

**ÖRTÜLÜ ELEKTRODLARDA GAZ VE PARTİKÜL
EMİSYONUNUN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Mak. Müh. Erhan ÖZDEMİR
(503041306)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 14 Eylül 2006
Tezin Savunulduğu Tarih: 05 Ekim 2006**

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. Adnan DİKİCİOĞLU
Diğer Jüri Üyeleri Prof. Dr. Barlas ERYÜREK
Yrd. Doç. Dr. Erhan BÖKE**

EKİM 2006

ÖNSÖZ

Kaynak sırasında oluşan gaz ve partiküller kimyasal yapılarına bağlı olarak kaynak işlemini yapan kişinin sağlığını tehdit edebilmektedir. Elektrik ark kaynağı, kullanılan elektrodun çok çeşitli elementleri ihtiva edebilmesi, elektrot yandığında ortaya çok yoğun şekilde gaz ve partikül çıkması ve yöntemin sanayide çok kullanılmasından ötürü kaynak yöntemleri içinde kaynakçı sağlığını tehdit etmesi bakımından en ön sırada yer almaktadır.

Kaynak sonrası oluşan partikül ve gazlara karşı koruyucu tedbirler ve kaynak işleminin insan sağlığı üzerindeki etkileri, kaynak mühendislerinin ve bu konuda araştırma yapan bilim adamlarının gelişmeye açık bir alt başlığı olup, bu konudaki çalışmalar özellikle kaynak enstitüleri tarafından ilgi ve merakla izlenmektedir. Elektrik ark kaynağında kullanılan çeşitli elektrotlar için kaynak sonrası oluşan partikül ve gazların analiz edildiği bu deneysel tez çalışması, bu konuya bir katkıda bulunmak amacıyla ele alınmıştır.

Bu tez çalışmasıyla birlikte kapalı ortamlarda kaynak sonrası oluşan gaz ve partiküllerin gerekli tedbirler alınmazsa kaynakçılarda ne gibi sağlık sorunlarına yol açabileceği literatürden incelenmiştir. Kaynak esnasında alınması gerekli koruyucu tedbirlerin ve kaynak elektrotlarının sahip olduğu bileşimin kaynakçının sağlığı açısından ne kadar önemli olduğu burada açıklanmaya çalışılmıştır. Beni bu konuda çalışmaya sevk eden, bilgisi ve engin tecrübeleriyle bana yol gösteren kıymetli tez danışmanım Prof. Dr. Adnan DİKİCİOĞLU'na ve İ.T.Ü Makine Fakültesi Makine Malzemesi ve İmalat Teknolojisi Anabilim Dalı Başkanı Prof. Dr. Barlas ERYÜREK'e teşekkürlerimi sunarım. Çalışmanın her aşamasında bana yardımcı olan değerli hocam Yrd. Doç. Dr Erhan BÖKE'ye, İ.T.Ü Kimya-Metalürji Fakültesi öğretim üyelerinden Prof. Dr Ercan AÇMA ve laboratuvar çalışma arkadaşlarına, AS Kaynak firmasına ve bu firmanın değerli çalışanlarından Dr.-Müh. Ahmet SEVÜK'e ve İ.T.Ü Araştırma Fonu'na ayrıca teşekkür ederim. Çalışmalarım sırasında, manevi destekleri ile daima yanımda olan çalışma arkadaşlarıma da teşekkürü borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	v
TABLO LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
ÖZET	viii
SUMMARY	x
1.GİRİŞ	1
2.KAYNAK İŞLEMİNİN İNSAN SAĞLIĞI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ	6
2.1. Solunum Sistemi Üzerindeki Etkiler	6
2.2. Kulak Üzerindeki Etkiler	18
2.3. Gözler ve Görme Üzerindeki Etkiler	19
2.4. Cilt Üzerindeki Etkiler	21
2.5. Sinir Sistemi Üzerindeki Etkiler	22
2.6. İskelet Sistemi Üzerindeki Etkiler	22
2.7. Diş ve Ağız Sağlığı Üzerindeki Etkiler	23
2.8. Ses Üzerindeki Etkiler	23
2.9. Boşaltım Sistemi Üzerindeki Etkiler	24
2.10. Metal Tozlarından Kaynaklanan Ateşlenme	25
2.11. Akciğer Kanseri Riski	26
2.12. Kaynağın insan sağlığı üzerindeki etkilerinin sonuçları	30
3. ELEKTRİK ARK KAYNAĞI VE KAYNAK ELEKTROTLARI	32
3.1. Elektrik Ark Kaynağı	32
3.2. Kaynak Elektrotları	34
3.2.1. Örtülü Elektrotlar	35
3.2.2. Cüruf Oluşturan Maddeler	37
3.2.3. Kaynak Elektrotlarının Örtü Türüne göre Sınıflandırılması	41

4. GAZ VE PARTİKÜL TAYİNİDE KULLANILAN DENEY DÜZENEKLERİ	54
4.1. Amerikan standartlarında da yer alan İsveç deney düzeneği	54
4.2. Diğer standartlarda yer alan deney düzenekleri	63
5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	65
5.1. Deneyler için tasarlanan ve kullanılan düzenek	65
5.2. Deneylerin Yapılışı	72
6. DENEY SONUÇLARI	74
7. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	81
KAYNAKLAR	83
ÖZGEÇMİŞ	87

KISALTMALAR

AB	: Avrupa Birliği
AWS	: American Welding Society
ASTM	: American Society for Testing and Materials
CFR	: Code of Federal Regulations
DIN	: Deutsche Industrie Normen
DNA	: Deoxyribonucleic acid
EN	: European Norms
EDXA	: Energy dispersive X-ray analysis
IARC	: International Agency for Research on Cancer
ILO	: International Labour Organization
FEV	: Forced Expiratory Volume
FVC	: Forced Vital Capacity
PEF	: Peak Expiratory Flow
TEM	: Transmission Electron Microscopy
TLV	: Threshold Limit Value
TS	: Türk Standartları
YAZ	: Yeniden Adaptasyon Zamanı

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 3.1. Bazı tür örtülü elektrotların örtü bileşenleri	37
Tablo 3.2. Örtüye katılan alaşımlandırma elemanlarının alaşımlandırma verimleri.....	40
Tablo 3.3. Örtülü elektrotların karakteristik özellikleri.....	46
Tablo 6.1. Deneylerde kullanılan elektrotların kaynak metalinin kimyasal analiz değerleri.....	74
Tablo 6.2. Bazı elektrotlar için ark kaynağı sonrası gaz analiz değerleri.....	75
Tablo 6.3. Bazı elektrotlar için ark kaynağı sonrası partikül analiz değerleri.....	75
Tablo 6.4. Değişik amperlerde yakılan bazı elektrotlar için ark kaynağı sonrası gaz analiz değerleri.....	76
Tablo 6.5 Değişik amperlerde yakılan bazı elektrotlar için ark kaynağı sonrası partikül analiz değerleri.....	77
Tablo 6.6 Deney sonucu hesaplanan metal partikül ve toplam partikül ağırlık değerleri.....	78
Tablo 6.7 Deneylerde kullanılan elektrotların yanma süreleri.....	79
Tablo 6.8 A.B.D İş Güvenliği ve Sağlık Dairesi'nin ACGIH TLV-TWA standardındaki limit partikül değerleri.....	79
Tablo 6.9 Bir elektrodun yanışı sonrasında hazneden çekilen havadaki partikül miktarı.....	80

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1 : Partikül tozlarının vücuttan atılma yolları.....	9
Şekil 2.2 : Kaynakçıların sağlık gözetiminin şeması.....	13
Şekil 3.1 : Kaynak devresi açık.....	32
Şekil 3.2 : Kaynak devresi kapalı.....	33
Şekil 3.3 : Kaynak devresinde ark oluşumu.....	33
Şekil 3.4 : İki karbon elektrot arasında oluşturulan arkın görüntüsü.....	34
Şekil 3.5 : Elektrot örtüsünün damla geçişi üzerine etkisi.....	35
Şekil 4.1 : Elektrik ark kaynağı elektrotları için deney haznesi.....	55
Şekil 4.2 : İsveç Partikül Haznesi.....	57
Şekil 4.3 : Kaynak enstitüsünün partikül haznesinde yerleştirilmiş iş parçası....	58
Şekil 4.4 : Kaynak enstitüsü partikül haznesine temiz filtre yerleştirilmesi.....	58
Şekil 4.5 : Kaynak Enstitüsü partikül haznesinde deney yapılırken.....	59
Şekil 5.1 : Dört tane tekerlek üzerinde hareket ettirilebilen deney düzeneğinin perspektif görünüşü.....	66
Şekil 5.2 : Birbirlerine cıvata-somun bağlantısıyla birleştirilen baca, hazne ve arasında filtre kağıdı bulunan iki halka sızdırmazlık elemanı.....	67
Şekil 5.3 : Debi ölçerin yandan görünümü.....	68
Şekil 5.4 : Gerekli vakumu sağlamak için kullanılan 3 motorlu endüstriyel vakum cihazı.....	69
Şekil 5.5 : Hazne içerisinde örtülü elektrodu eriterek kaynak yapan profesyonel kaynakçı.....	70
Şekil 5.6 : Partiküllerle dolan filtre kağıdının hazne içerisinden alttan görünümü.....	70
Şekil 5.7 : Baca gazı analiz cihazının perspektif görünüşü.....	71
Şekil 5.8 : Baca gazı analiz cihazının probu deney öncesinde yerleştirilirken...	72

ÖRTÜLÜ ELEKTRODLARDA GAZ VE PARTİKÜL EMİSYONUNUN İNCELENMESİ

ÖZET

1920’li yıllardan itibaren seri üretime geçilmesiyle birlikte birleştirme yöntemleri, üretkenlik ve verimliliğin arttırılmasında önemli, kendine özgü bir imalat yöntemi olarak ortaya çıkmıştır. Sanayide kullanılan endüstriyel malzemeler için en çok kullanılan birleştirme yöntemi kaynaktır. 20. yüzyılın başında kullanılmaya başlanan örtülü elektrotların geliştirilmesiyle elektrik ark kaynak yöntemi, kaynak teknolojisinde en çok kullanılmakta olan kaynak yöntemi olarak kendini göstermiştir.

Elektrik ark kaynağı sonrasında elektrodun yanmasıyla ortaya çıkan partikül ve gaz, elektrodun örtü türüne, kaynak malzemesine, kaynak akımına ve gerilimine, kullanılan koruyucu gaz vb. etmenlere bağlı olarak standartlarda izin verilen limitleri geçmesi durumunda kaynak yapan kaynakçıya ve ortamda bulunan diğer çalışan veya işçilere zarar verebilmektedir. Bu çalışmanın giriş bölümünde; kaynakçı sağlığına zarar veren kaynak sonrası ortaya çıkan gaz ve partikül miktarlarının ortaya çıkma hızının hangi faktörlerden etkilendiği sınıflandırılmış ve açıklanmaya çalışılmıştır. Çalışmanın 2. bölümünde kaynak işleminin kaynakçı sağlığına yaptığı etkiler geniş bir biçimde verilmiştir. Kaynak işleminin kaynakçı sağlığı üzerine etkisi çok geniş ve çok güncel konu olmakla beraber bu konu üzerindeki çalışmalar dünyanın dört bir tarafında çok sayıda araştırmacı tarafından devam ettirilmektedir. Kaynak sonrası ortaya çıkan gaz ve partiküllerin miktarlarının saptanması olan bu tez çalışmasının yapılmasının nedeni ortaya çıkan miktarların izin verilenden fazla olması durumunda kaynakçı sağlığının etkilenmesidir. Kaynakta alınması gereken koruyucu tedbirler, kaynakçı sağlığıyla ilgili çok önemli bir konu olmakla beraber bu tezin kapsamı dışındadır.

Bu çalışmanın konusu elektrik ark kaynağından sonra ortaya çıkan gaz ve partiküllerin analizi olduğu için elektrik ark kaynağının, elektrik ark kaynak elektrotlarının, örtülü kaynak elektrotlarının örtülerine göre sınıflandırılmasının ve örtülü elektrot seçiminde nelerin önemli olduğu gibi konuların incelenmesinin önemli olacağı düşünülmüştür. Bilhassa örtülü elektrotların ihtiva ettiği malzemeler ve bunların kaynak işlemi için önemi yapılan bu çalışmayla doğrudan ilgili bir konudur.

Tezin deneysel kısmı, daha önceden belirlenen elektrotların özel bir haznede kaynak edilmesi, gaz analizi için baca gazı analiz cihazının probunun bir borudan girerek kaynak banyosunun hemen üzerinden okunan gaz konsantrasyon değerlerinin saptanması suretiyle yapılmıştır. Partikül analizi içinse baca ile haznenin arasında yer alan sızdırmazlık elemanları arasına konan yüksek ısıya dayanıklı cam fiber filtre kâğıtları kullanılmış, filtre kâğıdı üzerinde toplanan partiküllerin miktarı saptanmış ve atomik absorpsiyon yöntemiyle kimyasal analizi yapılmıştır. Deney esnasında hava+partikül karışımı sabit bir debide endüstriyel vakum cihazı tarafından vakumlanmış, debi değeri baca üzerinde dikey olarak sabitlenen debi ölçerden okunmuş, debi değeri de debi

ölçerin üzerinde yer alan borudaki klape vasıtasıyla ayarlanmıştır. Kaynak sırasında kaynak akım ve gerilimi değerleri sabit tutulmuş, kaynakçının kalifiye bir kaynakçı olmasından dolayı kaynak esnasında kaynak parametrelerinin mümkün olduğunca sabit tutulması sağlanmıştır.

Çalışmanın en son bölümünde ise elde edilen veriler yorumlanmış ve bazı standartlarla karşılaştırılmışlardır.

THE EXAMINATION OF GAS AND FUME EMISSION IN COVERED ELECTRODES

SUMMARY

After mass-production had begun to take its place in 1920's, joining processes appeared as an important, unique manufacturing process in order to increase productivity and effectiveness. For the engineering materials that are used in industry, welding process is the most used joining process. After the invention of covered electrodes which were first used in the beginning of 20th century, arc welding method showed itself as the most used welding process.

If the amount of fumes and gases (depending on electric current and voltage, shielding gas...etc) that are generated during electric arc welding is over the allowed limits in the standards, these can be harmful to the welders or other workers in that circumstance. In the introduction part of this thesis it is explained which factors effect the fume and gas generation rate in the electric arc welding and at the same time these factors are classified. Being a very wide and actual topic, researches about the effects of welding process on welders' health are going on in the every corner of the world. The reason why this thesis, which aims to determine the amounts of fumes and gases generated after arc welding, is prepared is that if the generated amounts are over the limits in the standards, it can effect welders' health.

Since the subject of this thesis is the analysis of the fumes and gases generated after electric arc welding, it is considered to be necessary to examine the electric arc welding, electric arc welding electrodes, important issues while choosing covered electrodes and the classification of the covered electrodes according to their cover types. Especially the materials which the covered electrodes contain, and their importance for welding process is directly related with this thesis.

The experimental part of thesis was practiced in a special chamber by welding the electrodes, which are chosen before and the determination of gas concentration was done by a smoke gas analysis instrument just over the welding pool. For fume analysis high-temperature resistant glass-fibre filter papers were used which were installed between two sealing elements between chimney and chamber, the amount of fumes on the paper was measured and their chemical analysis is made by using atomic absorption method. During experiments air+fume mixture was vacuumed in constant flow by an industrial vacuum machine, the value of the flow was read on the flowmeter which was fixed on the chimney in the perpendicular direction, flow rate

value was set by the help of a ring in the pipe on the flowmeter. During welding, welding current and welding voltage is kept constant and since the welder is high-qualified, the welding parameters during welding are provided to be constant, as well as possible.

At the end of the thesis the provided datas are interpreted and compared with some standards.

1. GİRİŞ

Kaynakçılar, kaynak operatörleri ve bu tür ortamlarda bulunan diğer insanlar kaynak, lehim ve kesme gibi işlemlerden sonra ortaya çıkan gaz ve partiküllere solunum yoluyla çok fazla maruz kalmamak için korunmak zorundadırlar. Sağlığa zararlı olan ve standartlarla belirtilen izin verilen limitleri aşma aşırı maruz kalma durumudur. Amerika Birleşik Devletleri'nde İş Departmanı'na bağlı Mesleki Güvenlik ve Sağlık Dairesi'nin 29 CFR 1910 düzenlemesi bu standartlara verilebilecek bir örnektir. Bu standartlara Avrupa kıtasından verilebilecek başlıca örnekler ise İngiltere'nin Sağlık ve Güvenlik Yürütme Dairesi'nin standartları, DIN EN ISO 15011-1:2002 standardı ve İsveç elle metal ark kaynağında elektrotlar için partikül sınıflandırma şartnamesidir. Sağlık problemleri olan insanlar daha sıkı korunma tedbirlerine ihtiyaç duymalarını gerektirecek olağan dışı hassasiyetlere sahip olabilirler.

Diğer yöntemlere göre ark kaynağında gaz ve partiküller daha büyük önem taşımaktadır. Bunun nedeni kaynak arkının daha geniş hacimde partikül ve gaz oluşturabilmesi ve çok daha çeşitli malzemeyi bünyesinde içermesidir. İnsan sağlığını tehlikeye sokan sınır değerleri aşan toz ve gaza maruz kalmaya karşı genellikle kaynak yapılan yerde havalandırma tertibatı kullanılır. Buna rağmen yeterli koruma sağlanamazsa solunum maskesi de kullanılmalıdır. Koruma sadece kaynak personeli için değil, aynı zamanda bu ortamda çalışan tüm elemanlar için sağlanmalıdır.

Ark kaynağı sonucu oluşan partikül ve gazların sınıflandırılması kolay değildir. Bileşim ve miktarları, ana metal içeriğine; kullanılan yöntem ve elektrotlara; boya, galvaniz ve kaplama gibi iş parçası üzerindeki kaplamalara atmosferdeki zehirli maddelere ve diğer faktörlere bağlıdır. Kaynakta partikül bileşimi genellikle elektrot bileşiminden farklıdır. Normal işlemlerden sonra makul olarak beklenen partikül bileşenleri, buharlaşma, reaksiyon, elektrotların oksidasyonu, ana metaller, kaplamalar ve atmosferik zehirleyicilerin ürünlerini içerirler. Makul olarak gaz ürünlerinin karbon monoksit, karbondioksit, flor, azot oksitler ve ozon içermesi beklenir.

Havadaki zehirleyicilerin miktarı ve kimyasal bileşimi proses ve her proseste mevcut bulunan geniş aralıklı değişkenlerle oldukça değişmektedir. Ark kaynağı esnasında ark enerjisi ve sıcaklığı kaynak değişkenlerine de bağlıdır. Farklı kaynak işlemlerinde partikül ve gazlar değişik derecelerde oluşmaktadır.

Kaynak partikülü elektrot bileşiminin buharlaşma, oksidasyon ve yoğunlaşmasına bağlı olduğu gibi bir dereceye kadar ana metale de bağlıdır. Ana metalden ziyade elektrot genellikle partikülün ana kaynağıdır. Buna rağmen eğer ana metal yüksek sıcaklıklarda buharlaşan alaşım elementleri veya kaplama içeriyorsa bazı belirgin partiküller ana metalden kaynaklanabilir.

Kaynak esnasında çok çeşitli gazlar açığa çıkar. Bunların bazıları manyetik akı veya elektrot kaplamasının dağılmasının bir ürünüdür. Diğerleri ark ısısı veya ark tarafından ultraviyole ışını ile atmosferik zehirleyicilerin yayınmasıyla oluşur. Potansiyel tehlike, karbon monoksit, azot oksitleri, ozon ve klorlu hidrokarbonların ayrılmasıyla oluşan fosgen gibi gazlardır. Helyum ve argon kimyasal olarak soy olmalarına ve zehirleyici olmamalarına rağmen soluk tıkayıcılarıdır ve atmosferik oksijen konsantrasyonunu potansiyel olarak tehlikeli düşük seviyelere seyretebilir. Karbondioksit ve azot da soluk tıkanmasına neden olabilirler.

Kaynak arkıyla oluşan ultraviyole radyasyon ozon gazını oluşturabilir. Bu, genellikle argonun koruyucu gaz olarak kullanıldığı arklarda ortaya çıkar. Ultraviyole radyasyonla klorlu hidrokarbonlar arasındaki fotokimyasal reaksiyonlar fosgen ve diğer ayrışma ürünlerini oluştururlar. Atmosferik azottan azot oksitlerin oluşmasının sorumlusu ark ısısıdır. Bu nedenle kaynak arkı veya diğer yüksek ısılı kaynaklar azot oksitleri oluşturabilir. Karbondioksit ve inorganik karbonat bileşiklerinin ark nedeniyle ısı olarak ayrışması karbon monoksitin oluşumuyla sonuçlanır. Koruyucu gaz olarak karbondioksit kullanıldığında miktar daha da artar.

Kaynak işlem ve sisteminin temeli anlaşılmadığı sürece partikül ve gaz bileşiminin güvenilir tahmini yapılamaz. Mesela, alüminyum ve titanyum, argon ve helyum veya her iki gazın karışımı atmosferinde normal olarak ark kaynağı yapılabilir. Ark nispeten daha az partikül üretir ancak ozon üretebilen şiddetli radyasyon yayabilir. Çeliklerin soy gaz koruması altında yapılan kaynağı nispeten az partikül oluşturur. Buna rağmen çeliklerin oksitleyici ortamda ark kaynağı önemli miktarda partikül meydana getirir ve karbon monoksit ve azot oksitler üretebilir. Partiküller, içlerindeki alaşım sistemlerine bağlı olmak üzere demir, magnezyum, silikon ve diğer metalik

bileşimler içeren farklı, amorf cüruf partikülleri içerirler. Paslanmaz çelikler ark kaynağı yapıldığı zaman partikül içerisinde krom ve nikel bileşikleri bulunmaktadır. Bazı özlü elektrotlar floridlerle formüle edilirler. Bu elektrotlardan çıkan partiküller oksitlere nazaran daha çok florid içerebilirler [1].

Partikül ve Gaz Oluşum Hızını Etkileyen Faktörler:

Çeliğin ark kaynağı esnasında partikül ve gazın oluşum hızı, bir çok değişkene bağlıdır. Bunların arasında;

- 1) Kaynak akımı,
- 2) Ark voltajı ve ark uzunluğu,
- 3) Metal transferinin tipi veya kaynak işlemi,
- 4) Koruyucu gaz.

gibi değişkenler yer almaktadır. Bu değişkenler birbirlerine bağlıdır ve toplam partikül oluşumunda güçlü etkileri olabilmektedir [1].

Kaynak Akımı:

Genel olarak, partikül oluşum hızı artan kaynak akımıyla artar. Buna rağmen artış, kaynak işlemi ve elektrot tipiyle değişir. Örtülü, özlü ve tel elektrotlar artan akımla beraber partikül oluşumunda orantısız bir artış gerçekleştirirler. Çalışmalar, örtülü elektrotlar için partikül oluşum hızlarının kaynak akımıyla üstel olarak orantılı olduğunu göstermiştir. Mesela, E 6010 elektrotları için üstel katsayı 2.24 ve E 7018 elektrotları için üstel katsayı 1.54'dir. Bazı diğer çalışmalarda benzeri katsayılar belirtilmiştir.

Özlü ve tel elektrotlarda partikül oluşum hızları kaynak akımına çok daha karmaşık bir şekilde bağlıdır. Kaynak akım seviyeleri metal damlacıklarının transferinin tipini etkiler. Sonuç olarak, partikül oluşum hızı bir minimum noktaya ulaşıncaya kadar artan akımla azalabilir. Daha sonra orantılı bir biçimde artacaktır. Akımdaki artış, arktan oluşan ultraviyole radyasyonunu artırabilir. Bunun sonucunda bu radyasyondan fotokimyasal olarak meydana gelen ozon gibi gazların oluşumunun kaynak akımının artmasıyla beraber artması beklenir. Gaz metal ark ve gaz tungsten ark kaynağı esnasında ozon konsantrasyonunun ölçümleri bu tip bir davranış göstermişlerdir [1].

Ark Gerilimi ve Ark Uzunluğu:

Ark gerilimi ve ark uzunluğu direkt olarak ilişkilidir. Verilen bir ark uzunluğuna karşılık gelen genellikle elektrotun tipine, kaynak işlemine ve güç kaynağına bağılı bir ark gerilimi vardır. Genel olarak, ark kaynağı işlemi için ark voltajı ve ark uzunluğu arttığında partikül oluşum hızı artar. Her bir işlem ve elektrot tipi için dereceleri değişmektedir [1].

Metal Transferinin Tipi:

Gaz metal ark kaynağına bir tel elektrotla çelik katıldığında metal transferinin türü akıma ve gerilime bağılıdır. Düşük kaynak akım ve gerilimde kısa devre transferi meydana gelmektedir. Bu işlem damlacıkların elektrot ile katılmış kaynak banyosu arasında kısa devreler esnasında depolanmasıdır. Akım veya gerilim arttırıldığında metal transferi küresel tipe geçer. Bu tipte, büyük metal damlaları ark boyunca kaynak havuzuna taşınır. Yüksek akımlarda transfer sprej tipine geçer. Bu tipte küçük metal damlacıkları ark boyunca hızlı bir şekilde ileri doğru itilir. Partikül oluşum hızı da böyle bir geçiş izler. Kısa devre transferi esnasında ark türbülansından dolayı bağılı olarak yüksektir. Sprej bölgesinde partikül oluşum hızı, kaynak akımıyla orantılıdır.

Diğer kaynak yöntemleri için metal transferinin tipi akım veya gerilimle fazla değişmez. Bu durumlarda partikül oluşumu kaynak akım değişiklikleri bağıntısını izler [1].

Koruyucu Gaz:

Gaz metal ark kaynaklarında(MIG/MAG/TIG) ve belirli elektrotlarla özlü ark kaynağında koruyucu gaz kullanılmalıdır. Koruyucu gazın tipi partikül içeriğini ve oluşum hızını etkiler. Ayrıca kaynak ortamında bulunan gazların türünü de belirlemektedir. Mesela partikül oluşum hızı karbondioksit ile korumada argon korumaya göre daha fazladır. Argon-oksijenle veya argon-karbondioksit karışımlarıyla partikül oluşumunun hızı karışımın oksitleyiciliğinin artmasıyla artar.

Gaz tungsten ark ve plazma ark kaynağı gibi soy koruyucu gazın kullanıldığı kaynak işlemleri için partikül oluşum hızı gaz tipi ve gaz karışımıyla değişir. Mesela, helyum korumada argon korumaya göre daha fazla partikül olabilir.

Yan ürün gazları da koruyucu gaz içeriğiyle değişir. Ozonun oluşum hızı arkta oluşan ultraviyole ışınların dalga boylarına ve yoğunluğuna bağlıdır. Ozon genellikle argonca zengin gazlarla karbondioksit oranla daha çok bulunmaktadır. Azot oksitleri herhangi açık ark prosesinin yakınında mevcut olduğu gibi karbon monoksit karbondioksit koruyuculu arklar etrafında da genellikle bulunmaktadır [1].

Kaynak İşlemi:

Yumuşak çeliğin kaynağı için çeşitli elektrotların bağlı partikül oluşum hızları üzerinde yapılan çalışmalar çeşitli değerler göstermişlerdir. Depo edilen metalin ağırlığı başına oluşan partiküllerin ağırlığının oranı göz önünde bulundurulduğunda örtülü elektrotlar ve kendisi aynı zamanda koruyucu olan özlü elektrotlar en fazla partikülü üretirler. Gaz koruyuculu özlü elektrotlar daha az, tel elektrotlar daha da az miktarda partikül oluştururlar. Daldırma ark kaynağı prosesi devamlı olarak en az partikülü oluşturur, çünkü partikül akış içerisinde ve cüruf örtüsünde hapis olur [1].

Elektrotlar:

Spesifik bir proseste partikül hızı elektrotların bileşimine bağlıdır. Örtülü ve özlü elektrotların bazı bileşenleri ayrışacak ve kaynak esnasında koruyucu gaz oluşturacak şekilde tasarlanırlar. Bundan dolayı bağlı olarak daha yüksek derecelerde partikül üretirler.

Bir çok örtülü ve özlü elektrotun bileşenleri patentli olduğundan farklı imalatçılar tarafından üretilen aynı AWS kategorisinin elektrotlarının partikül oluşum hızları oldukça değişir. Bunlar için tek güvenilir kıyas yöntemi spesifik partikül oluşum karakterlerinin saptanmasına yönelik gerçek ürün testidir [1].

