	45.0	38.695	21.244	2.456	2.550	2.550	0.094	0.094	0.128	2.777
4	100	25	28.7	45.0	37.356	14.126	2.455	2.602	2.593	0.147	0.138	0.184	15.813
5	100	35	29.9	45.0	38.022	12.170	2.452	2.611	2.609	0.159	0.157	0.204	23.753
6	100	45	31.1	45.0	37.985	14.065	2.465	2.603	2.597	0.138	0.132	0.193	10.583
7	125	25	29.8	45.0	37.818	5.788	2.456	2.675	2.672	0.219	0.216	0.300	20.931
8	125	35	32.2	45.0	37.972	6.454	2.477	2.691	2.691	0.214	0.214	0.297	33.868
9	125	45	33.4	45.0	38.000	7.019	2.442	2.637	2.636	0.195	0.194	0.268	33.126
10 (1-2)	70	25	25.1	45.0	37.956	20.702	2.456	2.557	2.563	0.101	0.107	0.150	5.154
11 (2-2)	70	35	25.7	45.0	38.016	22.052	2.459	2.550	2.556	0.091	0.097	0.132	9.731
12 (3-2)	70	45	26.2	45.0	37.885	21.909	2.445	2.538	2.543	0.093	0.098	0.128	8.630
13 (4-2)	100	25	29.0	45.0	38.014	13.911	2.436	2.598	2.596	0.162	0.160	0.184	18.712
14 (5-2)	100	35	29.5	45.0	37.918	14.747	2.454	2.602	2.603	0.148	0.149	0.204	19.405
15 (6-2)	100	45	31.4	45.0	37.799	14.410	2.434	2.582	2.579	0.148	0.145	0.193	13.745
16 (7-2)	125	25	28.9	45.0	38.087	5.622	2.491	2.733	2.725	0.242	0.234	0.300	21.057
17 (8-2)	125	35	31.2	45.0	38.577	5.007	2.458	2.676	2.678	0.218	0.220	0.297	32.736
18 (9-2)	125	45	32.9	45.0	37.785	6.262	2.445	2.641	2.646	0.196	0.201	0.268	24.319
19 (1-3)	70	25	23.9	45.0	37.986	21.034	2.460	2.564	2.562	0.104	0.102	0.150	8.697
20 (2-3)	70	35	25.2	45.0	38.494	21.918	2.474	2.564	2.576	0.090	0.102	0.132	7.015
21 (3-3)	70	45	26.1	45.0	38.418	21.414	2.451	2.564	2.577	0.113	0.126	0.128	16.068
22 (4-3)	100	25	29.1	45.0	37.960	14.510	2.463	2.604	2.600	0.141	0.137	0.184	16.082
23 (5-3)	100	35	30.1	45.0	37.852	13.616	2.441	2.588	2.605	0.147	0.164	0.204	25.067
24 (6-3)	100	45	32.2	45.0	38.000	14.391	2.448	2.591	2.593	0.143	0.145	0.193	19.486
25 (7-3)	125	25	29.2	43.0	38.426	2.650	2.470	2.724	2.723	0.254	0.253	0.300	21.164
26 (8-3)	125	35	31.8	45.0	37.946	6.095	2.465	2.677	2.690	0.212	0.225	0.297	9.685
27 (9-3)	125	45	33.8	45.0	37.482	6.243	2.460	2.663	2.667	0.203	0.207	0.268	18.222

Çizelge 3.4 NO_x Analiz Değerleri

Parametre	Adj SS	Adj MS	F Değeri	P değeri
Kaynak Akımı	383.15	191.577	26.14	0.005
Kaynak Hızı	19.99	9.977	1.36	0.353
Hata	29.32	7.329		
Toplam	432.4			

Regresyon denklemi;

$$\begin{aligned} \text{NO}_x = & 16.691 - 8.59 \times \text{Kaynak Akımı (1)} + 1.38 \times \text{Kaynak Akımı (2)} \\ & + 7.21 \times \text{Kaynak Akımı(3)} - 1.62 \times \text{Kaynak Hızı (1)} + 1.98 \times \text{Kaynak Hızı (2)} \\ & - 0.36 \times \text{Kaynak Hızı (3)} \end{aligned} \quad (3.1)$$

Parametre etkileri (NO_x için);

Kaynak akımının NO_x oluşumunda etkisi %88.610'dir. Kaynak hızının NO_x oluşumunda etkisi ise %4.613'dir. Hata yüzdesi %6.780 olarak hesaplanmıştır ($R^2 = 0,9322$).

