



AH-36 Gemi İnşa Çeliğinin Metal Özlü Telle Gazaltı Kaynağında Kaynak Parametrelerinin CO₂ Gazı Emisyonuna Etkilerinin Analizi

Tolga MERT

Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Fakültesi, Türkiye
tmert@yildiz.edu.tr, ORCID ID: orcid.org/0000-0003-2407-3426

Öz

Kaynak, gemi inşasında, ağır sanayi ve imalat sektöründe sık kullanım alanı bulan birleştirme yöntemlerinin başında gelmektedir. Gazaltı kaynağı ise yüksek imalat hızlarına ulaşılabilmesi, örtülü elektrot ark kaynağına göre göreceli kolay kullanım sunması ve otomasyona uyumluluğu sayesinde kaynak yöntemleri içerisinde en çok tercih edilenlerin başında gelmektedir. Teknolojik avantajlarının yanında kaynak prosesinin bazı dezavantajları da mevcuttur. Kaynak dumanı emisyonu bunların en önemlilerindedir.

Bu çalışmada, farklı kaynak parametrelerinde, metal özlü tel kullanılarak gazaltı ark kaynak yöntemi ile düşük karbonlu yapı çeliği kaynağı gerçekleştirilmiş ve deneyler esnasında açığa çıkan CO₂ gazı emisyonu ölçülmüştür. Taguchi deney tasarımına göre yapılan deneylerde en yüksek ve en düşük CO₂ emisyonları, sırasıyla, 220 A ve 200 A akımlar, 25 cm.min⁻¹ ve 25 cm.min⁻¹ kaynak hızları, 20 mm ve 15 mm serbest tel boyları, 18 L.min⁻¹ ve 10 L.min⁻¹ gaz debileri, Ar+%20CO₂ ve Ar+%5CO₂ koruyucu gaz karışımları ile elde edilmiştir. Kaynak parametrelerinin etkileri, Taguchi ve varyans analizleri ile irdelenmiştir; ayrıca çalışan sağlığı ve çevre açısından da değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Gazaltı Kaynağı, Metal Özlü Tel, CO₂, Emisyon, Taguchi ve ANOVA.

Analysis of the Effects of Welding Parameters on CO₂ Gas Emission in Gas Metal Arc Welding of AH-36 Shipbuilding Steel with Metal Cored Wire

Abstract

Welding is one of the leading joining techniques, which is often utilized, in shipbuilding, heavy industry and manufacturing sector. Since it can reach high manufacturing rates, offer ease of use compared with shielded metal arc welding and compatibility with automation, gas metal arc welding is one of the most preferred welding methods. Besides its technological advantages, welding process has some drawbacks. Welding fume emission is one of the most important disadvantages.

In this study, welding of low carbon structural steel was performed by using metal cored wire applying gas metal arc technique at different welding parameters and CO₂ gas emission was measured. The highest and lowest CO₂ emissions in experiments, which were designed according to Taguchi, were obtained with 220 A and 200 A currents, 25 cm.min⁻¹ and 25 cm.min⁻¹ welding speeds, 20 mm and 15 mm electrode extensions, 18 L.min⁻¹ and 10 L.min⁻¹ flow rates, Ar+%20CO₂ ve Ar+%5CO₂ shielding gas mixtures, respectively. Effects of the welding parameters were examined using Taguchi and variance analyses and evaluated in terms of worker's health and the environment.

Keywords: Gas Metal Arc Welding, Metal Cored Wire, CO₂, Emission, Taguchi and ANOVA.