2. KAYNAK İŞLEMİNİN İNSAN SAĞLIĞI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Birçok kaynak işlemi ortamı zararlı (toksik) olabilen partiküller ve akciğere zararlı olan veya olmayan etkiler içeren gazlara sahiptir. Bu çalışmanın konusu da değişik elektrotlar için ark kaynağı sonrası oluşan değişik partikül ve gazların miktarlarının ölçülmesi ve olması gereken kritik değerlerle karşılaştırılmasıdır. Kapsamlı bir partikül kontrolü odadaki zehirleyici ortamı kritik değerlerin altında tutacak uygun bir şekilde tahliyesini gerektirir. Partikülleri kaynakçının solunum ortamından uzaklaştırmak amacıyla çeşitli havalandırma yöntemleri kullanılabilir. Havalandırma yoluyla zararlı partikül ve gazlar kaynak ortamından uzaklaştırılmazsa takdirde kaynak işleminin insan sağlığı üzerinde ciddi boyutlarda etki yapacağı ihtimali yüksektir. Bu konu üzerinde 70'li yılların sonuna doğru Ross, Sloan, Villaume, Zakhari ve Anderson tarafından çeşitli yayınlar yayınlanmıştır [2].

2.1 Solunum Sistemi Üzerindeki Etkiler

Kaynak işlemi esnasında kaynak ortamında çok çeşitli miktarlarda gazlar ve partiküller bulunmaktadır. Yeterli havalandırma olmadığı veya koruyucu ekipman kullanılmadığında bu gazlar ve partiküller ortaya çıkma süre ve konsantrasyonuna bağlı olarak kaynakçının akciğerlerine nüfuz edebilmektedir. Kaynak ortamında bulunan gazlar genellikle azot oksitleri, ozon, karbon monoksit ve karbon dioksittir. Kronik solunum yolu rahatsızlıkları sigaradan veya tütün dışı ürünlerden oluşabilir veya artabilir. Kaynak partiküllerinin kaynakçının akciğerleri üzerindeki herhangi bir etkisini taramadan önce solunum fonksiyonunun değerlendirilmesi için çok çeşitli yöntemler kullanılmıştır. Bu yöntemler bir ön sağlık taraması, solunum anketi, klinik muayene (bazı akciğer rahatsızlıklarının sıklığı), akciğer fonksiyon deneyleri ve radyografidir [2].

2.1.1 Şiddetli Solunum Rahatsızlıkları

Akciğer rahatsızlığının oluşabilmesi için akciğere giren maddenin;

- 1) Daha düşük solunum alanına ulaşabilme kapasitesine sahip küçük partiküller şeklinde olması,

- 2) Bronş ve alyuvar yüzeylerinde depolanması veya absorbe olması,
- 3) Zarara neden olacak kadar kalması gereklidir.

Bu, ister gaz olsun ister partikül olsun tüm kaynak sonrası ortaya çıkan maddeler için geçerlidir. Alerjik reaksiyonlar oluşabilir ve bunlar astım oluşumuyla sonuçlanabilir. Keskinen ve arkadaşları kaynak partiküllerinin etkisiyle hastalanan iki astım hastasından bahsetmiştir [2]. Hastalardan biri krom dolayısıyla erken temas dermatitisi adı verilen bir akciğer solunum rahatsızlığı geçirmiştir. Bu hastanın geçmişi incelendiğinde beton ürünleri sanayisinde 4 yıllık bir çalışmanın ardından 6 sene hafif çelik kaynağında çalıştığı saptanmıştır. Beton ürünleri sanayisinde çalıştığı esnada krom içeren çimento tozuna maruz kalmıştır. Kum ve kil tozlarının ve demir partiküllerinin bulunduğu bir demir dökümhanesinde de 6 yıl çalışmıştır. Paslanmaz çeliği kaynak ettikten sonra bu hasta astım hastalığının gecikmiş bir tipine yakalanmıştır. 50 yaşında olan diğer hasta 25 yıl hafif çelik ve paslanmaz çelik kaynağında çalışmış ve ani tip reaksiyon göstermiştir. Hafif çelik kaynağında astımatik tepkiye neden olacak herhangi bir etkiye rastlanmamıştır. Yazarlar paslanmaz çelikteki bu etkiyi içeriğindeki krom ve nikel partiküllerine bağlamaktadırlar [2].

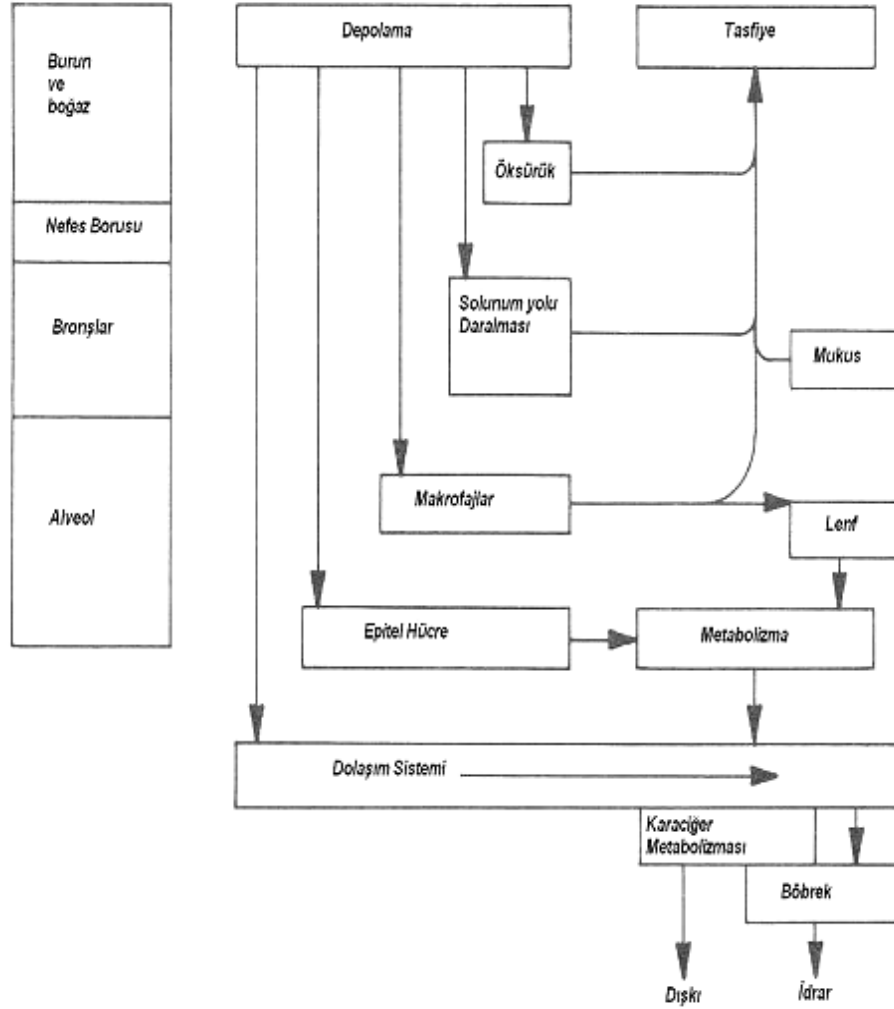
2.1.2 Kronik Solunum Rahatsızlıkları

Kaynak işlemleriyle oluşan partikül ve gazlar özellikle yeterli koruyucu tedbirlerin alınmadığı durumlarda solunum sistemi içerisine nüfuz edebilir. Bu partikül ve gazlar sağlığa zararlı olabilen element veya bileşikler ihtiva edebilirler. Her kaynak işleminde hangi partikül veya gazın mevcut ve hangi kaynak ve çalışma ortamında tükenebilir olduğunun anlaşılması önemlidir. Çoğu elemanlar sadece belirli bir takım uygulamalarda ve bazı sınırlı işlemlerde mevcuttur.

Gazlar ozon, azot oksit, fosgen, kim gibi birincil akciğerle ilgili tahriş edici gazlar ve karbon monoksit ve karbon di oksit gibi tahriş edici olmayan gazlar olarak sınıflandırılabilirler. Partiküller bakır, berilyum, kalay, demir ve alüminyum üreten pnömokonyozlar ve kadmiyum, krom, kurşun, floridler, mangan, magnezyum, molibden, titanyum, vanadyum, çinko ve cıva gibi, akciğeri tahriş edicileri üretenler olarak sınıflandırılabilir. Proton uyarıcılı X ışını emisyonu kullanarak Akselsson ve arkadaşları partikül boyutu dağılımını ve metal kalıntılarının insanın solunum sisteminde depolanmasını analiz etmiştir [3]. Bu depolanma işleminde metaller arasında fark olmadığı gözlemlenmiştir. Bu depolamadan sonra solunum organlarının savun-

ma mekanizmaları vücudu bu yabancı elementlerden arındırmak için aktif hale geçerler.

Gaz ve partiküllere devamlı maruz bulunmak temizleme mekanizmalarının ve kronik solunum hastalıklarının artmasına neden olur. Lorient yayınlanan raporunda akciğerleri çatlağa ait lif dokusu olan difüzyonlu bir ark kaynakçısı vakasından bahsetmiştir [4]. Vaka 10 yılını ark kaynağı yaparak geçiren 43 yaşındaki bir kaynakçıyı içermektedir. Bu kaynakçının koruyucu tedbirleri almada ihmali bulunmaktadır. Miyokardın sağ karıncığındaki yetersizlik bu tip vakaların bir sonucu olabilmektedir. Gola tarafından 73 ark kaynakçısı üzerinde yapılan araştırmada hepsi 50 yaşının altında olan 7 kişide kronik belirgin olmayan bronş-akciğer rahatsızlığı belirtileri görülmüştür [5]. Buna rağmen hastaların hiç biri serum alfa-I-antritripsinde belirgin bir değişim göstermemiştir. Bu gözlemler Candarella'nın bulduğu sonuçlara destek vermektedir [6]. Candarella çalışmasında kaynak partiküllerine 30 yıl maruz kalan 95 kaynakçıyı incelemiştir. Sonuçlar yüksek bir kronik bronşit olayı ve akciğer fonksiyonunun çoğunlukla engelleyici olarak bozulmasını ortaya çıkarmıştır. Tükürüğün sitolojik (hücre bilimsel) incelenmesi kaynak partiküllerinde mevcut bulunduğu iddia edilen kanserojenlerden dolayı olması muhtemel pullu meta plastik hücreleri göstermiştir.



Şekil 2.1 Partikül tozlarının vücuttan atılma yolları [2]

Funahashi ve arkadaşları kaynakçı pnömokonyozlu¹ hastaların akciğer biyopsilerini analiz etmek için enerji dağıtıcı x ışını analizi kullanmıştır [7]. Kaynakçılarda sık görülen akciğer sideroz genellikle az klinik belirtili ve fibrotik değildir. Hücrel muayene demir partikülüyle dolmuş bir makro solunum hücresini göstermektedir. Belirgin klinik belirtilerin bulunduğu durumda genellikle dikkate alınması gereken kılcal fibroza rastlanmaktadır. İçerilen kristal silikon dioksit fibroza neden olduğu tahmin edilmektedir. Buna rağmen bu çalışma, EDXA² tekniğinin 8 tane akciğer siderozu vakasının incelenen akciğer biopsisinde silikon dioksit bileşiminin miktarını olduğunda daha fazla gösterme hatasını bulmuştur. Sorumlu etmen tanımlanmamış-

¹ Pnömokonyoz kömür işçilerinde ve kaynakçılarda görülen bir akciğer hastalığıdır.

² EDXA tekniği enerji yayan X ışını analiz yöntemidir.

tır. Kup kaynakçıların üst solunum yolu mukozası üzerinde kaynağın zararlı etkisi üzerine çalışmış ve incelediği işçilerin % 70'inde mukozanın alevlendirici değişikliklerini saptamıştır [8].

Tanecikli madde özellikle yeterli havalandırmanın bulunmadığı durumlarda genellikle kaynakçının akciğerlerinde mevcut bulunmaktadır ve pnömokonyoza neden olabilmektedir. Rabenda otomatik veya yarı otomatik sistemlerde çalışan kaynakçılar arasında pnömokonyozun yaygınlığı arasında belirgin bir farka rastlamamıştır [9]. Buna rağmen Rabenda tarafından yapılan epidemiolojik çalışma açığa çıkma koşullarını kesin belirtmiyor ve bu kaynakçıların daha önce toza maruz bulunan bir işte çalışıp çalışmadıkları da belli değildir. Kalliomaki ve arkadaşları 35 yaşında bir ark kaynakçısının akciğerlerindeki zehirli partiküllerin dağılımını ve miktarını kesin bir şekilde incelemiştir [10]. Ark kaynakçısı 11 yıl genellikle basitçe kaplanmış olan elektrotları kullanarak bir tersanede yumuşak çelik levhalarını kaynatmıştır. Miyokardial enfeksiyondan ötürü ölene kadar hiç sigara içmemiş ve solunum yolu rahatsızlık belirtisi göstermeden sağlık durumu iyi olmuştur. Ciğerleri çıkarılıp morfolojik yöntemlerle incelenmiştir. Bu yöntemler, büyük patolojik radyografi, histolojik ve ultra yapısal muayene, akciğer dokularının kimyasal analizi ve hassas manyetik ölçümler gibi yöntemleri içermektedir. Akciğerdeki manyetik zehirli maddelerin ölçüm tekniği daha sonra *in vivo* ölçümleri için kullanılmıştır. Zehirleyici kaynak partiküllerinin miktarı 110 mg bulunmuştur. Bunun da %10'luk kısmını demir oluşturmaktadır. Bu miktar aynı tersanede çalışan kaynakçılar için Kalliomaki ve arkadaşları tarafından belirtilen ortalama değer 700 mg'ın çok aşağısındadır. Buna ilişkin bir açıklama belirtilmemiştir. Zehirli partiküller biri ön tarafta diğeri arka tarafta bulunan akciğerin iki konsantrasyon merkezine meyletmislerdir. TEM mikro grafikleri makrofajlarının (doku hücresi) genişlemiş lizozomlarının elektron yüklü granüller ihtiva ettiklerini göstermiştir.

Kalliomaki ve arkadaşları tarafından kullanılan manyetik alan ölçümlerine ters olarak Kujawska ve Marek kaynakçıların akciğerlerindeki pnömokonyozu belirlemek amacıyla basit radyolojik muayene kullanmışlardır [11]. Pnömokonyozlu 35 kaynakçının radyolojik muayenesi kaynakçıların akciğerlerindeki değişimlerin tersinir olabileceğini göstermiştir. Kaynak partiküllerine maruz olma durumuna ara verilen 9 tane vakada radyolojik değişimlerin belirtilerinin tamamen kaybolduğu, 16 vakada belirgin

azalma ve diğer 10 kişide de hiçbir değişiklik olmaksızın görülen bir sonuç ortaya çıkmıştır.

2.1.3 Ön Sağlık Taraması ve Solunum Anketi

Her ne kadar kaynakçıların geniş anlamda periyodik bir fiziksel muayenesi, mesleklerinden dolayı vuku bulan sağlıkları üzerinde geniş kapsamlı bir etkisi olsa da kaynakçılar ve işverenleri için rutin klinik muayenelerinin yerine sağlık taramasının geçmesiyle daha fazla avantajlara ulaşılabileceği tartışılmaktadır. Daha kapsamlı sağlık taraması için seçilen bazı kaynakçıların diğerlerinden daha fazla sağlık tehlikelerine maruz kalma izlenimi edinebilecekleri nedeni üzerine bu hipotez kurulmuştur. Buna ilaveten koruyucu tedbirlerin kullanılmasındaki ihmalkârlıktan ve partiküllere, gazlara ve radyasyona aşırı derecede maruz kalmadan dolayı meydana gelen metal partikülden dolayı ateşlenme veya arkın göz alması gibi acil etkiler kapsamlı bir sağlık muayenesiyle ne tespit edilecek ne de önlenecektir. Sınır değerlere sıkı bir şekilde uyan diğerlerine göre partiküllerdeki bileşenlere daha hassas olan ve düşük konsantrasyonlardan negatif etkilenebilecek az sayıda kaynakçı mevcuttur. Ön ve yardımcı mevcut kronik engelleyici solunum yoluna sahip kaynakçılar, bilhassa sigara içenler, rutin bir sağlık taramasında dikkate alınmayabilir. Özel olarak engelleyici solunum yolu hastalıklarını saptamak amacıyla kaynakçıların sağlık taramasına ihtiyacı olacağını Mc Millan belirtmiştir [12]. Şekil 2,2’de öngörülen şema gösterilmiştir. Şema işe girme öncesi ve sonrasında her yıl kronik düşük solunum lokal hastalıkların tespit edilmesine dayandırılmıştır. Bu işlemin aşamaları şu şekildedir:

- 1) Çalışma öncesi veya ön sağlık görüşmesi,
- 2) Akciğer fonksiyon testinin deneysel saptanması,
- 3) Devamlı bir görüntüleme,
- 4) Hastalığın olmama durumunun gözden geçirilmesi ve bu durumdan düşük solunum bölgesine dönüş üzerine görüşme.

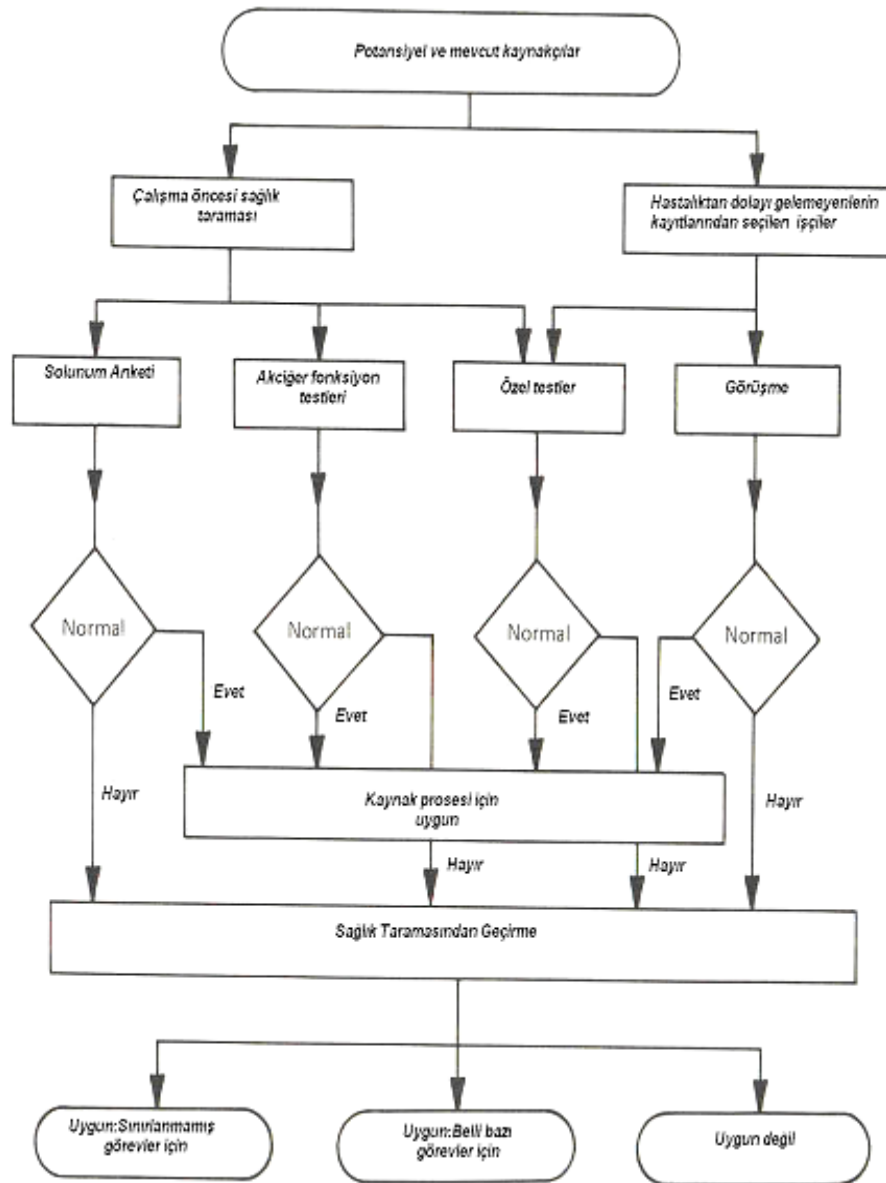
Laboratuvar muayenesi dinamik akciğer hacmi (FEV ve FVC) ve göz ile iş arasındaki mesafeyi içermektedir. Sonuncusu önemlidir çünkü gözü bozuk olan kaynakçılar gözlerini yaklaştırmak zorunda kalabilirler ve bunun sonucunda normal veya düzeltilmiş görmeye nazaran solunum bölgesi kaynak bölgesine daha yakın olur.

Mc Millan anketin her senenin sonunda ve bütün yeni çalışanlar için üç aylık periyodik sıklıkta uygulanmasını önermektedir. Usta kaynakçılar için 5 senelik bir aralık önerilmektedir.

Keskinen ve arkadaşları elle uygulanan metal ark yöntemi sonucu paslanmaz çeliğin kaynağından elde edilen partiküllerin yol açtığı astıma değinmiştir [13]. Hastalardan biri kromdan ötürü erken temas dermatitisine yakalanmış, bir diğeri de ani tip reaksiyon gösterdiğinden beri atopiktir. Kaynak partiküllerinde krom ve/veya nikel astım başlangıcı için etiyolojik faktör olarak tanımlanmaktadır. Astım ve diğerk akciğer hastalıklarının doğuşunda çeşitli nedenler hakkında Jones ve Weill [14], Carta ve Sana Randaccio çalışmalar yapmışlardır [15].

2.1.4 Akciğer Fonksiyon Testleri

Akciğer fonksiyon testleri kaynak partiküllerinden kaynaklanan acil ve kronik etkileri tayin etmek veya belirlemek amacıyla uygulanır. Bu testler klinik tıpta sıkça kullanılırken normal değerler olarak nitelendirilen belirgin sapma, ileri safhalarda özellikle sınırlayıcı ve engelleyici akciğer hastalıklarında vuku bulabilir. Akciğer testlerinde araştırmacılar çelişkili sonuçlar bildirmişlerdir. Maalesef bu çalışmaların temelinde bir sonuca ulaşılammıştır. Çalışma tasarımı ve parametrelerindeki varyasyonlar sonuçların direkt olarak karşılaştırılmasını ve toplanmasını engeller; mesela, beraber var olan veya daha önce açığa çıkan asbest sadece Ross, Mc Millan ve Heath tarafından dikkate alınmıştır [12, 16]. Birçok araştırmacı tarafından farklı akciğer fonksiyonu parametreleri üzerinde çalışılmıştır ve akciğer fonksiyonundaki değişikliklerin öncelikle kaynak partiküllerine mi yoksa sigara içmeye mi bağlı olduğu açık değildir.



Şekil 2. 2 Kaynakçılarının sağlık gözetiminin şeması [2]

Kaynak partikülleri değişik gazlardan ve çapları 0.01 ila 1 μm arasında değişen partiküllerden meydana gelmektedir. Bu boyuttaki partiküller genellikle çevresel bronş ve alveollerde depolanır. Eğer kaynak partikülleri solunum sistemi için tehlikeli ise patolojik değişikliklerin muhtemelen esas olarak çevresel solunum yollarında ve alveolde yerleşeceği beklenir. Çevresel solunum yollarında hava akımına karşı olan direnç çok az olduğundan ki bu toplam solunum yolu direncinin % 10'u gibi düşük bir rakama tekabül etmektedir, çevresel hava yollarına yerleşen engel, geleneksel spirometri tarafından tespit edilemeyebilir. Spirometrik çalışmalarda çelişkili sonuçlar almak şaşırtıcı değildir. Küçük solunum yollarındaki değişiklikler birkaç yıl önce geliştirilen basit tek-solunum testi tarafından ölçülebilmektedir. Oxhoj bu yöntemi

yeni gemilerin inşa edildiği bir tersanede 5 ila 38 yıl çalışan 119 elektrik ark kaynakçısının akciğer fonksiyonunu incelemek için kullanmıştır [17]. Kaynak işlemi genellikle kapalı ortamda HT çeliği ve basit AWS 7018'e benzer elektrotlar kullanılarak gerçekleştirilmiştir [1]. Kaynakçıların yarısı 10 mg/m^3 ortalama toplam toz konsantrasyonunda çalışmışlardır. Enerji dağıtıcı röntgen-floransan kullanılarak yapılan toz bileşiminin analizi 0–1 m boyutunda partikül düzeninde yüksek konsantrasyonlarda bakır, kurşun, galyum, selenyum, rubidyum, stronsiyum ve potasyum bulunduğunu göstermiştir. Ortalama 90 kontrol kıyaslandığında kaynakçılar birbirlerine oldukça yakın akciğer hacim ve kapasitesi göstermişlerdir. Sigara içen veya daha önce sigara içmiş olan kaynakçılarda toplam akciğer kapasitesi belirgin bir şekilde düşük çıkmıştır. Bu bulgular çevresel küçük hava yollarında veya alveolde kaynak partiküllerinin depolanmasına neden olur.

Oxhoj'un çalışmasına zıt olarak Mc Millan ve Heath 6 ila 25 yıl çalışan 25 kaynakçının korumasız ortamda çalışırken solunum fonksiyonundaki acil değişiklikler hakkında çalışmışlardır. 25 tane bir elektrikli kontrolör grubu kaynakçılara yaş, cinsiyet ve sigara içme alışkanlığına göre kontrol grubu olarak eşleştirilmiştir. Kaynakçılardan her katılımcı ve kontrol grubu klinik olarak muayene edilmiş, bir adet göğüs radyografisi ve bir değişimin başında ve sonunda bir takım akciğer fonksiyon testleri uygulanmıştır. Her kaynakçı 5 haftalık bir periyottan fazla toplam 25 bağımsız test günü veren bir gün boyunca çalışmıştır. Her kaynakçı, tersane bloklarının dikiş yeri kaynağında sadece doğal havlandırma ortamına sahip, solunum koruyucu kullanmadan bir kutu gibi bir yerde genel amaçlı kullanılan rutil elektrotları (4 SWG Vordex) kullanarak çalışmışlardır. Mc Millan ve Heath'in çalışması rasgele bir örnekte karşılaşılan çok çeşitli kontrol edilemeyen değişkenleri elimine edecek şekilde tasarlanmıştır [12]. Buna rağmen acil etkiler kaynağın kronik etkileri üzerinde süperpoze olmasından ötürü gölgelenmiştir.

Kaynakçılar ve kontrolcüler arasında klinik muayenedeki solunum emare ve belirtilerinin ortaya çıkış frekansında belirgin farklar bulunamamıştır. 9 kaynakçı (6'sı sigara kullanan) ve 8 kontrolcü (7'si sigara kullanan) aşağıda gösterilen bir veya daha fazla belirtiyi bildirmişlerdir.

Kaynakçılarda sideroza rastlanmamıştır. Buna rağmen 8 kaynakçı ve 2 kontrolcü daha önce maruz kalınan asbestten ötürü bazı anormallikler göstermişlerdir.

Akciğer fonksiyon testleri anormal vakaların toplam yaygınlığı arasında belirgin farklılık göstermemiştir. Buna rağmen kaynakçılar ve kontrolcüler” arasında kalitatif farklılıklar gözlemlenmiştir; engelleme derecesi kaynakçılarda, sınırlandırma derecesi kontrolcülerde daha fazladır. Anormal vakaların çoğunluğu sigara içenlerdir. Akciğer fonksiyonundaki acil değişiklikler grup olarak kaynakçılar ile kontrolcüler veya sigara içenlerle içmeyenler arasında belirgin farklılıklar göstermese de artık hacim ve toplam partikül, solunuma elverişli partikül, demir oksit partikülü ve NO_x deki değişiklikler arasında pozitif bir bağıntı bulunmuştur. Bu bağıntı küçük hava yollarındaki engelleyici değişikliklere bağlanmaktadır.

Mc Millan ve Heath’ın çalışması her ne kadar iyi tasarlanmış ve yürütülmüş olsa da istatistiksel kararlılık üzerinde çalışan kişi sayısına göre değişikliklere uğrayabilir. Bu çalışmanın diğer kaynakçılara ekstrapolasyonu yanıltıcı olabilir [12]. En azından teorik olarak kaynak partikül ve gazları özellikle sigara içenlerde engelleyici akciğer hastalıklarını arttıran bronşlarla ilgili ve sert tahriş edici madde karışımı içerir.

Toza ve kaynak dumanına maruz kalan 1232 kaynakçının 1979 yılında Juniczak tarafından yapılan spirometrik muayenesi en az 16 yıl dumana maruz kalan 39 işçinin (%3,2) akciğerlerindeki havalandırma veriminde bir düşüş göstermiştir. Bu işçilerden 38’i havalandırma anormalliğine ait engelleyici bir yapı göstermiştir. Asbeste ve daha önce sigara içmeye beraber maruz olma durumu hakkında bilgi verilmemiştir. Bu sonuçlar Ross’un 926 kaynakçı ve Zorunlu Gerekli Kapasite (FVC), bir saniye için Zorunlu Ekspiratuar Hacmi (FEV 1.0), ve Maksimum Ekspiratuar akışı için kontrolcülerini inceleyen çalışmasına ters düşmektedir [16]. Buna rağmen çoğu durumda kaynakçıların bariz bir biçimde kontrolcülerden daha iyi neticeler verdiğini bulmuştur. Kontrolcülerle karşılaştırıldığında sınırlı havalandırma kapasitesi gösteren tek grup sigara içenler ve yaşları 40–49 olan gruptu. Toplamda sigara içen kaynakçıların %8,4’ü ve sigara içmeyen kaynakçıların %6,6’sı havalandırma kapasitelerinde bazı sınırlamalara sahip olmuşlardır.