Çizelge 3.5 FFR Analiz Değerleri

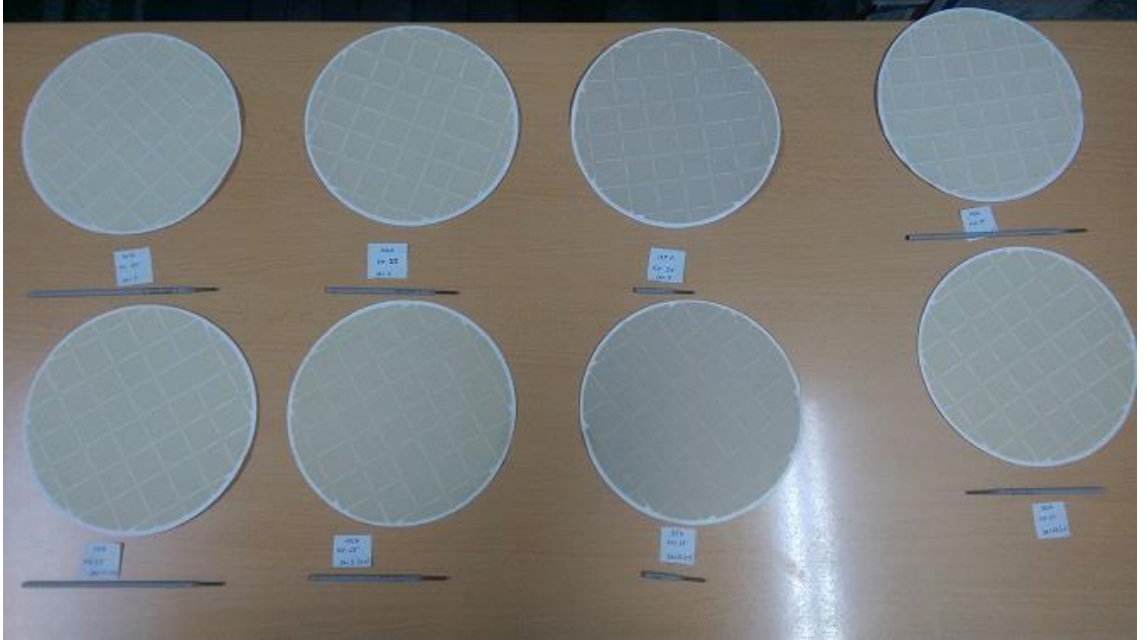
Parametre	Adj SS	Adj MS	F Değeri	P değeri
Kaynak Akımı	0.035214	0.017607	106.74	0.000
Kaynak Hızı	0.000440	0.000220	1.33	0.360
Hata	0.000660	0.000165		
Toplam	0.036314			

Regresyon Denklemi;

$$\begin{aligned} \text{FFR (g/dk)} = & 0,20622 - 0,06956 \times \text{Kaynak Akımı (1)} \\ & - 0.01256 \times \text{Kaynak Akımı (2)} + 0.08211 \times \text{Kaynak Akımı (3)} \\ & + 0.00511 \times \text{Kaynak Hızı (1)} + 0.00478 \text{ Kaynak x Hızı (2)} - 0.00989 \times \text{Kaynak Hızı (3)} \end{aligned} \quad (3.2)$$

Parametre etkileri (FFR için);

Kaynak akımının FFR oluşumunda etkisi %96.970'dir. Kaynak hızının FFR oluşumunda etkisi ise %1,213'dir. Hata yüzdesi %1.817 olarak hesaplanmıştır ($R^2 = 0,9818$).



Şekil 3.9 Filtrelerde Biriken Partiküller

Yapılan kaynaklar sonucunda filtrelerde biriken partiküller şekil 3.9 da gösterilmiştir.

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Gemi inşaatı sektörü gün geçtikçe büyüyen bir sektördür. Bu büyüme sonucunda her geçen gün daha fazla gemi ihtiyacı yaratmaktadır. Gemi artışına ek olarak gemi boyutlarında büyüdüğü düşünülürse, gelecekte imalattan kaynaklanan çok daha fazla emisyon üretiminin oluşacağı aşikardır.