1. Giriş

Deniz taşımacılığındaki verimlilik ve düşük maliyet sebebiyle uluslararası yük taşımacılığının büyük bir kısmı denizyolları ile yapılmaktadır [1]. Günümüzde yaklaşık 1,4 milyar DWT'a ulaşan kapasitesiyle deniz ticaret filosu gün geçtikçe büyümektedir [2]. Gazaltı kaynağı, gemi inşa sanayii yanında makine imalatı, otomotiv sektörü, savunma sanayii vb. alanlarda da sıklıkla tercih edilmektedir. Bu tercihin başlıca nedenleri arasında ise göreceli kullanım kolaylığı, yüksek metal yığıma oranları ve otomasyona yatkınlık sayılabilmektedir. Tersanelerde, ark kaynak yöntemlerinden olan, örtülü elektrotla ark kaynağı, gazaltı ark kaynağı ve tozaltı ark kaynağı sıklıkla kullanılmaktadır. Günümüzde gazaltı kaynağının payı hızlı bir şekilde artmaktadır. Mevcut avantajlarının yanında, gazaltı kaynağında, morötesi ve kızılötesi ışımlar, sağlığa zararlı gazlar ve metal partikülü emisyonları (kaynak dumanı), ısı ve gürültü gibi tehlikeler bulunmaktadır. Işımların deri ve gözlerdeki olası olumsuz etkilerine karşı, uygun kıyafetler ve kaynak baş maskeleri kullanarak önlem alınabilmektedir. Karbondioksit, karbon monoksit, ozon, azot oksitler gibi solunması sağlığa zararlı gazlar ile hem mikro hem de nano boyutlu metal partiküllerinin meydana getirdiği kaynak dumanının insan sağlığına olan etkileri ya yeteri kadar bilinmemekte ve gerekli önlemler alınmamakta ya da olası olumsuz etkileri küçümsemektedir.

Literatürde kaynak dumanı üzerine gerçekleştirilen bazı çalışmalar mevcuttur ancak sayıları çok fazla değildir. Bu araştırmaların büyük çoğunluğunda gazaltı kaynak yöntemleri, daha küçük bir kısmında ise örtülü elektrotla ark kaynak yöntemi kullanılmıştır. Araştırmacıların bazıları kaynak dumanındaki metal partikülleri ve kimyasal analizleri üzerine çalışmışken çok daha az bir kısmı da kaynak dumanındaki gaz emisyonları üzerine araştırmalar gerçekleştirmiştir.

Örtülü elektrotla ark kaynağı ile çalışmalar yapan araştırmacılardan Mert vd. [3] rutil ve bazik örtülü elektrotla kaynakta, farklı kaynak akım şiddeti ve kaynak hızı parametreleriyle açığa çıkan duman emisyonu miktarlarını deneysel tasarım yöntemiyle analiz etmişlerdir. Mert vd. [4] yaptıkları diğer bir çalışmada, 316L paslanmaz çelik malzeme üzerine iki farklı paslanmaz elektrotla gerçekleştirilen deneylerde, akım şiddeti ve elektrot tipi faktörlerinin duman oluşum hızına etkilerini incelemişlerdir. Sowards vd. [5], selülozik ve bazik örtülü elektrotlarla yapılan kaynak işleminde, ısı girdisinin duman oluşum hızı üzerine etkilerini incelemişler ve açığa çıkan dumandaki metal partiküllerinin karakterizasyonunu gerçekleştirmişlerdir. Gazaltı kaynağı kullanan araştırmacılar Pires vd. [6] çeşitli koruyucu gaz karışımlarının meydana getirdiği duman oluşum hızlarını ve metal parçacıklarının kimyasal kompozisyon ve boyutlarını incelemişlerdir. Duman oluşum hızının metal transfer modu ile yakın ilişkili olduğunu ve ark sıcaklığının arttığı ve ark stabilitesinin azaldığı durumlarda duman oluşumunun arttığını belirtmişlerdir. Carpenter vd. [7] sprey transfer modunda onüç farklı koruyucu gazın duman oluşum hızları ve partikül kompozisyonları üzerine etkilerini araştırmışlardır. Pires vd. [8], yedi farklı Ar+CO₂, Ar+O₂ ve Ar+CO₂+O₂ gaz karışımının proses karakteristikleri ve duman oluşum hızları üzerine etkilerini incelemişlerdir; koruyucu gazdaki CO₂ ve O₂ artışı ile duman oluşumunun arttığını ve aynı oksidasyon potansiyeline sahip iki gaz karışımdan, O₂ içerene kıyasla, CO₂ içerene daha fazla duman oluşumuna sebep olduğunu belirtmişlerdir. Xin vd. [9] gazaltı kaynağında farklı kutuplama kullanımının duman oluşumuna etkilerini hem masif hem de özlü tel için araştırmışlardır. Srinivasan ve Balasubramanian [10], paslanmaz çeliğin gazaltı kaynağında ısı girdisinin duman oluşumu ve partikül

