

Kaynak İşçilerinde Mesleki Maruziyetin Toksikolojik Sorunları

Toxicological Issues of Occupational Exposure in Welding Workers

¹Dilek TOKAÇ^a, ²Merve BACANLI^b, ³Sevtaç AYDIN DİLSİZ^a, ⁴Nurşen BAŞARAN^a

^aHacettepe Üniversitesi Eczacılık Fakültesi, Farmasötik Toksikoloji ABD, Ankara, TÜRKİYE

^bSağlık Bilimleri Üniversitesi Gülhane Eczacılık Fakültesi, Farmasötik Toksikoloji ABD, Ankara, TÜRKİYE

ÖZET Metallerin kesilmesi ve birleştirilmesi işlemlerinde kolay ve hızlı bir teknik olan kaynak yöntemi, imalatçılar ve tamirciler tarafından yaygın olarak kullanılmaktadır. Dünyada milyonlarca insan kaynak işleminde sağlıksız ve güvensiz şartlar altında çalışmaktadır. Kaynakçılıkta işin niteliğine bağlı uygulanan kaynak yöntemi, kaynak yapılan malzemenin kimyasal yapısı, yanma gazı, akım şiddeti, ark gerilimi, kaynak hızı ve süresi, ana malzeme üzerindeki kaplama maddeler ve boyalar, kaynaktaki kullanılan elektrodun yapısı gibi etkenlere bağlı riskler oluşmaktadır. Kaynakçılıktaki temel olası tehlikeler; toz, kaynak gazı ve dumanı gibi iş yeri ortam havasının kirliliği, elektromanyetik radyasyon, elektrik, gürültü, yangın ve patlama olmakla birlikte kaynakçıların kaynak dumanı yoluyla, önemli toksik metaller (Pb, Ni, FeO, Cu, Cd, F, Mn, Cr gibi) ve gazlara (CO, NO, O₃) maruz kaldıkları gösterilmiştir. Kaynak dumanının genel toksik etkileri, kaynak yapılan ortam havasında bulunan toksik gaz ve metallerin cinsine, konsantrasyonuna, maruz kalınan düzeylerine ve sigara içme alışkanlıklarına bağlı olarak değişebilir. Kaynak işçilerinde görülen bronşit, hırıltılı solunum, bozulmuş pulmoner fonksiyon, kronik obstrüktif akciğer hastalığı, metal duman ateşi, akciğer kanseri, nörotoksisite ve böbrek toksisitesi gibi sağlık sorunları ile kaynak işlemi sırasında açığa çıkan kaynak dumanı maruziyeti arasında güçlü bir ilişki olduğu gözlemlenmiştir. Bu derleme kapsamında, kaynak işçilerinde kaynak dumanına mesleki maruziyete bağlı olası toksik etkiler kapsamlı olarak değerlendirilecek, kaynak dumanından korunma yöntemleri ve yasal düzenlemeler hakkında bilgi verilecektir.

ABSTRACT The welding process, an easy and fast technique for cutting and joining metals, is widely used by manufacturers and repairers. Millions of people around the world work under unhealthy and insecure conditions in the welding process. Depending on the nature of the work in welding, the welding process creates risks related to the factors such as chemical structure of the welding material, combustion gas, current intensity, arc voltage, welding speed and time, coating substances and paints on the main material, the structure of the electrode used in welding. The main potential hazards in welding are the pollution of the workplace air such as dust, welding gas and fumes, electromagnetic radiation, electricity, noise, fire and explosion, as well as welders are shown to be exposed to crucial toxic metals and gases through welding fumes. General toxic effects of welding fumes may vary depending on the type and concentrations of toxic gases and metals, their exposed levels, and smoking habits. It has been observed that there is a strong relationship between the exposure of welding smoke during welding process and the health problems such as bronchitis, wheezing, impaired pulmonary function, chronic obstructive pulmonary disease, metal smoke fever, lung cancer, neurotoxicity, and renal toxicity in welders. In this review, the possible toxic effects of welding fumes due to occupational exposure in welding workers will be evaluated comprehensively and the information for the protection methods from welding fumes and the legal regulations will be given.

Anahtar Kelimeler: Kaynak yapma; kaynak dumanı; iş sağlığı; toksisite

Keywords: Welding; welding fumes; occupational health; toxicity

Kaynak işlemi, malzemeleri birbiri ile birleştirmek amacıyla dolgu malzemeler yardımıyla iki aynı veya farklı metalin ısı ve basınç etkisi ile birleştirilmesi işlemine denir. Kaynak işleminde; gaz alevi, elektrik arki, lazer, elektron ışını, sürtme, ultra ses

dalgaları gibi çeşitli enerji kaynakları kullanılabilir. Gaz kullanılarak yapılan kaynak yönteminde parçaların birleşme yerlerini ergime sıcaklığına kadar ısıtmak üzere asetilen (C₂H₂), hidrojen (H₂), metan (CH₄), propan (C₃H₈), bütan (C₄H₁₀) vb. gazlar kullanılır.

Correspondence: Sevtaç AYDIN DİLSİZ

Hacettepe Üniversitesi Eczacılık Fakültesi, Farmasötik Toksikoloji ABD, Ankara, TÜRKİYE/TURKEY

E-mail: sevtaçay@hacettepe.edu.tr



Peer review under responsibility of Türkiye Klinikleri.

Received: 19 Aug 2019

Received in revised form: 07 Nov 2019

Accepted: 16 Dec 2019

Available online: 03 Mar 2020

2630-5569 / Copyright © 2020 by Türkiye Klinikleri. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Yanmayı çabuklaştırmak ve daha yüksek ısı elde etmek amacıyla ayrıca oksijen (O₂)'den yararlanır.^{1,2}

Elektrik kullanılarak yapılan kaynak yönteminde güçlü bir elektrik akımı devresinde kısa bir boşluk aralığında elektrik arkı oluşur. Oluşan ark sonrasında çok yüksek bir sıcaklığa (~4.000°C) ulaşılır. Uygulamada hem ana metal hem de dolgu metal eritilir. Örtülü elektrik ark kaynaklarında üzeri örtü maddeleriyle kaplanmış elektrot çubukları kullanılır. Gaz altı kaynaklarında argon (Ar), helyum (He), karbondioksit (CO₂) ve bunların karışımlarından oluşan inert gazlar kullanılır. Toz altı ark kaynağında yanıcı olmayan bir malzeme kaynak elektrodunun kaynak yapılacak bölge ile temas ettiği noktaya akıtılır ve kaynak yapılan nokta üzerinde bir örtü oluşturulur. Toz altı doldurma kaynağında SiO₂, MnO, CaO, MgO, Al₂O₃, CaF₂ gibi toz maddeler kullanılır. Nokta veya punta kaynağında kaynak olacak parçaların elektrik akımı geçişine direncinden faydalanılır. Elektron ışın kaynağında elektron tabancasından çok yüksek hız ile yön verilen yoğunlaştırılmış elektron ışınlarının kinetik enerjilerinden yararlanır. Bu eritme esaslı kaynak işlemi özellikle nükleer endüstrisinde ve havacılık sanayisinde tercih edilir. İşlem sırasında X ışınları oluşur. Derin penetrasyon gerektiren uygulamalarda lazer kaynağı, yüksek verimliliği, düşük dalga boyu ve sürekliliği gibi önemli özelliklerinden dolayı tercih edilir. Robot kaynakçılığı, endüstride verimi ve kaliteyi artırmak amacıyla teknik açıdan zor, fiziki hasara neden olabilen ve yorucu işlerde, sağlıksız ve tehlikeli ortamlarda çalışmayı gerektiren durumlarda insan gücüne alternatif oluşturmak için ortaya çıkan bir uygulamadır.²⁻⁶

KAYNAK İŞLEMİNDE POTANSİYEL TEHLİKELER

Dünyada milyonlarca insan kaynak işleminde sağlıklı ve güvensiz şartlar altında çalışmaktadır. Kaynakçılık, sanayide çalışan nüfusun yaklaşık %2'sinin uğraştığı en yaygın mesleklerden biridir.^{7,8} Kaynakçılık mesleğinde görülen başlıca tehlikeler; toz, kaynak gazı ve dumanı gibi hava kirleticileri, kaynak yapımı sırasında oluşan zararlı ışınlar (yoğun ark ışınmasında oluşan kızılötesi-IR ve mor ötesi-UV ışınlar

gibi), gürültü, elektrik kaynaklı tehlikeler, yangın, patlama ve ergonomik kaynaklı stresler olarak sayılabilir (Tablo 1).^{2-4,9-12}