Kaynak prosesi, ısıl prosesleri de içerdiğinden dolayı, işçilerin yüksek sıcaklıklara maruz kalması, oluşan kaynak dumanı ve elektriksel donanımların fazlalığı iş sağlığı ve güvenliği açısından son derece önemli bir durumdur. Elektrod eridiği zaman ortaya çıkan dumanda pek çok metal partikül bulunmaktadır. Bunun yanı sıra eriyen ana metaldeki oksit tabakası da bu dumana karışmaktadır. Kaynak işlemi başlı başına tehlikeli durumlar içermektedir. Sıcaklık, akı, radyasyon, gürültü, duman, gazlar, elektrik akımı, kaynak dumanı içerisindeki kimyasal tehlikeli içerikli gazlar, hem çalışan hem de çevre açısından son derece tehlikeli durumlar yaratabilmektedir. Kaynak dumanının kanser yaptığı konusunda kesin bulgular olmamakla beraber yapılan çalışmalarda etkisinin olduğu kesinleşmiştir [2].

Kaynak emisyonları ile ilgili birçok araştırmacı tarafından çeşitli bilim dallarında birçok yayın yapılmıştır. Bu emisyonlar kaynakçılar ve kaynak bölgesi çevresinde çalışan işçiler üzerinde kalıcı ve hatta ölüme götüren hasarlar bırakmaktadır. Özellikle Cr^{+6} emisyonu akciğer kanserinin en büyük nedenlerinden birisidir. Bu açıdan bakıldığında gemi imalatında ki kaynak miktarı düşünüldüğünde çok büyük bir emisyon miktarı ve bir o kadar da hayati risk taşımaktadır.

Bu çalışmada tersanelerdeki üretim proseslerinden karşımıza çıkan kaynak proses atıkları ve işçi sağlığına etkilerine değinilmiştir. Bu çalışmalar sonrasında yapılacak detaylı çalışmalar ile her prosese uygun koruyucu ekipman seçilmesi sağlanabilir ve bu sayede işçi maruz kalmaları azaltılabilir. Bunun yanı sıra işçilerin periyodik sağlık muayenelerinin yapılması ve işçiler üzerinde yapılacak tıbbi araştırmalar ve koruyucu hekimlik sayesinde bu proseslerin sağlık tehlikeleri minimuma indirilebilir. Teknolojinin gelişmesi ile geleneksel üretim yöntemlerine ve kullanılan malzemelere alternatif olarak çevre ve insana daha az zararlı malzemeler ve yöntemler geliştirilmektedir. Çevreyi, çalışanların sağlıklarını korumak ve tehlikeleri en aza indirmek için, tehlikeli atıkların ve kimyasalların minimum seviyede olduğu alternatif üretim yöntemleri uygulanmalıdır.

Çalışanların sağlığının korunması, önleyici metotlara ve bu metotların tutarlılığına bağlıdır. Kişisel korunma donanımları, işin durumuna ve kullanılan yönteme göre düzenlenmelidir. Atölye içerisinde gerçekleştirilen kaynak işleminde havalandırma sistemi iyi şekilde organize edilmiş olmalıdır. Özellikle ambar gibi kapalı yerlerde çalışılıyorsa, çalışma ortamı temiz havayla ve çalışan da uygun kişisel koruyucu donanımlar ve gaz maskeleriyle desteklenmelidir. Ortaya çıkan atık ve kirleticilerin azaltılması ya da çevre ve insan sağlığına zarar vermeyecek şekilde imhası son derece önemlidir.

Yapılan deneyler sonucunda kaynak hızı arttıkça FFR değerlerinin düşme eğiliminde olduğu gözlemlenmiştir. Kaynak dikişleri incelendiğinde en ideal kaynak dikişi görünümü ve boyutlarının 10A ile elde edildiği görülmüştür. Bu kaynak akımında düşük kaynak hızında elde edilen FFR değerinin daha yüksek kaynak hızlarına göre düşük çıkmasının sebebi olarak bu parametrelerde kaynak arkının daha ideal olması söylenebilir.

Her üç kaynak hızı için kaynak akımı arttıkça NO_x gaz emisyonunun arttığı görülmüştür. Sonuç olarak hem FFR hem NO_x gaz emisyonu birlikte değerlendirildiğinde 316L paslanmaz çeliğin INOX BWL elektrodu ile kaynağında en ideal parametrelerin 100A kaynak akımı ile 25cm/dak kaynak hızı olduğu görülmüştür.