kompozisyonu üzerine etkilerini araştırmışlar. Araştırmacılar, tel besleme hızının duman oluşum hızını doğrudan etkilediğini fakat kaynak dumanının kimyasal kompozisyonunun ise bundan etkilenmediğini not etmişlerdir. Mert [11], metal özlü telle gazaltı kaynağında proses parametrelerinin metal partikülleri dumanı oluşumu üzerine etkilerini deneysel tasarım yöntemlerinden olan Taguchi metodu ve varyans analizi ile araştırmıştır. Castner [12] ise darbeli akımla gazaltı kaynağında duman oluşumunu araştırmıştır ve sabit akımla kaynak yapmak yerine darbeli akım kullanılmasının duman oluşumunu azaltma potansiyeline sahip olduğunu, darbeli akım ve sabit akımla elde edilen kaynak dumanlarındaki metal partiküllerin kompozisyonlarında kayda değer bir farklılığın olmadığını tespit etmiştir. Araştırmacı ayrıca bu iki farklı akım tipi için ozon gazı oluşumlarını da incelemiştir. Pires vd. [13], farklı tel elektrotlar, geleneksel gazaltı kaynağı, darbeli akım gazaltı kaynağı ve soğuk metal transferi (CMT) gibi farklı yöntemler ile farklı gaz karışımları kullanarak duman oluşum hızlarını ve açığa çıkan karbon monoksit, azot oksit ve azot dioksit gazlarının miktarlarını araştırmışlardır.

Bu çalışmada, gazaltı kaynağındaki karbondioksit (CO₂) emisyonu üzerine, kaynak akımı, kaynak hızı, serbest tel boyu, koruyucu gaz tipi ve koruyucu gaz debisi gibi parametrelerin etkileri deneysel olarak incelenmiş ve sonuçlar Taguchi ve varyans analizleri ile irdelenmiştir. Ayrıca CO₂'in insan sağlığı ve çevre üzerine olan etkileri de tartışılmıştır.

2. Deneysel

2.1. Malzeme ve Yöntem

Bu çalışmada düşük karbonlu yapı çeliği (ASTM A 131 AH-36), metal özlü tel (EN ISO 17632-A: T 42 3 M M 2 H8) kullanılarak gazaltı kaynak metoduyla kaynak edilmiştir. Tablo 1, ana malzemenin ve tel elektrodun kimyasal bileşimlerini göstermektedir. Deneyler, EN ISO 15011-1: 2009 [14] standardı yardımıyla özel olarak tasarlanmış ve imal edilmiş olan kaynak duman kabini (Şekil 1) içerisinde gerçekleştirilmiştir. Gazaltı kaynağı makinesi olarak su soğutmasına sahip ve %60 devrede kalmada 500A verebilen Expressweld MasterMIG 501W kullanılmıştır. Kaynak gerilimi 31V değerinde sabit tutulmuştur ve koruyucu gaz karışımları Witt KM 60-3 gaz karışım cihazıyla hazırlanmıştır. Kaynak torcu, dışarıdan bir tetikle çalıştırılabilecek şekilde duman kabininin içine sabitlenmiştir. Kaynak edilecek parçaya hareketi ise devri ayarlanabilen döner tabla vermiştir. Kaynak duman kabini içerisinde gerçekleştirilen kaynakların her biri 45 saniye sürmüştür ve toplamda 75 saniye gaz ölçümü gerçekleştirilmiştir. Kaynak esnasında gaz ölçümleri için Mobydick 5000 gaz analizörü kullanılmıştır ve ölçümler, kaynakçının solunum bölgesini temsil etmesi için, kaynak arkından yaklaşık 40 cm mesafeden alınmıştır.