Kaynak partiküllerinin ve sigara içmenin uzun süreli etkilerini incelemek üzere 1980 yılında yapılan çalışmada Akbarkhanzadeh 209 kaynakçının spirometrik ölçüm değerlerini 109 kaynakçı olmayan kontrolcülerle karşılaştırmıştır [18]. İki grup birbirine yaş, boy, sigara içme alışkanlığı, ikamet ve sosyal sınıflarına göre eşleştirilmiştir. Sonuçlar solunum semptomlarının yaşla yükseldiğini, kaynakçılarda kontrolcülere göre daha fazla olduğunu ve sigara içenlerde içmeyenlere daha fazla olduğunu ortaya

koymuştur. Her ne kadar kaynakçılar belirgin olarak akciğerle ilgili yetmezlik göstermeseler de kontrollere göre artan yaşla akciğere ait fonksiyon parametrelerinde büyük düşüşlere maruz kalmışlardır.

Ross kaynak partiküllerine maruz bulunmadan ötürü kaynakıklar ile kontroller arasındaki muhtemel sağlık durumu farklılıklarını incelemek amacıyla yapmış olduğu solunum muayenesi çalışmasının sonuçlarını yayınlamıştır [16]. Yaşları 20 ila 59 arasında değişen 926 kaynakıyla 755 diğer kaynak-dışı çalışan işçiler üzerinde fiziksel muayeneler uygulanmıştır. Kaynakçılar ile kontrollerin bütün, pnömoni ve bronşit olarak solunum hastalığı için bir karşılaştırma yalnızca 50–59 yaşları arasındaki sigara içen kaynakçıların yukarıda belirtilen üç değer için yüksek yüzdeye sahip olduklarını göstermiştir. FVC, FEV ve PEF test edildiğinde kaynakçılar ile kontrol grubu arasında bulunan tek belirgin fark kaynakçıların kontrollerden daha iyi ortalama değerlere sahip olmasıdır. Sınırlayıcı havalandırma kapasitesi test edildiğinde 40–49 yaşları arasında sigara içen kaynakçılar kontrollere göre belirgin derecede fazla sayıda hüküm süren sorunlar göstermişlerdir; tersi olarak da aynı yaş grubunun sigara içmeyen kontrolleri kaynakçılara göre belirgin olarak daha fazla sınırlayıcı kapasite vakaları göstermişlerdir. 40–49 yaş arası sigara içmeyen kaynakçılar sınırlayıcı havalandırma kapasitesinden daha fazla, 50–59 yaşları arasındaki kontrol grubu daha da fazla etkilenmiştir. Kaynakçılar ile kontroller arasındaki farklar düzenli ve her zaman kontrollerin lehine olacak şekilde olmamıştır. Toplamda sigara içen kaynakçıların %8,4’ ve sigara içmeyen kaynakçıların %6,6’sı sınırlı havalandırma kapasitesine sahip ve sırasıyla %24,4 ve %20,3 havalanma kapasitelerini etkileyen engele sahip olmuşlardır. Aynı zamanda kaynakçıların %7’sinin siderozunun ve %7 başka anormalliklere sahip olduklarının X ışını kanıtı mevcuttur. 15 yıldan daha fazla kaynak partikül ve gazlarına maruz bulunan emekli kaynakçılarda % 30 oranında siderozun hüküm sürmesi tespit edilmiştir.

Anthony ve arkadaşları 9 yıllık oksi-asetilen kaynak tecrübesine sahip 26 yaşındaki bir kaynakıdan bahsetmektedir. Bu kaynakçı yeni içine başladıktan sonra önemli boyutlarda öksürmeye başlamıştır [19]. Gümüş bir lehimle pirinci lehimlediği ilk gün solunum eksikliği, kuru öksürme ve titreme başlamıştır. Analize bağlı olarak, lehimin yüksek yüzdelerde, %18 çinko ve % 6 kadmiyum içerdikleri gösterilmiştir. Muayeneye rağmen bu durum devam etmiştir ve maruz kalma olayından 4 gün sonra kaynakçı acil odasına alınmıştır. Hastanedeyken akciğer fonksiyon ve diğer testler uygu-

lanmıştır. 3 gün içerisinde hastanın semptomları tedavisiz geçmiştir. Atomik absorpsiyon spektromisi tarafından yapılan idrar tahlilinde hastaneye girişten 10 gün sonra çinko için 4 mg/dL ve kadmiyum 1,5 mg/dL ve 3 ay sonra sırasıyla 0,18 mg/dL ve 0,53 ug/dL Hava yolu tıkanmasına rastlanmamıştır. X ışınları giriş gününde akciğerle ilgili ödem ve kanama göstermiştir ve bu durum toplam 6 gün sonra tamamen yok olmuştur.

Anthony ve arkadaşları hastalığın başlangıç safhasında solunum zorluklarını ve yüksek üre çinko konsantrasyonlarına metal tozlarından kaynaklanan ateşle beraber rastlanmıştır [19]. Buna rağmen metal tozlarından kaynaklanan ateş genellikle kendi kendine geçer ve 48 saatten fazla sürmez. Beş gün için klinik semptomların devamı olaydan 15 gün sonra kadmiyumun üre konsantrasyonunun arttırdı ve lehimdeki kadmiyum konsantrasyonunun bulunması kadmiyuma ani zehirleyici akciğer reaksiyonu teşhisini ortaya koydu.

2.1.5 Radyografik Muayene

Attfield ve Ross elektrik ark kaynakçılarının 661 göğüs ışıını muayenesi sonucunu bildirmişlerdir [20]. Tüm kaynakçılar o anda çalışıyor veya bir ağır sanayi fabrikasının kaynak bölümünden emekli olmuş durumdadırlar. Yaş ortalamaları 36,8 olmak üzere yaşları 16 ila 73 arasında değişmektedir ve Mart 1970 ile Ekim 1973 arasında alınan posteroanterior radyografileri hepsi için temin edilmiştir.

Kaynak toz ve partikül konsantrasyonu maruz kalma uzunluğu bir indeks olacak şekilde kaydedilmemiştir. Çünkü kaynakçıların 16 yaşından itibaren çalışmaya başladığı düşünülmüş, yaşlarından 16 çıkarılarak çalışma süreleri tahmin edilmiştir. Elektrik ark kaynağının bu insanlar tarafından yapılan tipleri gaz metal ark veya gaz tungsten ark proseslerini içermektedir. Azot, mangan, nikel, krom, çinko ve kurşun karşılaşılan zehirleyiciler arasında olup çalışanların büyük çoğunlukla bütün gün kaynak yaptı ve yaklaşık olarak % 40'ı bir kere asbeste maruz kalmıştır.

Üç tane tecrübeli fizikçi radyografileri değerlendirmek üzere okudular. Filmler, küçük yuvarlak opaklıkların 12 noktalı artan Uluslararası İş Örgütü (ILO) skalasına göre sınıflandırılmışlardır. Skala ağırlığın artacak şekilde 0/ ila 3/4 arasında değerler almaktadır. Her film için ortalama skor hesaplanmış ve üç okuyucunun hükmüyle yuvarlanmıştır. Baskın opaklıkların en büyük çapı p,q veya r olarak sınıflandırılmıştır (sırasıyla 1,5 mm den küçük, 1,5–3,0 ve 3,0 mm üzeri).

Ortalama okumalara dayanarak film skorlarının %7,9'u 0/1 veya daha büyük kategoriye sokulmuştur. 0/0 ile 0/1 arasındaki sınır yokluk ile küçük opaklıklar arasındaki sınır çizgisi olarak alınmıştır. Okuyucular 576 filmin sınıflandırılmasında anlaştılar. Bütün bu filmler 0/0 kategorisindedir. Radyolojik opaklıkların mevcudiyet veya eksikliğin üzerinde %93'ün üzerinde bir anlaşma olmuştur. Buna rağmen her okuyucu çiftinin %3 ila 12'si 0/1 veya daha fazla olarak kategorize edilmesini kabul etmişlerdir. %60 ila 80 arasında bir oranda opaklık boyutundan çifte uzlaşma; % 15–23 'p' olarak, %63–85 'q' olarak ve %0–13 r olarak sınıflandırılmıştır. Birlikte okunan filmlerin yaklaşık % 90'ı pnömokonyoz dışındaki anormallikler incelendiğinde aynen sınıflandırılmışlardır. Tüberküloz, plevral değişiklikler ve bronşit rapor edilen koşulların arasında yer almıştır.

Attfield ve Ross da opaklığın hükmüyle çalışma ömrünün uzunluğu arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir [20]. 15 yıla kadar çalışanlarda çok az anormallikler gözlenmiştir, 50 yıl tecrübeyle birlikte %30'u geçene kadar pnömokonyozun hükmü sabit olarak artmıştır. Opaklığın şiddetine göre çalışma uzunluğunun bir analizi 50 yaşına kadar yaklaşık direkt bir bağıntı verirken, bu yaştan sonra artış devam etmemiştir.

Bu çalışmanın bir sürü sınırlayıcısı bu sonuçların uygulanabilmesini engellemektedir. Tüm okuyucuların filmleri aynı sırayla okumaları ve bazı işçiler için birden fazla filmin saptanması okuyucu tereddüdünün oluşma nedenlerindendir. Çalışma kapsamında yer almayan kaynak partiküllerinin ters etkilerine maruz kaldıktan sonra fabrikayı bırakan işçiler sonuçların tereddütlü olmasına neden olmuş olabilirler. Bu çalışmanın en büyük dezavantajı maruz kalma süresinin uzunluğunun partiküle maruz kalma ölçüsü olarak kullanılmasıdır.

2.2 Kulak Üzerindeki Etkiler

Jarzebski 1970 ila 1976 arasında Polonya'da metal kaynakçılara ait kıvılcım ve yabancı cisimden kaynaklanan 19 tane orta kulak yanığı vaka bildirmiştir [21].

2.3 Gözler ve Görme Üzerindeki Etkiler

Partiküller, radyasyon, ısı, manyetik alan ve havaya saçılan alev gözlere ve görme olayına tehlike oluşturan 5 temel kaynaktır. Göz ve yüz için uygun koruyucu tedbirler mevcuttur ve yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Buna rağmen göz yaralanmalarıyla sonuçlanan vakalarla karşılaşılabilir. Bunun en büyük nedeni olarak da yüksek şiddette radyasyona ve görülebilir ışığa maruz kalma tehlikesini tamamen takdir edemeyen yarı profesyonel ya da eğitilmemiş kaynakçılar gösterilmektedir. Zira çoğu kaza bu tip kaynakçıların başına gelmektedir. Koruyucu önlemlerin yokluğunda kaynakçılar göz tahrişi, korneaya ait ve birleştiren yaralanmalar, göz arkı retinaya ait bozukluk, katarakt, göz uyumu tembelliğiyle karşılaşabilirler.

2.3.1 Göz Tahrişi

Korumasız kaynakçıların karşılaşmış oldukları göz rahatsızlıklarının çok çeşitli nedenleri vardır. Bu faktörlerden bazıları gazlar, partiküller ve radyasyondur. Eğer yüksek miktarlarda ozon varsa göz tahrişine neden olur. Buna rağmen Bloom tarafından yapılan çalışmalarda kaynakçıların solunum bölgesinde azot oksitlerin oluşumu dolayısıyla ozonun hiçbir zaman yüksek konsantrasyonlara erişemeyeceği saptanmıştır [22]. Diğer taraftan partiküller, bilhassa ana malzemeleri içerenleri hatırı sayılır göz tahrişine sebep olmaktadır. Ana malzemeler korneaya ait epitelyal hücrelerde lipitlerle reaksiyona girerek çözülebilir sabun oluştururlar. Bu çözülebilir sabun korneaya ait temel dokuya hızlı bir şekilde nüfuz eder ve gözün iç haznesine girer. Kaynakçıların kontak lenslerinin kullanımı konusunda bariz bir uzlaşmazlık söz konusudur.

2.3.2 Retinaya Ait Bozukluk

İnsan gözünün aşırı ışığa veya optik radyasyona maruz kalması sonucu biyolojik olarak etkilenmesinin nedeni termal veya fotokimyasal etkilere. Isıl hasar, görünür ve kızıl ötesi radyasyondan dolayı oluşurken; fotokimyasal pus ultraviyole radyasyondan oluşur ve foton enerjisine bağlıdır.

Retina gözde görünen ve kızılötesi radyasyonun ısıl etkilerine karşı en hassas olan yapıdır. Absorbe edilen enerjinin büyük bir kısmı ısıya dönüşür. Bir süre için nispeten yüksek şiddette ışık demetine maruz kalma retinaya ciddi boyutlarda zarar verebilmektedir. Diğer taraftan ultraviyole radyasyona maruz kalma küçük bir başlangıç rahatsızlığına neden olur ve ağır vakalarda pigment tabakasında geri dönüşü olmayan

fotokimyasal reaksiyona sebebiyet verebilir. Buna rağmen kalıcı hasar çoğunlukla, ultraviyole dalgalara bağlı olarak eş zamanlı fotokimyasal reaksiyonlardan ötürü kö-tüleşebilen ısı etkilerden kaynaklanır.

Retina, gözde UV radyasyonuna en hassas bölge olduğu için ark kaynağına maruz kalmadan ötürü retina hasarları nadirdir ve ancak uygun olmayan göz koruyucusu kullanıldığında meydana gelir. Uygun olmayan koruyucu kullanımından kaynakla-nan retinaya ait hasardan dolayı bazı görme kaybı ve retinaya ait hasar olaydan 6 ay sonra da devam eden vakalara rastlanılmaktadır.

2.3.3 Yeniden Adaptasyon Zamanı Üzerindeki Etkiler

Göz aniden parlak ışığa maruz kaldığında belirgin bir aydınlık derecesine alışkın o-lan gözün ışık hassasiyeti azalır. Kaynakçılar genellikle parlak ışığa, gazlara, parti-küllere maruz kaldıklarından (genellikle koruyucu tedbirler alınmadığında) gözleri-nin Yeniden Adaptasyon Zamanları (YAZ) etkilenebilir. YAZ parlak ışığa maruz kalma anından bir nesne yeniden görünür hale gelinceye kadar geçen zamandır. YAZ üzerindeki bu etki gazlara veya partiküllere veya her ikisine de bağlı olup olmadığı ve YAZ değişikliklerinin elektrotlardaki belli maddelerin içerikleriyle ilişkili olup olmadığı üzerinde Linde çalışma yapmıştır [23]. Profesyonel kaynakçıların genellikle iki tip elektrot kullandıklarında büyük rahatsızlık yaşadığını saptamıştır: bakır ve flor içeren çubuklar. Bu rahatsızlığın sebebi kısmen solunum sistemindeki partiküllerin etkisine kısmen de görme ve merkezi sinir sistemi etkilerine bağlıdır. Ölçüm metodu, parlak ışıktan kaynaklanan optokinetik göz bebeği titremesinin iyileşme zamanının belirlenmesine bağlıdır. Farklı elektrotlardan oluşan kaynak partikülleri analiz edil-miştir. Kaynak partiküllerine maruz kalmadan az evvel ve hemen daha sonra kan ör-nekleri incelenmiştir. AWS 7018 ve alaşımlı versiyonlarından (yüksek oranda kalsi-yum, flor ve bazen bakır içerir) kaynaklanan partiküllerle YAZ'ın belirgin artışı göz-lenmiştir. Diğer taraftan, rutil elektrotlardan çıkan partiküller YAZ'da belirgin bir ar-tış oluşturmamışlardır. Bu partiküller genellikle düşük seviyede kalsiyum ve flor içe-rirler. Partiküllerdeki flor içeriğinin YAZ'ın uzamasına yol açtığı sonucuna ulaşıl-mıştır. Buna rağmen kan analizi YAZ üzerindeki etkiyle ilişki kurulabilecek değişik-lik göstermemişlerdir. Kaynakçılar tarafından tecrübe edilen baş ağrıları ve mide bu-lantısı YAZ'ın uzamasıyla ilgilidir.

2.3.4 Kaynak ve Kontak Lensler

Dixon kontak lenslerin gemişı ve endüstriyel kullanımını araştırmış, önerilerde bulunmuş ve çalışma ortamında kullanımlarıyla ilgili tedbirleri belirtmiştir [24]. Kaynak işlemlerindeki kullanımları göz önünde bulundurarak Dixon, bir ark vakasında kontak lenslerini yerinden çıkarmaya teşebbüs eden bir kaynakçının hikâyesine ve korneanın yerinden oynayan kısmına aldırılmamıştır. Korneaya bir ark zararı gelmemiştir ve bu, basit olarak lenslerin devamlı aşınmasından kaynaklanan korneaya ait yüzeysel tahrişinin bir vakasıdır. Takılan kontak lenslere ilave olarak uygun güvenlik koruması tehlike anında lensleri yerinden oynatmak ve kaynakçının net bir şekilde görmesini sağlamak amacıyla kalifiye bir kişi her an ulaşılabilir olmalıdır.

Yapmış olduğu bir çalışmada Kersley kontak lens takanların gözlerinde ark kaynağı ışığının potansiyel riskinin ana hatlarını belirtmiştir [25]. Bir göz cerrahı ark ışığına maruz kalan kaynakçılarda koruma gözlüğüyle beraber kontak lens kullanımını onaylamıştır. Bir diğ er cerrah da kontak lenslerin takan kişi için uygun koruma sağladığını belirtmiştir.

2.4 Cilt Üzerindeki Etkiler

Shehade tarafından bir kaynakçıya ait tekrar vuku bulabilen ağır bir yüz dermatitisi tasvir edilmiştir [26]. Alerjik dermatitis, alerjenlerin bir standart pili, koruyucular, potansiyel hassaslaştırıcılar, fotoalerjenler, sıçratmaya karşı bir kaynak formülasyonu ve kaynak banyosu kullanılan cilt yanma deneyiyle belirlenmiştir. Bu vakaya kaynak esnasında UV' ye maruz kalmadan dolayı kaynaklanan fotodermatitis olarak tanı konulmuştur.

Etkilenen kaynakçı yumuşak çeliğin karbon dioksit koruması altında punta ve dikiş MAG kaynağını yapmıştır. Punta kaynağı esnasında çok nadir olarak koruyucu yüz maskesi takmış, bunun yerine gözlerini arkten korumak için yüzünü sola doğru çevirmiştir. UV' ye maruz kalma durumu ölçülmüş ve tüm durumlarda ölçülen durum izin verilen maksimum değ ere eş it veya ondan daha büyük çıkmıştır.

2.5 Sinir Sistemi Üzerindeki Etkiler

Mangana kronik olarak maruz kalma nörolojik ve psikolojik tezahürlerle birlikte ilerleyen hastalığa neden olabilir. Erken semptomlara örnek olarak hissizlik, iştahsızlık, spazm ve sinirlilik verilebilir. Psikoz işaretleri aşırı neşe, atılgan tavır, karıştırma ve şiddetle beraber gelişebilir. İleri safhalar kas güçsüzlüğü, kas sertliği, titreme ve bozulmuş yürümeyle Parkinson hastalığına benzemektedir. Ramussen ve Jepsen ileri derecede mangan zehirlenmesi sonucu Parkinson hastalığı semptomları gösteren iki kaynakçı vakasını rapor etmişlerdir [27]. Her iki kaynakçı da bir kazan fabrikasında koruyucu metal ark kaynağı yapmışlardır. Kaynakçılardan birinin yaşı 31, diğerinin yaşı 17'dir. Fabrikadaki hijyenik koşullar iyi değildi ve yüksek oranda mangana maruz kaldıkları tahmin edilmektedir.

Rudell nörolojik semptomlar gösteren iki vaka rapor etmiştir. Bunlardan biri 29 yaşında, 8 yıl yumuşak çeliklere koruyucu metal ark kaynağı yapmış, kaynak esnasında başı dönmeye başlayan bir kişidir [28]. İkinci kaynakçı 14 sene boyunca nikel-krom alaşımlarının gaz tungsten ark kaynağını yapan 43 yaşında bir kişidir. Yapılan fiziksel muayene sonucu sol tarafında yaygın nörolojik semptomlar rapor edilmiştir.

2.6 İskelet Sistemi Üzerindeki Etkiler

Bedenin ve omuzun iş esnasında yanlış duruşu yorulmaya ve iskelet sisteminde aksaklıklara neden olabilir. Mesela, kolların uzun süre kaldırılarak tutulması (omuzun bükülmesi ve kasın dışa doğru çekmesi) aşırı derecede kas yorulmasına ve bazı durumlarda tendon hasarına neden olabilir. İş yerinde yanlış durmadan kaynaklanan gerilmelerin oluşumun saptanması zordur, çünkü bir iş operasyonu esnasında değişik durma için harcanan zamanın sürekli tutulan kaydı saptanmalı ve analiz edilmelidir. Yanlış durma şekillerinden kaynaklanan gerilmelerin nedenlerini saptamak için Keyserling sürekli kaynak işi hattında beden ve omuzun duruşunu analiz eden bilgisayar destekli bir sistem geliştirmiştir [29]. Bu sistemle bir analizci iş operasyonunun devamlı videoteyp kaydını izlemekte ve her bir var sayılan duruş profili için bilgisayara bir sembol girmektedir. Her bir duruş için geçen zaman her eklem için (beden, sağ omuz, sol omuz) bir duruş profili oluşturan bilgisayar tarafından otomatik olarak ölçülür. Duruş profili daha sonra yüksek frekanslı duruş değiştirme olup olmadığı veya doğal olmayan duruşların uzun zaman periyotları için sağlanıp sağlanmamasını

tespit etmek için kullanılır. Sistem bir otomobil fabrikasında elle yapılan punta kaynağı işleminde test edilmiştir. Bilgisayar destekli analize dayanan sonuçlardan yola çıkarak yanlış duruşu elimine etmek ve birçok yeni güvenlik özelliğini birleştirmek için iş istasyonları yeniden dizayn edilmiştir.

Bir Finlandiya çelik endüstrisi tarafından geliştirilen çalışma duruş profilini analiz eden bir sistem Heinsalmi tarafından test edilmiştir [30]. Yanlış çalışma duruş pozisyonlarıyla, iskelet sisteminin hastalığına, özellikle bel ağrısına bağlı hastalık izni arasında bir pozitif ilişki bulunmuştur. Boyun ve omuz rahatsızlıklarına bağlı hastalık izni ile kolun kötü bir biçimde yanlış durması arasında ilgi vardır. Kaynak işlemi esnasında yanlış duruş pozisyonlarını irdelemek için bir tahta manken prototip kullanılmıştır. Bu çalışma için oluşturulan bir kaynak ünitesi kaynak duruş pozisyonunu geliştirmiş ve işleme ait zaman tasarrufları sağlamıştır.

2.7 Diş ve Ağız Sağlığı Üzerindeki Etkiler

Sualtı kaynakçıları, sık olarak kaynak yapma esnasında metalik bir tat almakta ve normalden daha fazla dişlere ait amalgam yer değiştirme hızına sahiptirler. Dişe ait amalgam ile sualtı kaynakçılığı arasında bağlantıyı daha derinlemesine araştırmak için dalgıçların su altında kaynak yaptığı anda Ortendal ve Holland ağız içinde bulunan elektriksel aktiviteyi ölçmüşlerdir [31]. Sualtı kaynak veya kesme işleminde ağızdaki elektriksel aktivitenin normal olarak bir metalik tat veya dişe ait amalgamın korozyonunu oluşturmak için çok düşük olduğunu belirtmişleridir. Üç deneme dalış esnasında kuru mayo içerisindeki su sızdıran delikler, küçük bir miktar suyun eldivenlere girerek ağız içi elektriksel aktiviteyi arttırmışlardır. Bu denetlerin birinde bir dalgıç metalik tat almıştır. Elektriksel aktivite teorik olarak amalgama zarar vermek için çok düşük olduğundan bu olay dişe ait amalgamın bozulmasıyla açıklanamaz. Dalgıçlarla yapılan diğer çalışmalar göstermiştir ki, metalik tat hissi manyetik alan etkilerinin bir sonucu olmaya benzememektedir.

2.8 Ses Üzerindeki Etkiler

Hiçbiri sigara içmeyen sekiz tersane kaynakçısı ve sekiz ofis işçisinin ses kaliteleri karşılaştırılmıştır. Yapılan anket kaynakçılar arasında ofis çalışanlarına göre daha sık ses ve boğaz problemleri görüldüğünü göstermiştir. Yapılan deneyler kaynakçıların

sesinin daha hiper fonksiyonel ve kararsız olduğunu göstermiştir. Araştırmacılar kaynakçılar arasındaki ses problemlerinin seslenme esnasında gırtlakta bir zorlama oluşmasına neden olan yüksek ses seviyelerine bağlı olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

2.9 Boşaltım Sistemi Üzerindeki Etkiler

Kadmiyum partiküllerinin düşük bir konsantrasyonuna maruz kalma böbreklere zarar verebilir. Bunu ilk ortaya koyan beta-2-mikroglobulin ve retinol bağlayıcı protein gibi düşük moleküler ağırlık serum proteinlerinin idrara olarak boşaltımıdır. Proteinürinin genellikle böbrek tüplerine gelen hasardan kaynaklandığı düşünülmektedir. Kadmiyumun kanın pompalandığı ince kan keseciklerine ait fonksiyonu etkileyip etkilemediği bilinmemektedir.

Smith beş tane firmadan 53 tane lehimcinin kadmiyum vücut yük taşıma kapasitesi ve böbrek fonksiyonunu incelemiştir [32]. Bu lehimciler 25 yıla kadar kontrolsüz bir biçimde kadmiyum içeren alaşımların partiküllerine maruz kalmışlardır. Çoğu 5 sene daha fazla kadmiyum lehimine maruz kalan 25 kişinin 22'sinin böbrek ve karaciğerinde yüksek kadmiyum seviyelerine rastlanmıştır. 5 yıldan daha fazla maruz kalan 32 işçinin tamamında ve 5 yıldan az maruz kalan 21 işçinin 11'inde kanda ve ürede kadmiyum konsantrasyonları yükselmiştir. Test edilen 51 kişinin 20'sinde böbreklerin görevini yapmama durumu için tipik olan düşük moleküler ağırlıklı proteinlere rastlanırken, yalnız 3'ünde kan keseciklerinin görevini yapmama durumu için tipik olan albümin bulunmuştur. Kadmiyum içermeyen lehim tellerinin kadmiyum içeren lehim telleriyle değiştirilmesinden 2 sene sonra 19 işçide üreye ait kadmiyum veya beta-2-mikroglobulinde belirgin değişikliklere rastlanmamıştır. Sonradan yapılan gözlemler vücut içerisinde kadmiyumun ileri derecede birikiminin olmadığı durumda böbreğe ait yumuşak proteinürinin daha ağır böbreğin fonksiyonunu yerine getirememeye durumuna yol açmadığını belirtmiştir.

Verschoor kadmiyuma maruz kalan 26 işçide ve kalmayan 8 kontrolçüde üreye ait protein, kan ve üreye ait kadmiyum konsantrasyonlarını karşılaştırmıştır [33]. Vakaların 19'u plastik pigmentlerde kadmiyuma maruz kalırken, diğerleri bir radyatör dükkânında kaynakçıydı. Toplam üreye ait protein ve üreye ait albümin farklı değilken, kadmiyuma maruz kalan kaynakçılarda kontrolçülere göre üreye ait retinol bağlayıcı protein, üreye ait ve serum beta-2-mikroglobulin bariz bir şekilde daha yüksek

çıkılmıştır. Bundan dolayı kadmiyuma maruz kalan kaynakçılar grubunda, kan keseciklerine değil ama böbreğe ait görevini yapmama durumu mevcuttur.

2.10 Metal Tozlarından Kaynaklanan Ateşlenme

Metal tozlarından kaynaklanan ateşlenme çinko, bakır, alüminyum, antimon, demir, magnezyum, nikel ve kadmiyum gibi içeren çok çeşitli metal oksitlerinin solunum yoluyla içeri çekilmesi sonucu oluşan gribe benzeyen bir hastalıktır. Belirtileri ateş, titreme, keyifsizlik, eklem ağrıları, öksürük, göğüs daralması ve yorgunluktur. Genellikle maruz kalındıktan 4 ila 12 saat sonra görülür ve 1 veya 2 gün sürer. Maruz kalma durumu kısa bir kesinti esnasında metal partiküle karşı kısa süreli bir tolerans gelişebilir. Bu olaya ‘Pazartesi ateşi’ adı verilmiştir çünkü hafta sonu veya tatilden işe geri dönüşte belirtiler tekrar edebilmektedir. Mc Millan, bu toleransın psikolojik bir fenomenden ziyade belli aradan sonra yeterli önlemleri almayarak çalışmaya başlandığından dolayı pratik olduğunu iddia etmiştir. Tersine, bir rahatsızlıktan sonra kaynakçı metal partiküllerinden daha dikkatli sakınabilir veya üstü tarafından daha iyi havalandırılan bir bölgeye yerleştirilebilir.