KAYNAKLAR

- [1] Celebi, U.B., (2008). Gemi İnşaatında Atıklar ve Boya Emisyon Tahmini, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, FBE, Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- [2] NIOSH, (2002). "Nomination of Welding Fumes for Toxicity Studies", National Institute for Occupational Safety and Health, February 20, 2002.
- [3] L. Henning and J. Kinsey, (1994). "Development of Particulate and Hazardous Emission Factors for Welding Operations", Contract No. 68-DO-0123, Midwest Research Institute, Kansas City, MO.
- [4] Harris, I., ve Castner, H., (2003). "Mechanization and Automation of Welding and Cutting Processes to Reduce Fume Exposure", NSRP ASE Project, September.
- [5] Tezcan E., (2007). "Kaynak Teknolojisinde İş Sağlığı ve Güvenliği", TMMOB Makine Mühendisleri Odası Kaynak Teknolojisi VI.Ulusal Kongresi, Ankara, 11-16.
- [6] Mener, W.C., Rosen, P.L., Austin, D.M. ve Holt, W.S., (2001). "Shipyard Welding Emission Factor Development", 10th International Emission Inventory Conference -"One Atmosphere, One Inventory, Many Challenges" May 1 – 3.
- [7] Levchenko, O.G., (2001). "Mathematical modelling of the chemical composition and volume of formation of welding fume in arc welding", Welding International 2001, 15 (12) 993-995.
- [8] Risk and Technology Review (2007). Phase II Advanced Notice of Proposed Rule making Source Category Data Summary, Shipbuilding and Ship Repair Operations, March 19.
- [9] Matczak, W. ve Chmielnicka, J., (1989). "Methods for determining soluble and insoluble Cr III and Cr VI compounds in welding fumes", Pol J Occup Med. 1989;2(4):376-88.

- [10] Hewett, P., (1995a). "The particle size distribution, density, and specific surface area of welding fumes from SMAW and GMAW mild and stainless steel consumables". Am Ind Hyg Assoc J. 1995 Feb; 56(2):128-35.
- [11] Hewett, P.,(1995b). "Estimation of regional pulmonary deposition and exposure for fumes from SMAW and GMAW mild and stainless steel consumables". Am Ind Hyg Assoc J. 1995 Feb; 56(2):136-42.
- [12] Chung, K.Y.K. ve Carter, G.J., (1996). "Breathing zone sampling of welding fume", Journal of Aerosol Science, 27(1):347-348(2).
- [13] Kura, B., (1998). "Evaluation of Cr(VI) Exposure Levels in the Shipbuilding Industry", Final Report, GCRMTC.
- [14] Antonini, J.M., Clarke, R.W., Murthy, G.G.K., Sreekanthan, P., Jenkins, N., Eagar, T. W. ve Brain, J.D., (1998). "Freshly Generated Stainless Steel Welding Fume Induces Greater Lung Inflammation in Rats as Compared to Aged Fume", Toxicology Letters 98: 77–86.
- [15] Bosworth, M.R. ve Deam. R.T., (2000). "Influence of GMAW droplet size on fume formation rate" J. Phys. D: Appl. Phys. 33:2605–2610.
- [16] Zimmer, A T. ve Biswas, P., (2001). "Characterization of the aerosols resulting from arc welding processes", Aerosol Science 32, 993-1008.
- [17] Stopford, W., (2005). "Welding and Exposures to Manganese Assessment of Neurological Adverse Effects", Duke University Medical Center Department of Community & Family Medicine Division of Occupational & Environmental Medicine.
- [18] Fidaner, O., Kurtulmuş M., Yükler., A.İ., (2006). "Çeliklerin Elektrik Ark Kaynağında Duman". 11. Uluslararası Malzeme Sempozyumu. Denizli, 1008-1012.
- [19] Milli Eğitim Bakanlığı, Mesleki eğitim ve öğretim sisteminin güçlendirilmesi projesi, Elektrik ark Kaynağı, Ankara 2007.
- [20] Oerlikon, ark kaynak yöntemleri <http://www.oerlikon.com.tr>, 18 Şubat 2015.
- [21] Askaynak, kaynak yöntemleri <http://www.askaynak.com.tr>, 20 Şubat 2015.
- [22] Harris, I.D., (2001). "Reduction of Worker Exposure and Environmental Release of Welding Emissions Task 1 – Current Shipyard Practice to NSRP ASE Program" Advanced Technology Institute, Project No. 43149GTH/R-1/00, 2001 Ship Production Symposium and Expo.
- [23] Reading, C.J., (2002). "Fume Model For Gas Metal Arc Welding", Welding Journal, 85:95-103.
- [24] Blunt J., Balchin N. C., (2002). "Health and Safety in Welding and Allied Processes 5nd ed.", Woodhead Publishing Limited, Cambridge, England, 38-50.
- [25] Zimmer, A. T., Baron P. A., Biswas P., (2002). "The influence of operating parameters on number-weighted aerosol size distribution generated from a gas metal arcwelding process" Aerosol Science, 33: 519–531.