Kaynakçılıkta işin niteliğine bağlı uygulanan kaynak yöntemi, kaynak yapılan malzemenin kimyasal yapısı, yanma gazı, akım şiddeti, ark gerilimi, ark boyu, kaynak hızı ve süresi, ana malzeme üzerindeki kaplama ve boyalar, kaynak malzemelerinin niteliği, kaynakta kullanılan elektrodun yapısı gibi etkenlere bağlı riskler oluşmaktadır.⁵ Kaynakçılıkta bazı metaller ve kullanılan elektrot birleştirilmek üzere 4.000°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda ısıtılır ve bu elektrottan kaynaklı buharlaşan bir duman oluşur. Buharlaşan metaller hava ile reaksiyona girerek solunabilir büyüklükte metal oksit partikülleri oluşturur. Kaynak endüstrisinden atmosfere her yıl yaklaşık 5.000 ton kaynak dumanı salındığı tahmin edilmektedir.¹³⁻¹⁵

FİZİKSEL ETKENLER

Isı: Kaynak arkı, yöntemine göre değişen yüksek sıcaklıklara sahiptir. Kuvvetli ısı ve kıvılcıklar kaynakçılarda yanıklara ve göz yaralanmalarına neden olabilir. Ayrıca ısıya aşırı maruziyet, ısı stresi veya ısı çarpmasına yol açabilir. Sonucunda yorgunluk, baş dönmesi, iştah kaybı, kusma, abdominal ağrı ve huzursuzluk gibi belirtiler gözlemlenir.^{10,12}

TABLO 1: Kaynak işlemine bağlı olası tehlikeli etkenler.

Duman (metal partikülleri)	Gazlar	Radyan enerji	Fiziksel etkenler
Alüminyum	Argon	Görünür	Isı
Bakır	Asetilen	Infrared	Gürültü
Baryum	Azotoksit	UV	Titreşim elektrik
Berilyum	Azotdioksit		
Çinko	Etil bromür		
Demir	Fosfin		
Florür	Fosgen		
Kadmiyum	Helyum		
Kalsiyum oksit	Hidrojen		
Krom	Karbondioksit		
Kurşun	Karbonmonoksit		
Magnezyum	Ozon		
Manganez	Propan		
Molibden			
Nikel			
Silika			
Titanyum			

Gürültü: Yapılan kaynağın türüne göre gürültünün düzeyi değişmektedir. Kaynak işlerinde ortalama olarak 85-105 dB (A) düzeyinde gürültü oluşmaktadır.¹⁶ Yüksek sese maruziyet kaynakçılarda işitme sorununa, strese ve kan basıncında artışa neden olup, kalp ve dolaşım bozukluklarını tetikleyebilir. Uzun süre gürültülü ortamda çalışmak kaynakçıları yorgun ve sinirli yapabilir. Gürültü düzeyi arttıkça, oluşan işitme kaybı artar ve iyileşme süresi uzar. Sürekli işitme kayıpları genellikle 90 dB (A) üzerindeki gürültü düzeylerinde oluşur. Oluşan işitme kayıpları sinirsel tipte bir kayıp olduğundan iyileşme gözlenmez ve kalıcı sağırılık oluşabilir.^{5,6,10}

Titreşim: Kaynak işlemi sırasında çalışma pozisyonu ve titreşime bağlı olarak sırt ve omuz ağrısı, tendinit, kas güçsüzlüğü, karpal tünel sendromu ve diz rahatsızlıkları yaşanabilir.⁶

Elektrik: Kaynak işleminde elektrik çarpması, bir kaynak makinesinin verebileceği en büyük gerilim değeri olan boşta çalışma gerilimi nedeni ile oluşur. Çalışanların dikkatsizliği ile oluşan elektrik çarpması sonucu ölümlere, çeşitli yanıklara ve elektrik şokundan dolayı kişinin düşmesi sonucu ciddi yaralanmalara neden olabilmektedir.⁵⁻⁷

RADYANT ENERJİ (UV, GÖRÜNÜR VE IR IŞINLAR)

Kaynak yaparken oluşan ark enerjisinin yaklaşık %15'i ışın şeklinde çalışma ortamına yayılır. Bu ışınların yaklaşık %60'ı kızılötesi, %10'u ise morötesi ışınlardır. Kaynak ve kesme işlemlerinde ortaya çıkan ışınlardan çalışanların en çok cilt ve gözleri etkilenir. Kaynak işleminde oluşan radyasyon ışınları ciltte tahriş ve yanıklara neden olabilir ve yanık sonucu cilt kanseri riskini artırabilir. Gözde kornea ve retinanın etkilenmesine, giderek körlük ve katarakt gibi kalıcı göz hasarlarına yol açabilir.^{5,7}

KİMYASAL ETKENLER

Metaller ile yapılan kaynak işlemi esnasında oluşan, çalışanların sağlığı açısından zararlı olabilecek kimyasal tehlikeler arasında toz hâlinde partikül (Pb, Ni, FeO, Cu, Cd, F, Mn, Cr gibi metal partikülleri) ve gaz (CO, NO, O₃) içeren kaynak dumanı en önemlisidir (Tablo 2).¹⁷⁻¹⁹ Metallerin birleşmesi sırasında elektrotlar erirken kaynak yüzeyini oksidasyona karşı koruyan gaz üretilir ve kaynak işlemi esnasında buharlaşır.²⁰ Buharlaşan metaller hava ile reaksiyona girer ve solunabilecek büyüklükte metal oksitler partikülleri oluşturur.²¹ Kaynak dumanının içerdiği gaz-

TABLO 2: Kaynak dumanında bulunan metaller ve ortaya çıkan gazlar.

A) Kaynak dumanında bulunan metaller	PEL	B) Kaynak işlerinde ortaya çıkan gazlar	PEL
Alüminyum (Al) ve tozları	15 mg/m ³	Argon (Ar)	-
Bakır (Cu) tozları,	0.5 mg/m ³	Asetilen (C ₂ H ₂)	200 ppm
Cu dumanı	0.1 mg/m ³	Azot oksit (NO)	25 ppm
Baryum (Ba) tuzları	0.5 mg/m ³	Azot dioksit (NO ₂)	1 ppm
Berilyum (Be)	2 µg/m ³	Etil bromür (C ₂ H ₅ Br)	200 ppm
Çinko oksit (ZnO) dumanı	5 mg/m ³	Fosfin (PH ₃)	0,3 ppm
Demir oksit (FeO) dumanı	10 mg/m ³	Fosgen (COCl ₂)	0,1 ppm
Flor (F), inorganik formu	2,5 mg/m ³	Helyum (He)	-
Kadmiyum (Cd)	0,1 mg/m ³	Karbondioksit (CO ₂)	5.000 mg/m ³
Kalay (Sn), inorganik formu	2 mg/m ³	Karbonmonoksit (CO)	55 mg/m ³
Kalsiyum (Ca) oksit	5 mg/m ³	Ozon (O ₃)	0,1 ppm
Krom (Cr) ve çözünmeyen tuzları	1 mg/m ³	Propan (C ₃ H ₈)	1.000 ppm
Kurşun (Pb), inorganik formu	0.05 mg/m ³		
Magnezyum (Mg) oksit	15 mg/m ³		
Manganez (Mn) bileşikleri ve dumanı	5 mg/m ³		
Molibden (Mo) ve çözünmeyen bileşikleri	15 mg/m ³		
Nikel (Ni) ve çözünmeyen bileşikleri	1 mg/m ³		