Metal tozlarından kaynaklanan ateşlenmenin patogenezi çok az anlaşılmaktadır. Çoğunlukla solunum bölgesi dokusunun iltihabı ve histaminin açığa çıkmasıyla sonuçlanan metallere olan bağışık reaksiyona bağlanmaktadır. Sadece çinko kaplanmış malzemelerin kaynağından sonra metal tozlarından kaynaklanan ateşlenme belirtilerini tekrarlayarak gösteren 26 yaşında bir erkek kaynakçıda Vogelmeier akciğer fonksiyonlarında değişiklikler gözlemlenmiş ve akciğere ait iltihap ortaya çıkarmıştır. Kaynakçı asimptomatik olduğunda, klinik bulguları, göğüs X ışını ve spirometrik veri normal sınırlar içerisinde, ancak metakolinle birlikte nefes alma zorluğu düşük derecede spesifik olmayan bronşa ait hiperreaktifliği ortaya çıkarmaktadır.

Adı geçen kaynakçının kontrol edilen koşullar altında 1 saat boyunca çinko kaplı tüpü kaynak yaptığı 2 tane test yapılmıştır. Nefes alma gerekli kapasitesi, tek-nefes transfer faktörü ve artere ait oksijen kısmi basıncı kaynak sonrasında aniden azalırken; solunum yolu direnci artmıştır. Titreme, ateşlenme ve artan ikincil (çevresel) beyaz kan hücresi sayısı 2 ila 6 saat sonra meydana gelmiştir. 6 ay kaynak partiküllerinden uzak kalındıktan sonra yapılan ikinci test benzer sonuçlar vermiştir. İkinci defa kontrollü olarak kaynak partiküllerine maruz kalındıktan 24 saat sonra bronkoalveoler temizleme uygulanmıştır. Toplam hücre sayısı normaldekine göre 10

kat daha fazladır ve temizleme sıvısındaki beyaz kan hücreleri belirgin şekilde artmıştır. Bronkoalveoller temizleme sıvısındaki hücre popülasyonu, 7 haftalık bir partikülden uzak zaman diliminden sonra normaldir. Bunun sonucunda çinkoya maruz kalma ikincil bronkoalveoler yapıların şiddetli akut solunmasıyla birlikte akciğere ait bir reaksiyon üretir. Araştırmacılar metal tozlarından kaynaklanan ateşin bilindiği kadarıyla akciğere ait fibroza neden olmadığını, belirgin şekilde artan beyaz kan hücrelerinin akciğere ait dokulara zarar verip vermediğini incelediklerini belirtmişlerdir [2].

2.11 Akciğer Kanseri Riski

Kaynakçıların beklenenden daha yüksek oranlarda akciğer kanserine ve ölüm vakalarına yakalandığını gösteren önceki çalışmalardaki gibi Simonato ve arkadaşları yayınladıkları en kapsamlı çalışmalarında bu oranlarda % 34 artış tespit etmişlerdir [34]. Benzer çalışmalarda da daha yüksek ve düşük değerler yer almıştır. Simonato ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada uzun ve kısa izleme periyotlu gruplar arasında en büyük gizli kalma etkisinin çoğunlukla daha fazla kroma maruz kalan paslanmaz çelik kaynağı yapan kaynakçılar arasında meydana geldiğini vurgulamış ve böylelikle bu alt grubun çalışma ortamıyla akciğer kanserinden dolayı ölme vakası arasındaki ilişkiyi desteklemiştir. Sjogren tarafından yayınlanan kısa raporda vurgulanan artan risk bulgusu sorunlu bir durum olarak bu grup içerisinde mevcuttur [35]. Bu açıklama bu kaynakçıların 6 valanslı kroma maruz kalmaları, kromu absorbe etmeleri, paslanmaz çelik kaynak partikülünün mutajenik olması ve 6 valanslı kromun akciğer kanseri vakalarını arttırmaları kanıtıyla da desteklenmektedir. Buna rağmen, bu hipoteze karşı birçok kanıt bulunmaktadır. Birincisi IARC çalışmasında paslanmaz çelik kaynağıyla akciğer kanseri arasında bağlantı, Cr, Cr (VI), Ni partiküllerine tahmin edilen kümülatif maruz kalma analizleriyle desteklenmemiştir. İkincisi bağımsız olarak yapılan paslanmaz çelik kaynağı bulgularının bileşimi çok büyük bir artış göstermemektedir (yaklaşık %24). Üçüncüsü Moulin ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada akciğer kanserinin paslanmaz çelik kaynakçıları için yumuşak çelik kaynakçılara göre daha büyük bir akciğer kanseri riski ihtiva ettiğine dair bir bilgi yer almamıştır [36]. Moulin daha sonra paslanmaz çelik kaynağı ve yumuşak çelik kaynağı arasında risk seviyesi farkının yüksek bir kesinlikte saptanmayacağını belirtmiştir [37]. Bu paslanmaz çelik kaynakçıları için daha büyük riskler

mevcut bulunduğu tezini destekler görünmemektedir. Yapılan çalışmaların yetersizliğinden kaynaklanan belirsizlikten ötürü paslanmaz çelik kaynağının akciğer kanserinin bir nedeni olup olmadığı belirsizliğini korumaktadır.

Yumuşak çelik kaynakçıları veya daha genel olarak tüm kaynakçılar arasındaki akciğer kanseri riskinin de daha önce yapılan çalışmalarda yaklaşık olarak % 30 ila % 40 arasında arttığı bulunmuştur. Buna rağmen, Steenland ve arkadaşları % 46 gibi yüksek bir artış riskli % 95 güvenilirlik aralığına sahip olmasına karşın böyle bir fazlalık bulmamışlardır [38]. Danielsen tarafından yapılan çalışma doz-tepki ve gizli kalma için kanıt sağlamıştır [39]. Bu bilgi, araştırması çok vakaya dayanmasına rağmen, Steenland'ın çalışmasında yer almamıştır. Eğer bazı yumuşak çelik kaynakçılarında çok fazla olmayan artış riski doğruysa, bunun nedeni tam olarak bilinmemektedir (kanserojen aday olan bir madde yoktur ve partiküller mutajenik değildir veya az mutajendir).

Bir üçüncü açıklama da kaynak partiküllerinden kaynaklanan riskin ihmal edilebilir olduğu ve sigara içmenin etkilerinin ve diğer kanserojen maddelere maruz kalmanın bu sonuca neden olduğudur. Birçok kanıt kaynakçıların diğer meslek gruplarında çalışan insanlara göre daha fazla sigara içtikleri ve birçok kaynakçı topluluğunun dolaylı veya dolaysız olarak asbeste maruz kaldıklarını iddia eder. IARC çalışmasının yazarları (Simonato ve arkadaşları) tespit edilen fazlalılığın her ne kadar yüksek limite de olsa tütün içmenin etkisi olduğunu ve mesane kanserinin fazlalılığının da bununla ilgili olduğunu ileri sürmüşlerdir. Bu fazlalığı tamamen çalışma kitlesiyle referans kitle arasındaki farklı sigara içme alışkanlıklarıyla açıklamak mümkün değildir. Aynı zamanda asbeste maruz kalmanın da fazla akciğer kanserine neden olduğunu not etmişlerdir.

Yapılan son çalışmalar 10 sene öncesinden çok da farklı sonuçların elde edilmesini sağlamamıştır. Her iki ihtimale göre artışların lehinde ve aleyhinde bazı kanıtlar vardır: sigara içme ve asbeste maruz kalma, genel olarak kaynak işleminin etkisi ve muhtemelen daha sorunlu bir durum olarak paslanmaz çelik. Çoğu çalışmada güvenilirlik aralıkları 0 değerini de kapsadığı için artışların şans eseri olma ihtimali vardır. NIOSH kaynağın sağlık etkilerini incelemiş ve kaynak işçilerinin iş tecrübeleri sonunda gelişen akciğer kanserinin genellikle % 40 artış riskine sahip olduğu yargısına ulaşmıştır. Bu fazla olan riskin nedenini saptamak zordur [40]. Bu riske sigara içme, kaynak emisyonlarının çok çeşitli elemanları arasındaki olası bağlantı ve ortamdaki

asbest gibi diğer kanserojenlere maruz kalma neden olabilir. Bununla uyumlu olacak şekilde Sferlazza ve Beckett kaynak partiküllerinin solunum yolları için kanserojen etki yapma ihtimali olan saldırgan maddeler kategorisinde olabileceği sonucuna varmışlardır [41].

IARC kaynak partikül ve gazlarının kanserojenliği için hayvanlar için kıt kanıt, insanlar için de sınırlı kanıt olduğu sonucuna varmıştır. Kurum, kaynak partiküllerinin muhtemelen kanserojen olduğunu düşünmektedir (Grup B) [40]. Bu, rastlantısal bir yorumun inanılabilirliği için bir pozitif çağrışımın bulunduğunu ancak mantıklı ve güvenilir bir eğilimin çıkarılamaması anlamına gelmektedir. Hem asbeste maruz kalma hem de kaynakçılar arasında daha fazla sigara içme yaygınlığı bu faktörleri desteklemektedir.

Asbeste maruz kalmanın ileride yapılacak olan çalışmalarda hesaba katılacak olması mantıklıdır. Bu önemli konuyu açıklığa çıkarmak adına akciğer kanseriyle kaynak işleminin eş zamanlı ilgisini incelemek için vaka kontrol çalışması yapmak bilgilendirici olabilir. Bu şekilde yapılan vaka çalışmalarında sigara içme kontrol altında tutulduğunda riskler düşme eğilimi göstermekte, yumuşak çelik kaynağında 15 yılın üstünde, paslanmaz çelik kaynağında 5–10 yılın üzerinde çalışma durumunda riskler artma eğilimi göstermektedir.

Kaynak ortamında birçok maddeye maruz kalma durumu ihtimali vardır. Kaynak dışı durumlarda bu maddelerin çoğunun zehirleyiciliği bağımsız olarak çok iyi bir biçimde kaydedilmesine rağmen çok yönlü olarak bu kimyasal maddelere maruz bulunma etkisine ait veriler yetersizdir. 1980’li yıllarda ve günümüzde yapılan çalışmaların ışığında kaynakçıların kaynak partikül ve gazlarıyla ilgili olarak akut ve kronik etkilere maruz kaldıkları söylenebilmektedir. Buna rağmen, genellikle sağlık etkilerini belirli zehirleyiciler ve kaynak prosesleriyle ilişkilendirmek mümkün değildir.

Akut etkilere bağlı olarak vaka raporları olarak akut olaylar (çoğu solunumla ilgili olmak üzere) gözlenmeye devam etmektedir. Bu, yukarı solunum tahrişini, akciğere ait akut zehirlenmeyi (ölümcül olabilir), metal partikül ateşlenmesini ve zatürreeyi içerir. 1985’deki bulgularla karşılaştırıldığında daha fazla maruz kalma veya havalandırma sistemlerinin eksikliğiyle ilgili olarak ortaya çıkan kaynakçılar arasındaki akciğer fonksiyonundaki akut değişiklikler için kanıt vardır. Yapılan bir çalışmada yumuşak çelik ile paslanmaz çelik kaynağı arasında fark olmaksızın astım riskinin

bir az arttığı yer almıştır. Yapılan diğer çalışmalarda da mesleki astım şüphesi yer almaktadır.

Her ne kadar çok sayıda uzunlamasına çalışma yapılmış olsa da kronik sağlık etkileriyle ilgili olarak solunum etkilerinin mevcut olan epidemiolojik çalışmaları çoğunlukla tasarımda kesite aittir. Bazı çalışmalar, referans kişilerle karşılaştırıldığında kaynakçılar arasında kronik bronşit ve diğer semptomları da içerecek şekilde belirtilerin artarak hüküm sürdüğünü iddia etmeye devam etmişlerdir. Bazı çalışmalarda sigara içmeyenlerin de etkilendiği yer olsa da sigara içmeyle ilgili bazı kanıtlar yer almıştır ve sigara içenler arasında daha büyük etkiler görülmüştür. Kronik bronşit olmasa da bazı solunum semptomlarının gelişiminin kaynakçılar arasında kontrolcülere göre daha yaygın olması uzunlamasına yapılan çalışmalarla saptanmıştır. Benzer şekilde, bazı çalışmalarda referans kişilerle karşılaştırıldığında kaynakçılar arasında akciğer fonksiyonunun artan bozulmasıyla ilgili kanıtlar vardır. Küçük solunum yollarının büyük solunum yollarına göre daha sık bir biçimde etkilendiği ve bazı çalışmalarda sigara içenlerde daha fazla etkilere rastlandığı da yer almıştır. Buna rağmen, kronik akciğer rahatsızlığının bu değişiklikleri devamlı olarak görülmemiştir. Sadece bir çalışma (Groth) akciğer semptomları için doz-tepki ilgisi bulmuş ve sadece Cote ve arkadaşları maruz kalma miktarının akciğer fonksiyonundaki değişikliklere katkıda bulunduğuna dair kanıt sağlamıştır [42,43]. Silikata maruz kalınmadığı durumlarda kaynakçılar arasındaki akciğer fibrozuna ait çok sayıda daha önceden yapılmış çalışmalar bulunmaktadır, ancak kaynakçılar arasında fibrozun isabet oranıyla ilgili bir çalışma mevcut değildir. Radyolojik anormallikler gösteren semptomatik kaynakçılar arasında yapılan epidemiolojik bir çalışma fibrozun silikozun mevcudiyetine bağımlı olmadığını savunmuştur.

Solunuma bağlı olmayan kronik etkiler bağlamında kaynakçılar arasında nöropsikiyatrik semptomların artan yaygınlığı belirtilmektedir. Bu konuda kesin hükme varabilmek için objektif nöropsikolojik testlerin yapılmasına ihtiyaç vardır. Yapılan yeni çalışmaların çoğu kaynakçılar arasındaki böbreğe ait fonksiyonların anormalliğine dair az bir kanıt sağlamaktadır. Nuyts ve arkadaşları yeni bir raporlarında kaynak partiküllerine maruz kalma sonucunda artan kronik böbrek bozuklukları riskinden bahsetmişler, ancak hiçbir doz-tepki ilişkisine yer vermemişlerdir [44]. İdrar üzerine yapılan bazı çalışmalarda kaynakçılar arasında bir kötüleşme bulunmuştur. Buna rağmen, yapılan bu çalışmalarda metodolojik zayıflıklar vardır ve buna ila-

veten yumuşak çelik ve paslanmaz çelik kaynakçıları çalışmaları arasında tutarsızlıklar mevcuttur. Kaynakçıların çocuklarında genetik olarak Wilms tümörünün bulunma riskinin artışına dair sınırlı kanıt bulunmaktadır.

Mutasyona ait son çalışmalar paslanmaz çelik partiküllerinin mutajenik olduğunu ve daha fazla aktivitenin nedeninin 6 valanslı krom olduğunu göstermeye devam etmektedir. Yumuşak çelik kaynağı, daha az aktivasyon göstermektedir. Yeni bulgular kaynakçıların lenfositlerle yürütülen sitolojik çalışmalarla sağlanmıştır. Her ne kadar bu çalışmalar kaynakçılar arasında kromatid değişimler göstermese de, birçok çalışma paslanmaz çelik kaynakçıların lenfositleri üzerinde gen zehirleyici etkiler göstermektedir. Bu etkiler, kromozomal sapmaları ve DNA proteinin çapraz bağlanmasını ihtiva eder. Buna rağmen bu hastalık için gen zehirleyicilerin bu özelliklerinin bulaşıcılığı şu an için kesin değildir.

2.12 Kaynağın İnsan Sağlığı Üzerindeki Etkilerinin Sonuçları

1985 yılında ve daha sonra yapılan çalışmalar kaynakçılar arasında % 30–40 akciğer kanser riski artışı belgelenmeye devam etmişlerdir. Buna rağmen bulgular sabit değildir. Simonato ve arkadaşları tarafından yapılan çalışma akciğer kanserine bağlı ölüm oranını toplamda % 34 artış göstermekteyken, Steenland tarafından Amerikan yumuşak çelik kaynakçıları arasında yapılan iyi organize edilmiş orta ölçekli bir çalışma aşırılık, doz-tepkisi ve fazla risk artışı bulmamıştır [34, 38]. Bu çalışma, yüksek kaliteli ve muhtemelen asbest vb. maddelere maruz kalma potansiyeli düşük olan çalışmalardan biridir. Paslanmaz çelik kaynakçıları üzerinde yapılan çalışmalar küçük numune boyutuyla sınırlanmış olarak Sjogren ve arkadaşları tarafından yapılan çalışma dışında tüm diğer çalışmalar aynı gruptan insanlar için yumuşak çelik kaynakçılarına göre daha fazla akciğer kanseri ölüm oranı artışları göstermemişlerdir [35]. Paslanmaz çelik kaynakçıları üzerinde ileride yapılacak olan çalışmalar daha bilgilendirici olabilir. Kaynakçılar arasında kaile alınması gereken iki ana tahripkâr asbeste maruz kalma ve sigara içmedir. Çok sayıda çalışmada özellikle tersanelerde olmak üzere bu grup kaynakçılarda asbeste maruz kalmadan kaynaklanan kanser bulguları ve kaynakçıların umumi nüfusa göre daha fazla sigara içme eğilimi gösterdiklerine dair kanıtlar bulunmaktadır. IARC kaynak partikül ve gazlarının kanserojenliği için hayvanlarda yetersiz, insanlarda sınırlı kanıt olduğunu ve bunların, insan-

lara muhtemelen kanserojen etki yapacağı şekilde (Grup 2B) sınıflandırılabilceği şekilde sonuçlandırmıştır [40].

Sonuç olarak, gerek geçmişte gerekse günümüzde mevcut olan kaynak partikül ve gazlarına uzun süreli maruz kalmanın kaynakçılardaki akut ve kronik sağlık problemleriyle ilgili olduğuna dair kanıtlar bulunmaya devam etmektedir. Kaynakçılar işgücünün önemli bir kısmını oluşturan ve aşırı olarak herkeste görülen birtakım (pnömokonyoz, ölümcül olmayan solunum rahatsızlığı ve muhtemelen akciğer kanseri ve diğer rahatsızlıklar gibi) ve sadece kaynakçılara özel bir takım rahatsızlıklara maruz kalacaklarından, bu konunun önemli bir kamu sağlığı sorunu olarak ele alınabileceği söylenebilir.

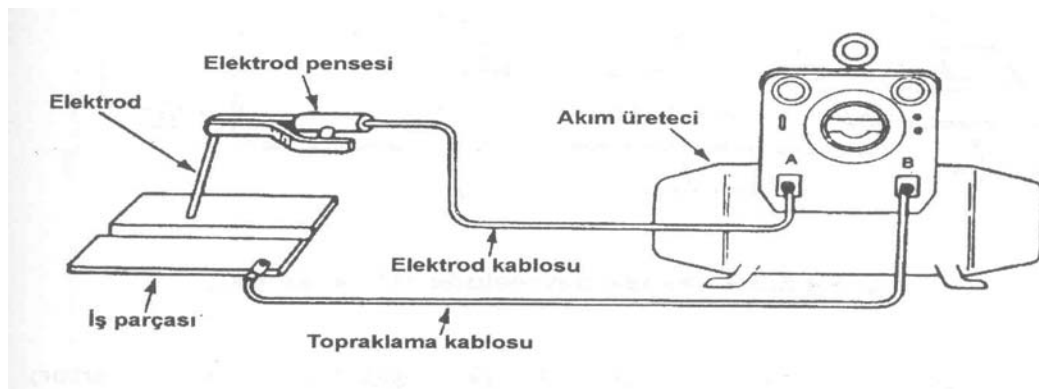
3. ELEKTRİK ARK KAYNAĞI VE KAYNAK ELEKTRODLARI

3.1 Elektrik Ark Kaynağı

Bu yöntemde, kaynaklı birleştirmeyi gerçekleştirmek için gerekli olan ısı enerjisi, elektrot ile iş parçası arasında oluşturulan elektrik arkı yardımıyla sağlanır. Yöntemde elde edilen arkın kararlı olması arzu edilir, yani, iyi bir kaynak dikişi elde edebilmek için kararlı olarak yanan bir ark gereklidir. Kaynak arkının kararlılığı ile bağlantılı olarak kaynak bölgesinin dış ortamın etkilerinden korunması gerekir. Örtülü elektrot ile yapılan ark kaynağında arkın kararlılığı ve kaynak bölgesinin dış etkilere korunması elektrot örtüsünü oluşturan elemanlarla ve kaynak akımını veren kaynak akım üreticinin karakteristiği de arkın kararlılığı üzerinde etkilidir [45].

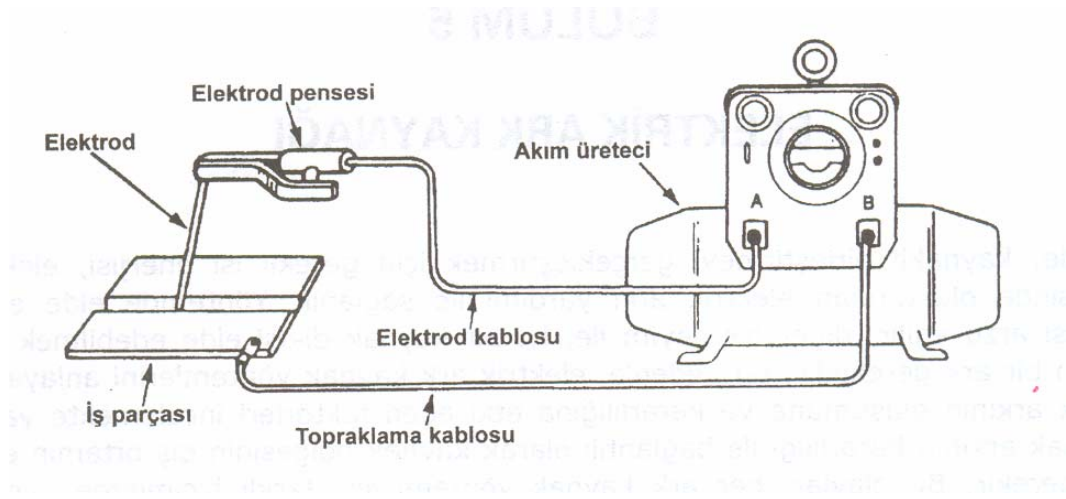
Kaynak Arkı

Bir kaynak akım üreticinin A ve B uçları şekilde görüldüğü biçimde iletken kablolar yardımı ile biri iş parçasına diğeri de elektroda bağlandığında, elektrot iş parçasına değmediği zaman aradaki hava boşluğunun direncinin yüksek olmasından dolayı devrede akım hareket etmez, bu hale devre açıktır denir (Şekil 3. 1).



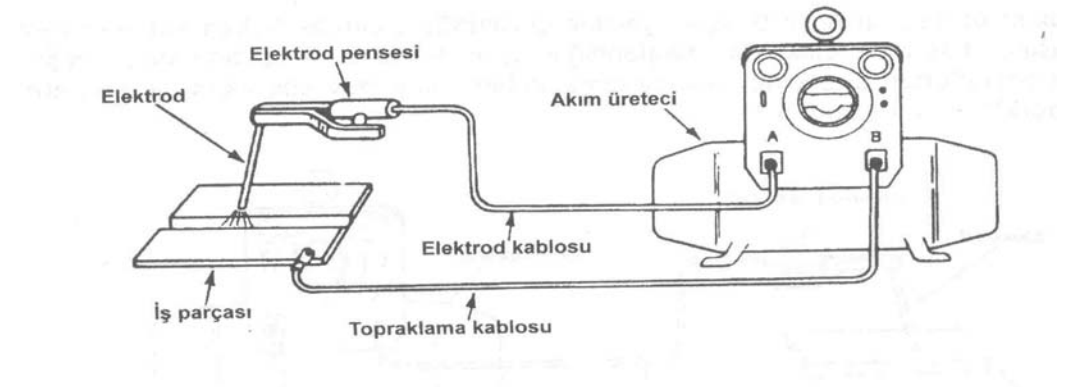
Şekil 3. 1 Kaynak devresi açık [45]

Elektrot iş parçasına dokunduğu zaman devre kapanır ve devrede akım hareket eder, bu akımın hareketi devrede bir sıcaklık yükselmesine neden olur. Bu sıcaklık yükselmesi direncin en yüksek olduğu noktada, en yüksek değerine erişir; bu nokta elektrotun iş parçasına değdiği yerdir. Bu durumda değme ideal olmadığından elektrik akımının direnci yüksektir ve bu nedenle değme noktası kızarmaya başlar ve burada ortaya çıkan iyonizasyon ve metal buharları nedeniyle hava iletken duruma gelir (Şekil 3. 2).



Şekil 3. 2 Kaynak devresi kapalı [45]

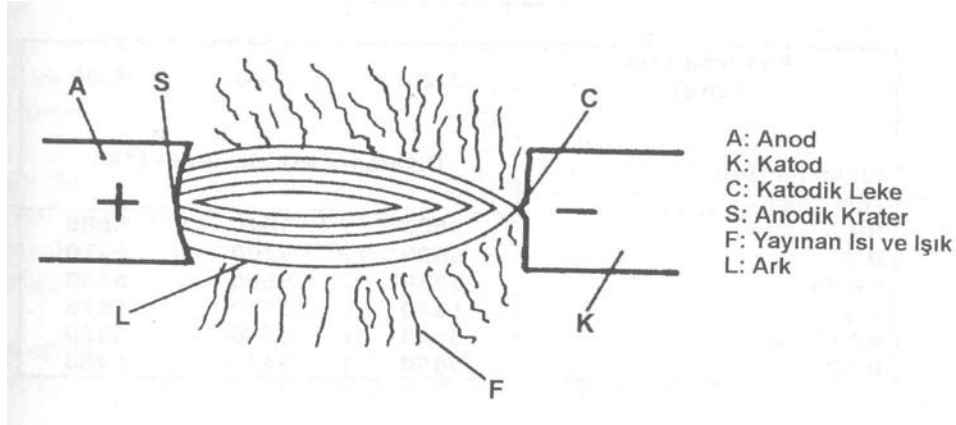
Bu sırada eğer elektrot birkaç milimetre geri çekilirse, akım iletken hale gelmiş hava içinde akmaya devam eder ve dışarıdan bakıldığında elektrotun ucu ile iş parçası arasında göz kamaştıran parlak ışıklı ark görülür (Şekil 3. 3).



Şekil 3. 3 Kaynak devresinde ark oluşumu [45]

Oluşan arkın gücü belirli bir elektrot türü için akım şiddeti ile orantılı artar; bu da bize kaynakta ergime gücünün arkın şiddeti ile orantılı olduğunu göstermektedir.

Modern fiziğe göre ark, kızgın bir katottan yayınan elektronların, yüksek bir hızla anodu bombardıman etmesi sonucu oluşur. Bu bombardıman, nötr moleküllerin, iyonize olmasına neden olduğundan kuvvetli bir sıcaklık yükselmesi ortaya çıkar ve böylece elektrik enerjisi ısı enerjisine dönüşür. Son yapılan araştırmalara göre arktaki toplam enerjinin %85'i ısı,%15'i de ışık enerjisine dönüşmektedir (Şekil3. 4).



Şekil 3. 4 İki karbon elektrot arasında oluşturulan arkın görünüşü [45]

Uygulamada kullanılan kaynak arkının gücü 0,3 ile 160 Kw; ısı eşdeğeri ise 70 ile 40.000 cal/s arasında değişmektedir. Arkın oluşturduğu ark demetinin ısı enerjisi, katodik leke (negatif elektrotun ucundaki kızgın noktaya katodik leke denir) ve anodik krater (pozitif elektrotun ucundaki krater şeklindeki oyuk) arasında dağılır. Elektrik ark kaynağında genellikle elektrot negatif (katot), iş parçası pozitif (anot) kutbu oluşturur. Bu durumda, elektrotun ergimesi ve ark sütunu boyunca damlacıklar durumunda hareket ederek iş parçasına geçmesi katodik leke tarafından üretilen ısı ile iş parçasının ısınması ise anodik krater tarafından sağlanır. Çalışma sırasında çevreye yayınan ve kaynak işlemi için kullanılan ısı ile ark demeti tarafından üretilen ısı denge halindedir [45].