Deneyler, Taguchi deney tasarım metodu ile tasarlanmıştır. Taguchi L16 ortogonal dizisi uygulanmış ve deneyler üç kez tekrar edilmiştir. Tablo 2'de beş proses faktörü (kaynak akımı, kaynak hızı, serbest tel boyu, koruyucu gaz debisi ve koruyucu gaz karışımı) ve bunların dört seviyesi gösterilmektedir.

Tablo 1. Ana Malzeme ve Metal Özlü Tel Elektrodun Kimyasal Bileşimleri (% ağı.)

Malzeme/Elektrot	C	Mn	Si	P	S
Düşük karbonlu çelik	0,18	1,30	0,45	0,035	0,035
Metal özlü tel elektrot	0,05	1,50	0,65	0,01	0,02



Şekil 1. Kaynak Duman Kabini (Sol) ve Gaz Analizörü (Sağ)

3. Deneysel Sonuçlar ve Tartışma

L16 Taguchi tasarımıındaki deneyler gerçekleştirildikten sonra deneyler esnasında ölçülen CO₂ miktarları ile Tablo 3 elde edilmiştir. Çalışan sağlığı ve çevrenin korunması açısından daha az kaynak dumanı ve dolayısıyla zararlı gaz oluşumu tercih edileceğinden, sinyal/gürültü (S/G) hesaplamalarında küçük daha iyi denklemi (Denk. 1) seçilmiştir. Denklem 1'den tekrarlı deney sayısını, Y ise cevap değişkeninin

Tablo 2. Deneysel Faktörler ve Seviyeleri

Sembol	Faktör	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3	Seviye 4
A	Kaynak akımı (A)	200	220	240	260
B	Kaynak hızı (cm.dk ⁻¹)	25	30	35	40
C	Serbest tel boyu (mm)	15	20	25	30
D	Koruyucu gaz debisi (L.dk ⁻¹)	10	14	18	22
E	Koruyucu gaz karışımı	Ar+%5 CO ₂	Ar+%10 CO ₂	Ar+%15 CO ₂	Ar+%20 CO ₂

Tablo 3. Faktörleri, Seviyeleri ve Deneysel Çıktıları Gösteren Deneysel Set

Deney	Faktör ve Seviyeler					Çıktı CO ₂ (% hac.)
	Akım (A)	Kaynak Hızı (cm.dk ⁻¹)	Serbest Tel Boy (mm)	Gaz Debisi (L.dk ⁻¹)	Koruyucu Gaz	
1	200	25	15	10	Ar+%5 CO ₂	0,193
2	200	30	20	14	Ar+%10 CO ₂	0,638
3	200	35	25	18	Ar+%15 CO ₂	1,179
4	200	40	30	22	Ar+%20 CO ₂	1,459
5	220	25	20	18	Ar+%20 CO ₂	1,474
6	220	30	15	22	Ar+%15 CO ₂	1,067
7	220	35	30	10	Ar+%10 CO ₂	0,511
8	220	40	25	14	Ar+%5 CO ₂	0,325
9	240	25	25	22	Ar+%10 CO ₂	0,821
10	240	30	30	18	Ar+%5 CO ₂	0,251
11	240	35	15	14	Ar+%20 CO ₂	1,221
12	240	40	20	10	Ar+%15 CO ₂	0,661
13	260	25	30	14	Ar+%15 CO ₂	1,291
14	260	30	25	10	Ar+%20 CO ₂	0,838
15	260	35	20	22	Ar+%5 CO ₂	0,286
16	260	40	15	18	Ar+%10 CO ₂	0,703