PEL: Amerika İş Güvenliği ve Sağlığı İdaresi [Occupational Health and Safety Administration (OSHA)] izin verilen maruziyet sınırı; TWA: Zaman ağırlıklı ortalama.
<https://www.osha.gov/dsg/annotated-pels/index.html>

lar ve metal oksitler ultra ince (0.10 µm'den küçük) partiküller şeklindedir. Bu partiküller kolaylıkla terminal bronşiyollere ulaşır.²⁰ Kaynak dumanında bulunan 1 µm'den küçük metal oksitler, F ve Cl gibi okside olmamış bileşikler ve mikro ve nanopartiküller akciğerlere absorbe olabilir. Oluşan ince partiküllerin yarısından fazlasının 0,3-0,6 µm aralığında olduğu ve bu boyutlardaki parçacıkların küçük havayolları ve alveollerde birikerek akciğerlerde hasara neden olabileceği, ayrıca akciğerlere ulaşan ve hasara neden olan bu partiküllerin hızla çözünüp kan dolaşımına katılabildiği bildirilmektedir.^{17,18} Kaynak dumanında bulunan çözünmeyen partiküller ise trakeabronşiyal alanda birikir. Bu partiküller siliyer hücreler ile uzaklaştırılır.^{17,18,20-22}

Kaynak ağızı açılması, metal malzemelerin taşınması, kesilmesi, kaynak ağzının taşlanması gibi işlemler sonucu aerodinamik eş değer çapı 0,1-5,0 mikron büyüklüğünde olan solunabilir toz partikülleri oluşur. Ortam havasına karışan bu parçacıklardan metal oksit dumanları uzun süre havada asılı kalır ve havanın hareket etmesine bağlı olarak iş yeri ortamında dağılarak her yere ulaşabilir. Havadaki tozun kütle miktarı, partikül sayısı ve çapı, partiküllerin kimyasal bileşimi ve şekli, yoğunluğu, aerodinamik özellikleri ve dağılımı maruziyeti etkiler.^{23,24}

Kaynakçılıkta gözlenebilen toksik etkiler; kullanılan yöntem, malzeme gibi teknik etkenler, havalandırma koşulları, koruyucu ekipmanın varlığı ve niteliği, çalışma şartları ve süresi gibi çevresel etkenler, sigara ve alkol kullanımı gibi kişisel etkenler ile yakından ilişkilidir.²⁴ Kaynak sonucu oluşan kimyasal maddelerin söz konusu tehlikeleri; havalandırma, çalışılan mekânın hacmi, kaynak yöntemi, elektrot malzemesi, dolgu metalleri, kaynak yapılan metallerin üzerindeki boya ve diğer kaplamalar gibi çalışılan yerin ve kullanılan malzemelerin özelliklerine bağlıdır.⁶

Kronik kaynak dumanı maruziyetinde ortamda ortalama toz konsantrasyonu 4 mg/mm³'tür, ancak kısa süreli yoğun maruziyet sonrası 100 mg/mm³'e kadar çıkabilmektedir. Toz oluşturması açısından, kaynak teknikleri arasında da fark gözlenmektedir. Gaz metal ark kaynakçılığında 0,5 g/dk toz oluştuğu, ark kaynakçılığında ise ortalama 4 g/dk ile daha yük-

sek miktarda toz meydana gelebildiği kaydedilmiştir.¹⁸

Kaynakçılıkta çok çeşitli tehlikeler olmasına rağmen kaynak süresince oluşan metal dumanı ve zehirli gazlar diğer tehlikelere kıyasla en zararlı etkenlerdir.¹¹ Kaynak yapım sırasında oluşan kimyasal maddelerin, özellikle solunum yollarına zararı önemlidir. Kaynak ve kesme işlemlerinde ark sıcaklığının etkisi ile çeşitli gazlar ortaya çıkar. Ayrıca gaz kaynağı işlemlerinde kullanılan C₂H₂, C₃H₈, C₄H₁₀, CH₄ gibi yanıcı gazların O₂ gazıyla yanması sonucu CO, CO₂ ve NO gibi gazların yanı sıra kullanılan dolgu malzemesi ve üzerinde işlem yapılan ana malzemeye bağlı olarak Zn, Cu, Cd, Pb gibi metallerin partikül ve buharları ile F, Cl esaslı gazlar meydana gelmektedir.^{5,10,11}

KAYNAK DUMANLARININ SAĞLIK ÜZERİNE ZARARLI ETKİLERİ

Kaynak dumanı başlıca buharlaşan metalin çok küçük partiküllere yoğunlaşması ile oluşan havada süspand hâldeki metalleri ve çok sayıda bileşeni içerir. Kaynak dumanındaki metaller ve bileşenlerin varlığı, metallerin buhar basıncı, kaynama noktası gibi fizikokimyasal özelliklerine ve ayrıca kaynak sıcaklığı, kaynak materyalinin tipi, kaynak materyalindeki metal konsantrasyonuna da bağlıdır. Dumanda bulunan elementlerin konsantrasyonları, kaynak malzemesindekinden çok farklı olabilir, çünkü Fe ve Mn gibi düşük kaynama noktasına sahip elementlerin duman içindeki oranları artabilir. Buharlaşan metal O₂ ile karşılaşınca oksitlenir, bu nedenle kaynak dumanının başlıca bileşenleri, kullanılan elektrot çubuğun üretiminde kullanılan metallerin oksitleridir. Oksijen bu elementler ile çeşitli formlarda metal oksitler oluşturur. Örneğin Fe₃O₄, FeCr₂O₄, K₂CrO₄, K₂FeO₄, K₂MnO₄, MnFe₂O₄, Na₂CrO₄, NiO.^{2,14}

Kaynak işlemi süresince CO, O₃, NO, NO₂ gibi çeşitli toksik gazlar oluşabilmektedir.¹⁰ Kaynak üzerinden geçen Ar, He veya CO₂ gibi inert gazların karışımı ile eriyen metal, havadaki oksijen ve azota karşı korunur.²⁵ Bu koruyucu gazlar arka üretilen UV radyasyonunu şiddetlendirebilir ve bu da O₃ ve NO, NO₂ oluşumuna yol açar. Koruyucu gaz içinde bulunan CO₂ redüklenerek daha dayanıklı ve daha toksik

olan CO'ya dönüşür.²⁶ Tablo 2'de, kaynak işlerinde ortaya çıkan gazlar ve kaynak dumanında bulunan metallerin iş yerinde Amerika İş Güvenliği ve Sağlığı İdaresi [Occupational Health and Safety Administration (OSHA)] tarafından izin verilen maruziyet sınır (PEL) değerleri verilmiştir.²⁷

Kaynak dumanına maruz kalmak akciğerlerde immün reaksiyonlara neden olabilir ve pulmoner kaynaklı sitokinler, kardiyovasküler sistem, santral sinir sistemi ve üreme sistemi gibi diğer sistemlerdeki dokuları etkileyebilir. Çözünür metaller ve kaynak partikülleri akciğer dokularından kan veya lenfatik sisteme geçerek diğer dokuların işleyişini etkileyebilir.²⁸

Kaynak dumanı gözleri ve solunum yolu epiteli tahriş edebilir; görme bozukluğu, koku alma yetisinde azalma, öksürük, hırıltılı soluk, nefes darlığı, bronşit, akciğerde su toplanması ve pnömoni gibi ciddi sağlık sorunlarına neden olabilir. Ayrıca mide bulantısı, iştahsızlık, kusma, kramplar ve sindirim zorlukları gibi belirtiler de görülebilir.^{5,10}

SOLUNUM SİSTEMİ ÜZERİNE TOKSİK ETKİLERİ

Kaynak dumanının solunum yollarındaki akut etkileri havayolu irritasyonu, akut bronşit, metal dumanı ateşi, akut kimyasal pnömoni, hipersensitivite pnömonisi, mesleksi astımdır. Kronik etkileri ise kronik bronşit, kronik pulmoner fonksiyon bozuklukları, pnömokonyoz, akciğer kanseri ve mesleksi astımdır. Sigara içen ve havalandırma koşulları kötü olan ortamlarda çalışan ve koruyucu önlemlere dikkat etmeyen kaynak işçilerinde solunum fonksiyonlarının daha çok bozulduğu bildirilmektedir.^{8,10,18,20,29,30}