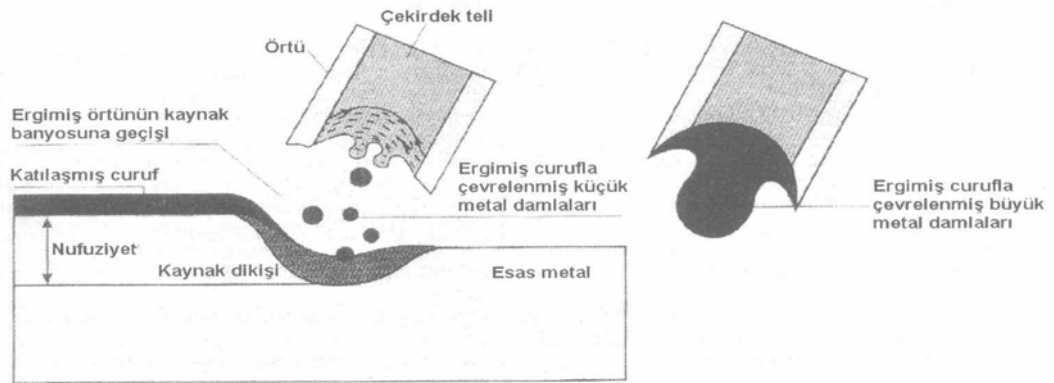
3.2 Kaynak Elektrotları

Elektrik ark kaynağında kullanılan elektrotlar, kaynağın amacına göre birleştirme ve dolgu kaynağı elektrotları olmak üzere iki ana gruba ayrılabilirler. Elektrik ark kaynağında kullanılan elektrotların bir grubu yalnız ark oluşturmak amacı ile üretilmişlerdir. Bu elektrotlar ergimeyen elektrotlardır. Ergiyen elektrotlar ise hem arkın oluşmasını hem de ergiyerek gerekli kaynak metalini sağlarlar. Çeliklerin kaynağında kullanılan çıplak, özlü ve örtülü olmak üzere üç ayrı türde üretilirler [45].

3.2.1 Örtülü Elektrotlar

İlk olarak İsveçli Oscar Kjelberg tarafından 1904 yılında üretilmiş olan örtülü elektrotlarda, çıplak kaynak telinin üzerinde sarma, daldırma ve ekstrüzyon ile geçirilmiş bir örtü maddesi (kabuk) vardır. Örtülü elektrotları elde etmek için, yukarıda belirtilmiş olan yöntemlerin hepsi olumlu sonuç vermelerine karşın, bugünün endüstrisi, birçok üstünlükleri nedeniyle üretim tekniği olarak, özel tasarlanmış bir ekstrüzyon yöntemini uygulamaktadır.

Bir elektrotun kaynak karakteristikleri tümü ile bu örtünün bileşiminin etkisi altındadır. Yığılan kaynak metalinin miktarı, kaynak dikişinin nüfuziyeti ile bir dereceye kadar da kaynak banyosu bileşimi, bu örtü bileşimi ile kontrol altına alınabilir. Kaynak dikişinin biçimi, iç bükeyliği veya dış bükeyliği, yüzey düzgünlüğü, yüzey tırtıllarının durumu gibi özellikler yine örtü bileşimi değiştirilerek istenen yönde ayarlanabilmektedir.



Şekil 3. 5 Elektrot örtüsünün damla geçişi üzerine etkisi [45]

Elektrot örtüsünün sağladığı yararları şu şekilde sıralayabiliriz:

- Arkın tutuşmasını ve oluşumunu kolaylaştırır. Kaynağın hem doğru hem de alternatif akımla yapılmasını sağlar,
- Ergiyen metal damlalarının yüzey gerilimlerine ve akışkanlıklarına etkiyerek, gerek tavan ve gerekse düşey pozisyonlarda çalışmayı kolaylaştırır,
- Koruyucu bir gaz atmosferi oluşturarak kaynak dikişini atmosferin olumsuz etkilerinden korur,

- Kaynaktan sonra dikişin üzerini bir cüruf tabakası ile örterek dikişin yavaş soğumasını sağlar,
- Ergimiş kaynak banyosunu dezokside eder. Gerektiği durumlarda kaynak dikişini alaşımlandırır.

Elektrot örtüsünü oluşturan maddelerin türleri oldukça karışıktır. Her örtü formülü gerek üretim ve gerekse kaynak teknolojisi yönünden en azından aşağıdaki gereksinimleri sağlayabilmelidir:

- Üretim kolaylığı,
- Depolama ve taşıma uygunluğu,
- Kaynak karakteristiği,
- Cürufun kolay temizlenmesi,
- Kaynak metalini metalürjik olarak etkilemesi.

Elektrot standartları, elektrotun kullanılma karakteristiğini, kaynak metalinin mekanik özelliklerini ve bazen de kaynak metalinin analiz sınırlarını belirtir. Elektrot örtüsü formülü ise üreticiye bırakılmıştır. Günümüzde kaynak elektrotları üretiminde en fazla kullanılan örtü maddeleri Tablo 3. 1’de sıralanmıştır [45].

Tablo 3. 1 Bazı tür örtülü elektrotların örtü bileşenleri [45]

Tür	Formül	Yorum
Selülozik	%20–60 rutil (titandioksit), %10–20 selüloz, %15–30 kuartz, %0–15 karbonatlar, %5–10 ferromangan	Selüloz ark bölgesinde yararlanarak gaz koruması oluşturur. Hidrojen kaynak ısı girdisini artırır.
Rutil	Yaklaşık olarak %40–60 rutil, %15–20 kuartz, %0–15 karbonatlar, %10–14 ferromangan, %0–5 organik maddeler	Oluşan cüruf kaynak metalini örterek koruyucu etki yapar. Hidrojen bileşeni oldukça yüksektir (15–30 ppm). Kaynak dikişinde fazla miktarda kalıntı oluşumu tehlikesi vardır.
Asitik	Demir ve mangan tozu, kuartz, karışık silikatlar, karbonatlar, ferromangan.	Oldukça yüksek hidrojen bileşeni ile kaynak metalinde yüksek miktarda cüruf oluşumu bulunur.
Bazik	%20–50 kalsiyum karbonat, %20–40 (fluspat) kalsiyum florür, %0–5 kuartz, %0–10 rutil, %5–10 ferro alaşımlar.	Özellikle düşük hidrojen bileşeni vardır (≤ 10 ppm); özellikle az alaşımlı yapı çeliklerinin kaynağında kullanılır. Elektrotlar kuru olarak tutulmalıdır. Kaynak metalinde düşük miktarda katışkı bulunur.

3.2.2 Cüruf oluşturan maddeler

Kaynak banyosu üzerinde bir cüruf oluşturarak, ergimiş metalin çabuk soğumasını önlemek ve havanın zararlı etkisinden korunmak için katılan bu maddeler dört ana grupta incelenebilir:

- Karbonatlar

Elektrot örtüsü üretiminde cüruf oluşturmak üzere genellikle kalsiyum ve magnezyum karbonat veya bunların karışımı gibi suda çözülmeyen türden mineraller kullanılır. Suda çözülen bileşikler bağlayıcı olarak kullanılan cam suyunun bozulmasına neden olduklarından örtü bileşeni olarak kullanılmazlar. Stronsiyum ve baryum karbonat da bazı durumlarda, belirli miktarlarda örtüye girer. Potasyum ve sodyum karbonat ise çok az miktarda (%1'den az) kullanılır.

- Silikatlar

Cüruf oluşturmak amacı ile 1400 °C'nin altında ergiyen her türlü silikat örtüye katılabilir. Eldesi güç ve pahalı silikatlar örtüye ek bir özellik kazandırmadıklarından, bu iş genellikle, kuartz ve feldspat gibi kolaylıkla sağlanabilen türler kullanılır.

- Oksitler

Bu tür örtülerde, titandioksit ve demiroksit cüruf oluşturan bileşiklerdir. Magnetit, hematit, ilmenit, rutil bu oksitlerin doğada var oldukları şeklidir. Magnezyum, alüminyum, silisyum, krom gibi metallerin oksitleri de örtüye katılabilirler.

- Florürler

Florürler, genellikle suda çözündüklerinden, ancak bazı türleri örtü içinde kullanılabilir. Kullanılan florürler içinde fluspat (kalsiyum florür) en önemli yeri tutar. Örtü içinde kullanılan bir diğer florür de kriyolittir (sodyum/alüminyum florürü).

- Arkı dengeleyen Maddeler

Potasyum bileşikleri, potasyum oksalat, zirkonyum karbonat, lityum karbonat ve titan bileşikleri arkın dengeleme ve alternatif akımda arkın sürekliliğini sağlamak amacıyla örtüye katılan maddelerdir.

- Gaz Atmosferi Oluşturan Maddeler

Kaynak bölgesini havanın olumsuz etkilerinden korumak için ark sıcaklığında ayrışmaya uğrayarak veya yanarak koruyucu bir gaz örtüsü oluşturmak amacıyla örtüye selüloz, kireçtaşı, odun tozu, dekstrin katılır.

- Ekstrüzyon İşlemini Kolaylaştırıcı Maddeler

Gliserin, talk, kaolen, betonit, mikadır.

- Bağlayıcı Maddeler

Sodyum silikat, potasyum silikat, dekstrin, şekerdir.

- Örtüye, Kurutma ve Depolama Sırasında Mukavemet Kazandıran Maddeler

Örtüye, kurutma sırasında ve kuruduktan sonra mukavemetini arttırmak amacıyla bağlayıcı elemanların yanı sıra asbest gibi elyafli mineraller de katılır. Son yıllarda asbestin insan sağlığı üzerinde yaptığı olumsuz etkileri göz önünde bulundurarak, yerine mika gibi pul pul levhacıklar biçiminde mineraller katılmaktadır. Bunların miktarı, örtü türüne göre değişmekle birlikte genellikle çok azdır. Bu mineraller birer silikat oldukları için kaynak sırasında cürufa geçer ve cüruf yapıcı bir bileşen rolünü oynarlar.

- Dezoksidasyon ve Alaşımlama Yapan Maddeler

Ferrosilisyum, ferromanganez, elektromanganez, ferrokrom, ferromolibden, ferroniyobyum, dezoksidasyon işlemini gerçekleştirmek ve alaşımlama yapmak amacıyla katılan bileşiklerdir.

Elektrot örtüsüne katılan alaşım elementleri, kaynak sırasında kaynak metaline elementin türüne göre, ancak belirli bir oranda geçerler. Bu nedenle, elektrot üretilirken örtüye katılan alaşım elementlerinin verimleri göz önüne alınır. Elektrot örtüsüne katılan alaşım elementlerinin kaynak dikişini alaşımlandırma verimleri Tablo 3.2’de verilmiştir.

Tablo 3. 2 Örtüye katılan alaşım elementlerinin alaşımlandırma verimleri [45]

Alaşım Elementi	Elementlerin Örtü İçindeki Alaşım Biçimi	Alaşım Elemanının Yaklaşık Verimi (%)
Karbon	Grafit	75
Manganez	Ferromangan	75
Fosfor	Ferrofosfor	100
Kükürt	Demirsülfür	15
Silisyum	Ferrosilisyum	45
Krom	Ferrokrom	95
Nikel	Elektrolitik Nikel	100
Bakır	Bakır	100
Niobyum	Ferroniobyum	70
Titanyum	Ferrotitan	5
Molibden	Ferromolibden	97
Vanadyum	Ferovanadyum	80
Berilyum	Bakır-Berilyum alaşımı	0
Bor	Ferroboron	2
Azot	Nitritli Manganez	50
Tungsten	Ferrotungsten	80
Alüminyum	Ferroalüminyum	20
Zirkonyum	Nikel-Zirkon alaşımı	5

Alaşım elementlerinin toz taneleri ufaldıkça, alaşımlandırma verimi de o oranda artar. Günüümüzde, bazı durumlarda alaşımlı kaynak dikişleri elde etmek için, alaşımlı tel yerine normal tel ve alaşım elementi içeren bir örtü kullanmak çok daha ekonomik olmaktadır. Bu tür elektrotlara sentetik elektrot adı verilmektedir [45].

3.2.3 Kaynak Elektrotlarının Örtü Türüne Göre Sınıflandırılması

Ark kararlılığı, nüfuziyet derinliği, dolgu oranı ve pozisyonda kullanabilme yeteneği elektrot örtüsünün kimyasal bileşimden büyük ölçüde etkilenir. Elektrot örtüsünü oluşturan maddelerin türleri karışıktır. Elektrot örtüleri hazırlanırken bu maddeler belirli miktarlarda harman yapılır ve özel olarak tasarlanmış ekstrüzyon presinde elektrot çekirdek teline sıvanır.

Bu maddelerin birbiri ile karıştırılmasında bazı kurallar vardır. Her tür elektrot örtüsü için özellikle ana bileşenlerin bazı oranlar çerçevesinde kalmaları zorunludur. Ters durumda, elektrot örtüsü kendinden beklenen özellikleri sağlayamaz. Bu karışım oranları uzun yılların deneyimi sonucunda formüle edilmişlerdir. Örtülü elektrotlar, örtülerinin içerdikleri ana bileşenin türüne, cürufalarının asitlik veya bazlık durumuna göre çeşitli gruplara ayrılırlar [45].

- Rutil Örtülü Elektrotlar

Bu tür elektrotlarda, örtü ağırlılığının yaklaşık %35'den fazlasını titandioksit oluşturur. Örtü, titandioksitin yanı sıra feldspat, kuvariz, az miktarda selüloz, yine az miktarda ferromangan; bağlayıcı olarak ta sodyum veya potasyum silikat içerir. Değişik örtü kalınlıklarında üretilen rutil elektrotlarda ergiyen kaynak metali, örtü kalınlığı arttıkça incelen damlalar halinde geçer ve aynı zamanda artan örtü kalınlığı dikişin mekanik özelliklerine de olumlu yönde etkir. Bu tür örtüler, dikişi tamamen örten, oldukça kalın, rengi kahverenginden siyaha kadar değişen, çabuk katılaşan cüruf oluştururlar. Cürufun özellikleri, örtüyü oluşturan maddelerin miktar ve türüne bağlıdır. Örtüye katılan feldspat ve asbest gibi silisli maddeler çok akıcı cüruf veren titandioksit ile karışarak cürufun uygun bir akıcılıkta kalmasını sağlar.

Bu tür elektrotlar ile hem doğru hem de alternatif akımda kaynak yapılabilir. Bu elektrotlar üniversal türlerdir, her pozisyonda kaynak yapmaya elverişlidirler; oldukça yumuşak bir ark ile sakin bir çalışma sağlarlar.

Rutil elektrotlar; rutil asit, rutil selülozik, ince örtülü rutil ve kalın örtülü rutil gibi gruplara ayrılır. Rutil asit türler herhangi bir asit tür örtüsünde bulunan, demir oksit yerine, titandioksit veya ilmenit konulmasıyla elde edilmiştir. Bu şekilde kaynak metalinin oksijen içeriği azaldığından daha iyi mekanik özellikler elde edilir. Kalın örtülü elektrotlarda, oldukça fazla miktarda cüruf olduğundan koruyucu gaz atmosferine fazlaca gereksinim duyulmaz; dolayısı ile bu türler çok az organik madde içerirler. Rutil örtülü elektrotların belli başlı özellikleri şöyle sıralanabilir:

- Uygun kaynak metal mekanik özellikleri,
 - Cüruf özelliğine bağlı güzel görünümlü kaynak dikiş profili,
 - Florür içeren akıcı cüruf ile pozisyonlarda kaynak yapabilme yatkınlığı,
 - Kolay temizlenebilen cüruf
- Asit Örtülü Elektrotlar

Bu tür elektrotların örtüsü fazla miktarda ferromangan, demiroksit, kuartz ve diğer dezoksidan maddeler içermektedir. Bu elektrotlar genelde kalın olarak üretilirler ve kaynak sırasında, kaynak metalinin geçişi, örtü kalınlığı arttıkça inceler. Cürufların katılma aralığı geniştir; çabuk akan ve düz dikişler veren bir elektrottur. Yukarıdan aşağıya doğru düşey kaynak hariç diğer tüm pozisyonlarda kullanılabilir. Cürufun arka tarafından görünüşü bir bal peteğini andırır, çok gözenekli ve gevrekli. Hem doğru hem de alternatif akımda kullanılabilen bu elektrotların aralık doldurma yeteneği iyi değildir, kaynak ağızlarının iyi hazırlanması, birbirine uyumlu olması gerekir [45].

- Oksit Örtülü Elektrotlar

Bu tür elektrotlarda örtünün önemli bir bölümü demiroksittir, kaynak sırasında metal geçişi bir akış halindedir. Yüksek akım yüklenme özelliğine sahiptirler; kaynak yaparken yüksek sıcaklık nedeni ile cüruf ve metal, çok akıcı konuma geldiğinden ancak yatay ve oluk pozisyonlarda kullanılırlar. Kaynak sırasında şiddetli karbon ve mangan yanması olduğundan yalın karbonlu çeliklerin kaynağı için çok elverişlidirler. Ancak, kaynak metal ve cüruf çok akıcı olduğundan bu tür elektrotların, aralık doldurma yeteneği iyi değildir. Ark sıcaklığı çok yüksek olup, sıcak çatlama eğilimi fazladır. Güzel görünüşlü ve düzgün dikiş elde edilmek istendiğinde oksit tür elektrotlar kullanılmalıdır. Magnetit, kuartz, kalsiyum karbonat, kaolen ve cam suyu belirli ölçülerde karıştırılarak oksit tür elektrot örtüleri elde edilir [45].

- Bazik Örtülü Elektrotlar

Bazik elektrot örtülerinin özellikleri:

Genellikle kalın örtülü olarak üretilen bazik karakterli elektrotların örtüsü, kalsiyum ve diğer toprak alkali metallerin karbonatları ile bir miktar kalsiyum florür içermektedir. Bu örtünün bileşiminde karbonatlar yalnız başlarına kullanılmazlar, tersi durumda oluşan cüruf kaynak metalini örtemez, kalsiyum florür cürufa, kaynak metalinin iyi ıslatma ve banyoyu oksidasyondan ve gaz emişinden diğer cüruf yapıcı mineraller oranla daha iyi korur. Bu tür cüruflar sıvı iken çok akışkan olduklarından, akışkanlığı azaltmak için örtüye, az miktarda silikat veya rutil katılmaktadır; örtüye katılmış olan ferrosilisyum ise kaynak metalinde oksitlerin neden olabileceği gözeneklerin oluşmasını önlemektir.

Bazik elektrotların örtülerinde hidrojen oluşturacak maddeler bulunmadığından kaynak sırasında, dikişin hidrojen kapma olasılığı çok azdır. Hidrojenin, geçiş bölgesinde ince dikiş altı çatlaklarına neden olduğu göz önüne alınırsa, bazik elektrotların kullanılmasının önemi kendini gösterir.

Kaynakta hidrojen oluşturan ve bağlayıcı olarak kullanılan sodyum ve potasyum silikatın içindeki nemi tamamen yok edebilmek için bu elektrotlar 400–500 °C’lik kurutma işlemine tabi tutulurlar. Bazik elektrotlar çok higroskopik olduklarından kuru yerlerde depolanmalı ve rutubet kapmış elektrotlar ise kullanılmadan önce mutlaka 250 °C’de, en az 30 dakika kurutulmalıdırlar.

Bu tür örtülü elektrotlarda kaynak metal, kaynak banyosuna, orta irilikteki damlalar halinde geçer; cüruf kahverengiden siyaha kadar değişir ve cürufun kalkması diğer elektrotlara kıyasla daha güçtür. Bazik elektrotlar genel olarak doğru akımda pozitif kutba bağlanarak kaynak yapılır; bazı türleri alternatif akım ile de kullanılabilir, ancak bunların örtülerinde potasyum bileşiklerinin bulunması gereklidir; bunu sağlamak için de genellikle bağlayıcı olarak potasyum silikat kullanılır.

Bazik elektrotlar tüm kaynak pozisyonlarında kullanılabilirler. Aralık doldurma yetenekleri çok iyidir. Bu elektrotlarla yapılmış olan kaynak dikişleri oldukça iyi mekanik özelliklere sahiptir. Bazik elektrotlar, sıfır altı sıcaklıklarda da oldukça yüksek çentik-darbe mukavemetine sahip olan dikişler verirler.

Bazik elektrot örtüsü, daha önce de belirtildiği gibi sıvı durumda iken çok akışkan bir cüruf oluşturur; bu durum bu durum kaynak dikişinin iç bükey ve kaba görünüşlü ol-

masına yol açar. Bunu önlemek, yani cürufu biraz daha az akışkan duruma geçirmek için örtüye, bir miktar zirkonyum oksit veya zirkonyum silikat katılır. Örtüsü böyle olan elektrotlara zirkon-bazik tür elektrot adı verilir. Örtüye zirkonyum oksit veya silikat yerine; rutil veya ilmenit katılması ile de cürufun akıcılığını ayarlamak olanağı vardır. Ancak, bu durumda örtü, bazik türden çok, içine kalsiyum florür katılmış rutil tür elektrot özellikleri taşımaktadır. Bugün bu tür örtüsü olan elektrotlara rutil-bazik tür örtülü elektrot adı verilmektedir [45].

Bazik elektrotların kullanım yerleri:

Hemen hemen tüm kaynak pozisyonları için uygun olan bazik örtülü elektrotların kullanıldıkları başlıca yerler şunlardır:

- Bileşimi bilinmeyen, karbonlu ve az alaşımlı çelikleri kaynağında,
- Yüksek miktarda karbon, kükürt, fosfor ve azot içeren çeliklerin kaynağında,
- Farklı karbon içeren çeliklerin kaynakla birleştirilmelerinde,
- Çatlama olasılığını azaltmak amacıyla kalın kesitli parçaların kaynağında,
- 0 °C'nin altındaki sıcaklık derecelerinde çalışan makine, donanım ve yapıların kaynağında,
- Dinamik zorlamalara karşı yüksek mukavemet istenen kaynak dikişlerinde,
- Rijit konstrüksiyonların kaynağında.

Bazı durumlarda, bazik karakterli örtülü elektrotlar ile kaynak edilmiş parçaların kök pasolarında küçük gözeneklere rastlanabilmektedir. Bunlar, elektrotun yanlış seçilmesi, hatalı kullanılması ve hatalı işlem uygulanması sonucunda oluşmaktadır [45].

- Selülozik Örtülü Elektrotlar

Bu tür elektrotların örtüsünde, yandığı zaman gaz haline geçen organik maddeler bulunur. Örtü ağırlığının %30'unu selüloz oluşturur. Bazı ülkelerde saf selüloz miktarını azaltmak amacı ile kâğıt hamuru, odun tozu da örtüye belirli oranlarda katılmaktadır. Örtüye katılmış olan bu organik bileşenler ark sütununda ayrışarak karbon monoksit, karbondioksit ve hidrojenin açığa çıkmasını sağlarlar ve bu gazlar yüksek iyonizasyon potansiyellerinden ötürü ark gerilimin yükseltir ve dolayısı ile kaynak arkı daha güçlü ve sert, kaynak metali taşınımı spreyci biçiminde olur ve dikişin nüfuziyeti yükselir. Aynı akım şiddeti kullanılarak, selülozik elektrot ile diğer elektrot türlerine nazaran %70 daha derin nüfuziyet elde edilir.

Bu tür elektrotlar genellikle, orta ve kalın örtülü olarak üretilirler. İnce örtülü olarak üretildikleri zaman cüruf, transfer halindeki damlacıklara çok az bir koruma etkisi yapar; kaynak dikişi üzerine oluşan cüruf çok azdır ve sıçrama kaybı yüksektir. Buna karşın, bu elektrotlar ile yapılan kaynak dikişlerinin aralık doldurma yeteneği ve nüfuziyeti oldukça iyidir, her pozisyonda kaynak için (özellikle yukarıdan aşağıya düşey) uygulanabilirlikleri sayesinde et kalınlığı 12,5 mm'den az olan boru hatlarının kaynağında ve gemi yapımı endüstrisinde geniş bir uygulama alanı bulmuşlardır. Kaynak işlemi sırasında yanan selüloz çok iyi bir koruyucu gaz atmosferi oluşturur ve koruma büyük çapta yanan örtüden çıkan gazlar tarafından gerçekleştirilir ancak dikiş az da olsa, bir miktar hidrojen kapar; bu ise bazı tür çeliklerin kaynağı için sakıncalı olabilir.

Örtüye katılmış olan titan bileşikler arkın kararlılığını sağladıkları gibi, cürufun kolaylıkla kalkmasına da yardımcı olurlar; örtüye bir miktar ferro-silisyum ve ferro-mangan katılarak, kaynak sırasında oksitlenerek kaybolan, manganın tamamlanması ve kaynak banyosunun dezoksidasyonu sağlanır. Eskiden bu tür örtülere asbestte katılmaktaydı; ancak, bu maddenin sağlık koşullarını kötüleştirmesinden dolayı kullanımından vazgeçilmiştir. Bu tür elektrotların üretiminde genelde sodyum silikat kullanıldığı için ancak doğru akım ile uygulanabilirler. ABD'de oldukça popüler olan ve AWS A5.1'e göre E6011 simgesi ile tanımlanan bir tür elektrotun üretiminde potasyum silikat kullanıldığından bunlar alternatif akım ile de kullanılabilirler. Tablo 3. 3 'de örtülü elektrotların karakteristik özellikleri gösterilmiştir [45].

Tablo 3. 3 Örtülü Elektrotların Karakteristik Özellikleri [45]

Özellikler	A Asit Esaslı Örtü	B Bazik Esaslı Örtü	C Selülozik Esaslı Örtü	R Rutil Esaslı Örtü
Örtünün Esas Bileşenleri	Demir ve Manganoksit	Kalk ve Kalsiyum florür	Yanabilen organik maddeler	Titandioksit (Rutil)
Arkta Metal Taşınımı	İnce damlalı	İri ve orta damlalı	İri ve orta damlalı	Orta ve ince damlalı
Aralık Doldurma Yeteneği	Orta	İyi	İyi	Orta ve iyi arası
Dikişin Görünüşü	Parlak, ince tırtıllı	İnce ve orta kalınlıkta tırtıllı	Tırtıllı	Parlak, tırtıllı
Nüfuziyet Derinliği	Orta	İyi	İyi	İyi
Cüruf Temizleme İşlemi	Çok kolay	Zor	Kolay (Çok az cüruf)	Kolay
Ark boyu	Tel çapı kadar	Tel çapının yarısı kadar	Tel çapı kadar	Tel çapı kadar
Akım türü	Doğru Akım elektrot (-) kutupta, Alternatif Akım	Doğru akım elektrot (+) kutupta	Doğru akım elektrot (+, nadiren -) kutupta	Doğru Akım elektrot (-) kutupta, Alternatif akım
Duman Oluşumu	Orta şiddette	Kuvvetli	Çok fazla	Orta şiddette
Mekanik Özellikler	Düşük	Yüksek toklukta kaynak metali	İyi	İyi

Değişik uygulamalar için kullanılan özel elektrotlar:

Demir tozlu elektrotlarda demir tozu, örtü bileşeni olarak büyük çapta kullanılmaktadır. Demir tozu miktarı, bazı durumlarda toplam örtü ağırlığının yarısı kadar olabilmektedir. Elektrot örtüsüne iyi özellikler kazandıran demir tozu, değişik oranlarda olmak üzere her örtüye katılmaktadır. Ark atmosferinde metal iyonlarının varlığı ark plazmasının kararlılığını arttırmakta ve elektrot daha düzgün yanışlı bir duruma gelmektedir, bu bakımdan günümüzde bazı üreticiler selülozik örtülü elektrotlara da az bir miktar demir tozu katmaktadır. Demir tozu özellikle fazla miktarda cüruf veren örtülerde cürufun oksijen içeriğini arttırarak kaynağın daha pürüzsüz bir yüzeye sahip olmasına ve dolayısı ile de cürufun kolay temizlenmesine olanak sağlar. Belirli bir oranın üzerinde katılan demir tozu, örtüyü iletken hale getirmekte ve elektrota temas (kontak) elektrotu olarak kullanılabilme özelliğini kazandırarak, arkın kararlılığını arttırmakta, aynı zamanda dikişe geçerek ergime verimini yükseltmektedir. Kaynaktan sonra parça tartılarak ek kaynak metali miktarı hesaplandığında, ağırlığının elektrotun çekirdek telini ağırlığından daha fazla olduğu görülür; zira örtünün içeriğindeki demir tozu da ergiyerek dikişe karışmakta ve bu fazla ağırlığı oluşturmaktadır. Demir tozlu elektrotların ergime verimi %120'nin üzerinde olduğundan bu elektrotlara yüksek verimli elektrotlar da denilmektedir. Derin nüfuziyet elektrotları kalın örtülü elektrotlar olarak üretilirler, örtü karakteri önce açıklanmış türlerden biri olabilir.

Çift örtülü elektrotlar grubuna giren elektrotlarda örtü üst üste sıvanmış iki ayrı türden yapılmıştır. Bu türün ilk uygulaması bakırın kaynağında kullanılmıştır; burada geç ergiyen bir dış örtü yardımıyla ısıнын odaklanması sağlanmıştır. Günümüzde iç örtüsü rutil dış örtüsü bazik olan elektrotlar üretilmiş ve bu şekilde rutil elektrotun uygulama kolaylığı ile bazik elektrotla yapılmış kaynak metalinin üstün çentik-darbe mukavemeti birleştirilmiştir. Bu tür elektrotların fiyatlarının pahalılığı tüketimlerini sınırlamaktadır. Alaşım elementlerini örtüden alan yüksek alaşımli birleştirme kaynağı elektrotları ile sert dolgu elektrotlarına çift örtü uygulaması çok etkili sonuçlar vermiştir; burada iç örtü alaşım elemanlarını içermekte, dış örtü standart görevini yerine getirmektedir.