ölçülen değerini temsil etmektedir. S/G oranı hesabı ve varyans analizi (ANOVA) için Minitab 17 yazılımı kullanılmıştır.

$$S/G = -10 \log ((\sum Y^2)/n) \quad (1)$$

3.1. Taguchi Analizi

Taguchi tasarımının analiz edilmesiyle faktör seviyelerinin S/G oranları elde edilmiştir (Şekil 2). Tablo 4 ve Şekil 2'den, akım üçüncü seviyesinde, kaynak hızı ikinci seviyesinde, serbest tel boyu birinci seviyesinde, gaz debisi birinci seviyesinde ve gaz karışımı da birinci seviyesinde iken (A3B2C1D1E1), CO₂ miktarının en az miktarda olması için en uygun

parametre kombinasyonunun elde edildiği görülmektedir. Taguchi analizinde en etkili parametrenin gaz karışımı, en etkisiz parametrenin ise serbest tel boyu olduğu görülmektedir.

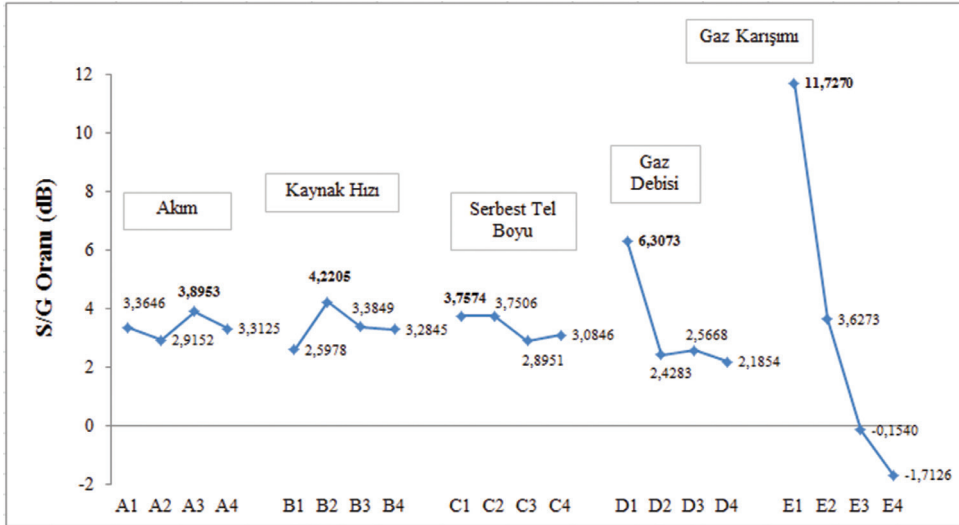
3.2. Varyans Analizi

Taguchi analizinden sonra faktörlerin etkisini tespit etmek için varyans analizi gerçekleştirilmiştir. Varyans analizinde, %95 güvenilirlik seviyesi ile genel doğrusal model temel alınmıştır. Ayrıca Taguchi analizinde en etkisiz olarak ortaya çıkan akım ve serbest tel boyu faktörleri dışındaki faktörler için varyans analizi gerçekleştirilmiştir.