- [26] Jenkins N.T., Eagar T.W., (2005). "Chemical Analysis of Welding Fume Particles" Welding Journal, 84:87-93.
- [27] NOHSC welding, (1990). Fumes and gases, National Occupational Health and Safety Commission Australian Government Publishing Service, Canberra, Australian, 22-30.
- [28] Kahraman, F., Sever, K., Karadeniz, S., (2003). "Kaynaklı İmalatta İnsan Sağlığı", Mühendis ve Makine", 520:21-39.
- [29] Kaehn, I., Kibogy, J., Parette, D., Wischmeier, B., (2008). "Welding fume control: Regulation and Processes" Uni. Of Washington School of Public Health and Community Medicine. 1-18.
- [30] Auriol, E., Crowder, R.M., McKendrick, R., Rowe, R. ve Knudsen, T., (1999), "Integrating Case-based Reasoning and Hypermedia Documentation: An Application for the Diagnosis of a Welding Robot at Odense Steel Shipyard" Engineering Applications of Artificial Intelligence, 12:691-703.
- [31] Madden, S., Vanderveldt, H.H. ve Jones, J.,(1991), "The Intelligent Automated Welding for Shipyard Applications", National Shipbuilding Research Program, 1991 Ship Production Symposium Proceedings: Paper No. IIB-2.
- [32] Bilgin, M., B., (2001). Kaynak İşlerinde Güvenlik Ve Sağlık Sorunları, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli, 4-15.
- [33] Kaehn, I., Kibogy, J., Parette, D., Wischmeier, B., (2008) "Welding fume control: Regulation and Processes" Uni. Of Washington School of Public Health and Community Medicine. 1-18.
- [34] Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, Meslek Hastalıkları Rehberi, <http://www.csgb.gov.tr/csgbPortal>, 21 Şubat 2015
- [35] Koç M., (2009). Elektrik Ark Kaynağında Kaynak Gazı ve Dumanının Kaynak Parametrelerine Göre Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, FBE, Metal Anabilim Dalı, Ankara.
- [36] Avşaroğlu A., (2011). Boru Hatlarındaki Kaynaklı İmalat Çalışmalarında İş Güvenliği Risk Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, FBE, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Adana.
- [37] Oxhoj, H., Bake, B., Wedel, H., and Wilhelmsen, L., (1979). "Effects of electric arc welding on ventilatory function", Arch. Environ. Health 24:211-217).
- [38] Chinn, D., Stevenson, I., and Cotes, J., (1990). "Longitudinal respiratory survey of shipyard workers: effects of trade and atopic status", Br. J. Ind. Med., 47:83- 90.
- [39] Akbar-Khanzadeh, F., (1980). "Long-term effects of welding fumes upon respiratory symptoms and pulmonary function", J. Occup. Med., 22:337-341.
- [40] Liss, G. M., (1996). "In Health Effects of Welding and Cutting Fume- an Update", Canadian national workplace health and safety Ontario Ministry of Labour, ed.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Kutsi Mert ŞENÖZ
Doğum Tarihi ve Yeri : 13.03.1984
Yabancı Dili : İngilizce, Rusça
E-posta : mert.senoz@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	Makine Mühendisliği	Mustafa Kemal Üniversitesi	2008
Lise	Anadolu Lisesi	ATO Anadolu Lisesi	2002

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2011	MMK Metalurji Demir Çelik	Montaj ve Makina Bakım Mühendisi
2012	AdvanSA, SaSA Polyester Sanayi	Makina Bakım Mühendisi
2012	Çukurova Üniversitesi	Araştırma Görevlisi