Sualtında kaynak uygulamalarında kullanılan sualtı örtülü elektrotları prensip olarak yüksek oranda demir tozu içeren kalın örtülü rutil elektrotlardır. Bunların dış cidarı suyu örtüye geçirmeyen özel bir boya tabakasıyla kaplanmıştır. Bazı hallerde boya yerine sodyum silikat da (cam suyu) kullanılmaktadır. Son yıllarda örtüye az miktarda ti-

tanyum ve bor ilavesi ile karbür oluşumu teşvik edilerek, ferrit miktarının arttırılarak kaynak metalinin gevrekleşmesinin azaltılması yönünde çalışmalar yapılmaktadır [45].

Elektrot Çekirdek Teli Malzemesi:

Yumuşak çeliklerin kaynağında kullanılan örtülü elektrotların çekirdek tellerinin bileşimi, kaynak dikişinin özelliklerinin kabul edilebilir bir kalitede olabilmesi için belirli sınırlar arasında olmalıdır. Alaşım ve katışkı elementlerinin fazlalığı dikişin mekanik özelliklerine zararlı yönde etki eder. Kükürt fazlalığı dikişte gözenek ve çatlak oluşturur; bu bakımdan elektrot tellerinde kükürdün olabildiğince az olması istenir. Karbon, silisyum ve manganez miktarının da belirli sınırlar içinde olup, bunları aşmaması gereklidir.

Fazla karbon, kaynakta elektrotun yanarken çatırdamasına ve etrafa kıvılcımların sıçramasına ve dolayısı ile de kaynakçının banyoya hâkim olamamasına yol açar. Alaşım elementlerinin çok fazla olması dikişte arzu edilmeyen gevrek bir martenzitik sert yapının oluşmasına neden olur [45].

Kaynak Edilecek Malzemeye Göre Örtülü Elektrot Türleri:

Elektrik ark kaynağında kullanılan elektrotlar, ayrıca birleştirilen malzemenin türüne göre de sınıflandırılabilir.

- Çeliklerin kaynağında kullanılan elektrotlar,
- Dökme demirlerin kaynağında kullanılan elektrotlar,
- Paslanmaz çeliklerin kaynağında kullanılan elektrotlar,
- Yüksek sıcaklığa ve korozyona dirençli çeliklerin kaynağında kullanılan elektrotlar,
- Alüminyum ve alüminyum alaşımlarının kaynağında kullanılan elektrotlar,
- Bakır ve bakır alaşımlarının kaynağında kullanılan elektrotlar,
- Nikel ve nikel alaşımlarının kaynağında kullanılan elektrotlar.

Alaşımsız ve az alaşımlı çeliklerin kaynağında kullanılan elektrotlar:

Alaşımsız ve az alaşımlı çeliklerin kaynağında kullanılan elektrotlar, örtü türlerine göre çeşitli gruplara ayrılırlar. Alaşımlı çelikler, dökme demirler ve demir dışı metal ve alaşımlarının kaynağında kullanılan elektrotların örtüleri genellikle rutil ve bazik karakterli olmalarına karşın, alaşımsız ve az alaşımlı çeliklerin kaynağında kullanılan elektrotların örtüleri bütün türlerden olabilir. Bununla birlikte, son yıllarda asit ve oksit

karakterli örtülü elektrot tüketiminde büyük bir gerileme vardır. Ülkemizde bu tür çeliklerin kaynağında uygulama kolaylığı nedeni ile rutil karakterli örtüler tercih edilmektedir. Batı Avrupa ve Kuzey ülkelerinde ise düşük sıcaklıktaki yüksek toklukları nedeni ile bazik karakterli örtülü elektrotlar daha yaygın bir biçimde kullanılmaktadır.

Bu tür çeliklerin kaynağında elektrot seçiminde parçanın çekme mukavemeti ile çentik darbe mukavemeti göz önüne alınır, genellikle kimyasal bileşimin elektrot seçimine bir etkisi yoktur. Kalın parçaların kaynak ile bileştirilmesinde, soğuk ortamlarda çalışacak konstrüksiyonlarda, kükürt ve fosfor içeriği yüksek çeliklerin kaynağında da bazik karakterli elektrotlar tercih edilir. Yalın karbonlu ve az alaşımlı çeliklerin kaynağında kullanılan örtülü elektrotlar ülkemizde eski TS 563, Almanya'da eski DIN 1913 ve bunların yerine hazırlanan ve tüm AB ülkelerinde geçerli olan EN 499'da, Amerika'da AWS A5.1 ve ASTM-A233'e göre sınıflandırılmışlardır [45].

Az alaşımlı, yüksek mukavemetli çelikler ve ince taneli yapı çeliklerinin kaynağında kullanılan elektrotlar:

Bu gruba giren örtülü elektrotlar çeşitli türlere ayrılan çelik gruplarının kaynağında kullanıldıklarından çok çeşitlidirler. Genel olarak aynı gruba giren çelik türleri gibi alaşımlandırılmışlardır. Elektrot seçiminde en önemli kriter kaynak sonrası ısıtım işlemi uygulanıp, uygulanmayacağı da göz önünde bulundurularak, istenen mekanik özelliklerin sağlanması koşuluna dayanır. Birçok durumda kaynak metalinin çok düşük sıcaklıklardaki çentik darbe mukavemeti ve kaynak dikişinin radyografik kontrolden başarılı geçmesi öngörülen koşullardır. Bu elektrotlar Amerikan AWS A5.5 ve AB ülkeleri ve ülkemizde de EN 499 ve EN 757'de sınıflandırılmışlardır [45].

Paslanmaz ve korozyona dirençli çelikler için örtülü elektrotlar:

Bu tür elektrotlar rutil ve bazik örtülü olabilirler, bazik örtülüler kesinlikle doğru akım pozitif kutupta kullanılırlar. Bu gruba giren elektrotlar, martenzitik kromlu, ferritik kromlu, ostenitik krom-nikelli, duplex (ferritik-ostenitik) paslanmaz çeliklerin ve diğer korozyona dirençli çeliklerin kaynağında kullanıldıklarından ve bu çeliklerin bileşimleri de birbirinden farklı olduğundan çok çeşitli türleri vardır.

Bu elektrotlar Amerika'da AWS A5.4, AB ülkeleri ve ülkemizde de EN 1600'de sınıflandırılmışlardır. Bu standartlarda genellikle kaynak metalinin bileşimini belirten simgeler kullanılmaktadır. Bazı tür elektrotlar kaynak dikişinde krom karbür oluşumuna engel olmak amacı ile niyobyum katılarak stabilize edilmişlerdir. Paslanmaz ve koro-

yona dirençli çeliklerin kaynağında kullanılan elektrotların bir grubu kaynak metaline geçecek olan alaşım elementlerini elektrot çekirdek telinden, diğer bir grubu ise elektrot örtüsünde bulunan metal tozlarından sağlar; birinci gruba girenler normal elektrot, ikinci gruba girenler ise sentetik elektrot olarak adlandırılır. Paslanmaz çeliklerin kaynağında kaynak elektrotu seçiminde esas metalin bileşimi, bulunduğu ortamın özellikleri ve sıcaklığı ile mekanik zorlamalar göz önünde bulundurulur [45].

Dökme Demir Elektrotlar:

Dökme demir türleri kimyasal bileşimleri, metalürjik ve kimyasal özellikleri nedeni ile ancak özel olarak bu işler için geliştirilmiş elektrotlar kullanılarak kaynak edilebilirler. Bu tür elektrotlar esas metale benzer kaynak metali veren ve esas metalden farklı kaynak metali veren elektrotlar olmak üzere iki ana gruba ayrılırlar.

Birinci gruba giren elektrotlar, alaşımsız çelik çekirdekli ve dökme demir (kır dökme demir veya sfero dökme demir) çekirdekli olmak üzere iki ayrı türdür ve bunlar iş parçasına 150–750 °C arasında bir ön tav verilerek kullanılırlar. Ön tav derecesi parçanın büyüklüğü, biçiminin karmaşıklığı ve işlem sonrası kaynak bölgesinin işlenip işlenmeyeceği göz önünde bulundurularak saptanır. Bazı özel durumlarda, örneğin, dökümhanelerde parça üzerinde görülen ufak çukurcuk ve çatlaklar parçanın biçimi uygunsa ve o bölge işlenmeyecek ise ön tavsız olarak bu elektrotlar ile tamir edilebilirler.

İkinci gruba giren elektrotlar saf nikel ve nikel esaslı elektrotlar ile bakır esaslı elektrotları kapsamaktadır. Günümüzde dökme demir parçaların tamir kaynağında veya dökme demir parçaların bir başka tür metal ve alaşım ile birleştirilmesinde nikel ve nikel esaslı elektrotlar çok geniş bir uygulama alanına sahiptir. Bu elektrotlar ön tav gerektirmeden kullanılabilirler. Kalay bronz ve alüminyum bronz elektrotlar genellikle esas metal tüm olarak 200 °C civarına ısıtıldıktan sonra doğru akım ters kutuplama ile uygulanırlar.

Burada akım şiddeti çok az miktarda esas metalin kaynak metaline karışabileceği büyüklükte seçilir. Bu gruba giren elektrotlar ikinci derecede önemli birleştirmeler ile kır dökme demir üzerine özel dolgular yapılması işlerinde kullanılır. Kır dökme demir elektrotlar Amerikan AWS standardında A5.15, Alman DIN 8573’de ve ülkemizde de TS 9463’de standardize edilmişlerdir. Bu konuda da EN hazırlık aşamasındadır [45].

Alüminyum ve alaşımları için örtülü elektrotlar:

Alüminyum ve alaşımlarının kaynağında kullanılan örtülü elektrotlarda örtünün üç önemli görevi vardır.

- Ark bölgesini korumak için koruyucu gaz örtüsü oluşturmak,
- Alüminyum oksidi zararsız hale getirecek bir dekapan gibi etkimek,
- Kaynak dikişlerini örten bir cüruf oluşturmak.

Oluşan cüruf çok korozif olduğundan hemen kaynak sonrası kırılarak uzaklaştırılmalı ve kaynak bölgesi özel solüsyonlarla yıkanarak temizlenmelidir. Bu tür elektrotların örtüleri çok higroskopiktir ve az miktardaki nem dahi kaynak dikişinin gözenekli olmasına neden olur; bu bakımdan bu tip elektrotlar kaynak öncesi kesinlikle kurutulmalıdır. Bu elektrotlar daima doğru akım ters kutuplama (elektrot pozitif kutupta) ile kullanılır; yarısı kullanılmış elektrotların tekrar kullanılmaları gerektiğinde arkın tutuşturulabilmesi için bunların uç kısımlarındaki ergimiş cüruf kesinlikle kırılmalıdır.

Alüminyum ve alaşımlarının kaynağında esas metalin bileşimine ve ısıtım işlem durumuna uygun olarak üretici tarafından önerilen örtülü elektrotlar ancak tehlikeli olmayan tamir işlerinde doyurucu sonuçlar verirler, üretimde gaz altı kaynak yöntemleri tercih edilir. Alüminyum ve alaşımlarının kaynağında kullanılan elektrotlar Alman DIN 1732, Amerikan AWS A5.3 standartlarında sınıflandırılmışlardır. Bu konuda ülkemizde TS 9604 yürürlükte olup, EN hazırlık aşamasındadır [45].

Bakır ve alaşımları için örtülü elektrotlar:

Bakır ve alaşımlarına uygun çok çeşitli türde örtülü elektrotlar günümüzde üretilmektedir, bunlar bileşimlerine ve kullanma yerlerine göre gruplara ayrılabilirler:

Saf bakır elektrotlar, saf bakırın kaynağı ile çelik veya dökme demir üzerindeki bakır kaplamaların tamir kaynağında kullanılır. Silisyum bronz elektrotlar, bakır-çinko alaşımları, bakır ile bazı demir esaslı alaşımların kaynağında uygulama alanına sahiptir; aynı zamanda korozyon direnci sağlamak için yüzey kaplama işlerinde kullanılırlar.

Fosfor bronz elektrotlar, pirinç ve fosfor bronzlarının kaynağında uygun sonuçlar vermektedir; bunlar aynı zamanda bakırın dökme demire lehim kaynağı ile birleştirilmesinde de uygulama alanına sahiptirler. Bakır-nikel alaşımı elektrotlar, bakır-nikel alaşımlarının kaynağı ile çelik üzerine bakır-nikel alaşımı kaplama işlerinde kullanılırlar.

Alüminyum bronz elektrotlar çok yaygın bir uygulama alanına sahiptirler; alüminyum bronzlarının kaynağının yanı sıra, bakır alaşımlarının başka türlü alaşımlar ile birleştirilmelerinde kullanılırlar. Bu elektrot ile çelik üzerine dolgu yaparak aşınmaya ve korozyona dirençli yataklar üretilmektedir. Bakır ve alaşımı örtülü elektrotlar da genellikle doğru akım ters kutuplama ile (elektrot pozitif kutupta) ve bunlar Alman DIN 1733'de ve Amerikan AWS A5.6 standartlarında sınıflandırılmışlardır. Bu konudaki EN hazırlık aşamasındadır [45].

Nikel ve alaşımları için örtülü elektrotlar:

Nikel ve alaşımlarının ark kaynağında kullanılan örtülü elektrotlar, genel olarak esas metalin kimyasal bileşimine benzer bileşimdedir; yalnız bunlar fazladan kaynak metalinin dezoksidasyonunu sağlamak ve çatlamasını önlemek için bir miktar titanyum, mangan ve niyobyum içerirler. Bu elektrotlar genellikle doğru akım ters kutuplama (elektrot pozitif kutupta) ile kullanılırlarsa da, özellikle nikelli çeliklerde ark üflemesine engel olmak amacı ile alternatif akım ile de uygulanabilen türleri geliştirilmiştir. Bu elektrotlar yatay ve oluk pozisyonlarda kaynak yapmak için iyidirler; diğer pozisyonlarda kullanılmaları ancak ince çaplı elektrotlar durumunda olasıdır. Bu tür elektrotların çekirdeklerinin elektrik direnci yüksek olduğundan hiçbir zaman verilmiş olan akım şiddeti üzerindeki değerlerde kullanılmamalıdır, aksi takdirde elektrot ısınır, örtü bozulur ve dolayısı ile de ark kararlılığını yitirir, aşırı sıçrama başlar. Nikel ve alaşımları için geliştirilmiş olan örtülü elektrotlar Alman DIN 1736, Amerikan AWS A 5.11 standartlarında sınıflandırılmışlardır. Bu konudaki TS EN hazırlık aşamasındadır [45].

Doldurma kaynağı (sert dolgu) elektrotları:

Bu tür elektrotlar çeşitli aşınma mekanizmaları sonunda aşınmış veya korozyona uğramış makine parçalarının doldurulmasında kullanılır; ayrıca son yıllarda üretimde, aşınması olası bölgelerin bu tür elektrotlar ile doldurularak daha dirençli bir hale getirilmesi yöntemi de geniş bir uygulama alanı da bulmuştur. Bu elektrotlar Amerikan AWS A5.13 ve AWS A5.21'de ve Alman DIN 8555'de sınıflandırılmıştır. Bu konuda DIN 8555'e paralel bir EN'de hazırlık aşamasındadır. Bu standartta demir esaslı kaynak metal 1'den 10'a kadar rakamlarla belirtilmiş gruplara ayrılmaktadır. 20'li grup az demir içeren stellite, sinterlenmiş karbür, nikel esaslı alaşımları, 30'lu grup ise bakır esaslı doldurma alaşımlarını belirtmektedir; ayrıca bu grup işaretinin yanı sıra kaynak metalinin sertliğini de gösteren bir işaretleme sistemi geliştirilmiştir [45].

Kesme Elektrotları:

Oksi-asetilen yönteminde olduğu gibi ark yardımı ile de kesme yapmak olanağı vardır. Arkla kesmede prensip, elektrotlarla kesilen parça arasında oluşturulan arkın etkisi ile metal veya alaşımın ergiyerek birbirlerinden ayrılmasıdır. Ark ile kesme yöntemleri tarihsel gelişim içindeki incelenmesi şu şekilde yapılabilmektedir:

Karbon elektrotlar ile yapılan kesme işleminde üzeri bakır kaplı grafit elektrotlar, doğru akım, (+) kutupta kullanılır. Bu elektrotlarla yapılan kesmenin esası parçanın kısmen ergimesine dayandığı için kesilen yüzeyler çok kaba olur ve sonradan işlenmesine gerek duyulur. Bu yöntem daha çok hurda kesilmesinde veya delinmesinde kullanılır.

Örtülü elektrotlarla kesmede özel olarak üretilen 4- 6 mm çapında asit, rutil, selülozik ve demir tozlu elektrotlar, 60- 70 A/mm²'lik doğru veya alternatif akım ile yüklenerek kesme işleminde kullanılır. Bu işlem için, bu akım yüküne dayanabilecek penselerin kullanılması da zorunludur. Örtülü elektrotlarla yapılan kesme, ergitme esasına dayanmaktadır. Bu nedenle kesilen ağızlar kabadır, sonradan talaş kaldırarak işlenmesi gerekir.

Oksi-ark yöntemi ile kesme yöntemi, oksijenle kesmeye benzer, burada tavlama alevinin yerini elektrotla parça arasında oluşturulan ark almıştır. Ark oluşturulduktan sonra elektrotun ortasındaki delikten basınçla gönderilen oksijen yanmayı sağlar ve böylece parça kesilmiş olur. Bu yöntem günümüzde sualtı kesme işlemlerinde uygulama alanı bulmaktadır.

Havalı karbon arkı ile (Arc-air yöntemi) kesme yönteminde karbondan yapılmış bir elektrot ve iş parçası arasında oluşturulan ark, metali ertir ve yandaki bir borudan gönderilen basınçlı hava ergiyen metali bölgeden uzaklaştırır. Bu yöntemde metalin oksitlenmesi söz konusu değildir. Metalin kaldırılması basınçlı havanın mekanik kuvveti ile sağlanır. Bu yöntem, daha çok parçalara kaynak ağzı ve oluk açmak veya hatalı kaynak dikişlerini sökmek için uygulanmaktadır. Bu konuda, ülkemizde TS 9469 geçerlidir, EN hazırlık aşamasındadır [45].

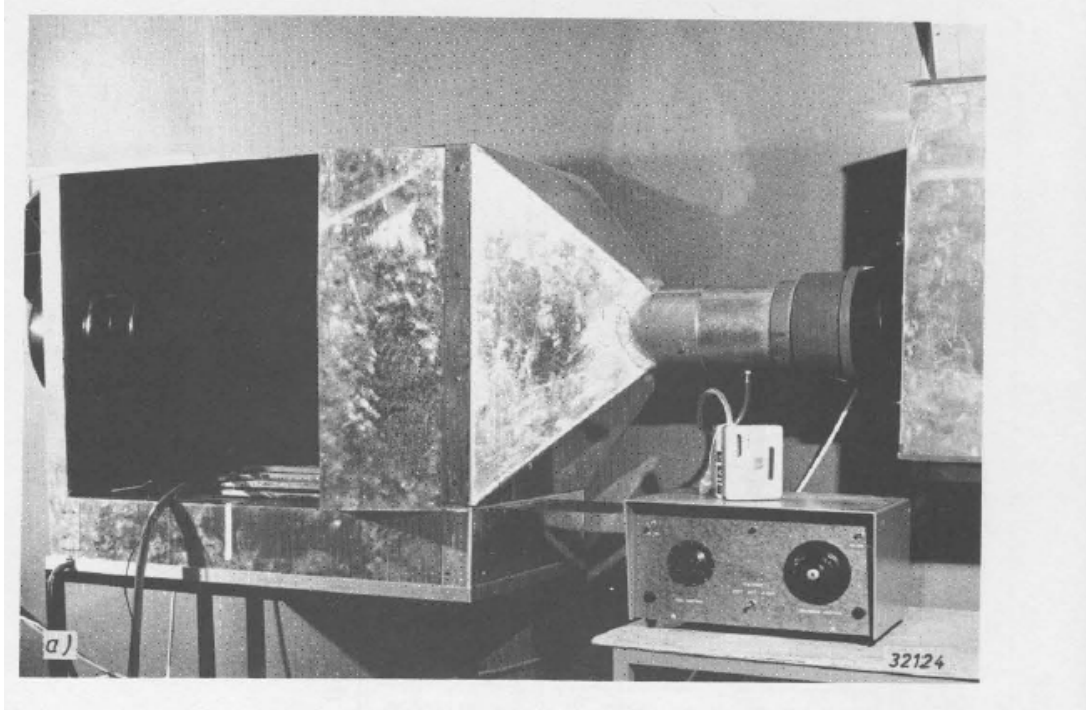
4. GAZ VE PARTİKÜL TAYİNİNDE KULLANILAN DENEY DÜZENEKLERİ

Gaz ve partikül tayininde kullanılmak üzere Japonya, A.B.D ve Hollanda gibi bazı Avrupa ülkelerinde deney düzenekleri geliştirilmiştir. Bu bölümde, Amerikan standartlarında yer alan İsveç deney düzeneği ve Hollanda ve Japon standartlarında yer alan deney düzeneği hakkında bilgi verilecektir.

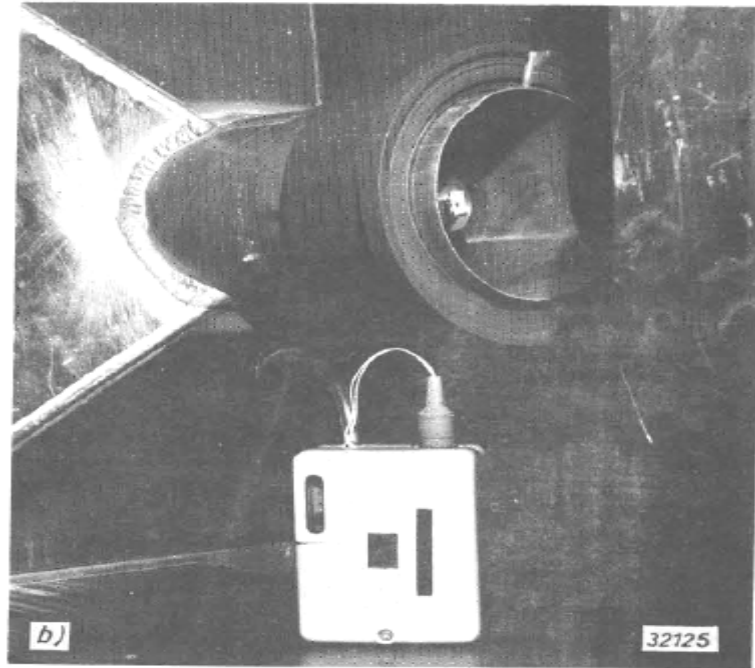
4.1 Amerikan Standartlarında da Yer Alan İsveç Deney Düzeneği

4.1.1 Ekipman

Deneylerde kullanılan aparat Şekil 4. 2’de görülmektedir. Operatör, elektrot için tavsiye edilen maksimum akımı kullanarak, deney haznesinin önünde bir plaka sacı delik boyunca kaynak etmektedir. Hazne içerisindeki hava emilen partiküllerle birlikte bir dışarı çeken pompa vasıtasıyla bacaya çekilmekte ve partiküller tepede yer alan 240 mm çapındaki filtre kâğıdında toplanmaktadır. Filtre kâğıdının ağırlığı kaynak öncesi ve sonrasında tartılmakta ve partikül emisyon hızı, partikül ağırlığı ve kaynak hızından hesaplanabilmektedir. İnsan sağlığı açısından önemli olan elementler için partiküller analiz edilmektedir. Bu standart da alaşımsız çelik elektrot için ölçüm yapıldığında demir, mangan ve florü incelemenin uygun olduğu belirtilmektedir [46].



Şekil 4. 1 a) Elektrik ark kaynağı elektrotları için deney haznesi genel görünüşü [46].



Şekil 4. 1 b) Elektrik ark kaynağı elektrotları için deney haznesi baca kısmı [46]

Nominal Hijyenik Hava İhtiyacı (NHL) aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır:

$$NHL = 10.G \left(\frac{Dim}{5} + \frac{Mn}{2.5} + \frac{F^-}{2.5} + \frac{X}{x} + \frac{Y}{y} \right) m^3 / saat \quad (4.1)$$

G = elektrodun g/hr cinsinden partikül emisyon hızı,

Dim = Limit değeri $\geq 5 \text{ mg} / \text{m}^3$ olan Fe_2O_3 gibi bileşenleri içeren soy, inorganik partiküller,

Mn = Mn yüzdesi olarak ifade edilmekte olan partiküllerdeki mangan oksit miktarı,

F^- = F^- yüzdesi olarak ifade edilmekte olan flor miktarı,

X,Y = Partiküllerin diğer önemli bileşenlerinin yüzdeleri,

5 = Soy, inorganik partiküllerin mg / m^3 olarak hijyenik sağlık limit değeri

2.5 = Sırasıyla Mn ve F^- için mg / m^3 olarak hijyenik sağlık limit değeri

x,y = X,Y için mg / m^3 olarak hijyenik sağlık limit değeri

NHL değerine bağlı olarak elektrot 5 partikül sınıfından birine yerleştirilmektedir [46].

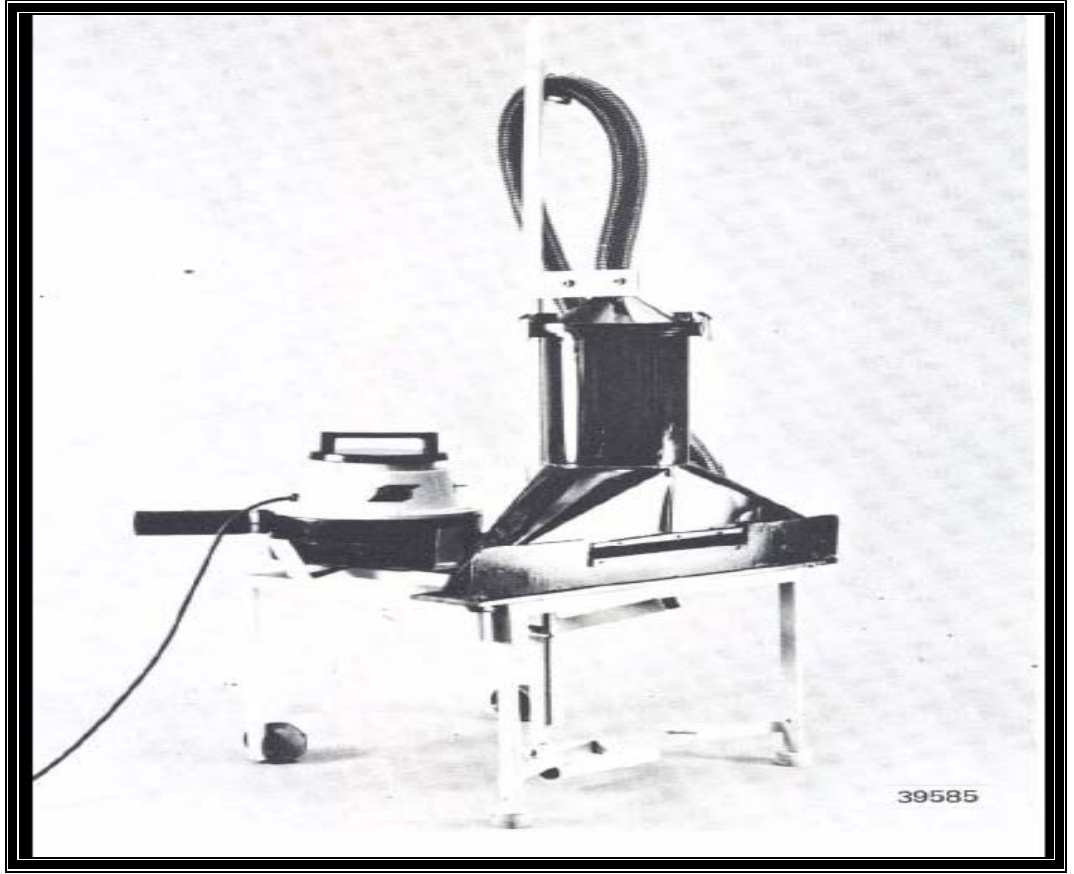
Partikül sınıfı	Nominal hijyenik hava ihtiyacı NHL, m^3/h
1	< 3000
2	$3000 \leq - < 7500$
3	$7500 \leq - < 15000$
4	$15000 \leq - < 35000$
5	≥ 35000

4.1.2. Standartta önerilen ön hazırlık deneyleri

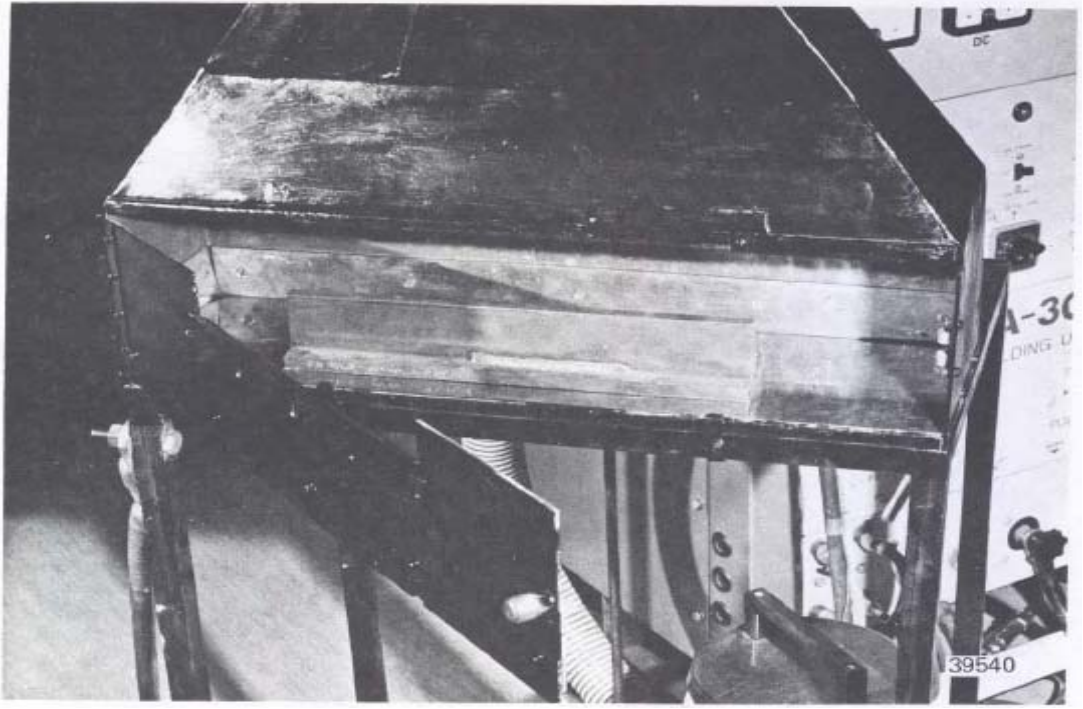
İsveç Partikül Haznesi kullanılarak bir dizi deneyler yapılmıştır. Her biri o elektrot boyutu için imalatçı tarafından belirlenen % 10 maksimum değeri içinde bir akım değerinde yapılan deneylerde 5 tip elektrot kullanılmıştır. Elektrodun her bir tipi 4 çap değeri için deneye tabi tutulmuştur (3. 2–6.0mm): diğer dört elektrodun çapları 4 mm idi. Deney grupları 3 veya 6 özdeş deneyi içermektedir [46].