Kaynak dumanında bulunan O₃'ün akciğerlerde serbest radikal oluşumuna neden olduğu, düşük konsantrasyonlarda pulmoner iritan etkisine bağlı olarak kısa ve hırıltılı solunum, göğüste sıkışma, pulmoner ödem gibi toksik etkilere neden olabileceği bildirilmektedir. Diğer bir akciğer toksitesine neden olan kaynak dumanı gazı da NO₂'dir. Kaynak dumanı ile maruziyetinde NO₂'in solunum işlevini azalttığı gösterilmiştir.³¹

Kaynak dumanına uzun süreli maruz kalan kişilerde ortaya çıkan, hem havayolları hem de akciğer dokusunu tutan solunum yolu maruziyeti hastalığına

“kaynakçı akciğeri” denmektedir. Diğer pnömokonyozların aksine kaynakçı akciğerinde tozdan korunma tedbirlerine dikkat edilmesi sonucu klinik tablonun gerileyebileceği belirtilmektedir.^{8,25}

Metal Duman Ateşi

Kaynakçılarda en sık gözlenen akut solunum yolu hastalığı, kaynak sırası ve sonrasında meydana gelebilecek ve gribe benzer bir hastalık olan kısa süreli “metal dumanı ateşi”dir. Hastalığın sebebi genellikle ZnO dumanlarının solunmasıdır. Bununla birlikte aynı klinik belirtiler Cu, Mg, Cd ve Al gibi metallerin dumanının solunmasıyla da görülmektedir. Metal dumanı ateşinin, galvanizli Zn kaplı çelik veya diğer Zn alaşımları birleştiren veya kesen kaynakçılar arasında sık görüldüğü bildirilmektedir.^{1,4,32,33}

Maruziyetten yaklaşık 4 saat sonra ateş, titreme, susuzluk, kuru öksürük, ağızda tatlı veya metalik bir tat, nefes darlığı, hâlsizlik, kırgınlık, kas ağrıları, baş ağrısı, mide bulantısı gibi belirtiler ortaya çıkabilir. Genellikle maruziyetin başlangıcından 24-48 saat sonra belirtilerin kendiliğinden düzelebileceği belirtilmiştir.³²

Sitokinler gibi proinflamatuvar mediyatörlerin metal dumanı ateşi belirtilerinden sorumlu olduğu düşünülmektedir. Galvanizli çelik kaynağı yapan işçilerden alınan bronkoalveoler lavaj sıvısında, kontrollerine kıyasla tümör nekrozis faktör-alfa, interlökin (IL)-1, IL-6 ve IL-8 konsantrasyonlarının yüksek olduğu bildirilmiştir. ZnO dumanı solunmasından sonra makrofajların aktive olarak metal dumanı ateşinin gelişmesinden sorumlu farklı proinflamatuvar sitokinlerin salınımına neden olduğu iddia edilmektedir.³⁴

Kronik Obstrüktif Akciğer Hastalığı

Kronik obstrüktif akciğer hastalığı (KOAH), önlenemez ve tedavi edilebilir, ancak morbidite ve mortalite oranı yüksek ve geri dönüşümlü olmayan ilerleyici bir hastalıktır. Kaynak dumanı, en önemli KOAH nedenleri arasında yer alır. Kaynak dumanına maruz kalma şiddeti ve süresi, sigara içme alışkanlığı ile birlikte KOAH riskini etkilemektedir.^{35,36} Sigara kullanan kaynak işçileri ile kullanmayanlar kıyaslanmış; kullananlarda kronik bronşit oranının yüksek olması, sigaranın solunum sistemi üzerindeki

irritan etkisi ile ilişkilendirilmiş, ancak kaynak dumanı maruziyetinin de tek başına solunum sistemi etkilenmelerine yol açabileceği ileri sürülmüştür.^{14,37} Kaynak dumanı maruziyetinin solunum sistemi problemlerine neden olduğu ve prognozu kötüleştirdiği, kronik bronşit gelişiminde rol oynayabileceği belirtilmiştir.³⁸

Astım

Kaynak dumanına maruziyette mesleki astım gelişebilir, ayrıca astım hastalarında da alevlenmeler gözlenebilir. Kaynak dumanında bulunan Co'nın alveollerde neden olduğu aşırı duyarlılık astım ile ilişkilendirilmektedir.³⁹

KARSİNOJENİSİTE

Yapılan gözlemsel ve deneysel çalışmalardan elde edilen kanıtlar ışığında kaynak dumanı ve UV radyasyonu insanlarda karsinojenik (Grup I) olarak sınıflandırılmıştır.⁴⁰ Kaynak dumanı tarafından üretilen UVA ışınlarının malign melanomda önemli bir etken olduğu bildirilmektedir. Uzun süre ark kaynağı maruziyetinden sonra ortaya çıkan bazal hücreli karsinoma ve skuamoz hücreli karsinoma ile ilgili çeşitli vaka raporları yayımlanmıştır.⁴¹⁻⁴⁴ Kaynaktaki UV radyasyonunun oküler melanom ile ilişkilendirildiği bildirilmektedir.^{45,46}

Kaynakçıların tozlu ortama bağlı olarak mide kanseri riski taşıdığı da bildirilmiştir.⁴⁷ Çeşitli çalışmalarda, kaynak dumanlarındaki Cr⁺⁶ ve Ni inhalasyonuna bağlı olarak akciğer kanseri rapor edilmiştir. Yirmiden fazla vaka kontrol çalışması ve yaklaşık 30 mesleki veya popülasyon bazlı kohort çalışması dâhil olmak üzere çoğu çalışmada, kaynak dumanı veya kaynak dumanlarına maruz kalan çalışanlarda akciğer kanseri riskinin artmış olduğu bildirilmiştir.⁴³ Popülasyon bazlı kohort bir çalışmada 12.845 kaynakçılık çalışanında akciğer, mezotelyoma, burun, beyin, mide, böbrek, mesane ve oküler kanser gelişme riski değerlendirilmiştir. Çalışmada, kaynakçılar arasında akciğer kanseri, mezotelyoma, mesane ve böbrek kanseri riskinin yüksek olduğu bildirilmiştir.⁴⁸

GÖZ ÜZERİNE TOKSİK ETKİLERİ

Ark kaynağı oküler melanom için bir risk faktörü olan UV ışık üretir. Kaynak esnasında oluşan UV

ışınlarının göz yorgunluğu, yırtılma, fotofobi, bulanık görme ve gözlerde batma hissi, katarakt ve keratokonjonktivit gibi etkilere neden olabildiği bildirilmektedir.⁴⁹⁻⁵¹

DERİ VE BAĞ DOKU ÜZERİNE TOKSİK ETKİLERİ

Kaynak işlemi sırasında oluşan UV ışınlar cilt tarafından kolayca absorbe edilebilir. Bu ışınların yarattığı hasarın şiddeti; kaynak işlemi, maruz kalma süresi ve uzaklığı, ışık ve dalga boyu, deri hassasiyeti, hassaslaştırıcı ajanların varlığı gibi faktörlere bağlıdır. Kaynakçılarda sıklıkla metal ve UV ışınlarla bağlı yanıklar, yara izleri ve deride eritemler gözlenmektedir.⁴⁴

Ark kaynağı, UVA (400-315 nm), UVB (315-280 nm) ve UVC (280-100 nm) dâhil olmak üzere UV ışınlarının tüm spektrumunu üretir. Epidemiyolojik veriler, UVA'nın malign melanom gelişimi için önemli bir faktör olabileceğini göstermektedir. UVB ise deri hücrelerinde eritem, DNA hasarı ve buna bağlı olarak cilt kanserlerine neden olabilir. UVC ışınlarının neden olabileceği toksik etkiler hakkındaki veriler sınırlı olmakla birlikte, UVB ışınları gibi ciltte kanserojen etkisinin mümkün olabileceği ileri sürülmektedir.^{44,45}

Kaynak yapımında oluşan Cr, Ni, Zn, Co, Cd ve Mo bileşikleri ciltte duyarlılığa ve tahrişlere neden olur. Korunma tedbirlerini uygulamayan kaynakçılarda Ni maruziyeti sonucu ekzema vakaları bildirilmiştir. Cr dumanı, duyarlı kişilerde alerjik dermatite neden olabilir.¹²