%95 güvenilirlik seviyesi için p değeri,

Tablo 4. CO₂ Miktarı için S/G Oranları Cevap Tablosu

Seviye	A	B	C	D	E
1	3,3646	2,5978	3,7574	6,3073	11,7270
2	2,9152	4,2205	3,7506	2,4283	3,6273
3	3,8953	3,3849	2,8951	2,5668	-0,1540
4	3,3125	3,2845	3,0846	2,1854	-1,7126
Fark	0,9802	1,6227	0,8623	4,1219	13,4395
Sıralama	4	3	5	2	1



Şekil 2. CO₂ Miktarı için Faktör Seviyelerinin S/G Oranları

0,05 değerine eşit veya bu değerden küçük olması gerektiğinden, D ve E faktörleri istatistiki açıdan anlamlıdır. B faktörü için ise p değeri 0,05 değerinden büyüktür. Sıfır hipotezine göre, varyans analizindeki F değerlerinin, F-test tablolarından alınan F kritik değerlerinden büyük olmaları gerekmektedir. B faktörü için varyans analizinde F değeri 3,53'tür ve %90 güvenilirlik seviyesinde kritik F değeri $F_{0,1,3,6} = 3,29$ ve F değeri bu değerden büyük olduğundan, B faktörü %90 güvenilirlik seviyesinde istatistiki açıdan anlamlı olmaktadır. ANOVA analizinde belirleme katsayısı (R^2 (adj)) = %93,73 olarak bulunmuştur. Taguchi analizinde elde edildiği gibi en etkili faktör gaz karışımı (E) faktörüdür ve etki oranı %80,5 civarındadır. Gaz karışımı faktörünü gaz debisi faktörü (D) izlemektedir ve bu faktörün etki oranı ise %12,5 civarındadır. Kaynak hızı faktörünün (B) etki oranı ise %4,5 civarındadır ve toplam hata da yaklaşık %2,5'lik bir paya sahiptir.

Tablo 5. Varyans Analizi

Faktör*	Serbestlik derecesi	Adj SS	Adj MS	F-değeri	P-değeri	% Etki
B	3	0,12496	0,04165	3,53	0,088*	4,43
D	3	0,35457	0,11819	10,02	0,009#	12,57
E	3	2,27009	0,75670	64,17	0,000#	80,49
Hata	6	0,07075	0,01179			2,51
Toplam	15					100

*Faktörler A ve C, varyans analizine sokulmamıştır.

#En az %90 güvenilirlik seviyesi, *En az %95 güvenilirlik seviyesi

3.3. Doğrulama Deneyi

Taguchi analizine göre CO₂ gazı emisyonunun en az miktarda çıkması için öngörülen parametre kombinasyonu A3B2C1D1E1 olduğundan ve bu kombinasyon da L16 ortogonal tasarımda yer almadığı için doğrulama deneyinin yapılması gerekmektedir. 240 A kaynak akımı, 30 cm.dk⁻¹ kaynak hızı, 15 mm serbest tel boyu, 10 L.dk⁻¹ koruyucu

gaz debisi ve Ar+%5CO₂ gaz karışımı kullanılarak gerçekleştirilen doğrulama deneyinde CO₂ değeri % hacimsel 0,064 olarak ölçülmüştür. Bu sonuç da Taguchi deneysel tasarımını doğrulamaktadır.

4. Genel Sonuçlar

Bu çalışmada, metal özlü telle gazaltı kaynağında gerilim sabit tutularak, dört farklı seviye için akım, kaynak hızı, serbest tel boyu, koruyucu gaz debisi ve koruyucu gaz karışımı parametrelerinin, açığa çıkan CO₂ gazı emisyonuna olan etkileri araştırılmıştır. Deneilerin tasarlanmasında ve sonuçların analizinde Taguchi deneysel tasarım yöntemine ilaveten varyans analizi de kullanılmıştır.

- Deneilerde elde edilen CO₂ gaz ölçümleri, minimum %0,19 (hac.) ila maksimum %1,47 (hac.) arasında değişmiştir.

- Sinyal/gürültü (S/G) ve ANOVA analizleri, CO₂ gazı emisyonu için en önemli parametrenin koruyucu gaz karışımı

olduğunu ve bu faktörün etkisinin ~ %80 (en az %95 güvenilirlik seviyesi) olduğunu göstermiştir.