4.1.3 İsveç Partikül Haznesinin Sonuçlarını Etkileyen Parametrelerin İncelenmesi

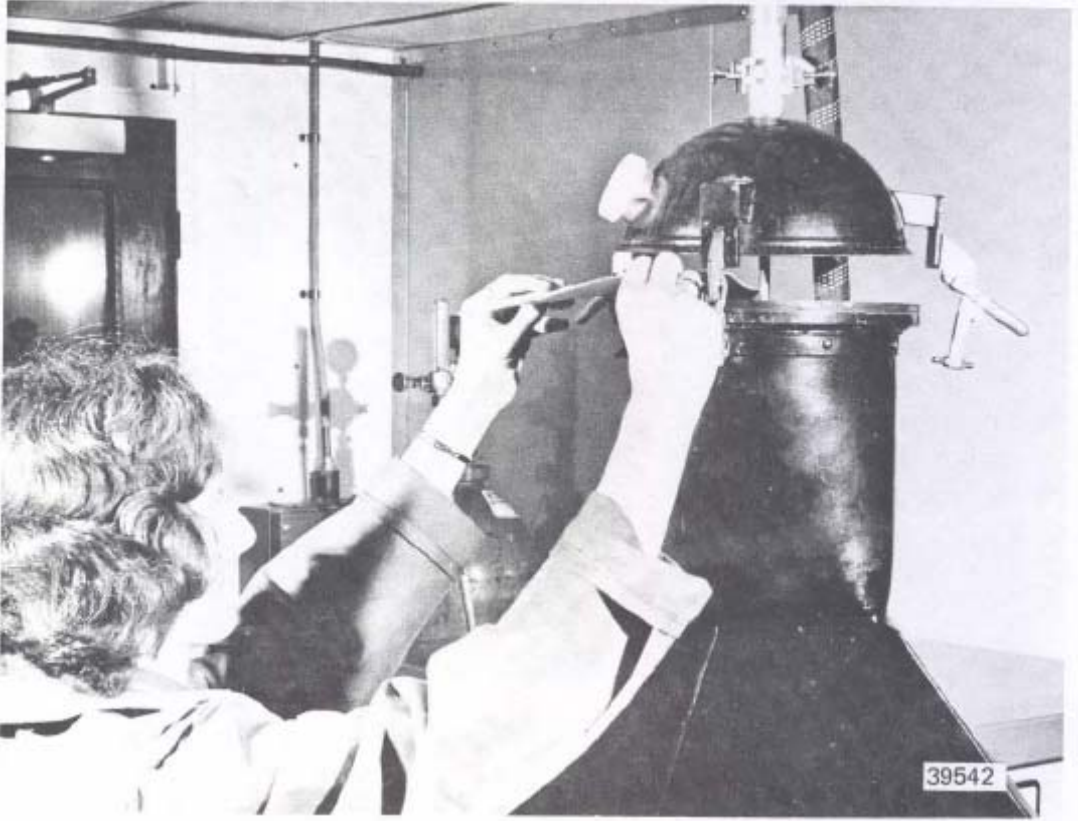
Partikül emisyon hızına etkiyen kaynak parametrelerinin etkilerini irdelemek için ölçümler yapılmıştır. Her bir sonuç için 6 deney yapılmış ve ortalama ve standart türev hesaplanmıştır. Deneylerde bazı istisnalar dışında 4 mm çapında basitçe kaplanmış yumuşak çelik tipi ark elektrodu alternatif akımla kullanılmıştır. Elektrot uçtan 250 mm mesafeden işaretlenmiştir ve kaynakçı bu işarete ulaştığında arkı durdurmuştur. Şekil 4. 2, 4. 3 ve 4. 4 İsveç Partikül Haznesi'nin kullanımını göstermektedir [46].



Şekil 4. 2 İsveç Partikül Haznesi [46]



Şekil 4.3 Kaynak Enstitüsünün partikül haznesinde yerleştirilmiş iş parçası [46]



Şekil 4.4 Kaynak Enstitüsü partikül haznesine temiz filtre yerleştirilmesi [46]

4.1.4 Bağlantı Şekli

Eş değer plaka sac kaynaklarıyla birlikte levha üzerinde bir hat üzerinde kaynak deneyleri yapılmıştır. Deneylerin ayarlarında farklı akımlar ve kutuplar kullanılmıştır. Plaka kullanılarak yapılan deneyler levha üzerinde hat şeklinde yapılan kaynaklara göre % 70–92 daha fazla partikül emisyon hızı vermiştir. Plaka sac kaynağı güncel bir kaynak olup İsveç standardında belirtilmiştir. Plaka sac kaynağının dezavantajı deney numuneleri için iki kat daha fazla malzemenin gerekmesi ve kullanımdan önce iki parçanın kaynakla tutturulması ve cüruftan arındırılması gereklidir.

Tüm diğer deneyler, sac üzerinde hat boyunca kaynağın daha iyi bir ark uzunluğu tahminine imkan sağlayan operatör değişkenleri dışında, plaka sac kaynağında kullanılan elektrotlar için partikül emisyon hızını etkileyen faktörleri değerlendirmektedir [46].



Şekil 4.5 Kaynak Enstitüsü partikül haznesinde deney yapılırken [46]

4.1.5 İş parçası boyutu

Deneylerde plaka sac iş parçalarının iki adet boyutu kullanılmıştır. Örneğin 300 x 50 x 12 / 300 x 50 x 12 mm ve 330 x 75 x 18 / 330 x 75 x 18 mm. boyutlarında ve 3.25 ile 4 mm çaplı elektrotlar daha küçük iş parçaları üzerine, 5 ve 6 mm çaplı elektrotlar da daha büyük iş parçaları üzerine çekilmiştir. Deneyler 4 mm çaplı elektrotlar için daha büyük iş parçaları ve 5 mm çaplı elektrotlar için daha küçük iş parçaları kullanılarak yapılmıştır [46] .

4.1.6 Elektrod Açısı

Partikül emisyon hızı üzerindeki elektrot açısı etkisi ölçülmüştür. İş parçası hassas olarak yerleştirilmiş ve kaynak açısı kaynak kafasının üst ve altı tarafından kontrol edilmiştir. Kaynakçıdan elektrodu kaynak aparatının kafasına doğru tutması istenmiştir. Böylelikle deneyde kullanılan açı sonuçlarda verilen açıya yakın olmuştur [46].

4.1.7 Kaynak akımı ve elektrod çapı

İmalatçının önerdiği akım aralığında 4 farklı boyutta örtülü elektrodun deneyi yapılmıştır. Her bir elektrot çapı için 30 deney yapılmış ve 5 kaynak akım değerinde minimum akımdan maksimum akıma 6 ölçü olarak gruplanmıştır [46].

4.1.8 Elektrot Kutuplaması

Pozitif doğru akım ve negatif doğru akım kutuplamasıyla yapılan deneyler 4 mm çaplı örtülü elektrotlar için alternatif akımla yapılan deneylere göre daha fazla partikül emisyon hızı değerleri verdiği görülmüştür. Tavsiye edilen maksimum akımda ve imalatçının önerdiği kutuplamalarda üç farklı tip elektrot denenmiştir.

4 ve 5 mm çaplı rutil kaplı, demir tozu elektrotların her ikisine de sırasıyla alternatif maksimum akımlar kullanılarak yapılan deneylerde 5 mm çaplı elektrotların 4 mm çaplı elektrotlara göre daha az partikül emisyon hızına sahip olma olgusunu tekrarlamıştır [46].

4.1.9 Elektrot Grubu

5 mm çaplı elektrotlara yapılan ikinci deneyler daha yüksek partikül emisyon hızı değerleri vermişlerdir. Her gruptan 5 mm çaplı elektrot sadece imalatçının tavsiye ettiği akımda kullanılmıştır [46].

4.1.10 Operatör değişkenleri ve ark uzunluğu

Partikül emisyon hızı üzerinde operatör kaynakçı etkisini irdelemek için deneyler yapılmıştır. Deneylerde 4 kaynakçı kullanılmıştır:

Kaynakçı 1: İki yıl tecrübeli kaynakçı

Kaynakçı 2: 1,5 yıl tecrübeli kaynakçı

Kaynakçı 3: 24 yıl tecrübeli kaynak mühendisi

Kaynakçı 4: Kaynakçı eğitimi olmayan ancak elektrodu hat boyunca eritebilen kaynakçı

Deneyler başlamadan önce her kaynakçıya partikül haznesinde 3 elektrot denemesi yapmasına izin verilmiştir. Kaynakçı 4 daha yüksek ve daha çeşitli partikül emisyon hızları vermesinin nedenin aşırı ve kararsız ark boyu olduğundan şüphelenilmektedir. Kaynakçı 3'den kısa, normal, uzun veya olabildiğince uzun ark boylarında kaynak yapması istenmiştir. Deneyler esnasında ark gerilimiyle ilgili olarak ark voltajının ark uzunluğuna bağlı ve onunla ilgili bazı değerler verdiği not edilmiştir. Bu sonuçlar 'normal' ark uzunluğuyla kaynak yapan kaynakçı 4'ün sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır [46].

4.1.11 İsveç Partikül Haznesi Deneylerinin Yorumu

Elektrodun açısını ve iş parçası boyutunu inceleyen deneylerin sonuçlarının yorumu operatöre bağlı olan partikül emisyon hızındaki varyasyon nedeniyle komplikedir.

Partikül emisyon hızında herhangi bir değişiklik deney serilerinin başından sonuna kadar yukarı doğru sabit artan trendinden ve artan dağılım tarafından engellenmektedir.

İncelenen faktörlerin çoğu bir standartta net olarak tanımlanabilmektedir. Eğer bir elektrod hem alternatif hem de doğru akım kullanılarak yakılabiliyorsa İsveç standardı alternatif akımın kullanılmasını tavsiye etmektedir. Buna rağmen bazı elektrot tipleri için doğru akım daha yüksek partikül oluşum hızı verir ve bir elektrodun önerilen her kutuplamasını kullanarak önlemler alma ihtiyacı olabilir.

5 mm çaplı kaplanmış elektrotların yeniden test edilmesi iki grup elektrot arasında partikül emisyon hızındaki farklılıkların bulunmasını onaylamıştır. Eğer bu grup farklılığı diğer tip elektrotlarda da meydana gelirse o zaman bu değişikliklere izin veren prosedürler için bir standart hazırlanmalıdır.

0 ila 24 yaş arası kaynak tecrübesine sahip olan operatörler bu deneylerde kullanılmışlardır ve tecrübesiz kaynakçı en tecrübeli kaynakçıdan % 20–30 daha fazla partiküle sebebiyet vermiştir. Aynı koşulları kullanarak herhangi bir kaynakçıyla yapılan deneylerin sonuçları ortalama okumadan % 10’a kadar varyasyonlar göstermişlerdir. Ark geriliminin partikül emisyon hızını etkilediği ve ark gerilimini kontrol eden ark uzunluğu üzerinden kaynakçıdır. Tecrübesiz kaynakçı oldukça uzun bir ark uzunluğu kullanmıştır ve partikül haznesinin içinde kaynak yapılırken karşılaşılan zorlukların kararsız ark boylarına neden olması imkan dahilindedir [46].

4.1.12 Filtre Malzemesinin ve ağırlık ölçme tekniğinin seçilmesi

Kaynak deneyleri esnasında operatörden kaynaklanan partikül emisyon hızlarındaki varyasyonlar filtre malzemelerinin değerlendirilmesini zorlaştırmıştır. Bu yüzden partikül haznesindeki kullanım için filtre malzemesi en iyi boş okumalar ve ağırlık ölçme özellikleri tarafından seçilmiştir. Her ne kadar filtre malzemesinden kaynaklanan farklılıklar göreceli olarak küçük de olsa filtre malzemesinin partikül emisyon hızı ölçümünü pratikte mümkün olabildiğince hassas olarak ölçülmesini sağlayacak şekilde seçilmesi istenir.

Toplam 6 adet filtre malzemesinin İsveç Partikül Haznesi’ne olan uyumu değerlendirmek için deneyler yapılmıştır. Bu filtreler;

Munktell OOR: İsveç standardında tavsiye edilen kâğıt filtre

Whatman 41: İngiltere’de bulunan Munktell OOR’nin benzeri kâğıt filtre

Whatman GF/A: Cam fiber filtre

Saffil (Al_2O_3) : Seramik fiber filtre

Saffil (ZrO_2) : Seramik fiber filtre

Microsorban 98: Polistiren fiber filtre

Her tipten 6 adet filtre kullanılmış ve okunan değerlerin ortalamaları sonuçlarda sunulmuştur. Saffil ve Microsorban filtrelerinde elde edilen değerler düşük olduğu için bu filtreleri bütün deneylere tâbi tutmak mümkün olmamıştır. Filtreler ağırlıklar arasında atmosfere açık bir kabinde tutulmuştur. Bağıl nem, aynı odada saklanan ıslak ve kuru bir elektrik ampulü termometresinin kullanılmasıyla ölçülmüştür. Ağırlık ölçme işlemleri arasındaki zaman aralığı sabit değildi ancak toplam deney süresi bir aydı.

Kurutucu olarak düzenli olarak değiştirilen silika-jel kullanılmıştır. İki seri boşluk okuma alınmıştır. Birinci serilerde filtre partikül haznesindeki pozisyona yerleştirildi ve tahliye pompası kaynak yapmaksızın 3 dakika çalıştırıldı. Bir deney için 3 dakika pompanın toplam çalışma zamanı olarak uygundur. Kullanılan iki ağırlık ölçme yöntemi için farklı deneyler yapılmıştır: İsveç standardında tavsiye edilen deney öncesi ve sonrasında hemen ağırlık ölçme ve deneyden önce ve sonra filtre üç gün boyunca kurutma kabiniinde tutulduktan sonra ağırlık ölçülmüştür.

İkinci seri deneylerde 3dakikalık pompa sürecinin ilk dakikası için partikül haznesinde bir suyla soğutulan bakır blok üzerinde 150 A TIG arkı kullanılmıştır. Her ne kadar ısı çıkışı bir önceki kaynak kadar fazla olmasa da bu, partikülsüz bir ark üretmiştir. Bu deneyler de iki ağırlık ölçme yöntemi kullanarak gerçekleştirilmişlerdir.

Atmosfere açık olarak saklanan filtre kâğıtlarının ağırlıkları nem oranına bağlı olarak çeşitlilik göstermiştir. Kâğıt filtreler benzer ağırlık değişimleri göstermişlerdir. Cam-fiber filtre Whatman GF/A nispeten daha az ağırlık değişimleri göstermiştir. Bütün deneylerde Microsorban 98 filtre ağırlık sonuçları herhangi bir mantıksal trendi takip etmemiştir ve her ne kadar net ağırlık artışı gözlenmişse de 6 adet filtre kâğıdında ağırlık değişimlerinde çok geniş bir varyasyon olmuştur.

Benzer şekilde kurutma kabiniinde kâğıt filtreler çok benzer ağırlık kayıplarına sahip olmuşlar ve Microsorban 98 filtre ağırlıkları çok kararsız olmuşlardır. Çoğu durumda standart türev Microsorban filtreler için ortalama ağırlık değişiminden çok daha fazla olmuştur.

Cam fiber filtre malzemenin nem oranından ve düşük boşluk okumasından en az etkilendiği için İsveç partikül haznesinde kantitatif kullanım olarak en uygun olarak yorumlanması sonucunu çıkarmıştır. Buna rağmen partiküller kağıt yüzeyinden rahatça toplanabilmesinden ötürü kaynak partiküllerinin kalitatif toplanmasında kağıt filtreler daha uygundurlar [46].

4.2 Diğer Standartlarda Yer Alan Deney Düzenekleri

Yapılan ilk çalışmalar kaynak işlemleriyle oluşan partiküllerin toplanması için rüzgâr tünelinin geliştirilmesini amaçlamaktaydı. Rüzgâr tüneli başka amaçlar için inşa edildiğinden bu iş için yetersiz görüldü. Tünel kesitinden geçen hava akımı laminar olduğundan ark noktasında elektrot tarafından oluşan partiküllerin tünel boyunca taşınması

uygun bir karışımla olmamıştır. Aynı zamanda partikül toplayıcılarının rüzgar tüneli-nin pratik uygulamasında uygun konum alması mümkün olmamıştır.

Bu hataları gidermek amacıyla ikinci bir rüzgâr tüneli geliştirilmiştir. Hazne biri hava girişinde, diğeri partikül toplanmanın gerçekleştiği sınırlandırılmış geçiş bölgesinde olmak üzere iki adet fan içermektedir. Bu iki fanın görevi haznenin ana bölümünde çok yüksek mertebelere varmayan türbülans oluşturmak içindir.

Amerikan standartlarından başka Hollanda’da ve Japonya’da da deney düzenekleri geliştirilmiştir. Avrupa ülkelerinde İsveç Partikül Haznesi üzerindeki araştırmalar devam etmektedir.

4.2.1 Hollanda Yöntemi

Kaynak işlemi esnasında oluşan partiküller için iki adet partikül toplama yöntemi mevcuttur. Düşük miktarda hidrojen içeren elle yapılan metal ark kaynağı elektrotlarından ve özlü elektrotlarından çıkan gaz floridler küçük bir hazne içerisinde kaynak yapılarak ölçülür. Partikülleri hareket ettirmek için bu küçük hazneden duman karışımı önce filtre içerisinden ve daha sonra gaz floridleri absorbe eden sulu sodyumhidroksit çözeltisi içeren dört adet seri hava kabarcığı ünitesinden tahliye edilir. Daha büyük bir hazne üç işlem tarafından oluşturulan toplam partikül miktarının ölçümünde kullanılır. Partikül emisyon hızları ve bileşimleri bir dizi elektrik ark kaynak elektrotları için saptanmıştır ve akımın etkisi, kutuplanma ve kaynak pozisyonu üzerinde çalışılmıştır. Farklı gaz korumaları altında partikül emisyon hızları saptanabilmiştir [46].

4.2.2 Japon Yöntemi

Elektrik ark kaynak elektrotlarının partikül emisyon hızı üzerindeki kaynak parametrelerini incelemek amacıyla benzer bir kısmi partikül toplama tekniği de Japon işçiler tarafından kullanılmaktadır. Akım etkisi, gerilim ve kutuplanma çok değişik tipte elektrot, elektrot açısı, kaynak pozisyonu, elektrot örtüsündeki nem oranı ve kaynak hızına bağlı olarak rutil elektrotlar için incelenmiştir. Deneyler aynı zamanda toplam partikül toplanarak da yapılmıştır. Bu konuyla ilgili ‘Örtülü elektrotlar tarafından oluşan kaynak partiküllerinin toplam miktarının ölçülme yöntemi’ adında kullanılan JIS Z 3930–1979 kodlu Japon standardı bulunmaktadır [46].

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

5.1 Deneyler İçin Tasarlanan ve Kullanılan Düzenek

Amerikan standartlarında yer alan İsveç deney düzeneği deneylerde kullanılan partikül haznesinin tasarlanmasında model olmuştur. Bunun en önemli nedeni İsveç Partikül Haznesi'nin diğer yöntemlere göre kullanım kolaylığına sahip olmasıdır. İsveç Partikül Haznesi İsveç standartlarında yerini aldıktan sonra bütün dünyada değişik şekillerde geliştirilerek yaygın bir kullanım alanı bulmuştur. Amerikan standartlarında da yer alan İsveç Partikül Haznesi diğer yöntemlere göre daha uygun tekrarlanabilir deney yapma olanağını sağlamasının yanında yüksek doğruluk ve hassasiyetle ölçüm yapabilme olanağı sağladığı için deney düzeneğinin tasarımında bu partikül haznesi örnek alınmıştır.

Tez konusu olarak 'Elektrik ark kaynak elektrotlarının gaz ve partikül emisyonunun incelenmesi' konusu alındıktan sonra ilk yapılması gereken daha önce Dr.-Müh. Ahmet SEVÜK tarafından tasarlanmış ve elemanları Kaynak Araştırma Laboratuvarı'na getirilmiş olan deney düzeneğinin, deneylere hazır fonksiyonel hale getirilmesi olmuştur. Şekil 5.1'de perspektif resmi görünen deney düzeneğinin haznesinin dışa açılan delikleri kapatılmış, böylelikle gazın bu deliklerden kaçmasının önüne geçilmiştir.



Şekil 5.1 Dört tane tekerlek üzerinde hareket ettirilebilen deney düzeneğinin perspektif görünüşü.

Deney düzeneğinin bacası, arasında filtre kâğıdı bulunan iki halka sızdırmazlık elemanına ve deney düzeneğinin dört tekerlek üzerinde hareket ettirilebilen haznesine Şekil 5.2’de gösterildiği gibi somun-cıvata bağlantısıyla monte edilmiştir.

Bacanın çıkış çapıyla aynı çapta olan debi ölçer bacanın çıkışına geçirilerek monte edilmiştir.



Şekil 5.2 Birbirlerine cıvata-somun bağlantısıyla birleştirilen baca, hazne ve arasında filtre kâğıdı bulunan iki halka sızdırmazlık elemanı. Bacanın üzerinde debi ölçer görülmektedir.

Şekil 5.2’de yandan görünüşü görülen debi ölçer vakum yapılan debi değerinin ölçülmesine yaramaktadır. Deney tasarımı sırasında bu deney için istenen debi değerlerinin 60 ila 80 m³/h olması istenmiş, bunun sağlanabilmesi için de debi ölçerin üzerindeki boruya açılıp kapanabilen bir klap yapılmıştır. Bu klapenin açılıp kısılmasıyla vakum debi değeri arttırılıp azaltılabilmektedir. Debi ölçerin çıkış borusu yine Şekil 5.3’de görülebileceği gibi bir plastik destek elemanı vasıtasıyla Şekil 5.4’de görülen gerekli vakumu sağlamak için kullanılan 3 motorlu endüstriyel vakum cihazının çıkış borusuna monte edilmiştir.



Şekil 5. 3 Debi ölçerin yandan görünümü.

Yapılan deneylerde istenen debi değeri 60 ile 80 m³/h'dır. Debi, debi ölçerin üzerinde yer alan borudaki klapenin açılıp kısılmasıyla ayarlanır.

Deney düzeneği hazırlanırken karşılaşılan en önemli sorun gerekli vakumu yapmak için ihtiyaç duyulan aletin saptanıp monte edilmesi olmuştur. Daha önce denenilen iki adet eksenel pompa yüksek olan basınç kayıplarından dolayı gerekli vakumu sağlayamamış, her ne kadar basınç kayıpları azaltılsa da yine de istenen debi değerine ulaşmak mümkün olmamıştır. Bu durumda sanayide sıkça kullanılmakta olan Şekil 5.4'de gösterilen yüksek debili bir vakum cihazının kullanılması düşünülmüş, gerekli deneyler yapıldıkta sonra üç motorlu bu cihaz istenenden bile daha yüksek olan 120 m³/h'e varan debi değerlerine ulaştığı görülmüştür. Bu sonuç üzerine bu üç motorlu yüksek vakum yapabilen endüstriyel cihaz alınmış ve monte edilmiştir.



Şekil 5.4 Gerekli vakumu sağlamak için kullanılan 3 motorlu endüstriyel vakum cihazı

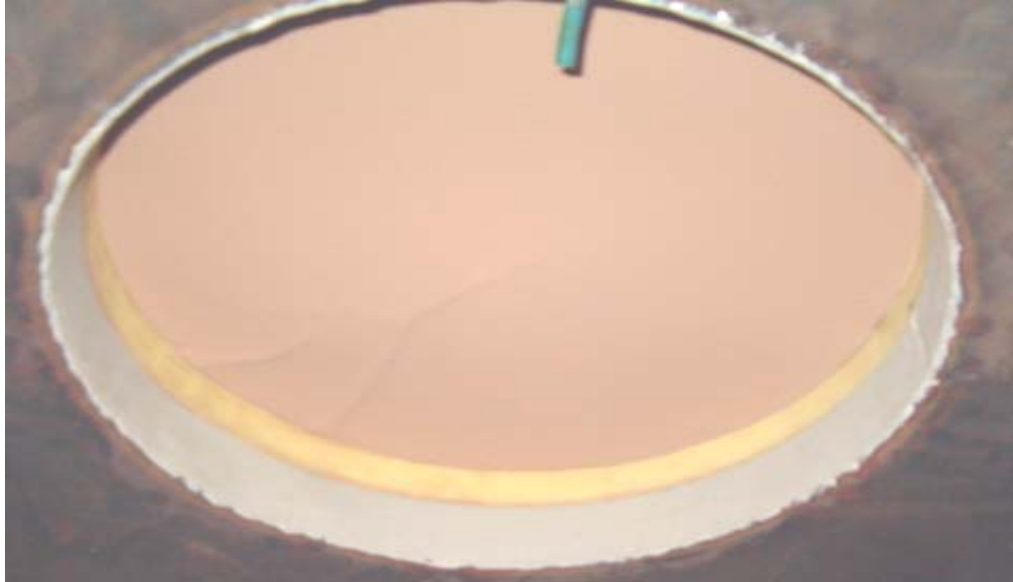
Yapılan ilk deneme deneylerinde iki sızdırmazlık halkası içerisine yerleştirilen cam-fiber filtre kâğıdının yüksek debiden ötürü parçalandığı görülmüş, bunun üzerine de cam-fiber filtre kâğıdının altına, yani alt sızdırmazlık elemanın üstüne paslanmaz çelikten yapılan delikli, yuvarlak bir tel levhanın giderilmesiyle sorun giderilmiştir.

Tüm kaynak işlemleri fakültemizin profesyonel kaynakçısı tarafından Şekil 5.5’de görüldüğü gibi yapılmıştır. Elektrotların yanmasıyla ortaya çıkan gaz + partikül karışımı endüstriyel vakum cihazı tarafından haznenin yukarısına doğru sabit debiyle çekilmiş ve gazlar filtre kağıdından geçerek tahliye edilirken, partiküller Şekil 5.6’da görüldüğü gibi cam-fiber filtre kağıdına tutunarak toplanabilmişleridir.



Şekil 5.5 Hazne içerisinde örtülü elektrodu eriterek kaynak yapan profesyonel kaynakçı

Şekil 5.6 500°C yanma sıcaklığına sahip cam-fiber filtre kâğıdına deney sonunda tutulmuş olan partiküllerin hazne içerisinde alttan görünüşünü göstermektedir.