SİNİR SİSTEMİ ÜZERİNE TOKSİK ETKİLERİ

Belirli mesleklerde çalışan işçilerde gözlenen psikiyatrik belirtilerin Pb, Al ve Mn gibi kaynak dumanı bileşenlerine bağlı olarak ortaya çıkabileceği düşünülmektedir. Kaynak dumanında bulunan Mn, "manganizm" adı verilen klinik nörolojik sendroma neden olmaktadır.¹² Fazla miktarda kaynak dumanına maruz kalan işçilerde, manganizm, Parkinson hastalığı ve diğer önlenebilir nörolojik rahatsızlıkların görülme riski olduğu bildirilmiştir.⁵² Parkinson hastalığı sıklığının araştırıldığı bir çalışmada, 811 kaynak işçisinde kontrol grubuna kıyasla yüksek bulunduğu görülmüştür. Kaynakçılarda kaynak maruziyet yılı ve Parkinson hastalığı arasında U şeklinde bir doz-

yanıt ilişkisi gözlenmiştir.⁵³ Mn içeren kaynak dumanına maruziyetin, doz bağımlı olarak Parkinson, üst ekstremitte bradikinezi, ekstremitte sertliği, konuşma ve yüz ifadesinde bozulma gibi etkilere neden olabileceği iddia edilmiştir.⁵⁴

Kaynakçılarda yapılan birçok çalışmada, Al'nin santral sinir sistemindeki olumsuz etkileri gösterilmiştir. Çözünür Al parçacıklarına maruziyet ile bilişsel bozukluklar, subjektif bellek ve konsantrasyon güçlükleri, ruh hâli değişiklikleri ve beynin elektriksel aktivitesinde değişiklikler gözlemlendiği bildirilmiştir.⁵⁵

Köprü iskelelerinin yapımında çalışan kaynakçıların nörodavranışsal testlerinde eksiklikler, depresyon, anksiyetede artış tespit edilmiştir.⁵⁶

BÖBREKLER ÜZERİNE TOKSİK ETKİLERİ

Kaynak dumanı yüksek konsantrasyonlarda Cd içermektedir. Böbrek üzerine toksisitesinden sorumlu olabileceği düşünülmektedir. Kaynak dumanına maruziyette Cd, böbrek başta olmak üzere çeşitli organlarda hızla konsantre olur. Kaynakçılar, sigara içen kaynakçılar, diyabetik kaynakçılar, sigara içen diyabetik kaynakçılar ve kontrol şeklinde onar kişilik 5 grubun dâhil olduğu bir çalışmada, sisten C, kreatinin, üre ve ürik asit gibi böbrek hasar göstergelerinin plazma düzeylerinin, kontrol bireylerine göre anlamlı olarak daha yüksek olduğu görülmüştür.⁵⁷ Metal dumanlarının işçilerde renal intestinal alkalin fosfataz sentezini ve oksidatif stresi artırdığı bildirilmiştir.⁵⁸ Solunum havasında bulunan 5-86 µg/m³ metal dumanının üriner renal tübüler biyobelirteç olan β₂-mikroglobulini önemli ölçüde artırdığı gösterilmiştir.⁵⁹ Bir tersanede çalışan kaynak işçilerinde böbrek hasar parametrelerinin yükseldiği ve idrar Al, Cr, Fe ve Ni seviyelerinin anlamlı yüksek olduğu bulunmuştur.⁶⁰

KARDİOVASKÜLER SİSTEM ÜZERİNE TOKSİK ETKİLERİ

Kaynakçılar, metal oksitlerden oluşan ince parçacıklara yüksek miktarlarda maruz kalmaktadırlar. Bu partiküle materyallerin kalp hastalığı riskini artırdığına dair çalışmalar bulunmaktadır. Kaynak işçilerinde miyokard infarktüsü gözlenme sıklığı oranı %95, iskemik kalp hastalığı için standardize mortalite oranı da %95 olarak rapor edilmiştir.^{61,62}

Kaynakçılar da dâhil olmak üzere inşaat işçileri ile yapılan bir çalışmada, kaynak dumanına maruziyetin gece boyunca kalp hızında değişkenliğe yol açtığı, çalışırken solunan metal parçacıklarının başta aritmiler olmak üzere çeşitli etkilere neden olduğu bildirilmiştir.⁶³

Yüz bir kaynakçı ve 127 kontrol grubunun dâhil edildiği bir çalışmada, kontrol grubuna göre 10 kat daha fazla partiküle maruz kalan kaynak işçilerinde sistolik ve diyastolik kan basıncının ortalama 5 mmHg daha yüksek olduğu gözlenmiştir.⁶⁴

ÜREME SİSTEMİ ÜZERİNE TOKSİK ETKİLERİ

Kaynak işlemi sırasında ağır metaller maruz kalan işçilerde üreme sistemi bozuklukları rapor edilmiştir. Özellikle Cr dumanına maruz kalan kaynak işçilerinde, azalmış libido ve sperm sayısı gibi etkiler gözlenmiştir. Sperm kalitesi ve hacmi ile idrar Cr konsantrasyonu arasında ters ilişki olduğu tespit edilmiştir. Çeşitli epidemiyolojik ve hayvan çalışmalarından elde edilen veriler, kaynak dumanında bulunan Pb'nin, değişen konsantrasyonlarda erkek üreme sisteminde spermatogenez, sperm işlev parametreleri ve üreme hormonları gibi parametreler üzerinde toksik etkiye neden olduğunu göstermektedir.^{65,66}

Kaynak işçilerinde yapılan çalışmalarda, özellikle paslanmaz çelik ile çalışanlarda sperm miktarının azaldığı ve üreme problemlerinin ortaya çıktığı belirtilmiştir. Buna bağlı olarak kaynakçı eşlerinin geç gebelik veya çocuk düşürme olaylarında da artış saptanmıştır. Bu tür etkilerin aynı zamanda Al, Cr, Ni, Cd, Fe, Mn ve Cu gibi metaller, azotlu gazlar ve O₃ gibi gazlara, ısıya ve iyonlaştırıcı radyasyona korunmasız kalındığı durumlarda da ortaya çıkabileceği belirtilmektedir.^{3,66,67}

KAYNAK DUMANINDAN KORUNMA YÖNTEMLERİ VE YASAL DÜZENLEMELER

Türkiye'de iş güvenliği ve sağlığı ile ilgili uygulamaların yasal dayanağı 6331 sayılı 30.06.2012 tarihli Resmî Gazete'de yayımlanan "İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu"dur. İş güvenliği kapsamında, iş kazalarını önlemek ve güvenli çalışma ortamını sağlamak için alınacak önlemler yer almaktadır. İş sağlığı kapsamında, meslek hastalıkları ve işle ilgili hastalıklar

söz konusudur. Meslek hastalığı, işin yürütümü esnasında iş yeri maruziyetleri sonucu ortaya çıkan, nedensel bir ilişkinin olduğu hastalıktır. İş ile ilgili hastalıklar ise sadece bilinen ve kabul edilen meslek hastalıkları değil, aynı zamanda oluşumunda ve gelişiminde çalışma ortam ve biçiminin diğer sebepler arasında önemli bir etmen olduğu hastalıklardır.⁶⁸

Ülkemizde kaynaklı imalat yapan birçok işletme olduğu ve bunların büyük çoğunluğunun küçük ve orta boyllu işletmeler olduğu bildirilmektedir. SSK yıllık istatistikleri incelendiğinde, iş kazası ve meslek hastalıklarının küçük işletmelerde daha yüksek oranda gerçekleştiği gözlenmektedir.⁶⁹ Kaynak işlemlerinde birçok tehlike mevcuttur. Bunlar elektrik, elektromanyetik alan, ışınlar, yangın ve patlamalar, kaynak dumanı, sıcak yüzey, kullanılan gazlara bağlı tehlikeler, taşlama işlemlerine bağlı tehlikeler, çekiçleme ve darbeleme işlemine bağlı tehlikeler, ergonomik zorlanmalar, gürültü, kapalı ortamda çalışma ve yüksek platformlarda çalışmaya bağlı tehlikelerdir.^{69,70}