- Koruyucu gaz karışımı faktörünün yanında, koruyucu gaz debisi ve kaynak hızı faktörlerinin etki oranları sırasıyla, ~ %12,5 (en az %95 güvenilirlik seviyesi) ve ~ %4,5 (en az %90 güvenilirlik seviyesi) olarak hesaplanmıştır. İncelenen beş proses faktörü içinde akım ve serbest tel boyu

faktörlerinin ise istatistiki açıdan önemli olmadığını göstermektedir.

5. Tartışma ve Öneriler

Karbondioksit gazı, renksiz, kokusuz, patlayıcı olmayan basit boğucu bir gazdır. İş Güvenliği ve Sağlık İdaresi (OSHA), CO₂ için 8 saatlik sürede ortalama değer olarak 5000 ppm'i kabul etmektedir. Devlet Endüstriyel Hijyenistleri Amerikan Konferansı (ACGIH) ise CO₂ için zaman ağırlıklı ortalama eşik sınır değeri olarak 5000 ppm (%0,5 hac.) ve kısa süreli maruziyet için de eşik değeri olarak 30000 ppm (%3 hac.) değerini baz almaktadır. Amerikan Ulusal İş Sağlığı ve Güvenliği Enstitüsü (NIOSH) ise zaman ağırlıklı ortalama tavsiye edilen maruziyet sınırı olarak 10000 ppm, 10 dakikalık sürede ise 30000 ppm'lik tavan değerlerini benimsemekle birlikte, diğer kurumların önerdiği değerleri de uygun bulmaktadır [15].

Karbondioksitin solunması, kardiyovasküler sistem ile solunum sistemini hedef almaktadır ve bunun bazı yan etkileri mevcut bulunmaktadır. Bu yan etkiler arasında baş ağrısı, baş dönmesi, solunum güçlüğü, mide bulantısı ve kusma, kırılganlık, kalp atış hızında ve kan basıncında artış sayılabilmektedir [16], [17]. %8'den fazla CO₂ konsantrasyonları ani dolaşım yetersizliklerine sebep olabilmektedir [16]. Deneylerde ölçülen CO₂ emisyonu değerleri, ani dolaşım yetersizliklerini tetikleyecek seviyede olmamakla birlikte elde edilen ölçümlerin çoğunda, 5000 ppm'lik zaman ağırlıklı ortalama eşik sınır değerinin üzerine çıktığı görülmüştür. Bu ölçüm sonuçları, kısa süreli maruziyet eşik değerinin altında ancak kayda değerdir; dolayısıyla önleyici ve koruyucu tedbirler gerekmektedir. Bu tedbirlerin başında özellikle, kaynak yapılan yerde yeterli havalandırmanın ve duman emiliminin sağlanması, ayrıca kaynak yapılan işletmenin genel olarak havalandırılması gerekmektedir. Ayrıca aktif karbonlu ağız

maskeleri, filtreli yarım yüz veya solunum destekli tam yüz maskeleri gibi kişisel koruyucu donanımların da kullanımı önem arz etmektedir.

Karbondioksit emisyonunun başlıca kaynakları olarak, sanayi tesisleri, konutlar ile kara, hava ve deniz ulaşım araçları sayılabilmektedir; dolayısıyla her sektörde ve alanda karbondioksit emisyonlarını azaltmak önceliklerin arasında olmalıdır. Mukavemet ve kalite gereksinimlerinin karşılanması koşuluyla, kaynakta da en düşük gaz emisyonunu veren parametrelerle çalışmak hem çalışan sağlığının hem de çevrenin korunması açısından önem arz etmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü (Proje no: 2013-06-01-GEP01 ve 2013-10-01-KAP05), Türk Loydu ve Kaynak Tekniği San. ve Tic. A.Ş. (Askaynak) tarafından desteklenmiştir.