Şekil 5.6 Partiküllerle dolan filtre kâğıdının hazne içerisinde alttan görünümü

Elektrik ark kaynağı sonrası açığa çıkan gazların analizi Şekil 5.7’de perspektif resmi verilen baca gazlarının analizinde kullanılan baca gazı analiz cihazıyla yapılmıştır. Baca gazı analiz deneyi, İ.T.Ü Makine Fakültesi, Termodinamik ve Isı Tekniği Anabilim Dalı’nın işbirliğiyle yapılmıştır.



Şekil 5.7 Baca gazı analiz cihazının perspektif görünüşü

Baca gazı analiz cihazının probunun hazne içerisine girip kaynak banyosunun hemen üzerindeki gazların konsantrasyonlarını ölçebilmesi için Şekil 5.8’de görüldüğü gibi haznenin sağ yanına bir boru kaynatılmış, böylelikle gaz analizi için probun haznenin içerisine kaynak banyosunun hemen üzerine konumlandırılabilmesi mümkün kılınmıştır.

Baca gazı analizinden önce baca gazı analiz cihazı kalibrasyona gönderilmiş ve deneylere hazır hale getirilmiştir. Baca gazı analizi İ.T.Ü Makine Fakültesi Termodinamik ve Isı Tekniği öğretim üyesi Yrd. Doç. Dr. Erhan BÖKE tarafından yapılmıştır. Şekil 5.8 baca gazı analiz cihazının probunun deney öncesinde hazneye yerleştirilmesini göstermektedir.



Şekil 5.8 Baca gazı analiz cihazının probu deney öncesinde hazneye yerleştirilirken.

5.2 Deneylerin Yapılışı

Kullanılan bütün elektrotların çap değeri 3,25 mm'dir. Kaynak makinesinde istenilen akım değerleri ayarlanarak deney sırasında da kontrol edildi. Partikül deneyleri için her bir deney öncesinde filtre kâğıdı sızdırmazlık elemanlarının arasına kondu ve elemanlar cıvata-somun bağlantısıyla birbirine birleştirildi. Daha sonra vakum cihazının iki kademe düğmesine basılarak, yani iki motorlu çalışması sağlandı (1. kademe $50 \text{ m}^3/\text{h}$; 2. kademe ile beraber basıldığında $90 \text{ m}^3/\text{h}$ ve 3. kademe basıldığında $120 \text{ m}^3/\text{h}$ olmaktadır) ve böylece vakum debi değeri bütün deneyler için $75 \text{ m}^3/\text{h}$ olarak debi ölçerin üzerinde yer alan klapе vasıtasıyla ayarlandı ve tüm deneyler esnasında kontrol edildi. Partikül deneylerinden sonra cıvata-somun bağlantıları anahtarla söküldü ve partikül dolu filtre kağıdı çıkarıldı. Gaz deneyleri esnasında kaynak banyosunun hizasının hemen üzerine kaynatılan borudan probu sokulan baca gazı analiz cihazı ekranında değerler okunmak suretiyle deneyler yapıldı. Kaynak esnasında kaynakçı, kaynakçı eldiveni ve gözlüğü takarak koruyucu önlemleri aldı ve kaynak boyunca haznenin kapısını kapalı tutarak dışarı gaz ve partikül kaçmasına mâni oldu. Kaynakçı kalifiye olduğundan ark boyunu kaynak esnasında sabit tutarak kaynak akım değerlerinin olması gereken değerlerden sapmasını önledi ve kaynağın sabit a-

kımda ve üniform olarak yapılmasını sağladı. Kaynak işleminden sonra vakum cihazı yaklaşık 1-2 dakika daha çalıştırılarak içerideki karışımın tamamen vakumlanması sağlandı. Daha sonra vakum cihazı kapatıldı. Tüm deneyler bittikten sonra kaynak haznesi, vakum cihazı ve diğer ekipmanlar sökülerek diğer deneyler için temizlendi. Deneylerde kullanılan baca gazı analiz cihazının belli sürelerde kalibre edilmesi için beklendi. Her deney öncesinde ekipmanlar aynı şekilde monte edilerek deneylere başlandı. Bilhassa partikül deneyinde cıvata-somun bağlantısının her defasında sökülüp filtre kağıdının değiştirilip ve daha sonra tekrar takılması uzun zaman aldı. Filtre kağıdının yüksek vakumdan dolayı parçalanmamasını sağlamak amacıyla alt sızdırmazlık elemanının üstüne paslanmaz çelikten delikli dairesel tel levha kondu ve her deney öncesinde filtre kâğıdıyla beraber hassas bir şekilde konumlandı.

6. DENEY SONUÇLARI

Gaz ve partikül deneylerinde kullanılan 3,25 mm çaplı tüm örtülü elektrotların kimyasal analiz değerleri, ambalaj kutuları üzerinden okunarak veya üretici firmanın resmi internet sitesinden alınarak Tablo 6.1’de gösterilmiştir.

Tablo 6.1 Deneylerde kullanılan elektrotların kaynak metalinin kimyasal analiz değerleri [47]

Elektrot Tipi (3,25mm çaplı)	C(%)	Cr(%)	Mn(%)	Si(%)	Ni(%)	Mo(%)
AS B 248	0,07	-----	0,9	0,5	-----	-----
AS R 143	0,08	-----	0,65	0,35	-----	-----
AS B 255	0,07	-----	1,2	0,5	-----	-----
AS DA778	0,05	0,35	1,5	0,4	1,8	0,45
AS P 308L	0,03	19	0,7	0,8	10	-----
AS P 308 Mn	0,1	18	6	0,5	9	-----
AS P 310 R	0,1	26	1,7	0,6	21	-----
SD-Cr 13	0,1	13	0,3	0,5	-----	-----
SD-Abra Cr	4,5	33	-----	-----	-----	-----
AS S 6010	0,08	-----	0,6	0,2	-----	-----
AS P 318	0,04	18	0,8	0,9	12	2,5
AS DA 753	0,05	0,35	1,5	0,4	1,8	0,45

AS R 143 rutil elektrot, AS S 6010 selülozik elektrot, AS B 248 bazik elektrot ve AS P 318 paslanmaz çelik elektrotu için yapılan gaz analiz deney sonucu Tablo 6.2’de, partikül analiz deneyi sonucu Tablo 6.3’de verilmektedir.

Tablo 6.2 Bazı elektrotlar için ark kaynağı sonrası gaz analiz değerleri¹

Elektrod Ti- pi (3,25mm çap- lı)	O ₂ Konsantr. (%)	CO Konsantr. (ppm)	NO Konsantr. (ppm)	CO ₂ Konsantr. (%)	SO ₂ Konsantr. (ppm)
AS R 143	19,7	21	13	-----	1
AS S 6010	20,1	6	4	-----	-----
AS B 248	18,9	13	14	1	1
AS P 318	20,6	8	9	-----	-----

¹. Ark kaynağında 20 V gerilim ve 145 A doğru akım değerleri kullanılmış olup yapılan gaz vakum debi değeri 75 m³/h’dir.

Elektrotların partikül analizinde İ.T.Ü Kimya ve Metalürji Fakültesi, Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Üretim Metalürjisi Anabilim Dalı’nda bulunan laboratuvarındaki ‘Atomik arbsorbsyon’ yöntemiyle gerçekleştirilmiştir.

Tablo 6.3 Bazı elektrotlar için ark kaynağı sonrası partikül analiz değerleri²

Elektrot Tipi (3,25mm çaplı)	%Fe	%Si	%Ca	%Mg	%Al	%Mn	%Ni	%Cr
AS R 143	12,14	17,65	0,70	0,098	3,46	3,36	0,016	0,094
AS S 6010	47,80	3,59	0,14	0,18	3,14	3,42	0,021	0,15
AS P 318	4,86	15,36	0,80	0,098	4,78	1,40	0,47	2,40

². Ark kaynağında 20 V gerilim ve 145 A doğru akım değerleri kullanılmış olup yapılan gaz vakum debi değeri 75 m³/h’dir.

Tablo 6.4 Değişik amperlerde yakılan bazı elektrotlar için ark kaynağı sonrası gaz analiz değerleri³

Elektrod Tipi (3,25mm çaplı)	O ₂ Konsantr. (%)	CO Konsantr. (ppm)	NO Konsantr. (ppm)	CO ₂ Konsantr. (%)	SO ₂ Konsantr. (ppm)
AS B 255	19,4	6	12	1,5	-----
AS DA 753	18,9	2	-----	1,6	-----
AS DA 778	18,8	1	-----	1,7	-----
AS P 308 L		0-1	-----	1,1	-----
AS P 308 Mn		17	3	-----	-----
AS P 310 R		6	6	-----	-----
SD-Cr 13		-----	1	-----	1
SD-Abra Cr		-----	2	-----	1

³. Ark kaynağında AS B 255, AS DA 753, AS DA 778, SD-Cr 13 elektrotları için 130 A, AS P 308 L, AS P 308 Mn, AS P 310 R elektrotları için 105 A , SD-Abra Cr elektrodu için 155 A doğru akım değerleri kullanılmıştır. Yapılan gaz vakum debi değeri 75 m³/h'dır.

Tablo 6.5 Değişik amperlerde yakılan bazı elektrotlar için ark kaynağı sonrası partikül analiz değerleri % olarak⁴

Elektrot Tipi (3,25mm çaplı)	%Fe	%Si	%Ca	%Cu	%Al	%Mn	%Ni	%Cr
AS B 248	8,11	16,68	5,66	0,078	2,72	2,17	0,022	0,05
AS B 255	6,24	15,70	5,71	0,046	3,38	2,40	0,0086	0,26
AS DA 753	6,63	14,85	7,25	0,043	5,00	2,86	0,11	0,067
AS DA 778	5,12	13,99	6,10	0,005	2,61	1,63	0,011	0,40
AS P 308 L	2,51	21,30	0,28	0,042	8,90	1,04	0,23	1,48
AS P308 Mn	6,10	15,42	6,50	0,032	3,93	8,03	0,65	2,05
AS P 310 R	5,41	13,95	5,30	0,40	7,57	3,59	1,81	3,78
SD-Cr 13	14,43	13,07	0,092	0,12	6,84	1,002	0,049	3,62
SD-Abra Cr	27,65	3,02	4,92	0,09	0,70	0,92	0,131	9,74

⁴Ark kaynağında AS B 255, AS DA 753, AS DA 778, SD-Cr 13 elektrotları için 130 A, AS P 308 L, AS P 308 Mn, AS P 310 R elektrotları için 105 A, SD-Abra Cr elektrodu için 155 A doğru akım değerleri kullanılmıştır. Yapılan gaz vakum debi değeri 75 m³/h'dır.

Deney sonucu hesaplanan metal partikül ve toplam partikül ağırlık değerleri, elementlerin Tablo 5.3 ve 5.5'deki partikül %'leri ile partiküllerin filtre kağıdındaki net ağırlıklarının çarpımı sonucu elde edilerek Tablo 6.6'da gösterilmiştir.

Tablo 6.6 Deney sonucu hesaplanan metal partikül ve toplam partikül ağırlık değerleri (Tablo 6.3 ve 6.5’deki değerler için) [75 m³/h için]

Elektrot Tip (3,25mm çaplı)	Filtre kağıt Deney baş. Ağ. (g)	Filtre kağıt Deney sonu. Ağ. (g)	Partikül- lerin net ağ. (g)	Bir Cins Elementin Ağ. = Elementlerin Tablo 5.3 ve 5.5’deki % ‘leri X Partiküllerin(elementlerin) filtre kâğıdındaki toplam net ağırlığı						
				Fe(μg)	Cr (μg)	Ca(μg)	Cu(μg)	Al(μg)	Mn(μg)	Ni(μg)
AS B 248	4,5223	5,1527	0,6304	51377,6	378	35869	510,6	17462	13932	151,3
AS B 255	4,5223	5,0994	0,5771	45302,3	1962	33587	317,4	19736,8	16332	53,670
AS DA 753	4,5223	5,1458	0,6235	41712,1	442,68	45453	280,5	31549	18143,8	810,55
AS DA 778	4,5223	4,9497	0,4274	22053,8	1838	26242	29,9	11326	7094,8	59,836
AS P 308 L	4,5223	4,7488	0,2265	5730,45	3216	702	99,6	20226,4	2468,8	611,55
AS P308 Mn	4,5223	4,9233	0,401	24661,5	8381	26225	136,3	15639	32320,6	2766,9
AS P 310 R	4,5223	4,8771	0,3548	19514	13553	18591	1561	26929,3	12843,7	4293,1
SD-Cr 13	4,5223	5,4667	0,9444	136749	35037	925,5	963,29	65541,3	14260	500,53
SD-Abra Cr	4,5223	6,5452	2,0229	556702	199862	99729	2629,7	16587,7	20633,5	2609,5
AS R143	4,5223	4,8456	0,3233	39474,9	320,06	2554	261,87	11380,1	9925,31	71,126
AS S6010	4,5223	5,1516	0,6293	302756	1321,5	1006,8	755,16	20200,5	22906,5	176,2
AS P 318	4,5223	4,7987	0,2764	12990,8	6744,1	2349,4	118,85	13350,1	4146	1437,3

Deneylerde kullanılan elektrotların yanma süreleri Tablo 6.7’de verilmiştir.

Tablo 6.7 Deneylerde kullanılan elektrotların yanma süreleri

Elektrod Tipi	Yanma Süresi (s)
AS B 248	35
AS R 143	52
AS B 255	76
AS DA 778	64
AS P 308L	47
AS P 308 Mn	41
AS P 310 R	37
Sd-Cr 13	80
Sd-Abra Cr	78
AS S 6010	35
AS P 318	30
AS DA 753	73

Tablo 6.8 A.B.D İş Güvenliği ve Sağlık Dairesi’nin ACGIH TLV standardındaki limit partikül değerleri $\mu\text{g}/\text{m}^3$ [48]

Elementler	A.B.D İş Güvenliği ve Sağlık Dairesi’nin ACGIH TLV-TWA standardındaki limit partikül değerleri [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
Fe	5000
Cr	500
Ca	2000
Cu	200
Al	5000
Mn	200
Ni	1000

Aşağıda Tablo 6.9’da elektrodun yanışı sonrasında hazneden çekilen havadaki partikül miktarının hesaplanması:

$$m [\mu\text{g}/\text{m}^3] = (me \times 3600) / (t \times 75) \quad (6.1)$$

m: Bir elektrodun yanışı süresince elde edilen partikül miktarı [$\mu\text{g}/\text{m}^3$];

me: Elektrottaki elementin yanış sonrası partikül ağırlık miktarı [μg]

t: Bir elektrodun yanış süresi [sn];

75 m³/saat: Deney sırasında ortam çekilen partiküllü havanın debisi

Tablo 6. 9 Bir elektrodun yanışı sonrasında hazneden çekilen havadaki partikül miktarları [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]

Elektr. No	Elektrod tipi *	Fe	Cr	Ca	Cu	Al	Mn	Ni
1	AS B 248	70460	518	49191	700	23947	19106	207
2	AS R 143	36438	295	2357	241	10504	9161	66
3	AS B 255	26344	1239	21212	200	12465	10314	34
4	AS DA778	16540	1378	19681	22	8494	5321	45
5	AS P 308L	5852	3284	716	101	20656	2521	624
6	AS P 308 Mn	28872	9811	30702	159	18309	37838	3239
7	AS P 310 R	25315	17582	24118	2025	34935	16662	5569
8	SD-Cr 13	82049	21022	555	577	39324	8556	300
9	SD-Abra Cr	342586	122992	61371	1618	10207	12697	1605
10	AS S 6010	415208	1812	1380	1035	27703	31414	241
11	AS P 318	20785	10790	3759	190	21360	6633	2299
12	AS DA 753	27427	291	29886	184	20744	11930	532

* Deneyde kullanılan elektrotların çapı 3,25 mm’dir.

7. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Amerikan standardında önerilen gaz ve partikül ölçme haznesi bazı modifikasyonlarla başarılı bir şekilde imal edilmiş ve deneyler bu haznede gerçekleştirilmiştir.

Deneylerde kullanılan cam-fiber filtre kağıdının başlangıçtaki ağırlığı ve yapılan partikül deneyleri sonucu filtre kağıtlarının ağırlığı dijital hassas ağırlık ölçer kullanılarak ölçülmüştür. Bu iki değer arasındaki fark partiküllerin net ağırlığını vermektedir. Partikül analiziyle elde edilen yüzde değerler kullanılarak her bir elementin net ağırlığı hesaplanmış ve bütün bu değerler Tablo 6.6’da gösterilmiştir.

Kaynak yapılan haznede ortaya çıkan partikül değerleri; ortamdan çekilen saniyedeki hava debi miktarının bir elektrodun yanış süresi ile çarpımına bölünerek bu değerler de $\mu\text{g}/\text{m}^3$ cinsinden Tablo 6.9’da gösterilmiştir.

Bütün bu hesaplar yapıldıktan sonra elde edilen değerler, A.B.D İş Güvenliği ve Sağlık Dairesi’nin (U.S Department of Labor Occupational Safety & Health Administration) her sene yayınlamakta olduğu sağlık açısından ortamda bulunacak en yüksek limit değerleriyle karşılaştırılmıştır (Tablo 6.8) . Bu değeri aşan elementler *‘insan sağlığını tehdit edebilir’* şeklinde yorumlanmaktadır [48].

Yapılan deneylerin sonucunu gösteren Tablo 6.9 incelendiğinde aşağıdaki sonuçlar görülmüştür:

A - Elektrottan elde edilen partikül emisyonu açısından:

Yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar; kaynakçıların kaynak yaptıkları sırada özellikle bir küçük hacimde çalıştıkları (küçük odacıklar) göz önüne alındığında sağlık açısından; son derece riskli bir ortamda bulunduklarını göstermektedir. Tablo 6.9’da bir elektrodun yanış süresince ortaya çıkan partikül miktarları verilmiştir. Düşünülecek

olursa kaynak işlemleri süresince kullanılacak elektrot sayısının artışı ve yapılacak işin süresinin uzunluğu ile birlikte ortaya çıkacak partikül miktarı oldukça büyük ve doğal olarak Tablo 6.8'deki sağlık açısından verilen standart değerlerini çok aşacaktır. Ayrıca kaynakçının dışında aynı ortamda çalışan diğer kişiler bakımından da aynı risk söz konusudur.

B – Elektrottan elde edilen gaz emisyonu açısından: Elektrotların yapılan gaz analizi sonuçlarında belirli sağlık limiti standart olmadığı için karşılaştırma söz konusu olmamakla birlikte özellikle 6 nolu elektrotta canlı için toksik bir gaz olan karbon monoksit (CO) yüksek değerde çıktığı gözlemlenmiştir.

C – Ortamın sağlık açısından güvenliği:

Yukardaki veriler, kaynakçının çalışmış olduğu hacimde havalandırma yapılmasının son derece önemli olduğunu göstermektedir. Diğer taraftan filtrenin tutmuş olduğu partikül boyutundan daha küçük boyuttaki partiküllerin varlığı da göz önüne alındığında kaynakçının sağlık açısından aldığı durumu son derece ciddi bir hale gelmektedir.

Böylece kaynakçı açısından söz konusu küçük partiküllerinde geçişini engelleme kabiliyeti olan koruyucu kaynak maskelerine ihtiyaç olacağı sonucuna varılmaktadır.

D – Elektrotların partikül analizlerine Üniversitenin katkısı:

Ülkemizde üretilen ve ithal edilen elektrotların partikül analizlerinin standartlar dahilinde yapılabilmesinin sağlanması için İTÜ Makine Fakültesi'nin deney tesisatının daha da geliştirebileceği ve böylece ülkemizde de bu konuda standartların hazırlanarak elektrod üreticilerine bu konuda katkıda bulunulabileceği düşünülebilir.

KAYNAKLAR

- [1] **American Welding Society**, 1991. Welding Handbook, Eight Edition, Volume 1, *International Standart Book Number: 0-87171-281-4*, Miami, Florida.
- [2] **American Welding Society**, Effects of Welding on Health, Volume 3,4 and 8, Miami, Florida.
- [3] **Akselsson KR, Desaeleer GG, Johansson TB, Wwinchester JW**: Particle size distrubution and human respiratory deposition of trace metals in indoor work environments. *Ann. Occup. Hyg.* 19:225-38, 1976.
- [4] **Loriot J, Felix M, Gacouin JC, Proteau J** : Pulmonary siderosis of arc welders in the form of fatal diffuse interstitial fibrosis. *Arch. Mal.Prof.* 40:521-24, 1979.
- [5] **Gola A, Galazka Z, Tychowski K**: Serum alpha -I- antitrypsine and respiratory system status in arc welders. *Med. Pr.* 31:41-44, 1980
- [6] **Candarelle R, Cascella D, Tabaroni G, Corso T, Raffi GB**: Occupational diseases of welders: Note 1, Respiratory effects. *Giornale Hal Med Lav* 1:31:-37, 1979
- [7] **Funahashi A, Schlueter DP, Siegesmund KA, Pintar K**: Energy dispersive X-ray analysis of welders' pneumoconiosis. *Amer. Rev. Resp. Dis.* 119: 215, 1979
- [8] **Kup W**: Studies on occupational damage to upper respiratory tract mucosa. *Atomwegs -Lungenkr* 5:410-11, 1979.
- [9] **Rabenda A**: Incidence of pneumoconiosis in welders in semiautomatic systems in the light of environmental studies. *Med Pr.* 31:239-53, 1980
- [10] **Kalliomaki PL, Sutinen S, Kelha V, Lakomaa E, Sortti V**: Amount and distribution of fume contaminants in the lungs of an arc welder post mortem. *Br. J. Ind. Med.* 36:224-30, 1979
- [11] **Kujawska A, Marek K**: Radiological picture of pneumoconiosis in welders. *Med. Pr.* 30: 79-84, 1979
- [12] **Mc Millan GHG, Heath J**: The health of welders in naval dockyards: Acute changes in respiratory function during standardized welding. *Ann. Occup.Hyg.* 22:19-32, 1979
- [13] **Keskinen H, Kalliomaki PL, Alanko K**: Occupational asthma due to stainless steel welding fumes. *Clin. Allergy* 10:151-59, 1980
- [14] **Jones RN, Weill H** : Occupational lung disease. *Respiratory care* 23:989-98, 1978

- [15] **Carta P, Sanna-Randaccio F:** Experimental emphysema. *Bull. Europ. Physiopath. Resp.* 13:561-90, 1977
- [16] **Ross DS:** Welder's Health – the respiratory system and welding. *Metal Construction*, 119-121, 1978
- [17] **Oxhoj H, Bake B, Wedel H, and Wilhelmsen L:** Effects of electric arc welding on ventilatory lung function. *Arch. Environ. Health*, 34:211-217, 1979
- [18] **Akbarkhanzadeh F,** Long-term effects of welding fumes upon respiratory symptoms and pulmonary function. *J. Occup. Med.* 22:337-341, 1980
- [19] **Anthony JS, Zamel N, Aberman A:** Abnormalities in pulmonary function after brief exposure to toxic metal fumes. *CMA Journal* 119:586-588, 1978
- [20] **Attfield MD, Ross DS:** Radiological abnormalities in electric-arc welders . *Br. J. Ind. Med.* 35:117-22, 1978
- [21] **Jarzebski J:** Thermal injuries of the middle ear in welders. *Med. Pr.* 30:457-60, 1979
- [22] **Bloom AD, Calafiore DC:** Chromosomal Abnormalities Among Welder Trainees, EPA-600/1-79-011. Research Triangle Park NC, US Environmental Protection Agency, Health Effects Research Laboratory, 39 pp, 1979
- [23] **Linde CJ,** The effect of welding fumes on ocular readaptation time. *Scand. J. Work Environ. Health* 6:135-45, 1980
- [24] **Dixon WS,** Contact lenses: Do they belong in the workplace? *Occupational Health and Safety* 133:36-39, 1978 b
- [25] **Kersley,** Arc flash and the contact lens wearer. *Brit. Med. J.* 251: 639-40, 1977
- [26] **Shehade, S.A, Roberts, P.J., Diffey, B.L., and Foulds I.S.,** Photodermatitis Due to Spot Welding. *Br. J. Dermatology*, 117, 117-119, 1987
- [27] **Rasmussen, K. H., and Jepsen, J.R.,** The organic psychosyndrome in manual arc welders: A possible consequence of manganese toxicity. *UGESKR KAEG*, 149(51), 3497-3498, 1987
- [28] **Rudell, B., Kolmodin-Hedman, B., and Wenngren B.I.,** Controlled welding in patients with neurological symptoms. In: *Health Hazards and Biological Effects of Welding Fumes and Gases*. Proceedings International Conference, Copenhagen, 18-25 Feb. 1985. Eds: R.M. Stern, A. Berlin, and J. Jarvisalo. Elsevier Science Publishers, Amsterdam, 413-414, 1986
- [29] **Keyserling, W.M.,** A Computer-aided system to evaluate postural stress in the workplace. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.*, 47, 641-649, 1986
- [30] **Heinsalmi, P.,** Method to measure working posture loads at working sites (OWAS). *The Ergonomics of Working Postures . Models, Methods and Cases*, N. Corlett, J. Wilson, and I. Manenica, Editors, London, Taylor and Francis, 100-104, 1986

- [31] **Ortendahl, T. W. and Holland, R.I.** , Influence of submerged electrical welding/cutting on dental amalgam in Swedish divers. *Scand. J. Dent. Res.*, 94(6), 545-52, 1986
- [32] **Smith, N.J., Topping, M.D., Stewart, J.D., and Fletcher, J.G.,** Occupational cadmium exposure in jig solderers. *BR. J. Ind. Med.*, 43(10), 663-66, 1986
- [33] **Verschoor, M., Herber, R., Van Hemmen, J., Wibowo, A., and Zielhuis, R.,** Renal function of workers with low-level cadmium exposure. *Scand. J. Work, Environ. Health*, 13,232-238, 1987
- [34] **Simonato L, Fletcher AC, Andersen A, et al.** A historical prospective study of European stainless steel, mild steel, and shipyard welders. *Br J Ind Med* 1991;48:145-154.
- [35] **Sjogren B, Gustavsson A, Hedström L.** Mortality in two cohorts of welders exposed to high- and low-levels of hexavalent chromium. *Scand J Work Environ Health* 1987;13:247-251.
- [36] **Moulin JJ, Wild P, Haguenoer JM, et al.** A mortality study among mild steel and stainless steel welders. *Br J Ind Med* 1993;50:234-243.
- [37] **Moulin JJ.** Assessment of risk of lung cancer among mild steel and stainless steel welders. *Occup Environ Med* 1995;52:284-287.
- [38] **Steenland K, Beaumont J, Elliot L.** Lung cancer in mild steel welders. *Am J Epidemiol* 1991;133:220-229.
- [39] **Danielsen TE, Langård S, Andersen A, Knudsen Ø.** Incidence of cancer among welders of mild steel and other shipyard workers. *Br J Ind Med* 1993;50:1097-1103.
- [40] **Gary M. Liss, MD, MS,** FRCPC Ontario Ministry of Labour Final Report December 1996, <http://www.canoshweb.org/odp/html/rp5.htm>
- [41] **Sferlazza SJ, Beckett WS.** The respiratory health of welders. *Am Rev Respir Dis* 1991; 143:1134-1148
- [42] **Groth M, Lyngenbo O.** Respiratory symptoms in Danish welders. *Scand J Soc Med* 1989; 17:271-276
- [43] **Cotes JE, Feinmann EL, Male VJ, Rennie FS, Wichham CAC.** Respiratory symptoms and impairment in shipyard welders and caulker burners. *Br J Ind Med* 1989;46:292-301.
- [44] **Nuyts GD, Van Viem E, Thys J, et al.** New occupational risk factors for chronic renal failure. *Lancet* 1995; 346:7-11.
- [45] **Kaluç, E.,** 2004. Kaynak Teknolojisi El Kitabı Cilt 1, Makine Mühendisleri Odası, Yayın No:MMO/2004/356, Kocaeli.
- [46] **The Welding Institute,** 1981. Welding Fume Sources, Characteristics, Control Volume 1, The Welding Institute Abington Hall Abington, Cambridge.
- [47] **Askaynak Kaynak Tekniği Sanayi ve Ticaret A.Ş,** www.askaynak.com.tr.

- [48] U.S. Department of Labour Occupational Safety & Health Administration, In-Depth Survey Report, Control Technology Assessment for the Welding Operations, Report Number: ECTB 214-13a,1997,
http://www.osha.gov/SLTC/weldingcuttingbrazing/report_boilermakers/boilermakers.html

ÖZGEÇMİŞ

Erhan ÖZDEMİR, 1981 yılında Ezine’de doğdu. 1991 yılında İnegöl Gazipaşa İlkokulu’nu, 1998 yılında Bahçelievler Adnan Menderes Anadolu Lisesi’ni bitirdi. 1998 yılında girdiği Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü’nden, 2004 yılında mezun oldu. Aynı yıl İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Malzeme ve İmalat Programı’nda Yüksek Lisans öğrenimine başladı.

2005 yılında İTÜ Makine Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, Makine Malzemesi ve İmalat Teknolojisi Anabilim Dalı’nda Araştırma Görevlisi olarak göreve başlayan Erhan ÖZDEMİR, aynı kurumda çalışmalarını sürdürmektedir.