Elektrik çarpmasına karşı alınabilecek önlemler; kabloların fiziksel hasara uğramayacak ve ıslak alanlardan uzak yerlerden geçirilmesi, elektrot kutusunun hasarsız olmasını garanti altına almak için periyodik olarak kontrol edilmesi, kaynak penslerinin akımı geçirmeyecek şekilde izole edilmesi, topraklamanın yapılması, nemli alanlarda metale teması önlemek için lastik veya tahta altlıkların kullanılması, kaçak akım rölesinin kullanılması ve kullanılmadığı durumlarda elektriğin kesilmesidir. Ayrıca elektrik akımının geçtiği iletken çevrede elektromanyetik alan oluşmaktadır. Çalışma sırasında bu alandan uzakta bulunulmalıdır.⁷¹

Kaynak esnasında ark enerjisinden kaynaklı ışınlardan korunmak için kişisel korunma önlemleri alınmalıdır. Çevredekilerin zarar görmemesi için işin yapıldığı alan izole ve uygun uzaklık mesafesinde olmalıdır.⁷⁰ Kaynak esnasında oluşan kıvılcıklar ve sıcak yüzey, yakınlardaki başka yanıcı maddeleri tutuşturabilir. Etraftaki yanıcı toz, gaz ya da sıvıların, ortamdaki oksijen miktarına bağlı olarak oluşan kıvılcıkların etkisiyle patlamalar yaşanabilir. Buna karşı alınacak önlemler; iş yerinde sigara içiminin önlenmesi, açık alevin yasaklanması, kıvılcım sıçrama-

larına karşı fiziksel önlemlerin alınması, yanmaz malzeme ve mekânların kullanılması, tüplerin basınç ve gaz patlamalarına karşı zincirlenmesi, oksijen kaçaklarının önlenmesi, aletlerde kaçak olmadığının kontrol edilmesi, yangın alarmı, yangın söndürme cihazı, yangın battaniyesi gibi malzemelerin hazır bulundurulmasıdır.^{70,71}

Kaynak işlemleri esnasında temel tehlike, ortam havasını kirleten toz ve gazların meydana getirdiği kirliliktir. 6331 sayılı Kanun kapsamında çalışanların yaptıkları iş nedeni ile maruziyetlerinin önlenmesi ve tozdan kaynaklanan tehlikelerden korunması için gerekli tüm tedbirlerin alınması amacıyla 05.11.2013 tarihinde “Tozla Mücadele Yönetmeliği” yürürlüğe girmiştir. Bu yönetmelik ile uygun iş organizasyonunun yapılması, toplu koruma yöntemlerinin uygulanması, toz çıkışını önleyecek uygun mühendislik yöntemlerinin kullanılması, iş yerinin çalışma şekli ve yapılan işe göre ihtiyaç duyulan yeterli temiz havanın bulunması, alınan önlemler yetersiz kaldığında çalışanlara uygun kişisel koruyucu donanımın verilmesi ve kullanılmasını sağlamak zorunlu kılınmıştır. Alınan önlemlerin etkililiği ve sürekliliği için yeterli kontrol ve denetimler ile birlikte risk değerlendirmesi de yapılmalıdır.²⁷

Kaynak işlemi esnasında ortaya çıkan hava kirleticiler ortamda bulunan kişileri doğrudan etkilerken, uzakta bulunanları da dolaylı yoldan etkiler. Bu kirleticilerin uzaklaştırılabilmesi ve izin verilen sınırlara düşürülebilmesi için uyulması gereken kurallar vardır. Bunlar; kaynakçı başına 284 m³ hava sağlanması, tavan yüksekliğinin 5 m’den fazla olması, mümkün olduğunca kapalı ortamda çalışılmaması, çalışılan ortamda hava akımını engelleyecek fiziksel yapıların olmaması, genel havalandırma ile beraber bölgesel havalandırmanın da kullanılması, kullanılan lokal havalandırmanın kaynağa 60 cm uzaklıkta ve 30 m/dk hızda olması, kaynak işinin ayrı bir bölümde yapılmasıdır.⁶⁹

Kaynak işlemleri esnasında oluşan bireysel maruziyetten korunmak için çalışanların; uygun maske, başlık, koruyucu elbise, güvenlik ayakkabısı, deri önlük, koruyucu tozluk, alçak gerilime dayanıklı eldiven, koruyucu gözlük, gürültüye karşı kulak koru-

yucu tikaçlar gibi koruyucu ekipmanları kullanmaya özen göstermesi gerekmektedir.⁷⁰

Karşılaşılan bu tehlikeler ve buna bağlı yaşanacak sağlık sorunlarına karşı çeşitli yasal düzenlemeler ile bazı sınırlamalar getirilmeye çalışılmıştır. “Ağır ve Tehlikeli İşler Yönetmeliği”nde kaynak işlerinde kadınlar ve 18 yaş altı çocukların çalıştırılmayacağı bildirilmiştir.² Sağlık Kuralları Bakımından Günde Ancak Yedi Buçuk Saat veya Daha Az Çalışması Gereken İşler Hakkında Yönetmelik² gereğince, her çeşit koruyucu gaz altında yapılan kaynak işleri ile toz altı kaynak işlerinde çalışan işçilerin günde yedi buçuk saat çalışabileceği belirtilmiştir.⁷⁰

İş güvenliğini sağlamak her ne kadar yasal bir sorumluluk olsa da aynı zamanda insani bir görevdir. Hem çalışanlar hem de iş verenler, riski en aza indirmek için korucu önlemlere gereken özeni göstermelidir.

SONUÇ

Kaynakçılık mesleğinde çalışanlar, kaynak yapımı sırasında ortaya çıkan zararlı ışınlara, gürültüye, elektrik kaynaklı tehlikelere, yangın, patlama ve ergonomik kaynaklı tehlikelere maruz kalmaktadır. Kaynak yapımı esnasında çeşitli ağır metaller, ozon, CO, CO₂, azot oksitler gibi birçok toksik madde oluşmakta ve solunum havasına karışabilmektedir. Kaynak süresince oluşan metal dumanı ve zehirli gazlar diğer tehlikelere kıyasla en zararlı etkenlerdir. Kaynak dumanındaki bu metallerin ve toksik gazların serbest radikal oluşumuna ve oluşan serbest radikallerin de lipid peroksidasyonu ve DNA hasarına neden olduğu bilinmektedir. Kaynak dumanının genel toksik etkileri, kaynak yapılan ortam havasında bulunan toksik gaz ve metallerin cinsine, konsantrasyonuna ve maruz kalınan düzeylerine bağlı olarak değişebilir. Kaynak yapımı sırasında oluşan kimyasal maddelerin, özellikle solunum yollarına zararı büyüktür. Ayrıca göz ve deri üzerine, sinir sistemi, üreme sistemi, kardiyovasküler sistem ve renal sistem üzerine

önemli toksik etkileri bulunmaktadır. Kaynak dumanı ve UV radyasyonu, insanlarda karsinojen olarak sınıflandırılmıştır.

Sonuç olarak, kaynak işçilerinde mesleki maruziyete bağlı olası zararlı etkilerin ön görülmesi önemlidir. Kaynak atölyelerinde sağlık ve güvenlik sorunlarını azaltmak için öncelikle risk analizleri yapılmalı, ikinci aşamada önem derecesine göre tehlike kaynakları tespit edilmeli ve sağlık riskleri ortaya konmalıdır; bu veriler ışığında, bu riskleri en aza indirmek üzere gerekli limit-eşik değerlere uygunluğu sağlayacak yasal düzenlemelerin yapılması gereklidir.

Teşekkür

Bu derleme Dilek Tokaç'ın “Kaynak İşçilerinde Mesleki Maruziyete Bağlı Olası Oksidatif Stres Göstergelerindeki Değişikliklerin İncelenmesi” konulu doktora tez çalışmasının bir ürünüdür.

Finansal Kaynak

Bu çalışma sırasında, yapılan araştırma konusu ile ilgili doğrudan bağlantısı bulunan herhangi bir ilaç firmasından, tıbbi alet, gereç ve malzeme sağlayan ve/veya üreten bir firma veya herhangi bir ticari firmadan, çalışmanın değerlendirme sürecinde, çalışma ile ilgili verilecek kararı olumsuz etkileyebilecek maddi ve/veya manevi herhangi bir destek alınmamıştır.