Kaynaklar

- [1] Talay, A. A., Deniz, C. ve Durmuşoğlu, Y. (2014). Gemilerde verimi arttırmak için uygulanan yöntemlerin CO₂ emisyonlarını azaltmaya yönelik etkilerinin analizi, *Journal of ETA Maritime Science*, 2(1):61-74.
- [2] Keçeci, T. ve Arslan, Ö. (2014). Gemi kazalarına neden olan köprü üstü kaynaklı eksikliklerin istatistiksel açıdan incelemesi, *Journal of ETA Maritime Science*, 2(1):41-46.
- [3] Mert, T., Bilgili, L., Şenöz, K. M., Çelebi, U. B. and Ekinci, S. (2016). The effect of parameter selection on fume formation rate in SMAW of AH-36 shipbuilding steel and analysis with ANOVA Method, *Energy, Transportation and Global Warming*, Springer.
- [4] Mert, T., Şenöz, K. M., Bilgili, L., Çelebi, U. B. ve Ekinci, S. (2016). Investigation

- of fume formation rate in SMAW of 316L stainless steel with different electrodes using Taguchi and Anova, *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, 4(2):291-296.
- [5] Sowards, J. W., Lippold, J. C., Dickinson, D. W. and Ramirez, A. J. (2008). Characterization of welding fume from SMAW electrodes — Part I, *Welding Journal*, 87(4):106-s-112-s.
- [6] Pires, I., Quintino, L., Miranda, R. M. ve Gomes, J. F. P. (2006). Fume emissions during gas metal arc welding, *Toxicological & Environmental Chemistry*, 88(3):385-394.
- [7] Carpenter, K. R., Monaghan, B. J. ve Norrish, J. (2009). Analysis of fume formation rate and fume particle composition for gas metal arc welding (GMAW) of plain carbon steel using different shielding gas compositions, *ISIJ International*, 49(3):416-420.
- [8] Pires, I., Quintino, L. ve Miranda, R. M. (2007). Analysis of the influence of shielding gas mixtures on the gas metal arc welding metal transfer modes and fume formation rate, *Materials & Design*, 28(5):1623-1631.
- [9] Xin, H., Geng, Z. ve North, T. (2001). Fume generation during solid and metal cored wire welding, *Welding Journal*, 80(7):173s-183s.
- [10] Srinivasan, K. ve Balasubramanian, V. (2011). Effect of heat input on fume generation and joint properties of gas metal arc welded austenitic stainless steel, *Journal of Iron and Steel Research International*, 18(10):72-79.
- [11] Mert, T. (2017). The analysis of the effect of parameters in gas metal arc welding of structural steel with metal cored wire on welding fume using Taguchi method and ANOVA, *Fresenius Environmental Bulletin*, 26(1):133-139.
- [12] Castner, H. (1995). Gas metal arc welding fume generation using pulsed current, *Welding Journal*, 74(2):59s-68s.
- [13] Pires, I., Quintino, L., Amaral, V. ve Rosado, T. (2010). Reduction of fume and gas emissions using innovative gas metal arc welding variants, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 50(5):557-567.
- [14] EN ISO Standardı 15011-1. (2009). Health and safety in welding and allied processes — Laboratory method for sampling fume and gases Part 1: Determination of fume emission rate during arc welding and collection of fume for analysis.
- [15] Centers for Disease Control and Prevention (2017). The National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) Carbondioxide. Erişim Tarihi: 01 06 2017, <http://www.cdc.gov/niosh/pel88/124-38.html>.
- [16] The Linde Group. (2017). Carbondioxide safety data sheet. Erişim Tarihi: 01 06 2017, http://www.linde-gas.com/internet.global.lindegas.global/en/images/Compressed%20carbon%20dioxide17_24354.pdf?v=1.0..
- [17] Centers for Disease Control and Prevention (2017). The National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) Carbondioxide. Erişim Tarihi: 01 06 2017, <http://www.cdc.gov/niosh/npg/npgd0103.html>.