Çıkar Çatışması

Bu çalışma ile ilgili olarak yazarların ve/veya aile bireylerinin çıkar çatışması potansiyeli olabilecek bilimsel ve tıbbi komite üyeliği veya üyeleri ile ilişkisi, danışmanlık, bilirkişilik, herhangi bir firmada çalışma durumu, hissedarlık ve benzer durumları yoktur.

Yazar Katkıları

Fikir/Kavram: Dilek Tokaç, Sevtap Aydın Dilsiz, Nurşen Başaran; **Tasarım:** Sevtap Aydın Dilsiz, Merve Bacanlı, Nurşen Başaran; **Denetleme/Danışmanlık:** Sevtap Aydın Dilsiz, Merve Bacanlı, Nurşen Başaran; **Analiz ve/veya Yorum:** Dilek Tokaç, Sevtap Aydın Dilsiz, Merve Bacanlı, Nurşen Başaran; **Kaynak Taraması:** Dilek Tokaç, Sevtap Aydın Dilsiz, Merve Bacanlı, Nurşen Başaran; **Makalenin Yazımı:** Dilek Tokaç, Sevtap Aydın Dilsiz, Nurşen Başaran; **Eleştirel İnceleme:** Sevtap Aydın Dilsiz, Nurşen Başaran; **Kaynaklar ve Fon Sağlama:** Sevtap Aydın Dilsiz, Nurşen Başaran.

KAYNAKLAR

1. Anık S. [Kaynak Tekniği El Kitabı]. İstanbul: Gedik Eğitim Vakfı Kaynak Teknolojisi Eğitim Araştırma ve Muayene Enstitüsü; 1991. p.250. [Link]
2. Messler RW. Principles of Welding: Processes, Physics, Chemistry and Metallurgy. 1st ed. Kanada: Wiley-VCH; 1999. p.662. [Crossref] [PubMed]
3. Aydın M. [Elektron ışın kaynak yöntemi] Electron beam source method. DPÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi. 2003;5 (1):213-27.
4. Püskülcü G, Koçulular F. [Laser welding method and applications]. Teknolojik Araştırmalar: MTED. 2009;50(599):8-17.
5. Meo SA, Al-Khlaifi T. Health hazards of welding fumes. Saudi Med J. 2003;24(11):1176-82. [PubMed]
6. AFSCME Health and Safety Fact Sheet, Welding Hazards. [Erişim tarihi: 01.02.2018]. [Link]
7. Hariri A, Paiman NA, Leman AM, Yusof M. Development of welding Fumes Health Index (WFHI) for welding workplace's safety and health assessment. Iran J Public Health. 2014;43(8):1045-59.
8. Cömert M, Yılmaz H, Gebeşoğlu B, Tutkun E, Keskinliç B, Soydal T. [Evaluation of risk factors in pneumoconiosis development among welders] Ankara Med J. 2014;14(1):11-4. [Crossref]
9. Komaç E. [Handbook of Technical Training] Teknik Eğitim El Kitabı. 1. Baskı. İstanbul: Askaynak Kaynak Tekniği Sanayi ve Ticaret A.Ş.; 2014. p.57.
10. Antonini JM. Health effects of welding. Crit Rev Toxicol. 2003;33(1):61-103. [Crossref] [PubMed]
11. Antonini JM, Lewis AB, Roberts JR, Whaley DA. Pulmonary effects of welding fumes: review of worker and experimental animal studies. Am J Ind Med. 2003;43(4):350-60. [Crossref] [PubMed]
12. OSHA, Controlling Hazardous Fume and Gases during Welding. [Erişim tarihi: 10.04.2019]. [Link]
13. Shoeb M, Kodali V, Farris B, Bishop LM, Meighan T, Salmen R, et al. Evaluation of the molecular mechanisms associated with cytotoxicity and inflammation after pulmonary exposure to different metal-rich welding particles. Nanotoxicology. 2017;11(6):725-36. [PubMed]
14. Taube F. Manganese in occupational arc welding fumes--aspects on physiochemical properties, with focus on solubility. Ann Occup Hyg. 2012;57(1):6-25. [PubMed]
15. Antonini JM, Roberts JR, Chapman RS, Soukup JM, Ghio AJ, Sriram K. Pulmonary toxicity and extrapulmonary tissue distribution of metals after repeated exposure to different welding fumes. Inhal Toxicol. 2010;22(10):805-16. [Crossref] [PubMed]
16. Damongeot A, André G. Noise from ultrasonic welding machines: risks and prevention. Applied Acoustics. 1988;25(1):49-66. [Crossref]
17. Nemery B. Metal toxicity and the respiratory tract. Eur Res J. 1990;3(2):202-19. PMID: 2178966 [PubMed]
18. Tunç ÖK, Aygün R, Köktürk N, Ekim N, Tunç İ. [Respiratory findings and pulmonary function tests among the welders working for the sugar plant factory]. Tüberküloz ve Toraks Derg. 2003;51(3):271-6.
19. Yu IJ, Song KS, Maeng SH, Kim SJ, Sung JH, Han JH, et al. Inflammatory and genotoxic responses during 30-day welding-fume exposure period. Toxicol Lett. 2004;154(1-2):105-15. [Crossref] [PubMed]
20. Sferlazza SJ, Beckett WS. The respiratory health of welders. Am Rev Respir Dis. 1991;143(5 Pt 1):1134-48. [Crossref] [PubMed]
21. Zeidler-Erdely PC, Erdely A, Antonini JM. Immunotoxicology of arc welding fume: worker and experimental animal studies. J Immunotoxicol. 2012;9(4):411-25. [Crossref] [PubMed] [PMC]
22. Konarski P, Iwanejko I, Ówil M. Core-shell morphology of welding fume micro- and nanoparticles. Vacuum. 2003;70(2-3):385-9. [Crossref]
23. Resmî Gazete (05.11.2013, Sayı: 28812) Tozla Mücadele Yönetmeliği; 2013. [Link]
24. Yılmaz G. [Risks affected by employees in welding workshops] Çalışma Ortamı Derg. 2000;52(3):5-7.
25. Şimşek C. [Welder's pulmonary]. Türkiye Klinikleri J Med Sci. 1992;12(3):212-8.
26. Erdely A, Antonini JM, Young SH, Kashon ML, Gu JK, Hulderman T, et al. Oxidative stress and reduced responsiveness of challenged circulating leukocytes following pulmonary instillation of metal-rich particulate matter in rats. Part Fibre Toxicol. 2014;11:34. [Crossref] [PubMed] [PMC]
27. OSHA, Permissible Exposure Limits-Annotated Tables. [Erişim tarihi: 10.04.2019]. [Link]
28. Krajnak K, Sriram K, Johnson C, Roberts J, Mercer R, Miller G, et al. Effects of pulmonary exposure to chemically-distinct welding fumes on neuroendocrine markers of toxicity. J Toxicol Environ Health, Part A. 2017;80(5):301-14. [Crossref] [PubMed] [PMC]
29. Brvar M. Interstitial pneumonitis after acetylene welding: a case report. Int J Occup Med Environ Health. 2014;27(1):132-6. [Crossref] [PubMed]
30. Holm M, Kim J, Lillienberg L, Storaas T, Jögi R, Svanes C, et al; RHINE Study Group, Northern Europe. Incidence and prevalence of chronic bronchitis: impact of smoking and welding. The RHINE study. Int J Tuberc Lung Dis. 2012;16(4):553-7. [Crossref] [PubMed]
31. Schoonover T, Conroy L, Lacey S, Plavka J. Personal exposure to metal fume, NO₂, and O₃ among production welders and non-welders. Ind Health. 2011;49(1):63-72. [Crossref] [PubMed]
32. Wardhana, Datau EA. Metal fume fever among galvanized welders. Acta Med Indones. 2014;46(3):256-62. [PubMed]
33. Plum LM, Rink L, Haase H. The essential toxin: impact of zinc on human health. Int J Environ Res Public Health. 2010;7(4):1342-65. [Crossref] [PubMed] [PMC]
34. Blanc PD, Boushey HA, Wong H, Wintermeyer SF, Bernstein MS. Cytokines in metal fume fever. Am Rev Respir Dis. 1993;147(1):134-8. [Crossref] [PubMed]
35. Kraïm-Leleu M, Lesage FX, Drame M, Lebagry F, Deschamps F. Occupational risk factors for COPD: a case-control study. PLoS One. 2016;11(8):e0158719. [Crossref] [PubMed] [PMC]
36. Cotes J, Feinmann E, Male V, Rennie F, Wickham C. Respiratory symptoms and impairment in shipyard welders and caulker/burners. Br J Ind Med. 1989;46(5):292-301. [Crossref] [PubMed] [PMC]
37. Hunting KL, Welch LS. Occupational exposure to dust and lung disease among sheet metal workers. Br J Ind Med. 1993;50(5):432-42. [Crossref] [PubMed] [PMC]
38. Szram J, Schofield SJ, Cosgrove MP, Cullinan P. Welding, longitudinal lung function decline and chronic respiratory symptoms: a systematic review of cohort studies. Eur Respir J. 2013;42(5):1186-93. [Crossref] [PubMed]
39. Wang ZP, Larsson K, Malmberg P, Sjögren B, Hallberg BO, Wrangskog K. Asthma, lung function, and bronchial responsiveness in welders. Am J Ind Med. 1994;26(6):741-54. [Crossref] [PubMed]
40. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Welding, Molybdenum Trioxide, and Indium Tin Oxide. Vol. 118. 1st ed. Lyon: International Agency for Research on Cancer; 2018. p.310.
41. Honaryar MK, Lunn RM, Luce D, Ahrens W, 't Mannetje A, Hansen J, et al. Welding fumes and lung cancer: a meta-analysis of case-control and cohort studies. Occup Environ Med. 2019;76(6):422-31. [Crossref] [PubMed]

42. Falcone LM, Zeidler-Erdely PC. Skin cancer and welding. *Clin Exp Dermatol*. 2019;44(2):130-4. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)] [[PMC](#)]
43. Guha N, Loomis D, Guyton KZ, Grosse Y, El Ghissassi F, Bouvard V, et al; International Agency for Research on Cancer Monograph Working Group. Carcinogenicity of welding, molybdenum trioxide, and indium tin oxide. *Lancet Oncol*. 2017;18(5):581-2. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
44. Heltoft KN, Slagor RM, Agner T, Bonde JP. Metal arc welding and the risk of skin cancer. *Int Arch Occup Environ Health*. 2017;90(8):873-81. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)] [[PMC](#)]
45. Dixon AJ, Dixon BF. Ultraviolet radiation from welding and possible risk of skin and ocular malignancy. *Med J Aust*. 2004;181(3):155-7. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
46. Guénel P, Laforest L, Cyr D, Févotte J, Sabroe S, Dufour C, et al. Occupational risk factors, ultraviolet radiation, and ocular melanoma: a case-control study in France. *Cancer Causes Control*. 2001;12(5):451-9. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
47. Aragonés N, Pollán M, Gustavsson P. Stomach cancer and occupation in Sweden: 1971-89. *Occup Environ Med*. 2002;59(5):329-37. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)] [[PMC](#)]
48. MacLeod JS, Harris MA, Tjepkema M, Peters PA, Demers PA. Cancer risks among welders and occasional welders in a national population-based cohort study: Canadian census health and environmental cohort. *Saf Health Work*. 2017;8(3):258-66. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)] [[PMC](#)]
49. Megbele Y, Lam K, Sadhra S. Risks of cataract in Nigerian metal arc welders. *Occup Med*. 2012;62(5):331-6. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
50. Davies KG, Asanga U, Nku CO, Osim EE. Effect of chronic exposure to welding light on Calabar welders. *Niger J Physiol Sci*. 2007;22(1-2):55-8. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
51. Xu Y, Gong MM, Wang J, He LH, Wang S, Du WW, et al. Investigation of occupational hazards of ultraviolet radiation and protective measures for workers in electric welding. *Beijing Da Xue Xue Bao Yi Xue Ban*. 2012;44(3):448-53. [[PubMed](#)]
52. Flynn MR, Susi P. Neurological risks associated with manganese exposure from welding operations-a literature review. *Int J Hyg Environ Health*. 2009;212(5):459-69. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
53. Racette BA, Criswell SR, Lundin JI, Hobson A, Seixas N, Kotzbauer PT, et al. Increased risk of parkinsonism associated with welding exposure. *Neurotoxicology*. 2012;33(5):1356-61. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)] [[PMC](#)]
54. Racette BA, Searles Nielsen S, Criswell SR, Sheppard L, Seixas N, Warden MN, et al. Dose-dependent progression of parkinsonism in manganese-exposed welders. *Neurology*. 2017;88(4):344-51. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)] [[PMC](#)]
55. Riihimäki V, Aitio A. Occupational exposure to aluminum and its biomonitoring in perspective. *Crit Rev Toxicol*. 2012;42(10):827-53. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
56. Park RM, Berg SL. Manganese and neurobehavioral impairment. A preliminary risk assessment. *Neurotoxicology*. 2018;64:159-65. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)] [[PMC](#)]
57. Harisa GI, Attia SM, Ashour AE, Abdallah GM, Omran GA, Touliabah HE. Cigarette smoking and hyperglycemia increase renal response to low levels of cadmium in welders: cystatin C as a sensitive marker. *Biol Trace Elem Res*. 2014;158(3):289-96. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
58. Hambach R, Lison D, D'haese P, Weyler J, François G, De Schryver A, et al. Adverse effects of low occupational cadmium exposure on renal and oxidative stress biomarkers in solderers. *Occup Environ Med*. 2013;70(2):108-13. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
59. Ding X, Zhang Q, Wei H, Zhang Z. Cadmium-induced renal tubular dysfunction in a group of welders. *Occup Med (Lond)*. 2011;61(4):277-9. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
60. Chuang KJ, Pan CH, Su CL, Lai CH, Lin WY, Ma CM, et al. Urinary neutrophil gelatinase-associated lipocalin is associated with heavy metal exposure in welding workers. *Sci Rep*. 2015;5:18048. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)] [[PMC](#)]
61. Ibfelt E, Bonde JP, Hansen J. Exposure to metal welding fume particles and risk for cardiovascular disease in Denmark: a prospective cohort study. *Occup Environ Med*. 2010;67(11):772-7. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
62. Sjögren B, Fossum T, Lindh T, Weiner J. Welding and ischemic heart disease. *Int J Occup Environ Med*. 2002;8(4):309-11. [[Crossref](#)]
63. Bonow CA, Cezar-Vaz MR, Silva LR, Rocha LP, Turik C. [Health disorders related to learning the welding trade: assessment of approaches to risk communication]. *Rev Lat Am Enfermagem*. 2014;22(1):43-50. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)] [[PMC](#)]
64. Li H, Hedmer M, Kåredal M, Björk J, Stockfelt L, Tinnerberg H, et al. A cross-sectional study of the cardiovascular effects of welding fumes. *PLoS One*. 2015;10(7):e0131648. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)] [[PMC](#)]
65. Uzun H, Fındık F, Yılmaz R. [Factors affecting welder's health and precautions to be taken] *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*. 2001;5(2):123-30.
66. Yılmaz O, Dinç H. [The effects of heavy metals on reproductive system]. *Van Veterinary J*. 2013;24(2):91-4.
67. Bonde JP. The risk of male subfecundity attributable to welding of metals. Studies of semen quality, infertility, fertility, adverse pregnancy outcome and childhood malignancy. *Int J Androl*. 1993;16(Suppl 1):1-29. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
68. Tanır F. [Çukurova Üniversitesi İş Sağlığı & Güvenliği Kurulları Eğitim Rehberi]. ÇİSAM: Çukurova Üniversitesi; 2014. p.79.
69. Yılmaz G. [Health and safety measures in welded manufacturing workshops] *Mühendis ve Makina*. 2014;50(599):68-73.
70. Turan. A. [Kaynak işlerinde iş güvenliği] *Occupational safety in welding processes. Mühendis ve Makina*. 2015;57(673):24-8. [[Link](#)]